



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

CUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING

Cilt/Vol: 38

Sayı/Issue: 2

Haziran/June 2023

ISSN 2757-9255



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DERGİSİ
Cukurova University, Journal of the Faculty of
Engineering



Sahibi (Owner)

Ulus ÇEVİK
Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı

Editör (Editor)

Serin MEZARCIÖZ

EDİTÖR KURULU (Editorial Board)

Ramazan ÇOBAN (Çukurova Üniversitesi)

Mutlu AVCI (Çukurova Üniversitesi)

Mustafa GÖK (Çukurova Üniversitesi)

Ahmet DAĞ (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin AKILLI (Çukurova Üniversitesi)

Ulus ÇEVİK (Çukurova Üniversitesi)

Ali KOKANGÜL (Çukurova Üniversitesi)

Mesut BAŞIBÜYÜK (Çukurova Üniversitesi)

Mevlüt Sami AKÖZ (Çukurova Üniversitesi)

Oğuz DEMİRYÜREK (Erciyes Üniversitesi)

Hüsamettin BULUT (Harran Üniversitesi)

Metin GÜRÜ (Gazi Üniversitesi)

Mehmet Emin AYDIN (University of the
West of England, İngiltere)

Azra BİLGİN (University of Colorado Boulder,
ABD)

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (Çukurova Üniversitesi)

Özen KILIÇ (Çukurova Üniversitesi)

Serin MEZARCIÖZ (Çukurova Üniversitesi)

Zeynep ZAIMOĞLU (Çukurova Üniversitesi)

Ali KESKİN (Çukurova Üniversitesi)

R. Tuğrul OĞULATA (Çukurova Üniversitesi)

F. Duygu SABAN (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin VAPUR (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin R. YERLİ (Çukurova Üniversitesi)

Ergun ERÇELEBİ (Gaziantep Üniversitesi)

Nihan ÇETİN DEMİREL (Yıldız Teknik Üniversitesi)

Serter ATABAY (American University of Sharjah,
United Arab Emirates)

Muammer KOÇ (Hamad Bin Khalifa University,
Qatar)

Tamio ENDO (Mie University-Japonya)

Hakemli Bir Dergidir. Yılda Dört Sayı Basılır. / Refereed Journal. Published Quarterly.

Dergimiz **TÜBİTAK ULAKBİM** Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi'nde taranmaktadır.
Indexed by **TÜBİTAK ULAKBİM** Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi

Derginin eski adı: Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi
(ISSN: 1019-1011)

YAZIŞMA ADRESİ/CONTACT

Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı Balcalı 01330 Sarıçam/ADANA
Tel : (322) 338 63 57 Fax : (322) 338 61 26 E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr - cu.mmfdergi@gmail.com

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, yılda dört sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Mühendislik alanındaki gelişmeleri takip etmek, meslek kuruluşları ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişimlerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda Türkçe bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe/İngilizcedir. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan makaleler kabul edilmektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. **“Araştırma ve uygulama içeren makaleleri”** yayımlanmaktadır.

AIM and SCOPE

Journal of the Engineering Faculty of Cukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published quarterly. The journal is published to follow the developments in the field of engineering, to contribute to the national and international development of professional organizations and individuals, and to create a Turkish resource in these areas. The language of the journal is Turkish/English. All original and up to date scientific research and applications articles that have not been published elsewhere are accepted. Theoretical/experimental and practical studies related to all engineering fields are in the scope of the Journal. Translation and compilation articles are not accepted. The journal publishes **“articles of research and practice”**.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Investigation of Performance Properties of Dyed and Raised Twill Woven PES/VIS Fabrics by Full Factorial and Taguchi Experiment Design Methods 293**
Boyanmış ve Şardonlanmış Dimi Dokuma PES/VIS Kumaşların Performans Özelliklerinin Tam Faktöriyel ve Taguchi Deney Tasarımı Yöntemleriyle İncelenmesi
Emel Ceyhun SABİR ve Ertan ÖZGÜR
- Investigating Effect of Geometric Differences on Fluid Behavior in Synthetic Jets 305**
Senetik Jetlerde Geometrik Farklılıkların Akış Davranışı Üzerine Etkisinin İncelenmesi
Melisa YILMAZ, N. Filiz TÜMEN ÖZDİL ve Hürrem AKBİYİK
- Comparative Analysis for Atmospheric Oscillations 317**
Atmosferik Salınımlar için Karşılaştırmalı Analiz
Mine Tülin ZATEROĞLU
- Cu/Zn Oksit İkili Katalizörü Üretmek Amacıyla Malahit Cevherinin NH₃/NH₄NO₃ İçinde Optimum pH ve NH₃ Derişiminin Yanıt Yüzey Yöntemiyle Belirlenmesi 333**
Determination of Optimum pH and NH₃ Concentration of Malachite Ore for NH₃/NH₄NO₃ Leaching by Response Surface Method to Produce Cu/Zn Oxide Binary Catalyst
Zümra BAKICI KARACAHAN, Nizamettin DEMİRKIRAN ve Ahmet BAYSAR
- Elektrolif Çekim Yönteminde Gerilim Miktarının Poliakrilonitril Nanoliflerinin Morfolojisine Etkisi..... 347**
The Effect of Voltage Amount on The Morphology of Polyacrylonitrile Nanofiber in Electrospinning
Gonca ŞİMŞEK GÜNDÜZ
- Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsünde Işık Kirliliği Ölçümleri..... 359**
Light Pollution Measurements on Cukurova University Balcali Campus
Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ, Zühal KURT ve Yavuz Şahin TURGUT
- Development of a Low-Cost Monitoring and Warning System for a Data Processing Room 375**
Bilgi İşlem Merkezi için Ucuz Maliyetli Görüntüleme ve İkaz Sisteminin Geliştirilmesi
Oğuzhan TİMUR ve Ahmet TEKE
- A Comparative Review of Evaluation in Visualization Literacy Studies..... 391**
Görselleştirme Okuryazarlığı Çalışmalarında Değerlendirmenin Karşılaştırmalı Bir İncelemesi
Elif Emel FIRAT

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Estimated Fuel Properties of Luffa Aegyptiaca as a Possible Feedstock for Biodiesel Production	401
<i>Luffa aegyptiaca'nın Potansiyel Biodizel Üretimi İçin Olası Bir Hammadde Olarak Tahmini Yakıt Özellikleri</i>	
Duygu Durdu KOÇ ve Aslı ABDULVAHİTOĞLU	
A Novel Frequency-Configurable Patch Antenna Design Using Flexible Substrates for Biomedical Applications	411
<i>Biyomedikal Uygulamalar için Esnek Alt Tabakalar Kullanarak Frekans-Yapılandırılabilir Yeni Bir Yama Anten Tasarımı</i>	
Emine AVŞAR AYDIN ve Mustafa Berkan BİÇER	
Economically the Sivas Basin Natural Anhydrite Potential, Reserve Estimation and Geochemical Characteristics, Central Anatolia, Türkiye	421
<i>Ekonomik Açıdan Sivas Havzası Doğal Anhidrit Potansiyeli, Rezerv Tahmini ve Jeokimyasal Özellikleri, Orta Anadolu, Türkiye</i>	
Zekeriya DURAN ve Oktay CANBAZ	
Sürdürülebilir Tekstil Liflerinden Dokunmuş Dijital Baskılı Kumaşların Dikilebilirlik Performansı Üzerine Deneysel Bir Çalışma.....	433
<i>An Experimental Study on the Sewability Performance of Digital Printed Fabrics Woven from Sustainable Textile Fibers</i>	
Füsun DOBA KADEM ve Gülnur ÖZDEMİR	
Honey Badger Optimizasyon Algoritması ile Üç Elemanlı Kafes Sisteminin Ağırlık ve Maliyet Minimizasyonu.....	441
<i>Weight and Cost Minimization of Three-Element Truss System with Honey Badger Optimization Algorithm</i>	
Cengiz ASLAN, Ebubekir SEYYARER ve Taner UÇKAN	
Yanıt Yüzey Metodu Analizi: Alkali Elektroliz ile Hidrojen Gazı Üretimi.....	451
<i>Response Surface Method Analysis: Hydrogen Gas Production by Alkaline Electrolysis</i>	
Ceyla ÖZGÜR ve Mehmet Erman MERT	
Turkey's Green Economy Initiative: An Experimental Evaluation of Hydrogen Energy	463
<i>Türkiye'nin Yeşil Ekonomi Girişimi: Hidrojen Enerjisinin Deneysel Bir Değerlendirmesi</i>	
Fırat EKİNCİ ve Mehmet Erman MERT	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Örnek Bir Yeraltı Metal Madeninde Simülasyon Yazılımı ile Yangın Senaryoları Hazırlanıp Değerlendirilmesi 473**
Preparation and Evaluation of Fire Scenarios with Simulation Software in a Sample Metal Underground Mine
Hasan Onur İNAL ve Bayram KAHRAMAN
- Enine Zemin Hareketine Maruz Gömülü Boru Hatlarının Tepkisi İçin Örnek Bir Çalışma 485**
A Sample Study for the Response of Buried Pipelines Subject to Transverse Ground Motion
Adil YİĞİT
- Analysing The Effects of Knitted Fabrics Physical Properties to The Heating of Sewing Machine Needles 495**
Örme Kumaşların Fiziksel Özelliklerinin Dikiş Makinesi İğnelerinin Isınmasına Etkilerinin Analizi
Engin AKÇAGÜN, Abdurrahim YILMAZ ve Mahmut KAYAR
- Performance Analysis of Zhao and Durbin Numerical Inversion Methods of Laplace Transform 507**
Sayısal Ters Laplace Dönüşümü için Zhao ve Durbin Methodlarının Performans Analizi
Sefa YILDIRIM
- Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimine Firma Niteliklerinin Etkisi: Tekstil Sektörü Bakış Açısı 515**
The Effect of Company Qualifications on Sustainable Supply Chain Management: Textile Sector Perspective
Emel YONTAR ve Şölen ZENGİN
- Nanoakışkan Hacimsel Oranının ve Parçacık Boyutunun Gövde Borulu Isı Değiştiricisindeki Isı Transferine Etkisinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi 531**
Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Nanofluid Volume Ratio and Particle Size on Heat Transfer in a Shell-and-Tube Heat Exchanger
Mustafa KILIÇ ve Mahir ŞAHİN
- Çift-Girişim Tabanlı İyileştirme Algoritmasının Sayısal İyileştirme Fonksiyonları Üzerinde Performans Analizi 545**
Performance Analysis of Bi-Attempted Based Optimization Algorithm on Numerical Optimization Functions
Mehtap KÖSE ULUKÖK

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri: Sahadan Jeolojik Veriler,
Değerlendirme ve Adana için Etkileri..... 553**
*6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes: Geological Data from the Field,
Implications and Assessment for Adana City*
Ahmet Can AKINCI ve Ulvi Can ÜNLÜGENÇ
- Çapraz Satışı Destekleyebilecek Transformer ile Geliştirilmiş Bir Öneri Sistemi..... 571**
A Transformer-Improved Recommender System Supporting Cross-Selling
İbrahim Erdem KALKAN ve Cenk ŞAHİN
- Body Temperature Related Risk Factor Assessment Using RFID Sensor Tags 585**
RFID Sensör Etiketleri Kullanarak Vücut Sıcaklığı İle İlgili Risk Faktörü Değerlendirmesi
Reyat YILMAZ, Özgür TAMER, R. Alp KUT ve Nihal FİDAN

Investigation of Performance Properties of Dyed and Raised Twill Woven PES/VIS Fabrics by Full Factorial and Taguchi Experiment Design Methods

Emel Ceyhun SABİR*¹ ORCID 0000-0002-2385-1524

Ertan ÖZGÜR¹ ORCID 0000-0001-6293-0690

¹Çukurova University, Faculty of Engineering, Department of Textile Engineering, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 26.01.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: SABİR, E.C., ÖZGÜR, E., (2023). Investigation of Performance Properties of Dyed and Raised Twill Woven PES/VIS Fabrics by Full Factorial and Taguchi Experiment Design Methods. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 293-304.

Abstract

In this study, full factorial experimental design and Taguchi experimental design for the optimization of selected fabric quality parameters were examined comparatively with an experimental study. The aim of the study is to show that Taguchi Experimental Design can be used instead of Full Factorial Experimental Design, which is a classical experiment plan in textile engineering studies. In the experimental study developed in outerwear woven fabric dyeing-finishing enterprises; The woven fabric in three different twill forms, having the same blend, was dyed at three different rates and produced in three different raising conditions. The fabrics were woven 100 m in factory conditions and dyed and raised under the same conditions. The selected twill texture is 3/1, 2/1, 2/2, dyeing ratio, 1%, 3%, 5% and raising status-no raising, single passage raising, two passage raising (shearing process is included in all raising). Selected woven fabric performance tests were applied to the fabrics. In the study, 27 fabric samples were used for the Full Factorial Experiment Design and 9 fabric samples were used according to the Taguchi Experiment Design. The results of the performance tests obtained according to both experimental designs were compared. As a result, it has been shown with this study that 9 samples according to the Taguchi method can be used instead of 27 samples according to the full factorial experimental design for optimum results. Experimental design based on Taguchi Method can be used effectively with less experiments in experimental studies where production is very difficult and costly in the field of textile engineering.

Keywords: Woven fabric, Raising, Full factorial experimental design, Taguchi experimental design

Boyanmış ve Şardonlanmış Dimi Dokuma PES/VIS Kumaşların Performans Özelliklerinin Tam Faktöriyel ve Taguchi Deney Tasarımı Yöntemleriyle İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, seçilmiş kumaş kalite parametrelerinin optimizasyonu için tam faktöriyel deney tasarımı ve Taguchi deney tasarımı karşılaştırmalı olarak deneysel bir çalışma ile incelenmiştir. Çalışmanın amacı, tekstil mühendisliği çalışmalarında klasik bir deney planı olan Tam Faktöriyel Deney Tasarımı yerine

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Emel Ceyhun SABİR, emelc@cu.edu.tr

Taguchi Deneş Tasarımı'nın kullanılabilceğini göstermektedir. Dış giyim dokuma kumaş boya-terbiye işlemlerinde olmak üzere, geliştirilen deneşsel çalışmada; aynı harmana sahip olan, üç farklı dimi formdaki dokuma kumaş, üç farklı oranda boyanmış ve üç farklı şardon koşulunda üretilmiştir. Kumaşlar fabrika koşullarında 100'er m olarak dokunmuş ve aynı koşullarda boyanmış ve şardonlanmıştır. Seçilen dimi doku, 3/1, 2/1, 2/2, boyama oranı, %1, %3, %5 ve şardon durumu-şardonsuz, tek pasaj şardon, iki pasaj şardon (şardonların hepsinde makaslama prosesi dahildir) şeklindedir. Kumaşlara seçilmiş dokuma kumaş performans testleri uygulanmıştır. Çalışmada Tam Faktöriyel Deneş Tasarımı için 27 kumaş numunesi ve Taguchi Deneş tasarımına göre de 9 kumaş numunesi kullanılmıştır. Her iki deneş tasarımına göre elde edilen performans testlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma ile optimum sonuçlar için, tam faktöriyel deneş tasarımına göre 27 adet numune yerine, Taguchi yöntemine göre 9 adet numunenin kullanılabilceği gösterilmiştir. Taguchi Metoduna dayalı deneş tasarımı, tekstil mühendisliği alanında üretimin oldukça zor ve maliyetli olduğu deneşsel çalışmalarda, daha az deneşlerle, etkin şekilde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Dokuma kumaş, Şardon, Tam faktöriyel deneş tasarımı, Taguchi deneş tasarımı

1. INTRODUCTION

The performance of a textile material determines the behavior of the material under force [1]. These forces can be in the form of tensile, tearing, stiffness, pilling, wearing and bursting. The direction of these forces may be in the direction of the fabric warp and weft or perpendicular to the plane of the fabric. Fabric performance tests are applied to estimate the behavior of textile material under forces. There are many factors that determine the strength of textile material; fiber type and properties, yarn formation parameters and fabric formation parameters, finishing processes etc. as.

There are many studies about strength tests as being one of the quality performance indicators of fabrics. Ünal and Taşkın, produced plain and twill fabrics having different polyester weft and warp yarns. Before and after washing, the weft and warp direction tensile strength values of the fabrics were measured. The tensile strength was higher in fabrics than in fabrics prior to washing and in fabrics after washing [2]. Kumpikaite examined the effect of the fabric on the tensile strength and elongation at break [3]. Tayyar et. al., the cotton/PES blend of fabric, 2/2 twill and 6 knitted satin braided, 70 denier semi - matt weft warp yarn and Ne 30/1 cotton weft yarn were subjected to the abrasion of the shirting woven fabrics and examined the effects of structural parameters on surface wear. It was observed that the knitting structure had no effect on fabric weight at the end of 10000 rpm but had a significant effect

after 20000 revolutions [4]. Kaloğlu et. al. investigated the abrasion properties of 2/2 and 2/1 twill weave fabrics produced from polyester/wool blend yarns with different densities. It was found that the warp 2/1 twill fabrics were more resistant to abrasion than 2/2 twill fabrics. It was also found that the dense fabrics were appraised less than loose fabrics [5]. Kaynak and Topalbekiroğlu investigated the effect of fabric on the abrasion and pilling strength of the weaving pattern. They used 7 different fabrics produced with 30/1 100% combed cotton yarn. It was observed that the texture of the fabric affected the wear and pilling and the weight loss of the fabrics increased in direct proportion to the number of connections [6]. Doba Kadem and Oğulata inspected the tear resistance of plain weave and twill weave cotton fabrics, and they detected that the tear resistance of plain weave fabrics were superior to the twill ones [7]. Özdil and Özçelik measured the fabric tear resistance values of 100% Cotton and 50-50% Cotton-PET blend plain, twill, sateen and ribs weave fabrics by employing four different test methods. It was detected that the plain weave had higher tear resistance, 50-50% Cotton-PET blend fabrics yielded higher values than 100% Cotton fabrics for all of the tear resistance test methods employed [8]. Sabır and Doba Kadem manufactured three different polyester/vis denim fabrics as reference, raised fabric and laminated fabric using standard processes. and subjected to mechanical and chemical finishing treatment. Researchers have shown that the thermal resistance of raising fabrics is better than coated fabrics [9].

Sabir and Maralcan investigated the effects of the raising drum speed and the raising passage number, as being one of the mechanical textile finishing processes, on various fabric properties [10]. They observed that the drum speed had effect on pilling properties whereas number of passages was not significant. Carfagi et. al. developed a system for their study for observing the raising process which measured the length and frequency of fibers protruding from the raised fabric surface. This system enabled to predict the less than 2 percentile defects [11]. Table 1 shows the difference between the Taguchi method and full factorial design in terms of number of experiments.

Table 1. The difference between Taguchi Method and Full Factorial Design [12]

Orthogonal series	Factor and number of level	Experiment number for Full Factorial Design
L4	3 Factor 2 levels	8
L8	7 Factor 2 levels	128
L9	4 Factor 3 levels	81
L16	15 Factor 2 levels	32768
L27	13 Factor 3 levels	1594323

In experimental studies, a full factorial experiment design is generally used to determine the effects of inputs on the outputs. This is an approach where all combinations of selected levels of selected dependent variables (inputs) are applied. In recent years, Taguchi experiment design has also been used in applied engineering research to examine the effects of input variables on output variables. The Taguchi experiment design shows that reliable results can be obtained by performing less experiments than the full factorial experiment design. In order to demonstrate the reliability of the use of Taguchi Experimental design in engineering research and the reliability of the results, studies comparing both approaches have been made [13,14]. Taguchi method is used by conscious and educated people in a textile mill to a high rate of 97% of the average yield as a method that can help the managers showed increased [15].

Alhalabi and Sabir examined the effect of lubricant used in synthetic fiber spinning on the ring yarn quality parameters by using the Taguchi L4 test

setup. They have determined the optimum comb speed and optimum amount of lubricant by Taguchi method [12]. Ömeroglu et. al. examined the bending, draping and wrinkling resistance of fabrics made of hollow and filled fibers. It was observed that different fabric structures did not affect bending strength with Taguchi Experiment Design [16].

Kazmi et. al. used the multi-purpose Taguchi method to determine the optimum comfort properties of terry knitted fabrics made of different materials [17].

It is seen that the Taguchi method is used in the studies carried out for the optimization of performance properties such as Bursting Strength and air permeability of knitted fabrics and optimum results can be achieved [18,19].

The study uses the Taguchi experimental design, which is an optimization technique frequently encountered in recent studies. Studies on full factorial experimental design are still common in scientific and experimental research publications in the field of engineering. In the field of textile manufacturing, it is difficult to make production under operating conditions in order to see the results of experimental studies. Stopping production for a long time and allocating it for the work done cause problems such as loss of production. For this reason, studies that use the Taguchi method, which reduces the number of experiments, and examine its effect on quality values, especially in the field of product production, are considered important. For researchers, this study will contribute to whether the Taguchi technique will give appropriate results in fabric performance in woven fabric dyeing and finishing processes, instead of the classical experimental design. To illustrate the importance of this issue, both experimental designs were used and compared in the same study

The study uses the Taguchi experimental design, which is an optimization technique frequently encountered in recent studies. The Taguchi method was compared with other experimental design methods (such as Artificial Neural Network, full factorial experimental design, fuzzy theory) and the advantages of the Taguchi method were tried to be demonstrated [20-22]. Studies on full factorial

experimental design are still common in scientific and experimental research publications in the field of engineering. In the field of textile manufacturing, it is difficult to make production under operating conditions in order to see the results of experimental studies. Stopping production for a long time and allocating it for the work done cause problems such as loss of production. For this reason, studies that use the Taguchi method, which reduces the number of experiments, and examine its effect on quality values, especially in the field of product production, are considered important. For researchers, this study will contribute to whether the Taguchi technique will give appropriate results in fabric performance in woven fabric dyeing and finishing processes, instead of the classical experimental design. To illustrate the importance of this issue, both experimental designs were used and compared in the same study.

In this study, the effects of woven fabric structure, dyeing and raising process on fabric performance were investigated separately with Taguchi test design method and Full factorial design. In this study, it is aimed to compare the results of Full factorial experimental design, which is the classical experimental design method, and Taguchi experimental design, in which fewer experiments are performed. Fabrics produced for this purpose; Three different woven fabric structures, dyeing process with three different shades of the same color and three different raising conditions were selected. The results were statistically evaluated with both approaches. As a result, it has been tried to show that Taguchi experimental design can be used instead of full factorial experimental design in experimental and applied research in the field of textile.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

In this study, gabardine fabric is used for male outerwear. It is woven, dyed and finished under fabric operating conditions. Sample raw fabrics on the 2006 model Picanol Gamma Max loom, 500 rpm. At machine speed, 160 cm. fabric width, 120/2

scallop number, 196 cm comb width, 100 m long and three different fabric structure; Twill 3/1, 2/2 and 2/1 (Z) were weaved. The weft and warp yarns of the fabrics are the same and they are Ne 28/2 number and 63/32/5% PES/Viscose/Elastane blend yarn. The warp frequency is 34 wire/cm and the weft density is 22 wire/cm. The weight of the fabrics is 306 g/m². Dyeing-finishing operations of the fabrics; Boiling test, incineration (Machine: Osthoff - Senge machine), washing (Machine: Ramisch Kleinewefers), untensioned drying (Machine: Dilmenler), fixing (Machine: Dilmenler), dyeing, drying-emulsion (Machine: Monforts), Crown (Lafer-Turk) and scissors. Fabrics 1%, 3% and 5% in three different dyeing ratio of the sample dyeing jet dyeing machine. Since all of the samples are polyester/viscose, disperse dye is used for polyester and reactive dyeing is done for viscose. The fabrics were used in three different ways for the raising condition in the finishing process in the experimental study. These are non-raising fabric, single-pass raising (1.Passage raising) fabric and two-pass raising (2.Passage raising) fabric. Shearing is also included in the raising fabrics.

2.2. Method

In this study, the effect of woven fabric structure, dyeing and raising woven fabric performance was investigated with two different experimental study plans. The input variables (factors) and their levels created for this experimental plan are given in Table 2. There are three factors and each is three levels. There are 3 factors (code: $k = 3$) and 3 levels of factors ($n = 3$). The tests given in Table 3 were applied to the sample fabrics.

Design of Experiment (DOE): Experimental design is a quality improvement technique defined as the observation and interpretation of variability on the response variable by systematically making the desired changes on the input factors in a process. Two different experimental designs were used in this study: Full Factorial Experimental Design and Taguchi Experimental Design.

Full Factorial Experimental Design FFED: The method of full factorial experimental design is the case where all parameters and all levels related to these parameters match each other.

Taguchi Experiment Design (TED): Taguchi uses Orthogonal Arrays (OA) to perform multivariate experiments with a small number of experiments. The orthogonal sequence is the Taguchi approximation, which is expressed as L, while the next number represents the number of experiments.

The main purpose of the Taguchi method; decreasing the variability around the target value. The test results obtained in Taguchi Experiment Design method are evaluated by converting to signal / noise (S/N) ratio (Eq.1). The value of the signal /noise ratio is small, the value is good, the good value is good, the nominal value is well calculated and analyzed in different ways according to the value of the quality values. No the confirmation test was included in the study.

Table 2. Factor (input) parameters and level of the study [23]

Code	Factor (inputs)	Unit	Level	Explanation of the levels
A	Fabric structure	-	3	Twill 3/1(Z), Twill 2/2(Z), Twill 2/1 (Z)
B	Dyeing ratio	%	3	1,3,5
C	Raising condition (Mechanical finishing type)	-	3	no-rised fabric, 1th passage rised fabric (shered), 2th passage rised fabric (shered)

Table 3. Selected Fabric Performance Properties for the samples

No	Test	Standard	Method
1	Tensile Strength and Elongation%	TS EN ISO 13934-1	Strip method/ TITAN® Device
2	Tearing Strength	TS EN ISO 13937-1	Ballistic pendulum method
3	Stiffness	TS 1409/October1974	Fixed Angle Bending
4	Thermal Stability	BS 4323	WIRA®
5	Abrasion Resistance	TSE EN ISO 12947-1/2	Martindale / According to mass loss principle up to 10000 cycles

Bigger-the-Better
$$\frac{S}{N_{(Bigger)}} = -10 \log \left(\frac{\sum \left(\frac{1}{y_i^2} \right)}{n} \right)$$

Smaller-the-Better
$$\frac{S}{N_{(Smaller)}} = -10 \log \left(\frac{\sum y_i^2}{n} \right)$$

Nominal-is-Best
$$\frac{S}{N_{(Nominal)}} = 10 \log \left(\frac{\bar{Y}^2}{s^2} \right)$$

The design of full factorial experimental design is the classical experimental design approach and the number of experiments with this approach is found by multiplying the three levels of three factors. Since there are three factors and each of them has three levels, the number of experiments will be $3 \times 3 \times 3 = 27$. In Taguchi method, the number of experiments varies according to the number and level of factors. A 3-factor 3-level test pattern is expressed in the Taguchi Experimental Design as 3^3 , and Taguchi then suggests the L9. Table 4 shows the number of experiments with both experimental designs. As can be seen, there is a big difference between the number of experiments.

Table 4. Number of experiments for the experimental design methods

Experimental design code	Experimental design Name	Number of experiment
FFED	Full factorial experimental design	27
TED	Taguchi experimental design	9

The test set prepared according to both experimental plan is given in Table 5. There are 27 complete factorial test sets (FFED) and 9 Taguchi test sets (TED). The data obtained from the tests

were statistically analyzed. In order to select the appropriate type of analysis, the characteristics of the data must first be determined [24]. Minitab15® software was used for statistical analysis.

Table 5. Experimental plan for statistical analysis [23]

Experiment No	Dyeing ratio	Fabric structure	Raising condition	FFED	TED , L9
1	1%	2/1	No Raising	√	L1
2	1%	2/1	1. Passage raising	√	-
3	1%	2/1	2. Passage raising	√	-
4	3%	2/1	No Raising	√	-
5	3%	2/1	1. Passage raising	√	L2
6	3%	2/1	2. Passage raising	√	-
7	5%	2/1	No Raising	√	-
8	5%	2/1	1. Passage raising	√	-
9	5%	2/1	2. Passage raising	√	L3
10	1%	2/2	No Raising	√	-
11	1%	2/2	1. Passage raising	√	L4
12	1%	2/2	2. Passage raising	√	-
13	3%	2/2	No Raising	√	-
14	3%	2/2	1. Passage raising	√	-
15	3%	2/2	2. Passage raising	√	L5
16	5%	2/2	No Raising	√	L6
17	5%	2/2	1. Passage raising	√	-
18	5%	2/2	2. Passage raising	√	-
19	1%	3/1	No Raising	√	-
20	1%	3/1	1. Passage raising	√	-
21	1%	3/1	2. Passage raising	√	L7
22	3%	3/1	No Raising	√	L8
23	3%	3/1	1. Passage raising	√	-
24	3%	3/1	2. Passage raising	√	-
25	5%	3/1	No Raising	√	-
26	5%	3/1	1. Passage raising	√	L9
27	5%	3/1	2. Passage raising	√	-

3. RESULTS AND DISCUSSION

Comparison of statistical analysis for full factorial design and Taguchi experimental design:

When the fabric performance test results were analyzed statistically, it was seen that the data were homogeneous. Accordingly, two-way ANOVA was applied to tensile strength and elongation, tear strength, stiffness, thermal stability tests. Abrasion resistance test results were applied Kruskal-Wallis Test. 95% confidence interval was chosen in the analyzes (significance level p , 0.05). At the end of the tests, it was analyzed statistically whether the production parameters had an effect on fabric performance. “Sig.” if statistically it has an effect on a parameter. means “significant” and this statistical evaluation is given collectively in Table 6. Table 6 shows the effects of the performance of fabric production parameters can be revealed.

According to this, the twist strength of the twill weave structure has no effect, but the dyeing intensity and the shrinkage effect. There is no effect on the tear strength of the twill weave structure and the dyeing intensity. However, the raising does not affect the tearing strength in the direction of the warp, but in the weft direction. This is an expected result due to the fiber removal of the fabric from the weft-directional yarns of the fabric by raising. This is also an expected result because it affects the stiffness of the fabric due to fiber removal from the fabric structure by raising. Thermal stability performance of the fabrics is not affected by the change in the twill weave structure but it is also affected by all three types of dyeing. This effect was found to be significant because the dyeing process was performed under heat. The process of thermal stabilization was also found to be ineffective on the warp effect on the weft, since the process was a process to effect the weft direction.

Table 6. Comparison of statistical analysis results of fabric performance properties for FFED and TED methods

Performance properties of the samples	Fabric direction	Fabric structure		Dyeing ratio		Raising condition	
		FFED	TED	FFED	TED	FFED	TED
Tensile strength	Weft	non	non	Sig.*	Sig.	Sig.	Sig.
	Warp	non	non	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.
Elongation %	Weft	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.
	Warp	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.
Tear	Weft	non	non	non	non	Sig.	Sig.
	Warp	non	non	non	non	non	non
Stiffness	Weft	non	non	non	non	Sig.	Sig.
	Warp	non	non	non	non	Sig.	Sig.
Thermal stability	Weft	non	non	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.
	Warp	non	non	Sig.	Sig.	non	non
Abrasion resistance		non	non	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.

*: “Sig”, Significant (For less than 0.05 significant value, $p < 0.05$).

In order to investigate the effect of three different production parameters on the performance of six fabrics, 9 experiments were performed instead of 27 experiments and the same statistical results were obtained. In this experimental study, it is suggested that Taguchi method can be used instead of full factorial method in experimental design.

Determination of optimum production parameters by Taguchi Experimental Design (TED):

With Taguchi experiment design, optimum results can be achieved with less experimentation. The results of the experiments conducted according to the standards were analyzed with L9 Taguchi test design and the equation (S/N) was given in equation (1). It is desirable to have the lowest value of rupture, tear strength, fabric softness and thermal stability as the highest value and the abrasion resistance value shows the % mass reduction from the fabric.

Table 7. Signal/Noise (S/N) ratio of performance properties of the samples

No	Test	Signal / noise (S / N) ratio
1	Tensile Strength	Bigger-the-Better
	Elongation %	Bigger-the-Better
2	Tearing Strength	Bigger-the-Better
3	Stiffness	Bigger-the-Better
4	Thermal Stability	Bigger-the-Better
5	Abrasion Resistance	Smaller-the-Better

Taguchi Method shows the production parameters that will make the selected fabric performance values optimum with “Main Effects Plot for Means” graphs (Figure 1-5). Optimum values are marked on the graphs in accordance with the “Highest Best” in

Figure 1-4 and “Lowest Best” in Figure 5. Since the production parameters selected in the warp direction tear strength have no effect, the S/N figure is not given.

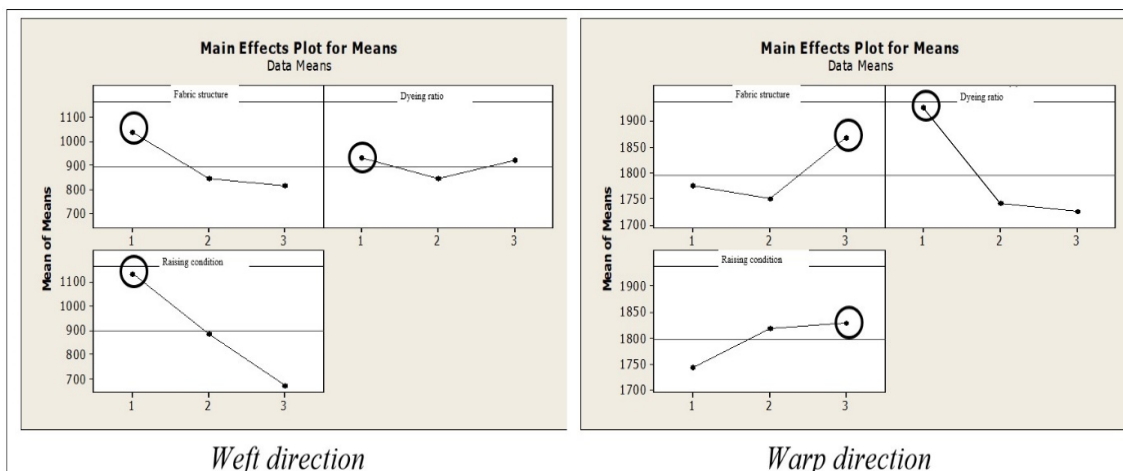


Figure 1. Optimum production parameters for tensile strength (Highest Best)

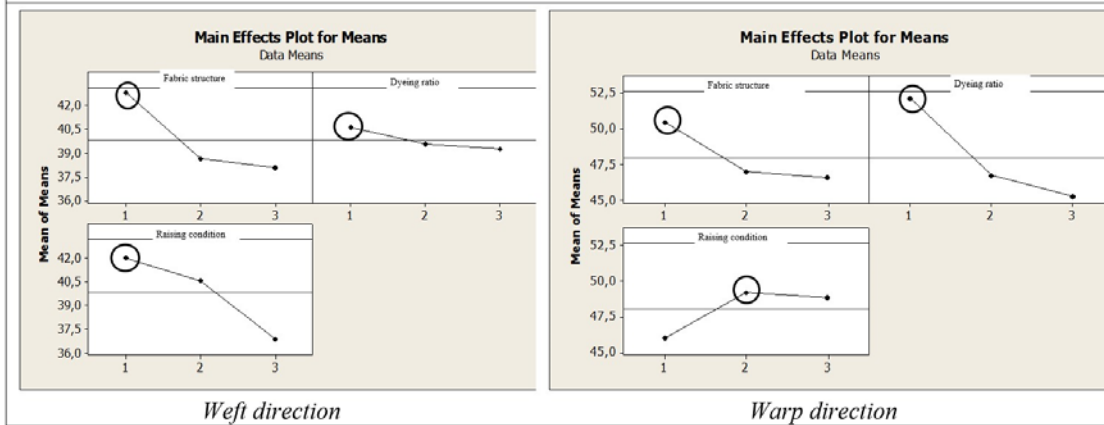


Figure 2. Optimum production parameters for elongation at break% (Highest Best)

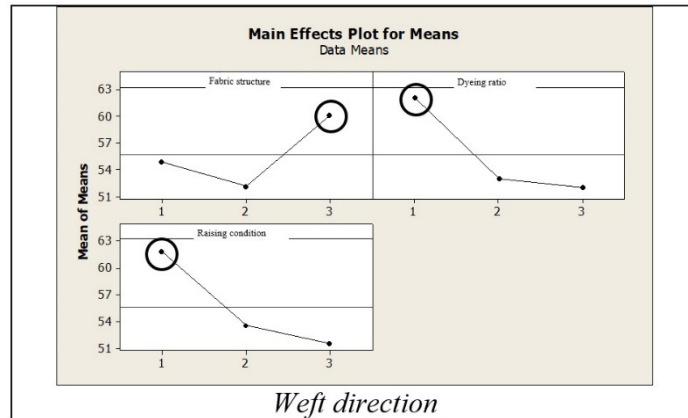


Figure 3. Optimum production parameters for tearing strength (Highest Best)

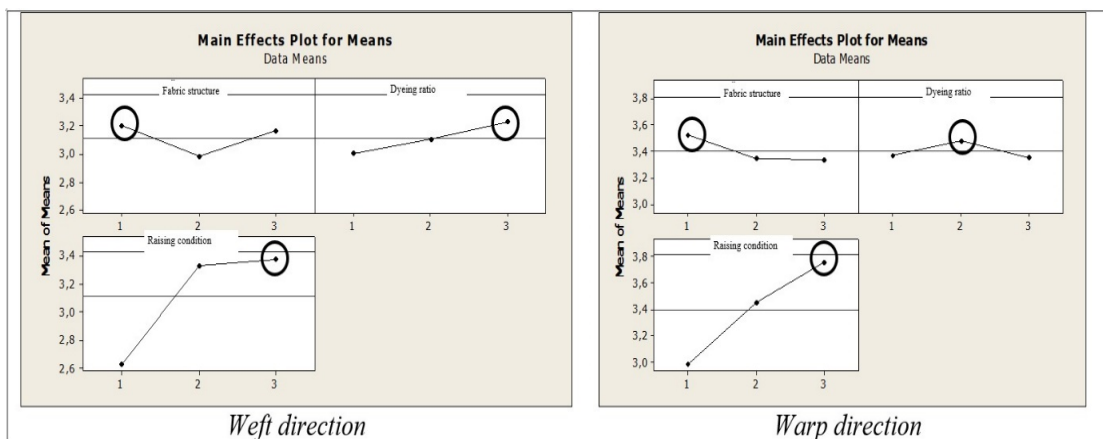


Figure 4. Optimum production parameters for stiffness (Highest Best)

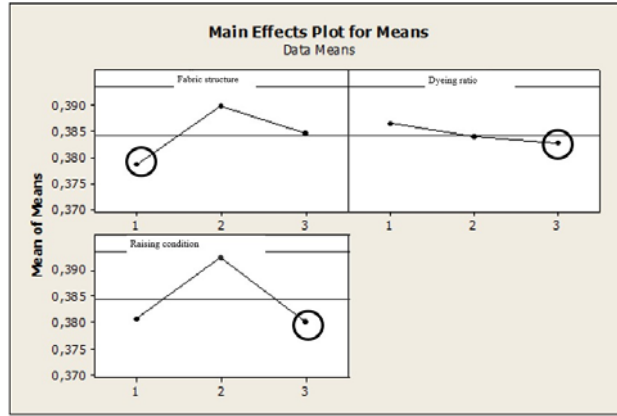


Figure 5. Optimum production parameters for abrasion resistance (Lowest Best)

Optimum values of selected fabric performance properties for TED and FFED Design was found same and was shown in Table 8.

Table 8. Production parameters for optimum fabric performance according to TED and FFED

Tests	Fabric direction	Optimum production parameters of the fabrics		
		Fabric structure	Dyeing ratio	Raising condition
Tensile Strength	Weft	2/1	%5	no raising
	Warp	3/1	%1	2. Passage raising
Elongation %	Weft	2/1	%1	no raising
	Warp	2/1	%1	1. Passage raising
Tearing Strength	Weft	3/1	%1	no raising
	Warp	Three production parameters are ineffective		
Stiffness	Weft	2/1	%1	2 Passage raising
	Warp	2/1	%3	2 Passage raising
Thermal Stability	Weft	2/2 or 3/1	%1	1. Passage raising
	Warp	2/1	%1	1. Passage raising
Abrasion Resistance		2/2	%1	1. Passage raising

4. CONCLUSION

In this study, dyeing and raising applied twill weave fabrics were subjected to two different statistical analyses methods for determining their effects on preselected fabric performance parameters. Two different experimental designs were arranged for the preselected parameters. One was Full factorial experimental design as being the classical approach and the other was Taguchi experimental design. Full factorial experimental design requires to execute all the combinations of the experimental study. Taguchi experimental design enables to conduct the statistical analysis with less number of

experiments. In this study, both of these experimental designs were applied and the obtained results were analyzed for a selected experimental setting.

As a result of the experimental study, it has been revealed that the results obtained with the Taguchi experimental design are compatible with those obtained with the full factorial experimental design. It was observed that, 9 trials instead of 27 trials i.e. 18 less number of trials enabled to achieve highly similar results via Taguchi Method. The Taguchi method was also able to show optimum results. With this study, the possibility of making statistical

evaluations with fewer trials without interrupting production for applied research studies in textile factories has been revealed. The validation experiment is the final step of the Taguchi experimental design. The purpose of the validation experiment is to predict and verify the results obtained during the analysis phase. This test was not included in this study, but it is recommended that it be added with future studies.

5. ACKNOWLEDGE

The authors thanks to Oğuz Tekstil A.Ş. /Adana/Türkiye for production and finishing of the woven fabric samples.

6. REFERENCES

1. Tayyar, A.E., 2010. Ev Tekstillerinde Kumaş Özelliklerinin Patlama Mukavemetine Etkileri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(2), 165-172.
2. Ünal, P.G., Taşkın C., 2007. %100 Poliester Kumaşlarda Dokunun ve Sıklıkların Kopma Mukavemetine Etkisi. Tekstil ve Konfeksiyon, 2, 115-118.
3. Kumpikaite, E., 2008. Influence of Fabric Structure on the Character of Fabric Breakage. Fibres&Textiles in Eastern Europe, 16(3), 44-46.
4. Tayyar, E., Sarı, F., Yağız İ., 2011. Gömleklik Kumaşlarda Yapısal Parametrelerin Kumaşın Aşınma Direncine Etkileri. The Journal of Tekstil and Engineer, 18(84): 23-26.
5. Kaloğlu, F., Önder, E., Özipek, B., 2003. Influence of Varying Structural Parametres on Abrasion Characteristics of 50/50 Wool/Polyester Blended Fabrics. Textile Research Journal, 73(11), 980-984.
6. Kaynak, K., Topalbekiroğlu, M., 2007. Dokuma Kumaşlarda Doku Tipinin Aşınma ve Boncuklanma Dayanımı Üzerine Etkilerinin Araştırılması. Tekstil ve Konfeksiyon, 17(1), 40-44.
7. Doba Kadem F., Oğulata R.T., 2009. Boyalı İpliklerden Üretilen Farklı Konstrüksiyonlardaki Pamuklu Kumaşlarda Kumaş Yırtılma Mukavemetinin Regresyon Analizi, Tekstil ve Konfeksiyon, 19(2), 97-101.
8. Özdil N., Özçelik G., 2006. Kumaşlarda Yırtılma Mukavemeti Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma, Tekstil ve Konfeksiyon, 3, 174-179.
9. Sabır E.C., Doba Kadem F., 2016. Comfort and Performance Properties of Raised and Laminated Denim Fabrics, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 5(119), 88-94.
10. Sabır E.C., Maralcan A., 2010. 2/1 Z Dimi PES/VIS/EA Dokuma Kumaş Özelliklerine Şardon Parametrelerinin Etkisi. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2), 1-8.
11. Carfağı M., Furferi R., Governi L., 2005. A Real-Time Machine-Vision System for Monitoring the Textile Raising Process, Computers in Industry, 56, 831-842.
12. Alhalabi K., Sabır E.C., 2011. Antistatik Yağın İplik Parametrelerine Etkisi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2), 19-32.
13. Aytaç A., Yılmaz B., Deniz V., 2008. Kord Bezi Üretiminde Büküm Yönünün Etkilerinin Farklı Deneysel Tasarım Yöntemleri ile İncelenmesi, İşletme Fakültesi Dergisi, 9(1), 61-71.
14. Kumar A., Ishtiaque S.M., Salhotra K.R., 2006. Analysis of Spinning Process Using the Taguchi Method. Part III: Effect of Spinning Process Variables on Migration Parameters of Ring, Rotor and Air-Jet Yarn. Journal of the Textile Institute. 97(5), 377-384.
15. Sabır E.C., Özgür, E., 2014. Seçilmiş Dokuma Kumaşların Eğilme Uzunluğuna Boyamanın ve Şardonlamamanın Etkisinin İstatistiksel Yöntemlerle Araştırılması, <https://fbe.cu.edu.tr/storage/fbeyedek/makaleler/2014/secilmisdokuma.pdf>, Access date: April 2023.
16. Ömeroglu S., Karaca E., Becerir B., 2010. Comparison of Bending, Drapability and Crease Recovery Behaviours of Woven Fabrics Produced From Polyester Fibers Having Different Cross-Sectional Shapes. Textile Research Journal, 80, 1180-1190.
17. Kazmi K., Javed Z., Salman M., Iftikhar F., Ahmed N., Naeem J., Jabbar A., Karahan M., Naeem M.S., 2023. Optimization of Knitted Fabrics for Better Thermophysiological

- Comfort by Using Taguchi-Based Principal Component Analysis. *Textilec.* 66(1), 18-30.
18. Mavruz, S., Ogulata, R.T., 2010. Taguchi Approach for the Optimisation of the Bursting Strength of Knitted Fabrics. *Fibres & Textiles In Eastern Europe*, 18(2), 78-83.
 19. Ogulata, R.T., Mezarcioz, S.M., 2011. Optimization of Air Permeability of Knitted Fabrics with the Taguchi Approach. *Journal of the Textile Institute*, 102(5), 395-404.
 20. Zeydan, M., 2008. Modelling the Woven Fabric Strength Using Artificial Neural Network and Taguchi Methodologies. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 20(1-2), 104-118.
 21. Shabaridharan, K., Das, A., 2014. Analysis of Thermal Properties of Multilayered Fabrics by Full Factorial and Taguchi Method. *Journal of the Textile Institute*, 105(1), 29-41.
 22. Kuo, C.F.J., Lin, W.T., 2019. Optimum Processing Parameters of Sueding Fabric Comfort by Applying the Taguchi Method and Fuzzy Theory. *Textile Research Journal*, 89(23-24), 5165-5176.
 23. Özgür E., 2013. Dokunmuş Kumaşın Örgü Yapısının Şardonlu Kumaşın Kalite Özelliklerine Etkisinin İstatistiksel ve Taguchi Yöntemiyle Araştırılması, Master Thesis, Department of Textile Engineering, University of Çukurova, Adana/Turkey, 144.
 24. Eymen U.E., 2007. SPSS 15.0 Veri Analizi Yöntemleri. URL: www.istatistikmerkezi.com.

Investigating Effect of Geometric Differences on Fluid Behavior in Synthetic Jets

Melisa YILMAZ^{1,2} ORCID 0009-0007-6800-3530

N. Filiz TÜMEN ÖZDİL^{*1} ORCID 0000-0003-0083-7524

Hürrem AKBIYIK² ORCID 0000-0002-1880-052X

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Department of Mechanical Engineering, Adana, Türkiye

²Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Department of Aerospace Engineering, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 05.05.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: YILMAZ, M., TÜMEN ÖZDİL, N.F., AKBIYIK, H., (2023). Investigating Effect of Geometric Differences on Fluid Behavior in Synthetic Jets. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 305-316.

Abstract

A synthetic jet is a flow that is created by an actuator vibrating at a specific frequency and amplitude. In this study the velocities and propagation of synthetic jets have been measured using both circular and single-wave orifice geometries. Axial velocity measurements in the direction of flow have been taken using the PCE 423 model hot wire anemometer. Also flow visualization has been performed using TiO₂ surface oil visualization to determine velocity distributions in the radial direction. The measurements have been conducted at different H/D values, representing the ratio between the axial distance (H) and the orifice diameter (D). The excitation frequency has been varied between 4 Hz and 5 Hz with a sinusoidal signal type. The results have shown that circular orifice geometry have higher velocities in the axial direction. However, When the axial velocity was measured at 4 Hz, it has been observed that the single wave geometry provided results close to a circle at H/D = 13 and 14 values, and at 5 Hz for H/D = 12 and 13 values. This suggests that the geometric shape is not very important at high H/D ratios. In addition, the axial velocity values for a single wave orifice geometry show almost the close results for both excitation frequency values. The flow visualization results have indicated that the single-wave orifice geometry with H/D=12 ratio perform better and provides a more accurate and well-distributed velocity field. In conclusion, the findings of this study suggest that synthetic jets could be potentially useful for industrial applications, especially in heat transfer applications with their extended flow field implications.

Keywords: Synthetic jet, Hot wire anemometer, Flow visualization, Single wave orifice, Excitation frequency, Flow control technique.

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): N. Filiz TÜMEN ÖZDİL, fozdil@atu.edu.tr

Sentetik Jetlerde Geometrik Farklılıkların Akış Davranışı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Öz

Sentetik jet, belirli bir frekansta ve genlikte titreşen bir aktüatör tarafından oluşturulan bir akıştır. Bu çalışmada, dairesel ve tek dalga orifis geometrileri kullanılarak sentetik jetlerin hızları ve yayılımı ölçülmüştür. Akış yönünde eksenel hız ölçümleri PCE 423 model sıcak tel anemometresi kullanılarak alınmıştır. Ayrıca, TiO₂ yüzey yağ görselleştirme kullanılarak radyal yöndeki hız dağılımlarını belirlemek için akış görselleştirme yapılmıştır. Ölçümler, eksenel mesafe (H) ve orifis çapı (D) arasındaki oranı temsil eden farklı H/D değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Uyarma frekansı sinüs sinyal tipi ile 4 Hz ve 5 Hz arasında değiştirilmiştir. Sonuçlar, dairesel orifis geometrisinin eksenel yönde daha yüksek hızlara sahip olduğunu göstermiştir. Ancak, eksenel hız 4 Hz'de ölçüldüğünde, tek dalga geometrisinin H/D = 13 ve 14 değerlerinde daireye yakın sonuçlar verdiği, 5 Hz'de ise H/D = 12 ve 13 değerlerinde benzer sonuçlar sağladığı gözlemlenmiştir. Bu, yüksek H/D oranlarında geometrik şeklin çok önemli olmadığını düşündürmektedir. Ayrıca, tek dalga orifis geometrisi için eksenel hız değerleri, her iki uyarma frekansı için neredeyse aynı sonuçlar vermiştir. Akış görselleştirme sonuçları, H/D = 12 oranı için tek dalga orifis geometrisinin daha iyi performans gösterdiğini ve daha doğru ve iyi dağılmış bir hız alanı sağladığını göstermiştir. Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları, sentetik jetlerin özellikle geniş akış alanı etkileriyle ısı transferi uygulamalarında potansiyel olarak kullanışlı olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sentetik jet, Sıcak tel anemometresi, Akış görselleştirme, Tek dalga orifis, Uyarma frekansı, Akış kontrol tekniği

1. INTRODUCTION

A synthetic jet is a type of flow that is created by a fluid or gas being blown out of a small cavity. This flow generates vortices or swirling motions in the surrounding fluid or gas and can be used to produce a controlled flow or to manipulate the airflow around a surface. The fluid or gas is alternately blown out and sucked back into the actuator, creating a cyclical flow pattern. This flow pattern can be used to control the airflow around a surface by altering the pressure distribution on the surface. Synthetic jets are used in various sectors such as aviation, energy, and industrial processes for applications such as flow control and mixing. Additionally, synthetic jets can effectively cool electronic devices that generate high heat. In this study, synthetic jet is created with a moving membrane by generating a closed volume with a small opening on the loudspeaker. It is aimed to experimentally examine the variation of the synthetic jet flow characteristics depending on the orifice shape and to determine the synthetic jet characteristics.

Tesar and Kordik [1] used a mathematical model for synthetic jet actuators which produces a jet flow or gas through a small cavity. They used a quasi-similarity approach, which involves scaling the problem to reduce the number of independent variables, in order to simplify the model. Then, they use this model to investigate the behavior of synthetic jets in various conditions, such as changes in the amplitude and frequency of the actuator. It is reported that the quasi-similarity approach was a useful tool for modeling synthetic jets, as it allows for the investigation of a wide range of parameters with relatively simple models. They also suggested that their model can be used to optimize the design of synthetic jet actuators for specific applications. Tesar and Kordik [2] used Fourier analysis to examine the power spectral density of synthetic jets and compared it to that of natural jets. They also investigated the effect of various parameters, such as jet frequency, amplitude, and Reynolds number, on the spectral characteristics of synthetic jets. Their results showed that synthetic jets exhibit distinct spectral characteristics that differ from

those of natural jets. Furthermore, it is observed that synthetic jets produce a broadband spectrum of frequencies, which may have important implications for their potential applications in flow control and noise reduction. Oren and Gutmark [3] investigated the flow characteristics of non-circular synthetic jets with a vibrating diaphragm. They focused on the effects of various parameters, such as the aspect ratio, the actuation frequency, and the Reynolds number, on the flow characteristics of the synthetic jets. They used both experimental and numerical methods to study the flow characteristics of the synthetic jets. Particle image velocimetry (PIV) was used to measure the velocity field of the flow. The results of the study showed that the flow characteristics of non-circular synthetic jets are significantly influenced by the aspect ratio, actuation frequency, and Reynolds number. It was observed that the formation of vortex rings in the flow, which is important for understanding the underlying physics of the generated jet flow. Travnicek et. al. [4] defined a study on the visualization of synthetic jet formation in air. Synthetic jets were devices that produced a pulsating flow of fluid or gas, and they had a variety of applications in areas such as cooling and ventilation. They used particle image velocimetry and shadowgraph techniques to visualize the formation of synthetic jets in air. They studied the behavior of synthetic jets produced by different actuator shapes, including circular, rectangular, and triangular. The results showed that the actuator shape has a significant effect on the formation and behavior of the synthetic jet, with the triangular actuator producing the most efficient jet. Crispo et. al. [5] explained an experimental study of the flow field produced by a chevron synthetic jet actuator. They investigated the effect of changing the operating parameters of the actuator, including the oscillation frequency, amplitude, and duty cycle, on the resulting flow field. The study reveals that the flow field produced by the chevron synthetic jet actuator is complex and includes multiple vortex structures with different sizes and intensities. They also observed that the actuator's operating parameters have a significant impact on the flow

field's characteristics, such as the position and strength of the vortex structures. Feero et. al. [6] tried cylindrical, conical and contraction (curvilinearly contracting) models in their study, in which they examined the effect of the change in void structure on synthetic jet performance. They stated that the radial velocity profiles were the same in the three models, but their magnitudes were different. In terms of mean momentum fluxes, they revealed that it is highest in the cylindrical and lowest curvilinear contraction model. In addition, they explained that the curvilinear constrictive model consumes less power at the point where the cavity oscillation reaches its peak and has the highest efficiency in oscillation. Rylatt and O'Donovan [7] experimentally studied the effect of a confined synthetic jet with and without channels on heat transfer. The channel output diameter was adjusted to 1.2, 1.6 and 2, and its effects on the results were examined. In their study, they changed the dimensionless Stroke length ($L_0/D=15$) the Reynolds number to 3000 ($Re=3000$), and the jet-to-surface distance to $H/D= 0.5-3$. Provides the greatest increase in heat transfer at $H/D = 1$. They explained that the reason for adding a channel was to eliminate the effects of both quasi-constraint and restraint. Bhapkar et. al. [8] investigated the acoustic and heat transfer characteristics of an impinging elliptical synthetic jet generated by an acoustic actuator. They experimentally studied the influence of various parameters on the flow field and heat transfer rate, including the geometry of the orifice, actuation frequency, and amplitude. They found that the elliptical synthetic jet can provide better heat transfer performance than traditional circular jets, and that the performance can be further improved by adjusting the actuation parameters. The studied suggests that synthetic jets can be a promising approach for enhancing heat transfer in various applications, and that the elliptical geometry may be a preferred shape for improving performance. Ghaffari et. al. [9] investigated the flow and heat transfer characteristics of a slot-impinging synthetic jet. They have scanned the local flow field using PIV, a particle imaging technique. Synthetic jets are a type of airflow

created by a fluctuating motion generated in a cavity bounded by a diaphragm. Using different air velocities, jet exit angles, and jet/nozzle spacings, the effects of synthetic jets on the slot surface were examined. The experiments showed that the maximum cooling performance was associated with a spray-surface gap of $5 \leq H/D \leq 10$. It is stated that it does not show full consistency in heat transfer at close jet surface gap distance such as $H/D=2$. Additionally, the jet exit angle and jet/nozzle spacing were observed to have a significant effect on the flow and heat transfer characteristics of the synthetic jet on the slot surface. For a constant Reynolds number, the cooling is increased at high Stokes numbers, but the coefficient of performance is decreased. The experimental study by Travnicek and Tesar [10] is on circular synthetic jet production and its control. This active flow control system is designed with a synthetic jet with a nozzle. Synthetic jets are driven with pulse modulation. In their experiments, two different flow areas are observed. One of them is with the bubbles form a small circulation zone and the other have a large circulation zone. They showed that the wall pressure and heat transfer take place towards the center at the stopping point in one and outward from the rest point in the other. Mangate and Chaudhari [11] examined the impinging of the multiplying multi-orifice structure on cooling performance. In the study, different configurations of multiple circular holes were tested. They found that the maximum heat transfer coefficient obtained with the multi-orifice synthetic jet is higher than the conventional single-hole synthetic jet. In the cost calculation, they said that the multiplying multi-orifice synthetic jet is a cheaper cooling than a fan. Lee et. al. [12] investigated the effects of rectangular aperture for the synthetic jet with an experimental setup using a loudspeaker and acrylic sheets. They tested three rectangular orifice shapes with two different hydraulic diameters (4 mm and 8 mm) and two aspect ratios (4 and 8) as well as four different cavity sizes. Actuator jet exit velocity was measured from the outlet plate at positions 2, 4, 6, and 8. The frequency and Reynolds number were changed to determine the combination that would

provide the most heat transfer in the tested configurations. As a result, they explained that very shallow cavities have a negative effect on the jet velocity and the best heat transfer results are obtained in orifices with a larger hydraulic diameter with a smaller aspect ratio. Gil and Strzelczyk [13] investigated the momentum velocity associated with the actuator release frequency, the Reynolds number, the force applied to the actuator, and different gap configurations. They defined the ratio of the kinetic power of the flow based on the momentum velocity as the efficiency of the synthetic jet actuator. They revealed that the maximum efficiency is close to the speaker resonance frequency or the Helmholtz frequency. They showed in their experimental studies that the maximum efficiency depends on the geometry of the actuator, that is, the geometric structure of the internal volume. Hong et. al. [14] worked on the parameters that affect the synthetic jet characteristic. They showed that the edge configuration influences the eddy ring, such as mass flow rate and jet efficiency. At the same time, they found that the distortions in the jets are high when the orifice geometry is not a circle. In addition, regarding the aspect ratio, which is the parameter affecting the characteristic, they found that a higher aspect ratio will result in higher jet output. Greco et. al. [15] compared the twin-hole synthetic jet actuator with the conventional single-hole in this study and examined the Reynolds number as 5100 and the Strouhal number as 0.024. For a single jet, the axial velocity profile near the plate at short distances to the blast table showed a double peak near the jet axis. At high nozzle-plate distance, they revealed that the axial velocity profile is bell-shaped. Comparison of the two synthetic jet configurations found higher axial velocity and lower axial phase-correlation with turbulence level for the twin case due to the interaction of the jets. In addition, the saddle point in the suction phase showed a different structure in both configurations. Wang et. al. [16] investigated jet characteristics and heat transfer in orifice structures with non-circular square, rectangular and elliptical geometry. It has been found that the orifice configuration has a

significant effect on the heat transfer performance of an impinging synthetic jet by influencing the eddy behavior. They found that the heat transfer increased in elliptical and rectangular orifices compared to the circular structure. At the same time, double peak temperature distribution was detected in rectangular geometry with AR value of 5.

As can be seen in the literature summaries above, studies regarding flow characteristics have been carried out for many geometries such as triangle, square, rectangle, circle, multiple circles, elliptical. The effects of orifice geometry on the flow characteristics have been examined in these studies. As a result of these investigations, an orifice geometry that has not been tried before in the literature has been studied in this study. The aim of this study is to contribute to fulfill the gap in the literature.

2. MATERIAL AND METHOD

A synthetic jet flow has been generated using a loudspeaker type actuator by utilizing the desired frequency structure. The flow characteristics of the obtained synthetic jet have been examined. A hot-wire anemometer has been used to measure the velocity of the flow for different orifice geometries in generating the synthetic jet flow. Two different orifice structures have been determined, one being circular geometry and the other being a single-wave structure that has not been previously encountered in the literature. To examine the flow field, the surface of a plexiglass plate has been visualized with TiO₂-coated oil. A plexiglass cover has been placed on the top surface of the speaker to provide a closed volume. The flow is transmitted to the orifice exit in a laminar manner thanks to the pipe used. The orifice geometry used is a single wave structure with a width of 2 mm. Orifice geometries have been produced using PLA on a 3D printer.

2.1. General Description of Experimental Setup

In this study, sine wave type signals with frequencies of 4 Hz and 5 Hz and output amplitudes

of 4 V_{pp} have been sent from the signal generator to the synthetic jet actuator. The schematic description of the experimental setup has been shown in Figure 1. First, the signal from the signal generator has been amplified in a voltage amplifier. A DC power supply has been connected to the system to provide power to the voltage amplifier. The amplified signal has been sent to the loudspeaker. The synthetic jet flow has been generated depending on the structure and output geometry of the synthetic jet actuator, including the loudspeaker. Adjustable arms have been designed to adjust the probe position at the desired H/D ratio. This has allowed for easy up and down movement of the probe. A hot wire anemometer has been used for velocity measurement. The values have been read from the digital display. The general schematic description of the experimental setup has been shown in Figure 2.



Figure 1. Solid model schematic view of the experimental setup

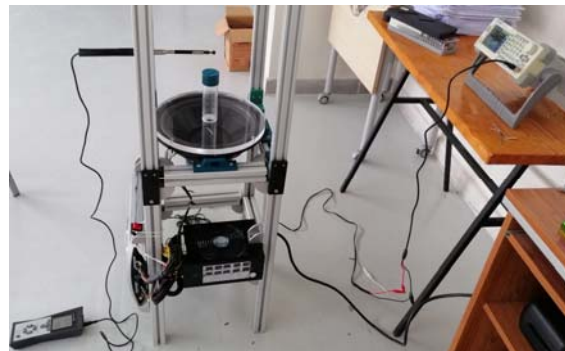


Figure 2. Photographic description of experimental setup

The PCE 423 model hot wire anemometer shown in Figure 3 has been used to measure the linear flow velocity of the synthetic jet generated by the loudspeaker. The moving parts designed for the probe movement have also been shown in the same figure.

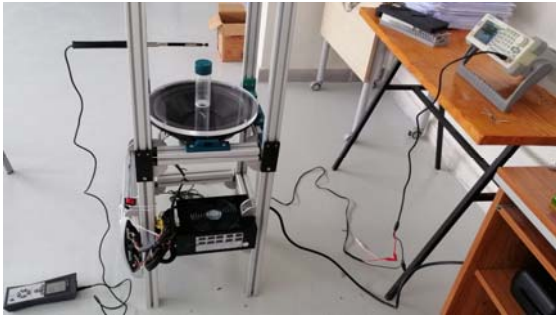


Figure 3. Schematic representation of the velocity measurement system with using hot wire anemometer

2.2. Synthetic Jet Actuator Design

The components that made up the synthetic jet generation system have been shown in Figure 4. A Jameson Brand JW-36 model 1200 W loudspeaker with an outer diameter of 30.5 cm and an inner diameter of 29.5 cm has been used. A 15 mm thick plexiglass cover has been placed over the loudspeaker to create a closed volume. A 40 mm diameter pipe has been tightly fitted and fixed to the plexiglass cover. 4 parts have been designed using a 3D printer to secure the loudspeaker to the sigma profile, thus reducing the effect of vibration on the loudspeaker from the sigma profile. The plexiglass sheet has been produced using a 3-axis CNC router to bring it to the desired dimensions.

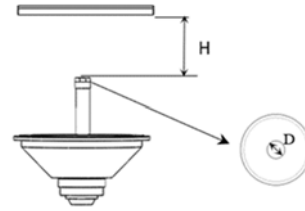
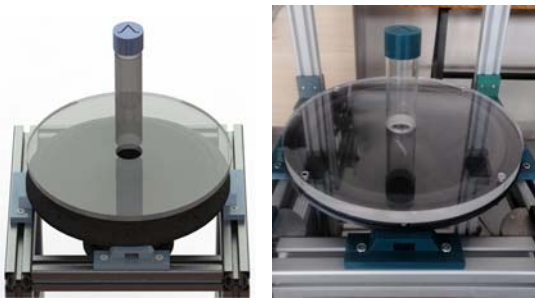


Figure 4. Schematic and photographic description of the loudspeaker system

2.3. Orifice Geometry Design

The orifice geometry designed for placement on the pipe has been a single wave shape, as shown in Figure 5, which has been compared to a circle (Figure 6). The dimensions of the orifice geometries have been shown in detail in the technical drawing in Figure 7. The inner diameter of the geometry that has passed through the pipe has been determined to be 39.98 mm. Its outer diameter has been 43.98 mm. The diameter of the circle has been determined to be 11 mm, with an area of 95 mm². The center of the circle has been taken as a basis for designing the single wave geometry orifice. In addition, the width of the area where the flow exits in the single wave geometry orifice has been determined to be 2 mm. The total exit area in the geometry has been designed to be the same as that of the circle (95 mm²). As a result, the exit areas of both geometries have been kept constant.



Figure 5. Orifice shape of single wave

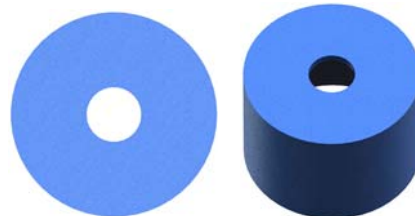


Figure 6. Orifice shape of base model

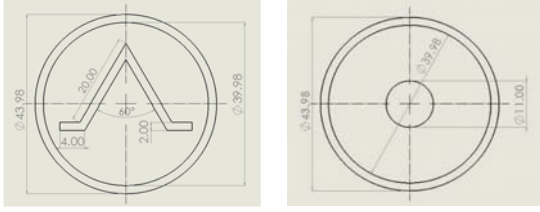


Figure 7. Technical drawing of orifice shapes

As seen in Figure 8, two tree brand 3D printers were used to produce orifice geometries.



Figure 8. Production of orifice shapes by using 3D printer

2.4. Flow Visualization Setup

The signal, which is generated from a signal generator with a 4 Hz frequency and 4 V_{pp} sinusoidal signal structure, has been amplified in an amplifier and then sent to the speakers. The setup used for flow visualization is shown in Figure 9. First, a square plexiglass plate with dimensions of 30cmx30cm and a thickness of 4 mm has been used. This plate has been painted black using spray paint. Then, the surface has been painted with a TiO₂ plate using the oil visualization technique. This plate has been placed in the direction of the synthetic jet flow as shown in Figure 9. The synthetic jet flow, which is obtained from the speaker, has been achieved by spraying it onto the plexiglass plate coated with TiO₂ at a certain H/D ratio.

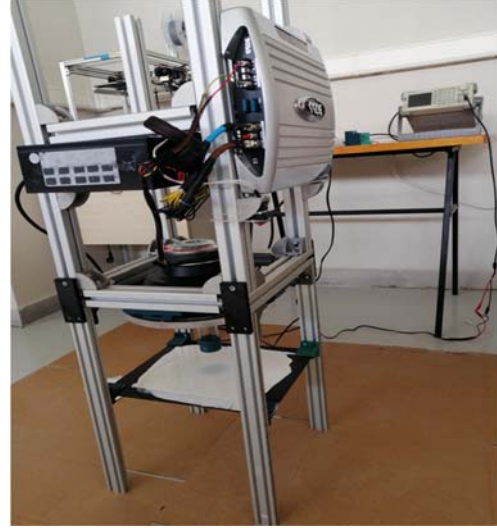


Figure 9. Schematic description of experimental setup for flow visualization

3. RESULTS

A synthetic jet is a type of flow produced using a loudspeaker or similar device. This jet may look like a real jet and may resemble a real jet in some of its properties. In this study, SJ flow was obtained by using a speaker type actuator. Velocity measurement and flow visualization were performed in the axial direction using different orifice structures.

3.1. Axial Velocity Experiment Results

Measurements have been made of the axial flow at a given H/D ratio when the air has been released through the loudspeaker. The PCE 423 model hot wire anemometer has been used to make the axial measurement with sinusoidal signal structures of 4 Hz and 5 Hz frequency. With this device, the air flow rate has been calculated by measuring the change in wire temperature caused by the air flow. In this way, accurate results have been obtained even at low velocities. Axial velocity has expressed the velocity of the air moving along the duct, while radial velocity has expressed the velocity of the air around the duct. When the axial velocity is high, it shows that air moves faster through duct. In this case, the exposed synthetic jet may have had a

longer range. However, greater axial velocity may have caused the synthetic jet to mix less with the surrounding air, meaning that the air has not been more homogeneous in the circumferential direction as seen in Figure 12. When the frequency was increased to 5 Hz (Figure 11), although there was a slight increase in velocity in the circular orifice, the single-wave geometry orifice produced results similar to those at 4 Hz. This suggests that the single-wave geometry provides a more homogeneous fluid distribution, which is also supported by flow visualization results (Figure 12). However, when the velocity measurements in the axial direction at 4 Hz and 5 Hz have been examined, it has been seen that the single wave geometry has given results close to the circle in increasing H/D values. Especially when looking at the velocity measurement at 4 Hz (Figure 10), it has been seen that the single wave geometry has given results close to a circle at H/D =13 and 14 values, and at 5Hz (Figure 11) H/D =12 and 13 values. For this reason, it can be said that the geometric shape has not been very important at high H/D ratios.

The velocity has been measured at 4.2 m/s for the single wave orifice structure at a probe position of H/D=4, while it has been 5.7 m/s for the circular orifice. It has been seen in the graphs in Figure 10 and Figure 11 that while this value has decreased linearly in the circle, it has progressed almost constantly in the other orifice's form. These results have shown that the single wave orifice design has operated at slower speeds than the circular orifice design. However, it may have indicated that the performance of the single wave-shaped orifice has been less efficient than the circular orifice or has exhibited different flow characteristics.

Although the single wave geometry orifice has a smaller outlet area, the total outlet areas are the same as the circle. However, the single wave geometry orifice has given fewer velocity measurement results than the circular orifice. The single wave geometry orifice has a sharper edge than the circular geometry orifice. This sharp edge can cause more energy loss during the acceleration of the fluid. Additionally, the single wave geometry orifice has changed the direction of the fluid more, which can cause velocity loss.

In contrast, the orifice in a circular geometry has changed the direction of the fluid less and therefore has caused less velocity loss. Therefore, the lower exit velocity of the single-wave orifice can have been explained by the effect of geometrical properties. Also, as the orifice cross-sectional area has widened, the velocity has been expected to have decreased, but the change in velocity has been limited until a certain diameter value because the increased outlet area has reduced local losses.

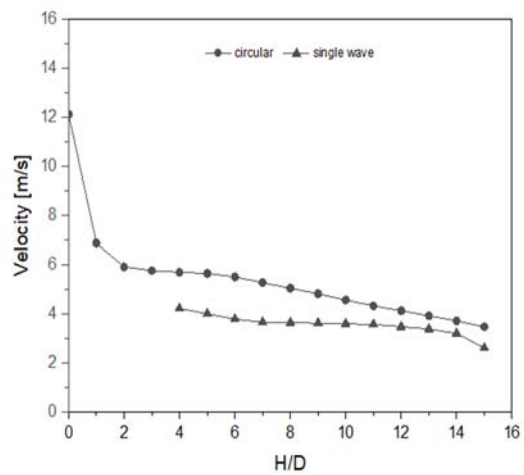


Figure 10. Velocity measurement results at 4 Hz frequency in axial direction

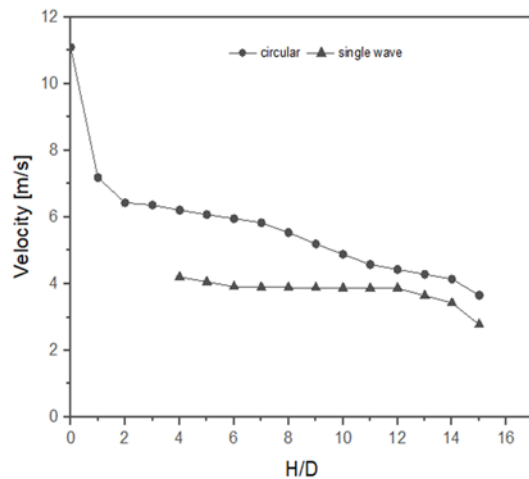
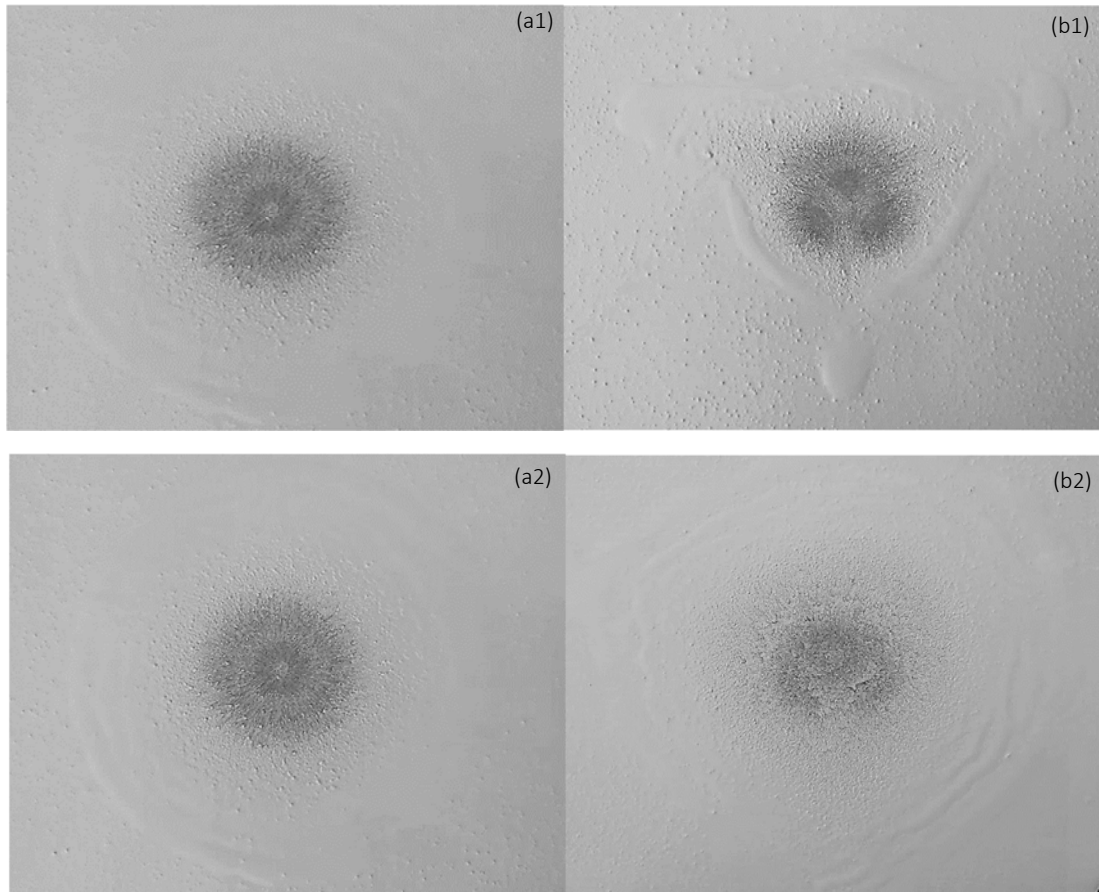


Figure 11. Velocity measurement results at 5 Hz frequency in axial direction

3.2. Flow Visualization Experiment Results

The flow visualization results have helped to improve our understanding of the design characteristics and fluid behavior. The difference in velocity distribution in the radial direction indicates that the single-wave orifice design exhibits a different fluid behavior. Figure 12 compares the flow visualization results of the circle and single wave orifice shapes at different positions of H/D (H/D= 3, 6, 9, 12 and 15). Looking at the flow visualization results, it has been observed that the velocities and propagation patterns in the radial direction have varied according to the single wave and circular orifice geometry at different H/D ratios. Especially, in the ratio H/D = 3 of the plate position, the distribution of velocities in the radial

direction has differed in the orifice with a single wave geometry compared to the circular geometry. Although the impact areas have been the same, a triangular spread has been observed in the single wave geometry while a more circular spread has been observed in the circular geometry. This can provide an advantage for using the single wave orifice in applications that require more precise control. If H/D = 6, the impact area has been observed to be more layered in the single wave orifice compared to the circular orifice, based on the flow visualization results. These results may provide an advantage depending on the specific application requirements. The velocity and propagation patterns in the radial direction can be important factors in certain applications.



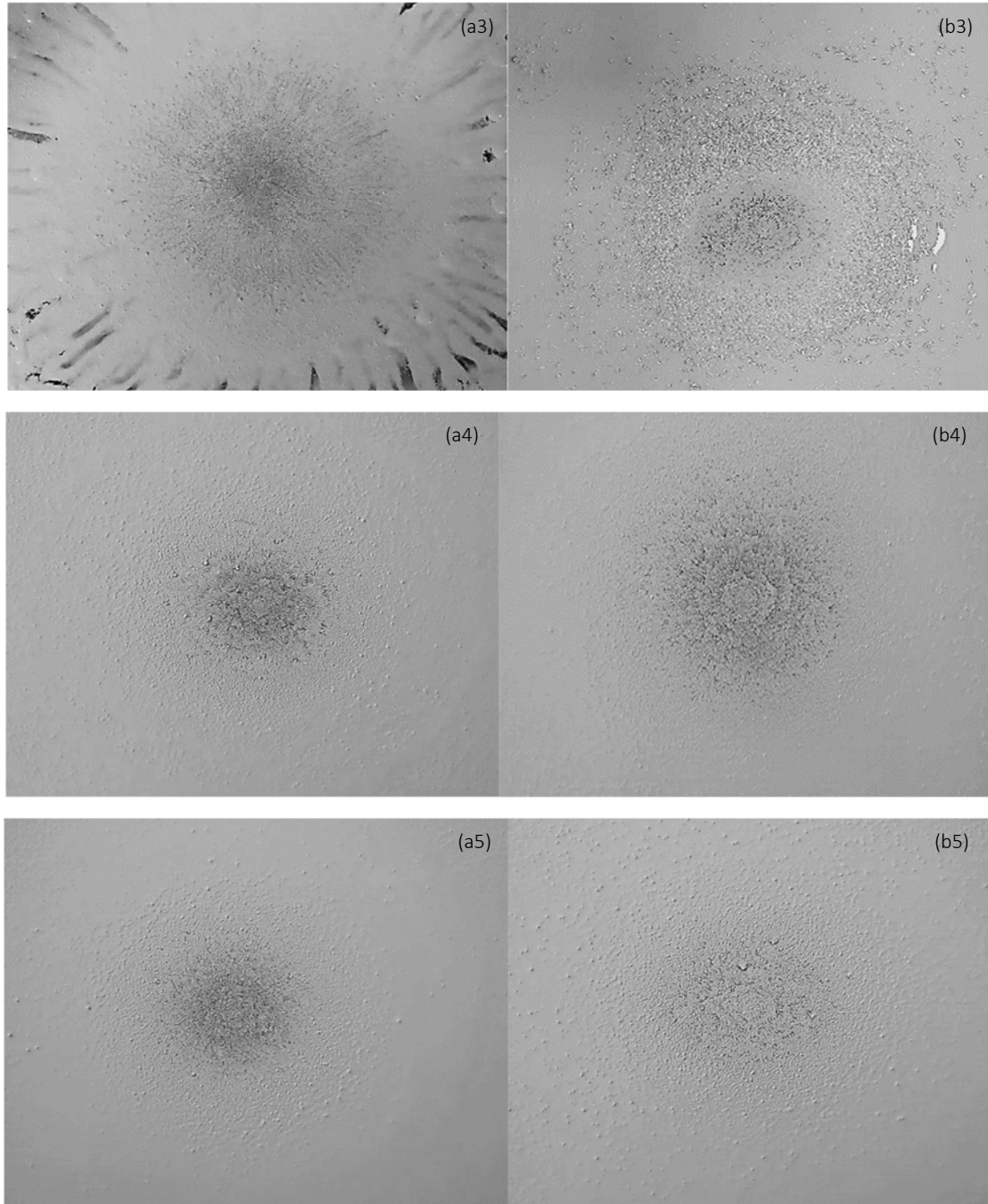


Figure 12. Flow visualization of circular (a1-a5) and single wave (b1-b5) geometry orifice shapes where H/D is 3,6,9,12 and 15, respectively

An increase in the H/D value has meant an increase in the distance of the fluid around the orifice. Therefore, at higher H/D values, the diffusion of the fluid takes place over a larger area. This also applies to the single wave geometry orifice design, and the larger the area of influence of this design, the greater the dispersion of the fluid. This can increase the performance of the design in a particular application area. However, there has been a velocity difference between two different orifice designs that have shown a similar spread (circular) at higher H/D values, which may indicate that one design has been more efficient due to the geometry. It has been seen that the most efficient ratio in the orifice design is $H/D = 12$ and the single wave orifice design has more area of influence than the circular orifice.

The use of single-wave orifices may have been beneficial, particularly in applications where low-speed fluids need to be mixed, such as ventilation systems, heating/cooling systems, and industrial chemical processes. A single wave orifice design may have been a potential candidate for heat transfer systems. It may have been useful, particularly in places where air needs to be distributed. This design may have efficiently regulated the flow with a larger impact area and greater dispersion, helping to filter out unwanted substances such as dust, metal particles and etc. At an H/D ratio of 12, it may have been seen to be more effective than the circle orifice in terms of radial distribution, which may have helped distribute the fluids used in heat transfer applications more effectively. However, the suitability of the design for cooling applications may have depended on the characteristics and requirements of the application.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

Synthetic jets are typically generated using a loudspeaker, an actuator that provides membrane movement. The loudspeaker moves at a specific frequency and amplitude controlled by an amplifier, which induces the formation of a synthetic jet flow. In this study, a synthetic jet actuator has been designed using a speaker, and axial velocity

measurement and flow visualization have been performed using a new orifice. The effects of circular and single-wave geometry orifices with different H/D ratios on fluid behavior have been examined. Based on the results of the axial velocity, the orifice with single-wave geometry moves steadily at a lower velocity than the circular geometry. The velocity in the circular geometry decreases linearly. The flow visualization results indicate that the orifice with single-wave geometry performs better at certain H/D ratios. At $H/D = 3$, a triangular spreading is observed at the plate position for the single wave geometry, while a more circular spreading is observed for the circular geometry (Figure 12). This suggests that the single wave orifice geometry could be used in applications that require more sensitivity. Also it has been found that the orifice with single-wave geometry is more efficient, especially at an H/D ratio of 12. According to presented results, it can be considered that orifices with single-wave geometry may be more effective in heat transfer applications.

5. REFERENCES

1. Tesar, V., Kordik, J., 2009. Quasi-Similarity Model of Synthetic Jets. *Sensors and Actuators A: Physical*, 149, 255-265.
2. Tesar, V., Kordik, J., 2011. Spectral Analysis of Synthetic Jets. *Sensors and Actuators A: Physical*, 167, 213-225.
3. Oren, L., Gutmark, E., Muragappan, S., Khosla, S., 2009. Flow Characteristics of Non-Circular Synthetic Jets. *AIAA*, 2009-1309.
4. Travnicek, Z., Brouckova, Z., Kordik, J., Vit, T., 2015. Visualization of Synthetic Jet Formation in Air. *Journal of Visualization*, 18, 595-609.
5. Crispo, C.M., Greco, C.S., Avallone, F., Cardone, G., 2017. On the Flow Organization of a Chevron Synthetic Jet. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 82, 136-146.
6. Feero, M.A., Lavoie, P., Sullivan, P.E., 2015. Influence of Cavity Shape on Synthetic Jet Performance. *Sensors and Actuators A: Physical*, 223, 1-10.
7. Rylatt, D.I., O'Donovan, T.S., 2013. Heat Transfer Enhancement to a Confined Impinging

- Synthetic Air Jet. *Applied Thermal Engineering*, 51, 468-475.
8. Bhapkar, U.S., Srivastava, A., Agrawal A., 2014. Acoustic and Heat Transfer Characteristics of an Impinging Elliptical Synthetic Jet Generated by Acoustic Actuator. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 79, 12-23.
9. Ghaffari, O., Solovitz, S.A., Arik, M., 2016. An Investigation into Flow and Heat Transfer for a Slot Impinging Synthetic Jet. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 100, 634-645.
10. Travnicek, Z., Tesar, V., 2011. An Annular Impinging Jet Alternated by Pulse-Modulated Synthetic Jets. *Proceedings of the ASME/JSME 2011 8th Thermal Engineering Joint Conference (AJTEC2011)*, March 13-17, Honolulu, Hawaii, USA.
11. Mangate, L.D., Chaudhari, M.B., 2015. Heat Transfer and Acoustic Study of Impinging Synthetic Jet Using Diamond and Oval Shape Orifice. *International Journal of Thermal Sciences* 89, 100-109.
12. Lee, C.Y.Y., Woyciekoski, M.L., Copetti, J.B., 2016. Experimental Study of Synthetic Jets with Rectangular Orifice for Electronic Cooling. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 78, 242-248.
13. Gil, P., Strzelczyk, P., 2016. Performance and Efficiency of Loudspeaker Driven Synthetic Jet Actuator. *Experimental Thermal and Fluid Science* 76, 163-174.
14. Hong, M.H., Cheng, S.Y., Zhong, S., 2020. Effect of Geometric Parameters on Synthetic Jet: A Review. *Phys. Fluids*, 32, 031301.
15. Greco, C.S., Castrillo, G., Crispo, C.M., Astarita, T., Cardone, G., 2016. Investigation of Impinging Single and Twin Circular Synthetic Jets Flow Field. *Experimental Thermal and Fluid Science* 74, 354-367.
16. Wang, L., Fenga, L., Xu, Y., Xu, Y., Wang, J., 2022. Experimental Investigation on Flow Characteristics and Unsteady Heat Transfer of Noncircular Impinging Synthetic Jets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 190, 122760.

Comparative Analysis for Atmospheric Oscillations

Mine Tülin ZATEROĞLU*¹ ORCID 0000-0002-1050-6174

¹Cukurova University, Vocational School of AOSB Technical Sciences, Electrical and Energy Department, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 17.04.2023 Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: ZATEROĞLU, M.T., (2023). Comparative Analysis for Atmospheric Oscillations. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 317-331.

Abstract

In recent decades, studies on atmospheric circulations indicate that those patterns have influences on meteorological variables. This paper investigates the comparative statistical analysis of atmospheric oscillations with climatological elements. Based on analysis of the climate data obtained from observed values of meteorological station in Antalya, it was pointed that atmospheric elements such as meteorological variables were associated with atmospheric oscillations such as North Atlantic Oscillation, Arctic Oscillation, Antarctic Oscillation and Pacific-North American pattern. Spearman's rho and Kendall's tau statistics were employed to reveal the relations between atmospheric variables and atmospheric oscillations as statistically significant. Both coefficients were compared in interpreting the direction and strength of the relationships. It was seen that Spearman's rho coefficients presented more suitable values generally.

Keywords: Atmospheric oscillation, Meteorological variables, Spearman's rho, Kendall's tau

Atmosferik Salınımlar için Karşılaştırmalı Analiz

Öz

Son yıllarda, atmosferik salınımlar üzerine yapılan araştırmalar, bu modellerin iklim değişkenleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu makale, atmosferik salınımların klimatolojik unsurlarla karşılaştırmalı istatistiksel analizini incelemektedir. Antalya'daki meteoroloji istasyonunun gözlemlenen değerlerinden elde edilen iklim verilerinin analizine dayanarak, meteorolojik değişkenler gibi atmosferik unsurların Kuzey Atlantik Salınımı, Arktik Salınımı, Antarktika Salınımı ve Pasifik-Kuzey Amerika modeli gibi atmosferik salınımlarla ilişkili olduğuna işaret edilmiştir. Spearman's rho ve Kendall's tau istatistikleri, atmosferik değişkenler ve atmosferik salınımlar arasındaki ilişkileri istatistiksel olarak anlamlı olacak biçimde ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. İlişkilerin yönü ve gücü yorumlanırken her iki katsayı karşılaştırılmıştır. Spearman's rho katsayılarının genel olarak daha uygun değerler verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik salınım, Meteorolojik değişkenler, Spearman's rho, Kendall's tau

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Mine Tülin ZATEROĞLU, mtzateroglu@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Climatic characteristics for any region have changed around the world over recent years. Any change climate especially affects the physical geography elements and the climate properties of urban areas. The consequences of climate change brought different effects on human life such as environmental, economic, social and health problems. The environmental deterioration such as drought that is occurred in the lack of precipitation is one of the environmental problem as a result of climate change [1]. Climate change is taking the world by storm day by day and It has negative results in terms of agricultural product progress [2]. Drought due to climate change and the negative impact on agricultural areas will cause mandatory changes in land use in the coming years [3,4]. Excessive increase and decrease of temperatures negatively affect the life of living things. It will be difficult to find clean water in the future as the increase of temperatures will increase the evaporation level. Increasing or falling temperatures will cause climate change [5].

An analysis was done by Santos et. al. [6] about drought events and large-scale atmospheric circulations. The increment in the periodicity of excessive climatic occurrences that took place in late years is associated with the variations in atmospheric oscillations, wind cycles and large-scale pressures [7-10]. There has been strong relationship between precipitation and atmospheric circulation [11]. Andrade et. al. [12] revealed the relationships between precipitation and atmospheric circulation for winter. Xoplaki et. al. [13] studied on the Mediterranean precipitation variability and large scale dynamics for wet season. Zorita et. al. [14] investigated the interactions of atmospheric circulation, sea surface temperature and precipitation. In last decades, analysis of atmospheric oscillations were implemented by some researchers in various areas over the world [15-31].

The North Atlantic Oscillation (NAO) is one of the principal modes of atmospheric variability in Northern Hemisphere. NAO consists of variations in surface sea level pressure between subtropical

anticyclone near Azores and subpolar cyclone near Iceland in North Atlantic [32]. North Atlantic Oscillation index (NAOi) is defined as the scale of that variation. The NAOi becomes negative or positive, respectively, depending on whether the low or high pressure value is dominant. NAOi affects especially precipitation over Turkey. For positive phase of NAOi, drier weather cases take place particularly in winter. Furthermore, in negative phase of NAOi, the systems which bring precipitation around North Atlantic have an influence on Turkey.

The Arctic Oscillation (AO) is a kind of atmospheric circulation pattern that occurs between mid and high latitudes of Northern Hemisphere. It is also known as Northern Annular Mode. The reflection of the AO's phase is the storm steering from North location to South location and the jet stream in the mid latitude. If AO index value becomes positive, it means that more drier and colder weather conditions occur in Mediterranean basin, whereas in negative value of AO index condition, more warmer and rainier weather conditions become in the Mediterranean basin [10].

The Antarctic Oscillation (AAO) is referred to as Southern Annular Mode (SAM). This pattern takes place over mid-latitudes to high latitudes in Southern Hemisphere. Its scale is defined as sea level pressure between the two latitudes mentioned above. In this region, over the extratropical Southern Hemisphere, precipitation and temperature are related closely to AAO index [33]. The Pacific-North American (PNA) pattern is another mode of atmospheric circulation around the North Pacific Ocean and near the continent North America [34]. Atmospheric oscillations, like arctic oscillation, are not only on the surface but also in the troposphere and even exist in the stratosphere [35].

Atmospheric oscillations may lead to zonal atmospheric variations and climatic conditions [36-51]. For example Arctic Oscillation led to precipitation increment [52]. Arctic Oscillation has also effect on and related to daily temperature [15]. Additionally, the interactions among atmospheric elements such as climate variables and air

pollutants, as well as with each other, lead to variations in the urban climate and its characteristics [53-60]. Furthermore, some natural and anthropogenic sources enhance the air pollution level and cause the deterioration of the air quality of urbans that affect the climate charecteristics [59-63].

It has been shown that global atmospheric circulations have influenced on climate elements on recent studies [64-75]. Hence, it is important to examine the relations between climate elements and atmospheric circulations for decision makers and policy makers to manage the climate. There has also been some studies on investigating the influence of atmospheric circulations on climatic parameters for Turkey [9,10,76-81].

In present study, it was aimed to determine the difference of the two statistical methods if there exist. Climate elements were addressed over Antalya by using correlation approach, taking into account changes in the atmospheric oscillations.

2. MATERIAL AND METHOD

The methods Spearman's rho and Kendall's tau were employed for climate data to judge the more suitable technique for defining the relations between climate variables and atmospheric circulations. Daily atmospheric circulations data were provided by Climate Prediction Center [82] whereas daily climate data were obtained from meteorological station located in Antalya for 2011-2015 period.

The correlation coefficient is used to determine the relationship between two variables in two ways, direction and strength. Its value is in range between -1 and +1. Negative values define the negative correlation and vice versa. If the value of one of the variables increases while the other decreases, an inverse relationship is mentioned. If the sign of the correlation coefficient is positive, it means the same directional relationship. It shows that while one of the variables increases (decreases), the other increases (decreases). In the case of no relationship, correlation coefficient approaches zero, whereas in the case of strong relationship, it approaches 1 in

absolute value. There has been a few correlation analysis methods used to determine the relations between the variables. In this study, Spearman's rho and Kendall's tau correlation techniques were preferred to explain the relations. The correlation coefficient is predicted for both methods to evaluate the strength of the relations between the climate elements and atmospheric circulation indices.

Before calculating the Spearman's rho correlation coefficient, observation values from large to small or small to large are sorted correctly and the sequence number is given according to this order (Sequences X and Y). Spearman's rho correlation coefficient is computed by Equation 1, as follows:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

where D is the difference between sequence numbers of X and Y, n is the number of observations.

Kendall's tau correlation coefficient is calculated as the difference between the number of concordant and discordant pairs divided by the geometric mean of the number of unequal pairs in series X and Y. This is shown in Equation 2.

$$\tau_b = \frac{P - Q}{\sqrt{(P + Q + T_x)(P + Q + T_y)}} \quad (2)$$

where P and Q denote the number of corcordant and discordant couples respectively, T_x and T_y are the number of unequal pairs in series X and Y respectively.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In present study, correlations of atmospheric circulation indices with seasonal (WIN, SPR, SUM, AUT) and annual (ANN) climate variables in Antalya were shown in Table 1-4 for 2011-2015 records. The 95% level of confidence is indicated

with boldface characters. Climate variables such as cloud cover (CLD), relative humidity (RHM), wind speed (WNS), precipitation (PRC), evaporation (EVP), pressure (PRS), and air temperature (TMP) are denoted by their respective abbreviations. Also, the cooling period October to March (OCT, NOV, DEC, JAN, FEB, MAR) was evaluated for

clarifying the relations in more detail. In addition, cross-correlations between atmospheric oscillations during different periods were presented in Table 5-6. The correlation coefficients of Kendall's tau and Spearman's rho were named as Kt_CC and Sr_CC, respectively.

Table 1. Correlations for North Atlantic Oscillation index

PERIOD	STATISTIC	CLD	RHM	WNS	PRC	EVP	PRS	TMP
ANN	Kt_CC	-,227(*)	-0,097	-0,057	-,225(*)	0,06	0,186	-,246(*)
	Sr_CC	-,323(*)	-0,137	-0,08	-,340(*)	0,092	,282(*)	-,347(*)
WIN	Kt_CC	-,439(**)	-,248(*)	-,206(*)	-0,182	,231(*)	0,187	-0,19
	Sr_CC	-,617(**)	-,335(*)	-,307(*)	-,298(*)	,336(*)	0,274	-,302(*)
SPR	Kt_CC	-0,105	0,093	-0,06	0,149	-0,048	0,003	-0,087
	Sr_CC	-0,16	0,109	-0,089	0,202	-0,056	0,014	-0,125
SUM	Kt_CC	0,125	-0,025	0,158	-0,032	-,198(*)	,211(*)	-0,112
	Sr_CC	0,167	-0,026	0,227	-0,028	-0,284	,292(*)	-0,157
AUT	Kt_CC	-0,045	-0,16	0,101	-,200(*)	0,036	0,19	-0,081
	Sr_CC	-0,071	-0,255	0,141	-0,287	0,057	,297(*)	-0,122
OCT	Kt_CC	-0,021	-0,132	,202(*)	-0,03	0,079	,237(*)	-0,096
	Sr_CC	-0,015	-0,194	,305(*)	-0,046	0,114	,339(*)	-0,183
NOV	Kt_CC	-,216(*)	-,304(**)	0,076	-0,033	0,116	-0,043	-,270(**)
	Sr_CC	-,291(*)	-,431(**)	0,096	-0,063	0,182	-0,054	-,401(**)
DEC	Kt_CC	-0,133	-0,132	-0,009	-0,137	0,141	,255(**)	-0,087
	Sr_CC	-0,229	-0,211	-0,018	-0,23	0,205	,341(*)	-0,129
JAN	Kt_CC	-,359(**)	-,204(*)	-0,151	-0,081	0,094	0,141	-0,019
	Sr_CC	-,488(**)	-0,265	-0,213	-0,129	0,138	0,212	-0,013
FEB	Kt_CC	-,418(**)	-,245(*)	0,076	-,206(*)	,331(**)	0,168	-0,137
	Sr_CC	-,564(**)	-,349(*)	0,119	-,299(*)	,468(**)	0,247	-0,207
MAR	Kt_CC	-,289(**)	0,008	-0,039	0,099	-0,059	0,187	-,216(*)
	Sr_CC	-,391(**)	0,016	-0,056	0,123	-0,083	,285(*)	-,332(*)

** . Correlation is significant at the 0.01 level ($p < 0.01$) & * . Correlation is significant at the 0.05 level ($p < 0.05$).

According to Table 1, North Atlantic Oscillation index was associated with climate elements in low and medium degree. CLD, RHM, PRC and TMP were related to NAO as negatively whereas

EVP, PRS as positively. WNS was related to NAO as negatively in WIN and positively in OCT. These relations were also shown in Figure 1.

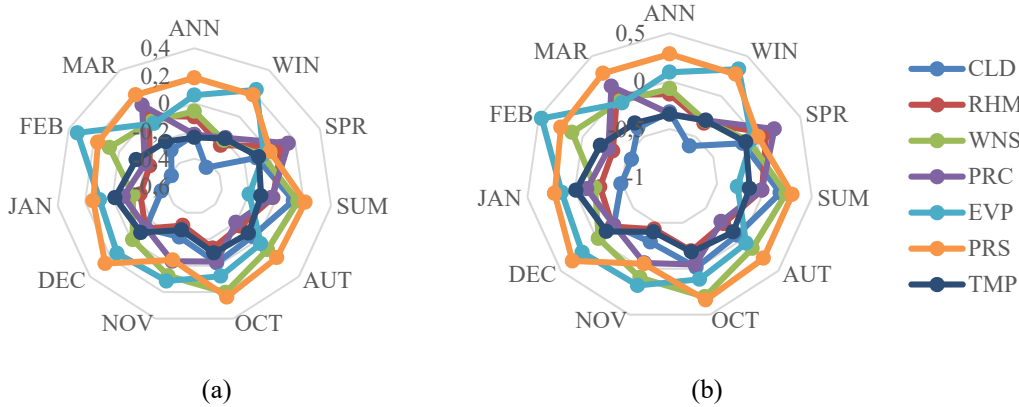


Figure 1. Correlation coefficients for North Atlantic Oscillation index (a) Kt_CC (b) Sr_CC

Table 2. Correlations for Arctic Oscillation index

PERIOD	STATISTIC	CLD	RHM	WNS	PRC	EVP	PRS	TMP
ANN	Kt_CC	-,313(**)	-0,186	-0,04	-,247(*)	0,172	0,087	-0,153
	Sr_CC	-,424(**)	-0,276	-0,053	-,360(*)	0,253	0,153	-0,231
WIN	Kt_CC	-,478(**)	-,376(**)	-0,025	-,307(**)	,237(*)	,336(**)	-,249(*)
	Sr_CC	-,637(**)	-,549(**)	-0,04	-,450(**)	,348(*)	,500(**)	-,349(*)
SPR	Kt_CC	-0,141	-0,076	0,031	-0,025	0,143	0,11	-0,029
	Sr_CC	-0,191	-0,086	0,052	-0,041	0,2	0,161	-0,05
SUM	Kt_CC	-0,042	0,026	-0,086	-0,112	-0,071	-0,04	0,007
	Sr_CC	-0,065	0,046	-0,124	-0,181	-0,11	-0,068	0,02
AUT	Kt_CC	-0,072	-,201(*)	0,111	-0,093	,231(*)	0,01	-0,177
	Sr_CC	-0,108	-,0274	0,15	-0,145	,336(*)	0,023	-0,243
OCT	Kt_CC	-0,082	-0,191	,257(*)	-0,021	0,194	,209(*)	-,200(*)
	Sr_CC	-0,114	-0,286	,357(*)	-0,016	,293(*)	,293(*)	-,305(*)
NOV	Kt_CC	-,276(**)	-,376(**)	0,193	-0,083	,208(*)	0,082	-,331(**)
	Sr_CC	-,377(**)	-,532(**)	0,277	-0,103	,313(*)	0,117	-,451(**)
DEC	Kt_CC	-,230(*)	-0,179	-0,008	-0,117	0,056	,276(**)	-0,149
	Sr_CC	-,313(*)	-0,262	0,002	-0,166	0,076	,412(**)	-0,225
JAN	Kt_CC	-,483(**)	-,323(**)	0,059	-,320(**)	0,106	,335(**)	-0,072
	Sr_CC	-,620(**)	-,489(**)	0,053	-,432(**)	0,151	,489(**)	-0,089
FEB	Kt_CC	-,405(**)	-,350(**)	0,111	-0,175	,344(**)	,200(*)	-0,173
	Sr_CC	-,563(**)	-,521(**)	0,165	-0,263	,511(**)	,287(*)	-0,234
MAR	Kt_CC	-,286(**)	-0,042	0,033	0,055	0,094	,283(**)	-,201(*)
	Sr_CC	-,404(**)	-0,089	0,038	0,083	0,143	,410(**)	-,316(*)

Similar to NAO, AO was associated with climate variables in low and medium degrees (Table 2, Figure 2). CLD was generally related to AO in low and medium degrees with a negative direction. In addition, RHM, PRC and TMP have similar

behaviours with AO by relating in low and medium degrees as negatively. WNS and PRS have a positive relation with AO in low and medium scales.

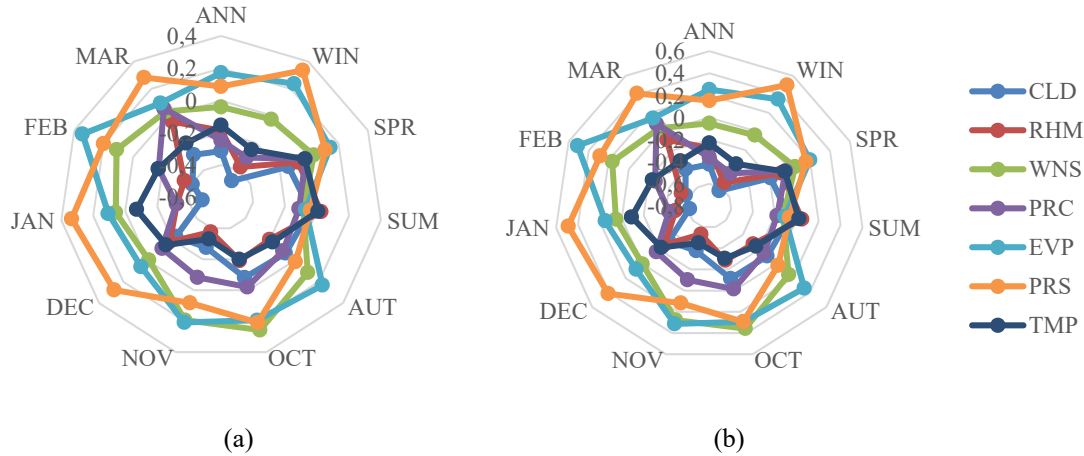


Figure 2. Correlation coefficients for Arctic Oscillation index (a) Kt_CC (b) Sr_CC

Table 3. Correlations for Antarctic Oscillation index

PERIOD	STATISTIC	CLD	RHM	WNS	PRC	EVP	PRS	TMP
ANN	Kt CC	-0,227	-0,159	-0,199	0,021	-0,022	-0,087	0,167
	Sr CC	-0,3	-0,212	-0,292	0,053	-0,021	-0,121	0,226
WIN	Kt CC	-0,147	-0,079	-0,181	-0,016	-0,101	0,012	0,22
	Sr CC	-0,234	-0,095	-0,245	-0,01	-0,111	0,037	0,275
SPR	Kt CC	0,012	-0,103	-0,208	0,201	-0,028	-0,008	0,122
	Sr CC	0,003	-0,125	-0,314	0,339	-0,025	-0,025	0,213
SUM	Kt CC	-0,228	-0,13	0,07	0,111	0,006	0,045	-0,021
	Sr CC	-0,325	-0,214	0,12	0,171	0,043	0,102	-0,034
AUT	Kt CC	-0,03	-0,085	-0,013	0,042	-0,041	-0,061	-0,064
	Sr CC	-0,052	-0,122	-0,026	0,059	-0,06	-0,095	-0,076
OCT	Kt CC	-0,111	-0,23	-0,006	0,043	0,039	0,049	0,027
	Sr CC	-0,174	-0,328	0,004	0,007	0,07	0,015	0,005
NOV	Kt CC	,281(*)	0,064	0,032	0,074	-0,041	-0,047	-0,112
	Sr CC	,372(*)	0,101	0,049	0,159	-0,051	-0,073	-0,141
DEC	Kt CC	0,184	0,191	-0,063	0,106	-0,237	0,017	0,176
	Sr CC	0,254	0,282	-0,077	0,122	-,395(*)	0,035	0,268
JAN	Kt CC	-0,088	-0,117	0,082	-0,083	0,054	-0,058	-0,045
	Sr CC	-0,145	-0,133	0,132	-0,129	0,068	-0,081	-0,067
FEB	Kt CC	-,306(*)	-0,141	-0,019	0,042	0,243	0,069	0,153
	Sr CC	-,441(*)	-0,21	-0,029	0,044	0,332	0,091	0,207
MAR	Kt CC	0,073	0,074	0,019	0,069	-0,123	-0,026	-0,04
	Sr CC	0,099	0,156	0,027	0,11	-0,153	-0,058	-0,064

**. Correlation is significant at the 0.01 level ($p < 0.01$) & *. Correlation is significant at the 0.05 level ($p < 0.05$).

Table 3 and Figure 3 indicate the correlations between the Antarctic Oscillation and climate elements. The relations for Antarctic Oscillation index have no statistically significant results except

the periods NOV, DEC and FEB. In NOV and FEB, CLD was related to NAO in low degree as positively and inversely, respectively. In DEC, EVP was associated with NAO negatively in low degree.

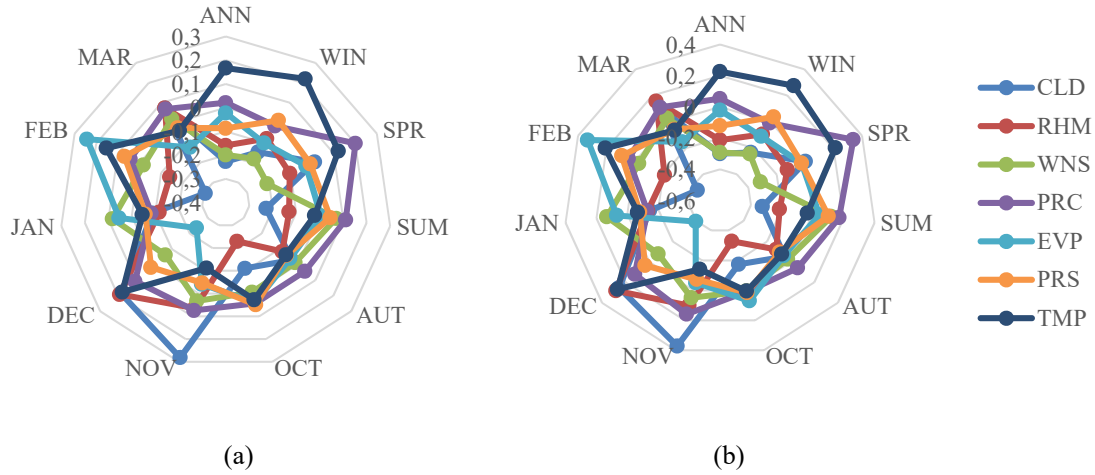


Figure 3. Correlation coefficients for Antarctic Oscillation index (a) Kt_CC (b) Sr_CC

Table 4. Correlations for Pacific North American pattern

PERIOD	STATISTIC	CLD	RHM	WNS	PRC	EVP	PRS	TMP
ANN	Kt_CC	-0,128	0,065	-0,134	0,131	0,105	-,240(*)	-0,078
	Sr_CC	-0,167	0,126	-0,214	0,19	0,138	-,340(*)	-0,097
WIN	Kt_CC	-0,002	0,057	-,239(*)	0,057	0,114	-0,064	-0,034
	Sr_CC	-0,017	0,073	-,357(*)	0,075	0,161	-0,086	-0,053
SPR	Kt_CC	-0,181	0,03	-0,095	-0,094	-0,074	-0,038	-0,101
	Sr_CC	-0,258	0,025	-0,146	-0,136	-0,113	-0,059	-0,17
SUM	Kt_CC	0,096	0,01	0,094	-0,058	-0,059	-0,014	0,022
	Sr_CC	0,146	0,021	0,148	-0,09	-0,096	-0,034	0,04
AUT	Kt_CC	0,082	0,063	-0,128	0,042	-0,146	-0,101	0,069
	Sr_CC	0,139	0,1	-0,198	0,071	-0,22	-0,167	0,094
OCT	Kt_CC	0,104	-0,013	0,009	0,039	-0,15	-0,025	0,064
	Sr_CC	0,159	-0,001	-0,013	0,046	-0,231	-0,021	0,089
NOV	Kt_CC	0,053	,230(*)	-,203(*)	,226(*)	-0,088	-0,154	0,065
	Sr_CC	0,084	,331(*)	-,0,27	,349(*)	-0,102	-0,239	0,09
DEC	Kt_CC	-0,069	-0,135	-0,084	0,019	0,182	0,032	-0,17
	Sr_CC	-0,069	-0,212	-0,091	0,027	0,252	0,066	-0,234
JAN	Kt_CC	0,017	,252(*)	-,339(**)	0,111	-0,076	-0,063	0,169
	Sr_CC	0,029	,357(*)	-,465(**)	0,165	-0,131	-0,108	0,263
FEB	Kt_CC	0,07	0,136	-0,133	-0,083	0,103	0,057	0,061
	Sr_CC	0,112	0,203	-0,216	-0,123	0,116	0,105	0,083
MAR	Kt_CC	-0,184	-0,123	-0,028	-0,106	-0,095	0,03	-0,1
	Sr_CC	-0,268	-0,165	-0,048	-0,139	-0,118	0,047	-0,119

** Correlation is significant at the 0.01 level ($p < 0.01$) & * Correlation is significant at the 0.05 level ($p < 0.05$).

As shown in Table 4, PNA has the correlation with RHM and PRC in positive direction and low strength as statistically significant. On the contrary,

WNS and PRS have negative relation with PNA in low scale.

Furthermore, cross-correlations for atmospheric oscillation indices were estimated by statistical analysis and the results were presented in Table 5 and 6. Table 5 was arranged for annual and seasonal terms whereas Table 6 for cooling period. For annual and seasonal terms AAO has no significant correlation with other atmospheric circulations while it was apparently related to NAO and AO as

positively and PNA as negatively in February during cooling period. All atmospheric circulations except AAO have significant correlations during all time periods in different scales. The direction of pairwise was generally obtained as positive for NAO-AO (shown in Figure 5) and negative for NAO-AAO, NAO-PNA, AO-AAO, AO-PNA, and AAO-PNA.

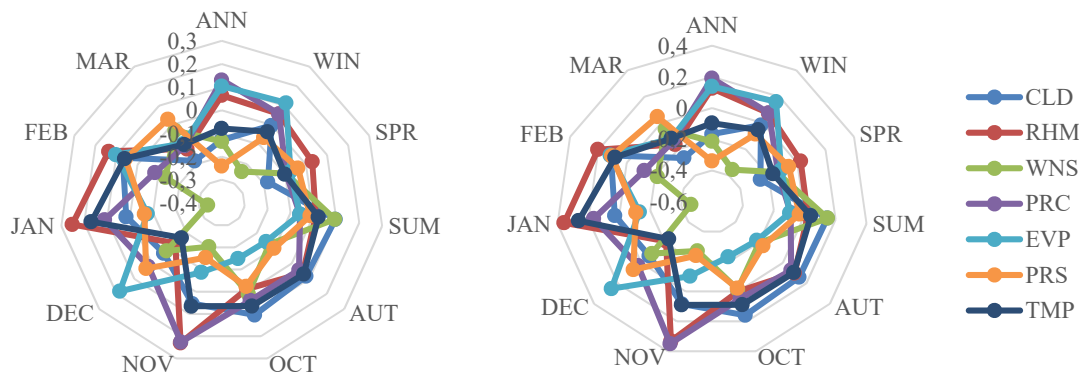


Figure 4. Correlation coefficients for Pacific North American pattern (a) Kt_CC (b) Sr_CC

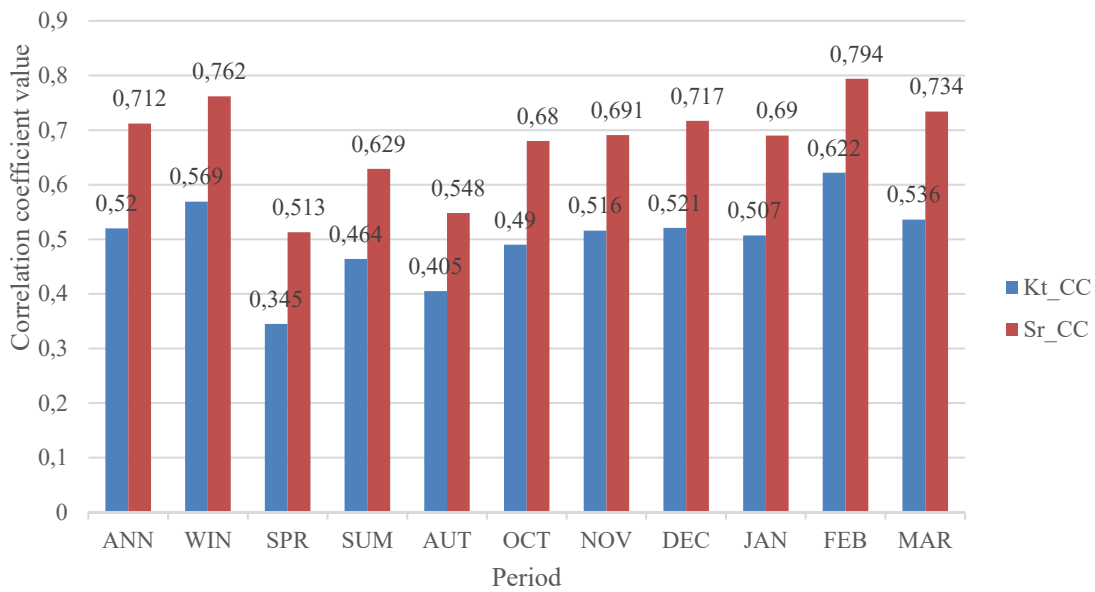


Figure 5. Correlations between North Atlantic Oscillation and Arctic Oscillation

Table 5. Cross-Correlations for atmospheric oscillations during different periods

PERIOD	INDEX	Kendall's tau				Spearman's rho			
		NAO	AO	AAO	PNA	NAO	AO	AAO	PNA
ANN	NAO	1	,520(**)	-0,089	-0,177	1	,712(**)	-0,123	-0,27
	AO		1	-0,032	-,221(*)		1	-0,048	-,297(*)
	AAO			1	-0,026			1	-0,042
	PNA				1				1
WIN	NAO	1	,569(**)	-0,024	0,022	1	,762(**)	-0,013	0,038
	AO		1	0,117	-0,158		1	0,162	-0,226
	AAO			1	-0,087			1	-0,137
	PNA				1				1
SPR	NAO	1	,345(**)	-0,099	-0,045	1	,513(**)	-0,182	-0,078
	AO		1	-0,093	-,387(**)		1	-0,15	-,552(**)
	AAO			1	-0,121			1	-0,203
	PNA				1				1
SUM	NAO	1	,464(**)	-0,071	0,031	1	,629(**)	-0,113	0,063
	AO		1	-0,028	0,131		1	-0,046	0,183
	AAO			1	0,212			1	0,343
	PNA				1				1
AUT	NAO	1	,405(**)	0,194	0,052	1	,548(**)	0,255	0,071
	AO		1	0,161	-,190(*)		1	0,219	-,280(*)
	AAO			1	0			1	-0,015
	PNA				1				1

** . Correlation is significant at the 0.01 level ($p < 0.01$) & * . Correlation is significant at the 0.05 level ($p < 0.05$).

Table 6. Cross-Correlations for atmospheric oscillations for cooling period

PERIOD	INDEX	Kendall's tau				Spearman's rho			
		NAO	AO	AAO	PNA	NAO	AO	AAO	PNA
OCT	NAO	1	,490(**)	0,242	0,051	1	,680(**)	0,348	0,08
	AO		1	0,198	-0,036		1	0,308	-0,041
	AAO			1	0,184			1	0,258
	PNA				1				1
NOV	NAO	1	,516(**)	-0,052	0,002	1	,691(**)	-0,081	0,007
	AO		1	0,01	-,230(*)		1	0,002	-,338(*)
	AAO			1	0,008			1	-0,002
	PNA				1				1
DEC	NAO	1	,521(**)	-0,03	0,094	1	,717(**)	-0,013	0,116
	AO		1	-0,056	-0,108		1	-0,059	-0,162
	AAO			1	0,014			1	0,034
	PNA				1				1
JAN	NAO	1	,507(**)	0,067	-0,034	1	,690(**)	0,036	-0,057
	AO		1	0,093	-0,173		1	0,124	-0,238
	AAO			1	-0,222			1	-0,343
	PNA				1				1
FEB	NAO	1	,622(**)	,299(*)	-0,026	1	,794(**)	,431(*)	-0,053
	AO		1	,349(**)	-0,177		1	,465(**)	-0,269
	AAO			1	-,297(*)			1	-,416(*)
	PNA				1				1
MAR	NAO	1	,536(**)	0,145	-0,046	1	,734(**)	0,225	-0,069
	AO		1	0,008	-,226(*)		1	0,067	-,315(*)
	AAO			1	-0,239			1	-0,306
	PNA				1				1

** . Correlation is significant at the 0.01 level ($p < 0.01$) & * . Correlation is significant at the 0.05 level ($p < 0.05$).

According to the findings, Spearman's rho is the most suitable statistical method to explain the relations between climate elements and circulation indices. Statistically significant correlations were obtained between atmospheric circulation indices and precipitation over Mediterranean basin [68]. NAO has a significant role on climate elements but especially in winter precipitation variability, relative humidity and cloudiness. AO has effect on climate variables in all periods except spring and summer. AAO affected evaporation on December whereas cloudiness on November and February. PNA has influence on climatic variables such as wind speed, precipitation and relative humidity in November and January, additionally pressure in annual period

4. CONCLUSION

The relations between climate elements and atmospheric oscillations for 2011-2015 records in Antalya were investigated in the present study. One goal of this analysis was to present how climate elements were varying with atmospheric circulations. Those results were deduced from daily ground-based measurement records at meteorological station.

In this study, two statistical techniques were implemented to determine the statistical analysis. Spearman's rho and Kendall's tau correlation coefficients were used to determine the degree of relationship between variables. Both coefficients were compared in interpreting the direction and strength of the relationships. According to the results, Spearman's rho coefficients presented more suitable values generally. Looking at the literature, we see that Spearman's Rho and Kendall correlation tests are frequently used for the evaluation of climate parameters. Evaluation of climate parameters with such correlation tests will result in high accuracy of climate forecasts [83-86].

Climate change has put the world at risk as a result of increased carbon emissions and greenhouse gas emissions. The level of CO₂ reduces the protective use of the bard layer. As a result of this action, it produces unpredictable precipitation and severe temperature increases [87].

It has been shown that various global atmospheric circulations have influences on and related to climate elements [2,29,38,41,46,47,51,88]. It is presumably to affect the climate elements and extreme climatic events in the future. Hence, it is important to examine the relations between climate elements and atmospheric oscillations for stakeholders involved and policymakers to manage the climate.

5. REFERENCES

1. Keskiner, A.D., 2022. Aydeniz Yöntemiyle Şanlıurfa İlinin Meteorolojik Kuraklık Riski Altındaki Alanlarının Belirlenmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 7(3), 139-151.
2. Bağdatlı, M.C., İstanbulluoğlu, A., Altürk, B., Arslan, C., 2014. Uzun Yıllık Sıcaklık Verilerindeki Değişim Trendinin Tarımsal Kuraklık Açısından Değerlendirilmesi: Çorlu Örneği. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2(1), 100-107.
3. Oztekin, M.E., Antmen, Z.F., Onat, B., 2021. Monitoring and Yield Estimation of Soybean Using Satellite Data in North Yüreğir Region, Adana, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 30(06A), 6602-6608.
4. Oztekin, M.E., Dingil, M., 2022. Determination of Corn Planting Areas and Yield Forecasting Using Landsat Images. Fresenius Environmental Bulletin, 31(04), 4420-4426.
5. Bağdatlı, M. C., Ballı, Y., 2020. The Analysis of Soil Temperatures in Different Depths using Spearman's Rho and Mann-Kendall Correlation Tests: The Case Study of Nigde Center in Turkey. International Journal of Engineering Technologies and Management Research (IJETMR), 7(5), 38-55.
6. Santos, J., Corte-Real, J., Leite, S., 2007a. Atmospheric Large-Scale Dynamics During The 2004–2005 Winter Drought in Portugal. Int J Climatol, 27, 571-586.
7. Andrade, C., Santos, J. A., Pinto, J.G., Corte-Real, J., 2011. Large-Scale Atmospheric Dynamics of the Wet Winter 2009-2010 and Its Impact on Hydrology in Portugal. Climate Research, 46(1), 29-41.

8. Hatzaki, M., Flocas, H. A., Giannakopoulos, C., Maheras, P., 2009. The Impact of the Eastern Mediterranean Teleconnection Pattern on the Mediterranean Climate. *Journal of Climate*, 22(4), 977-992.
9. Türkes, M., Erlat, E., 2003. Precipitation Changes and Variability in Turkey Linked To The North Atlantic Oscillation During The Period 1930-2000. *International Journal of Climatology*, 23, 1771-1796.
10. Türkes, M., Erlat, E., 2008. Influence of The Arctic Oscillation on the Variability of Winter Mean Temperatures in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 92(1-2), 75-85.
11. Santos, J., Corte-Real, J., Ulbrich, U., Palutikof, J., 2007b. European Winter Precipitation Extremes and Surface Large-Scale Circulation: A Coupled Model and Its Scenarios. *Theor Appl Climatol*, 87,85-102.
12. Andrade, C., Santos, J.A., Pinto, J.G., Corte-Real, J., Leite, S., 2010. The Empirical Forcing Function as a Tool for the Diagnosis of Large-Scale Atmospheric Anomalies. *Ann Geophys*, 28, 75-87.
13. Xoplaki, E., Gonzalez-Rouco, F.J., Luterbacher, J., Wanner, H., 2004. Wet season Mediterranean Precipitation Variability: Influence of Large-Scale Dynamics. *Clim Dyn*, 23, 63-78.
14. Zorita, E., Kharin, V., von Storch, H., 1992. The Atmospheric Circulation and Sea Surface Temperature in the North Atlantic Area in Winter: Their Interaction and Relevance for Iberian Precipitation. *J Clim*, 5, 1097-1108.
15. Gong, D., Wang, S., Zhu, J., 2004. Arctic Oscillation Influence on Daily Temperature Variance in Winter over China. *Chinese Science Bulletin*, 49(6), 637-642.
16. Huang, J.B., Wang, S.W., Gong, D.Y., Zhou, T.J., Wen, X.Y., Zhang, Z.Y., Zhu, J.H., 2010. Atmospheric Oscillations over the Last Millennium. *Chinese Sci Bull*, 55, 2469-2472.
17. Carvalho, L.M.V., Jones, C., Ambrizzi, T., 2005. Opposite Phases of the Antarctic Oscillation and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity in the Tropics During the Austral Summer. *Journal of Climate*, 18, 702-718.
18. Cardil, A., Rodrigues, M., Tapia, M. Barbero, R., Ramirez, J., Stoof, C.R., Silva, C.A., Mohan, M., de-Miguel, S., 2023. Climate teleconnections Modulate Global Burned Area. *Nat Commun* 14, 427.
19. Schurer, A.P., Hegerl, G.C., Goosse, H., Bollasina, M.A., England, M.H., Smith, D.M., Tett, S.F.B., 2023. Role of Multi-decadal Variability of the Winter North Atlantic Oscillation on Northern Hemisphere Climate. *Environ. Res. Lett.* 18, 044046.
20. Tang, X., Li, J., Zhang, Y., Li, Y., Zhao, S., 2023. Synergistic Effect of El Nino and Negative Phase of North Atlantic Oscillation on Winter Precipitation in the Southeastern United States. *Journal of Climate*, 36(6), 1767-1791.
21. Zhou, F., Liu, M.-H., Shi, J., Zhao, M.-Y., 2023. Long-Lasting Impact of Winter North Atlantic Oscillation on Barents-Kara Sea Ice Anomaly in Recent Decades. *Environ. Res. Lett.* 18, 044015.
22. Kim, H.J., An, S.I., Park, J.H., Sung, M.K., Kim, D., Choi, Y., Kim, J.S., 2023. North Atlantic Oscillation Impact on the Atlantic Meridional Overturning Circulation Shaped by the Mean State. *npj Climate and Atmospheric Science*, 6(25).
23. Zhang, H., Zhao, C., Xia, Y., Yang, Y., 2023. North Atlantic Oscillation-Associated Variation in Cloud Phase and Cloud Radiative Forcing over the Greenland Ice Sheet. *Journal of Climate*, 36(10), 3203-3215.
24. Ding, R., Nnamchi, H.C., Yu, J.-Y., Li, T., Sun, C., Li, J., Tseng, Y.-H., Li, X., Xie, F., Feng, J., Ji, K., Li, X., 2023. North Atlantic Oscillation Controls Multidecadal Changes in The North Tropical Atlantic-Pacific Connection. *Nature Communications*, 14(862).
25. Shahri, S.M.A., Soltani, S., Esfahani, M.T., Pourmanafi S., Isfahani, P.M., 2023. Effects of Teleconnection Indices On Net Primary Production (NPP) in Bioclimatic Zones of Iran. *Arab J Geosci* 16, 57.
26. Zhang, C., Jia, X., Duan, A., Hu, D., 2023. Interdecadal Changes in the Dominant Modes of Spring Snow Cover over The Tibetan Plateau around The Early 1990s, *Journal of Climate*, 36(11), 3765-3780.
27. Katsura, S., Sprintall, J., Kido, S., Tanimoto, Y., Nonaka, M., 2023. Classification of Interannual Surface Layer Salinity Variability. *Geophysical Research Letters*, 50(8).

28. Mu, B., Jiang, X., Yuan, S., Cui, Y., Qin, B., 2023. NAO Seasonal Forecast using a Multivariate Air–Sea Coupled Deep Learning Model Combined with Causal Discovery. *Atmosphere*, 14, 792.
29. Liang, S., Liu, Y., Ding, Y., 2023. Effects of Wave-Mean Flow Interaction on The Multi-Time-Scale Variability of the AO Indices: A Case Study of Winters 2007/08 and 2009/10. *Atmosphere*, 14, 524.
30. Ge, Y., Luo, D., 2023. Impacts of The Different Types of El Niño and PDO on The Winter Sub-Seasonal North American Zonal Temperature Dipole via The Variability of Positive PNA Events. *Climate Dynamics*, 60, 1397–1413.
31. Ma, S., Zhu, C., 2023. Subseasonal Swing of Cold and Warm Extremes Between Eurasia and North America in Winter of 2020/21: Initiation and Physical Process. *Environ. Res. Lett.* 18, 014023.
32. Bachmann, N., 2007. The North Atlantic Oscillation (NAO). Termpaper Writing for MSc Biogeochemistry and Pollutant Dynamics. ETH Zurich.
33. Gong, D., Wang, S., 1998. Antarctic oscillation: Concept and Applications. *Chin.Sci.Bull.*, 43, 734–738.
34. Wallace, J.M., Gutzler, D.S., 1981. Teleconnections in The Geopotential Height Field During The Northern Hemisphere Winter. *Mon Weather Rev*, 109, 784–812.
35. Thompson, D.W.J., Wallace, J.M., 1998. The Arctic Oscillation Signature in The Wintertime Geopotential Height and Temperature Fields. *Geophys Res Lett*, 25, 1297-1300.
36. Boyer, M., Aliaga, D., Pernov, J.B., Angot, H., Quéléver, L.L.J., Dada, L., Heutte, B., Dall’Osto, M., Beddows, D.C.S., Brasseur, Z., Beck, I., Bucci, S., Duetsch, M., Stohl, A., Laurila, T., Asmi, E., Massling, A., Thomas, D.C., Nøjgaard, J.K., Chan, T., Sharma, S., Tunved, P., Krejci, R., Hansson, H.C., Bianchi, F., Lehtipalo, K., Wiedensohler, A., Weinhold, K., Kulmala, M., Petäjä, T., Sipilä, M., Schmale, J., Jokinen, T., 2023. A Full Year of Aerosol Size Distribution Data from the Central Arctic under an Extreme Positive Arctic Oscillation: Insights from the Multidisciplinary Drifting Observatory for the Study of Arctic Climate (MOSAIC) Expedition. *Atmos. Chem. Phys.*, 23, 389-415.
37. Yang, H., Ma, Y., Gong, Z., Feng, G., 2023. The Intraseasonal Surface Air Temperature Reversal and Its Predictability Analysis in 2021/2022 Winter over China. *International Journal of Climatology*, 1-17.
38. Singh, S., Goyal, M.K., Jha, S., 2023. Role of Large-Scale Climate Oscillations in Precipitation Extremes Associated With Atmospheric Rivers: Nonstationary Framework. *Hydrological Sciences Journal*, 68(3), 395-411.
39. Bertoldi, G., Bozzoli, M., Crespi, A., Matiu, M., Giovannini, L., Zardi, D., Majone, B., 2023. Diverging Snowfall Trends Across Months and Elevation in The Northeastern Italian Alps. *International Journal of Climatology*, 43(6), 2794-2819.
40. Ren, Y., Zhang, F., Zhao, C., Wang, D., Li, J., Zhang, J., Cheng, Z., 2023. Spatiotemporal Changes of Extreme Climate Indices and Their Influence and Response Factors in a Typical Cold River Basin in Northeast China. *Theoretical and Applied Climatology*, 152, 1285–1309.
41. Sukhonos, O., Vyshkvarkova, E., 2023. Connection of Compound Extremes of Air Temperature and Precipitation with Atmospheric Circulation Patterns in Eastern Europe. *Climate*, 11, 98.
42. Jia, L., Delworth, T.L., Yang, X., Cooke, W., Johnson, N.C., McHugh, C., Lu, F., 2023. Seasonal Prediction of North American Wintertime Cold Extremes in The GFDL SPEAR Forecast System. *Clim Dyn*.
43. Coburn, J., Pryor, S.C., 2023. Evolution of the Internal Climate Modes under Future Warming. *Journal of Climate*, 36(2), 511-529.
44. Ionita M., 2023. The Arctic Winter Seasons 2016 and 2017: Climatological Context and Analysis. *Climate*, 11(1), 19.
45. Yu, B., Lin, H., Mo, R., Li, G., 2023. A Physical Analysis of Summertime North American Heatwaves. *Clim Dyn*.
46. Mandodi, M.T., Pattanaik, D.R., 2023. The Dependence of Indian Winter Precipitation Extreme on the North Atlantic Oscillation. *Natural Hazards (2023)*, 117, 1869-1885.

47. Santolaria-Otín, M., García-Serrano, J., Menegoz, M., Bech, J., 2020. On the Observed Connection Between Arctic Sea Ice and Eurasian Snow in Relation to the Winter North Atlantic Oscillation. *Environ. Res. Lett.* 15, 124010.
48. Luo, B., Luo, D., Wu, L., Zhong, L., Simmonds, I., 2017. Atmospheric Circulation Patterns which Promote Winter Arctic Sea Ice Decline. *Environ. Res. Lett.* 12, 054017.
49. Zhang, W., Jiang, F., 2023. Subseasonal Variation in the Winter ENSO-NAO Relationship and the Modulation of Tropical North Atlantic SST Variability. *Climate*, 11, 47.
50. Abid, M.A., Kucharski, F., Molteni, F., Almazroui, M., 2023. Predictability of Indian Ocean Precipitation and Its North Atlantic Teleconnections During Early Winter. *npj Climate and Atmospheric Science*, 6(17).
51. Fu, S., Zhang, H., Zhong, Q., Chen, Q., Liu, A., Yang, J., Pang, J., 2023. Spatiotemporal Variations of Precipitation Concentration Influenced by Large-Scale Climatic Factors and Potential Links to Flood-Drought Events Across China 1958-2019. *Atmospheric Research*, 282, 106507.
52. Zhang, J., Sheng, Z., Ma, Y., He, Y., Zuo, X., He, M., 2021. Analysis of Positive Arctic Oscillation Index Event and Its Influence in the Winter and Spring of 2019/2020. *Front. Earth Sci.*, 8, 580601.
53. Zateroglu, M.T., 2021a. Assessment of the Effects of Air Pollution Parameters on Sunshine Duration in Six Cities in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(02A), 2251-2269.
54. Zateroglu, M.T., 2021b. The Role of Climate Factors on Air Pollutants (PM10 and SO2). *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(11), 12029-12036.
55. Zateroglu, M.T., 2021c. Evaluating the Sunshine Duration Characteristics in Association with Other Climate Variables. *European Journal of Science and Technology*, Special Issue 29, 200-207.
56. Zateroglu, M.T., 2021d. Statistical Models For Sunshine Duration Related to Precipitation and Relative Humidity. *European Journal of Science and Technology*, Special Issue 29, 208-213.
57. Zateroglu, M.T., 2021e. The Effect of Cloud Amount and Changes in Sunshine Duration. *International Journal of Engineering Science and Computing (IJESC)*, 11(8), 28598-28601.
58. Zateroglu, M.T., 2021f. A Statistical Analysis of Sunshine Duration in Diyarbakir, Turkey. *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)*, 9(8), 59-63.
59. Zateroglu, M.T., 2023a. The Influence of Climatological Variables on Particulate Matter and Sulphur Dioxide. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38(1), 13-24.
60. Zateroglu, M.T., 2023b. Estimation of Cloudiness Data Based on Multiple Linear Regression Model. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1), 33-41.
61. Zateroglu, M.T., 2023c. Modeling of Air Pollution., *International Research in Engineering Sciences*, Editor: Assoc. Prof. Dr. Alper Bideci, Platanus Publishing March 2023, ISBN: 978-625-6971-50-9. Chapter 21, 436-447.
62. Zateroglu, M.T., 2023d. Computation Methods of Air Quality Index. *Current Research in Engineering*, Editors: Assoc. Prof. Dr. Selahattin Bardak, Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata, Gece Publishing, March 2023, ISBN: 978-625-430-720-1. Chapter 12, 243-259.
63. Zateroglu, M.T., 2022. Modelling The Air Quality Index For Bolu, Turkey. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 17(1), 119-130.
64. Criado-Aldeanueva, F., Soto-Navarro, F.J., 2013. The Mediterranean Oscillation Teleconnection Index: Station-Based versus Principal Component Paradigms. *Advances in Meteorology*, Article ID 738501.
65. Kutiel, H., Benaroch, Y., 2002a. North Sea-Caspian Pattern (NCP)-An Upper Level Atmospheric Teleconnection Affecting The Eastern Mediterranean: Identification and Definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 71(1), 17-28.
66. Kutiel, H., Maheras, P., Türkeş, M., Paz, S., 2002b. North Sea-Caspian Pattern (NCP) an Upper Level Atmospheric Teleconnection Affecting the Eastern Mediterranean: Implications on the Regional Climate. *Theor Appl Climatol*, 72(3-4):173-192.

67. Maheras, P., Kutiel, H., 1999. Spatial and Temporal Variations in the Temperature Regime in the Mediterranean and Their Relationship with Circulation During the Last Century. *Int J Climatol*, 19, 745-764.
68. Kutiel, H., Maheras, P., Guika, S., 1996. Circulation Indices over the Mediterranean and Europe and Their Relationship with Rainfall Conditions Across the Mediterranean. *Theor Appl Climatol*, 54, 125-138.
69. Trigo, R.M., Osborn, T.J., Corte-Real, J., 2002. The North Atlantic Oscillation Influence on Europe: Climate Impacts and Associated Physical Mechanisms. *Climate Research*, 20, 9-17.
70. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., LópezMoreno, J.I., El Kenawy, A.M., Angulo, M., 2009. Daily Atmospheric Circulation Events and Extreme Precipitation Risk in Northeast Spain: The Role of the North Atlantic Oscillation, Western Mediterranean Oscillation and Mediterranean Oscillation. *Journal of Geophysical Research*, 114, 1-19.
71. Li, W., Yan, H., 2023. The Influences of the Arctic Oscillation on the Frequency of Winter Extreme Cold Days in Yunnan of China. *Theoretical and Applied Climatology*, 151, 1615-1622.
72. Dawadi, B., Sharma, S., Reynard, E., Shahi, K., 2023. Climatology, Variability, and Trend of the Winter Precipitation over Nepal. *Earth Systems and Environment*, 7, 381-391.
73. Wang, W., Yang, S., Li, Q., Zhang, T., Jiang, X., 2023. Alternate Modulations of ENSO and the Arctic Oscillation on Winter Extreme Cold Events in China. *Atmospheric Research*, 282, 106532.
74. Chen, Z., Gan, B., Huang, F., Li, J., Wu, L., Fan, L., Diao, Y., 2023. The influence of Pacific-North American Teleconnection on the North Pacific SST Anomalies in Wintertime under the Global Warming. *Climate Dynamics*, 60, 1481-1494.
75. Rehman, S.U., Usmani, B.A., Simmonds, I., 2023. The Separate Roles Played by the Two Geographical Poles of the NAO in Influencing Winter Precipitation over Spain. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 245, 106054.
76. Baltacı, H., Akkoyunlu, B. O., Tayanc, M., 2018. Relationships Between Teleconnection Patterns and Turkish Climatic Extremes. *Theoretical and Applied Climatology*, 134, 1365-1386.
77. Tath, H., Dalfes, N., Mentés, S., 2005. Surface Air Temperature Variability over Turkey and Its Connection to Large-Scale Upper Air Circulation via Multivariate Techniques. *Int J Climatol*, 25, 331-350.
78. Türkeş, M., Erlat, E., 2005. Climatological Responses of Winter Precipitation in Turkey to Variability of the North Atlantic Oscillation during the Period 1930-2001. *Theoretical and Applied Climatology*, 81, 45-69.
79. Türkeş, M., Erlat, E., 2006. Influences of the North Atlantic Oscillation on Precipitation Variability and Changes in Turkey. *Nuovo Cimento Della Societa Italiana Di Fisica C-Geophysics and Space Physics*, 29, 117-135.
80. Türkeş, M., Erlat, E., 2009. Winter Mean Temperature Variability in Turkey Associated with the North Atlantic Oscillation. *Meteorol Atmos Phys*, 105, 211-225.
81. Demirtaş, M., 2023. The Cold Snaps of January 2022 in the Euro-Mediterranean Region in a Warming Climate: In Association with Atmospheric Blocking and the Positive North Atlantic Oscillation. *Pure Appl. Geophys.*
82. Climate Prediction Center (CPC) (2023), National Weather Service, NOAA, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>
83. Bağdatlı, M.C., Can, E., 2019. Analysis of Precipitation Datas by Mann Kendall and Sperman's Rho Rank Correlation Statistical Approaches in Nevşehir Province of Turkey. *Recent Research in Science and Technology Journal*, (11), 24-31.
84. Bağdatlı, M.C., Can, E., 2020. Temperature Changes of Niğde Province in Turkey: Trend Analysis of 50 years data. *International Journal of Ecology and Development Research (IJEDR)*, 6(2), 62-71.
85. Bağdatlı, M.C., Arıkan, E.N., 2020a. Evaluation of Maximum and Total Open Surface Evaporation by using Trend Analysis Method in Niğde Province of Turkey, *International Journal of Geography and Regional Planning (IJGRP)*, 6(1), 138-145.

86. Bağdatlı, M.C., Arslan, O., Ballı, Y., Uğuz, A. N., 2022. GIS Modelling and Evaluation of Climate Variability in Kızılırmak Watershed of Turkey. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research (IJETMR)*, 9(5), 48-54.
87. Bağdatlı, M.C., Arıkan, E.N., 2020b. Evaluation of Monthly Maximum, Minimum and Average Temperature Changes Observed for Many Years in Nevşehir Province of Turkey. *World Research Journal of Agricultural Science (WRJAS)*, 7(2), 209-220.
88. Dong, Y., Zhai, J., Zhao, Y., Liu, Z., Yang, Q., Jiang, S., Lv, Z., Yan, D., Liu, K., Ding, Z., 2023. Impacts of Large-Scale Circulation Patterns on the Temperature Extremes in the Cold Regions of China With Global Warming. *Front. Earth Sci.* 11, 1120800.

Cu/Zn Oksit İkili Katalizörü Üretmek Amacıyla Malahit Cevherinin NH₃/NH₄NO₃ Liçinde Optimum pH ve NH₃ Derişiminin Yanıt Yüzey Yöntemiyle Belirlenmesi

Zümra BAKICI KARACAHAN¹ ORCID 0000-0003-0376-0956

Nizamettin DEMİRKIRAN² ORCID 0000-0001-9021-2477

Ahmet BAYSAR^{*2} ORCID 0000-0002-7017-399X

¹Munzur Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Tunceli

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Malatya

Geliş tarihi: 31.01.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: BAKICI KARACAHAN, Z., DEMİRKIRAN, N., BAYSAR, A., (2023). Cu/Zn Oksit İkili Katalizörü Üretmek Amacıyla Malahit Cevherinin NH₃/NH₄NO₃ Liçinde Optimum pH ve NH₃ Derişiminin Yanıt Yüzey Yöntemiyle Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 333-345.

Öz

Bu çalışmada, bir hidrosikarbonat minerali olan malahit ve bir karbonatlı mineral olan simitsonit içeren bakır cevherinin hidrometalurjik yöntemle işlenmesi neticesinde Cu/Zn oksit ikili katalizörü üretilmiştir. Cevherden maksimum oranda bakır ve minimum oranda çinkonun liç çözeltisine geçmesini sağlayacak ancak cevherde bulunan diğer metallerin çözünmesini engelleyecek pH ve çözücü derişiminin optimum değerleri yanıt yüzey yöntemi ile belirlenmiştir. Yanıt yüzey yönteminde elde edilen deneysel bulgulara çoklu regresyon analizi yapılarak bakır ve çinko liç verimleri ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren ikinci dereceden model denklemler elde edilmiştir. Bakır ve çinko liç verimi üzerine NH₃ derişiminin pH'dan daha etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir. NH₃ ve NH₄NO₃ derişimleri ile pH için optimum değerler sırasıyla 0,38 M, 0,11 M ve 9,80 olarak bulunmuştur. Optimum koşullarda cevherdeki bakırın %82,3'ünün çinkonun ise %45,1'inin çözeltiye geçtiği belirlenmiştir. Liç sonucunda elde edilen çözeltideki Cu⁺² ve Zn⁺² iyonları Na₂CO₃ çözeltisi ile çöktürülmüş ve oluşan katı ürün 350 °C'de 6 saat süreyle kalsine edilerek Cu/Zn oksit ikili katalizörü üretilmiştir. Katalizörün ağırlıkça bakır oksit içeriği yaklaşık %44 ve çinko oksit içeriği %56 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Malahit, Liç, Yanıt yüzey yöntemi, Cu/Zn oksit katalizörü

Determination of Optimum pH and NH₃ Concentration of Malachite Ore for NH₃/NH₄NO₃ Leaching by Response Surface Method to Produce Cu/Zn Oxide Binary Catalyst

Abstract

In this work, a Cu/Zn oxide binary catalyst was produced by hydrometallurgical processing of copper ore containing a hydroxy-carbonate mineral malachite and a carbonate mineral smithsonite. The aim was to

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Ahmet BAYSAR, ahmet.baysar@inonu.edu.tr

ascertain the pH and the solvent concentration that will lead to maximum copper and minimum zinc leaching ratios but prevent the dissolution of the other metals present in the ore. Optimum values of pH and solvent concentration were determined by the response surface method. Multiple regression analysis was applied to the experimental results and second order model equations, showing the relationship between the responses representing copper and zinc leaching ratios and independent variables, were obtained. NH₃ concentration was found to be more effective on copper and zinc leaching than the pH. Optimum values for NH₃ and NH₄NO₃ concentrations and pH were found to be 0.38 M, 0.11 M, and 9.80, respectively. Under optimum conditions, 82.3% of copper and 45.1% of zinc was leached from the malachite ore. Cu²⁺ and Zn²⁺ ions in the solution obtained as a result of leaching were precipitated with Na₂CO₃ solution and the solid product was calcined at 350 °C for 6 hours to produce a Cu/Zn oxide binary catalyst. The composition of the catalyst was approximately 44% copper oxide and 56% zinc oxide by weight.

Keywords: Malachite, Leaching, Response surface method, Cu/Zn oxide catalyst

1. GİRİŞ

Cu/Zn oksit katalizörleri yüksek katalitik aktivitelerinden, uzun ömürlü olmalarından, katalizör zehirlerine karşı yüksek dirençlerinden, düşük tepkime sıcaklığı ve basıncında kullanılabilmelerinden dolayı birçok proseste uygulama alanı bulmuşlardır. Endüstride metanol sentezi, metanol buhar reformasyon prosesi, yüksek moleküllü alkol sentezi, su gazı değişim tepkimesi, dimetil eter, alken ve yüksek kalorili sentetik doğal gaz üretimi gibi tepkimelerde Cu/Zn oksit ikili katalizörleri kullanılmaktadır [1,2]. Heterojen katalizörlerin hazırlanmasında en çok başvuru yöntemlerden birisi olan çöktürme metodu, Cu/Zn oksit ikili katalizörlerinin üretiminde de sıklıkla uygulanmaktadır [2,3].

Bakır ve çinko üretiminde temel ham madde kaynakları olarak genellikle kalkopirit (CuFeS₂) ve sfalerit (ZnS) gibi yüksek tenörlü sülfürlü cevherler kullanılır [4,5]. Bu tip cevherlerden esas olarak pirometalurjik yöntemle bakır ve çinko metallerinin üretimi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen bakır ve çinko metallerinden bakır ve çinkonun farklı bileşiklerinin üretimi mümkün olduğundan, sözü edilen metallerin çeşitli bileşikleri için de bu cevherlerin esas kaynaklar olduğu ifade edilebilir [6]. Ancak, günümüzde düşük tenörlü oksitli/karbonatlı cevherler ile hurda metal ve endüstriyel atıklar da çeşitli metallerin ve bunların bileşiklerinin üretilmesinde ham madde kaynağı olarak değerlendirilmektedir [7-9]. Bakır ve çinko için oksitli/karbonatlı cevherler arasında sırasıyla malahit (Cu₂(CO₃)(OH)₂) ve simitsonit (ZnCO₃) en

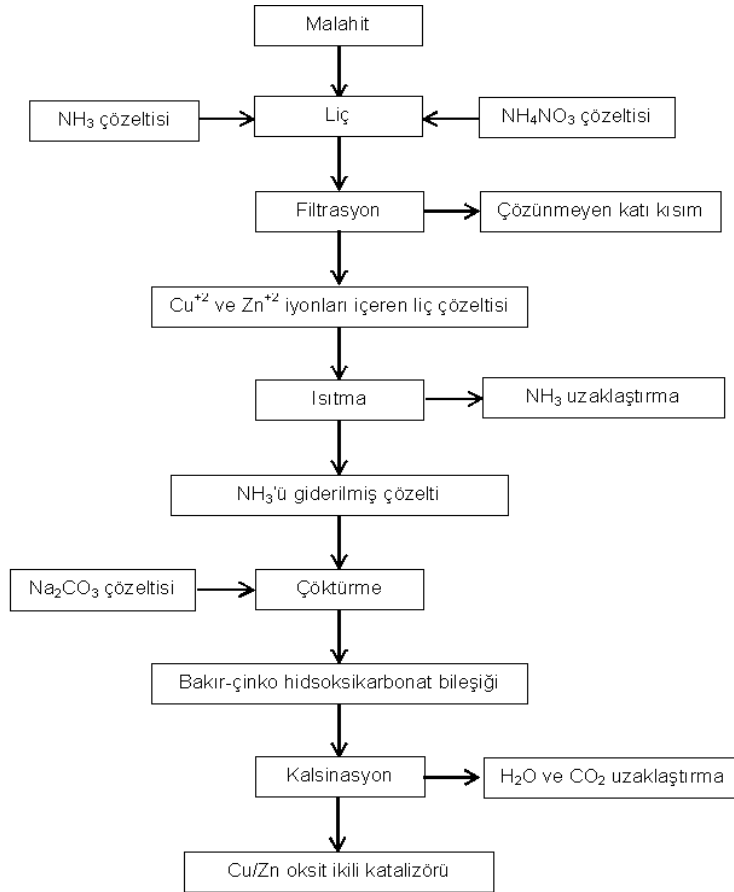
bilinen kaynaklar olup, bu tip cevherlerin işlenmesinde daha ziyade hidrometalurjik yöntem tercih edilmektedir [10-12]. Bu yöntemle oksitli/karbonatlı cevherlerin işlenebilmesi için fiziksel işlemler uygulanarak cevher kullanıma hazır hale getirildikten sonra ilk olarak liç işlemi uygulanır ve cevherdeki hedef metal çözündürülerek çözelti ortamına alınır. Liç işlemlerinde genellikle sülfürik asit gibi kuvvetli asidik çözeltiler çözücü olarak kullanıldığı zaman cevherdeki istenen metalle birlikte başta demir olmak üzere istenmeyen veya kirlilik oluşturan metaller de liç sırasında çözelti ortamına geçmektedir. Dolayısıyla, yüksek saflıkta ürün elde etmek için kirlilik oluşturan metal türlerinin çözüldükten uzaklaştırılması veya istenen metal değerinin kazanılması için ayırma ve saflaştırma proseslerinin uygulanması gerekir. Saflaştırılmış ve konsantre hale getirilmiş çözüldükten elektroliz, evaporatif kristalizasyon ve çöktürme gibi kazanma yöntemlerinin uygulanmasıyla çözüldükteki istenen metal değer, metalik formda veya bileşikleri formunda elde edilebilir [13,14]. Malahit ve simitsonit gibi cevherlerin hidrometalurjik metotla işlenmesi sonucunda da bakır ve çinko metalik olarak elde edilebileceği gibi çeşitli bileşikleri halinde de kazanılabilmektedir [11]. Bununla birlikte, özellikle Fe⁺³ iyonları başta olmak üzere safsızlık oluşturabilecek başka metal iyonlarını içermeyen veya en az düzeyde içeren daha temiz liç çözeltileri oluşturmak için amonyak, amonyum klorür, amonyum karbonat, amonyum nitrat gibi kimyasallar da oksitli/karbonatlı cevherlerin liçinde çözücü olarak kullanılmaktadır [15-20].

Malahit esas olarak bakırın bir hidrosikarbonat mineralidir. Farklı kaynaklardan temin edilen malahit örnekleri bakırın yanı sıra Zn, Fe ve Al gibi diğer metalleri de barındırabilmektedir [11]. Mevcut çalışmada kullanılan malahit aynı zamanda simitsonit yapısında önemli miktarda çinko, siderit yapısında demir içermektedir. Bu çalışmanın amacı, malahitten seçimli olarak bakır ve çinkoyu liç çözeltisine almak ve ilave herhangi bir ayırma ve saflaştırma işlemi uygulamadan bakır ve çinkoyu birlikte çöktürmek suretiyle ikili Cu/Zn oksit katalizörü üretmektir. Bu durumda, saf sentetik kimyasalların sulu çözeltileri yerine doğrudan liç çözeltisi kullanılarak Cu/Zn oksit katalizörü hazırlanmış olacaktır. Bu amaç için cevherin liçi uygun pH ve $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{NO}_3$ çözeltilerinde belirlenen oranda bakır ve çinkonun liç çözeltisine

geçmesini sağlayacak şartların belirlenmesi için iki faktörlü tam faktöriyel merkezi kompozit tasarımı ile deneyler yapılmıştır. Varyans analizi ile faktörlerin ve etkileşimlerin etkinliği belirlenmiştir. Yanıt yüzey yöntemi kullanılarak istenen liç verimi için pH ve $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{NO}_3$ derişiminin optimum değerleri belirlenmiştir.

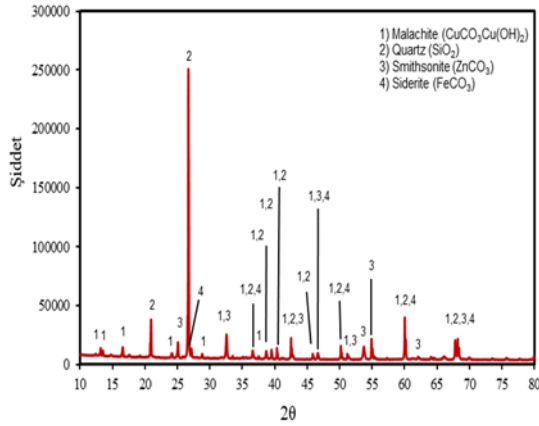
2. MATERYAL VE METOD

Çinko içeren malahit cevherinden seçimli olarak sadece bakır ve çinkonun liç edilmesi ve liç çözeltisinden Cu/Zn oksit ikili katalizörünün elde edilmesi için bir akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çinko içeren malahit cevherinden Cu/Zn oksit ikili katalizörü üretimi için akış diyagramı

Cu/Zn oksit ikili katalizörünün hazırlanmasında kullanılan malahit el örnekleri Tunceli ilinden eski bir maden yatağı çevresinden temin edilmiştir. Cevher örneği kırılıp öğütüldükten sonra elenmiş ve farklı tane boyutlarına sahip fraksiyonlar hazırlanmıştır. Cevher örneğinin yapısal analizi X-Işınları Difraktometresi (Rigaku RadB-DMax-II) ile yapılmış ve sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiştir. 1,54050 Å dalga boyuna sahip Cu/K_α ışını altında 2θ, 10-80° arasında çekim yapılmıştır. Şekil 2'de verilen XRD spektrumundan görüleceği gibi cevherin kuvars (SiO₂), malahit (Cu₂(CO₃)(OH)₂), simitsonit (ZnCO₃) ve siderit (FeCO₃) minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Cevher örneğinin (-60+80 mesh) kimyasal analizi X-Işınları Floresans Spektrometresi (Spectro Xcpus XRF spektrometre) ile yapılmıştır. Bu analiz sonucunda cevher örneğinin %40,37 SiO₂, %24,42 ZnO, %9,61 CuO, %7,27 Fe₂O₃, %4,51 Al₂O₃ ve %3,32 diğer oksitleri (Pb, Mn, Ca ve Mg oksitler) içerdiği belirlenmiştir. Cevherin kızdırma kaybı ise 800 °C'de kül fırınında %10,5 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan malahit cevher örneğinin XRD grafiği

Deneyisel çalışmada NH₃ ve NH₄NO₃'ten hazırlanmış olan tampon çözeltiler liç reaktifi olarak kullanılmıştır. Çizelge 1'de gösterildiği gibi bağımsız değişkenler olarak pH ve NH₃ derişimi seçilmiş ve bu iki bağımsız değişkenin değerine uygun NH₄NO₃ derişimi ise Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır (NH₃ için 40 °C için K_b=1,86·10⁻⁵) [21].

$$pOH = pK_b - \log \frac{[NH_3]}{[NH_4NO_3]} \quad (1)$$

Eşitlik 1'e göre elde edilen çözeltilerin pH değerleri pH metre (Hanna 211) ölçümü ile teyit edilmiştir.

Çizelge 1. Merkezi kompozit tasarımda kullanılan bağımsız değişkenler ve düzeyleri

Bağımsız değişken	Kod	-α	-1	0	+1	+α
pH	A	8,67	9	9,80	10,60	10,93
NH ₃ derişimi (M)	B	0,38	1,0	2,5	4,0	4,62

Cevherden bakır ve çinkoyu birlikte liç çözeltilisine almak amacıyla 1 L hacme sahip ceketli bir cam reaktör, mekanik karıştırıcı, sirkülatörlü su banyosu ve geri soğutucudan oluşan bir deney düzeneğinden yararlanılmıştır. Her bir deneyde NH₃ ve NH₄NO₃ derişimleri bilinen çözeltilerin 500 mL'si reaktöre eklendikten sonra çözeltili sıcaklığı sirkülatörlü su banyosu yardımıyla 40 °C'ye getirililerek -60+80 mesh ortalama tane boyutuna sahip 5 g cevher örneği çözeltiliye ilave edildi. Reaktördeki çözeltili ile katının karıştırılması işlemi 240 dk 500 rpm hızda yapılarak cevherdeki bakır ve çinkonun çözeltili ortamına transfer olması sağlandı. Tepkime süresi sonunda cevherin çözünmeyen kısmı ile çözeltili filtrasyon işlemi ile birbirinden ayrıldı. Elde edilen liç çözeltilisindeki bakır ve çinko miktarları kompleksometrik titrasyon yöntemi ile belirlendi [22]. Çözünmüş olan bakır ve çinko yüzdeleri ise sırasıyla Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 kullanılarak hesaplandı.

$$\% \text{ Çözünen Cu} = \frac{\text{Çözeltilideki bakır miktarı}}{\text{Cevherdeki bakır miktarı}} \times 100 \quad (2)$$

$$\% \text{ Çözünen Zn} = \frac{\text{Çözeltilideki çinko miktarı}}{\text{Cevherdeki çinko miktarı}} \times 100 \quad (3)$$

Deneylerde bağımsız değişkenler olarak seçilen pH ve NH₃ derişiminin (Eşitlik 1'e bağlı olarak NH₄NO₃ derişiminin) yanıt (% Cu ve % Zn) üzerine olan etkileri incelendi. Deney tasarımı iki faktörlü tam faktöriyel merkezi kompozit tasarım (MKT) uygulandı. Regresyon ve varyans analizleri (ANOVA) Design Expert 11.0 yazılımı ile yapıldı.

Katı fazdan çözeltili fazına geçen Cu⁺² ve Zn⁺² iyonlarını karbonat formunda çöktürme işleminde

kullanılan stok çözelti, belirlenmiş olan optimum şartlarda liç deneyleri yapılarak hazırlandı. Hazırlanan stok çözeltide Cu^{+2} ve Zn^{+2} derişimleri sırasıyla 0,0109 M ve 0,008 M olarak ölçüldü. Çöktürme işlemi liç tepkimelerinin yapıldığı deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirildi. Elde edilen liç çözeltisindeki NH_3 , çözeltinin 80 °C'ye ısıtılması suretiyle uzaklaştırıldı. Stok liç çözeltisinin 250 mL'lik kısmı reaktöre eklendikten sonra çözelti sıcaklığı 70 °C'ye getirildi. Bu çözelti üzerine stokiyometrik oranın %30 fazlası kadar Na_2CO_3 çözeltisinin 250 mL'si 80 dk süresince bir büret yardımı ile damla damla eklendi ve 250 rpm karıştırma hızı uygulandı. Na_2CO_3 çözeltisinin tamamı eklendikten sonra 60 dk süre ile belirtilen karıştırma hızında yaşlandırma işlemi gerçekleştirildi. Tepkime süresince çözelti pH'ı yaklaşık 6 civarında tutuldu [23]. Tepkime sonunda çözeltinin oda sıcaklığına soğuması için beklendi. Daha sonra reaktördeki katı ile sıvı filtrasyon işlemiyle birbirinden ayrıldı. Oluşan katı çökelek saf su ile yıkandıktan sonra 120 °C'deki etüvde 24 saat boyunca kurutuldu. Kurutulan çökelek 350 °C'de 6 saat süresince bir tüp fırında O_2 akımı altında kalsinasyon işlemine tabi tutuldu. Kalsinasyondan önce ve kalsinasyon sonrası elde edilen katı ürünün yapısal analizi X-Işımları Difraktometresi ile yapıldı. Katalizörün bakır ve çinko içerikleri ise asit çözeltisinde çözündürüldükten sonra kompleksometrik titrasyonla tayin edildi.

Benzenden fenolün tek kademeli katalitik oksidasyon deneyleri 100 mL'lik üç boyunlu ceketli bir cam reaktörde yürütüldü. Reaktör içeriğinin tam olarak karıştırılması için manyetik balık kullanıldı. Reaksiyon süresince sıcaklığın sabit tutulması amacıyla sabit sıcaklık sirkülatörü ve buharlaşmayı engellemek için geri soğutucu kullanıldı. Deneylerde reaktöre asetonitrilde hazırlanan belirlenmiş derişimdeki benzen çözeltisinin 25 mL'si eklendikten sonra çözelti sıcaklığı sirkülatörlü su banyosuyla istenen sıcaklığa getirildi, oksijen gazı (1 atm) kabarcık oluşturacak şekilde sürekli beslendi. İndirgeyici ajan olarak L-askorbik asit ve katalizör ilavesiyle reaksiyon başlatıldı. Reaksiyonun başlatılmasından sonra belirli zaman aralıklarında 0.3 mL numuneler alındı, asetonitrille 1 mL'ye seyreltilerek santrifüj

edildi. Süpematant kısmı 0.45 µm hidrofilik (PTFE) enjeksiyon filtrelerden geçirilerek viallere bırakıldı. Elde edilen ürünler HPLC cihazı ile analiz edildi.

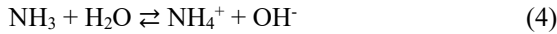
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Katalitik olmayan heterojen tepkimelere bir örnek oluşturan liç tepkimelerinin üzerine çözücü derişimi, tepkime sıcaklığı, katı malzemenin ortalama tane boyutu, katı/sıvı oranı ve karıştırılma hızı gibi parametrelerin etkisinin olduğu bilinmektedir. Bunların yanı sıra, çözelti pH'ı, reaktör geometrisi ve karıştırıcı tipi gibi başka faktörler de liç verimi üzerinde az veya çok etkili olabilmektedir. Liç çözeltisi olarak zayıf asit veya bazlar çözücü olarak kullanıldığı zaman çözelti pH'ı liç verimi üzerinde önemli bir etki gösterebilir. Özellikle bazik karakterli cevherlerin hafif asidik karaktere sahip çözücülerde liç işlemine tabi tutulması durumunda, liç işleminde esas olarak sorumlu olan H_3O^+ iyonlarının harcanması sebebiyle yeterli bir liç verimine ulaşamayabilir. Bu durumda, çözelti derişimini yüksek tutmak veya liç işlemi daha uzun sürelerde yürütmek gerekebilir. Bununla birlikte çözelti pH'ı, liç çözeltisinde bulunması istenmeyen metal türlerin liç işlemi esnasında hidroksit formunda çökmesini sağlayarak uzaklaştırılması veya ortam pH'ından dolayı çözümlerinin engellenmesi bakımından ve bazı metal türlerin çözünür kompleks iyonlar oluşturarak çökmelerinin önlenmesi açısından da önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle cevherin yapısında bulunan demirin çözünmesinin önlenmesinde veya ortamda bulunan Fe^{+3} iyonlarının çöktürülmesinde ortamın pH değeri oldukça önemlidir.

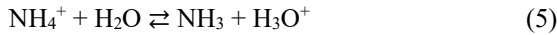
Tepkime sıcaklığı, ortalama tane boyutu, katı/sıvı oranı ve karıştırma hızının yukarıda verilmiş olan değerleri deneysel olarak belirlendikten sonra, bu parametreler belirtilen değerlerde sabit tutularak NH_3 derişimi ve çözelti pH değerinin cevherdeki bakır ve çinkonun çözünürlüğü üzerine olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen ikili Cu/Zn oksit katalizörü fenolün sıvı fazda oksidasyonunda (bu reaksiyon için istenilen Cu/Zn oranı 70/30'dur) kullanılmak üzere hazırlandığı için bakır

iyonlarının mümkün olan en yüksek, çinko iyonlarının ise mümkün olan en düşük değerlerde liç çözeltisine geçmesini sağlayan optimum pH ve NH₃ derişimi değerleri belirlenmiştir.

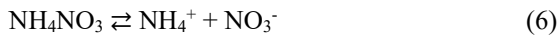
Bazik özelliğe sahip bir cevherin zayıf bir baz olan NH₃ ortamında çözünmesi için H₃O⁺ iyonlarına ihtiyaç vardır. NH₃ sulu ortamda Eşitlik 4'teki tepkimeye göre NH₄⁺ iyonunu oluşturur.



Oluşan NH₄⁺ iyonu Eşitlik 5'te gösterilmiş olan hidroliz tepkimesiyle H₃O⁺ iyonunun oluşmasını sağlar.

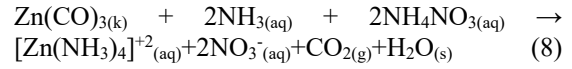
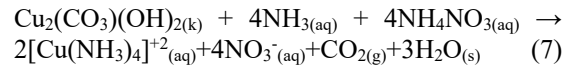


Bununla birlikte tampon bir çözelti oluşturmak amacıyla kullanılan zayıf asit özelliğine sahip NH₄NO₃ tuzu sulu ortamda Eşitlik 6'daki gibi iyonlaşır.



Eşitlik 6'da görülen NH₄⁺ iyonu da su ile hidroliz tepkimesi verir ve Eşitlik 5'teki tepkimeye göre yine NH₃ ve H₃O⁺ oluşturur. Çözelti ortamında bulunan NH₃ ve NH₄⁺ iyonu liç işleminde önemli bir rol oynarlar. NH₄⁺ iyonunun hidrolizi sonucu oluşan H₃O⁺ iyonları da cevherin çözünmesinde görev alırken, NH₃ çözelti ortamına geçen Cu⁺² ve Zn⁺² ile çözünürlüğü yüksek olan kararlı tetramin komplekslerinin oluşmasını sağlar. Oluşan bu kompleks iyonlar çözeltinin pH değeri yüksek olmasına rağmen bir çökelek oluşturmadan çözelti ortamında çözünür halde bulunurlar. Böylece Eşitlik 5'te görülen NH₃ ve H₃O⁺ harcandıkça eşitliğin sol tarafındaki NH₄⁺ iyonu H₂O ile tepkime vererek NH₃ ve H₃O⁺ oluşturur. Böylece NH₄⁺ iyonunun esas kaynağı olan Eşitlik 4'teki tepkime de NH₄⁺ oluşturmak için sağa doğru ilerleyecektir. Ancak, Eşitlik 4'teki tepkime sağa doğru ilerledikçe çözelti ortamında OH⁻ iyonu miktarında bir artış söz konusu olabilir. OH⁻ iyonu miktarında meydana gelebilecek bu artış neticesinde çözelti ortamında bulunan Cu⁺² ve Zn⁺² iyonları Cu(OH)₂ ve Zn(OH)₂ türlerini oluşturarak çökebilirler. Fakat oluşabilecek Cu(OH)₂ ve Zn(OH)₂ türleri ortamdaki aşırı NH₃ ile

tepkime vererek yine tetramin komplekslerini oluştururlar [24-26]. Bununla birlikte, oluşan H₃O⁺ ortamdaki OH⁻ ile nötrleşme tepkimesi vererek H₂O da oluşabilir. Dolayısıyla, çözelti ortamının pH değeri fazla değişmeden hemen hemen sabit kalmış olur. Netice olarak çinko içeren malahit cevheri NH₃ ve NH₄NO₃ içeren sulu çözeltiye ilave edildiği zaman Eşitlik 7 ve Eşitlik 8'de gösterilmiş olan toplam tepkimelere göre çözünme işlemi gerçekleşir ve cevherin yapısındaki bakır ile çinko çözelti ortamında [Cu(NH₃)₄]²⁺ ile [Zn(NH₃)₄]²⁺ kompleks iyonları halinde bulunur.



Deney tasarımında yanıt yüzey yöntemi (YYY) bağımlı değişken üzerine bağımsız değişkenlerin etkilerini belirlemek ve optimum yanıtı elde etmek için kullanılabilir. YYY'nin en çok kullanılan yöntemlerinden birisi merkezi kompozit tasarım (MKT) olup faktörlerin düzeylerini belirlemek ve yanıt tahmini için ikinci derece bir polinom modeli elde etmek için kullanılır [27]. Bu çalışmada, toplam deney sayısı 2ⁿ faktöriyel düzeninde 2ⁿ+2n+n₀ ifadesinden hesaplanmıştır. Burada, n bağımsız değişken sayısını ve n₀ ise merkezi noktayı temsil etmektedir. Deneylerde bağımsız değişken sayısı 2 olduğundan, 2²=4 faktöriyel nokta ve 2x2=4 eksenel nokta bulunmaktadır. Merkezi noktada yapılacak tekrar deney sayısı 5 olarak seçilmiş olup toplam deney sayısı 13 olarak belirlenmiştir. Oluşturulan deney planı ve bu deneylerden elde edilen yanıtlar (% Cu ve % Zn) Çizelge 2'de verilmiştir.

Değişkenler arasındaki ilişkiyi temsil edecek modeli belirlemek amacıyla deney sonuçlarına çoklu regresyon analizi uygulandıktan sonra bakır ve çinko liç verimlerini temsil eden yanıtlar ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren ikinci dereceden model denklemleri sırasıyla Eşitlik 9 ve Eşitlik 10'da verilmiştir.

$$\% \text{ Cu} = 346,29 - 47,099\text{A} - 10,42\text{B} + 1,6\text{AB} + 2,03\text{A}^2 - 0,22\text{B}^2 \quad (9)$$

$$\% \text{Zn} = 399,68 - 75,07A + 47,98B - 3,83AB + 3,91A^2 - 0,45B^2 \quad (10)$$

Eşitlik 9 ve 10'daki modellerin istatistiksel önemleri ve uygunlukları, varyans analizi ve F-testi yapılarak belirlenebilir. Elde edilen deneysel sonuçlar için varyans analiz sonuçları belirlenmiş ve bu sonuçlar F testine göre yorumlanmıştır. Bakır ve çinko liç yanıtları için varyans analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 3 ve 4'te gösterilmiştir.

Bağımsız değişkenler ile yanıtlar arasındaki iki-faktörlü ve ikinci dereceden etkileşimler için Prob>F değerleri incelendiği zaman, pH-pH (A²), NH₃ derişimi-NH₃ derişimi (B²) ve pH-NH₃

derişimi (AB) etkileşimi için Çizelge 3'ten bu değerlerin 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Böylece bu etkileşimlerin bakır liçi üzerinde bir etkiye sahip oldukları ifade edilebilir. Çizelge 4'ten pH-pH (A²) ve pH-NH₃ derişimi (AB) etkileşimi için Prob>F değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu ve NH₃-NH₃ etkileşimi için Prob>F değerlerinin 0,05'ten büyük olduğu gözlenmektedir. Dolayısıyla çinko liçinde kuadratik terim olan pH-pH (A²) ve iki-faktörlü terim olan pH-NH₃ derişiminin (AB) yanıt (% Zn) üzerinde bir etkiye sahip olduğunu ve NH₃-NH₃ (B²) derişiminin % Zn yanıtı üzerinde etkili olmadığını söylemek mümkündür. Böylece çinko için zenginleştirilmiş ikinci dereceden model denklemi Eşitlik 11 ile ifade edilebilir.

Çizelge 2. Merkezi kompozit tasarımı deney tablosu ve elde edilen deneysel sonuçları

Deney Sırası	A: pH	B: NH ₃ derişimi (M)	NH ₄ NO ₃ derişimi (M)	% Cu	% Zn
1	8,67	2,50	9,95	98,1	79,6
2	10,60	1,00	0,05	80,9	50,4
3	9,00	4,00	7,45	99,3	86,3
4	9,80	2,50	0,74	91,5	61,7
5	9,80	2,50	0,74	91,5	64,1
6	9,80	2,50	0,74	91,7	63,8
7	10,60	4,00	0,19	97,8	67,3
8	9,80	2,50	0,74	91,8	61,4
9	9,00	1,00	1,86	90,1	51,0
10	10,93	2,50	0,05	90,7	57,3
11	9,80	0,38	0,11	82,3	45,1
12	9,80	2,50	0,74	91,0	63,3
13	9,80	4,62	1,36	99,3	77,6

$$\% \text{Zn} = 422,01 - 79,20A + 45,71B - 3,83AB + 4,12A^2 \quad (11)$$

Elde edilen zenginleştirilmiş çinko model denklemine göre çinko liç yanıtları için varyans analiz sonuçları Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Eşitlik 11'de çinko liçi için verilmiş olan istatistiksel modelin R² ve R²_{adj} değerleri ise sırasıyla 0,9771 ve 0,9657 olarak bulunmuştur. Yüksek R² değerleri bakır ve çinko liç yanıtları için belirlenmiş olan modellerden elde edilen değerler ile deneysel olarak elde edilen sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğunu göstermektedir. Bu uyumu görmek amacıyla deneysel olarak elde edilen yanıt değerlerine karşı model denkleminde hesaplanan değerlerin grafiği bakır liçi için Şekil 3'de, çinko liçi için ise Şekil 4'te verilmiştir. Bu şekillerden tahmin edilen değerler ile deneysel değerler

arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu gözlenmektedir.

Ayrıca, Çizelge 3 ve 5'te verilmiş olan yeterli hassasiyet değeri belirlenen modelin deneysel sonuçlar arasındaki ilişkiyi tarif etmede kullanılabilir. 4'ten büyük yeterli bir hassasiyet değerinin belirlenmesi modelin uygun olduğunu gösterir. Bakır ve çinko liçi için yeterli hassasiyet değerleri sırasıyla 54,12 ve 31,63 olarak belirlenmiştir. Belirtilen yeterli hassasiyet değerleri de bakır ve çinko liçi için model denklemlerinin deneysel sonuçların tahmininde oldukça hassas olduğuna işaret etmektedir.

Bağımsız parametrelerin birbirleriyle etkileşimi ve sonuç arasındaki ilişkiyi göstermesi bakımından model denkleminde elde edilen üç boyutlu yanıt

yüzey ve iki boyutlu kontur grafikler kullanılabilir. Bu grafikler üzerinde optimum deney koşulları da gözlemlenebilir. Bakır ve çinko liçinde yanıt üzerindeki etkileri incelenen pH ve NH₃ derişimi arasındaki

etkileşimin üç boyutlu yanıt yüzey ve iki boyutlu kontur grafikleri sırasıyla Şekil 5 ve 6'da verilmiştir.

Çizelge 3. Merkezi kompozit tasarımda % Cu için ANOVA sonuçları

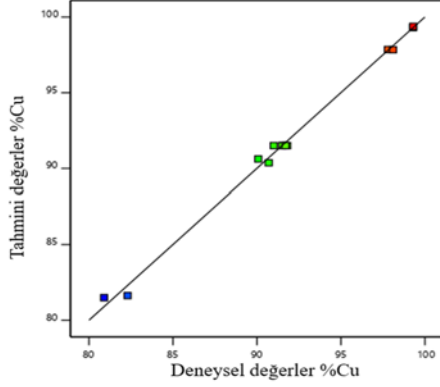
Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri	Prob>F
Model	400,05	5	80,01	337,77	<0,0001
A-pH	55,89	1	55,89	235,94	< 0,0001
B-[NH ₃]	314,33	1	314,33	1326,95	< 0,0001
AB	14,75	1	14,75	62,25	< 0,0001
A ²	11,74	1	11,74	49,57	0,0002
B ²	1,67	1	1,67	7,04	0,0328
Atk	1,66	7	0,2369		
Uyum eksikliği	1,28	3	0,4258	4,47	0,0909
Saf Hata	0,3807	4	0,0952		
Toplam	401,71	12			
R ² =0,9959 Yeterli hassasiyet=54,12					
R _{adj.} ² =0,9929					

Çizelge 4. Merkezi kompozit tasarımda % Zn için ANOVA sonuçları

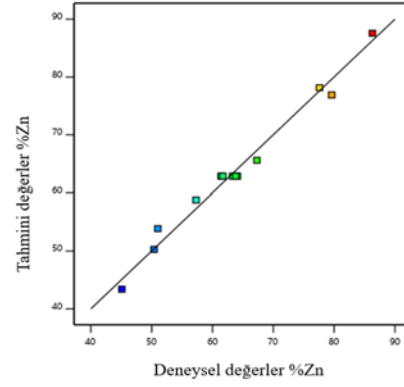
Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri	Prob>F
Model	1672,50	5	334,50	73,98	<0,0001
A-pH	327,00	1	327,00	72,32	< 0,0001
B-[NH ₃]	1203,39	1	1203,39	266,13	< 0,0001
AB	84,55	1	84,55	18,70	0,0035
A ²	43,58	1	43,58	9,64	0,0172
B ²	7,30	1	7,30	1,62	0,2444
Atk	31,65	7	4,52		
Uyum eksikliği	25,56	3	8,52	5,59	0,0648
Saf Hata	6,09	4	1,52		
Toplam	1704,16	12			
R ² =0,9814 Yeterli hassasiyet=30,58					
R _{adj.} ² =0,9682					

Çizelge 5. Merkezi kompozit tasarımda zenginleştirilmiş modelde % Zn için ANOVA sonuçları

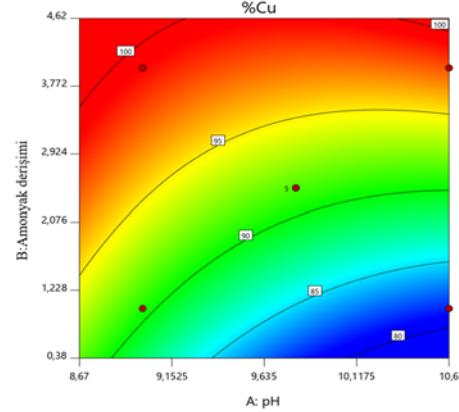
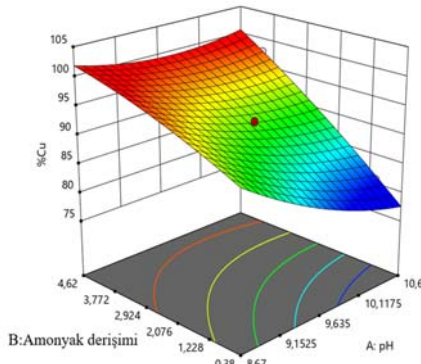
Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri	Prob>F
Model	1665,20	4	416,30	85,49	<0,0001
A-pH	327,00	1	327,00	67,15	< 0,0001
B-[NH ₃]	1204,18	1	1204,18	247,30	< 0,0001
AB	84,55	1	84,55	17,36	0,0031
A ²	49,24	1	49,24	10,11	0,0130
Atk	38,95	8	4,87		
Uyum eksikliği	32,86	4	8,22	5,39	0,0657
Saf Hata	6,09	4	1,52		
Toplam	1704,16	12			
R ² =0,9771 Yeterli hassasiyet=31,63					
R _{adj.} ² =0,9657					



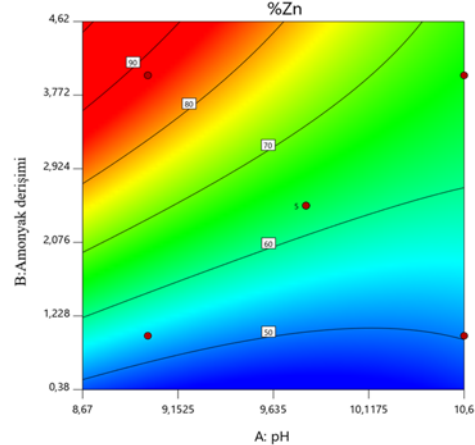
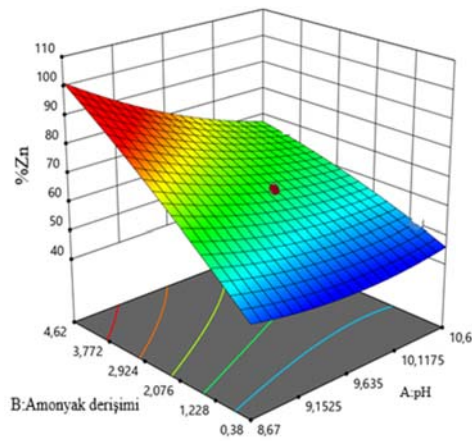
Şekil 3. Bakır liçi için tahmini ve deneysel değerler grafiği



Şekil 4. Çinko liçi için tahmini ve deneysel değerler grafiği



Şekil 5. Merkezi kompozit tasarıma göre oluşturulan bakır çözünmesi için bağımsız iki değişkenin etkileşimi ve sonuç üzerine etkisini gösteren üç boyutlu (3D) ve kontur grafikleri

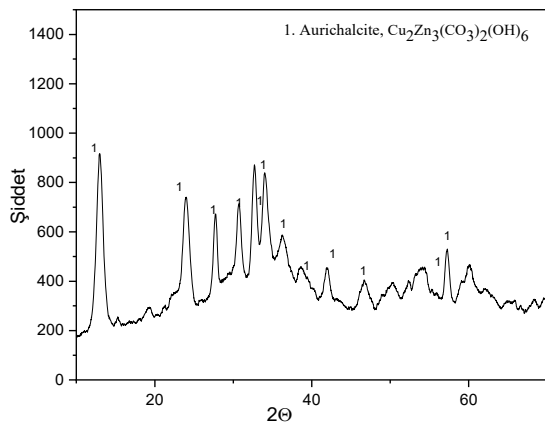


Şekil 6. Merkezi kompozit tasarıma göre oluşturulan çinko çözünmesi için bağımsız iki değişkenin etkileşimi ve sonuç üzerine etkisini gösteren üç boyutlu (3D) ve kontur grafikleri

Şekil 5'te bakır liç veriminin ve Şekil 6'da çinko liç veriminin pH artışından olumsuz etkilendiği, buna karşılık NH₃ derişimindeki artışın liç verimlerini olumlu yönde etkilediği anlaşılmaktadır. Böylece NH₃ derişiminin hem bakır hem de çinkonun liç verimi üzerinde çözelti pH'ından daha etkili bir parametre olduğu söylenebilir.

Malahit cevherinden çözelti ortamına transfer edilen maksimum bakır ve minimum çinko liç yüzdesini veren optimum deneysel şartlar Design Expert'in desirability fonksiyonu kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre optimum şartlar pH'ın 9,80, NH₃ derişiminin 0,38 M ve Eşitlik 1'e göre hesaplanan NH₄NO₃ derişiminin 0,11 M olduğu tespit edilmiştir. Bu şartlar altında çözeltiye alınan bakır ve çinko liç verimleri sırasıyla %82,3 ve %45,1 olarak belirlenmiştir.

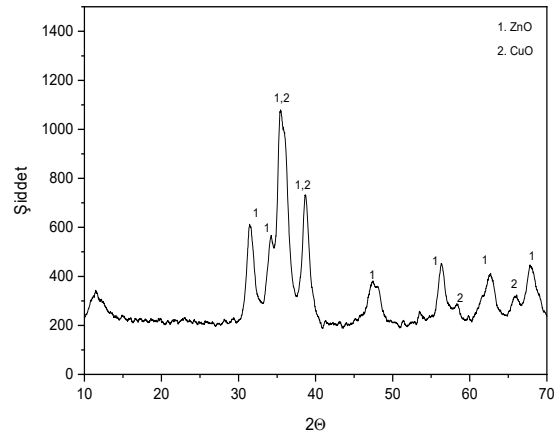
Malahit cevherindeki bakır ve çinko liçi için optimum NH₃ derişimi ve pH değeri belirlendikten sonra hazırlanmış olan liç çözeltisinden Cu⁺² ve Zn⁺² iyonlarının çöktürülmesi deneyleri yapılmıştır. Çözeltideki Cu⁺² ve Zn⁺² iyonlarının Na₂CO₃ çözeltisi ile çöktürülmesi neticesinde elde edilmiş olan karbonat formundaki katı ürüne ait XRD analiz sonucu Şekil 7'de verilmiştir. Bu şekilde, Cu₂Zn₃(CO₃)₂(OH)₆, aurichalcite piklerinin yer aldığı gözlenmektedir.



Şekil 7. Çöktürme işlemi sonunda elde edilen katı ürüne ait XRD spektrumu

Elde edilen katı ürünün katalizör olarak kullanılabilmesi için kalsine edilmesi gerekir. 350 °C'de 6 saat süresince bir tüp fırında kalsinasyon işlemi sonucunda elde edilen ürüne ait XRD analiz sonucu Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 8'de CuO ve ZnO piklerinin yer aldığı gözlenmektedir. Kalsinasyondan sonra elde edilen oksit formundaki üründe yaklaşık %44 CuO ve %56 ZnO içeriği belirlenmiştir.

Fenol kimya endüstrinde kullanılan önemli kimyasallardan biridir. Başlıca zirai ilaç, yapay elyaf, boya, fenolik reçine, polimer ve anti oksidanların üretiminde kullanılmaktadır [28,29]. Dünya genelinde fenol daha ziyade çok basamaklı kümen prosesi ile üretilmektedir. Ancak, bu prosenin çevresel açıdan dezavantajları olmasının yanı sıra yüksek enerji gerektirmesi ve fazlaca yan ürünlerin oluşması gibi olumsuzlukları söz konusudur [30,31]. Bu sebeple alternatif fenol üretim proseleri üzerinde çalışmalar yürütülmektedir. Benzenin doğrudan oksidasyonu ile tek basamakta fenol üretiminin ekonomik açıdan daha uygun olduğu belirtilmiştir [28-32]. Benzenin gaz veya sıvı fazda fenole tek basamaklı katalitik oksidasyonu ile fenol üretmek mümkündür. Bu üretim prosesi katalitik bir proses olduğu için çok çeşitli katalizörler geliştirilmiştir. Ancak, genellikle yüksek fenol verimine ulaşamadığı tespit edilmiştir [28-30].



Şekil 8. Kalsinasyon işlemi sonunda elde edilen oksit ürüne ait XRD spektrumu

Çizelge 6. Benzenin fenole sıvı faz katalitik oksidasyonunda kullanılan bazı katalizörler ve fenol verimleri

Katalizör	Fenol verimi (%)	Kaynak
Cu/TiO ₂	0,60	[33]
Cu/SiO ₂	1,40	
Cu/Al ₂ O ₃	1,40	
Cu/SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,10	[34]
FeCu/TiO ₂	0,45	[35]
FeV/TiO ₂	2,28	
Cu/ZnO	3,03	[36]
V ₂ O ₅	2,50	[37]
Cu/ZnO	3,16	Bu çalışma

Bu çalışmada üretilen Cu/Zn oksit katalizörünün benzenin sıvı fazda tek basamaklı katalitik oksidasyonu ile fenol üretiminde kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda malahitten üretilmiş olan Cu/Zn oksit katalizörünün söz konusu proseste kullanılabileceği belirlenmiştir. Deneylerde en yüksek fenol verimi %3,16 olarak tespit edilmiştir. Çizelge 6'da benzenin sıvı fazda tek basamaklı katalitik oksidasyonu ile fenol üretiminde kullanılan bazı katalizörler ve elde edilen fenol verimleri gösterilmiştir.

Farklı katalizörler kullanılarak benzenden fenol üretiminde verimin düşük olduğu Çizelge 6'da gözlenmektedir. Bu çalışmada elde edilen fenol veriminin diğer katalizörlerin kullanılmasıyla elde edilen verime göre bir miktar daha fazla olduğu da Çizelge 6'dan anlaşılmaktadır.

4. SONUÇLAR

Mevcut çalışmada, malahit cevherinden bakır ve çinkonun hidrometalurjik yöntemle liç edilmesi ve elde edilen çözeltiden çöktürme yöntemiyle Cu/Zn oksit katalizörlerinin sentezlenmesi ve sentezlenen katalizörün benzenin fenole tek kademeli sıvı faz reaksiyonu için kullanılabiliği incelendi. Cevherdeki bakır ve çinkonun liçi için NH₃/NH₄NO₃ tampon çözeltileri kullanıldı. Liç işlemi ile çözelti ortamına geçen bakır ve çinko miktarları bağımsız değişkenler olarak seçilen NH₃ derişimi ve ortam pH'nın optimum değerleri yanıt

yüzey yöntemi ile belirlendi. Deneylerden elde edilen bulgulara çoklu regresyon analizi uygulandı ve bakır ile çinko liç verimlerini temsil eden yanıtlar ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren model denklemler oluşturuldu. Çözelti pH'ında meydana gelen bir artışın hem bakır hem de çinko liç verimlerini olumsuz yönde etkilediği buna karşılık NH₃ derişimindeki artışın ise her iki tür için liç verimlerinde bir artış sağladığı gözlemlendi. Bu bulguya dayanarak malahit cevherinden bakır ve çinko liçi üzerinde NH₃ derişiminin çözelti pH'ından daha etkili bir parametre olduğu sonucuna varıldı. Bu koşullarda yapılan liç işleminde cevherdeki bakırın %82,3'ünün ve çinkonun ise %45,1'inin çözelti ortamına transfer edildiği belirlendi. Liç çözeltisinden Cu⁺² ve Zn⁺² iyonlarını çöktürmek için Na₂CO₃ kullanıldığından oluşan katı fazda bakır ve çinkonun karbonat formunda oldukları XRD analizi ile belirlendi. Bu katı, 350 °C sıcaklıkta kalsine edilerek ikili Cu/Zn oksit katalizörü üretildi. Sentezlenen katalizör benzenin fenole tek kademeli oksidasyon reaksiyonunda kullanılabiliği incelendi ve belirlenen şartlar altında fenol verimi %3,16 olarak bulundu.

Bu çalışmada, ülkemizde mevcut olan ve bakırla birlikte önemli miktarda çinko da içeren bir malahit cevherinden, endüstride önemli kullanım yeri bulan Cu/Zn oksit ikili katalizörü üretildi. Uygulanan bu yöntemle Cu/Zn oksit ikili katalizörlerinin hazırlanması için yüksek saflıkta bakır ve çinko bileşiklerinin kullanılmasına gerek kalmadan doğrudan cevher kullanılarak liç çözeltisine alınan bakır ve çinkonun birlikte çöktürülmesi ile ikili katalizörler hazırlanabilir. Bu da katalizörün üretim maliyetine olumlu yönde bir katkı yapacaktır. Ayrıca, liç koşullarının ayarlanmasıyla çözelti ortamına geçen bakır ve çinko miktarlarının istenen oranda olması da sağlanabilir. Böylece istenen bileşime sahip Cu/Zn oksit ikili katalizörleri üretmek mümkün olabilecektir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje numarası: FDK-2018-1451).

6. KAYNAKLAR

1. Aslan, G., 2005. Metal Oksitler ile İyileştirilmiş Alkan Dehidrojenasyon İkili Katalizörlerinin Hazırlanması ve Tanımlanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 69.
2. Baysar, A., 1985. In Situ FTIR Spectroscopy of Adsorbed Species on Mixed Metal Oxide Catalysts for Higher Alcohol Synthesis. M. Sc. Thesis, Iowa State University, Graduate Collage, Ames, Iowa, USA, 202.
3. Mota, N., Guil-Lopez, R., Pawelec, B.G., Fierro, L.G., Navarro, R.M., 2018. Highly Active Cu/ZnO-Al Catalyst for Methanol Synthesis: Effect of Aging on its Structure and Activity. Royal Society of Chemistry Advances, 8(37), 20619-20629.
4. Aydoğan, S., Aras, A., Canbazoglu, M., 2005a. Dissolution Kinetics of Sphalerite in Acidic Ferric Chloride Leaching. Chemical Engineering Journal, 114(1-3), 67-72.
5. Ekmekyapar, A., Aktaş, E., Künkül, A., Demirkıran, N., 2012. Investigation of Leaching Kinetics of Copper from Malachite Ore in Ammonium Nitrate Solutions. Metallurgical and Materials Transactions B., 43(4), 764-772.
6. Habashi, F., 1997. Handbook of Extactive Metallurgy. Wiley Company, Weinheim, Germany, 1228.
7. Long, X., Chen, Y., Chen, J., Xu, Z., Liu, Q., Du, Z., 2016. The Effect of Water Molecules on the Thiol Collector Interaction on the Galena (Pbs) and Sphalerite (Zns) Surfaces: A DFT study. Applied Surface Science, 389, 103-111.
8. Faris, N., Ram, R., Chen, M., Tardio, J., Pownceby, M. I., Jones, L., McMaster, S., Webster, N.A.S, Bhargava, S., 2017. The Effect of Thermal Pre-Treatment on the Dissolution of Chalcopyrite (Cufes₂) in Sulfuric Acid Media. Hydrometallurgy, 169, 68-78.
9. Liu, H., Xia, J., Nie, Z, Liu, L., Wang, L, Ma, C., Zheng, L., Zhao, Y., Wen, W., 2017. Comparative study of S, Fe and Cu Speciation Transformation During Chalcopyrite Bioleaching by Mixed Mesophiles and Mixed Thermophiles. Minerals Engineering. 106, 22-32.
10. Zhang, Y., Deng, J., Chen, J., Yu, R., Xing, X., 2013. Leaching of Zinc from Calcined Smithsonite Using Sodium Hydroxide. Hydrometallurgy, 131-132, 89-92.
11. Ekmekyapar, A., Demirkıran, N., Künkül, A., Aktaş, E., 2015. Leaching of Malachite Ore in Ammonium Sulfate Solutions and Production of Copper Oxide. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 32(1), 155-165.
12. Tanaydın, M.K., Bakıcı Tanaydın, Z., Demirkıran, N., 2021. Determination of Optimum Process Conditions by Central Composite Design Method and Examination of Leaching Kinetics of Smithsonite Ore using Nitric Acid Solution. Journal of Sustainable Metallurgy, 7(1), 178-191.
13. Bingöl, D., Canbazoglu, M., 2004. Dissolution Kinetics of Malachite in Sulphuric Acid. Hydrometallurgy, 72(1-2), 159-165.
14. Aktaş, C., 2011. Oksitli Bakır Cevherlerinden Bakır Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 68.
15. Ghosh, M.K., Anand, S., Das, R. P., 1989. Effect of Dissolved Impurities During Ammonia Leaching of Pure Zinc Sulphide. Hydrometallurgy, 22(1-2), 207-221.
16. Künkül, A., Kocakerim, M., Yapıcı, S., Demirbağ, A., 1994. Leaching Kinetics of Malachite in Ammonia Solutions. International Journal of Mineral Processing, 41(3-4), 167-182.
17. Künkül, A., Kocakerim, M., Yapıcı, S., Demirbağ, A., 1994. Leaching Kinetics of Malachite in Ammonia Solutions. International Journal of Mineral Processing, 41(3-4), 167-182.
18. Ekmekyapar, A., Oya, R., Künkül, A., 2003. Dissolution Kinetics of Oxidized Copper Ore in Ammonium Chloride Solution. Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, 17, 261-266.
19. Aydoğan, S., Aras, A., Canbazoglu, M., 2005b. Oxidation Ammonia Leaching of Sphalerite Concantrate. Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(2), 55-62.

20. Bingöl, D., Canbazoğlu, M., Aydoğan, S., 2005. Dissolution Kinetics of Malachite in Ammonia/Ammonium Carbonate Leaching. *Hydrometallurgy*, 76(1-2), 55-62.
21. Bates, R.G., Pinching, G.D., 1949. Acidic Dissociation Constant of Ammonium Ion at 0° to 50°C and the Base Strength of Ammonia. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 42, 419-430.
22. Gülensoy, H., 1984. Kompleksometrinin Esasları ve Kompleksometrik Titrasyonlar. Fatih Yayınevi, İstanbul, 259.
23. Okamoto, Y., Fukino, K., Imanaka, T., Teranishi, S., 1983. Surface Characterization of CuO-ZnO Methanol-Synthesis Catalysts by X-Ray Photoelectron Spectroscopy. 1. Precursor and Calcined Catalysts. *The Journal of Physical Chemistry*, 87(19), 3740-3747.
24. Oudenne, P.D., Olson, F.A., 1983. Leaching Kinetics of Malachite in Ammonium Carbonate Solutions. *Metallurgical Transactions B.*, 14(1), 33-40.
25. Venkatachalam, S., 1998. *Hydrometallurgy*. India Narosa Publishing House, London, 328.
26. Vazquez-Arenas, J., Sosa-Rodriguez, F., Lazaro, I., Cruz, R., 2012. Thermodynamic and Electrochemistry Analysis of the Zinc Electrodeposition in NH₄Cl-NH₃ Electrolytes on Ti Glassy Carbon and 316L Stainless Steel. *Electrochimica Acta*, 79, 106-116.
27. Asghar, A., Raman, A.A., Daud, W.M.A., 2014. A Comparison of Central Composite Design and Taguchi Method for Optimizing Fenton Process. *The Scientific World Journal*, 1-14.
28. Shibata, Y., Hamada, R., Ueda, T., Ichihashi, Y., Nishiyama, S., Tsuruya, S., 2005. Gas-phase Catalytic Oxidation of Benzene to Phenol Over Cu-Impregnated HZSM-5 Catalysts. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44(23), 8765-8772.
29. Ascenzi, D., Franceschi, P., Guella, G., Tosi, P., 2006. Phenol Production in Benzene/Air Plasmas at Atmospheric Pressure. Role of Radical and Ionic Routes. *The Journal of Physical Chemistry A*, 110(25), 7841-7847.
30. Schmidt, R.J., 2005. Industrial Catalytic Processes-Phenol Production. *Applied Catalysis A: General*, 280(1), 89-103.
31. Huang, X., Ludenhoff, J.M., Dirks, M., Ouyang, X., Boot, M.D., Hensen, E.J.M., 2018. Selective Production of Biobased Phenol from Lignocellulose-Derived Alkylmethoxyphenols. *ACS Catalysis*, 8, 11184-11190
32. Liptakova, B., Bahidsky, M., Hronec, M., 2004. Preparation of Phenol from Benzene by One-Step Reaction. *Applied Catalysis A: General*, 263(1), 33-38.
33. Kanzaki, H., Kitamura, T., Hamada, R., Nishiyama, S., Tsuruya, S., 2004. Activities for Phenol Formation Using Cu Catalysts Supported on Al₂O₃ in The Liquid-Phase Oxidation of Benzene in Aqueous Solvent with High Acetic Acid Concentration. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 208(1-2), 203-211.
34. Kitamura, T., Kanzaki, H., Hamada, R., Nishiyama, S., Tsuruya, S., 2004. Liquid-phase Oxidation of Benzene to Phenol by Copper Catalysts in Aqueous Solvent with a High Acetic Acid Concentration. *Canadian Journal of Chemistry*, 82(11), 1597-1605.
35. Tanarungsun, G., Kiatkittipong, W., Assabumrungrat, S., Yamada, H., Tagawa, T., Praserttham, P., 2007. Multi Transition Metal Catalysts Supported on TiO₂ for Hydroxylation of Benzene to Phenol with Hydrogen Peroxide. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 13(5), 870-877.
36. Boz, İ., Altınçekiç, G.T., 2011. Liquid Phase Hydroxylation of Benzene to Phenol Over Cu/Zno Catalysts. *Reaction Kinetic Mechanisms and Catalysis*, 102(1), 195-205.
37. Luo, G., Lv, X., Wang, X., Yan, S., Gao, X., Xu, J., Ma, H., Jiao, Y., Li, F., Chen, J., 2015. Direct Hydroxylation of Benzene to Phenol with Molecular Oxygen Over Vanadium Oxide Nanosphere and Mechanism Research. *Royal Society of Chemistry Advances*, 5(114), 94164-94170.

Elektrolif Çekim Yönteminde Gerilim Miktarının Poliakrilonitril Nanoliflerinin Morfolojisine Etkisi

Gonca ŞİMŞEK GÜNDÜZ*¹ ORCID 0000-0002-3355-0645

¹Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler MYO, Tekstil Teknolojisi Programı, Denizli

Geliş tarihi: 28.04.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: ŞİMŞEK GÜNDÜZ, G., (2023). Elektrolif Çekim Yönteminde Gerilim Miktarının Poliakrilonitril Nanoliflerinin Morfolojisine Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 347-357.

Öz

Çalışmada elektro lif çekim yönteminde farklı gerilim miktarlarında üretilen poliakrilonitril (PAN) nanoliflerinin morfolojik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla 14 kV, 20 kV ve 26 kV değerlerinde gerilim uygulanarak üretim yapılmıştır. Nanoliflerin çapları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile ölçülmüş, elde edilen çap değerlerinin istatistiki olarak karşılaştırılmasında SPSS programından yararlanılmıştır. 14 kV'ta üretilen nanoliflerin ortalama çapları 519-582 nm arasında değişirken bu değer 20kV'ta 511-566 nm ve 26 kV'ta 506-569 nm aralığında değişmiştir. Gerilim miktarı belli bir değere kadar artırıldığında hem daha ince lifler elde edilmiş hem daha kolay çap kontrolü sağlanabilmiştir. Gerilim miktarının daha da artırılması ile boncuk oluşumunun ve boncuk büyüklüğünün arttığı görülmüştür. Ayrıca uygulanan gerilimin lif dizilimi ve lifler arası boşluğu etkilediği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrolif çekimi, Voltaj, Nanolif çapı, Morfoloji, PAN

The Effect of Voltage Amount on The Morphology of Polyacrylonitrile Nanofiber in Electrospinning

Abstract

In the study, morphological properties of polyacrylonitrile (PAN) nanofibers produced at different voltage amounts in electrospinning method were investigated. For this purpose, production was carried out by applying voltage at 14 kV, 20 kV and 26 kV values. The diameters of the nanofibers were measured by scanning electron microscopy (SEM), and SPSS program was used to compare the diameter values obtained statistically. While the average diameters of nanofibers produced at 14 kV varied between 519-582 nm, this value varied between 511-566 nm at 20 kV and 506-569 nm at 26 kV. When the amount of voltage is increased up to a certain value, both finer fibers are obtained and easier diameter control can be achieved. It was observed that bead formation and bead size increased with further increase in the amount of voltage. Also, it was observed that applied voltage affects the fiber arrangement and the interfiber spacing.

Keywords: Electrospinning, Voltage, Nanofiber diameter, Morphology, PAN

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Gonca ŞİMŞEK GÜNDÜZ, gsimsek@pau.edu.tr

1. GİRİŞ

Nanoliflere olan ilgi son yıllarda giderek artmaktadır. Artan bu ilgi basit donanımlar ile imalat yapılabilmesi ve üretimleri için az enerji gerektirmesi [1], oldukça geniş yüzey alanına ve yüksek gözenekliliğe sahip olması [2] gibi özelliklerden kaynaklanmaktadır. Bu özellikleri sebebiyle nanolifler, koruyucu giysiler [3], tıbbi tekstiller [4-7], filtrasyon [8,9], ısı yalıtımı [10] ve ses yalıtımı [11] gibi uygulama alanlarına sahiptirler.

Nanoliflerin elde edilmesinde kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Farklı yöntemlere göre üstün özellikleri olan elektro lif çekim yöntemi ile, diğer yöntemlerde kullanılabilen tüm polimerlerden oldukça ince, kesintisiz nanolifler elde edilebilmektedir [12,13]. Nanolif üretimi için etkili yöntem elektrolif çekimidir [14]. Elektro lif çekim yöntemi en basit haliyle, yüksek voltaj güç kaynağı, toplayıcı ve bir çözelti besleme ünitesi ile iğneden oluşmaktadır [15]. Bu işlemde polimer sıvısına, sıvı içindeki yükler indüklenerek şekilde yüksek gerilim uygulanır. Bu yükler kritik bir miktara ulaştığında düze ucundaki damla Taylor konisi oluşturularak jet formunda çıkmaktadır. Oluşan jet daha düşük potansiyele sahip alana doğru yol almaktadır [16]. Toplayıcı üzerinde nanolifler birikmektedir.

Elektro lif çekim yöntemi oldukça kolay uygulanabilen bir yöntem olsa da nanoliflerin oluşumunu ve morfolojisini etkileyen hassas ve çok sayıda parametre vardır [17]. Bunlar çözelti parametreleri (iletkenlik, yüzey gerilimi, viskozite vb.), proses parametreleri (uygulanan voltaj, iğne ucu ve toplayıcı arasındaki mesafe, polimer akış hızı, iğne çapı vb.), çevresel parametrelerdir (sıcaklık, nem vb.) [18,19]. Elektro lif çekim yönteminin en büyük dezavantajı üretilen nanoliflerin morfolojisini etkileyen parametrelerin sayısının çok olmasıdır [20]. Gerilim miktarı nanolif morfolojisini etkileyen parametrelerden biridir. Voltajın lif morfolojisi üzerine etkileri çeşitli çalışmalarda incelenmiştir.

Ray ve Lalman (2011), Padmanabhan ve arkadaşları (2011), Saligheh ve arkadaşları (2015) çalışmalarında uygulanan voltajın çap üzerinde

önemli derecede etkisi olduğunu belirtmektedirler [21-23]. Kozanoğlu (2006), uygulanan voltajın genellikle lif çapında azalmaya yol açtığını ve voltajın artması ile liflerin düzensiz bir hal aldığını belirtmektedir [1]. Özkoç (2010) uygulanan voltajın artırılması ile lif çapında azalma olduğunu, fakat lif morfolojisinin bozulduğunu dolayısıyla boncuk oluşumunun arttığını söylemektedir [24]. Ramakrishna ve arkadaşları (2005) artan voltaj değeri ile lif üzerinde boncuklanma miktarının artmasını jetin artan kararsızlığına bağlamaktadırlar [16]. Süslü (2009), voltaj artışı ile lif çaplarında azalma olduğunu belirtmektedir [25]. Gemci ve arkadaşları (2011), uygulanan voltajın artması ile lif çapının azaldığını fakat minimum ve maksimum lif çapları arasındaki farkın arttığını belirtmişlerdir [26]. Yeoh (2009) daha yüksek voltaj değerinin daha düşük lif çapına neden olduğunu belirtmiştir [27]. Denghan ve arkadaşları (2016) benzer şekilde belirli bir eğirme mesafesinde lif çapıyla voltaj arasında negatif ilişki olduğunu söylemişlerdir [28]. Artan voltaj polimer jeti içinde Coulomb kuvvetlerinin daha fazla olmasına ve daha güçlü elektrik alan oluşmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak polimer çözeltinin daha fazla uzamasını sağlamaktadır. Böylece daha ince lifler elde edilebilmektedir. Ayrıca daha hızlı buharlaşma etkisiyle daha kuru lifler elde edilebilmektedir [16]. Artan voltajın lif çapını artırdığını gösteren çalışmalar da vardır. Du ve arkadaşları (2008) artan voltaj ile lif çapının arttığını belirtmişlerdir [29]. Benzer şekilde Wu ve arkadaşları (2013), çalışmalarında voltaj arttıkça iplik kalınlığının arttığını belirtmişlerdir [30]. Miri ve arkadaşları (2016) polimerlerin dışında zein liflerini asetik asitle çözerek yaptıkları çalışmada artan voltaj ile ortalama lif çapının arttığını belirtmişlerdir [31]. Voltajın artırılması liflerin kristalizasyonunu da etkilemektedir. Elektrostatik alan, polimer moleküllerinin daha düzenli olmasını sağlamaktadır, ancak belirli bir voltaj değerinin üzerinde kristalin yapı azalmaktadır. Voltaj artırıldığında polimer jeti hızlanacağından uçuş süresi kısılacaktır. Bu durumda polimer moleküllerinin paralelleşerek düzgün yapı oluşturma süresi de azalacak ve kristalizasyon derecesi düşecektir. Dolayısıyla voltaj çok düşük ya da çok yüksek olmamalı ve belirli bir kritik değerde ayarlanmalıdır [16, 32].

Bununla birlikte artan voltajın etkisinin belirsiz olduğunu gösteren çalışmalar vardır. İkiz (2009), voltaj değerinin nanolif çapı üzerindeki etkisinin belirsiz olduğunu belirtmektedir. Bazı durumlarda lif çapında artış gözlenirken, bazı durumlarda azalmalar gözlemlendiğini fakat voltaj değerinin artmasının, lif çapı değişkenliğini kesin olarak arttırdığını söylemektedir. Çalışmada voltaj yükseldiğinde daha fazla boncuklanma olduğu görülmüş ve bu durum gerilim artışının polimer akışını düzensiz hale getirmesine bağlanmıştır [33]. Benzer şekilde Beypazar (2013), uygulanan voltajın lif çapı üzerindeki etkisinin belirsiz olduğunu söylemektedir [34]. Özkoç (2010), voltajın artması ile lif çapının azaldığını fakat bu azalışın lineer olmadığını, bazı noktalarda tekrar artış gözlemlendiğini belirtmektedir [24]. Üstün (2011), uygulanan voltaj değerinin etkilerinin belirsiz olduğunu, bazı durumlarda voltajın artması ile lif çapının azaldığını bazı durumlarda da arttığını söylemektedir. Çalışmada artan voltaj ile lif çapındaki varyasyonun arttığı belirtilmektedir [35]. Zhang ve arkadaşları (2005), çalışmalarında belli bir gerilim değeri üzerindeki yüksek voltajlarda geniş bir çap dağılımının oluştuğunu söylemektedirler [36].

Voltaj miktarının lif morfolojisi üzerinde önemli etkilerinin olduğu çalışmalar dışında etkisinin olmadığını gösteren çalışmalar vardır. Karayeğen (2016), artan voltajın ortalama lif çapları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını söylemektedir [37]. Gu ve arkadaşları (2005) çalışmalarında uygulanan voltajın liflerin çapı ve lif çapı standart sapması üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedirler [38]. Hakkak ve Rafizadeh (2013) uygulanan voltajın nano lif çapı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını belirtmektedirler [39]. Benzer şekilde Khanlou ve arkadaşları (2015), Senthil ve Anandhan (2015), Khalili ve arkadaşları (2016), Svinterikos ve Zuburtikudis (2017) çalışmalarında voltajın lif morfolojisi üzerinde anlamlı etkisinin olmadığını söylemektedirler [40-43].

Bu çalışmada poliakrilonitril polimeri kullanılarak, lif morfolojisi voltaj parametresinde değişiklik yapılarak incelenmiştir. Nanolif morfolojisi ile voltaj miktarı arasındaki ilişkilerin incelendiği

çalışmalara bakıldığında birbirleriyle çelişkili sonuçlar çıktığı görülmektedir. Çalışma konuyla ilgili çelişkileri ortadan kaldırma iddiası taşımamakla beraber farklı olarak bu duruma bir açıklama getirme çabasıdır. Böylece çalışma, konuyla ilgili çalışmalara ilave sonuçlar sağlama açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

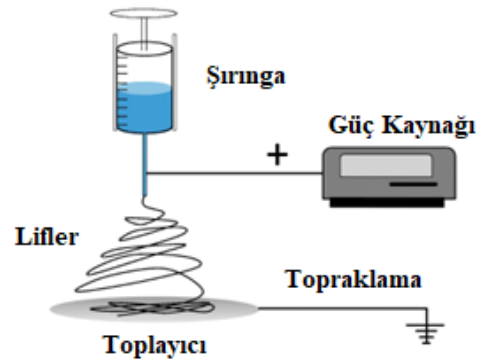
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada PAN polimeri, dimetilformamid (DMF) solventinde oda sıcaklığında çözülerek polimer çözeltisi hazırlanmıştır. Kullanılan PAN polimerinin molekül ağırlığı 150,000 g/mol'dür. %12'lik hazırlanan çözeltinin viskozitesi 891 cp, iletkenlik değeri 116 $\mu\text{S/cm}$ ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan diğer malzemeler şunlardır; polimer solüsyonunu sisteme beslemek için plastik şırınga (10 ml'lik), polimer solüsyonunun şırıngadan iğneye iletilmesini sağlamak için silikon hortum (1,5 / 4 ml), polimer çözeltisinin hazırlanmasında ve saklanmasında kullanılmak üzere cam beher (50 ml, 250 ml, 400 ml), pipet (10 ml, 25 ml), cam şişe (250 ml, 500 ml), iğne ucu.

2.2. Metot

Çalışmada, Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan şırınga beslemeli elektro lif çekim düzeneği kullanılmıştır. Şekil 1'de deneylerde kullanılan elektro lif üretim düzeneği görülmektedir.



Şekil 1. Şırınga beslemeli elektro lif üretim düzeneği [44]

Bu düzenek yüksek voltaj güç kaynağı, metal toplayıcı (topraklanmış) ve polimer besleme pompası olmak üzere başlıca üç ana parçadan oluşmaktadır. Mevcut güç kaynağı ile kademeli olarak voltaj ayarlanabilmektedir. Güç kaynağının pozitif olan ucu şırınga ile negatif olan ucu metal toplayıcı ile bağlıdır. İğne ucundaki polimer çözelti damlası ile metal toplayıcı arasında elektrostatik alan oluşturulmuş, uygulanan voltaj, polimer çözelti damlasının iğneden püskürtülmesini sağlamıştır. Elektriksel kuvvetler sebebiyle polimer çözelti damlası uzayarak çok ince bir lif haline gelmiş, çözücü buharlaşınca, yüzeye birikmiş, oldukça uzun, rasgele dağılmış lif ağı elde edilmiştir. Lif ağının kolay bir şekilde yüzeyden ayrılabilmesi ve morfolojik olarak incelenmesi amacıyla toplayıcı üzerine siyah renkli kâğıt konulmuştur. 10 dakika boyunca nanolifler kâğıt üzerinde toplanmışlardır. Tüm deneyler, normal atmosfer basıncı altında ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Deney parametreleri Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. Deney parametreleri

İşlem Parametreleri	Değerler
Elektrotlar Arası Mesafe	20 cm
Akış Hızı	1 ml/saat
Metal Toplayıcı Malzemesi	Bakır
Metal Toplayıcı Kalınlığı	10 mm
Metal Toplayıcı Şekli	Daire (10 cm çaplı)
İğne Çapı	22G (0,7 mm)
Voltaj Miktarı	14 kV, 20 kV, 26 kV

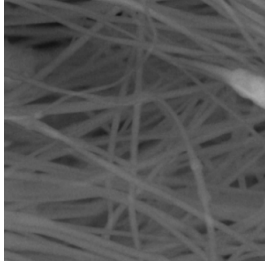

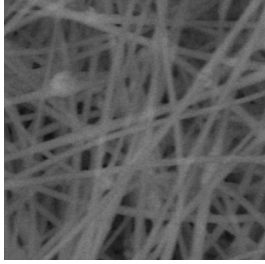

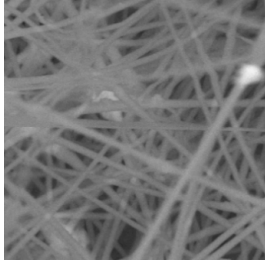

Çalışmada tek iğneli elektro lif çekim yöntemiyle nanolif üretiminde, uygulanan voltaj miktarının nano ağ yapının morfolojisine etkisi incelenmiştir. Voltaj miktarının etkisini incelemek için Çizelge 1’de verilen deney parametreleri ile çalışılmıştır. Voltaj miktarı haricinde tüm parametreler sabit tutularak, 3 farklı gerilim değeri uygulanmıştır. Önce voltaj değeri ayarlanıp, sonra güç kaynağı çalıştırılmıştır. Kâğıt yüzeyinde biriken nanoliflerin

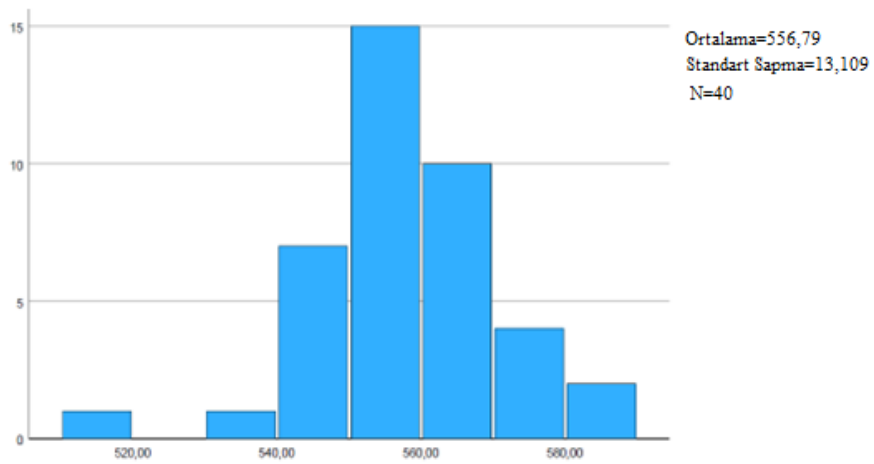
orta kısımlarından bir miktar alınarak numuneler oluşturulmuştur. Üretilen nano liflerin çaplarını belirlemek için Anadolu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği laboratuvarında (Eskişehir) bulunan taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Her numune için rastgele 10, her bir farklı voltaj değeri için 40 çap ölçümü yapılarak ortalama lif çapı hesaplanmıştır. Elde edilen nanoliflerin inceliklerinin istatistiki olarak karşılaştırılmasında SPSS programı kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

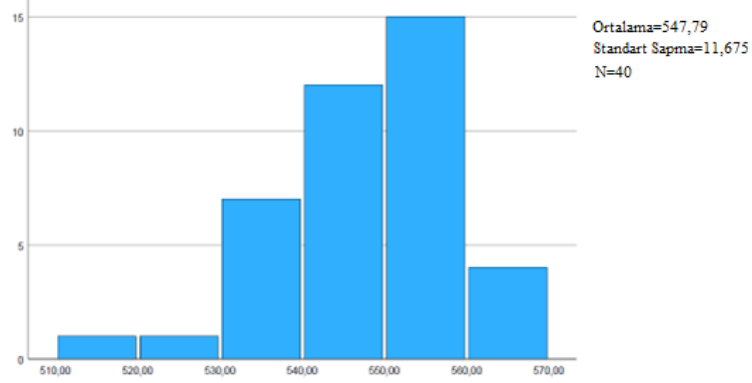
Uygulanan gerilim hem polimer çözeltisine elektrik alandan etkilenebilmesi için gerekli olan yükü hem de iğne ucu ile toplayıcı arasında elektrik alanının oluşmasını sağlamaktadır. Denemelere 5 kV ve 10 kV’lık gerilim değerleri ile başlanmıştır. Ancak bu gerilim değerlerinin Çizelge 1’de verilen parametreler ile kesintisiz lif oluşumu için uygun olmadığı görülmüştür. Sisteme 5 kV ‘lık gerilim verildiğinde lif oluşumu gözlenmemiştir. Bu durumda iğne ucundan polimer çözeltisi sadece damlamaktadır. Oluşan çözelti damlasına etki eden çekim kuvveti, yüzey geriliminden düşük kalmıştır. Gerilim 10 kV değerine yükseltildiğinde lif oluşumu gözlenmekte ancak yoğun bir damlama oluşmaktadır. 14 kV değerine çıkıldığında lif üretimi kesintisiz bir biçimde başlamıştır. Güç kaynağı 14 kV, 20 kV ve 26 kV gerilim değerlerinde çalıştırılmıştır. 14 kV gerilim değerinde üretim yapılırken elde edilen lifler 20 kV ve 26 kV gerilim değerlerinde üretim yapılan liflere göre daha geniş alana yayılmışlardır (Çizelge 2). Çizelge 2’den görüldüğü üzere gerilim arttıkça kâğıt yüzeyinde lifler daha fazla bir araya toplanmışlardır. SEM ölçümlerinin sonucu gerilim artışı ile lif çaplarında azalma olduğu belirlenmiştir. 14 kV’ta üretilen nanoliflerin ortalama çapları 519-582 nm arasında değişirken bu değer 20kV’ta 511-566 nm ve 26 kV’ta 506-569 nm aralığında değişmektedir (Şekil 2-4).

Çizelge 2. Farklı gerilim değerlerinde elde edilen nanoliflerin SEM görüntüleri ve kâğıt yüzeyindeki görüntüleri

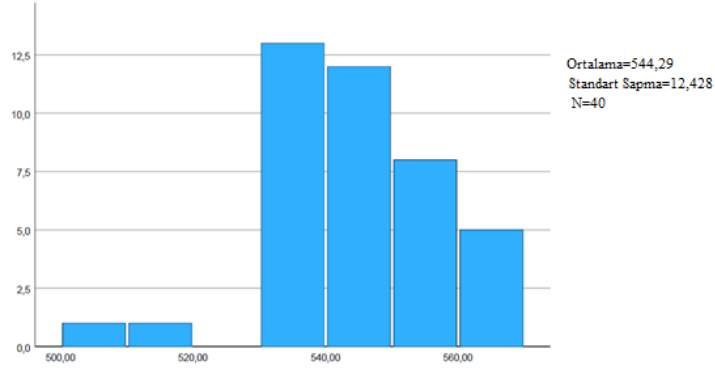
Gerilim değeri	SEM görüntüleri (7,50 kx)	Kâğıt yüzeyindeki görünüm
14 kV		
20 kV		
26 kV		



Şekil 2. 14 kV gerilim değerinde elde edilen nanoliflerin çap dağılımı



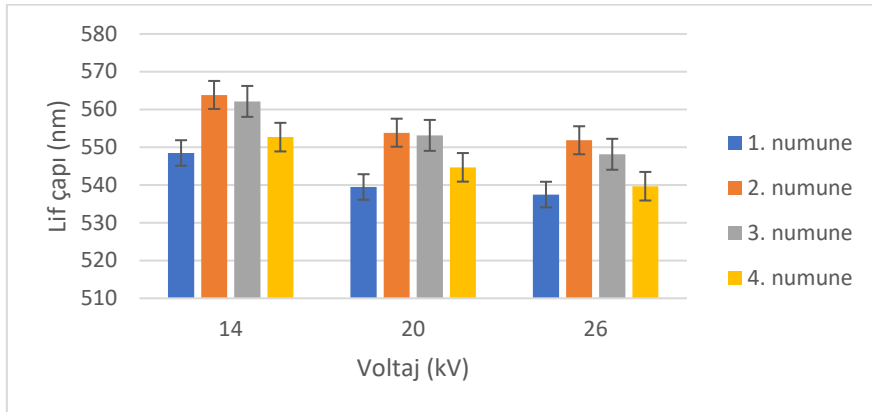
Şekil 3. 20 kV gerilim değerinde elde edilen nanoliflerin çap dağılımı



Şekil 4. 26 kV gerilim değerinde elde edilen nanoliflerin çap dağılımı

Farklı gerilim değerlerinde elde edilen nano liflerin ortalama çap değerleri arasındaki ilişki Microsoft Excel programı ile oluşturulan grafikte

görülmektedir (Şekil 5). Şekil 5'te görüldüğü gibi uygulanan gerilim arttıkça lif çapı azalmaktadır.



Şekil 5. Farklı gerilim değerlerinde elde edilen nano liflerin ortalama çap değerleri

Lif çapı verilerindeki değişimin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını görebilmek için parametrik testler yapılmıştır. Bu testlerin uygulanabilmesi için verilerin normal dağılıma uyması ve varyansların homojen olması şartlarının sağlanması gerekmektedir. Normal dağılıma uygun

tespiti için Shapiro-Wilk testi ve varyansların homojenliği testleri yapılmıştır. Çizelge 3'te görüldüğü üzere çap verileri normal dağılıma sahiptir ($p>0,05$). Aynı çizelgeden varyansların homojen olduğu görülmektedir ($p>0,05$).

Çizelge 3. Normallik ve varyansların homojenliği testi sonuçları

Çap	Voltaj (kV)	Shapiro-Wilk İstatistiği	df	p	
	14	,976	40	,551	
	20	,948	40	,064	
	26	,953	40	,096	
Varyansların Homojenliği testi					
Çap	Levene İstatistiği		df1	df2	p
			2	117	,819

Farklı gerilim değerleri için gruplar arasındaki lif çapı farklarının istatistiksel olarak anlamlılığının tespitinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Çizelge 4'te görüldüğü üzere analiz sonucunda gerilim faktörünün seviyeleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Voltaj miktarını gösteren 3 seviyenin (14 kV, 20 kV, 26 kV), lif inceliğini gösteren çap ortalamaları bakımından, hangilerinin farklı olduğu Tukey testi ile bulunmuştur (Çizelge 4). Buna göre 14 kV ve 20 kV gerilimleri arasında çap açısından anlamlı fark vardır ($p<0,05$). 20 kV ve 26 kV arasında çap açısından anlamlı fark yoktur ($p>0,05$). Buna göre gerilim değerinin 14 kV'tan

20 kV'a artırılmasıyla lif çapının azaldığı istatistiksel olarak söylenebilmektedir. Uygulanan voltaj değerinin artırılması ile lif çapının orantılı bir şekilde azalmadığı görülmektedir. 14 kV'tan 20 kV'a çıkıldığında daha ince liflerin elde edildiği söylenebilir. Ancak 20 kV'tan 26 kV'a çıkıldığında daha ince liflerin elde edildiği söylenememektedir. Şekil 5'te görüldüğü üzere voltajın 20 kV'tan 26 kV'a çıkarılmasıyla elde edilen liflerin ortalama çaplarında azalma meydana gelmektedir. Ancak yapılan Tukey testi sonucu, p değerlerinin 0,05'ten büyük olması nedeniyle, artan voltajın lif çapları üzerinde etkisinin olmadığı görülmektedir.

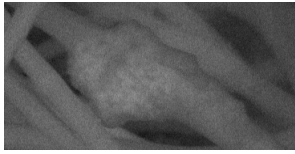
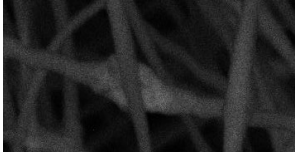
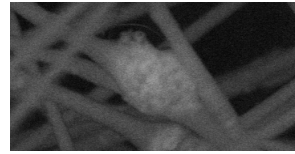
Çizelge 4. Varyans analizi ve Tukey testi sonuçları

Varyans analizi					
	Kareler toplamı	df	Kare ortalaması	F	p
Gruplar arasında	3326,66	2	1663,33	10,78	,001
Gruplar içinde	18041,64	117	154,20		
Toplam	21368,31	119			
Tukey testi					
(I) Gerilim	(J) Gerilim	Ortalama fark (I-J)	p		
14 kV	20 kV	9,00000*	,004		
	26 kV	12,50000*	<,001		
20 kV	14 kV	-9,00000*	,004		
	26 kV	3,50000	,420		
26 kV	14 kV	-12,50000*	<,001		
	20 kV	-3,50000	,420		

Çalışmada gerilim değeri arttıkça boncuk oluşumunun arttığı gözlenmiştir. Bu durum artan voltaj ile artan jet kararsızlığına bağlanabilmektedir. Ayrıca boncuk büyüklüğü voltaj miktarına bağlı olarak değişmektedir (Çizelge 5). Uygulanan voltajın miktarı iğne ucundaki damlacığın şeklini ve boncuk morfolojisini değiştirebilir. En-boy oranı voltaj miktarı arttıkça önce artar, sonra azalır. Voltaj miktarı arttıkça iğne ile toplayıcı arasında daha yüksek elektostatik itme kuvveti oluşabilmekte ve bu da jette daha yüksek çekme gerilimi sağlayarak boncuk boyutunu küçültmektedir [45]. Deitzel ve arkadaşları voltajın artmasıyla boncuk kusur yoğunluğunun arttığını bildirmişlerdir [32]. Çizelge 5'te görüldüğü gibi gerilimin 14 kV'tan 20 kV'ta çıkarılmasıyla boncuk boyutunun küçüldüğü, 20

kV'tan 26 kV'ta çıkarılmasıyla büyüdüğü görülmüştür. Elektro lif çekim yönteminde lif oluşumunun gerçekleşebilmesi için minimum miktarda voltaj gerekmektedir. Voltaj miktarı belirli bir seviyeye kadar artırıldığında boncuksuz ve ince lifler elde edilmektedir. Ancak voltaj miktarı artırılmaya devam edildiğinde boncuk oluşumu ve boncukların büyüklüğü artmaktadır. Ayrıca gerilim değerinin 14 kV'tan 20 kV'a artırılmasıyla çap varyansının düştüğü, 20 kV'tan 26 kV'ta artırılmasıyla varyansın yükseldiği görülmüştür. Gerilim değerinin belli bir değere kadar artırılması ile hem daha ince lifler elde edilmekte hem de çap kontrolü sağlanabilmektedir. Ancak belli bir gerilim değerinden sonra çap kontrolünün zorlaştığı söylenebilmektedir.

Çizelge 5. Farklı gerilim değerlerinde boncuk oluşumu

Gerilim değeri	14 kV	20 kV	26 kV
SEM görüntüleri			

4. SONUÇLAR

Farklı gerilim miktarlarında yapılan çalışma ile bu parametrenin poliakrilonitril liflerinin inceliği ve dizilimi üzerindeki etkisi anlaşılmasına çalışılmıştır.

Çalışmada uygulanan gerilim arttıkça lif çapının azaldığı görülmüştür. Elektro lif çekim yönteminde uygulanan gerilim miktarı arttığında hem polimer çözeltisi üzerinde yük miktarı artmakta hem de bu yüklerin oluşturduğu itici kuvvet artmaktadır. Bunun sonucunda polimer jeti daha fazla uzamakta ve daha ince lifler elde edilmektedir. Gerilim değerinin 14 kV'tan 20 kV'ta artırılmasıyla oluşan lif çapı azalmasının bu duruma bağlı olduğu düşünülmektedir. Gerilim değerinin 20 kV'tan 26 kV'ta artırılmasıyla lif çapı azalmış ancak bu azalış istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır. Dolayısıyla gerilimin biraz daha artırılmasıyla lif çapında artış yaşanabileceği düşünülmektedir. Çünkü lif çapı

jetin havada kaldığı süreden de etkilenmektedir. Gerilim arttırıldığında jet hızlanacak, havada daha kısa süre kalacak ve daha kısa süre gerilecektir. Bu durumda lif çapı artacaktır.

Farklı gerilim değerlerinde elde edilen nanolif ağlarının kâğıt yüzeyindeki görünüşleri karşılaştırıldığında voltaj miktarının lif dizilimi ve lifler arası boşluk gibi morfolojik özellikleri etkilediği görülmüştür.

Gerilim değeri arttırıldıkça boncuk oluşumunun arttığı gözlenmiştir. Bu durumun jet kararsızlığına bağlı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca boncuk boyutu voltaj miktarına bağlı olarak değişmiştir. Gerilimin 14 kV'tan 20 kV'ta çıkarılmasıyla boncuk boyutunun küçüldüğü, gerilim 26 kV'ta çıktığında boncuk boyutunun büyüdüğü görülmüştür. Voltaj miktarı arttıkça daha yüksek itme kuvveti oluşacaktır. Bu durumda polimer

jetinde daha yüksek çekme gerilimi oluşacak ve boncuk boyutu küçülecektir. Voltajın belli bir değerin üzerinde uygulanmasının ise boncuk kusurlarını artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca gerilim değerinin belli bir voltaj miktarından sonra varyansı yükselttiği görülmüştür. Gerilim değerinin belli bir değere kadar artırılması ile hem daha ince lifler elde edilmekte hem de daha kolay çap kontrolü sağlanabilmektedir. Ancak belli bir gerilim değerinden sonra çap kontrolünün zorlaştığı söylenebilmektedir.

Çözelti parametreleri (iletkenlik, yüzey gerilimi, viskozite vb.) nanoliflerin oluşumunu ve morfolojisini etkilediği için sonraki çalışmalarda farklı konsantrasyonlarda çözelti hazırlanarak ve farklı polimerler kullanılarak araştırma sonuçları genişletilebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Kozanoğlu, G., S., 2006. Elektrospinning Yöntemiyle Nanolif Üretim Teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 148.
2. Salem, D. R., 2001. In Structure Formation in Polymeric Fibers: Chapter:6, Electrospinning and Formation of Nanofibers, Hanser Gardner Publications, Carl Hanser Verlag, 580.
3. Lee, S., Obendorf, S. K., 2006. Developing Protective Textile Materials as Barriers to Liquid Penetration Using Meltelectrospinning. Journal of Applied Polymer Science, 102(4), 3430-3437.
4. Rutledge, G.C., Fridrikh, S.V., 2007. Formation of Fibers by Electrospinning. Advanced Drug Delivery Reviews, 59(14), 1384-1391.
5. Bhullar, S. K., Rana, D., Lekesiz, H., Bedeloglu, A. C., Ko, J., Cho, Y., Ramalingam, M., 2017. Design and Fabrication of Auxetic PCL Nanofiber Membranes for Biomedical Applications. Materials Science And Engineering C, 81, 334-340.
6. Kim, S. E., Heo, D. N., Lee, J. B., Kim, J. R., Park, S. H., Jeon, S. H., Kwon, K. II., 2009. Electrospun Gelatin/Polyurethane Blended Nanofibers for Wound Healing. Biomedical Materials, 4(4), 044106.
7. Kim, K., Luuc, Y. K., Chang, C., Fang, D., Hsiao, B. S., Chua, B., Hadjiargyrou, M., 2004. Incorporation and Controlled Release of A Hydrophilic Antibiotic using Poly (Lactide-Co-Glycolide) Based Electrospun Nanofibrous Scaffolds. Journal of Controlled Release, 98, 47-56.
8. Polat, Y., Pampal, E. S., Stojanovska, E., Simsek, R., Hassanin, A., Kilic, A., Demir, A., Yilmaz, S., 2016. Solution Blowing of Thermoplastic Polyurethane Nanofibers: A Facile Method to Produce Flexible Porous Materials. Journal of Applied Polymer Science, 133(9), 43025.
9. Wang, X., Fang, D., Yoon, K., Hsiao, B. S., Chu, B., 2006. High Performance Ultrafiltration Composite Membranes Based on Poly (Vinyl Alcohol) Hydrogel Coating on Crosslinked Nanofibrous Poly (Vinyl Alcohol) Scaffold. Journal of Membrane Science, 278, 261-268.
10. Gibson, P.W., Lee, C., Ko, F., Reneker, D., 2007. Application of Nanofiber Technology to Nonwoven Thermal Insulation. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2(2), 32-40.
11. Mohrova, J. and Kalinova, K., 2012. Different Structures of PVA Nanofibrous Membrane for Sound Absorption Application. Journal of Nanomaterials, 2, 1-4.
12. Üstündağ, G.C., Karaca, E., 2009. Poli(Vinil Alkol)/Sodyum Alginat Karışımlarından Elektro Çekim Yöntemi ile Elde Edilen Nanolifli Yüzeylerin İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14(1), 159-172.
13. Üstündağ, G.C., 2009. Elektrospinning Yöntemi ile Biyomedikal Kullanıma Yönelik Nanolif Yüzey Üretimi ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 181.
14. Gül, A., Tiyek, İ., 2022. Membran Teknolojileri ve Membran Teknolojilerinin Elektrospinning Yöntemi ile Nano Lif Üretimi Üzerine Literatür Taraması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(3), 183-211.
15. Formhals, A., 1934. Process and Apparatus for Preparing Artificial Threads, US Patent, No.1, 975, 504.
16. Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W.-E., Lim, T.-C., Ma, Z., 2005. An Introduction to Electrospinning and Nanofibers, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 396.

17. Şenocak, S., 2021. Nanoliflerden Eğrilmiş İpliklerin Örne Performansı ve Kumaş Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85.
18. Emül, E., 2016. Elektrospin Tekniği ile nHAp/Jelatin/Antikanserijen İçeren Nanofibril Üretimi, Karakterizasyonu ve Hücre Uyumunun Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim Dalı, 85.
19. Kirecci, A., Özkoç, Ü., İçoğlu, H.İ., 2012. Determination of Optimal Production Parameters for Polyacrylonitrile Nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 124(6), 4961-4968.
20. Yalçın, M., 2020. Elektroğirme Yöntemi ve Nanofiber Üretimi, Türkiye’de Mühendislik ve Fen Bilimlerinde Akademik Araştırmalar, İksad Yayınevi, Ankara, 132.
21. Ray, S., Lalman, J.A., 2011. Using the Box–Benkhen Design (BBD) to Minimize the Diameter of Electrospun Titanium Dioxide Nanofibers. *Chemical Engineering Journal*, 169, 116-125.
22. Padmanabhan, T., Kamaraj, V., Magwood Jr., L., Starly, B., 2011. Experimental Investigation on the Operating Variables of A Near-Field Electrospinning Process Via Response Surface Methodology. *Journal of Manufacturing Processes*, 13, 104-112.
23. Saligheh, O., Khajavi, R., Yazdanshenas, M.E., Rashidi, A., 2015. Fabrication and Optimization of Poly(Vinyl Alcohol)/Zirconium Acetate Electrospun Nanofibers using Taguchi Experimental Design. *Journal of Macromolecular Science Part B*, 54(11), 1391-1403.
24. Özkoç, Ü., 2010. Experimental Investigation of Optimal Spinning Parameters for Nanofibers. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 132.
25. Süslü, A., 2009. Elektro-Eğirme Yöntemi ile Nanofiber ve Nanotüp Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 83.
26. Gemci, R., Yener, F., Solak, H., 2011. Uygulanan Voltaj Değeri ile Pvb Nanolif Çapı Arasındaki İlişki. *KSU Mühendislik Dergisi*, 14(1), 31-34.
27. Yeoh, S.J., 2009. Electrospun Cellulose Ultra-Fine Fibers From Kraft Pulp. Master’s Thesis, University of British Columbia, The Faculty Of Graduate Studies, Materials Engineering, Vancouver, 125.
28. Dehghan, S.F., Golbabbei, F., Maddah, B., Latifi, M., Pezeshk, H., Hasanzadeh, M., Akbar-Khanzadeh, F., 2016. Optimization of Electrospinning Parameters for Polyacrylonitrile-Mgo Nanofibers Applied in Air Filtration, *Journal of The Air & Waste Management Association*, 66(9), 912-921.
29. Du, J., Shintay, S., Zhang, X., 2008. Diameter Control of Electrospun Polyacrylonitrile/Iron Acetylaceton Ultrafine Nanofibers. *Journal of Polymer Science, Part B Polymer Physics*, 46(15), 1611-1618.
30. Wu, Z.Y., Monro, A.K., Milne, R.I. Wang, H. Yi, T.S., Liu, J. ve Li D., 2013. Molecularphylogeny of the Nettle Family (Urticaceae) Inferred Frommultiple Loci of Three Genomes and Extensive Generic Sampling. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 69(3), 814-827.
31. Miri, M.A., Movaffagh, J., Najafi, M.B.H., Najafi, M.N., Ghorani, B., Koocheki, A., 2016. Optimization of Electrospinning Process of Zein Using Central Composite Design. *Fibers and Polymers*, 17(5), 769-777.
32. Deitzel, J.M., Kleinmeyer, J., Harris, D., Beck Tan, N.C., 2001. The Effect of Processing Variables on the Morphology of Electrospun Nanofibers and Textiles. *Polymer*, 42, 261-272.
33. İkiz, Y., 2009. Elektro Çekim Yöntemi İşlem Parametrelerinin PVA Nanolif Morfolojisine Etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(3), 363-369.
34. Beypazar, Ö., 2013. Nanolif Üretiminde Çap Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 86.
35. Üstün, A., 2011. Hava Filtrasyonu için Nanolif Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 69.
36. Zhang, C., Yuan, X., Wu, L., Han, Y., Sheng, J., 2005. Study on Morphology of Electrospun

- Poly(Vinyl Alcohol) Mats. *European Polymer Journal*, 41, 423-432.
37. Karayeğen, G., 2016. Elektrik Eğirme Yöntemini Kullanarak Nanofiberlerin Elektrik Alan ile Yönlendirme Olasılığının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Başkent Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, 72.
38. Gu, S.Y., Ren, J., Vancso, G.J., 2005. Process Optimization and Empirical Modeling for Electrospun Polyacrylonitrile (PAN) Nanofiber Precursor of Carbon Nanofibers. *European Polymer Journal*, 41, 2559-2568.
39. Hakkak, F., Rafizadeh, M., 2013. Optimization of Electrospun Polyacrylonitrile/Poly (Vinylidene Fluoride) Nanofiber Diameter Using the Response Surface Method. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 52, 1250-1264.
40. Khanlou, H.M., Ang, B.C., Talebian, S., Afifi, A.M., Andriyana, A., 2015. Electrospinning of Polymethyl Methacrylate Nanofibers: Optimization of Processing Parameters Using the Taguchi Design of Experiments. *Textile Research Journal*, 85(4), 356-368.
41. Senthil, T., Anandhan, S., 2015. Electrospinning of Non-Woven Poly(Styrene-Co-Acrylonitrile) Nanofibrous Webs for Corrosive Chemical Filtration: Process Evaluation and Optimization by Taguchi and Multiple Regression Analyses. *Journal of Electrostatics*, 73, 43-55.
42. Khalili, S., Khorasani, S.N., Saadatkish, N., Khoshakhlagh, K., 2016. Characterization of Gelatin/Cellulose Acetate Nanofibrous Scaffolds: Prediction and Optimization by Response Surface Methodology and Artificial Neural Networks. *Polymer Science, Series A*, 58(3), 399-408.
43. Svinterikos, E., Zuburtikudis, I., 2017. Tailor-Made Electrospun Nanofibers of Bio Waste Lignin/Recycled Poly (Ethylene Terephthalate). *The Journal of Polymers and the Environment*, 25, 465-478.
44. Koenig, K., Beukenberg, K., Langensiepen, F., Seide, G., 2019. A New Prototype Melt-Electrospinning Device for the Production of Biobased Thermoplastic Sub-Microfibers and Nanofibers. *Biomaterials Research* 23, 10.
45. Lee, K.H., Kim, H.Y., Bang, H.J., Jung, Y.H. ve Lee, S.G., 2003. The Change of Bead Morphology Formed on Electrospun Polystyrene Fibers. *Polymer*, 44, 4029-4034.

Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsünde Işık Kirliliği Ölçümleri

Hasan Kıvanç YEŞİLTAS^{*1} ORCID 0000-0003-3331-3209

Zühal KURT² ORCID 0000-0002-4665-9009

Yavuz Şahin TURGUT³ ORCID 0000-0002-8566-6375

¹ Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

² Çukurova Üniversitesi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Adana

³ Çukurova Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 28.04.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: YEŞİLTAS, H.K., KURT, Z., TURGUT, Y.Ş., (2023). Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsünde Işık Kirliliği Ölçümleri. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 359-373.

Öz

Aydınlatmanın işlevine uygun teşkil edilmemesi durumunda meydana gelen ışık kirliliği, günümüzün önemli çevresel problemleri arasında yer almaktadır. Işık kirliliği canlıların metabolizmalarını etkileyerek gündelik faaliyetlerini sekteye uğratmaktadır. Fazladan tüketilen enerji ise oluşturduğu emisyonlar sebebiyle hava kalitesini bozarak küresel ısınmanın etkilerini artırmaktadır. Ayrıca gökyüzünde yer alan yıldızların görünürlüğünü azaltarak astronomi ve astrofizik alanlarında gerçekleştirilen çalışmaları olumsuz olarak etkilemektedir.

Bu çalışmada Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsünde ışık kirliliğinin durumu 2022 yılı içinde araştırılmıştır. Bu amaç ile Gökyüzü Kalitesi Ölçeri (Sky Quality Meter- SQM) kullanılarak yeryüzünden başucu doğrultusunda ve SUOMI NPP uydusu üzerinde bulunan VIIRS (Gündüz Gece Bandı: DNB) verileri kullanılarak ayakucu doğrultusunda araştırma gerçekleştirilmiştir. Toplamda 64 noktada ölçümler yapılarak ışık kirliliğinin yayılım modeli oluşturulmuştur. Kampüsün özellikle kuzey-batı bölgesinde ışık kirliliğinin ölçüm sınıflandırması olan Bortle sınıfına göre kirli sayılabilecek 18 nokta bulunmaktadır. Kampüsün genel olarak şehir-kenar mahalle gökyüzü arasında değişen değerlerde (13,19 ile 19,16 mag/arcsec²) kirlilik seviyesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ortalama karanlık seviyesi ise 18,15 mag/arcsec² olarak belirlenmiştir. Özellikle son yıllarda yerleşimin kampüs civarında artması nedeniyle ışık kirliliğinin arttığı düşünülmektedir. Ayrıca, kampüs dış aydınlatma sisteminin özellikle kuzey-batı bölümünde düzenlenmesi ışık kirliliği seviyesini düşüreceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Işık kirliliği, Gözlemevi, Jeostatistik, İklim değişikliği, Enerji verimliliği

Light Pollution Measurements on Cukurova University Balcali Campus

Abstract

Light pollution, which occurs when the lighting is not created in accordance with its function, is among the important environmental problems of today. Light pollution affects the metabolism of living things and disrupts their daily activities. The extra energy consumed, on the other hand, increases the effects of global

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Hasan Kıvanç YEŞİLTAS, hkyesiltas@cu.edu.tr

warming by deteriorating the air quality due to the emissions it creates. In addition, it negatively affects the studies carried out in the fields of astronomy and astrophysics by reducing the visibility of the stars in the sky.

In this study, the state of light pollution in Cukurova University Balcali Campus was investigated in 2022. For this purpose, the research was carried out in the direction of the zenith from the earth using the Sky Quality Meter (SQM) and in the direction of the nadir using the VIIRS (Day Night Band: DNB) data on the SUOMI NPP satellite. The diffusion model of light pollution was created by making measurements at 64 points in total. Especially in the north-west part of the campus, there are 18 spots that can be classified as polluted according to the Bortle class, which is the measurement classification of light pollution. It has been determined that the campus has pollution level varying between the city and the suburban sky (13,19 and 19,16 mag/arcsec²). The average dark level was determined as 18,15 mag/arcsec². Especially in recent years, it is thought that light pollution has increased due to the increase in settlement around the campus. In addition, it has been evaluated that the arrangement of the campus exterior lighting system, especially in the north-west part, will reduce the level of light pollution.

Keywords: Light pollution, Observatory, Geostatistical, Climate change, Energy efficiency

1. GİRİŞ

Dünya genelinde tüketilen elektriğin %20'si aydınlanma amacıyla kullanılmaktadır. Harcanan elektriğin ise küresel karbon salınımına etkisi %6 civarında olduğu ve 2030 yılında tüketim miktarının %60'lara ulaşacağı öngörülmektedir [1]. Günümüzde enerji eldesinde yaygın olarak petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yerkürede rezervleri sınırlı olup yanmaları neticesinde karbondioksit (CO₂), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve karbon monoksit (CO) gibi çeşitli emisyonlar meydana gelmektedir [2-4]. Bu emisyonlar hava kirliliğine sebep olurken aynı zamanda iklim değişikliğine neden olan karbondioksitin salınımı arttırmaktadır [5].

Bir çevre kirliliği çeşidi olan ışık kirliliği, bir bölgeyi aydınlatmak için kullanılan tertibatın amacına uygun olarak teşkil edilmediği durumlarda meydana gelir [6,7]. Söz konusu aydınlatma işlevselliği bir bölgenin olması gerekenden fazla aydınlatılması durumunda meydana gelebileceği gibi olması gerekenden az aydınlatılması durumunda da gerçekleşmektedir. Bu durumda ise enerjinin verimli kullanılmaması neticesinde olması gerekenden fazla elektrik tüketilmektedir [8,9].

Aydınlık ve karanlık, canlıların metabolik faaliyetlerini düzenlemeleri açısından önemlidir [10]. Geceleri fazla aydınlatmadan kaynaklı olarak bazı böcek popülasyonlarında artış gerçekleşirken bazı türlerinde ise ölümlere sebebiyet vermektedir. Işık kuşlara cazip gelmektedir. Özellikle büyük şehirlerde yüksek binalarda teşkil edilen aydınlatmaların çevrelerinde uçan kuşlar yorularak ölmeleri söz konusudur. Karanlık aydınlatmasının bir olumsuz örneği ise yumurtlama dönemi sonrasında yumurtadan çıkan kaplumbağaların denize gitmek yerine ışığa yönelerek denize ulaşamaması sebebiyle popülasyon kaybı yaşamasıdır [11]. Bitkilerde ise fotosentez işlevinin azalmasına sebep olan fazla aydınlatma balıklarda yumurtlama kalitesine olumsuz etki etmektedir [7].

Fazla ışık insan metabolizmasını da olumsuz etkilemektedir [12]. Işık kirliliğinin insanlara başlıca etkileri; uykusuzluk, depresyon, kilo artışı gibi rahatsızlıklar olurken ayrıca meme kanseri ve prostat gibi sağlık problemlerinin de riskini arttırmaktadır [6,13]. Ayrıca aşırı ışıklandırma neticesinde atmosferde yer alan partiküllerden yansıyan ışık, gökyüzünün olduğundan daha fazla aydınlanmasına sebep olmaktadır [14]. Bu istenmeyen durum neticesinde yeryüzünden gökyüzüne bakıldığında doğal gökyüzü görüntüsü görünmeyerek yıldızların görünürlüğü

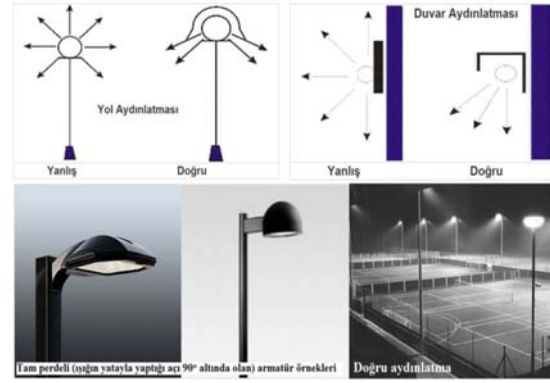
etkilenmektedir [15]. Söz konusu fazla aydınlanmanın etkileri gözlemlerinde gerçekleştirilen astronomik çalışmalara da yansımaktadır [16]. Astronomik ölçümler hava kirliliği olmayan nemsiz ve karanlık ortamlarda yapılması gerekirken fazla ışık neticesinde cisimlerin seçilebilirliği/görünürlüğü azalmaktadır [17]. Gece gökyüzünde şehirlerden yansıyan kümülatif yapay ışık astronomik nesnelerin gözlemlenmesini zorlaştırmaktadır [18]. Şekil 1’de aşırı aydınlatmanın gökyüzünün görünürlüğüne etkisine ait görüntüler yer almaktadır [19,20].



Şekil 1. Aşırı aydınlatmanın gökyüzü görüntüsü üzerine etkisi, **a:** fazla aydınlatma, **b:** yeterli aydınlatma [20]

Şekil 1a incelendiği zaman aşırı aydınlatma sebebiyle gökyüzünde yer alan yıldızların görünürlüğünün azaldığı görülmektedir. Şekil 1b’de ise aşırı aydınlatmanın azaltılması ile gökyüzündeki yıldızların görünürlüğünün arttığı anlaşılmaktadır. Ekosisteme ve canlılığa etkisi sebebiyle ışık kirliliği günümüzün dikkat edilmesi gereken çevresel problemleri arasında yer

almaktadır [21]. Işık kirliliğinin önlenmesinde aşırı aydınlatmadan kaçınılması ve mevcut teknolojinin güncellenerek enerji verimliliği yüksek ekipmanların kullanılması gerekmektedir. Benzer bir amaçla Dünya’nın birçok yerinde dış mekân ışık kirliliğini kontrol altına alabilmek için yeni düzenlemeler yapılmış ve sonuçlarının ışık kirliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir [22]. Bu doğrultuda daha az enerji tüketen ürünlerin aydınlatma sistemlerinde kullanılması sağlanarak aydınlatılmak istenilen bölgenin dışına ışığın ulaşamayacağı şekilde kurulması gerektiği açıktır. Uygun aydınlatma teşkiline ait görsel Şekil 2’de yer almaktadır [8,14,19,23].



Şekil 2. Aydınlatma tertibatının uygun teşkil edilmesi [14,23]

Şekil 2’de aydınlatılmak istenilen bölge yerine etrafının da aydınlatılması durumunda meydana gelen yanlış aydınlatma uygulamaları ve doğru aydınlatma uygulamaları ile birlikte doğru aydınlatmada kullanılan teçhizat örnekleri yer almaktadır.

Jeoistatistik, uzamsal veya uzay-zamansal kavramlarla ilişkili değerleri analiz etmek ve tahmin etmek için kullanılan bir istatistik sınıfıdır [24]. Analizler içindeki verilerin mekânsal (ve bazı durumlarda zamansal) koordinatlarını birleştirir. Pek çok jeoistatistiksel araç, orijinal olarak, numunelerin alınmadığı konumlar için uzamsal kalıpları ve enterpolasyon değerlerini tanımlamak için pratik bir araç olarak geliştirilmiştir. Bu uzay-

zamansal değişikliği ortaya koyan araçlardan birisi de IDW (Inverse Distance Weighted) yöntemidir. İnterpolasyon kavramıyla ilgili birçok tanım formüle edilmiştir [25,26]. Burrough'a (1986) göre enterpolasyon, mevcut nokta gözlemlerinin/verilerinin kapsadığı alan içindeki örneklenmemiş sahalardaki özelliklerin değerini tahmin etme prosedürüdür [26].

Bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsünde ışık ölçümleri yapılarak bölgesel ışık yoğunlukları tespit edilmiştir. Ayrıca SUOMI NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership) uydusu üzerinde bulunan VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), DNB (Day Night Band-Gece Gündüz Bandı) verileri kullanılarak ışık yoğunlukları incelenmiş ve Çukurova Üniversitesi bünyesinde bilimsel faaliyetlerini sürdürerek aktif olarak astronomik gözlemler yapılan Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Merkezi (UZAYMER) çevresindeki ışık ölçümleri değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma, Türkiye'nin Adana ilinde eğitim, öğretim ve akademik faaliyetlerini sürdüren Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsünde gerçekleştirilmiştir. Çukurova Üniversitesi, 1973 yılında kurulmuş olup günümüzde bünyesinde 19 Fakülte, 2 Yüksekokul, 11 Meslek Yüksekokulu, 1 Devlet Konservatuarı, 4 Enstitü ve 38 Araştırma ve Uygulama Merkezini barındırmaktadır [27].

2.2. Saha Çalışmaları

Balcalı kampüsünde gerçekleştirilen saha çalışmaları esnasında ışık ve sıcaklık ölçümleri Şekil 3'de görüntüsü yer alan Unihedron SQM-LU-DL ışık ölçer kullanılarak ve konum bilgisi Macellan Sport Track Color GPS cihazı ile gerçekleştirilmiştir [28].

Işık yoğunluklarının çalışma bölgesinde gökyüzünden incelenmesi aşamasında ise Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Okyanus ve Atmosfer

İdaresi (NOAA) tarafından Dünya yörüngesine yerleştirilen SUOMI NPP uydusu kullanılmıştır. Söz konusu uydu ile iklim değişikliği, hava durumu tahminleri ve hava kirliliği ölçümlerine ait kayıtlı veriler temin edilebilmektedir. Ayrıca uydu üzerinde mevcut görünür kızılötesi görüntüleme radyometre paketinin (VIIRS, DNB) barındırdığı 22 adet kanal vasıtasıyla yerkürenin yüzey özellikleri ve değişimleri de izlenebilmektedir [29].



Şekil 3. Çalışmada kullanılan ışık ölçere ait görüntü [29]

2.3. Yöntem

Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsünün kampüs alanı 20.000 dekarı bulmaktadır [27]. Bu alan içerisinde gerçekleştirilen arazi çalışması 23 Temmuz 2022 saat 21.52'de başlamış ve 24 Temmuz 2022 saat 02.47'de tamamlanmıştır. Ayın "küçülen hilal" formunda, gökyüzünün açık ve bulutsuz olduğu [30] bir gecede 64 farklı noktada ışık ölçümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). İlgili ölçüm noktalarına ait koordinat, ortam sıcaklığı ve zaman bilgileri Çizelge 1.'de yer almaktadır. Işık ölçümleri, zeminden 2 metre yükseklikte ve zemin ile ışık ölçer 90° açı yapacak şekilde (başucu) ölçüm cihazı gökyüzüne doğru tutularak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Ölçüm noktalarına ait koordinat, saat ve sıcaklık verileri

Nokta	Doğu	Kuzey	Saat	Sıcaklık (°C)	Nokta	Doğu	Kuzey	Saat	Sıcaklık (°C)
1	709614	4103757	21.52	28,6	33	710068	4104216	00.43	27,0
2	709494	4103432	21.57	28,0	34	709755	4104211	00.46	27,0
3	708465	4102945	22.05	27,3	35	709483	4104342	00.49	27,3
4	708436	4102858	22.13	27,3	36	709485	4104465	00.55	26,7
5	708952	4102570	22.23	27,3	37	709557	4104611	00.59	27,0
6	709653	4102569	22.28	27,3	38	709344	4104617	01.01	27,0
7	709976	4102682	22.34	27,0	39	709360	4104463	01.05	27,3
8	709802	4102184	22.41	27,0	40	709191	4104429	01.08	28,0
9	709868	4101831	22.46	26,4	41	709194	4104585	01.13	28,0
10	710125	4102154	22.52	26,7	42	709073	4104323	01.28	25,4
11	710654	4102412	22.56	27,7	43	709132	4104045	01.32	25,4
12	710881	4101763	23.00	27,3	44	709423	4104330	01.36	25,4
13	710820	4101388	23.03	26,7	45	709403	4104177	01.39	25,4
14	710734	4101105	23.05	26,7	46	709529	4104124	01.43	25,4
15	710490	4100598	23.09	26,4	47	709221	4104036	01.45	25,4
16	709928	4100370	23.15	26,4	48	709028	4103946	01.48	25,4
17	709527	4099418	23.22	26,1	49	708881	4103827	01.51	25,4
18	709296	4099124	23.26	26,4	50	708725	4103687	01.54	25,1
19	709690	4099355	23.30	26,4	51	708629	4103601	01.56	25,1
20	710550	4102657	23.45	26,1	52	708220	4103307	02.00	25,1
21	710707	4102895	23.50	26,1	53	708482	4103379	02.03	25,1
22	710307	4103164	23.55	26,1	54	709383	4103901	02.08	25,1
23	710521	4103424	23.59	26,4	55	709534	4103966	02.10	25,1
24	710543	4103644	00.04	26,7	56	709496	4103973	02.11	25,1
25	710424	4103832	00.10	26,4	57	709642	4104098	02.15	24,8
26	709881	4103758	00.14	26,1	58	709716	4103916	02.18	24,8
27	710047	4104081	00.18	26,4	59	709730	4104006	02.21	25,1
28	710213	4104197	00.22	26,4	60	709870	4104120	02.23	25,1
29	710555	4104301	00.26	26,7	61	709946	4103986	02.25	25,1
30	710669	4104676	00.29	27,3	62	709584	4103219	02.35	24,4
31	710382	4104520	00.34	27,3	63	709507	4103196	02.39	23,8
32	710228	4104374	00.38	27,0	64	709917	4104186	02.47	23,2

Bu araştırmanın sayısalştırma aşamasında, çalışma alanının sınırları ve ölçüm noktalarının lokasyonları Google Earth Pro yazılımında belirlendikten sonra *ArcGIS (v.10)* programına aktarılmıştır. Ölçülen ışık değerleri, jeoistatistiksel model tahminleri yapmak amacıyla coğrafi olarak referanslandırılarak noktasal koordinatlarına yerleştirilmiştir (UTM_ED_1950: Zone 36N). IDW yöntemine göre üretilen jeoistatistiksel tahmin modeli *ArcGIS* yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. IDW yöntemin temel özelliği, çalışma alanı içerisindeki tüm noktaların mesafe bazında

birbirine bağlı kabul edilmesidir. Bu nedenle, bir alandaki ölçüm değerlerinin bilinmesi, çalışma alanı içerisinde noktasal ölçüm yapılmayan diğer alanlarında mesafe ağırlıklarına göre tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır [31].

Bu çalışmada kullanılan IDW yönteminin enterpolasyon işlevi şu şekildedir:

$$H_p = \frac{\sum_{i=1}^n h_i / d_i^2}{\sum_{i=1}^n [1/d_i^2]} \quad (1)$$

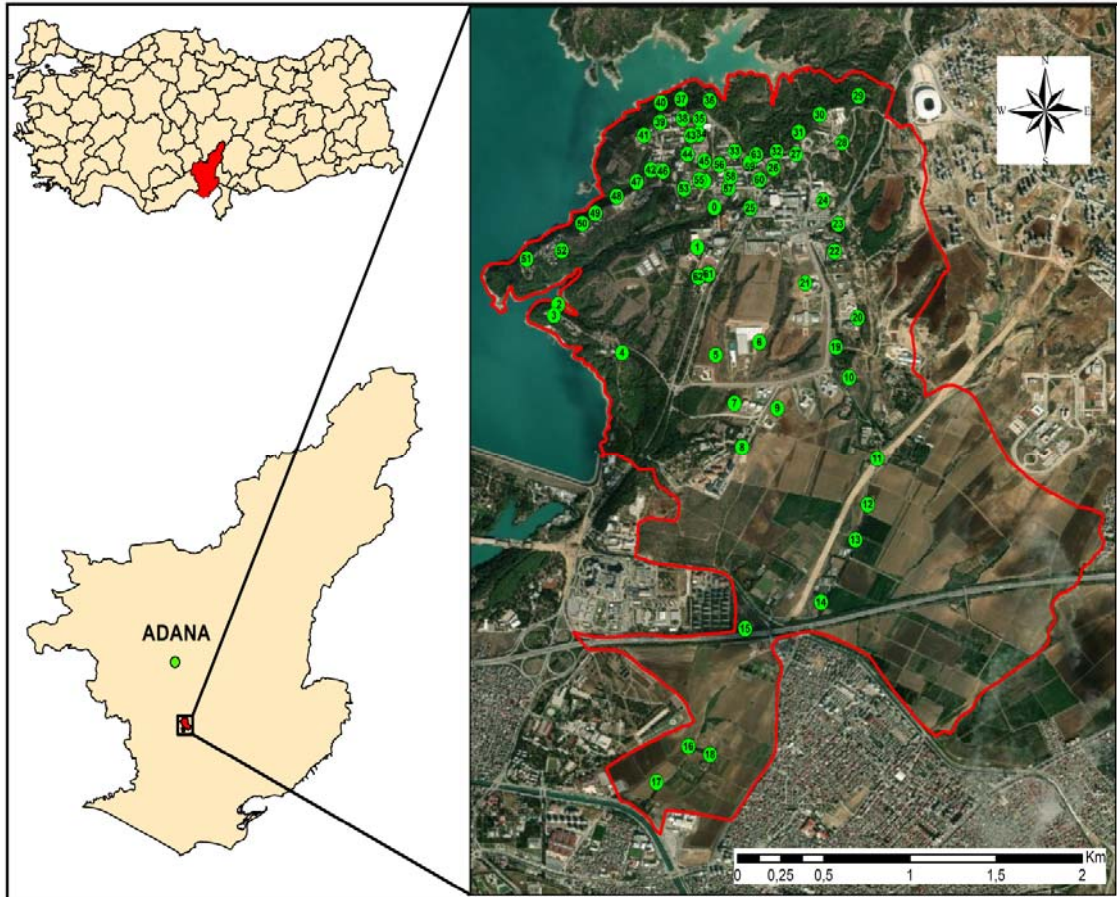
Eşitlik 1’de H_p enterpolasyonun gerçekleştirildiği P noktasının hesaplanan ışık değeridir; h_i , P noktasındaki ışık değerini hesaplamak için kullanılan ölçüm değeridir; d_i , noktaların P noktasına olan uzaklıklarıdır; n, P noktasının yüksekliğini tahmin etmek için enterpolasyon prosedüründe kullanılan nokta sayısıdır. IDW ile tahmin edilen noktaların tahmin değerleri arasındaki kök ortalama karesel hata (RMSE, Eşitlik 2) değerleri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de, A_t ölçülen ışık değeri, F_t ölçüm yapılmayan noktalardaki tahmin değeri, n ise gözlem sayısıdır.

Şekil 4’de yer alan 64 farklı noktada gerçekleştirilen ışık ölçümleri mag/arcsec² (Mag/Sq) biriminde yani kadir/açısanıye² cinsinden (Magnitudes per Square Arc Second: MPSAS) ölçülmüştür. Işık ölçümleri değerlendirilirken sadece MPSAS ifadesi kullanılmamakta olup çıplak gözün görebileceği sınır değeri ifade eden kadir birimi de (Naked Eye Limiting Magnitude, NELM) kullanılmaktadır. Bu çalışmada tespit edilen MPSAS değerleri Eşitlik 3 kullanılarak NELM birimine dönüştürülmüştür [32,33].

$$NELM = 7,93 - 5 * (\log(10^{(4,316 - \frac{MPSAS}{5})} + 1)) \quad (3)$$



Şekil 4. Çalışma alanı ve ölçüm noktalarının lokasyon haritası

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Arazi Çalışmasına ait Işık Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsünde gerçekleştirilen ışık ölçümlerinde tespit edilen en düşük ve en yüksek MPSAS değerleri sırası ile

13,19 kadir/açısanıye² ve 19,16 kadir/açısanıye²'dir. MPSAS değerlerinden hesaplanan en düşük ve en yüksek NELM değerleri ise -0,5 kadir ile 4,9 kadir'dir. Bu çalışmada ölçüm noktalarına göre tespit edilen MPSAS, NELM ve sıcaklık değerleri ölçüm saati ve nokta koordinatları ile birlikte Çizelge 1 ve 2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. Bu çalışmada ölçülen ve hesaplanan ışık ölçümü değerleri

Nokta	MPSAS	NELM	Nokta	MPSAS	NELM	Nokta	MPSAS	NELM
1	18,67	4,5	23	18,97	4,7	45	16,38	2,5
2	18,51	4,4	24	18,63	4,5	46	18,67	4,5
3	18,63	4,5	25	18,70	4,5	47	14,52	0,8
4	14,62	0,9	26	18,15	4,1	48	18,98	4,8
5	18,69	4,5	27	18,69	4,5	49	19,03	4,8
6	18,47	4,4	28	18,82	4,6	50	19,09	4,8
7	18,47	4,4	29	18,82	4,6	51	18,80	4,6
8	18,36	4,3	30	18,84	4,6	52	18,85	4,7
9	16,89	3,0	31	19,00	4,8	53	18,62	4,5
10	18,06	4,0	32	19,07	4,8	54	14,98	1,2
11	18,38	4,3	33	18,87	4,7	55	13,19	-0,5
12	18,39	4,3	34	18,85	4,7	56	18,80	4,6
13	18,59	4,5	35	18,77	4,6	57	18,82	4,6
14	18,41	4,3	36	18,88	4,7	58	18,80	4,6
15	18,37	4,3	37	19,07	4,8	59	14,00	0,3
16	18,12	4,1	38	19,11	4,9	60	18,68	4,5
17	18,18	4,1	39	18,84	4,6	61	15,91	2,1
18	18,46	4,3	40	17,14	3,2	62	14,39	0,7
19	18,24	4,2	41	19,16	4,9	63	18,66	4,5
20	18,73	4,6	42	19,01	4,8	64	18,73	4,6
21	18,65	4,5	43	18,86	4,7			
22	18,61	4,5	44	18,78	4,6			

*MPSAS değerleri kadir/açısanıye² ve NELM değerleri kadir cinsinden verilmiştir.

Çizelge 2 incelendiği zaman ışık ölçümü gerçekleştirilen noktalarda MPSAS değerlerinin yaygın olarak 18 kadir/açısanıye² ve 19 kadir/açısanıye² arasında değiştiği ve NELM değerlerinin ise 4 kadir ile 4,9 kadir arasında

olduğu görülmektedir. Bu çalışmada tespit edilen MPSAS ve NELM değerlerinin yorumlanmasında Bortle Ölçeği kullanılmaktadır. Bortle Ölçeği, belirli bir konumda gerçekleştirilen ışık ölçümünün

parlaklığını anlamlandıran dokuz sınıflı bir yorumlama metodudur [34]. Ayrıca Bortle Ölçeği kullanılarak bir bölge de mevcut gece parlaklığının astronomik gözlemlere etkisi de değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada, Bortle Ölçeği değerlendirmeleri, NELM değerinin 4 kadir ve 5 kadir aralığında 3 farklı sınıfı içermesi sebebiyle MPSAS verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bortle Ölçeğine ait sınıflandırma Çizelge 3’de yer almaktadır [35].

Bortle ölçeğine (Çizelge 3) göre bu çalışmada tespit edilen veriler (Çizelge 2) incelendiğinde Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsü genelinde “şehir merkezinden uzak yerleşimdeki gökyüzü ve dolunay” sınıflandırmasına uyduğu

anlaşılmaktadır. Söz konusu sınıflandırma, bir bölgedeki ışık kirliliğinin, gökyüzünün açık gri görünmesine sebep olacağını ve her yönden güçlü ışık kaynaklarının bulunduğunu ifade etmektedir. Ayrıca gökyüzündeki bulutların parlaklığı, mevcut fazla ışık ile aydınlatılmış durumda olduğundan görünürlüğü azalmış ve samanyolu neredeyse ya da tamamen görünmez bir formda bulunmaktadır. Bir teleskop vasıtasıyla inceleme yapılması durumunda ise en parlak Messier nesnelere, gerçek parlaklarında görünmemektedir. Bu tip bir ışık kirliliği dolunayın gökyüzünde bulunması durumunda bulunduğu bölgeyi tamamen aydınlatması neticesinde gözlenmektedir [35].

Çizelge 3. Bortle ölçeği [35]

Sınıf		NELM	MPSAS
		(kadir)	(kadir/açısanıye ²)
1	Mükemmel gökyüzü	7,6–8,0	21,99–22,00
2	Karanlık gökyüzü	7,1–7,5	21,89–21,99
3	Kırsal alanlar	6,6–7,0	21,69–21,89
4	Kırsal alan sınırları	6,1–6,5	20,49–21,69
5	Kenar mahalle sınırları	5,6–6,0	19,50–20,49
6	Kenar mahalle gökyüzü	5,1–5,5	18,94–19,50
7	Şehir merkezinden uzak yerleşimdeki gökyüzü ve dolunay	4,6–5,0	18,38–18,94
8	Şehir gökyüzü	4,1–4,5	<18,38
9	Şehir içi gökyüzü	4,0	

Bortle ölçeğine (Çizelge 3) göre bu çalışmada tespit edilen veriler (Çizelge 2) incelendiğinde Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsü genelinde “şehir merkezinden uzak yerleşimdeki gökyüzü ve dolunay” sınıflandırmasına uyduğu anlaşılmaktadır. Söz konusu sınıflandırma, bir bölgedeki ışık kirliliğinin, gökyüzünün açık gri görünmesine sebep olacağını ve her yönden güçlü ışık kaynaklarının bulunduğunu ifade etmektedir. Ayrıca gökyüzündeki bulutların parlaklığı, mevcut fazla ışık ile aydınlatılmış durumda olduğundan görünürlüğü azalmış ve samanyolu neredeyse ya da tamamen görünmez bir formda bulunmaktadır. Bir teleskop vasıtasıyla inceleme yapılması durumunda ise en parlak Messier nesnelere, gerçek parlaklarında görünmemektedir. Bu tip bir ışık kirliliği dolunayın gökyüzünde bulunması

durumunda bulunduğu bölgeyi tamamen aydınlatması neticesinde gözlenmektedir [35].

Balcalı Kampüsü bünyesinde tespit edilen MPSAS değerinde ayrıca kampüse ait çeşitli bölgelerde Bortle skalasına göre kısmi olarak şehir gökyüzü-şehir içi gökyüzü ve kenar mahalle gökyüzü sınıflarının bulunduğu tespit edilmiştir. MPSAS değeri ile ışık kirliliği arasında ters orantı bulunmaktadır. Yani MPSAS değeri yükseldikçe ışık kirliliğinin azalmakta olup MPSAS değerinin azalması durumunda ise ışık kirliliği artmaktadır. Bortle Ölçeğine göre kenar mahalle gökyüzü sınıfında yer alan Balcalı Kampüsüne ait bölgelerde gökyüzünde mevcut bulutlar parlak bir görünüme sahip olup kolaylıkla görülebilmektedir. Samanyolunun bir kısmı görünürken burç ışıkları

görünmemektedir. Şehir gökyüzü-şehir içi gökyüzü sınıfına ait Kampüs bölgelerinde ise takımyıldızlarını oluşturan yıldızların görünürlüğü azalmış ve Messier cisminin çıplak göz ile görünürlüğü neredeyse kaybolmuş durumdadır. Ayrıca ay, gezegenler, parlak uydular ve parlak yıldız kümeleri hariç diğer nesnelere görünürlüğü zordur [35].

Yılmaz ve Özdemir (2021), Malatya şehir merkezinde 85 farklı noktada ışık kirliliği ölçümleri gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar, 16,53 kadir/açısıaniye² ile 20,68 kadir/açısıaniye² arasında değişen ölçüm sonuçları tespit etmişlerdir [36]. Nasıroğlu vd. (2020), Atatürk Üniversitesi Kampüsü ve kampüs bünyesinde yer alan ATA50 teleskobunun etrafında ışık kirliliği ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Atatürk Üniversitesi Kampüsünde 37 farklı noktada ışık ölçümü yapan araştırmacılar, 16,66 kadir/açısıaniye² ve 19,51 kadir/açısıaniye² arasında değişen değerlerde sonuçlar elde etmişlerdir. Çalışmada, ATA50 teleskobunun şehir merkezine yakın olması sebebiyle gökyüzünün kırsal kesimlere göre daha

parlak olduğunu bildirilmiştir. Ayrıca çeşitli zaman dilimlerinde ATA50 teleskobunda yapılmış ışık ölçümlerinde 17,70 kadir/açısıaniye² ile 19,26 kadir/açısıaniye² arasında değişen ölçüm sonuçları elde etmişlerdir. [14]. Solmaz vd. (2021), Çukurova Üniversitesi Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Merkezinde (UZAYMER) ışık ölçer ve uydu görüntüsü kullanarak ışık kirliliği çalışmışlardır. Araştırmada, 2952 defa ışık ölçümü gerçekleştiren araştırmacılar ışık değerlerini 16,8 kadir/açısıaniye² ve 19,4 kadir/açısıaniye² arasında tespit etmişlerdir. Çalışmada uydu verileri kullanılarak UZAYMER'deki ışık kirliliğinin 18,1 kadir/açısıaniye² ve 18,3 kadir/açısıaniye² arasında değiştiğini bildirmişlerdir [37]. Bu çalışmada Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsünde 64 farklı noktada ışık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 13,19 kadir/açısıaniye² ve 19,16 kadir/açısıaniye² arasında değişen ışık değerleri ölçülmüştür. Ayrıca UZAYMER'in yer aldığı bölgede gerçekleştirilen ölçüm noktasındaki MPSAS değeri 19,03 kadir/açısıaniye²'dir. İlgili çalışma ve bu çalışmaya ait bilgiler Çizelge 4'de yer almaktadır.

Çizelge 4. Literatürde yer alan benzer çalışma ve bu çalışmadaki ışık ölçüm değerleri

Çalışma	Çalışma koşulu	Tespit edilen değerler
Yılmaz & Özdemir, 2021 [36]	Malatya ili 85 ölçüm noktası	16,53 kadir/açısıaniye ² ile 20,68 kadir/açısıaniye ² arasında değişen ölçüm değerleri
Nasıroğlu vd., 2020 [14]	Atatürk Üniversitesi Kampüsü 37 ölçüm noktası	16,66 kadir/açısıaniye ² ve 19,51 kadir/açısıaniye ² arasında değişen ölçüm değerleri
	ATA50 Teleskobunun bulunduğu bölgede 1 ölçüm noktası	17,70 kadir/açısıaniye ² ile 19,26 kadir/açısıaniye ² arasında değişen ölçüm değerleri
Solmaz vd., 2021 [37]	UZAYMER 1 ölçüm noktası	16,8 kadir/açısıaniye ² ve 19,4 kadir/açısıaniye ² arasında değişen ölçüm değerleri
Bu çalışma	Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsü	13,19 kadir/açısıaniye² ve 19,16 kadir/açısıaniye² arasında değişen ölçüm değerleri
	UZAYMER 1 ölçüm noktası	19,03 kadir/açısıaniye²

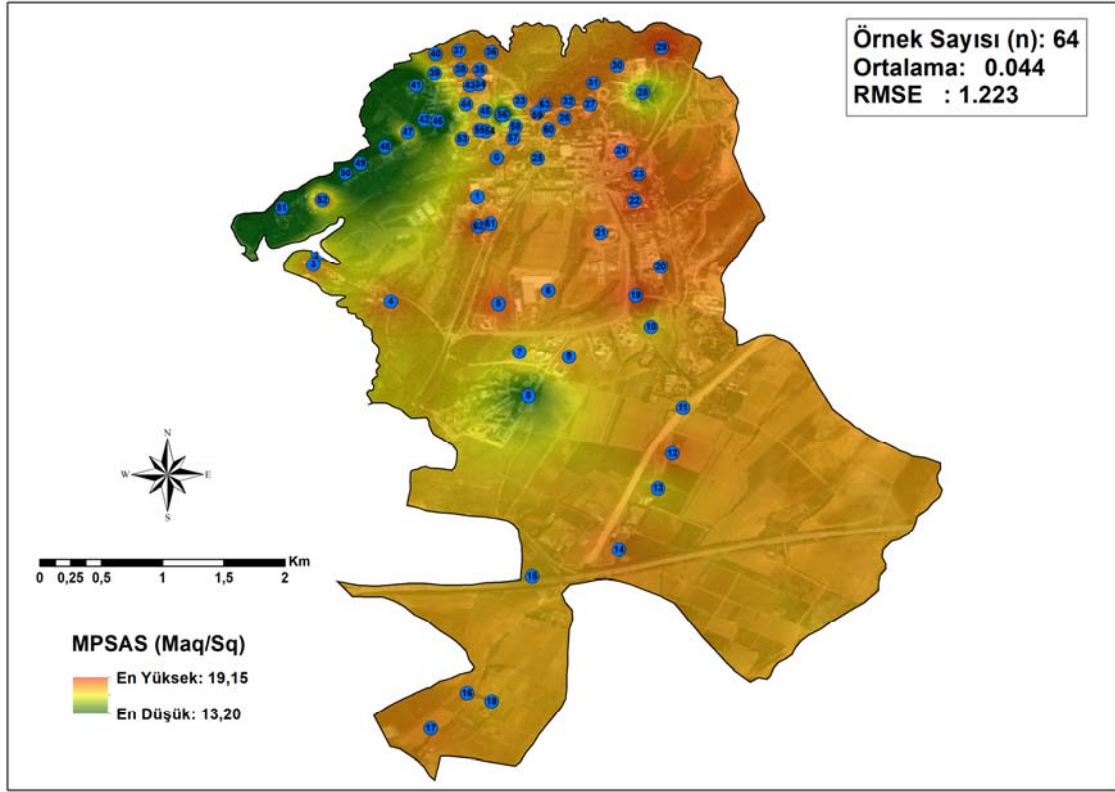
3.2. Jeostatistiksel Tahmin Modellemesi

IDW yöntemi ile kullanılarak elde edilen ve ışık ölçüm değerlerinin jeostatistiksel tahminlerini

gösteren harita Şekil 5'de verilmiştir. 64 ölçüm noktası kullanılarak oluşturulan modelde, en düşük 13,20 kadir/açısıaniye², en yüksek 19,15 kadir/açısıaniye², ortalama 0,044 ve RMSE değeri

1,223'dür. Elde edilen model tahmin haritasının hata oranı yaklaşık %16'dır. Çalışma alanının kuzeybatı kısmında yer alan sadece lokal bir bölgede MPSAS türünden ölçüm değerlerinin en

düşük olduğu görülmektedir. Öte yandan, çalışma alanının büyük bir kısmında ölçüm değer aralığı 18,41 kadir/açısıaniye² ile 19,15 kadir/açısıaniye² arasında dağılım göstermiştir.



Şekil 5. IDW enterpolasyon yöntemi ile tahmin edilen MPSAS değerleri model tahmin haritası

Şekil 5 incelendiğinde kampüsün kuzey-kuzey batı kesimlerinde MPSAS değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Balcalı kampüsünün söz konusu bölgelerinde eğitim, akademik, barınma ve sağlık hizmetleri yoğun olarak sürdürülmektedir. Ölçüm bölgeleri olan 8 ve 28 numaralı noktalarda sırası ile öğrenci yurdu (Şekil 6-a) ve bakım işletme atölyeleri ile birlikte kampüse ait araçların park edildiği hizmet bölgesi (Şekil 6-b) bulunmaktadır.

3.3. Uydu Verileri

Çalışmada 2011'de uzaya fırlatılan kutupsal yörüngeli ve 833 km yükseklikteki SUOMI-NPP uydusu üzerindeki Kızılötesi Görüntüleme

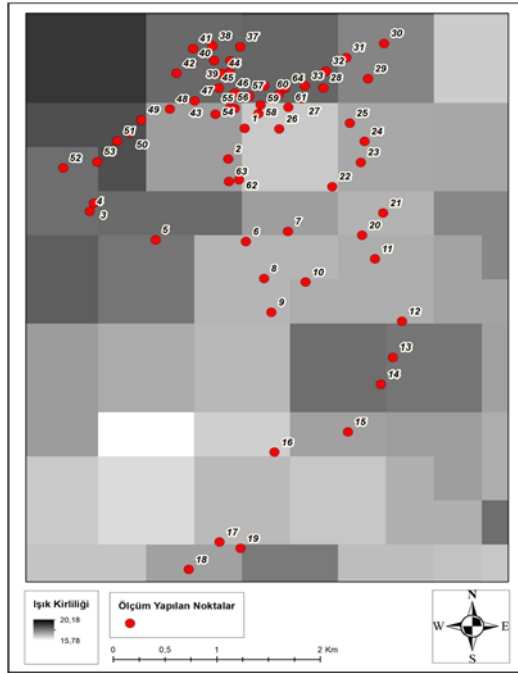
Radyometresi (VIIRS) cihazının Gündüz/Gece Bandı (DNB) kullanılmıştır [38]. DNB bandı, görünür yansıma bölgesinden (0.5–0.9 μm) 12 bit radyometrik ve 750 m. yersel çözünürlükte kayıt yapmakta olup gece ve gündüz olmak üzere aynı konumdan günde en az 2 geçiş yapabilmektedir. Günlük olarak üretilen, gece görüntülerini içeren coğrafi bilgi sistemleri (CBS) veri seti, dünya yüzeyini 75° Kuzey ile 65° Güney enlemlerinden itibaren kapsar ve GeoTIFF formatındadır. Veri seti piksel başına 750 m. mekansal çözünürlüğe ve toplamda 3060 kilometrelik bölgeyi tek karede algılayabilecek kapasitedir [39]. Bu çalışmada ölçümlerinin yapıldığı 23.07.2022 tarihli günlük

uydu görüntüsü kullanılmıştır. Çalışma alanında kullanılan uzay tabanlı uydu verilerinden elde edilen görüntü (Şekil 7), noktasal ölçümlerde

oldukça yaygın kullanılan SQM ölçü birimine dönüştürülmüştür [40,41].



Şekil 6. Kampüse ait görüntüler (a: 8 numaralı ölçüm bölgesi, b: 28 numaralı ölçüm bölgesi)



Şekil 7. Çalışma alanında kullanılan uydu görüntüsü üzerinde yerinde ölçüm yapılan noktaların gösterimi.

SQM ölçü birimine dönüştürülen görüntüden yerinde ölçümlerin yapıldığı noktalar kullanarak piksel değerleri okutulmuştur. Şekil 7’de kullanılan uydu görüntüsü üzerinde yerinde ölçüm yapılan

noktalar haritalandırılmıştır. SQM ölçümleri ve uydu görüntüsü piksel değerleri arasındaki ilişki incelenmiş ve Eşitlik 4 kullanılarak:

$$y = 0.322x + 12.9 \quad (4)$$
$$R^2 = 0.10 \text{ bulunmuştur.}$$

R^2 değerinin düşük olması ölçüm yapılan noktaların birçoğunun kümülatif olarak aynı piksele toplanması ve aynı değeri almasından yani uydu görüntüsünün yersel çözünürlüğünün düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.4. Arazi Gözlemleri

Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsü, eğitim ve akademik faaliyetlerin yanında bünyesinde bulundurduğu araştırma hastanesi ile birden fazla alanda faaliyet göstermektedir. Kampüs genelinde bu çalışmanın gerçekleştirildiği zaman diliminde özellikle ulaşımın sürdürüldüğü ortak kullanım alanlarında aydınlatılan bölgelerde tabelaların okunabildiği ve güvenlik açısından yönlendirmelerin fark edilebildiği şekilde aydınlatmanın sağlandığı gözlenmiştir (Şekil 8). Ayrıca eğitim, barınma ve sağlık faaliyetlerinin sürdürüldüğü kullanım alanlarında projektörler ve aydınlatma direkleri vasıtasıyla aydınlatma işlevinin hizmet faaliyetlerini aksatmayacak şekilde aydınlatıldığı tespit edilmiştir.

Eğitim, barınma, sağlık ve ulaşım faaliyetlerinin gerçekleşmediği özellikle tarımsal alanlarda ise aydınlatma tertibatlarının güvenlik ve ulaşımaya yönelik olarak teşkil edildiği ve tüm kampüs arazinin aydınlatılması yerine işlevine uygun alan aydınlatmasının gerçekleştirilerek hizmet faaliyetlerinin sürdürüldüğü anlaşılmıştır (Şekil 9).



Şekil 8. Ortak alan aydınlatmasına ait bir görüntü



Şekil 9. Balcalı kampüsünden bir görüntü

Gerçekleştirilen arazi çalışması neticesinde kampüsün aydınlatılmasında halojen ve led (light-emitting diode, ışık yayan diyot) lamba barındıran armatürler ve projektörlerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Söz konusu aydınlatma ekipmanlarının güç tüketimleri ve aydınlatma özellikleri kampüs genelinde değişmekte olup güvenlik ve aydınlatma amacıyla ilgili teçhizatlar kullanılmaktadır.

4. SONUÇLAR

Balcalı kampüsünde gerçekleştirilen araştırma neticesinde, yerleşkenin kuzey-kuzey batı kesimlerinde daha düşük MPSAS değerlerinin elde edildiği tespit edilmiştir. Söz konusu bölgeler kampüste eğitim, sağlık ve konaklama faaliyetlerinin sürdürüldüğü önemli bölgeler olup güvenlik ve ulaşım açısından kampüsün diğer bölgelerine göre daha aydınlık olduğu görülmüştür. Ulaşım ve hizmet faaliyetlerinin sürdürülmediği bölgelerinde ise Balcalı kampüsünün daha karanlık bölgelerin olduğu anlaşılmıştır.

Çalışmada en düşük MPSAS değeri 13,19 kadir/açısanıye² ve en yüksek MPSAS değeri 19,16 kadir/açısanıye² olarak ölçülmüştür. Balcalı yerleşkesinde ortalama MPSAS değeri ise 18 kadir/açısanıye² civarındadır. Söz konusu değerlerin yükselmesi mevcut ışık kirliliğinin azaltılması açısından önemli olduğundan özellikle düşük MPSAS değerlerinin bulunduğu bölgelerin ulaşım, sağlık ve güvenlik hususlarını aksatmayacak şekilde yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu hususta özellikle bakım işletme müdürlüğü ile birlikte eğitim ve sağlık hizmetlerinin sürdürülmediği alanlarda projektörlerin sayılarının düşürülmesi ya da aynı bölgeyi aydınlatan aydınlatma tertibatlarının sayısının azaltılması önerilmektedir.

Bu çalışmada ölçülen ışık değerleri (en düşük 13,19 kadir/açısanıye² ile en yüksek 19,16 kadir/açısanıye²) literatürde ışık kirliliği çalışan araştırmacılara ait veriler ile birlikte değerlendirildiğinde (en düşük 16,53 kadir/açısanıye² ile en yüksek 20,68 kadir/açısanıye²) [14,36,37] Balcalı kampüsünde daha düşük ölçüm değerleri (8 farklı noktada, Çizelge 1) ölçüldüğü anlaşılmıştır. Fazla aydınlık değerlerinin okunduğu söz konusu noktalarda gerçekleştirilen arazi çalışmasında aydınlatma tertibatlarının sayısı sebebiyle ışık ölçerinin doğrudan maruz kalması sebebiyle düşük ölçüm sonuçlarının ölçüldüğü görülmüştür. Araştırma kapsamında ölçümü gerçekleştirilen 56 nokta ise literatürde yer alan ölçüm sonuçları [14,36,37] ile karşılaştırıldığında benzer değerlerin ölçüldüğü

tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada UZAYMER’de ölçülen 19,03 kadir/açısanıye² değerinin Atatürk Üniversitesinde bulunan ATA50 teleskobu etrafında ölçülen değerler (17,70 kadir/açısanıye² ile 19,26 kadir/açısanıye² arasında) [14] ile UZAYMER’de daha önce Solmaz ve ark. tarafından gerçekleştirilmiş çalışmada tespit edilen değerler (16,8 kadir/açısanıye² ve 19,4 kadir/açısanıye² arasında) [37] ile kıyaslanması durumunda diğer araştırmacılar tarafından ölçülen değer aralığında uyumlu olduğu görülmüştür.

Balcalı kampüsünde ışık kirliliği ve aydınlatma verimliliği açısından gerçekleştirilecek olan bir sonraki çalışmada kampüs genelinde verimsiz ve uygun olmayan aydınlatmanın belirlenmesi ve daha az enerji tüketen aydınlatma teçhizatlarının belirlenmesi gerekmektedir. Literatür incelendiği zaman led aydınlatma armatürlerinin kullanılması durumunda enerji tasarrufu sağlayarak çevre kirliliğini azaltacağı bilinmektedir [42-44]. Gerçekleştirilen arazi çalışması esnasında kampüsün ana bulvarı üzerindeki aydınlatma tertibatlarının yenilendiği ve led ampuller kullanılması suretiyle daha verimli aydınlatma tertibatlarının teşkil edilmeye başlandığı görülmüştür. Ayrıca ana bulvar üzerindeki yenilenme ve bakım çalışmalarının neredeyse bittiği ve ara caddelerde ilgili çalışmaların sürdürüldüğü anlaşılmıştır. Fakat söz konusu çalışmaların kampüsün kuzey-kuzeybatı ve sağlık hizmetlerinin sağlandığı bölgelerin haricindeki diğer alanların da uygulanması aydınlatma verimliliği ve enerji tasarrufu hususunda önemli olacağı düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Işık ölçer cihazının (SQM) temini için Çağ Üniversitesi’ne ve Öğr. Gör. Dr. Arif SOLMAZ’a teşekkür ederiz. Çalışmamızın sürdürülebilirliği ve arazi çalışmalarındaki destekleri için Çukurova Üniversitesi Yönetimine, Genel Sekreterliğine, Güvenlik Müdürlüğüne, Prof. Dr. Nazım AKSAKER, Doç. Dr. Mehmet Eren ÖZTEKİN ve Hüseyin DÜNDÜ’ye teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. UNEP, 2013. The Rapid Transition to Energy Efficient Lightning: An Integrated Policy Approach. The United Nations Environment Programme/Global Environment Facility, 7.
2. Zencirci, S. A., Işıklı, B., 2017. Hava Kirliliği. Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi, 2(2), 25-36.
3. Gülmez, A., 2015. OECD Ülkelerinde Ekonomik Büyüme ve Hava Kirliliği İlişkisi: Panel Veri Analizi. Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 9(3), 18-30.
4. İlkılıç, C., Behçet, R., 2006. Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerindeki Etkisi. Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, 5(1), 66-72.
5. Özdemir, S., Özkan, K., Mert, A., 2020. An Ecological Perspective on Climate Change Scenarios. Biological Diversity and Conservation, 13(3), 361-371.
6. Yalçın, C., 2017. Işık Kirliliği Üzerine Sosyolojik Bir Değerlendirme. Mavi Atlas, 5(2), 337-354.
7. Yıldız, N. D., Yılmaz, H., 2005. Işık Kirliliği, Ortaya Çıkardığı Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36(1), 117-123.
8. Demir, H., Çıracı, G., Kaya, R., Ünver, Ü., 2020. Aydınlatmada Enerji Verimliliği: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Durum Değerlendirmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(3), 1637-1652.
9. Aydoğdu, E., 2019. Mevcut Ticari Binaların Aydınlatma Sistemlerinde Enerji Verimliliği Analizi İçin Örnek Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
10. Demirci, T., 2021. Kentlerin Aydınlatılması Bağlamında Işık Kirliliği Sorunsalı ve İzmir Büyükşehir ve İlçe Belediyelerinin Yaklaşımları. Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 10(2), 72-80.
11. Karimi Ansari, B., 2013. Işık Kirliliği (Karanlık Kirliliği) ve Çevreye Olan Etkileri. Çukurova

- Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 28(1), 11-22.
12. Şahin, M., Akaltun, Y., Oğuz, Y., 2017. Investigation of the Environmental Effects of Light Pollution which External Lighting Systems Caused. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 10(2), 278-286.
 13. Gökçek, Ö. B., Gümüş, M. G., Bozdağ, A., Özlü, S., Savaş, C., 2018. Niğde İli Kent Merkezinde Aydınlatmadan Kaynaklanan Işık Kirliliğinin İncelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 514-521.
 14. Nasıroğlu, İ., Güney, Y., Kılıç, Y., Niaei, M. S., Tozoğlu, B., 2020. Atatürk Üniversitesi Kampüsünün Gökyüzü Kalite Ölçümü (Işık Kirliliği). *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 1(1), 431-432.
 15. Babaoğlu, G., 2017. 5. Sınıf Öğrencilerinin Işık Kirliliğine Yönelik Algıları. *Anadolu Öğretmen Dergisi*, 1(2), 45-56.
 16. Seyhan, R. K., Aksaker, N., Kurt, Z., Erdoğan, M. A., 2020. Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak Dünya Geneline Işık Kirliliği Analizi. *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 1(2), 771-772.
 17. Devlen, A., 2018. Ege Üniversitesi Gözlemevi'nin Gökyüzü Parlaklık Ölçümleri. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 401-408.
 18. Gronkowski, P., Tralle, I., Wesolowski, M., 2018. Visibility of Comets During Their Outbursts and The Night Sky Light Pollution-Use The Bortle Scale. *Astronomische Nachrichten*, 339(1), 37-45.
 19. Karagöz Küçük, Z., Ekren N., 2021. Light Pollution and Smart Outdoor Lighting. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(2), 191-200.
 20. <https://astro.org.sv/imagendeldia/mayo-16-2019-cielos-oscuros-enciendan-la-noche-mayo-16-2019-cielos-oscuros-enciendan-la-noche/> Erişim Tarihi: 28.11.2022.
 21. Falchi, F., Furgoni, R., Gallaway, T. A., Rybnikova, N. A., Portnov, B. A., Baugh, K., Cinzano, P., Elvidge, C. D., 2019. Light pollution in USA and Europe: The Good, the Bad and the Ugly. *Journal of Environmental Management*, 248, 109227.
 22. Aksaker, N., Yerli, S. K., Erdoğan, M. A., Kurt, Z., Kaba, K., Bayazit, M., Yesilyaprak, C., 2020. Global Site Selection for Astronomy. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 493(1), 1204-1216.
 23. Görsel, <http://www.isikkirliligi.org/index.php/gorsel>, Erişim Tarihi: 28.11.2022.
 24. McCullagh, M. J., 1988. Terrain and Surface Modelling Systems: Theory and Practice. *Photogrammetric Record*, 12(72): 747-779.
 25. Robinson, G. J., 1994. The Accuracy of Digital Elevation Models Derived From Digitised Contour Data. *Photogrammetric Record*, 14(83): 805-814.
 26. Burrough, P. A., 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford: Oxford University Press, 220.
 27. <https://www.cu.edu.tr/institutional/university/genel-bilgi>, Erişim Tarihi: 28.11.2022.
 28. Sky Quality Meter-LU-DL, <http://www.uniheron.com/projects/sqm-lu-dl/>, Erişim Tarihi: 28.11.2022.
 29. Suomi NPP, https://www.nasa.gov/mission_pages/NPP/mission_overview/index.html, Erişim Tarihi: 30.11.2022.
 30. Adana Bölgesinde 23 Temmuz Hava Durumu, <https://tr.weatherspark.com/d/99280/7/23/23-Temmuz-tarihinde-Adana-Türkiye-Ortalama-Hava-Durumu#Figures-Temperature>, Erişim Tarihi: 29.11.2022.
 31. Achilleos, G.A., 2011. The Inverse Distance Weighted Interpolation Method and Error Propagation Mechanism - Creating a DEM from an Analogue Topographical Map. *Journal of Spatial Science*, 56(2), 283-304.
 32. Güney, Y., Nasıroğlu, İ., 2021. ATA50 Teleskobunda Gece Gökyüzü Kalitesi Ölçümleri. *Atatürk Üniversitesi Anadolu Fizik ve Astronomi Dergisi*, 1(1), 20-22.
 33. Conversion Calculator - NELM (V) to MPSAS (B) systems, <http://uniheron.com/projects/darksky/NELM2BCalc.html>, Erişim Tarihi: 29.11.2022.

34. Bortle, J. E., 2001. Introducing the Bortle Dark Sky Scale. *Sky & Telescope*, 101(2), 126.
35. Bortle, J. E., 2006. The Bortle Dark-sky Scale. *Sky & Telescope*, <https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/light-pollution-and-astronomy-the-bortle-dark-sky-scale/>, Erişim Tarihi: 30.11.2022.
36. Yılmaz, A., Özdemir, T., 2021. Measurement and Determination of Light Pollution: Case Study of Malatya City. *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 2(1), 38-43.
37. Solmaz, A., Aksaker, N., Akyüz, A., Kurt, Z., Allak, S., Aladağ, Y., Karakılçık, M., Emrahoğlu, N., Emin Özel, M., 2021. ÇÜ Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (UZAYMER): I. Gözlem Koşulları ve Güncel Projeler. *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 2(1), 1-12.
38. Nighttime Light VIIRS, <https://eogdata.mines.edu/products>, Erişim Tarihi: 10.12.2022.
39. Nurbandi, W., Yusuf, F. R., Prasetya, R., Afrizal, M. D., 2016. Using Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Imagery to Identify and Analyze Light Pollution. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 47(1), 012040.
40. Sanchez de Miguel, A., Kyba, C., Zamorano, J., Gallego, J., Gaston, K. J., 2020. The Nature of The Diffuse Light Near Cities Detected in Nighttime Satellite Imagery. *Scientific reports*, 10(1), 1-16.
41. Aksaker, N., Yerli, S. K., Kurt, Z., Bayazit, M., Aktay, A., Erdoğan, M. A., 2020. A Case Study of Light Pollution in France. *Astrophysics and Space Science*, 365, 153.
42. Farsakoglu, O.F., Atık, İ., Hasırcı, H.Y., 2014. LED Aydınlatma Sistemlerinin Çevre Kirliliğini Azaltmadaki Etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 94-103.
43. Yılmaz, E., Erden, O., Kocadağ, N., 2019. Sokak Aydınlatması Dönüşümü Fayda Maliyet Analizi Üzerine Bir Mühendislik Ekonomisi Çalışması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(3), 280-289.
44. Kocaman, B., 2020. Kapalı Otopark Aydınlatmasında Floresan ve Led Lambanın Enerji Verimliliği Açısından Karşılaştırılması. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1640-1648.

Development of a Low-Cost Monitoring and Warning System for a Data Processing Room

Oğuzhan TİMUR*¹ ORCID 0000-0002-6537-7840
Ahmet TEKE¹ ORCID 0000-0003-2610-9576

¹ Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Electrical & Electronics Engineering, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 20.05.2023 Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/How to cite: TİMUR, O., TEKE, A., (2023). Development of a Low-Cost Monitoring and Warning System for a Data Processing Room. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 375-390.

Abstract

Continuity is crucial in systems that provide uninterruptible service. When errors or warnings occur, they should be reported to the responsible people as quickly as possible and fixed right away. Since manual control will cause errors, monitoring and control should be performed automatically. In order to fill this need, expensive hardware and software are used in the market. The purchased package includes a lot of extra features that are not required. Additionally, the majority of these systems use brand-specific sensors and other hardware components. In this study, the identical operation is carried out with significantly greater cost efficiency and brand independence by using microcontroller-based hardware. The designed system can be operated in desktop, web and mobile environments thanks to the computer program that is written. In the data processing center of a university hospital, the proposed cost-effective system has been used, and it has been discovered that it is capable of carrying out the same tasks as the more expensive systems.

Keywords: Smart systems, Monitoring and warning systems, Embedded systems, Software

Bilgi İşlem Merkezi için Ucuz Maliyetli Görüntüleme ve İkaz Sisteminin Geliştirilmesi

Öz

Kesintisiz hizmet veren sistemlerde, süreklilik büyük önem taşımaktadır. Meydana gelecek olan hataların veya uyarıların en kısa zamanda sorumlu kişilere bildirilmesi ve mümkün olan en kısa zamanda çözülmesi gerekir. Manuel kontrol hatalara sebebiyet vereceği için, görüntüleme ve kontrol otomatik olarak gerçekleştirilmelidir. Piyasada bu ihtiyacı karşılamak için kullanılan yazılım ve donanımlar, yüksek maliyetlere sahiptir. İhtiyaç duyulmayan birçok özellik, satın alınan ürünle birlikte fazladan gelmektedir. Ek olarak bu sistemlerin çoğunda, kullanılan algılama cihazları (sensorler) ve diğer donanım ürünleri marka bağımlıdır. Bu çalışmada aynı görevi çok daha uygun maliyetle ve marka bağımsız olarak gerçekleştirecek mikrodenetleyici tabanlı donanım kullanılmıştır. Tasarlanan sistem, yazılan bilgisayar programı sayesinde, masaüstü, web ve mobil ortamında çalıştırılabilmektedir. Önerilen uygun maliyetli uyarı ve kontrol sistemi,

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Oğuzhan TİMUR, otimur@cu.edu.tr

bir üniversite hastanesinin bilgi işlem merkezinde kullanılmış olup, pahalı olan sistemlerle aynı işleri gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı sistemler, Görüntüleme ve uyarı sistemleri, Gömülü sistemler, Yazılım

1. INTRODUCTION

Monitoring, analysis, control and management of continuous systems are vitally important for prevention of inefficient energy usage and waste of time. Because of this, appliances which consume energy should be monitored 7 days 24 hours continuously. Measured values and warnings in the system should be saved. In addition, saved data should be analyzed by statistical and machine learning methods.

Generally, smart systems are used in buildings for energy efficiency, fire detection, and safety systems. Smart and computer-aided automatic control systems should present more comfortable life to residents and the other living creatures. In addition, smart systems can be monitored and managed by remote access and management tools in mobile phones, laptop computers, and other mobile devices.

There are a lot of studies interested in monitoring, analyzing and optimization. One of the best studies is realized by Gokce and Gokce's friends in 2014. They have developed a new energy monitoring, analysis and optimization tool for energy efficient buildings. Their study can be grouped into four sections as data mining and monitoring, data analysis, user awareness and optimization. Java programming platform is preferred to develop software in their study. When it is focused on the energy efficiency section, three main sections are attracted attention as energy consumption monitoring, the heating system controlling and lighting system controlling. As a result of their study, their system achieves to improving building performance, developing intelligent control routines and implementing fault diagnosis measures [1].

In the study of Santis and his friends have proposed smart monitoring system to monitor low voltage (LV) electrical grids. The proposed project has been

tested at four different cases. In the proposed scenario, real-time measurements have been obtained. Measure current and voltage transducers are connected to the Arduino DUE controller to measure three-phase line currents and voltages. In this scenario, current and voltage values of the grid lines are measured phase by phase in every 0.5 second continuously. These measured values are compared to real values measured by using Fluke 287 multi-meter. As a result of this comparison, maximum less than 1.30% difference is reported. According to measured current and voltage values, active and reactive power values are calculated. Wi-Fi and GPS module are also used in the proposed scenario at the same time. GPS module is used for location of the measurement point and Wi-Fi is used for communication. All measurements and calculated values are displayed on a web page. One of the advantages of this system is that it can be seen from anywhere by web browser easily. Another important advantage is the low cost of devices. The entire system only costs €200 approximately [2].

Behan and Krejcar have realized web-based smart home system. In their paper, they have described the common problem of house automation systems primarily. According to them, this type of home automation system has closed based solutions which means there is not certain standard for sensors, controllers, and user interface development softwares. They have proposed a new type infrastructure based on both software and hardware side is open sourced. In this project, Linux based open source minicomputer RaspberryPi is used as home controller named as commander and arduino which has similar features with RaspberryPi is used as room controller. Ethernet shields which have Power over Ethernet (POE) feature are used instead of the using external power supply in the proposed project. At the same time, another duty of ethernet cards is to provide communication among the devices. In their solution proposal, the physical house is divided into logical units. Every logical unit is equivalent to a room or a part of a house.

Every logical unit has its own controller which connects to the commander via Unshielded Twisted Pair (UTP) cable in a star topology. Data is transmitted and received over ethernet and all device powers are supplied by PoE standard named as 802.3af by The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). The power of PoE depends on supply voltage and it is confined with a maximum of 48 V or 400 mA. After the installation of hardware, web-based management software can be used through any mobile device that has Android, IOS or Windows operating system. In summary, they have realized web-based controlled smart home automation system based on open electronic and open-source software solution in this project. This new system will provide a connection between sensors and web interface with controlling, monitoring, and visualizing. The most important innovation of this study is that the implemented system can be redesigned, improved, upgraded, or tuned by anyone under an open-source license [3].

In 2014, Hussein and his friends realized smart home prototype for disabled people. In the proposed project, all systems are almost backed up. Two internal networks are used for connection among devices used in disabled people's house. One of them is used to ZigBee protocol and other is used to Power Line Communication (PLC) protocol. Normally, the system runs by using ZigBee but if any problem occurs, PLC network will be substituted automatically. Similarly, two external networks are used for communication between responsible people and proposed system in the house. Thanks to these external networks, remote access to the system can be provided by the authorities. In their experiments, Neural Networks (NNs) methods have been used to predict future events. Firstly, in their smart fire detection system, perceptron based feed-forward neural network has been used. Five parameters have been used as input parameters. These parameters are carbon monoxide level, oxygen concentration, smoke detection, heat level, and flame detection. With the help of these parameters, they will be able to determine if there is a fire or not and according to changing values of parameters, they will be able to guess fires which can be occurred. Another NN study is interested in users' habits and forecasting their movements. This

NN type is a recurrent neural network. In this study, Arduino microcontroller is used for switching ON/OFF of devices such as coffee machine, television, lights, and so forth. As a power measurement device, a differential amplifier circuit is also used. Used NN methods, Arduino controller and other electronic circuits like differential amplifiers have been operated in relation to each other. For example, if someone wakes up in the morning, when he/she goes into the living room, prediction mechanism will be started by NN methods. Because of this, the lights of the room and television will be turned on automatically [4].

Arduino and the other embedded cards have broad application areas such as energy, health, industry, safety, transportation and so forth. Gad and Gad have developed a new temperature data acquisition system for solar energy applications. When this system is compared to classical data acquisition systems, the newly developed system has a lot of significant advantages. The main advantages of the system are its cheap and flexible structure. Because of the flexible structure, used temperature sensors can be changed with other type and mark sensors easily. In this study, by using 16 temperature sensors and taking 5 minutes sampling rate, ambient temperatures were measured and recorded on Secure Digital (SD) memory card with Comma Secured Values (CSV) file format. In classical systems, recorded data on Arduino or other embedded system boards wait until system operator or administrator downloads data to a computer. When data are downloaded into the computer, recorded data are transferred to computer from the embedded system board. The operation of described system is quite simple. By the new technology, sampling rate defines recording time periods and measured temperature values can be saved on the SD card without the need of any computer with CSV file format. A new CSV file is created and recorded on SD card every new day. Starting and ending time values are defined in the system by using the PIC and demonstrated on Liquid Crystal Display (LCD) screen. Used Arduino board on this system is responsible for evaluating of voltage values and writing data on the SD card. LM35DZ analog temperature sensor is used on the sensor-based designed card. It can

measure temperature values between $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Its accuracy is 0.25% of the real value. Its internal temperature is about $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. In this study, both PIC and Arduino are programmed respectively. PIC software consists of three sections named as initialization, waiting and recording. Starting and ending times of recording time are defined in the initialization section by users. During the execution of the software, the starting and ending times are compared with Real Time Clock (RTC) until the RTC is smaller than the ending time. Data packet is defined in PIC software and sent to Arduino board [5].

Rahman et al. were realized Smart Energy Meter by using Arduino and GSM module. Owing to this smart meter, they have measured energy consumption and calculated the electricity bill. Firstly, they have simulated this study in Proteus and then conducted in a laboratory environment successfully. In this work, they have used energy meter Integrated Circuit (IC), Arduino microcontroller, GSM modem and Arduino relay shield. After power on, Arduino has turned on the relay and connects the load and energy meters to the line. Energy meter sends an impulse to Arduino according to energy consumption. So Arduino increases the value and shows on its display. At the same time, GSM modem checks whether there is a new SMS or not. And then if the SMS text is "DATA", it sends consumption data measured by the Arduino and it stores in EPROM to electric provider company. If the text is "LINE CUT", GSM modem sends command to Arduino to turn-off relay and deenergize the line energy. In contrast, if the text is "LINE OK", Arduino turns on the relay again and the load will be connected to line. In this study, they have calculated 1 kWh consumption for every 1600 impulse by using energy meter IC. A Light Emitting Diode (LED) is connected to Arduino to show the impulse visually, so the LED flashes with each impulse. If the provider company wants to read consumption value from the meter, they can send a SMS to a smart meter. Afterwards, smart meter has replied to taken message by sending the consumer ID and consumed energy value. (Rahman et al., 2015) can also control the line status. This project can be turned on or off the line energy which customer connects by using GSM wireless network

protocol. One of the disadvantages of this system is high material cost. It may be reduced by mass production. In this study, the authors show that realized smart energy meter saves from time, money, human power, and labor costs [6].

Ismail and his friends have developed a door lock Android application named "LockIt Door" for disabled people in their study. This application has been designed by using Eclipse and Java softwares. This study has been especially realized for disabled people who use a wheelchair. The disabled users can use Android application without any human help easily. In this realized project, bluetooth communication protocol is preferred instead of Wi-Fi, ZigBee, NFC, and others. The working principle of the implemented circuit can be briefly summarized as follows; written Android application connects to arduino controller through bluetooth module. According to command coming from the android software, the relay contact which is connected to arduino either opens or closes door. In order to find an effective range of bluetooth, the realized project has been tested for three different environments such as indoors with obstacles, indoors without obstacles, and outdoors without obstacles. After these tests, maximum range radius has been found as 20 meters without any problems at outdoor without obstacle area. Wi-Fi communication protocol can be used instead of bluetooth to improve the effective range in the future works. [7]

Wang and Chi have designed a new temperature and humidity measurement circuit which can communicate wirelessly. The designed system consists of two parts. In the first part, temperature and humidity sensor named DHT11 is connected to the Arduino controller which has a wireless transmitter. In the second part, arduino controller that has a wireless transmitter is connected to LCD, buzzer and setting module. As understood from the devices, the first part is used for input and second part is used for output. Read values with the helping of the first part is sent to the second part with the helping of wireless. Wireless modules communicate with each other by serial communication protocols. Taken values are employed in the second part and displayed on the

LCD screen. In this project, normal temperature and humidity are defined by using potentiometer named as setting module in the project. If the range values are exceeded or fell down, the buzzer will be active. According to Wang and Chi, it is an advantage that this project consists of two parts. Because the location where the sensors are located and the location where the results are displayed may be different. The realized project has been tested for the indoor and outdoor environment. While wireless communication is provided up to 40 meters in an outdoor environment, the maximum effective range is up to 20 meters in the indoor environment because of the barriers. As a result of this study, the advantages of this system can be summarized as low cost, low power consumption, high accuracy, and so forth [8].

Ramadhani and his friends have designed a web-based air quality monitoring system that can measure and display the types of gases like carbon monoxide and sulfur monoxide. In the realized prototype, gas sensor has been developed by Ramadhani et al. in 2013. Zinc Oxide thin film is used as a gas sensor material in order to for measuring the amount of gas. Monitoring system mainly consists of head and body modules. While head module has a gas sensor, arduino board, and ethernet shield, body module has server and database. In this study, gas sensor is used for sensing of the amount of gas, ethernet shield is used for communication and arduino microcontroller is used as Analog to Digital Converter (ADC). In addition, server and database are used for data acquisition and data management. The implemented system runs briefly as follows: when designed gas sensor perceives the amount of gas in the environment, the resistance of gas sensor will change. These resistance values will be analog input values of arduino. Arduino will convert these analog values to the digital values and then digital values will be transferred to the server through the ethernet shield. Data which arrive the server will be saved to the database as raw data by using simple PHP (Personel Home Page) interface. This process will continue periodically. The whole raw data will be converted to understandable data by software and graphical plot diagram. Besides, all data will be saved to MYSQL database tables. Consequently,

the users can monitor graphic and gas values by using this web-based software easily. In the realized prototype, in order to increase system sensitivities, the amount of carbon dioxide added into the sensor material should be used for different concentration [9].

As seen in studies in the selected journals, used systems have been realized by using electronic cards with microcontrollers. Later, the sensors selected according to the requirements differed. After the installation and programming of the embedded cards, the warning and display system can be set up by using computer programming language.

2. MATERIAL AND METHOD

The realized study mainly consists of two main parts. These parts have been named as embedded system part and computer programming part. While, embedded system part occurs from input devices, output devices, and microcontroller, computer programming part also consists of two parts as administrative part, and client part.

Administrative part occurs from server computer and desktop management software. Moreover, client part occurs from users and desktop, web, and Android based software solutions. The system block diagram of the realized project is generally shown in Figure 1.

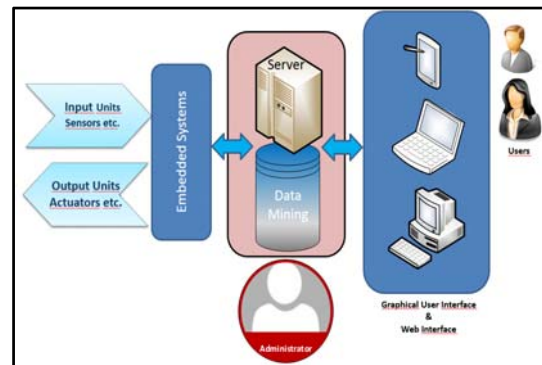


Figure 1. Block diagram of the realized project

Arduino board is constructed around a straightforward microcontroller board [10]. A

variety of lights, fans, and other physical outputs can be controlled by the Arduino board to construct interactive devices that can accept input from various sensors or switches [11]. The Arduino board has a lot of benefits when compared to other microcontroller platforms. Among the benefits are low cost, ease of use, cross-platform compatibility, a clear programming environment, extensible and open source hardware, and extensible and open source software [12]. The sensor based input layer is the hardware framework of the smart systems.

2.1. Embedded System Part

In this study, embedded systems were established by ARDUINO. ATMEL microprocessor on the Arduino was programmed by C+ compiler. Thus, the connection between sensors and actuators was provided. Arduino cards used as end devices were connected to router cards using ZigBee wireless protocol. Similarly, Arduino cards used as router devices were connected to coordinator card with using the same wireless protocol. The realized embedded system part comprises of three sections energy management section (EMS), security check section (SCS), and a fire detection control section (FDCS) mainly. The realized system was named as Smart Building Management System (SBMS). The general view of the SBMS is shown in Figure 2.

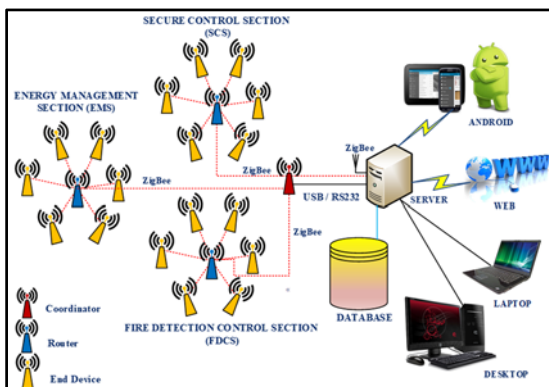


Figure 2. Schematic view of the realized project

In the EMS, studies were actualized interested in smart plug which was named as iDev (intelligent Device) briefly and split type air conditioner control. The electrical quantities such as voltage,

current and power factor were measured with iDev and split air conditioners in the data processing room were controlled with the microcontroller based split air conditioner control card [13,14].

In addition to EMS, SCS, and FDCS were occurred in this study. SCS is made up of password entering and fingerprint reading parts respectively. password entry was realized with keypad, timing control with Real Time Clock (RTC), and SMS sending applications with GPRS module were realized as shown in Figure 3a.

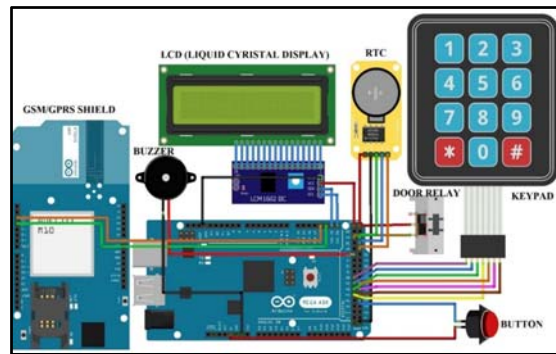


Figure 3a. Password Entering Part of SCS

The fingerprint reading part was actualized with a fingerprint sensor and a relay mainly as shown in Figure 3b. The relay was used to control the opening and closing of the door.

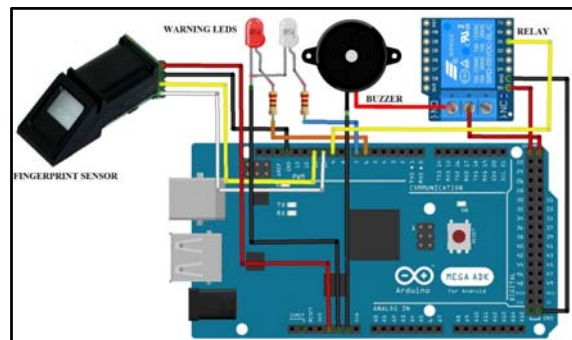


Figure 3b. Fingerprint Reading Part of SCS

Finally, in the FDCS, fire detection, MMS sending, IP camera control, and fire extinguishing (if desired) applications are carried out as shown in Figure 4.

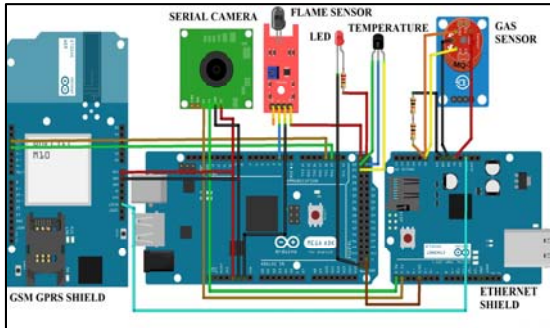


Figure 4. Fire detection control system

After the hardware installation, Microcontroller units were programmed by Arduino IDE. Arduino IDE software was used to write codes for microcontroller with ATME1 integrated circuit. All systems and the working principle of each part have been given with software codes together in [15].

2.2. Computer Programming Part

When the microcontroller software completed, server established to connect between the microcontroller and Android software. Windows Server 2012 R2 operating system was established to Server Computer. Furthermore, Firebird database software was installed on the Windows Server 2012 R2 operating system. Server management software was written by using Delphi compiler. This software helped to the administrator to adjust all parameters. The server application is like a bridge between plug and users. Moreover, desktop and web based software were written for users at the client side. Finally, the Android based application was written for the users by using Delphi compiler.

2.2.1 Writing of Software Codes

The software codes for the completed project are divided into server and client sides. The server software is the major structural component of the entire software and operates on a Windows-based server environment. Data from databases that run on servers is used by all client software programs. On a server running Windows, client software can also function. To provide access to the completed project from anywhere, Web and Android-based applications are created in addition to the more

dated Windows applications. The steps of the designed project are depicted in below.

- Database engines were researched and compared with each other. Firebird database engine was selected.
- Database and other database objects were created. Tables and records were also designed.
- Firstly, server program and then client programs were realized. All screens were designed respectively.
- All components were placed to the forms. Edit and combo boxes were linked to the database objects. Navigation and operation buttons were placed.
- List grids and Graph components were placed and linked to database objects. All graphics were adjusted to print.
- Report screens were designed and tested. All program codes were debugged and tested.

Besides, general features of all software platforms are explained as follows,

- For communication between the server computer and the ZigBee coordinator, specially developed server software is used. Between the server and the router/end node devices, the ZigBee coordinator device functions as a bridge. All sensor data are transmitted to the server computer, and data from the server computer are transmitted to all router/end node devices via the coordinator node device. Every device is capable of bidirectional communication.
- Sensor data is recorded to database tables, and this data needs to be routinely inspected.
- The screen displays, analysis and monitoring of data from sensors and controller circuits. The table and graphical charts can evaluate and monitor data in the database servers if necessary. For the measured data and the energy usage, a comprehensive report is created with tables and graphs. Client software allows users to examine the energy usage of any device.

Running systems can be automatically controlled in accordance with the established critical values. In addition, the web interface and Android devices can be used to remotely control all SBMS.

2.2.2. Choosing of the Right Software

The Server-Client architecture is the foundation of this software project. This kind of structures are supported by the majority of well-known integrated development environments (IDEs). In this regard, the server operating system, on which the server software is installed, is crucial. Server software can be operated under several operating systems. Windows Server environment was selected for this study because to its management, simplicity of installation, support for a wide range of technical documents, and compatibility with hardware. Client apps, on the other hand, ought to be used in desktop, mobile, and web browser settings. There isn't a development method that is supported by every environment. Investigation of IDEs reveals that the majority of development platforms only support desktop settings. At most two of these environments are supported by few of the others. Both PC and Android mobile platforms are supported by the RAD studio environment created by Embercadero. Delphi Builder and C++ are both included in it. The Pascal programming language, developed by Borland Software Company, is the foundation of Delphi. It contains a sophisticated debugger and a very quick compiler. Because to the aforementioned features, this study's recommended IDE was Delphi.

Applications based on Windows, Linux, and MacOS on the server and desktop client sides as well as IOS and Android-based applications on the mobile side can be produced using the Delphi IDE. Also, every platform can support the development of domestic, full-performance, and platform-specific client applications. The most powerful specification of this IDE is the ability to produce a single source file and build it for use in multiple domestic operating environments. This development environment offers a strong text editor but also a straightforward, user-friendly interface. The environment has numerous component repositories and integrated debugging tools in its text editor. Also, it contains a very quick compiler as well as a viewer for CPU registers and local variables. A million lines can be processed by this

compiler almost per minute. The DATASNAP technology was created by the Embercadero Company and implemented into their development environments. This technology offers server-to-client data transfer techniques as an object or object specification. TCP/IP is used to run this technology. As a result, thanks to the Internet, its connection potential is practically infinite. The data requests made by the client are translated into a procedure and function on the server side and run on the server in order to increase the efficiency of the built application. The collected data are then sent in plain text format. Applications improve in simplicity and performance using this approach. This data can, if desired, be subjected to filtering procedures including compression and encryption. The object-oriented programming method is supported by application development languages to speed up development and enhance code quality. The IDE's debugger may also locally or remotely debug source code. Delphi compiler is chosen for this study due to its exceptional qualities with the integrated development environment.

Firstly, the server software is created, and then desktop client software is created in a subsequent order. The software was created using Delphi XE 10.2, a developer version that can create outstanding programs for the 32-bit and 64-bit Windows desktop environments. Android mobile software is created utilizing components created for Android applications after the desktop application. Android source codes may be utilized without modification in MacOS applications upon request. Lastly, Cybele Software's Thinfinity VirtualUI program is employed to transform the desktop application into a Web application. Delphi XE 10.2 has robust code development facilities. Oracle, PostgreSQL, Interbase/Firebird, MySQL, Microsoft SQL Server, SQLite, and other well-known databases are among those that Delphi is permitted to connect to.

2.2.3 Choosing of a Database Engine

A database is typically required by computer software to store data. To store measured sensor values like current and voltage, the implemented

software also need a database. Similarly, all additional data, including calculated values and report data, should be kept in the database too. Databases should process data relatively quickly due to the large amount of data they store. Also, it should be portable and use a smaller amount of disk space. The chosen database should be installable and portable, and it should be able to run on Windows, Linux, and MacOS. It needs to be used with either 32-bit or 64-bit operating systems. The majority of enterprise class databases are capable of meeting these needs, however they are also very expensive and immobile solutions. Embedded databases are portable, fast and easy manageable products. They also require less disk space and don't require installation. Several open source and cost-free embedded databases are available.

It is discovered that some embedded databases don't support Structure Query Language (SQL) when the embedded databases are contrasted with one another. All of the data in a database may be examined, filtered, and managed with the help of SQL. Application processing speed is the most crucial component for processing enormous amounts of data. SQL is quick and effective because it was created for big data. A database in the finished project must therefore support SQL.

Firebird is a quick, portable, scalable, open source database. Moreover, it supports SQL. It can be used with a variety of operating systems, including Windows, Linux, Macintosh, and Solaris. It is possible to move Firebird data from one platform to another. There are three main versions of Firebird. Super Server version for Windows environments is the first of them. The second is a multi-user version of Super Classic. It is compatible with various operating systems, including Windows and Linux. The third iteration of Firebird is the portable, compact, and powerful database engine known as the embedded version. The Firebird Embedded Database Engine fully satisfies the necessary characteristics for the project as it was accomplished.

2.2.4 User Interface Design

The user interface in the completed project was created using page logic. The majority of people have used Microsoft Office programs. Applications for Excel often feature a single main window and numerous tabs. The design of these tabs provides facility to manage a lot of different page at the same time. The accessibility and usability have improved with this design. Nothing is more than a mouse click away. An objective-based form design appearance manager is available in Delphi. With the appearance manager, users can select and modify the application's views.

2.2.5 Miscellaneous Programs

At the development stage, a few different miscellaneous programs were employed. One of them is IBExpert software. A database can be created using the program IBExpert. It is utilized for managing and maintaining the Firebird database engine. Database objects can be created such as a database, table, index, view, etc. IBExpert may be used to modify database object properties concurrently. The maintenance of the database is executed by this program. Creating and maintaining the database structure on the disk were necessary for the proposed project, to put it briefly.

Unidac is a component of Delphi. It is provided most known database engine connection components. Every database object has logical components in Delphi environments.

Quick Report is a report builder component in Delphi. From the database table, reports in great detail can be generated automatically. With this component, reports can be printed to a printer, saved to disk, or previewed on the screen.

Teechart is a graphic drawing component in Delphi. This component allows for the direct graphic rendering of database-stored data. There are options for graphic styles, color series, and more. It is possible to preview, print, or save a graph.

After choosing the development environment, database engine, and other development tools for this project, the database design is prepared.

2.2.6 Database Design Basics

Designing of a database comprises two stages as logical database design and physical database design. The variables that are represented and the database regions that are utilized throughout the design stage of the logical database determine the design stage. Variable types and sizes are decided simultaneously. The creation of logical objects occurs in the physical stage.

In the realized project, database object SmartControl.FDB was created. There are five database tables in the database file. Device table is one of them. It keeps track of the devices' data. The SENSORS table is the following table. It keeps track of device sensor data. It stores the sensor information of devices. The third table is SENSORLOGS table. It stores the sensor values periodically. The fourth table is VALUES table. By computing the program based on the sensor table data, it records the measured values. A MEM_VALUE table makes up the final table. By reading frequently, it records the various sensor log values for use in reports and graphs. SmartControl is the primary database file. As seen in Figure 5, FDB was produced via the IBExpert program.

Using this procedure, the design of database tables and other objects such as domains, indexes, and so on was initiated. The table's column names, sizes, types, and other specifications were established and generated as shown in Figure 6.

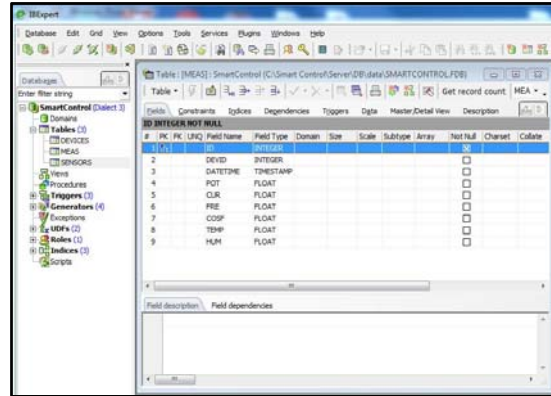


Figure 6. Table creation stage

Indexing should be utilized in the table for fast access to the data. The main key in a table can only be one. On the other hand, a foreign key can be used to link the primary key of one table to another. Hence, two tables will be associated to one another. The startup screen was primarily made for applications, as seen in Figure 7. This screen is a login screen, and it has header section, login section, and status bar section. The program name is listed as Smart Building Management System in the header screen.

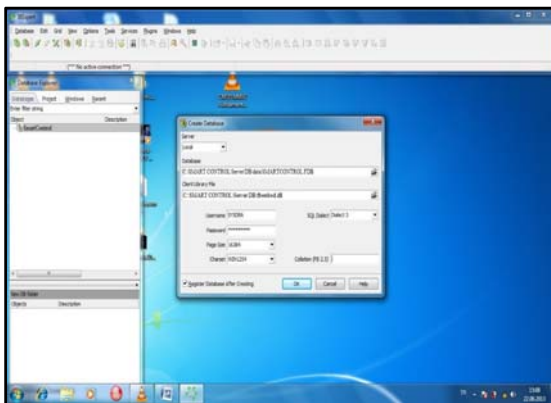


Figure 5. Database creation stage with IBExpert



Figure 7. Welcome screen of the realized software

In the login section, user name and password should be known in order to enter the application. Each person is given a special username and password, which are then recorded in the database as a password table while the allowed individuals are identified. The software will be entered successfully if the username and password match. The user cannot access the program in any other case. Lastly, certain program-related information is provided in the status bar area. In particular, this section can show if the COM port is connected or not, whether the correct password is known or not, and other information. Also, the status's date and time values are recorded to the database's logging table. Hence, if needed, the achieved status can be traced back step by step.

Following this phase, a database form was built to hold all database objects. This form has a database element called SmartControl. FDB stands for a physical database file on a disk. Four database components serve as representations for each database table. A table component, which is the first part, symbolizes the actual database table in the database file.

The second one manages each read or write activity to the table object through a transaction component. This component is used to either write newly entered or modified data to a physical disk file or to undo an operation.

The third part, an update part, is in charge of keeping track of the SQL statements for each action, including Insert, Update, Cancel, Delete, Save, and Refresh operations. When the user clicks a button on a form to begin or end a database action, such as beginning data entry, changing a record, deleting a record, and so forth. The database engine processes the SQL statements from the table components by adding some arguments and processing them.

The data source component, which makes connections between the table and all other database components, is the fourth component. It serves as a link between table objects and their component parts. All elements connected to database objects are depicted as shown in Figure 8. This screen also named as appearance screen is where the background image can be added. The appearance

list box also allows the user to choose among the default views. On each program screen, a chosen view or an additional image will be displayed.



Figure 8. Database objects screen

Following this phase, the main screen, displays for reading sensor information, logs, reports, and additional screens were built. Figure 9 displays an example of a value reading screen. Sensor reading values are graphically displayed on this screen. By double clicking the mouse, users can zoom in on these images and view them in full-screen mode, as well as print them off if they so choose.

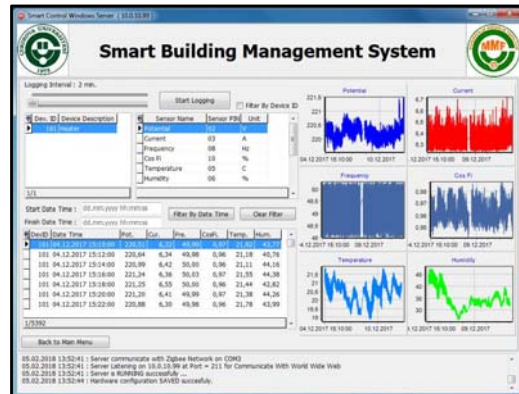


Figure 9. Sensor values reading screen

There are four tabs on the realized project screen. The home screen is the first tab. The screen for this tab comprises four sections. The first section is Hardware Configuration section. The second section is appearance setting area. The second section has the Windows program appearance

settings. The appearance and color settings of the whole program can be changed. All of the fundamental operations of smart systems can be examined in the third section. Periodically checking the fundamental values is possible. Graphics are located in the fourth area. The sensor values can be viewed in this area as a graph by day as well as in database values.

Zigbee devices and computer interface communication parameters can be changed in the hardware configuration section. Moreover, the sensors' maximum and minimum reading values are determined as warning values. The application will issue a warning when the read values fall below or rise above the warning values. If it is desired, the system will be shut down automatically. In other words, the crucial sensor values and serial port connection parameters can both be configured simply using this screen. Figure 10 displays the warning limits adjustment screen and hardware settings. Use the Return to Main Menu button to move past the previous screen.



Figure 10. Hardware configuration and warning limits adjustment screen

Functional Test is the name of the second tab. The device number can be provided in this page, after which the desired pin number can be tested. Analog and digital write and read functions, as well as basic microcontroller functions, are also controllable. The values that the functions returned after being executed can also be seen. Online checking is available for the reading sensor values, including potential, current, efficiency, and frequency. Functional test screen is depicted in Figure 11.

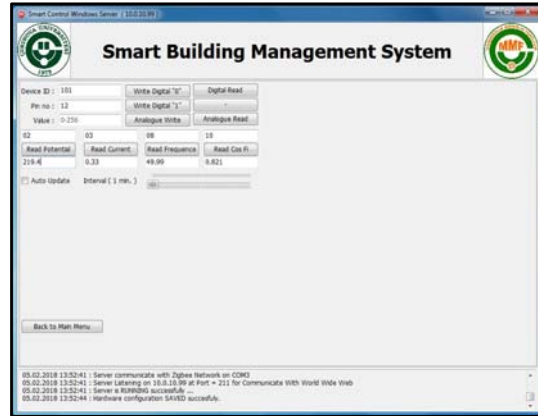


Figure 11. Functional test screen

Each function may be periodically read as well as separately in the functional test screen. The user can specify the period time. Each reading value is a collection of actions that can be read. All integrated cards can be tested here prior to commissioning. As a result, the likelihood of an error will be reduced. The monitoring of reading values, whether manually or automatically, is done on this screen concurrently. Selecting the Auto Updating Check box and choosing the interval time are prerequisites for the automatic mode.

Appearance Set Screen is the name of the third tab. In this screen, the background image can be set. Also, the software chosen from the list's appearance can be modified. Appearance settings screen is shown in Figure 12.



Figure 12. Appearance settings screen

The saved modifications should be saved by clicking the Save Configuration button before leaving this screen. Otherwise, all modifications will be invalid.

The program coding stage can begin after the screen design and component connectivity stages are complete. Delphi code editor for writing program is illustrated in Figure 13. The code editor has menus for each component's properties and events. All screens, including the logging screen, report screen, and their associated codes, were effortlessly accomplished with the aid of all components. The code editor includes a lot of useful features. Code compilation is one of them. When writing the code, the code editor highlights the incorrect code.

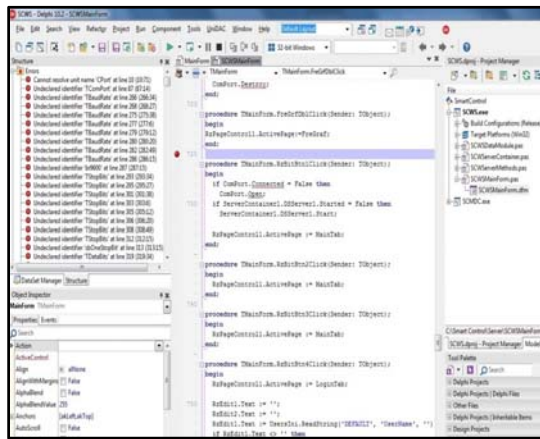


Figure 13. Delphi code editor and debugger

In Delphi, a breakpoint can be added to desired lines by the development environment. The program debugger can be run. The program debugger tracks all writing codes as well as lines with breakpoints, which cause the compiler to halt an operation and display the breakpoint lines or writing errors in the code editor. The code can be followed and examined variables' values in Delphi debugger. Additionally, the program can run the codes line by line and step by step, changing the codes based on the values of the variables. It is a simple approach to identify incorrect code or illogical design flaws. Once the errors have been found, they must be fixed before the updated codes may be compiled. Finally, software without any errors should be converted into an application.

After the code was built and the complete form was designed, the software for the completed project ran smoothly. As a result, both the desktop client program and the server application were largely finished. Android based mobile application is developed by Delphi code editor. Android based components are different from the desktop components. For software based on Android, new screen designs should be implemented due to this distinction. According to mobile device sizes, design screen sizes can be selected. In android software, three different screens are depicted together. The first screen is the connection to the main server. The IP address of the primary server computer should be supplied on this page. In the second screen, main menus of the Android software are shown. The reading of data from all sensors is done on the third screen. Once the desired coordinator or end node number has been entered, access to the desired data will be available. Android based software screen samples are depicted in Figure 14.

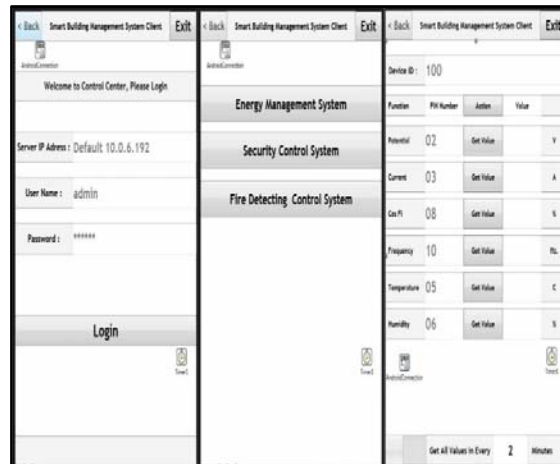


Figure 14. Realized Android based software screen samples

Finally, after some small revisions, the application is turned into Web-based by Thinfinity VirtualUI software written by Cybele Software Company as shown in Figure 15. Thanks to this software, the existing software has been made web-based without the need for a different programming language.

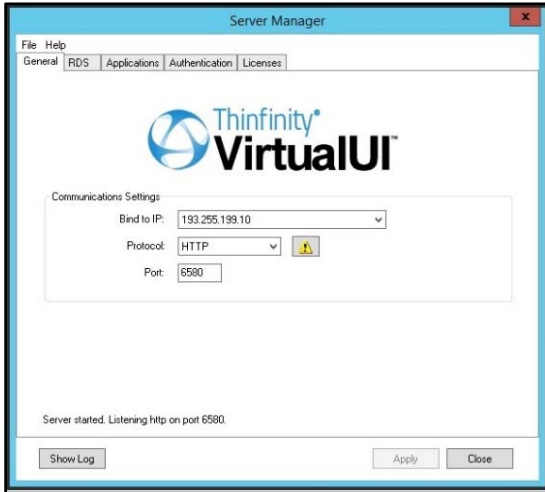


Figure 15. Thinfinity VirtualUI software screen

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, all of the embedded cards are classified into two groups with respect to the purpose of use. As a consequence of the classification, a single software program code for each class has refined for standardization. If there is a need for additional new cards to the system later, one of the standardized code lines will be loaded and executed according to the intended use of the card. Standardized codes and load over an embedded card with a limited resource has been lightened by transferring to the server. The limited resources that embedded cards have too small in comparison with the resources that advanced computers have. This study is the first of its kind in the literature when similar studies in the past are investigated.

After physical installation and coding of embedding cards are done, a Windows based desktop application operating on the server computer has been developed for reading data on these cards, storing the read data, analyzing the stored data, reporting, and management. Created software by using Delphi programming language is the main software program of SBMS. All cards and all parameters belong to these cards are identified by using this software program. Furthermore, all of the obtained data are stored via this software program

in a database file on the same server. FireBird database has been chosen as being open source, free, and compatible with Delphi. Software of the server is not only used for all identifications and parameter settings by people who have a high level of administrative authorization but also holds all data and reports that users can access at the same time. Users can remotely access and control devices by connecting to server software. Users can either connect to SBMS via a desktop application or different applications developed for web-based or mobile devices. Instead of using separate languages for user platforms, the Delphi compiler, which can be converted to an Android-based application by making minor changes in the desktop application, has been chosen as the programming language. Additionally, the application has been turned into web-based by Thinfinity VirtualUI software of Cybele Software after some small revisions. Hence, users can govern devices at the remotest point according to their pre-defined authorizations in the system via three different graphical interfaces in order to access SBMS and database. Obtained data from measurement and monitoring in the SBMS have been analyzed.

Realized SBMS is parametric and has flexible structure. The conducted study is expendable without depending on a specific brand. This project can be utilized in different projects for diversified purposes. At the end of the study, it was determined that the responsible personnel were informed by sending an sms in case the determined limit values were exceeded or below. Relevant personnel can control the system in real time with mobile, web or desktop application.

4. CONCLUSION

In this study, information related to programmed server and client-side software is given. Client-side software is based on Windows-based operating system and it is executed on Windows 2012 Server. FireBird database is chosen instead of SQL Server for being open source. Rather than using separate languages such as C#, ASP.NET and MIT App Inverter for user platforms, the Delphi compiler, which can be converted to an Android-based

application by making minor changes in the desktop application, is chosen as the programming language. Therefore, users can manage devices at the remotest point in the system via three different graphical interfaces in order to access SBMS.

Developed SBMS has a flexible structure. Any device having analog or digital inputs can be included in the system by making small electronic modifications. It should be noted that input and output voltages of embedded card used as microcontroller are $5 V_{dc}$. The conducted study is expandable without depending on a specific brand.

This project can be utilized in different for diversified purposes. A part of the developed project is commissioned in the main data processing room at a University Hospital.

Consequently, in this study, the implementation of a wireless network for a low costed monitoring, warning, and analysis in data processing room is carried out. As a result of the study, it has been seen that the established system can perform the same task much cheaper than the ready-made applications that do the same job in the market.

5. REFERENCES

1. Gokce, H.U., Gokce, K.U., 2014. Multidimensional Energy Monitoring, Analysis and Optimization System for Energy Efficient Building Operation. *Sustainable Cities and Society*, 10, 161-173.
2. Santis, DD., Giampetruzzi, A., Abbatantuono, G., Scala M.L., 2016. Smart Metering for Low Voltage Electrical Distribution System using Arduino Due. 2016 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS), 13-16 June 2016, Bari, Italy, 1-6.
3. Behan, M., Krejcar, O., 2013. Vision of Smart Home Point Solution as Sustainable Intelligent House Concept. 12th IFAC Conference on Programmable Devices and Embedded Systems: The International Federation of Automatic Control (IFAC), Ostrava, Czech Republic, 25-27.
4. Hussein, A., Adda, M., Atieh, M., Fahs, W., 2014. Smart Home Design for Disabled People based on Neural Networks. Elsevier: *Procedia Computer Science*, 37, 117-126.
5. Gad, H.E., Gad, H.I.E, 2015. Development of a New Temperature Data Acquisition System for Solar Energy Applications, Elsevier: *Renewable Energy*, 74(C), 337-343.
6. Rahman, M.M., Jannat, N.E., Islam, M.O., Salakin, M.S., 2015. Arduino and GSM Based Smart Energy Meter for Advanced Metering and Billing System. IEEE 2015: 2nd International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT) May 2015, Dhaka, Bangladesh.
7. Ismail, N.H., Tukiran, Z., Shamsuddin, N.N., Saadon, E.I.S., 2014. Android-based Home Door Locks Application via Bluetooth for Disabled People. IEEE 2014: 2014 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, November 2014, Penang, Malaysia, 191-195.
8. Wang, Y., Chi, Z., 2016. System of Wireless Temperature and Humidity Monitoring Based on Arduino Uno Platform. IEEE 2016. 2016 Sixty International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC), Harbin, China, 770-773.
9. Ramadhani, M.F., Yulianto, B., Nugraha, 2013. Design and Fabrication of Real Time Air Quality Monitoring System Based on Web Application. 2013 3rd International Conference on Instrumentation Control and Automation (ICA) Bali, Indonesia, 28-30.
10. A. Mackey, 2010. *Introducing the .NET 4.0 with Visual Studio*", Apress, ISBN: 978-1-4302-2455-6.
11. Griffiths, I., Adams, M., and Liberty, J., *Programming C#, 6th Edition*, 28 Aug 2010.
12. Arduino, *Guide and Introduction*, 2016., <http://arduino.cc/en/Guide/Introduction>
13. Timur, O., Zor, K., Celik, O., Teke, A., 2018. Enhancement of a Low-Cost Intelligent Device for Improving Energy Efficiency in Buildings, *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series A2-A3*, 60(2), 103-128.

14. Timur, O., Teke, A., 2022. Design and Implementation of Microcontroller Based Split Air Conditioner Control System, Commun.Fac.Sci.Univ.Ank.Series A2-A3, 64 (2), 117-128.
15. Timur, O.,2018. Design and Implementation of a Wireless Sensor Network for Energy Monitoring, Analysis and Management in Smart Buildings. PhD Thesis, Çukurova University, Institute of Natural and Applied Science, Electrical&Electronics Engineering, Adana, 215.

A Comparative Review of Evaluation in Visualization Literacy Studies

Elif Emel FIRAT*¹ ORCID 0000-0001-9497-7928

¹ Çukurova University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 31.05.2023 Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/How to cite: FIRAT, E.E., (2023). A Comparative Review of Evaluation in Visualization Literacy Studies. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 391-399.

Abstract

Data visualization is a powerful tool that simplifies complex datasets into easily comprehensible visual representations, making it easier to identify patterns and relationships within the data. To fully understand data visualization, individuals must develop visual literacy skills, which entails effectively understanding, interpreting, and creating visualizations. Assessing visualization literacy skills through literacy tests is crucial, and educational tools play a significant role in advancing these skills by providing guidance and resources. However, determining the suitable settings for data collection in literacy tests and evaluating educational tools is a complex and demanding task. This paper presents a comparative analysis based on two literacy studies introducing literacy tests and evaluating the effectiveness of pedagogical tools for Treemap and Parallel Coordinates Plot (PCP) through classroom and crowdsourcing experiments. The analysis focuses on key factors, including data collection, study time and resources, data quality, data validity, and challenges encountered during experiments. The findings underscore the significance of considering specific research questions and target populations when selecting experimental settings for visualization literacy and educational purposes.

Keywords: Data visualization, Visualization literacy, Classroom-based evaluation, Crowdsourcing evaluation

Görselleştirme Okuryazarlığı Çalışmalarında Değerlendirmenin Karşılaştırmalı Bir İncelemesi

Öz

Veri görselleştirme, karmaşık veri kümelerini kolayca anlaşılır görsel temsillere basitleştirerek veriler içindeki kalıpları ve ilişkileri belirlemeyi kolaylaştıran güçlü bir araçtır. Veri görselleştirmeyi tam olarak anlamak için bireylerin, görselleştirmeleri etkili bir şekilde anlama, yorumlama ve oluşturmayı içeren görsel okuryazarlık becerilerini geliştirmesi gerekir. Görselleştirme okuryazarlık becerilerini okuryazarlık testleri aracılığıyla değerlendirmek çok önemlidir ve eğitim araçları, rehberlik ve kaynaklar sağlayarak bu becerilerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. Ancak okuryazarlık testlerinde veri toplama için uygun ortamların belirlenmesi ve eğitim araçlarının değerlendirilmesi karmaşık ve zahmetli bir iştir. Bu makale, okuryazarlık testlerini tanıtan, sınıf ve kitle kaynak deneyleri yoluyla Ağaç Haritası ve Paralel Koordinatlar Grafiği için pedagojik araçların etkinliğini değerlendiren iki okuryazarlık çalışmasına dayanan karşılaştırmalı bir analiz sunar. Analiz, veri toplama, çalışma süresi ve kaynakları, veri kalitesi, veri

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Elif Emel FIRAT, elifemelfirat@gmail.com

geçerliliği ve deneyler sırasında karşılaşılan zorluklar gibi temel faktörlere odaklanır. Bulgular, görselleştirme okuryazarlığı ve eğitim amaçları için deneysel ortamları seçerken belirli araştırma sorularını ve hedef popülasyonları dikkate almanın önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Veri görselleştirme, Görselleştirme okuryazarlığı, Sınıf tabanlı değerlendirme, Kitle kaynak kullanımlı değerlendirme

1. INTRODUCTION

Data visualization is the graphical representation of data and information and enables transforming complex datasets into visual representations that are easily understandable and interpretable [1]. Visual designs allow for identifying trends, outliers, and correlations, helping to uncover hidden patterns and derive meaningful insights from complex datasets. However, to make the most of data visualization, people need to learn how to understand, interpret, and create visualizations effectively [2,3]. By developing these skills, individuals can become better readers and visualization creators, enabling them to communicate their insights effectively and avoid potential pitfalls such as misleading or misinterpreted visual representations.

Educational tools are essential for promoting visualization literacy and are specifically designed to help learners gain practical experience and engage in iterative processes of creating, refining, and critically evaluating visualizations. Evaluating the effectiveness of educational tools in enhancing visualization literacy can be done through different methods, such as classroom experiments and crowdsourcing. Classroom experiments involve incorporating visualization literacy training and measuring its impact on a group of individuals' understanding and comprehension of visualizations. On the other hand, crowdsourcing experiments provide an alternative approach by involving a diverse group of individuals to evaluate visualization literacy and educational tools due to its low cost and scalability [4]. Both experimental settings facilitate the assessment of users' literacy skills and the effectiveness of educational tools through visualization literacy tests. Additionally, they offer valuable insights for identifying areas that require improvement and refining pedagogical approaches to enhance visualization literacy.

This paper analyses empirical studies conducted in a classroom and crowdsourcing environments. We draw upon two prior studies on visualization literacy, which assessed educational tools for Treemap and Parallel Coordinates Plot (PCP), to determine the appropriate settings for data collection in visualization literacy. We propose a comparative analysis that highlights the impact of factors such as data collection, study time and resources, data quality, data validity, and challenges in conducting experiments, emphasizing the need to consider specific research questions, target populations, and trade-offs for researchers.

The rest of the paper is organized as follows: Section 2 reviews the previous work on different experimental settings chosen in visualization literacy research. Section 3 summarises the treemap literacy paper that presents results from a classroom experiment. Section 4 summarises the parallel coordinates literacy paper that presents a crowdsourcing experiment. Section 5 provides factors influencing study results of visualization literacy studies in the classroom and crowdsourcing settings. Section 6 wraps up with conclusions and future work.

2. RELATED WORKS

In this section we describe related research that focus on visualization literacy user studies with classroom and crowdsourcing studies. A survey [5] categorized a selection of related research papers to explore the visualization systems for educational purposes while another survey [6] providing an overview of the visualization literacy literature with the evaluation technique.

2.1. Classroom Studies

In an educational environment, the researchers create assessments for both pre-experiments and

post-experiments to examine the visualization literacy abilities of users, relying on participants' responses to questions. Within this context, a group of participants, typically in a classroom setting, engage in a collective experiment together e.g. studies by [7,8,9,10,11].

Baker et. al. [12] present a study with middle school students to explore their ability to understand and use different types of graphs. The researchers carried out an experiment in a classroom setting to observe how novice learners performed in interpreting, creating, and selecting visual representations. The study involved 52 students from grades 8 and 9, who completed 3-4 exercises. Alper et. al. [9] conducted a study to explore teaching methods for enhancing visualization literacy among elementary school children. They introduced an online platform called C'est La Vis, which allows students to create and engage with visual representations of data. The researchers conducted a field study to evaluate the effectiveness of the tool, as well as to gauge students' interest and comprehension during the exercises. The study involved 15 students who were divided into small groups and observed in two different classrooms. Similarly, Wang et. al. [13] introduced the concept of "cheat sheets" which are a compilation of visual illustrations and textual explanations, such as data comics, designed to aid in data visualization education. They conducted a user study in a classroom setting with 11 participants from a nearby university. The participants were presented with a visualization example using a specific technique and then asked to complete a brief quiz to assess their comprehension.

2.2. Crowdsourcing Studies

Certain studies choose to utilize online platforms for their experiments, allowing them to recruit a significant number of participants from various geographical locations [14]. Crowdsourcing platforms like Amazon's Mechanical Turk (MTurk, <https://www.mturk.com>) provide access to a large pool of participants at affordable rates, enabling

researchers to collect data within a relatively short timeframe in some studies [2,15,16].

Boy et. al. [17] presents a systematic approach for evaluating visualization literacy. The experimental setting involved 144 participants from MTurk. They were provided with a series of visualizations and assessed on their ability to interpret and analyze the data accurately. Kwon and Lee [3] presents a study that compares different online learning approaches using parallel coordinate visualization. The experimental setting involved 120 participants from MTurk, who were randomly assigned to different learning approaches. The study examined the effectiveness of these approaches in terms of learning outcomes, user satisfaction, and engagement. Similarly, Lee et. al. [18] conducted a research study to explore the relationship between visual literacy and three cognitive characteristics. The experiment involved 178 participants recruited from MTurk. The participants were required to complete four assessments, including a Visualization Literacy Assessment Test (VLAT). The purpose of the study was to examine how these cognitive factors relate to individuals' visual literacy skills as measured by the VLAT.

3. TREEMAP LITERACY: A CLASSROOM-BASED EVALUATION

Treemaps are a type of hierarchical data visualization method that can effectively represent complex data structures. This advanced visual design is not easily perceived by untrained eyes, making enhancing treemap literacy skills an important topic. The study by Firat et. al. [19] focuses on identifying potential obstacles to interpreting and comprehending treemaps. To achieve this, a novel treemap literacy test is introduced, comprising various treemap designs and treemap-related questions. The test questions are classified based on treemap features, and the research aims to provide researchers with enhanced insights into the barriers hindering a thorough

understanding of treemaps and propose a method for advancing treemap literacy.

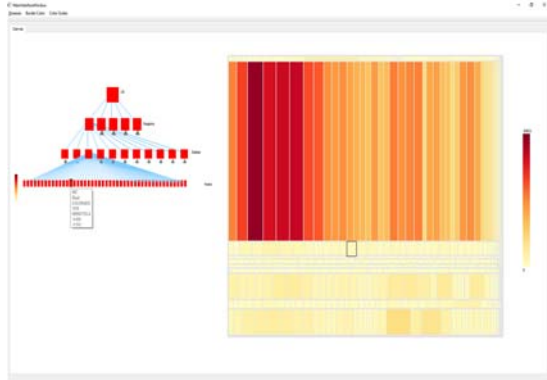


Figure 1. Instructional treemap tool interface with a traditional tree structure (left) and linked treemap visualization (right). The image courtesy of Firat et. al. [19].

In addition, interactive educational treemap software is developed to facilitate training and improve cognition of treemap design and supports the exploration of hierarchical data structures. The pedagogical treemap software is also an alternative to conventional treemap teaching, transforming passive learning into active learning practice.

Firat et. al. [19] conducted an experiment in a classroom environment. A total of twenty-five students participated in the study. The students were taught how to interpret and create treemaps using real-world data sets. Half of the students in the classroom were taught with the treemap software, while the other half were taught with traditional slides. The study utilized a pre-test and post-test design to measure the impact of treemap instruction on students' understanding and usage of treemaps. The participants were given a pre-test before joining the training session, followed by a post-test and a feedback session. The correct answers in both tests were counted to compare the understanding of treemap in both slides and the software groups.

The study found that students who used the pedagogical treemap software in the classroom performed better than those who used slides to learn about treemaps. The software facilitated a quicker

and easier understanding of treemap properties, as reported by participants. The treemap software significantly improved students' treemap literacy skills, including comprehension of treemaps and the ability to extract meaningful insights from them. Moreover, the instruction positively impacted students' data analysis and interpretation abilities, enabling them to make informed decisions based on treemap visualizations.

The study highlights the importance of visual literacy in today's data-driven society and underscores treemaps as a valuable visualization technique for data exploration and analysis. The results suggest that including the treemap tool in educational curricula can enhance students' data visualization and analytical skills. By equipping students with the knowledge and tools to work with treemaps effectively, educators can empower them to understand better and interpret complex datasets.

4. PCP LITERACY- CROWDSOURCING EVALUATION

Parallel coordinates plots are a powerful visualization technique for displaying multidimensional data, allowing users to identify patterns and relationships among variables. This advanced visual representation may pose challenges for individuals without proper training, emphasizing the significance of improving parallel coordinates literacy skills.

Firat et. al. [20] focuses on visualization literacy, which refers to the ability to interpret and comprehend visual designs, particularly in the context of data visualizations. The authors emphasize the increasing importance of visualization literacy due to the growing volume of data and the need for non-expert users to explore and analyze complex datasets effectively. The study specifically investigates the barriers to understanding parallel coordinate plots (PCPs), which are advanced graphical representations used to display multivariate and high-dimensional data.

To address this issue, the authors develop a parallel coordinates literacy test that utilizes diverse images

generated using popular available PCP software tools. The test aims to enhance users' PCP literacy skills and evaluate their comprehension abilities. Additionally, an interactive educational tool is designed to facilitate the teaching and learning of parallel coordinates. This tool offers a more active learning experience, aiming to improve the PCP literacy skills of novice users.

The research also briefly explains parallel PCPs as a graphical representation of multidimensional relationships using parallel axes. Each axis represents a different variable, and data records are represented by polylines that intersect the parallel axes at specific points, indicating the values of individual dimensions. PCPs offer advantages over Cartesian Coordinate Plots (CCPs) for displaying high-dimensional data, as the parallel layout provides a clearer separation of axes and allows for the representation of more dimensions.

The research hypothesizes that an interactive tool that links traditional Cartesian Coordinates with PCPs would enhance PCP literacy more effectively than static slides. To test this hypothesis and assess the efficiency of the educational software, the authors conducted an online, crowdsourced user study. Overall, both classroom experiments and crowdsourcing experiments have their own advantages and disadvantages in terms of data quality and validity. The choice between these settings depends on the specific research question, the target population, and the trade-offs researchers are willing to make in terms of control, generalizability, and other factors.

The user-study implemented a crowdsourced approach using Amazon Mechanical Turk, dividing participants randomly into two groups: one using slides and the other utilizing the software for teaching the PCPs. Instead of relying on software or slides, tutorial videos were specifically created for the teaching session. The participants were given a pre-test, followed by watching the tutorials, and then took a post-test to evaluate their proficiency in PCP literacy after watching the tutorial videos. The study aimed to determine whether the software tutorial, compared to traditional slides, effectively improved participants' PCP literacy skills. The

results showed that participants in the software condition significantly improved their PCP literacy skills compared to those in the condition of the slides. The software tutorial successfully enhanced participants' ability to read and interpret PCPs, as indicated by their higher scores in the post-tutorial test. Examining the feedback provided by the participants highlighted the benefits of the tutorial video and the positive impact of the educational PCP tool. Overall, the qualitative feedback supported the quantitative findings, indicating that the software tutorial was well-received and contributed to improving PCP literacy. The results and findings of the user-study confirm the effectiveness of the developed educational PCP tool in enhancing PCP literacy. The interactive tool with the tutorial video facilitated users' understanding of PCPs and their ability to interpret multidimensional data effectively.

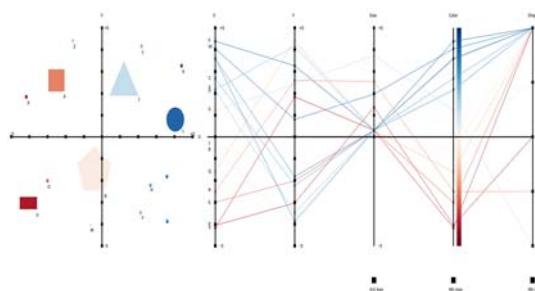


Figure 2. Pedagogical tool interface with Cartesian coordinate space (left) and the corresponding parallel coordinates plot (right). The image courtesy of Firat et. al. [20].

5. CLASSROOM VS CROWDSOURCING EVALUATION FOR VISUALIZATION LITERACY STUDIES

This paper presents the findings of two studies evaluating educational Treemap and PCP tools by comparing two different experimental settings: classroom and crowdsourcing to determine appropriate settings for data collection. Each

approach carries its own set of advantages and disadvantages. This study compares the two methodologies and sheds light on the factors influencing data collection, study time and resources, data quality, and validity, and the challenging aspects of conducting experiments, including training for visualizations.

The research by Firat et al. [19, 20] conducted two separate studies to evaluate Treemap and PCP educational tools: one utilizing a crowdsourcing approach and the other employing a classroom experiment. The result reveals some interesting findings based on these two research. Table 1 briefly compares various factors that influence the selection of research methods between the classroom and crowd-sourcing settings.

5.1. Data Collection

The crowdsourcing experiment aimed to recruit participants from a diverse pool, ensuring a wide range of backgrounds. Data collection in this method was relatively efficient, allowing for a shorter time frame. On the other hand, the classroom experiment involved recruiting participants with similar backgrounds, enabling investigation under controlled and uniform conditions. However, the setup for the classroom experiment required a significant amount of time and effort.

In the research [20], it was reported that initially, 202 potential participants attempted to take the study through MTurk. However, applying filters such as the duration of participants' video tutorial viewing, their screening question responses, and their answers to simple tutorial-related questions, 60 participants remained. The result reveals that the crowdsourcing experiment yielded a large sample size due to the ability to tap into a vast pool of potential participants. This diverse pool provided a variety of perspectives, enhancing the generalizability of the findings. However, this method's lack of guarantee regarding participant attentiveness was a drawback. It was challenging to ensure the quality and reliability of the data collected, as participants may not have been fully engaged or committed to the experiment.

In contrast, the classroom experiment allowed greater control over the research environment. Participants with similar backgrounds were selected, ensuring a homogenous group for investigation, e.g. computer science students [19]. The advantage of this approach was the ability to set up standardized conditions, facilitating accurate comparisons and reducing potential confounding factors. Researchers could closely monitor participant engagement, resulting in more reliable data collection and credible results.

5.2. Study Duration and Resources

The process of recruiting participants and establishing the experiment in a classroom setting required a substantial investment of time and resources. For example, the research [19] indicates that the study's findings might have been influenced by self-selection bias and availability bias due to participant recruitment occurring during the summer period, and the presence of students with prior knowledge of data visualization could have affected their proficiency in navigating treemaps.

Table 1. The table compares various factors that influence the selection of research methods between the classroom and crowdsourcing settings. The checkmark represents a higher impact or significance compared to the other setting.

	Classroom	Crowdsourcing
Attentiveness	√	
Compensation	√	
Data Validity	√	
Data Quality	√	
Ease of Finding Participants		√
Duration of Data Collection	√	
Participants Diversity		√
Effort in Design	√	

Classroom studies require offering higher compensation payments, e.g. vouchers, than crowdsourcing studies to encourage participants to participate in research. The treemap study offered a

£5 worth Amazon voucher, while the PCP study provided only £1 to the participants for their time and effort. Some crowdsourcing platforms like Prolific [21] aims to ensure fair compensation for participants' time and effort. To maintain a certain standard, they often set minimum hourly payments to ensure that workers are adequately compensated. These minimum payments can vary depending on the platform and the tasks involved. This policy helps maintain fairness and attract quality participants willing to engage in tasks that meet the minimum payment criteria.

5.3. Data Quality

In a classroom setting, researchers have direct control over the experimental environment and can ensure consistent procedures and standardized data collection. This control can lead to higher data quality, as researchers can closely monitor participants' actions and behaviour. Additionally, researchers can provide clear instructions and explanations, reducing the likelihood of errors or misunderstandings. In contrast, crowdsourcing experiments involve recruiting participants from online platforms, which introduces variability in participant characteristics, motivation, and attention levels. While the data collected in crowdsourcing experiments can still be of high quality, the lack of direct control over the experimental environment and participants' actions may lead to a slightly higher risk of lower data quality. However, some crowdsourcing platforms have built-in quality control mechanisms, such as attention checks and quality ratings, to mitigate this risk. The test [18] includes sanity check questions that aim to identify inattentive participants and remove their data to ensure the reliability of the collected data.

5.4. Data Validity

Classroom experiments often benefit from a more controlled and naturalistic environment, allowing researchers to observe participants' behaviour in a context closer to real-world situations. This can enhance the external validity of the findings, making them more generalizable to real-world scenarios. However, the presence of a known researcher or authority figure in the classroom

setting can sometimes influence participants' behaviour, potentially affecting internal validity. For example, the study recruited participants with similar backgrounds and ages, which might influence the validity of the results. Crowdsourcing experiments can provide access to a larger and more diverse pool of participants, allowing for increased generalizability of findings across different populations. However, the external validity of crowdsourcing experiments may be influenced by the fact that participants often complete tasks in isolation, without the social context that may exist in a classroom setting. This lack of social influence can impact the generalizability of findings to real-world social interactions and anticipated focus on the experimental stages. For instance, participants were asked to watch a tutorial video that demonstrates how the PCP technique works with an animation and they expected to watch the entire video before proceeding to the post-test questionnaire. However, the lack of guidance and social influence led to many participants not watching the entire video and consequently struggling to answer the questions correctly about the examples presented in the tutorial [18].

6. CONCLUSION

Data visualization is a powerful tool for understanding and communicating complex information. To fully understand the trends and patterns in the data, individuals need to develop visual literacy skills. Educational tools are vital in improving visualization literacy by providing guidance, resources, and hands-on experiences. Evaluating the effectiveness of these tools through experiments such as classroom integration and crowdsourcing enables us to continuously refine and enhance visualization literacy education.

Both classroom and crowdsourcing experiments have advantages and disadvantages in terms of data collection, study time and resources, data quality, and validity. The choice between these settings depends on the specific research question, the target population, and the trade-offs researchers are willing to make regarding control, generalizability, and other factors.

One potential future research project is to conduct a crowdsourcing experiment for the treemap study and compare the results with the classroom study. By comparing the findings from the crowdsourcing experiment with those from the classroom study, researchers can assess the effectiveness and generalizability of treemap education across different settings and participant populations.

Similarly, it would be valuable to conduct the same PCP study in a classroom setting. This would involve integrating PCP education tools into the curriculum and evaluating their impact on students' visualization literacy and comprehension of PCPs. Comparing the results of the classroom study with the existing crowdsourcing study can provide insights into the similarities and differences in the effectiveness of PCP education in these two settings.

By conducting these additional experiments, researchers can gain a more comprehensive understanding of the strengths and limitations of both classroom and crowdsourcing settings for visualization literacy education. This comparative analysis will contribute to refining and enhancing educational tools and practices, enabling more effective and widespread adoption of visualization literacy education in various contexts.

7. REFERENCES

1. Sadiku, M., Shadare, A.E., Musa, S.M., Akujuobi, C.M., Perry, R., 2016. Data Visualization. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology (IJERAT)*, 2(12), 11-16.
2. Ruchikachorn, P., Mueller, K., 2015. Learning Visualizations by Analogy: Promoting Visual Literacy Through Visualization Morphing. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 21(9), 1028-1044.
3. Kwon, B.C., Lee, B., 2016. A Comparative Evaluation on Online Learning Approaches Using Parallel COordinate Visualization. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 993-997.
4. Heer, J., Bostock, M., 2010. Crowdsourcing Graphical Perception: Using Mechanical Turk to Assess Visualization Design. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 203-212.
5. Firat, E.E., Laramée, R.S., 2018. Towards a Survey of Interactive Visualization for Education. *EG UK Computer Graphics and Visual Computing, Eurographics Proceedings*, 91-101.
6. Firat, E.E., Joshi, A., Laramée, R.S., 2022. Interactive Visualization Literacy: The State-of-the-Art. *Information Visualization*, 21(3), 285-310.
7. Bishop, F., Zagermann, J., Pfeil, U., Sanderson, G., Reiterer, H., Hinrichs, U., 2019. Construct-a-Vis: Exploring the Free-form Visualization Processes of Children. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(1), 451-460.
8. Gäbler, J., Winkler, C., Lengyel, N., Aigner, W., Stoiber, C., Wallner, G., Kriglstein, S., 2019. Diagram Safari: A Visualization Literacy Game for Young Children. In *Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts*, 389-396.
9. Alper, B., Riche, N.H., Chevalier, F., Boy, J., Sezgin, M., 2017. Visualization Literacy at Elementary School. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 5485-5497.
10. Fuchs, J., Isenberg, P., Bezerianos, A., Miller, M., Keim, D., 2019. Educlust- A Visualization Application for Teaching Clustering Algorithms. In *Eurographics 2019-40th Annual Conference of the European Association for Computer Graphics*, 1-8.
11. Krekhov, A., Michalski, M., Krüger, J., 2019. Integrating Visualization Literacy Into Computer Graphics Education using the Example of Dear Data. *arXiv preprint arXiv:1907.04730*.
12. Baker, R.S., Corbett, A.T., Koedinger, K.R., 2001. Toward a Model of Learning Data Representations. In *Proceedings of the 23rd annual Conference of the Cognitive Science Society*, 45-50.

13. Wang, Z., Sundin, L., Murray-Rust, D., Bach, B., 2020. Cheat Sheets for Data Visualization Techniques. In Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1-13.
14. Borgo, R., Micallef, L., Bach, B., McGee, F., Lee, B., 2018. Information Visualization Evaluation Using Crowdsourcing. In Computer Graphics Forum 37(3), 573-595.
15. Maltese, A.V., Harsh, J.A., Svetina, D., 2015. Data Visualization Literacy: Investigating Data Interpretation Along the Novice-Expert Continuum. Journal of College Science Teaching, 45(1), 84-90.
16. Lee, S., Kim, S.H., Hung, Y.H., Lam, H., Kang, Y.A., Yi, J.S., 2015. How Do People Make Sense of Unfamiliar Visualizations?: A Grounded Model of Novice's Information Visualization Sensemaking. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 22(1), 499-508.
17. Boy, J., Rensink, R.A., Bertini, E., Fekete, J.D. 2014. A Principled Way of Assessing Visualization Literacy. IEEE transactions on Visualization and Computer Graphics, 20(12), 1963-1972.
18. Lee, S., Kim, S.H., Kwon, B.C., 2016. Vlat: Development of a Visualization Literacy Assessment Test. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 23(1), 551-560.
19. Firat, E., Denisova, A., Laramée, R., 2020. Treemap literacy: A Classroom-based Investigation. Eurographics Education, In Eurographics Proceedings, 29-38.
20. Firat, E.E., Denisova, A., Wilson, M.L., Laramée, R.S., 2022. P-Lite: A Study of Parallel Coordinate Plot Literacy. Visual Informatics, 6(3), 81-99.
21. Palan, S., Schitter, C., 2018. Prolific. Ac-A Subject Pool for Online Experiments. Journal of Behavioral and Experimental Finance, 17, 22-27.

Estimated Fuel Properties of *Luffa Aegyptiaca* as a Possible Feedstock for Biodiesel Production

Duygu Durdu KOÇ¹ ORCID 0000-0002-4400-5714

Aslı ABDULVAHİTOĞLU*¹ ORCID 0000-0002-3603-6748

¹ Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering,
Department of Mechanical Engineering, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 17.05.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: KOÇ, D.D., ABDULVAHİTOĞLU, A., (2023). Estimated Fuel Properties of Luffa Aegyptiaca as a Possible Feedstock for Biodiesel Production. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 401-410.

Abstract

The world's expanding human population and rising standard of living result in a rise in energy consumption. Since fossil fuel reserves are mostly exploited to fulfil the expanding energy demand, this makes it more difficult to get energy. Due to the non-renewable nature of fossil fuel resources and the possibility of energy supply issues occurring as a result of globalization, access to energy becomes challenging at this point. However, switching to alternative and environmentally beneficial fuel sources is now a need because of the harm that their widespread usage has caused to the environment and the diminishing resources that are being used up. The loofah seed *Luffa Aegyptiaca*, which is grown mostly in Turkey's Hatay region, is discussed in this paper. Fatty acids in the oil produced from *Luffa aegyptiaca* seeds were identified by analysis. Oleic and linoleic acids were found to be the primary fatty acids controlling the combustion characteristics of biodiesel fuel. These acids were found to be, respectively, 97.8318 and 129.1163. Using the Biodiesel Analyzer v1.2, the physicochemical characteristics of biodiesel fuel were identified. It was determined that biodiesel fuel made from *Luffa aegyptiaca* seed might be used as a substitute for diesel fuel.

Keywords: Biodiesel, Alternative fuel, *Luffa aegyptiaca*, Fatty acid

Luffa Aegyptiaca'nın Potansiyel Biodizel Üretimi İçin Olası Bir Hammadde Olarak Tahmini Yakıt Özellikleri

Öz

Dünya genelindeki artan insan nüfusu, yükselen yaşam standartlarıyla birleştiğinde enerji taleplerini arttırmaktadır. Bu durum, fosil yakıt rezervlerinin çoğunlukla yükselen enerji talebini karşılamak için kullanılmasına bağlı olarak enerji erişimini zorlaştırmaktadır. Fosil yakıt kaynaklarının yenilenebilir olmayan doğası ve küreselleşme ile ortaya çıkan enerji arzı sorunları potansiyeli nedeniyle enerjiye erişim bu aşamada zorlaşmaktadır. Öte yandan, yaygın kullanımları sonucunda çevreye verilen zararlar ve her geçen gün azalan kaynakların tükenmesi göz önüne alındığında, alternatif ve ekolojik dostu yakıt kaynaklarına geçiş yapmak günümüzde kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu çalışmada, özellikle Türkiye'nin

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Aslı ABDULVAHİTOĞLU, aabdulvahitoglu@atu.edu.tr

Hatay bölgesinde yetiştirilen *Luffa Aegyptiaca* adı verilen loofah tohumu ele alınmaktadır. *Luffa Aegyptiaca* tohumları kullanılarak elde edilen yağ analiz edilmiş ve yağ asitleri belirlenmiştir. Biyodizel yakıtın yakıt özelliklerini etkileyen başlıca yağ asitleri oleik ve linoleik asit olarak belirlenmiştir. Bu asitler sırasıyla 97.8318 ve 129.1163 olarak belirlenmiştir. Biyodizel yakıtın fizikokimyasal özellikleri Biodiesel Analyzer v1.2 kullanılarak belirlenmiştir. *Luffa aegyptiaca* tohumu biyodizel yakıtın, dizel yakıtla karıştırıldığında potansiyel bir yakıt kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, alternatif yakıt, *Luffa aegyptiaca*, Yağ asidi

1. INTRODUCTION

In the rapidly industrializing world, the need for energy is increasing rapidly and a large part of the need is obtained from fossil fuels. The projections have shown that oil, the primary source of energy, is being depleted day by day. In addition to the depletion of petroleum-derived fuels, environmental problems have increased considerably in the globalizing world and researchers have turned to alternative fuel research that can replace oil and reduce environmental concerns. Alternative fuels are defined under the Energy Policy Act as alcohols (such as ethanol), natural gas and liquefied fuels generated from natural gas, liquefied petroleum gas (LPG), coal-derived liquid fuels (CTL), hydrogen (H₂), and biodiesel (B100) [1]. Among these alternative biofuels, biodiesel has been the subject of research for decades. Biodiesel has attracted the attention of researchers worldwide due to its significant advantages over fossil fuels such as its renewable nature, biodegradability, non-toxicity, and high flash points. Biodiesel exhibits an environmentally friendly feature with a decrease in greenhouse gas emissions. Biodiesel shows a better combustion emission profile by producing much less carbon monoxide, sulfur dioxide and unburned hydrocarbons than petroleum-based diesel fuel without the need for any modification when used in diesel engines. For decades, numerous scientists have been working on the synthesis of biodiesel and its use in internal combustion engines based on the observed benefits.

Çelikten and Arslan investigated the biodiesel obtained from canola and soybean oil methyl ester in their study. They concluded that canola methyl ester gives the lowest smoke and CO emissions. However, in their comparison, they concluded that

the NO_x value of standard diesel fuel is lower than that of canola and soy methyl ester [2]. Şimşek and Çolak found that soot emissions were reduced while HC emissions rose as a result of their analysis of biodiesel fuel. Looking at the study's specifics, it can be observed that adding propanol to biodiesel fuel can erase some of its drawbacks and minimize NO_x emissions [3]. İğgür and Koçak investigated the methyl ester of hazelnut oil. The study compared conventional diesel and hazelnut oil biodiesel. They found that these two fuels have fairly similar power and specific fuel consumption ratings. Additionally, they discovered that methyl ester of hazelnut oil emits less CO, NO_x, and soot than regular diesel. So they concluded that methyl ester of hazelnut oil would be an alternate fuel source [4].

However, oil seeds used as feedstock are the biggest obstacle to the synthesis of this biofuel. Because the use of so-called edible oils which is in the human food chain, such as palm oil, sunflower oil, coconut oil, soybean oil and cottonseed oil, has a negative impact on food prices, which are already high. To eliminate this negativity, the use of oils that are not suitable for human consumption (non-edible) as raw materials is the best way to be followed.

Scientists evaluated many non-edible oils such as: The performance, combustion, and emission characteristics of a DICI engine running on a dual biodiesel mix made from the plant's *Jatropha curcas*, *Pongamia pinnata*, *Mahua*, and *Azadirachta indica* were examined by Sayyed et. al. The physiochemical properties were found to be within acceptable limits. These engines are less efficient thermally, mechanically, and volumetrically than pure diesel engines, have higher exhaust gas temperatures, and need more energy specifically for the brakes. The effects of clean and blended diesel

on CO, CO₂, HC, and NO_x exhaust emissions were investigated and compared. The largest CO reduction was shown by Blend D90 + JB5 + NB5 (46.91%). In comparison to plain diesel, all of the mixes under consideration produce higher CO₂ emissions [5].

Kibazohi and Sangwan conducted studies on *Aleurites moluccana*, *Croton megalocarpus*, *Jatropha curcas*, *Moringa oleifera*, and *Pachira glabra*. All five varieties were found to have acceptable oil yields of between 3 and 12.5 tons per hectare per year with a range of 20 to 33% weight-for-weight oil contents. *C. megalocarpus* has the highest potential to generate 1.8 t of vegetable oil per hectare per year, followed by *M. oleifera*, *J. curcas* (1 t/ha.y), *A. moluccana*, and *P. glabra*, according to the results of the multi-criteria decision analysis. For the purpose of producing biofuel in Africa and other regions, the analysis emphasizes the need for additional research on *C. megalocarpus* and *M. oleifera* [6].

As a brand-new non-edible feedstock for the base-catalyzed transesterification of ethanol to make biodiesel, bitter almond oil was put to the test by Emaad et al. a significant raw material with a maximum yield of 42.0 weight percent for the production of biodiesel. The fuel properties of the biodiesel were within the allowable limits specified by the regulations. It was shown to be an appropriate feedstock for producing biodiesel, and bitter almond oil [7].

Fadhil et. al. studied the wild mustard *Brassica juncea* L seeds by extracting oil from them to obtain a yield of 34.0% w/w and transesterify via KOH-catalyzed methanol. The qualities of the as-produced biodiesel were checked in accordance with ASTM D6751 regular test protocols, and it was found that they satisfied the typical requirements for biodiesel. The usual approach was proven to be less effective, time-saving, and advantageous than co-solvent methanolysis since it needed more perfect circumstances to complete the conversion [8].

The high-free fatty acid oils were transformed into their mono-esters using a two-step transesterification procedure developed by Perumal and

Mahendradas. The free fatty acid content of the oil is first reduced by acid-catalyzed esterification to less than 1.9% and then converted into mono-esters and glycerol by alkaline-catalyzed transesterification. The produced biodiesel is similar to petroleum-based fuel in many ways [9].

Sterculia foetida oil and used cooking oil (SWO) were blended in a 1:1 ratio by Kavitha and Murugavelh, and the effects on the qualities of the biodiesel were investigated. Plackett-Burman design was used to assess the effects of process variables and operating parameters such as sample quantity, methanol volume, hexane volume, sulphuric acid, temperature, and time. The largest amounts of linolenic acid (20.9%) and palmitic acid (18.3%) were detected by GCMS and utilized the blended oil achieved a high output of biodiesel that was higher than 95%. the high yield of biodiesel produced by the trials using this blended oil was over 95% [10].

Tabebuia Rosea seed oil was investigated by Sirigeri et. al. as a viable alternative for utilizing biodiesel since it can be grown in a variety of climates, produces a lot of fruit, and is inexpensive. To create *Tabebuia Rosea* oil methyl ester, the crude oil was transesterified by using sodium methoxide as a catalyst (TOME). Physicochemical characteristics were used to evaluate the quality of the TOME/biodiesel produced. Analysis showed that the evaluated parameters were within the standards of biodiesel. It was concluded that *T. Rosea* seed oil is a suitable feedstock [11].

To create biodiesel using the transesterification process, Kshirsagar and Anand investigated oil from Alexandrian laurel which has a higher percentage of free fatty acids. By adopting the TOP degumming technique, the high FFA (20.2%) was reduced to 12.9%. The refined kernel oil was esterified using ortho-phosphoric acid. Using methanol as an analytical solvent and NaOH as an alkaline catalyst, transesterification was carried out. According to the study, the most crucial control parameter for achieving the best methyl ester synthesis was CC. The most effective treatment formula produced 97.14% biodiesel. Since biodiesel's fuel characteristics fall within the ASTM

D6751 and EN 14214 standards, it may be used as a viable substitute for diesel fuel for the long-term carbon cycle [12].

The goal of Vázquez et. al. was to determine the type of castor oil plant that might be grown in Tlaltenango. Physicochemical chemical characteristics of both oil and biodiesel were determined, and three distinct variations were found; the "green stem with wax, ashen fruit" variety had the highest oil content ($51.7 \pm 5.6\%$), and the highest transesterification reaction yield ($61.44 \pm 0.44\%$). Except for the viscosity and moisture, the produced biodiesel complies with the standards, so blending with diesel is advised [13].

Yatish et. Al. analyze the transesterification of seed oils from *Garcinia gummi-gutta*, *Terminalia belerica*, and *Aegle marmelos* using a catalyst made of sodium phosphate. GC analysis was used to evaluate the oils. Additionally, multiple ratios of biodiesel and conventional diesel were blended, and each blend's fuel characteristics-including density, flash point, and kinematic viscosity-were assessed and compared to conventional diesel [14].

Yadav et al. used a magnetic stirrer technology and ultrasonic transesterification to produce biodiesel from *Nerium oleander* oil. Comparisons were made between the biodiesel produced with the magnetic stirrer and the ultrasonic approach in terms of percentage yield and physicochemical properties. The ultrasonic transesterification process yielded oleander biodiesel with a maximum yield of 97% by weight and outstanding physiochemical characteristics. It may be concluded that the ultrasonic approach is the most effective process for converting raw oleander oil into biodiesel [15].

A. Abdulvahitoglu studied the oil derived from Turkish cherry kernels. The oil was characterized using gas chromatography (GC), and the free fatty acids were computed. The anticipated outcomes demonstrated that *Prunus avium* seed oil is an effective substitute for biodiesel [16].

Analyzing Bay Laurel oil's viability as a substitute fuel for diesel engines was the goal of Abdulvahitoglu A. This article examines the fuel

quality of pure bay laurel oil. According to the results, BLO appears to have a low CN, high densities and viscosities, as well as a high FFA. [17].

Turkey is located in a geography with 4 climates and large plant diversity, so there are many possible opportunities for finding suitable feedstock. In addition to the previous studies in the literature, this study aimed to work with *Luffa Aegyptiaca*, a seed that has not been studied before. The main purpose of this study is to characterize oil obtained by using *Luffa Aegyptiaca* seeds and evaluate the gained oil for possible biodiesel production as a different feedstock.

2. MATERIAL AND METHOD

Within the scope of the study, the *Luffa Aegyptiaca* seed oil shown in Figure 1 was discussed. This plant was first grown in the geography of India. Over time, the loofah plant has spread widely throughout the world, including the Mediterranean coastline of Central and South America, Northeastern Australia, Asia, Africa, and Europe. In our country, in the Aegean and Southeastern Anatolia regions, especially in the Mediterranean region, people are grown in their gardens for personal needs [18]. *Luffa Aegyptiaca* has a very rapid development and growth process. The vines formed by the branching of this plant can exceed 10 meters in length. Also, *Luffa Aegyptiaca* is a taproot plant that forms many lateral roots. However, *Luffa Aegyptiaca* roots cannot go very deep into the soil [19]. Regarding our country, Hatay, which is situated in the Mediterranean area, stands out in terms of *Luffa Aegyptiaca* cultivation [18].



Figure 1. *Luffa Aegyptiaca* (20).

The Luffa Aegyptiaca seeds were pressed in cold press (Figure 2) to gain oil



Figure 2. Karaerler NF 80 cold-press machine



Figure 3. Luffa Aegyptiaca Oil sample.

Figure 3 shows the Luffa Aegyptiaca oil sample. To determine the % oil in the seed, the Luffa Aegyptiaca seeds (Figure 4) were ground into powder as shown in Figure 5.



Figure 4. Luffa Aegyptiaca seeds



Figure 5. Luffa Aegyptiaca grounded seeds.

Three different samples were prepared from powdered Luffa Aegyptiaca seeds. In the Soxhlet apparatus seen in Figure 6, 150 ml of hexane was used for each sample. The gained samples are used for oil content calculation.



Figure 6. Soxhlet apparatus used for extracting oil.

There are many important factors in determining the character of biodiesel fuel. These factors are cetane number, density, cloud point, viscosity, cold flow properties etc. are listed as. The oil obtained from Luffa Aegyptiaca seeds was analyzed using the Biodiesel Analyzer V1.2 [21] to assess its fuel characteristics and reveal its composition. Thus, necessary data for fuel values were obtained. In obtaining these data, the following formulas were used in the program.

Iodine (IV) and saponification (SV) values and Cetane Number (CN).

$$SV = \sum (560 \times N) / M \quad (1)$$

$$IV = \sum (254 \times D \times N) / M \quad (2)$$

where,

M: Fatty ester's molecular weight, N: (%FA ester in oil samples, D: The total number of double bonds

$$CN = 46.3 + (5.458/SV) - (0.225 \times IV) \quad (3)$$

$$DU = MUFA + (2 \times PUFA) \quad (4)$$

where,

DU stands for unsaturation degree, Monounsaturated FA% is referred to as MUFA, and Polyunsaturated FA% is referred to.

Allylic position equivalents (APE) and equivalents of bis-allylic positions (BAPE)

$$APE = \sum(apn \times Acn) \quad (5)$$

$$BAPE = \sum(bpn \times Acn) \quad (6)$$

where,

an: amount of equivalent allylic positions
Acn: Fatty acid proportion in the mixture.
b_{pn}: number of Bis-allylic position equivalents

The following formulas were used to calculate the oxidation stability (OS) of biodiesel.

$$OS = (117.9295/(C_{18:2} + C_{18:3}) + 2.5905) \quad (7)$$

The ability of biodiesel fuel to flow coldly is one of its crucial characteristics. Cold Filter Plugging Point (CFPP), Cloud Point (CP), and Pour Point (PP) are the three cold flow properties that were anticipated, respectively.

LCSF denotes the long-chain saturated factor

$$LCSF = (0.1 \times C_{16}) + (0.5 \times C_{18}) + (1 \times C_{20}) + (1.5 \times C_{22}) + (2 \times C_{24}) \quad (8)$$

$$CFPP = (3.1417 \times LCSF) - 16.477 \quad (9)$$

$$CP = (0.526 \times C_{16}) - 4.992 \quad (10)$$

$$PP = (0.571 \times C_{16}) - 12.24 \quad (11)$$

The kinematic viscosity at 40 °C was computed as:

$$\ln(v) = \sum Ni(-12.503 + 2.496 \times \ln Mwi) - 0.178 \times Di \quad (12)$$

where,

M_{wi} is the molecular weight of the supplied Fatty acid, Ni is its percentage, and Di is the number of double bonds.

The following equation estimates the density of biodiesel at 20°.

$$\rho = \sum Ni(0.8463 + (4.9/(Mwi)) + 0.118 \times Di \quad (13)$$

The estimated higher heating value (HHV) is as follows:

$$HHV = \sum Ni(46.19 - (1794/Mwi - 0.21 \times Di) \quad (14)$$

The formula below was utilized to estimate Flashpoint:

$$FP (°C) = 205.226 + 0.083xp - 1.727xs - 0.5717xo - 0.3557xLI - 0.467xLN - 0.2287xE \quad (15)$$

Where the x denotes for mass fraction, and the mass fractions for palmitic acid x_p, stearic acid x_s, oleic acid x_o, linoleic acid x_{LI}, linolenic acid x_{LN}, erucic acid x_E [16].

3. RESULTS AND DISCUSSION

The oil obtained from the seed of *Luffa Aegyptiaca* was analyzed by gas chromatography. The results obtained from this spectrum are shown in Table 1.

Table 1. Profile of fatty acids in *Luffa Aegyptiaca* seed.

Fatty Acid	% W	Fatty Acid	% W
Caprylic (C8:0)	0.009	Linoleic (C18:2)	43.85
Myristic (C14:0)	0.082	Linolenic (C18:3)	0.141
Palmitic (C16:0)	13.79	Gadoleic (C20:1)	0.495
Palmitoleic (C16:1)	0.103	Behenic (C22:0)	0.122
Margaric (C17:0)	0.152	Erucoic (C22:1)	0.026
Stearic (C18:0)	7.898	Tricosanoic (C23:0)	0.063
Oleic (C18:1)	33.00		

The main fatty acids in *Luffa Aegyptiaca* seed oil are 43.85% Linoleic acid, 33.00% Oleic acid, 13.79% Palmitic acid and 7.90% Stearic acid by weight, respectively. Due to their large percentage values, linoleic and oleic acids are the principal fatty acids that have an impact on the characteristics of *Luffa Aegyptiaca* biodiesel [16]. The chromatography spectrum is shown in Figure 7.

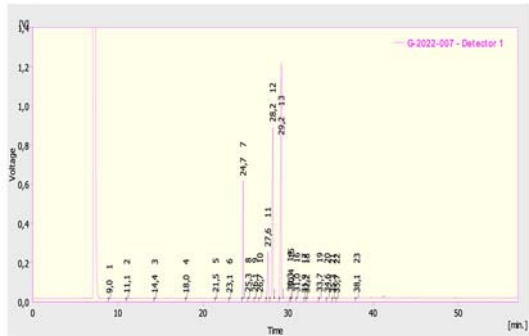


Figure 7. GS result of *Luffa Aegyptiaca* seed

Based on the fatty acid profile, *Luffa Aegyptiaca* biodiesel's fuel qualities were predicted using Biodiesel Analyzer Software V1.2. Table 2 gives the basic fuel properties of biodiesel.

Table 2. Estimated physicochemical properties of biodiesel made from *Luffa Aegyptiaca* oil

Property	Diesel (EN 590)	Biodiesel (EN 14214)	LAB
Oxidation Stability	25 g/m ³ max	8 hrs min	5.27
Cetane Number	51	51	48.71
Cold Filter Plugging Point	Depends on the region and climate	Depends on the region and climate	0.83
Iodine Value	-	120 g log/100g	110.00
Cloud Point	Depends on the region and climate	Depends on the region and climate	2.26
Degree of Unsaturation	-	-	121.58
Kinematic Viscosity (mm ² /s)	2.0-4.5	3.5-5.0	1.32
Higher Heating Value (HHV)	-	-	39.35
Density (kg/m ³)	820-845	860-900	870
Saponification Value	-	-	200.93

The overall molecular mass of the oil's glycerides, which is inversely related to the saponification

value, was calculated as 200.93 for LAB. The heating value, a measurement of the fuel's energy per unit mass, for the *Luffa Aegyptiaca* biodiesel was found to be 39.35 (LAB). This value is within the limits of EN 14214 [22].

Mass per unit volume is defined as density. This value was measured as 870 kg/m³ for LAB (23). This value is within the standard limits. Viscosity is the resistance of the liquid to flow. This value was measured as 1.32 mm²/s for LAB. It is lower than the limit values for biodiesel. However, lower viscosity values can be advantageous as they are favourable for improving the atomization of fuel spray [23].

The cloud point refers to the temperature at which liquid fuel starts to appear cloudy [9]. This value is not given for biodiesel standards. However, in cold climate conditions, it is required to be below zero for biodiesel to be suitable. For LAB, this value is measured as 2.26 and it can create a disadvantage. The CFPP is the temperature at which, under a specific set of conditions, fuel cannot pass through a conventional filter [24]. For LAB, this value is 0.83.

Biodiesel instability results from unsaturation in the biodiesel ester molecule; this is known as oxidation stability. The oxidation stability was predicted as 5.7 for LAB. This may cause biodiesel to be easily affected by air oxidation under long-term storage conditions.

The fuel-air mixture's ability to self-ignite is one of the essential aspects of an internal combustion engine. It is the CN of the fuel that determines the ignition delay [25]. For LAB, this value is 48.71, which is very close to the biodiesel standard. If the CN of the fuel is high, it means that the fuel ignites quickly and on its own. In this case, however, fuel with a low cetane number has a considerable ignition delay.

Biodiesel fuel's oxidation resistance is determined by its iodine value. If the fuel has a high iodine value, it can easily be oxidized when it comes into contact with air [25]. The iodine value of LAB is 110, which is less than the maximum iodine value

specified for biodiesel in the standard EN 14214. The obtained *Luffa Aegyptiaca* seed oil was subjected to further analysis in order to obtain the FFA value which is directly related to the biodiesel production method. FFA results are shown in Table 3.

Table 3. The free fatty acid analysis result [26]

Analysis	Analysis Method	Analysis Result
Percent Free Acid (As %Oleic Acid)	TGK 2014/53	2.41

The FFA value must be less than 1% to employ the transesterification technique to produce biodiesel, thus the results show that *Luffa aegyptiaca* needs more processing to lower the FFA value, which is 2.41% [26].

4. CONCLUSION

In terms of energy resources, many nations in the world, particularly developing nations, rely on external sources. Each nation has now realized how crucial it is to fulfil its own energy needs in light of the pandemic conditions that occurred at the beginning of 2020, the war situations that emerged as a result of the political tensions between the countries, and the rise in fossil fuel costs. While every effort in this direction is valuable, one of the things that need to be taken into account to stop the climate disaster is getting the fuel that will be utilized from environmentally and naturally friendly sources.

The most crucial factor to take into account when assessing the long-term viability of biodiesel is sustainability in addition to environmental effects. Accelerating the transition to biodiesel will benefit the economy, the environment, car engines, and our independence from foreign oil. However, only a little amount of biodiesel is produced because the material used to make it is a component of the food chain. Therefore, non-edible oils should be used to produce biodiesel.

It will be more advantageous to make biodiesel from *Luffa aegyptiaca* seeds as they won't be consumed by humans.

- i. GC analysis results were used to identify the fatty acids. The fuel characteristics of biodiesel were evaluated using the amounts of oleic, linoleic, palmitic, myristic, and stearic acid
- ii. The density of LAB100 is within the standards of EN14214.
- iii. Cold flow properties are promising but in its pure form, it can be easily said that it is not suitable for cold climates. Blending diesel and biodiesel will have positive effects on the cold filter plugging point and pour point and will lead to reducing obstacles to a manageable level.
- iv. Cetane number is 4,49 % less according to the standards which leads to more ignition delay time.
- v. The viscosity value is 34% below the standard of diesel.

This analysis predicts that the biodiesel made from *Luffa aegyptiaca* oil will be a substantial alternative fuel and will be useful when utilized in a blended form.

5. REFERENCES

1. Choongsik, B., Jaeheun, K., 2017. Alternative Fuels for Internal Combustion Engines. Proceedings of the Combustion Institute, 36(3), 3389-3413.
2. Çelikten, İ., Arslan, M. A., 2008. Investigation of the Effects of Diesel Fuel, Canola Oil and Soybean Oil Methyl Esters on The Performance and Emissions of a Direct Sprayed Diesel Engine. Gazi University Engineering Architecture Faculty Journal, 23(4), 829-836.
3. Şimşek, D., Çolak, N.Y., 2019. Investigation of The Effect of Biodiesel/Propanol Fuel Mixtures on Diesel Engine Emissions. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 6(1), 166-174.
4. İcingür, Y., Koçak, M.S., 2006. Investigation of Performance and Emission Parameters as a Diesel Fuel Alternative of Hazelnut Oil Methyl Ester. Polytechnic Journal, 9(2), 119-124.
5. Sayyed S., Kumar, R., Kulkarni, D., 2022. Experimental Investigation for Evaluating the Performance and Emission Characteristics of

- DICI Engine Fueled with Dual Biodiesel Diesel Blends of Jatropha. Karanja. Mahua, and Neem, Energy 238, 121787.
6. Kibazohi, O., Sangwan, R.S., 2011. Vegetable Oil Production Potential from Jatropha Curcas, Croton Megalocarpus, Aleurites Moluccana, Moringa oleifera and Pachira Glabra: Assessment of Renewable Energy Resources for Bio-energy Production in Africa. Biomass and Bioenergy, 35(3), 1352-1356.
 7. Al-Tikrity, E.T.B., Fadhi, A.B.L., Ibraheem, K.K., 2017. Biodiesel Production from Bitter Almond Oil as New Non-edible Oil Feedstock. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 39(7), 649-656.
 8. Fadhil, A.B., Saleh, L.A., Altamer, D.H., 2020. Production of Biodiesel from Non-edible Oil, Wild Mustard (*Brassica Juncea* L.) Seed Oil Through Cleaner Routes. Energy Sources, Part A: Recovery Utilization, and Environmental Effects, 42(15), 1831-1843.
 9. Perumal, G., Mahendradas, D.K., 2022. Biodiesel Production from Bauhinia Variiegata Seeds oil Using Homogeneous Catalyst. Petroleum Science and Technology, 40(7), 857-870.
 10. Kavitha, M.S., Murugavelh, S., 2021. Biodiesel Production Rosea Reactive Extraction of *Sterculia* and Waste Cooking Oil Blend Using an Acid Catalyst. International Journal of Ambient Energy, 42(12), 1435-1440.
 11. Sirigeri, S., Vadiraj, K.T., Belagali, S.L., 2022. Tabebuia Rosea: a Prospective Non-edible Biodiesel Feedstock. Biofuels, 13(1), 17-19.
 12. Kshirsagar, C.M., Anand, R., 2017. Homogeneous Catalysed Biodiesel Synthesis from Alexandrian Laurel (*Calophyllum inophyllum* L.) Kernel Oil Using Orthophosphoric Acid as a Pretreatment Catalyst. International Journal of Green Energy, 14(9), 754-764.
 13. Vázquez, V.Á., Estrada, R.A.D., Flores, M.M.A., Alvarado, C.E., Aguado, H.C.C., 2020. Transesterification of Non-edible Castor Oil (*Ricinus communis* L.) from Mexico for Biodiesel Production: a Physicochemical Characterization. Biofuels, 11(7), 753-762.
 14. Yatish K.V., Lalithamba H.S., Suresh R., Omkaresh, B.R., 2018. Synthesis of Biodiesel from Garcinia Gummi-gutta, Terminalia Belerica and Aegle Marmelos Seed Oil and Investigation of Fuel Properties, Biofuels, 9(1), 121-128.
 15. Yadav, A.K., Khan, M.E., Pal A., Dubey, A.M., 2016. Biodiesel Production from *Nerium Oleander (Thevetia peruviana)* Oil Through Conventional and Ultrasonic Irradiation Methods. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 38(23), 3447-3452.
 16. Abdulvahitoğlu, A., 2019. Predicted Fuel Characteristics of Prunus Avium Seed Oil as a Candidate for Biodiesel Production. International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 8(4), 165-171.
 17. Abdulvahitoğlu, A., 2018. Evaluation of the Fuel Quality Values of Bay Laurel (*Laurus nobilis* L.) Oil as a Biodiesel Feedstock. Biofuels, 9(1), 95-100.
 18. Yaman, İ., 2017. Lif kabağında (*Luffa cylindrica* M. Roem) Farklı Azot Dozlarının Verim ve Bazı Tarımsal Özellikler Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Hatay, 55.
 19. Mert, M., 2009. Lif Bitkileri. Nobel Akademik Yayınlar, 448.
 20. Shop-Bewertungen für Plant Flower Seeds <https://www.etsy.com/at/listing/956019256/luffa-aegyptiaca-o-sponge-gourd-smaragd> accessed, Access date: 05.08.2022.
 21. Biodiesel analyzer <http://brteam.org/analysis/#id02>, Access date: 05.08.2022
 22. Anwar, M., Rasul, M.G., Ashwath, N., 2019. The Efficacy of Multiple-criteria Design Matrix for Biodiesel Feedstock Selection. Energy Conversion and Management, 198, 111790.
 23. Giakoumis, E.G., Sarakatsanis, C.K., 2018. Estimation of Biodiesel Cetane Number, Density, Kinematic Viscosity and Heating Values from its Fatty Acid Composition. Fuel, 222, 574-585.
 24. Boz, N., Kara, M., Sunal, O., Alptekin, E., Değirmenbaşı, N., 2009. Investigation of the Fuel Properties of Biodiesel Produced Over an

- Alumina-based Solid Catalyst. Turk J Chem, 33, 433-442.
25. Yaşar, H., Büyükkaya, E., Soyhan, H.S., Taymaz, İ., 2016. İçten Yanmalı Motorlar Mühendislik Temelleri [Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine-Willard W. Pulkrabek], Güven Yayıncılık, İzmir, 480.
26. Koç, D.D., 2022. Numerical Investigation of Exhaust Emissions by using Various Biodiesel in a Compression Ignition Engine. Yüksek Lisans Tezi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 89.

A Novel Frequency-Configurable Patch Antenna Design Using Flexible Substrates for Biomedical Applications

Emine AVŞAR AYDIN*¹ ORCID 0000-0002-5068-2957
Mustafa Berkan BİÇER² ORCID 0000-0003-3278-6071

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Department of Aerospace Engineering, Adana, Turkey

²Tarsus University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Mersin, Turkey

Geliş tarihi: 12.04.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: AVŞAR AYDIN, E., BİÇER, M.B., (2023). A Novel Frequency-Configurable Patch Antenna Design Using Flexible Substrates for Biomedical Applications. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 411-420.

Abstract

The purpose of this research was to design and implement a flexible horizontal H-shaped microstrip antenna (flexible-HHMA) using various materials for cancer tumor detection. Microstrip antennas, which can also be utilized as tumor detection sensors and can function as both a receiver and a transmitter, are composed of two major components: the patch and the ground plane. The copper tape was used to analyze various materials' impacts on antenna performance to form the patch and ground planes, and felt, jean, and photo paper was employed as the substrate. To accomplish this, antennas operating at frequencies ranging from 2 to 10 GHz, frequently used in biomedical applications, were constructed and computations performed using a full wave electromagnetic solver based on finite integration technique (FIT). The proposed microstrip antennas may be used as sensors in biomedical measurement systems that make use of the dielectric contrast between the healthy and malignant tissues at microwave frequencies.

Keywords: Flexible, Horizontal H-shaped microstrip antenna (HHMA), Microwave imaging, ultra-wideband, Gain, Radiation characteristic

Biyomedikal Uygulamalar için Esnek Alt Tabakalar Kullanarak Frekans-Yapılandırılabilir Yeni Bir Yama Anten Tasarımı

Öz

Bu araştırmanın amacı, kanser tümörü tespiti için çeşitli malzemeler kullanarak esnek bir yatay H-şekilli mikroşerit anten (esnek-HHMA) tasarlamak ve uygulamaktır. Tümör tespit sensörleri olarak da kullanılabilen ve hem alıcı hem de verici olarak görev yapabilen mikroşerit antenler yama ve toprak düzlemi olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Yama ve toprak düzlemlerini oluşturmak için çeşitli malzemelerin anten performansı üzerindeki etkilerini analiz etmek için bakır bant kullanılırken diğer taraftan alt tabaka olarak keçe, kot pantolon parçası ve fotoğraf kağıdı kullanıldı. Bunu başarmak için, biyomedikal uygulamalarda sıklıkla kullanılan 2 ila 10 GHz frekans aralığında çalışan antenler dizayn

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Emine AVŞAR AYDIN, eyaydin@atu.edu.tr

edildi ve sonlu entegrasyon tekniğine (FIT) dayalı bir tam dalga elektromanyetik çözücü kullanılarak hesaplamalar yapıldı. Önerilen mikroşerit antenler, mikrodalga frekanslarında sağlıklı ve kötü huylu dokular arasındaki dielektrik kontrasttan yararlanan biyomedikal ölçüm sistemlerinde sensörler olarak kullanılabilirlerdir.

Anahtar Kelimeler: Esnek, Yatay H-şekilli mikroşerit anten (HHMA), Mikrodalga görüntüleme, Ultra geniş bant, Kazanç, Radyasyon özelliği

1. INTRODUCTION

Cancer is one of the most prevalent and serious illnesses worldwide [1]. Cells divide abnormally in cancer patients, forming malignant tumors, which also cause damage to healthy tissues, particularly in the region where they are located. In other words, cancer cells continue to cause damage to other vital organs and tissues in the body once they reach them, impairing their function and survival. The common types of cancer vary between men and women. Men are most likely to develop prostate and lung cancer, whereas women are more likely to develop breast and uterine cancer [2]. Due to the severity of cancer, emerging medical technologies are critical for early detection and treatment. Apart from these advancements, the most crucial problem is the early detection of cancer. The stage of the disease is determined by the size of the tumor and its metastasis to other areas of the body. Breast cancer, which is reasonably straightforward to identify, has four stages and responds quite well to early-stage treatments. Additionally, it has been scientifically established that diagnosing cancer in its early stages and commencing therapy has a very high success rate across all cancer types. As a result, numerous researchers have studied the difficulty of detecting microscopic tumors in their early stages. Medical imaging technologies are critical for tumor identification, and the need for these devices continues to grow. The most fundamental criteria are the ability to precisely and successfully detect very small and cancerous cells and obtain high-resolution images at a reasonable cost and in the absence of a distracting environment. Currently, numerous modalities of breast imaging are available [3]. X-ray mammography is the most frequently employed imaging technique, which uses X-rays to image the breast. However, X-ray mammography does not provide the significant points preferred in imaging techniques due to its

disadvantages, which include using an ionized beam and compressing the breast during measurement. Magnetic resonance imaging (MRI) is a non-invasive superior alternative to X-ray mammography since it allows for breast imaging without hazardous X-rays. However, this technique is not suggested because it may result in misleading detection for dense breasts, requires an extensive imaging time for the patient, and is quite expensive. Another alternative is ultrasonography, a non-invasive imaging technique that utilizes sound waves. The absence of fixation in extremely fatty breast tissues, on the other hand, represents a significant disadvantage. Along with these three frequently used imaging techniques, there are a variety of others, including digital tomosynthesis, magnetic resonance spectroscopy, thermography, optical imaging, electrical impedance tomography, diffuse optical tomography, and microwave imaging (MWI). Each technique offers several advantages and disadvantages. As a result, researchers have concentrated their efforts on imaging technologies that will achieve widespread success. Many researchers carry out research on microwave detection of breast cancer in order to meet the needs of breast cancer imaging technologies [3,4]. Antennas that operate as both receivers and transmitters are essential in MWI and must exhibit specific characteristics. The characteristics of the antennas used in MWI systems should be carefully studied, as should the operating frequency selection for the frequency range to be imaged. The aim of utilizing a wider bandwidth is to collect data for each frequency, which will result in a high-quality image. Another significant point to consider is the antenna's 'back beam-to-front beam' power level ratio, as well as the beam's half-power beamwidth. It is well known that antennas designed with all of these stated factors have a higher gain. Effective antennas also provide high levels of directivity. Antennas that operate efficiently also

provide high levels of directivity. Additionally, they must be stable outside of their directionality, which means that the primary lobes of the radiation beams must be focused in near directions throughout the operating frequency range. All of these desired characteristics make it simple to utilize antennas in imaging systems, and good scattering data is another desired characteristic. Thus, antennas employed in the diagnosis of breast cancer using microwave imaging systems must have a wider frequency range, a high and steady directionality, a high gain and efficiency, and a compact structure [3-5].

Along with the high hardware requirements for design and optimization procedures, which is one of the primary constraints to realizing highly efficient and sophisticated system designs today, production costs are crucial. Manufacturing prototypes of high-speed, high-precision and low-cost microwave circuits is a challenging task in microwave engineering. Three-dimensional (3D) printing technology is one of the recent advancements for rapid, high-precision, and low-cost initial production. 3D printing technology provides the manufacturing of three-dimensional models by layering plastic or metallic materials and producing layers according to the requirements. Fused Deposition Modeling (FDM) is one of the most extensively utilized processes in 3D printer technology. The initial model produced with this technique is constructed from melted thermoplastic materials such as acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and polylactic acid (PLA). Models developed using this technology typically have strong mechanical structures in addition to excellent heat and chemical resistance. In recent years, 3D printing technology has gained widespread adoption in a variety of scientific fields, including architecture, mechanical engineering, biomedical engineering, and aerospace engineering [6-8]. Microwave engineering is one of the fields that utilize 3D printing technology. 3D printing technology can be used to manufacture a variety of designs, including waveguides, integrated dielectric waveguides (DBD), slotted array antennas, frequency selective surfaces, dielectric lenses, and KU band horn antennas, where conventional manufacturing methods are difficult or impractical

for laboratory production under certain conditions [9,10]. Implantable, ingestible, and flexible antennas are the three types of antennas utilized in biomedical applications [11]. Implant antennas are permanently implanted into the body and transmit data for the diagnosis of microwave imaging, cardiac rhythm abnormalities, and cancer diagnosis and therapy. Ingestible antennas can be used to identify colon cancer by transmitting specified parameters (e.g., heat) throughout the body. Additionally, recently discovered flexible antennas can be placed on the human skin to transmit blood oxygen and glucose levels, and heart rhythm [12].

This study it is aimed to make the manufacturing of the proposed antenna both easy and cost-effective by utilizing substrate materials with flexible characteristics. Numerous substrate materials, such as paper, fabric, graphene, or jean, have been employed in studies involving flexible structures. While the copper tape was used to design the antennas suited for operating in the ultra-wideband frequency range in this study, substrate materials such as felt with a dielectric constant of 1.3, photographic paper with a dielectric constant of 2.85, and jean with a dielectric constant of 1.76 were used. The antennas that were found to be successful based on the simulation results were manufactured, and it was observed that the fabricated antennas were compatible with the simulation results.

The utilization of flexible materials such as denim, felt, and photographic paper as substrates in antennas can have notable effects on their performance. Here's an explanation of how these materials can impact antenna performance:

1. **Dielectric Properties:** The dielectric properties of the substrate material influence the propagation of electromagnetic waves within the antenna structure. Each fabric material has its own dielectric constant, which affects the impedance matching and radiation characteristics of the antenna. Therefore, the choice of fabric substrate can significantly alter the antenna's performance.
2. **Loss Tangent:** The loss tangent of a material determines its ability to dissipate energy in the

form of heat. Higher loss tangent values in fabric substrates can result in increased signal losses and reduced antenna efficiency. Lower loss tangent values are preferable for achieving optimal antenna performance.

3. **Flexibility and Deformation:** Fabric materials possess inherent flexibility, enabling antennas to conform to irregular or curved surfaces. This flexibility is advantageous for designing conformal antennas that can be integrated into various structures or devices. However, excessive deformation or stretching of the fabric substrate can introduce mechanical stress, altering the electrical properties of the antenna and potentially affecting its performance.
4. **Mechanical Strength:** The mechanical strength of fabric substrates is crucial in maintaining the structural integrity of the antenna. Durable and robust fabric materials ensure that the antenna can withstand environmental factors such as vibrations, impacts, or bending without compromising its functionality.
5. **Fabric Thickness:** The thickness of the fabric substrate can impact the overall dimensions and electrical characteristics of the antenna. Thicker fabrics may result in larger antennas, which can affect resonance frequencies and impedance matching. Balancing the desired antenna performance with the thickness and weight constraints of the fabric substrate is essential.
6. **Conductivity:** Fabric materials are generally not conductive like traditional metal substrates. However, certain fabrics may have conductive properties due to metallic coatings or embedded conductive elements. The conductivity of the fabric substrate directly influences the antenna's radiation efficiency and impedance.

Considering these factors is vital when using fabric materials as substrates, as they can significantly influence antenna performance. Conducting thorough experimental characterization and analysis of the fabric substrate's electrical properties and their impact on antenna performance would provide valuable insights for optimizing the design and implementation of fabric-based antennas.

In summary, both denims, felt, and photo paper, which are frequently preferred substrates in the literature in terms of both textiles and flexible materials, were selected and focused on for the study. Then, a new antenna design in an H-shape was implemented for the radiating part. While different substrates generally had a positive impact on antenna performance, it was observed that they also had differences in terms of dielectric values, which led to variations in antenna return losses and resonance frequencies. Compared to previous studies, our proposed different antenna design allows for operation in wider frequency ranges and offers advantages in terms of providing options based on the desired frequency band or the significance of the material in the intended application, considering the exhibited different resonances.

2. ANTENNA DESIGN AND MANUFACTURING

It is crucial to choose the appropriate substrate and conducting materials for the microstrip antenna design. Along with the features of the materials that compose the antenna, the physical and electrical properties of the antenna control its performance. Surface wave formation within the antenna is an undesirable circumstance in antenna design. As a result, flexible materials with a low dielectric constant are interesting alternatives for minimizing surface wave losses. Additionally, antennas used in biological applications, such as implant antennas, must be biocompatible. Another critical factor to consider is the shape and biological structure of the surface on which the antennas will interface with the human body, as this could affect the performance of the antenna. Low dielectric materials are essential to increasing bandwidth and antenna flexibility.

Microstrip patch antennas are formed by aligning the radiating plane with the desired geometry on the dielectric substrate. On the opposite surface of the dielectric substrate, a ground plane is located in the dimensions required for the antenna to perform efficiently. In this study, the antenna design procedure began with the use of a microstrip line-

fed monopole microstrip antenna with a rectangular radiating plane, as seen in Figure 1. Due to their flexibility and low dielectric characteristics, felt with a thickness of 1.1 mm, photo paper with a thickness of 0.254 mm, and jeans with a thickness of 0.254 mm are chosen as substrates. Following that, rectangular slots are opened from the right and left edges of the radiating plane of the rectangular microstrip antenna to form a horizontal H-shaped radiation plane. Figure 1 (a) and (b) illustrate conventional rectangular microstrip antenna and proposed horizontal H-shaped microstrip antenna (HHMA) designs.

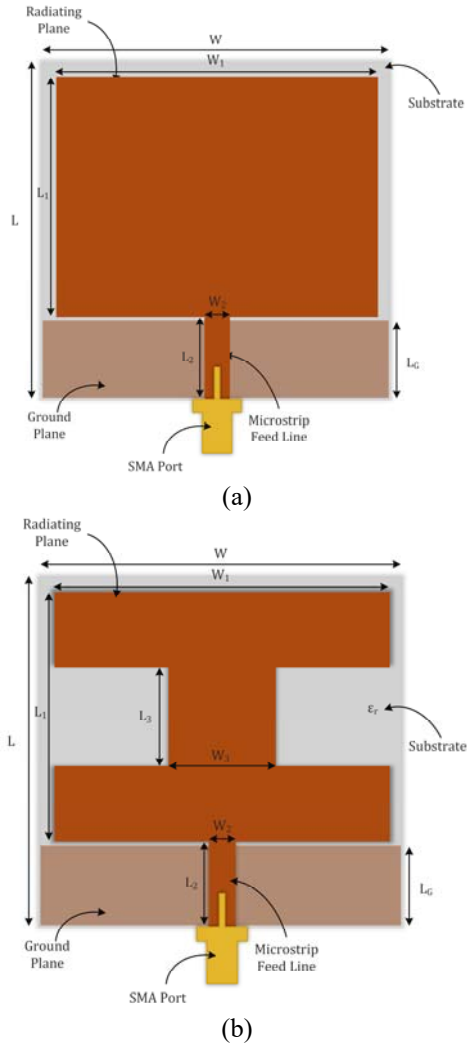


Figure 1. The (a) RMA and (b) proposed HHMA

Table 1. Dimensions of the antennas

Parameters	Dimensions
L	70 mm
L ₁	30 mm
L ₂	20 mm
L ₃	10 mm
W	45 mm
W ₁	35 mm
W ₂	2.98 mm
W ₃	6 mm

The rectangular microstrip antennas illustrated in Figure 1 (a) have their resonant frequencies computed using Equation (1).

$$f_r = \frac{c}{2(L + 2\Delta L)\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

In Equation (1), the parameters f_r , c , L , ΔL , and ϵ_{eff} denote the resonant frequency, the speed of the electromagnetic wave in free space, the length of the patch, the electrical extension of the patch, and the effective dielectric constant of the substrate, respectively. From this point of view, Equations (2) and (3) are used to compute the W_1 width and L_1 length to obtain effective radiation at the resonant frequency f_r .

$$W_1 = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2)$$

$$L_1 = \frac{c}{2f_r\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (3)$$

Additionally, Equations (4) and (5) define the electrical extension ΔL , and the effective dielectric constant ϵ_{eff} stated in Equation (1).

$$\Delta L = (0.412) \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(0.264 + \frac{W_1}{h}\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(0.8 + \frac{W_1}{h}\right)} \quad (4)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_1 + 1}{2} + \left(\frac{\epsilon_1 - 1}{2}\right) \left(1 + 12 \frac{h}{W_1}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Equation (1)-(5) is used to determine the initial dimensions of the antenna design in Figure 1 (a). Following that, as illustrated in Figure 1 (b), two distinct slots were opened. Due to the fact that the loaded slots modify the resonant length of the antenna, the resonant frequency of the proposed antenna cannot be computed using Equation (1)-(5). To optimize the performance of the proposed antenna design, simulations with various antenna dimensions were carried out by using CST Microwave Studio. The proposed antenna was built using a rectangular patch with dimensions $L_1 \times W_1$ on a substrate with dimensions $L \times W$. The ground plane of the antennas is sized $L_G \times W$. The dimensions of the microstrip feed line were

determined to be $L_2 \times W_2$, and the antennas were fed via an SMA connector. The proposed antenna was formed by opening two rectangular patches with dimensions of $L_3 \times \left(\frac{W-W_3}{2} \right)$ on the radiating patch.

Table 1 contains the parameters and values utilized in the design of the antennas.

To analyze the performance of the simulated antennas, three different substrates were used to manufacture the proposed antennas. Figure 2 illustrates antennas manufactured using felt, jean, and photo paper substrates.

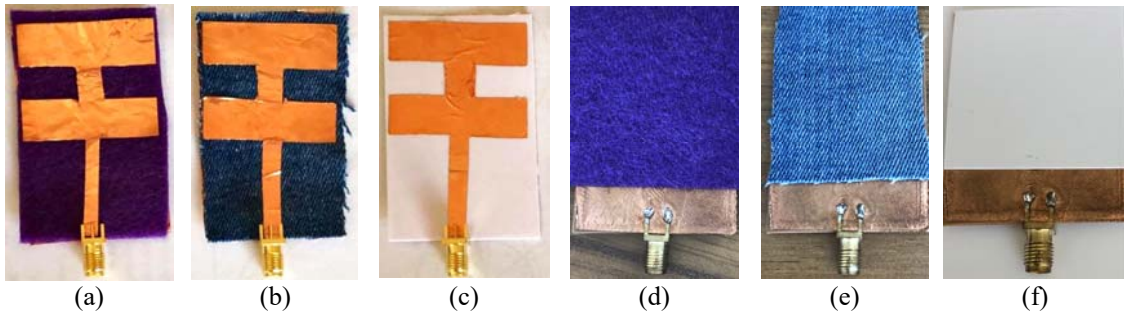


Figure 2. The proposed antennas are based on (a) felt, (b) jean, and (c) photo paper substrates and in (d), (e), and (f), the ground and soldered photos of the respective substrates, felt, denim, and photo paper are as follows.

The antennas were designed, simulated, and manufactured using felt jeans and photo paper substrates. The substrates used had dielectric values ranging from 1.3 to 2.85. The copper tape was used to form the microstrip feeding line, ground plane, and radiating plane of the antennas due to its flexibility and suitability. Due to the fact that microstrip line feeding is preferred in antenna manufacturing, SMA connectors are utilized. The S_{11} values of the manufactured antennas were measured using a PNA-L vector network analyzer over the frequency range of 2 GHz to 10 GHz.

3. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSIONS

The primary objective of this study is to develop a microstrip antenna capable of operating in the ultra-wideband (UWB). There are numerous approaches

for obtaining UWB antennas, including using high dielectric materials, increasing the antenna substrate height, and adding circuit components. This study aims to present a new antenna design suitable for biomedical applications by forming slots in a conventional microstrip antenna patch. The substrate material selection greatly aids impedance matching, and the proposed antenna design should achieve impedance matching. To ensure compatibility with biomedical applications, the proposed antennas were manufactured utilizing materials that are safe for humans, flexible, and have been shown to be the most preferred in literature studies. As seen in Figure 2, the proposed antenna was fabricated utilizing felt, jean, and photo paper materials. The S_{11} performance of the fabricated antennas was measured using a PNA-L microwave network analyzer and is shown in Figure 3. As can be seen from Equation (1), as the

dielectric constant increases, the antenna's frequency characteristic shifts to the lower frequency region. The dielectric constant differences cause significant changes in S_{11} over the 2 GHz and 10 GHz frequency bands and -10 dB bandwidth, respectively. Additionally, due to its low dielectric constant, the felt substrate has the highest resonant frequencies of the three substrates.

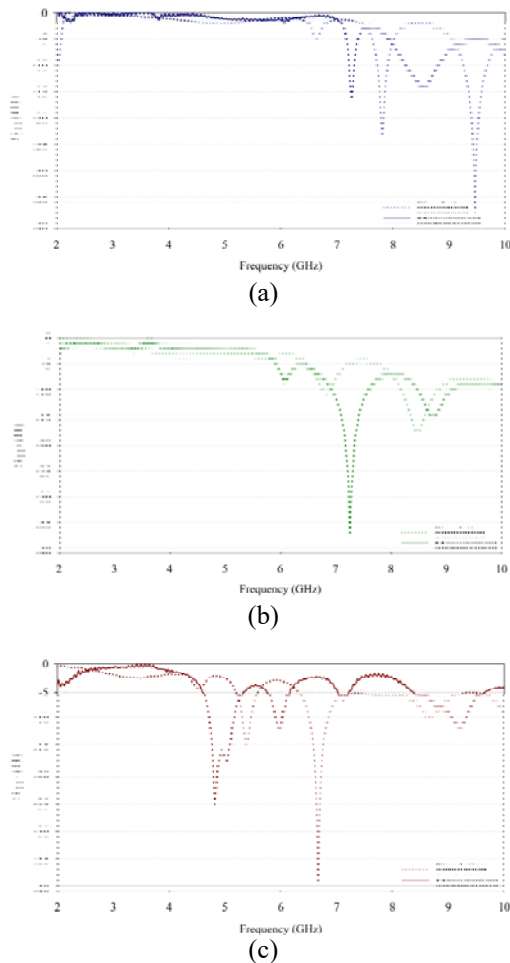


Figure 3. The simulated and measured S_{11} curves of the (a) felt-based, (b) jean-based, and (c) photopaper-based HHMA

Reducing dielectric constants minimize surface wave loss, hence increasing the impedance bandwidth of the material. Additionally, Figure 3 illustrates the effect of various dielectric constants

on antenna performance. Numerous factors such as modifications to the conductive patch of the antenna, inaccuracies in the dimensions of the substrate and conducting planes, inhomogeneity of the dielectric constant across the material due to fabrication and soldering of the feeding all contribute to the discrepancy between simulation and measurements. While the dimensions of the slots in the copper patch are tuned for antenna designs that work well in ultra-wideband, numerous situations involving various substrate applications are considered in this study. The microstrip feeding line with a width of 2.98 mm appears to provide the best impedance matching and radiation characteristics stability. The antennas performed well in terms of S_{11} and bandwidth with all substrate materials. However, the felt substrate outperforms the other two substrates in terms of radiation performance, as the low dielectric constant material minimizes surface wave loss, increasing impedance bandwidth. Their primary benefits are these three antennas' performance, flexibility, low cost, and ease of fabrication. Figure 4 illustrates the surface currents of the proposed antennas utilizing felt, jean, and photo paper substrates at 7 GHz.

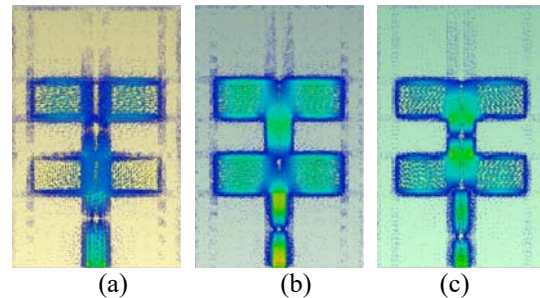


Figure 4. Simulated surface currents of the (a) felt-based, (b) jean-based, and (c) photopaper-based HHMA for 7 GHz

While all three antennas have a reasonable gain, the felt-based antenna has the highest gain. Typically, the gain of microstrip antennas is fairly low due to their small size. However, the gain of the proposed antennas is quite remarkable. The polarity variation of gain is critical when analyzing antennas. By observing this change, it is possible to clearly identify how the gain changes with the 3dB-aperture of the antennas. The two-dimensional variation of the pattern provides information on the

angles at which the transmitting signal is concentrated, the directionality of the antenna, and the optimal location of the receiving antenna. The three-dimensional radiation patterns of the proposed antennas are illustrated in Figure 5.

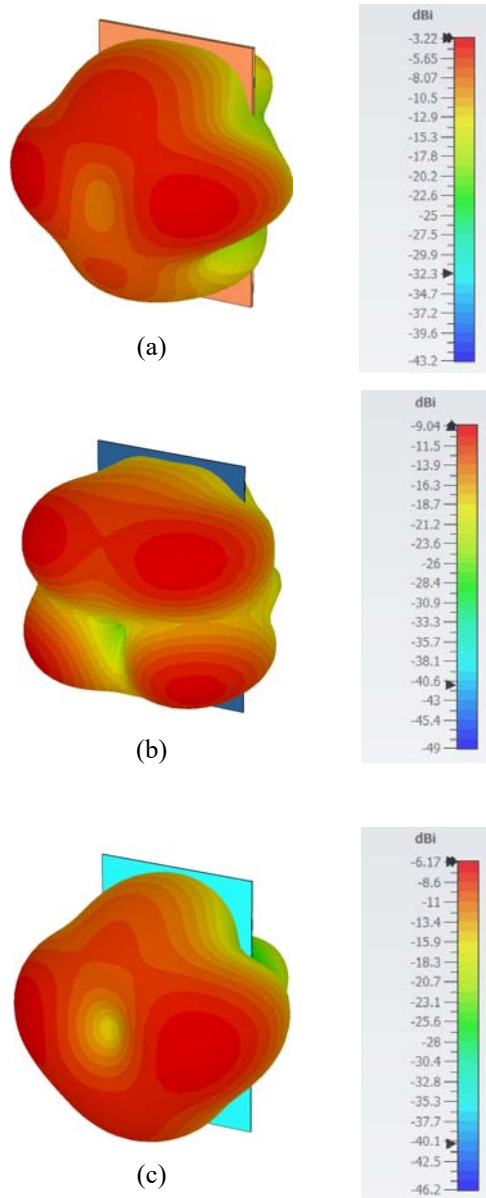


Figure 5. Simulated 3D radiation patterns of the (a) felt-based, (b) jean-based, and (c) photopaper-based HHMAs for 7 GHz

As illustrated in Figure 5, the antennas have remarkable directivity, and the power is distributed almost uniformly. As a result, a new flexible antenna design for biomedical applications is proposed, which increases the bandwidth by opening slots in the radiating plane. Comparative analyses of reflection coefficients, gain, and directivity was performed, and the measured reflection coefficients were found to be consistent with the simulated results. In Table 2, the proposed antennas in this study are compared to those in previous studies, and it is clear that the manufactured antennas perform remarkably well.

4. CONCLUSION

This study proposes a flexible HHMA that may be utilized as both a transmitter and a receiver in microwave imaging systems for the detection of malignancies in organs such as the lung, brain, liver, kidney, and most especially the breast. It was designed and simulated in a full-wave electromagnetic solver prior to getting manufactured as a flexible antenna. To make the antenna flexible, its substrate was made of felt, jean, and photographic paper. A PNA-L microwave network analyzer was used to perform experimental measurements on the fabricated antennas. As a result, the proposed antenna can effectively be used to monitor patients that are at a high risk of developing cancer.

Flexible substrates are important for antennas due to several reasons. Firstly, flexible substrates allow for the design and implementation of conformal antennas. Conformal antennas can be easily molded or shaped to fit irregular or curved surfaces, such as the exteriors of vehicles or aircraft. This flexibility in form factor enables better integration of antennas into various devices and structures. Secondly, flexible substrates offer mechanical robustness and durability. They can withstand vibrations, impacts, and deformations without compromising the performance of the antenna. This is particularly crucial for applications where antennas may be subjected to harsh environmental conditions or physical stresses. Moreover, flexible substrates enable miniaturization and lightweight antenna

designs. By utilizing thin and flexible materials, the overall size and weight of antennas can be significantly reduced. This is especially beneficial in portable or wearable devices where space and weight constraints are critical.

From a future research perspective, there are several areas that can be explored. One direction is the development of novel materials with enhanced flexibility and electrical properties. Researchers can investigate new polymers, composites, or hybrid materials that offer improved flexibility while maintaining high conductivity and low signal losses. Another research area could focus on the optimization of flexible antenna designs for specific applications. Different antenna types, such as patch antennas, helical antennas, or flexible dipole antennas, can be further studied and tailored to meet the unique requirements of diverse wireless

communication systems or IoT devices. Additionally, exploring advanced fabrication techniques, such as additive manufacturing or flexible electronics printing, can contribute to the development of cost-effective and scalable manufacturing processes for flexible antennas. Furthermore, investigations into the impact of mechanical deformation on antenna performance, as well as the development of techniques to mitigate any adverse effects, would be valuable for ensuring reliable and consistent antenna operation in real-world scenarios. Overall, the use of flexible substrates in antennas offers numerous advantages, and future research can focus on material improvements, optimized designs, advanced fabrication methods, and performance analysis to further enhance the capabilities and applications of flexible antennas.

Table 2. A comparison of previous designs with the proposed antennas [13]

Antenna type	Size (in mm) and application	Bandwidth	Conductive material (S/m)	Substrate material
Microstrip patch antenna	65×46×0.127 ISM band application	N/A	Flexible Copper tape	Kapton Polyimide
Microstrip-based koch fractal	39×39×0.508, WBAN applications	2.36-2.55	Cu	Vinyl Polymer based substrate
Microstrip patch	60×60×0.110, C-band and future organic electronics applications	4.43-4.76	PANI/MWCNTs	Rogers RT/Duroid 5870
Multilayer microstrip fractal patch antenna	22×31×0.125, On-package, and on-chip printed antennas	4.79-5.04	Ag NP	Kapton Polyimide
Microstrip patch antenna	40×35×0.6, Intrabody telemedicine systems in the 2.4 GHz ISM bands	2.33-2.53	Cu strips	Photopaper
Z-shaped microstrip patch antenna	45×36×0.135, dual-band Wi-Fi and Flexible devices	N/A	Ag NP	PET
This work (Antenna 1)	35×35×1, UWB tumor detection systems	2.0-10.0	Flexible Copper Tape	Felt
This work (Antenna 2)	35×35×1 UWB tumor detection systems	2.0-10.0	Flexible Copper Tape	Jean
This work (Antenna 3)	35×35×1, UWB tumor detection systems	2.0-10.0	Flexible Copper Tape	Photographic

5. REFERENCES

1. Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., Bray, F.,

2021. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. CA: A Cancer Journal for Clinicians, 71(209-49).

2. WCRF International, Cancer Trends - Statistics per Cancer Type, <https://www.wcrf.org/diet-and-cancer/cancer-trends/>, Access date: June, 2021.
3. Aldhacebi, M.A., Alzoubi, K., Almoneef, T.S., Bamatra, S.M., Attia, H., Ramahi, O.M., 2020. Review of Microwaves Techniques for Breast Cancer Detection. *Sensors*, 20(8), 1-38.
4. Kwon, S., Lee, S., 2016. Recent Advances in Microwave Imaging for Breast Cancer Detection. *International Journal of Biomedical Imaging*, 2016, Article 5054912.
5. Sergieiev, O., 2010. Requirements Analysis and Modelling of an Antenna Element for Breast Cancer Microwave Imaging. Master of Engineering Thesis, Auckland University of Technology.
6. He, Y., Liu, Y., Dyer, B.A., Boone, J.M., Liu, S., Chen, T., Zheng, F., Zhu, Y., Sun, Y., Rong, Y., Qiu, J., 2019. 3D-printed Breast Phantom for Multi-purpose and Multi-modality Imaging. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 9, 63-74.
7. Butscher, A., Bohner, M., Doebelin, N., Hofmann, S., Müller, R., 2013. New Depowdering-friendly Designs for Three-dimensional Printing of Calcium Phosphate Bone Substitutes. *Acta Biomaterialia*, 9(11), 9149-9158.
8. Farooqui, M.F., Shamim, A., 2016. Low Cost Inkjet Printed Smart Bandage for Wireless Monitoring of Chronic Wounds. *Scientific Reports*, 6, 2-3.
9. Ghazali, M.I.M., Karuppuswami, S., Kaur, A., Chahal, P., 2017. 3-D Printed Air Substrates for the Design and Fabrication of RF Components. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 7(6), 982-989.
10. Zhang, S., Arya, R.K., Pandey, S., Vardaxoglou, Y., Whittow, W., Mitra, R., 2016. 3D-printed Planar Graded Index Lenses. *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, 10(13), 1411-1419.
11. Topsakal, E., 2009. Antennas for Medical Applications: Ongoing Research and Future Challenges. *Proceedings of the 2009 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications*, 890-893.
12. Sondas, A., Ucar, M.H.B., 2013. An Implantable Microstrip Antenna Design for Biomedical Telemetry. *International Conference on Electronics, Computer and Computation*, 32-35.
13. Kirtania, S.G., Elger, A.W., Hasan, M.R., Wisniewska, A., Sekhar, K., Karacolak, T., Sekhar, P.K., 2020. Flexible Antennas: A Review. *Micromachines*, 11(9), 847.

Economically the Sivas Basin Natural Anhydrite Potential, Reserve Estimation and Geochemical Characteristics, Central Anatolia, Türkiye

Zekeriya DURAN¹ ORCID 0000-0002-9327-8567

Oktay CANBAZ^{*2} ORCID 0000-0002-8161-1326

¹Sivas Cumhuriyet University, Sivas Vocational School of Technical Sciences, Department of Mining and Mineral Extraction, Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering, Sivas, Türkiye

Geliş tarihi: 17.05.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: DURAN, Z., CANBAZ, O., (2023). Economically the Sivas Basin Natural Anhydrite Potential, Reserve Estimation and Geochemical Characteristics, Central Anatolia, Türkiye. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 421-431.

Abstract

This study focuses on the economization of natural anhydrite, which has a wide range of uses and is environmentally friendly, in Türkiye. Anhydrite, which is one of the most common evaporitic minerals in the world, has almost no usage area in Türkiye. Evaporite deposits consisting of gypsum, anhydrite, halite, bassanite and selenite are prominent in the country, especially in Tertiary period sedimentary basins. The Sivas basin is one of these important Tertiary basins. Mining operates in the basin are carried out only on gypsum and anhydrite is not utilized. This study is carried out on the geological and geochemical characteristics of anhydrite, which is prominent with its usage areas in the world, its potential in the basin and its economic importance. The geochemical and mineralogical analyses are carried out on anhydrite samples taken from the basin. Anhydrite formations up to 300 meters in thickness are detected in the evaporite deposits that outcrop in most of the basin. In addition, a block model is extracted from the drilling data of a mining company operating in the basin and the reserve is calculated. As a result, it is concluded that the Sivas basin has a high potential in terms of anhydrite and should be brought to the national economy.

Keywords: Evaporite, Natural anhydrite, Calcium sulphate, Cement mortar, Nature friendly

Ekonomik Açıdan Sivas Havzası Doğal Anhidrit Potansiyeli, Rezerv Tahmini ve Jeokimyasal Özellikleri, Orta Anadolu, Türkiye

Öz

Bu çalışma, geniş bir kullanım alanına sahip olan ve çevre dostu olan doğal anhidritin Türkiye'de ekonomik hale getirilmesine odaklanmaktadır. Dünyadaki en yaygın evaporitik minerallerden biri olan anhidritin Türkiye'de kullanım alanı yok denecek kadar azdır. Türkiye'de özellikle jips, anhidrit, halit, bassanit ve selenitten oluşan evaporit yatakları Tersiyer çökel havzalarında belirgindir. Sivas havzası da bu önemli

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Oktay CANBAZ, ocanbaz@cumhuriyet.edu.tr

Tersiyer havzalarından biridir. Havzada madencilik faaliyetleri sadece jips (alçıtaşı) üzerinde yapılmakta olup, anhidrit işletilmemektedir. Bu çalışma, dünyada kullanım alanları ve ekonomik önemi ile ön plana çıkan anhidritin havzadaki potansiyeli, jeolojik ve jeokimyasal özellikleri üzerine gerçekleştirilmiştir. Havzadan alınan anhidrit numunelerinde jeokimyasal ve mineralojik analizler yapılmıştır. Havzanın büyük bir bölümünde yüzeyleyen evaporit yataklarında kalınlığı 300 metreyi bulan anhidrit oluşumları tespit edilmiştir. Ayrıca havzada faaliyet gösteren bir maden şirketinin sondaj verileri kullanılarak blok model çıkarılmış ve rezerv hesabı yapılmıştır. Sonuç olarak Sivas havzasının anhidrit açısından yüksek bir potansiyele sahip olduğu ve ülke ekonomisine kazandırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Evaporit, Doğal anhidrit, Kalsiyum sülfat, Çimento harcı, Doğa dostu

1. INTRODUCTION

Gypsum, halite, and anhydrite are the most common sulfide minerals in the earth's crust. Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) occurs mostly as a chemically deposited sedimentary rock in a basin or sabkha environments. However, it can also occur as a result of the hydrothermal fluids, karstification and volcanogenic processes [1]. Anhydrite occurs as a primary mineral in a sabkha depositional or in deep basin environments. Anhydrite is also defined as anhydrous gypsum or anhydrous calcium sulfate in terms of rock formation. Gypsum and anhydrite can deposit simultaneously in a sedimentary environment. They have the ability to change into each other depending on the temperature, pressure properties of the environment and the conditions of being aqueous and/or anhydrous. These changes can sometimes be reversible [1-2].

When anhydrite is mixed with water, it can turn back into a solid and stable material such as gypsum dihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) without the need for another linker [3]. Anhydrite and gypsum can be deposited in a very complex structure in an evaporite sedimentary environment. In order to reveal the characteristics of these deposits, many geological features such as field observations, petrographic examinations and geochemical analyses, depositional type, and structural/tectonic features should be examined.

Sivas basin is one of the important Tertiary basins where evaporitic sediments are intensively outcropped in Türkiye. In recent years, mining operations have been carried out in gypsum suitable for production at the upper levels of these evaporitic deposits to be used in gypsum production. As of

2022, gypsum production is carried out by open pit mining in five different areas in the region. In the production sites, anhydrite formations at the base levels in many areas of evaporitic sediments are left unoperated in the fields. This research is carried out because anhydrite, which has great potential in Turkey, especially in the Sivas basin, has almost no usage areas in the country. In this study, the usage areas of anhydrite in our country and in the world, laboratory studies on the geochemical properties of anhydrite in the Sivas basin, and reserve calculations for its potential are presented.

2. ANHYDRITE USAGE AREAS

Anhydrite and uncalcined gypsum are utilized in practically identical industries. Anhydrite is primarily used in the production of cement, alum plaster, ceramics, fillers, building materials, construction plasters, soil improvement, fertilizer, and sulfuric acid, as well as desiccant in pharmaceutical tablet products and bakery goods [4-8]. On the other hand, [9] suggested that calcium sulfate (dihydrate or gypsum) is suitable for use in construction and mold making, while anhydrite or anhydrous calcium sulfates are suitable for use as fillers in various applications such as paints, plastics, rubber, coatings and cement.

Gypsum and anhydrite are used as SO_3 sources in the cement industry. After the crushing and grinding processes, gypsum, anhydrite, or a gypsum/anhydrite mixture is used as a setting retarder in the production process of Portland cement. According to [1], the addition of calcium sulphate also regulates the cement's early strength characteristics and product shrinkage throughout drying and curing. Portland cement's setting time is

slowed down when small quantities of gypsum or anhydrite are added, although the cement's tensile strength is unaffected [10]. A study was carried out to evaluate the physicommechanical properties of samples obtained by adding different proportions of natural anhydrite to concrete mixtures. As a result of the study, it was stated that natural anhydrite added to concrete mixtures at certain ratios increased the strength and showed linking properties by acting like cement [2].

In the cement industry, calcium sulphate (gypsum or anhydrite) is one of the components of Portland cement that increases the time required for setting [11]. In another study, anhydrite (CaSO_4) and gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) were mixed into two clinker samples at different ratios and compared in terms of strength. Accordingly, it was calculated that anhydrite samples had lower water demand, longer setting times, longer flow diameters, lower compressive strengths at 2 days, and higher compressive strengths at 7 and 28 days compared to gypsum samples. As a result, it was stated that it is possible to produce concrete with higher compressive strength and easier workability of anhydrite samples compared to gypsum samples [12]. In another study, the effectiveness of anhydrite in activating fly ash cement systems was investigated. In the study, it was concluded that the 3-day compressive strength of mortar containing up to 55% fly ash with the addition of 10% anhydrite increased by approximately 70% and the strength increased in the following days. Mortar samples were achieved with a short initial curing period at high temperature (65 °C) before normal water curing. The activating effect of anhydrite was significant for mortars prepared with early wet strength and high fly ash content, but less significant for advanced wet strength and low fly ash content.

The addition of anhydrite also is caused smaller pore sizes and lower porosity for cement mortars with fly ash. Compared to gypsum in terms of equivalent SO_3 content, anhydrite is more effective in increasing the early wet strength but less effective than gypsum in increasing the later wet strength under the same curing conditions. However, when the comparison was made in terms of the same

admixture amount, it was stated that the use of anhydrite is more advantageous since anhydrite is more effective in increasing the strength at both early and advanced wets. It is also stated that further research is needed as other properties of concrete containing anhydrite such as durability are not clear [13].

Anhydrite cement is widely utilized in the construction industry in many countries. It is gypsum calcined at high temperatures (600-700 °C) [14]. Alum plaster is a product obtained by mixing natural anhydrite or waste gypsum with a certain proportion of high viscosity α gypsum and increasing its adhesion and fluidity with additives. This plaster can also be applied with a high viscosity, pressure-resistant machine, and thanks to its fluidity, it can give a smooth surface with a hardness that can be walked on within eight hours. The high-strength hard wall plaster is also called gypsum cement. This plaster can also be used alone or as a mortar and is considered insoluble anhydrite or semi-compound because it requires low-mixed water. It is also stated that the composition of this plaster may include various additives such as solidification retarder and/or accelerator and air entrainer [15].

Another important use area is in the agricultural industry, where gypsum and anhydrite have a beneficial effect on many crops. They can reduce the salinity of saline soils, increase the permeability of clay soils and provide sulfur, calcium and catalytic support to reduce fertilizer use and maximize crop production [11].

Anhydrite has also been used as a filler material in the coal mining industry in West Germany since the mid-1960s. Natural anhydrite can be grinded to less than 7 mm (30% is powder) and then mixed with water and an accelerator (Fe_2SO_4 and K_2SO_4) to produce a fast-hardening, high-strength product. This product can also be used to fill production-induced voids in underground mines [11]. Calcined anhydrite has a high value added and has taken part in various industry sectors. It is used as an inert filler in plastics, as a linker or carrier for herbicides and pesticides in agricultural products and in pharmaceutical products such as aspirin tablets. It is

also used as a desiccant and source of calcium in pizza dough and other bakery products. In addition, it absorbs moisture in products and can then be manufactured and stored without soaking for some time before use. Polyvinyl chloride (PVC) is used as a filler in thermoplastics such as vinyl siding, window frames, moldings, ducts and pipes, where the filler also provides acid resistance and low electrical conductivity and is also used in food packaging [1].

3. GEOLOGY OF THE SIVAS BASIN

After the closure of the Neo-Tethys ocean's northern branch during the Late Cretaceous–Early Paleocene period, The basin developed on a basement of Paleozoic–Mesozoic metamorphic, Jurassic–Cretaceous carbonate platform, and Mesozoic ophiolitic rocks overlying these units [16-19]. Tectonically, it is located between the Pontide, Kırşehir and Tauride tectonic units (Figure 1).

Upper Cretaceous (Maastrichtian) shallow marine limestones crop out at the bottom of the basin. Upper Maastrichtian-Paleocene volcano-sedimentary rocks and Paleocene-Eocene period volcanic and sedimentary rocks emplaced by

cutting the basement rocks are located on this unit. Oligo-Miocene evaporitic deposits unconformably overlie these units. Upper Miocene-Pliocene units, which contain volcanic levels such as basalt in places, follow these units unconformably [19]. Young sediments of Pliocene-Quaternary unconformably overlie older units in different parts of the basin. Due to the fact that the Sivas basin has complex geology due to intense tectonic effects, it has been studied by researchers by dividing it into subgroups. Depending on the faults, it is divided into 4 different sub-basins: Pazarcık-Yıldızeli, Akkışla-Düzyayla, Şarkışla-Celalli and Akkışla-Altınyayla [19]. According to the sedimentary sequences, they are divided into 5 groups as Maastrichtian-Paleocene (I), Eocene (II), Early Oligocene (III), Middle Eocene -Middle Oligocene (IV) and Late Miocene-Pliocene (V) [23].

The evaporitic deposits of the Sivas basin, which are the subject of this study, contain gypsum, anhydrite, halite, bassanite, selenite and occasional celestine formations and are outcrop in many areas of the basin (Figure 2). In recent years, many studies have been carried out on salt tectonics and hydrocarbon potential in the basin [16,23,24-36].

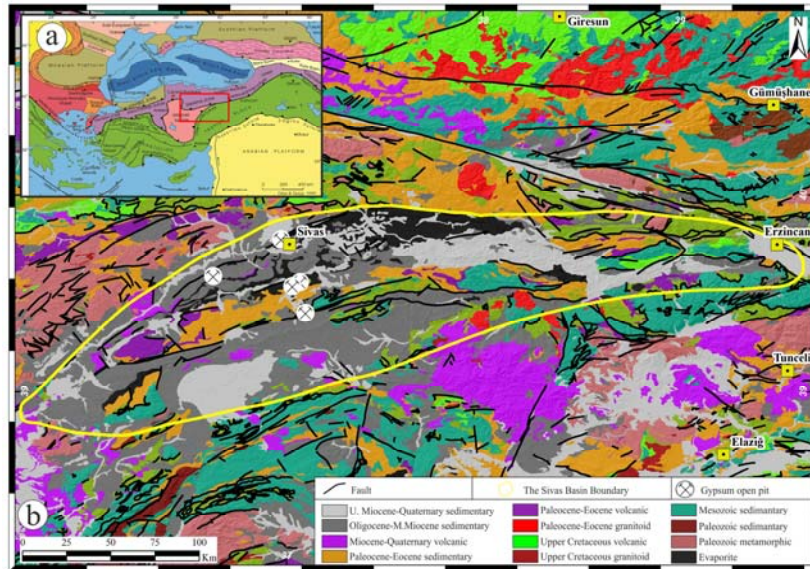


Figure 1. a) Turkey tectonic map [20], b) Geology of Sivas basin and its surroundings (simplified from [21])

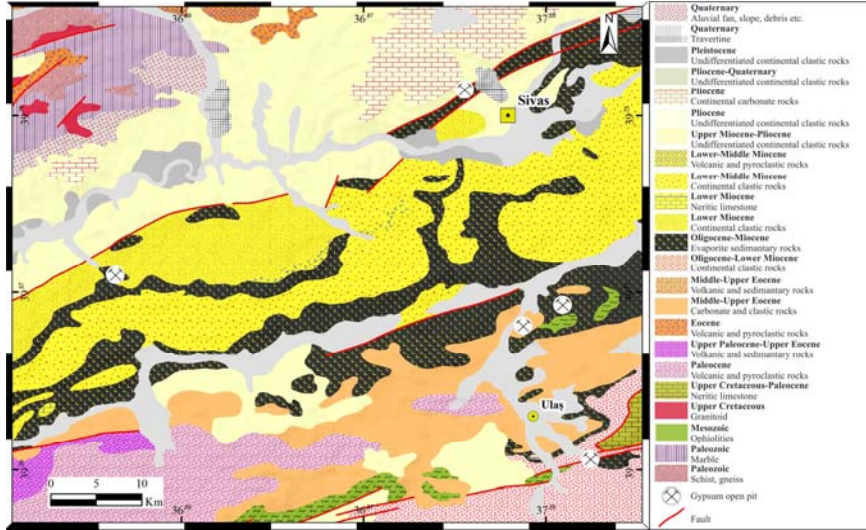


Figure 2. Geology map of the gypsum open pits and its surroundings (Simplified from [22])

The gypsum, which is outcrop in the northern part of the basin (Şarkışla-Celalli subbasin), is generally included in the Hafik Formation, which also includes sandstone, siltstone and conglomerate levels and consists of lagoonal deposits [26,27]. The thickness of the unit is reported to reach up to 750 meters. In the southern parts of the basin, it is named Tuzhisar, Küçüktuzhisar and Ortaköy Formations [25,37-41]. The thickness of the unit is reported to be 200-250 meters according to [40] and 500 m according to [42]. The thicknesses of these units may vary from place to place. The main reasons for these differences are the uplifts due to intense tectonic activities in the basin [43] and diapiric uplifts due to salt tectonics [16,23].

4. ANHYDRITE POTENTIAL OF THE SİVAS BASIN

As of 2022, approximately 600,000 tons of gypsum was produced from five operating licensed sites within the Sivas basin borders. Approximately 45% of the production is used in cement factories and the remaining part is used in powder gypsum production in gypsum factories. These fields are within the borders of the Sivas province center and Ulaş and Yıldızeli districts. On the other hand, gypsum sites are planned to be operated in Gemerek district in the near future. Therefore, gypsum production will increase in the near future thanks to

the powder gypsum and plate production facilities under construction in the region. In addition, the rich gypsum deposits in the Sivas basin constitute an alternative for cement factories in Southeastern Anatolia.

During the field studies where the gypsum mining sites near the southern parts of the basin, anhydrite layers are observed that the anhydrite is in the lower levels of the gypsum and not outcrop. The gypsum thicknesses are between 5 to 60 meters (Figure 3).

Since gypsum outcrops on the surface in the Sivas basin, it is relatively easy to reserve calculates. However, since anhydrite is under these gypsum units, drilling data are required to calculate its reserves. For this reason, the anhydrite potential of the site is modeled with the Micromine program, taking into account the drilling program carried out by a mining company operating in the region. Information on the location of the mining license area and exploration drilling logs cannot be given due to the agreement made during the acquisition of the drilling data. For block modeling, 64 exploration drillings with a total length of 5327 m are utilized. The drillings are distributed over an area of 310 m (N-S direction) x 930 m (E-W direction) with depths ranging from 12 m to 436 m.

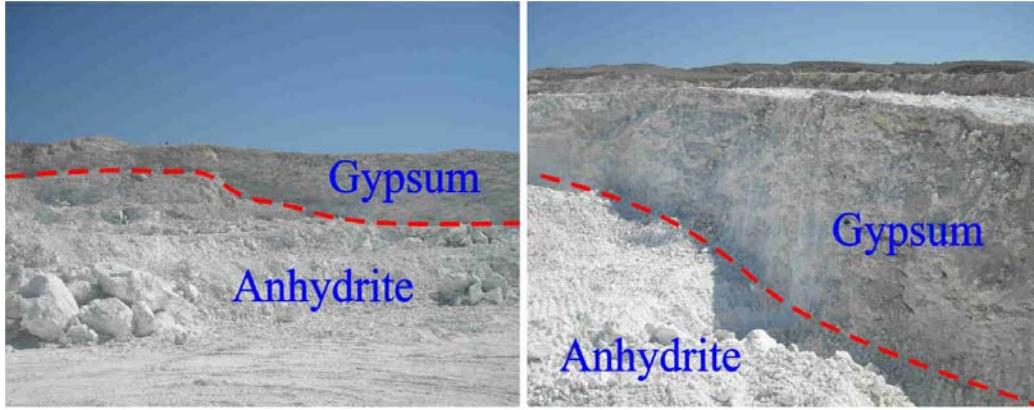


Figure 3. View from the evaporite deposits in the south of the Sivas basin.

The drilling elevations also vary between 1368.50 m and 1429.10m. The drilling data in the Excel file is imported into the package program and collar.dat, survey.dat, litho.dat, and assay.dat files are created. Subsequently, the drilling database was created and verified and the validity of the data was confirmed by determining that there were no missing or overlapping drillings, as well as no missing intervals in any drilling. Gypsum and anhydrite units were cut in the drillings. The dimensions of the sub-blocks forming the block model for the solid body were taken as 5 m in X, Y and Z directions. Thus, the volume of each sub-block is 125 m³. In addition, the block dimensions were allowed to be reduced by a factor of 5 for more precise modeling, especially at the points where the block intersects the land surface. Thus, a block of 1 m³ with dimensions of 1 m × 1 m × 1 m can be formed

in areas where the empty block model is in contact with another surface. To prepare the geologic block model, wireframe sets representing gypsum and anhydrite units were first created and then the spatial data of these wireframes were assigned to sub-blocks within the block model. A total of 722,435 blocks were calculated to create the solid body. Gypsum constituted 76.97% and anhydrite 23.03% of the blocks. The algorithm used for modeling was run based on the inverse square of the distance (IDP). The aim is to assign the composited gypsum and anhydrite data to all sub-blocks in the previously prepared block model on a distance-weighted basis using the anisotropic IDP algorithm embedded in the package program. The gypsum and anhydrite source block model and cross sections created with IDP is shown in Figure 4-6.

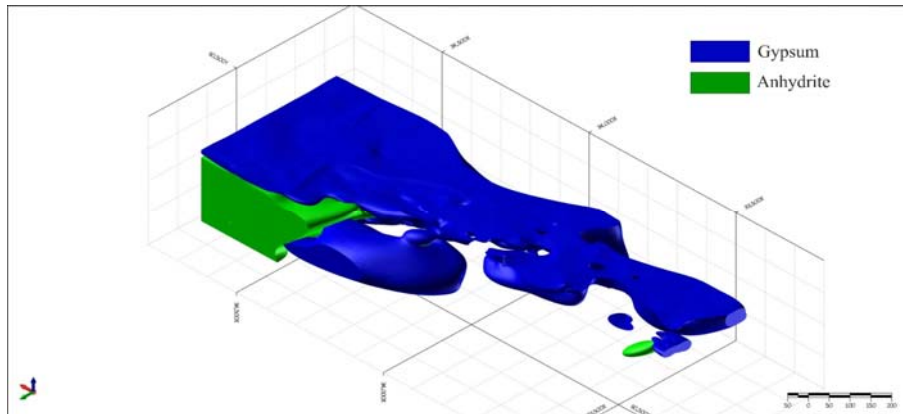


Figure 4. Gypsum and anhydrite resource block model with IDP (isometric view to the northwest)

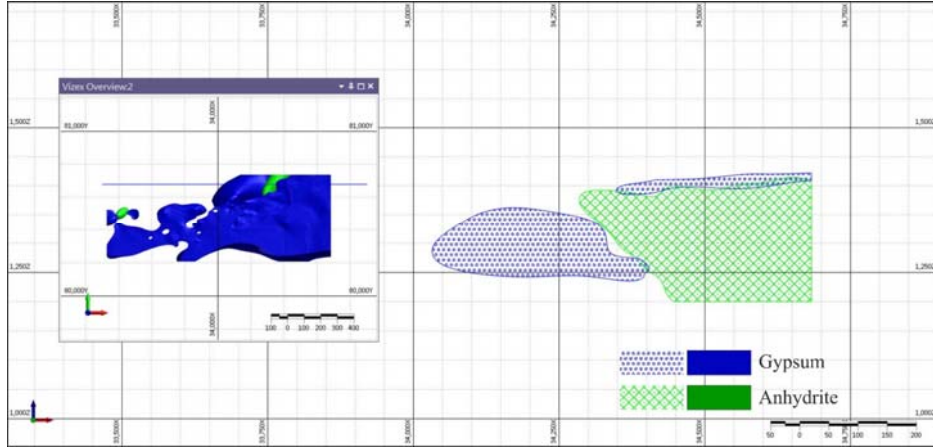


Figure 5. Cross section from the geological block model (view from the west)

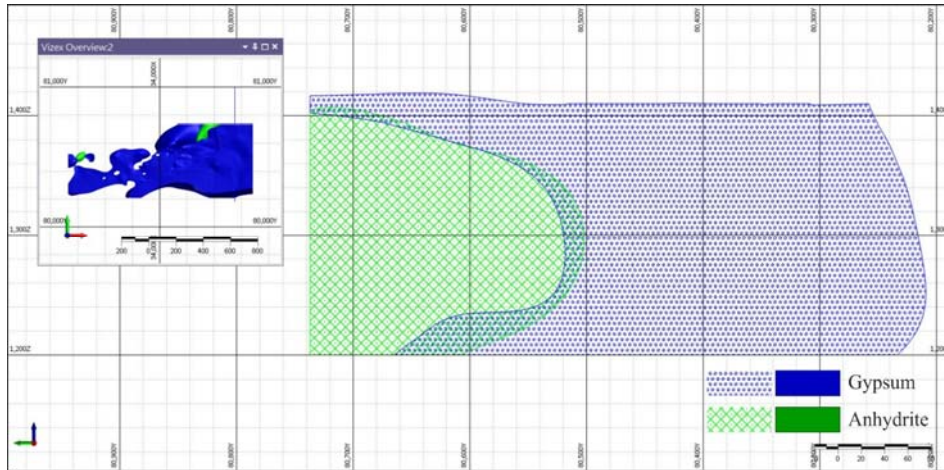


Figure 6. Cross section from the geological block model (view from the north)

5. LABORATORY RESULTS

Representative anhydrite samples collected during field studies were crushed and ground into powder samples for geochemical analyses and X-Ray Diffractometer (XRD) investigations. XRD, portable X-Ray Fluorescence (pXRF), and mineralogical analyses were performed in the study. XRD analysis was carried out at Istanbul Technical University, pXRF analysis at Sivas Cumhuriyet University and mineralogical analysis at Turkish Cement Industrialists' Association laboratories.

Bruker brand X-ray diffractometer was used for the extraction of X-ray diffractometer mineral patterns.

The curves in the diagrams were extracted at 40 kV and 40 mA using Cu (copper) anode. K-Alpha1 [\AA] value: 1,54060.

X-Ray Fluorescence analysis was performed by chemical analysis with a portable Thermo Scientific Gold+ brand XRF device. Mining Cu/Zn mode was kept for 120 seconds and analyzed.

Anhydrite is macroscopically white, gray, bluish, sometimes transparent, and semi-transparent in color and is generally observed in a massive structure (Figure 7a). According to the literature, the specific gravity of white anhydrite is 2.98 g/cm^3 and its hardness is accepted as 3.5 according to the Mohs hardness scale [44].

XRD, pXRF, and mineralogical analyses were performed on representative anhydrite samples taken from the mining sites in the basin. As an evaporitic mineral, anhydrite occurs together with other evaporitic minerals gypsum and halite. Therefore, gypsum and halite mineral patterns can also be observed on a minor scale, although gypsum is the main mineral detected in XRD analysis of powdered anhydrite samples (Figure 7b). The pXRF analysis shows the elemental distribution as

S (39.04%), Ca (29.78%), Sr (1.20%) and trace amounts of other elements (Figure 7c). The reason for the observation of Sr element can be supported by the presence of celestine formations in the Sivas basin and the presence of celestine quarries operated from the past to the present. CaO (39.8%), SO₃ (56.9%), Crystal Water (3%), SiO₂ (<1%) and (Cl< 0.01%) values are also mineralogical analysis results of the anhydrite sample.

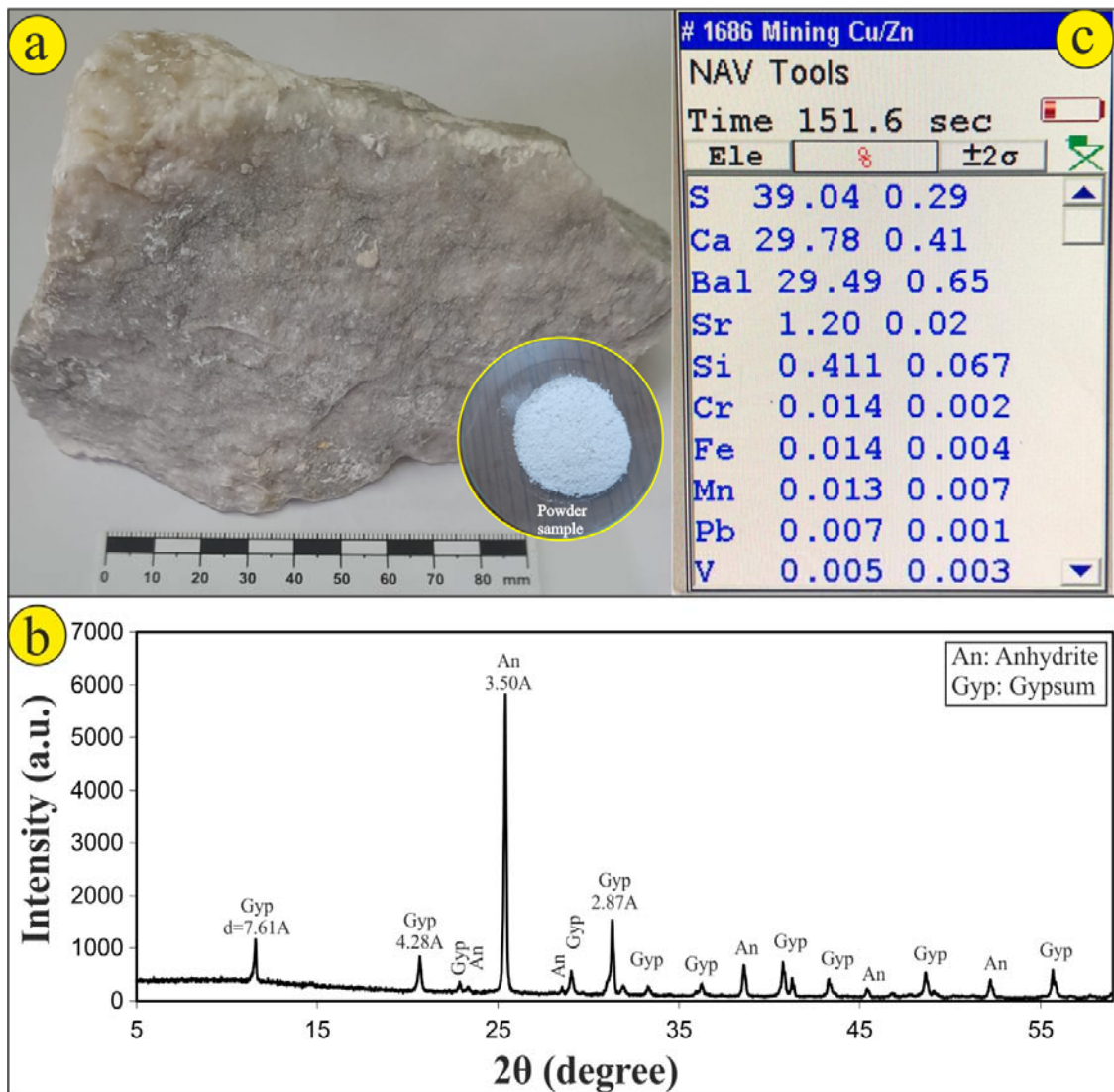


Figure 7. a) Anhydrite hand sample and its powdered form, b) XRD analysis result, c) pXRF analysis result

6. DISCUSSION AND CONCLUSION

This study is carried out on anhydrite, which is widely used in the world but has extremely limited use in Türkiye. Within the borders of the country, especially in the Tertiary basins, evaporitic deposits are widespread. Evaporitic deposits of the Sivas basin constitute one of them. The first thing that comes to mind when it comes to evaporites is gypsum. However, halite and anhydrite are also the most common evaporite minerals. So far only gypsum is being operated in the Sivas basin evaporites. In the lower levels of some license areas where gypsum is operated, anhydrite is left in place because it is not operated for any purpose. However, when the uses of anhydrite in the world are considered, it is seen that anhydrite is almost as important as gypsum and its usage areas are also wide. According to the literature, anhydrite, which is limited in some countries, is produced by the calcination of gypsum. In Türkiye, even though the operating cost is lower than that of gypsum because there is no stripping cost, these deposits are left in place without being operated. Therefore, it is extremely important to utilize the anhydrite potential in the country and especially in the Sivas basin.

In this study, the anhydrite reserve in a mining license area with a surface area of 28.83 hectares where gypsum is operated in evaporitic deposits in the region is calculated as 13,397,019.869 m³. According to the block model, although there are drillings where the anhydrite thickness reaches 300 m, there are also drillings that do not cut anhydrite. This leads to the possibility that not every evaporitic mass that comes to the surface in the region will have anhydrite at the bottom levels. Nevertheless, it should be taken into account that the anhydrite potential of the Sivas basin, which has a surface area of 212.034 hectares may be very high. For this reason, the specialist should conduct research and development studies in anhydrite uses areas in the country. Considering that gypsum and anhydrite are turned into products in today's world where environmental awareness is becoming more important day by day, it should not be forgotten consideration that gypsum-based products are an environmentally friendly sector.

7. ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank Prof. Dr. Bülent Erdem and Abdulgani Eşiyok, the Mining Engineer in charge of Micromine Turkey, for their contributions to the modeling studies

8. REFERENCES

1. Kogel, J.E., Trivedi, N.C., Barker, J.M., Krukowski, S.T., 2009. Industrial Minerals and Rocks. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), USA, 1565.
2. Güneşli, H., Yapıcı, N., Karahan, S., 2016. Doğal Anhidritin Beton Bileşeni Olarak Kullanımı, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 7-15.
3. Kalkan, Ş.O., Gündüz, L., 2018. Effect of Porous Aggregate Size on the Techno-Mechanical Properties of Cementless Lightweight Mortars. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 5(1), 168-175.
4. Chatterjee, K.K., 2009. Uses of Industrial Minerals. Rocks and Freshwater, Nova Science Publishers, New York, 598.
5. Karahan, G., Erşahin, S., 2016. Jips: Özellikleri, Çevresel Davranışları ve Toprak Islah Maddesi Olarak Kullanımı. Anatolian Journal of Forest Research, 2(1-2) 45-53.
6. Türk Çimento, 2021. Çimento Mühendisliği El Kitabı, Kalite Bölümü, Ankara, 123.
7. Danucem, 2023. <https://www.danucem.com/p/62/anhydrite-gypsum#:~:text=Unlike%20gypsum%2C%20which%20is%20hydrated,of%20fertilisers%20or%20sulphuric%20acid.> Access date: 22.03.2023.
8. Geology, 2023. <https://geology.com/minerals/anhydrite.shtml>. Access date: 22.03.2023.
9. Tangboriboon, N., Unjan, W., Sangwan, W., Sirivat, A., 2018. Preparation of Anhydrite From Eggshell Via Pyrolysis. De Gruyter, Green Process Synth; 7, 139-146.
10. Adams, G.G., 1996. Gypsum and Anhydrite in Nova Scotia, Nova Scotia Department of Natural Resources Mines and Energy Branches, 20.
11. Manoutsoglou, E., Vachlas, G., Panagopoulos, G., Hamdan, H., 2010. Delineation of

- Gypsum/anhydrite Transition Zone Using Electrical Tomography. A Case Study In An Active Open Pit, Altsi, Crete, Greece, *Journal Of The Balkan Geophysical Society*, 13(2), 21-28.
12. Onat, L.O., Valiyev, K.R., Agapov, R.V., Kangarli, L.M., 2016. Analysis of Anhydrite Gypsum Effects on Quality of Cement. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(8), 824-829.
 13. Poon, C.S., Kou, S.C., Lam, L., Lin, Z.S., 2001. Activation of Fly Ash/Cement Systems Using Calcium Sulfate Anhydrite (CaSO₄). *Cement and Concrete Research*, 31(6), 873-881.
 14. Leskeviciene, V., Nizeviciene, D., 2010. Anhydrite Binder Calcined From Phosphogypsum. *Ceramics-Silikáty*, 54(2), 152-159.
 15. Hüsem, F., 2014. Alçı Taşının Transformasyonu ve Etki Eden Unsurlar. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Programı, İstanbul, 48.
 16. Callot, J.P., Ribes, C., Kergaravat, C., Bonnel, C., Temiz, H., Poisson, A., Vrielynck, B., Salel, J.F., Ringenbach, J.C., 2014. Salt Tectonics In The Sivas Basin (Turkey): Crossing Salt Walls and Minibasins. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 33-42.
 17. Cater, J.M.L., Hanna, S.S., Ries, A.C., Turner, P., 1991. Tertiary Evolution of The Sivas Basin, Central Turkey. *Tectonophysics*, 29-46.
 18. Gökten, E., Kelling, G., 1991. Hafik Kuzeyinde Senozoyik İstifinin Stratigrafisi ve Tektoniği; Sivas-Refahiye Havzası Kuzey Kenarında Tektonik Kontrol, Altay Acar, Jeoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı. 113-123. Adana.
 19. Yılmaz, A., Yılmaz, H., 2006. Characteristic Features and Structural Evolution of a Post Collisional Basin: The Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*. 164-176.
 20. Okay, A.I., Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156, 475-515.
 21. MTA Genel Müdürlüğü, 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası, Sivas Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.
 22. Yılmaz, A., Uysal, Ş., Bedi, Y., Atabay, E., Yusufoglu, H., Havzoglu, T., Aydın, N., 1997. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, Sivas-F23 Paftası. MTA Jeolojik Etüdler Dairesi Derlemesi, 1-15.
 23. Legeay, E., Ringenbach, J.C., Kergaravat, C., Pichat, A., Mohn, G., Verges, J., Kavak, K.Ş., Callot, J.P., 2019. Structure and Kinematics of The Central Sivas Basin (Turkey): Salt Deposition and Tectonics in An Evolving Fold-and-Thrust Belt. *Geological Society Special Publication*, 490, 361-396.
 24. Kurtman, F., Akkuş, M., 1971. Doğu Anadolu'daki Ara Basenler ve Bunların Petrol Olanakları. *MTA Dergisi*, 77, 1-10.
 25. Gökten, E., 1983. Şarkışla (Sivas) Güney-Güneydoğusunun Stratigrafisi ve Jeolojik Evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 10, 13-22.
 26. Aktimur, H.T., Tekirli, M.E., Yurdakul, M.E., 1990. Sivas-Erzincan Tersiyer Havzasının Jeolojisi. *MTA Dergisi*, 111, 25-36.
 27. Guezou, J.C., Temiz, H., Poisson, A., Gürsoy, H., 1996. Tectonics of the Sivas Basin: The Neogene Record of the Anatolian Accretion Along the Inner Tauric Suture. *International Geology Review*, 901-925.
 28. Poisson, A., Guezou, J.C., Ozturk A, İnan, S., Temiz, H., Gürsoy, H., Kavak, K.S., Özden, S., 1996. Tectonic Setting and Evolution of the Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey. *International Geology Review*, 38, 838-853.
 29. Gürsoy, H., Piper, J.D.A., Tatar, O., Temiz, H., 1997. A Palaeomagnetic Study of the Sivas Basin, Central Turkey: Crustal Deformation During Lateral Extrusion of the Anatolian Block. *Tectonophysics*, 89-105.
 30. Dirik, K., Göncüoğlu, M.C., Kozlu, H., 1999. Stratigraphy and Pre-Miocene Tectonic Evolution of the Southwestern Part of the Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey. *Geological Journal*, 34, 303-319.
 31. Bilgiç, T., Terlemez, İ., 2007. 1: 100 000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Sivas-J36 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
 32. Onal, K.M., Buyuksarac, A., Aydemir, A., Ates, A., 2008. Investigation of the Deep Structure of the Sivas Basin (Innereast Anatolia, Turkey) with geophysical methods. *Tectonophysics*. 186-197.

33. Poisson, A., Vrielynck, B., Wernli, R., Negri, A., Bassetti, M.A., Büyükmeriç, Y., Özer, S., Guillou, H., Kaan S. Kavak, K.S., Temiz, H., Orszag-Sperber, F., 2016. Miocene Transgression in the Central and Eastern Parts of the Sivas Basin (Central Anatolia, Turkey) and the Cenozoic Palaeogeographical Evolution. *International Journal of Earth Sciences*, 339-368.
34. Kangal, Ö., Erdem, N.Ö., Varol, B.E., 2017. Depositional Stages of the Eğribucak Inner Basin (Terrestrial to Marine Evaporite and Carbonate) from the Sivas Basin (Central Anatolia, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 26, 127-146.
35. Akkiraz, M.S., Kangal, Ö., Erdem, N.Ö., Büyükmeriç, Y., Doğruöz, C., 2018. Palaeontological Evidence and Sedimentary Facies in a Lower Miocene (Aquitanian) Succession from the Bingöl Minibasin (Sivas Basin), Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 329-348.
36. Demir, Ç.Ş., Uçurum, A., Efe, A., 2019. Akkaya Sölestin Yatağının Jeolojisi, Mineralojik-Petrografik Özellikleri ve İzotop (Sr, S, O, H) Jeokimyası (Ulaş, Sivas-Türkiye). *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 216-237.
37. Altınlı, I.E., 1969. Uzunyayla ve Yakın Dolayının Jeolojik İncelenmesi. Unpublished, Turkish Petroleum Corporation Report, 448, 86 (in Turkish).
38. Erkan, E.N., Özer, S., Sümengen, M., Terlemez, İ., 1978. Sarız, Şarkışla, Gemerek, Tomarza Arasının Temel Jeolojisi. MTA Rapor, 5641, Ankara.
39. Tekeli, O., Varol, B., Gökten, E., Keshin, Y., Özaksoy, V., Işık, V., 1992. Sivas Havzasının Batı Kesiminin Jeolojisi. *Turkish Petroleum Corporation (TPAO)*, 3173 (in Turkish).
40. Atalay, Z., 1993. Sivas'ın Batısı ve Güneybatısındaki Karasal Neojen Çökellerinin Stratigrafisi ve Çökel Ortamları. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas, 219.
41. Önal, M., Demir, O., Öztas, Y., 1999. Uzunyayla Baseninin Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları. *Turkish Petroleum Corporation*, Unpublished Report, No. 3984,76 (in Turkish).
42. Karadenizli, L., Varol, B.K., Sarac, G., Gedik, F., 2016. Late Eocene-Early Miocene Palaeogeographic Evolution of Central Eastern Anatolian Basins, the Closure of the Neo-Tethys Ocean and Continental Collision. *Journal of the Geological Society of India*, 88(6), 673-824.
43. Çiner, A., Kosun, E., Deynoux, M., 2002. Fluvial, Evaporitic and Shallow-marine Facies Architecture, Depositional Evolution And Cyclicity in the Sivas Basin (Lower to Middle Miocene), Central Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 147-165.
44. MTA Genel Müdürlüğü, 2023. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/anhid>, Access date: 23.03.2023.

Sürdürülebilir Tekstil Liflerinden Dokunmuş Dijital Baskılı Kumaşların Dikilebilirlik Performansı Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Füsun DOBA KADEM*¹ ORCID 0000-0002-7764-5910
Gülnur ÖZDEMİR² ORCID 0000-0001-7425-4562

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana
²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Tekstil-Giyim-Ayakkabı ve Deri Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 04.06.2023 Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: DOBA KADEM, F., ÖZDEMİR, G., (2023). Sürdürülebilir Tekstil Liflerinden Dokunmuş Dijital Baskılı Kumaşların Dikilebilirlik Performansı Üzerine Deneysel Bir Çalışma. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 433-440.

Öz

Bu çalışmada, selüloz esaslı hammaddelerden elde edilen dokuma kumaşlara reaktif boyarmaddelerle dijital baskı yapılmış ve hammaddenin dikilebilirliğe etkisi incelenmiştir. Çalışmada, atkı ipliği üretiminde; konvansiyonel pamuk, organik pamuk, geri dönüşüm pamuk, viskon, ecovero viskon, bambu, keten, kenevir olmak üzere farklı hammaddeler seçilmiştir. Çözgü ipliği olarak ise %100 karde pamuk ipliği kullanılmıştır. Ön terbiye işleminden geçirildikten sonra kumaşlara dijital baskı uygulanmıştır. Baskı öncesi ve baskı sonrası tüm kumaşlara L&M dikilebilirlik testi yapılmış, sonuçlar değerlendirilmiştir. 9 farklı hammaddeden üretilmiş kumaşların tümünde dijital baskı işleminin iğne penetrasyon kuvvetlerini (gf) ve dikilebilirlik (%) değerlerini artırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir elyaf, Dijital baskı, Dikilebilirlik, İğne penetrasyon kuvveti

An Experimental Study on the Sewability Performance of Digital Printed Fabrics Woven from Sustainable Textile Fibers

Abstract

In this study, woven fabrics obtained from cellulose-based raw materials were digitally printed with reactive dyestuffs and the effect of the raw material on sewability was investigated. In the study, different raw materials such as conventional cotton, organic cotton, recycled cotton, viscose, ecovero viscose, bamboo, linen, hemp were selected as weft yarn. 100% carded cotton was used as warp thread. After pre-treatment, digital printing was applied to the fabrics. The L&M sewability test was performed on all fabrics before and after printing and the results were evaluated. It was determined that the digital printing process increased the needle penetration force (gf) and sewability (%) values in all fabrics obtained from 9 different raw materials.

Keywords: Sustainable fibre, Digital printing, Sewability, Needle penetration force

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Füsun DOBA KADEM, fusunkadem01@gmail.com

1. GİRİŞ

Kumaş üretim parametreleri ve uygulanan işlemler kumaş kalitesini etkileyen önemli unsurlardır. Kumaşların kullanım alanı dikkate alındığında performans kalitesiyle ilişkili özelliklerinden biri de kumaşın dikilebilirliğidir. Bir kumaşın dikilebilirliği, kumaşın ham maddesinin türü, sıklığı, gramajı, yumuşaklığı, uygulanan terbiye işlemleri vb. değerler ile ilgilidir. Dikilebilirliği uygun olan kumaşlar genel olarak dikiş işlemi ile montaj kolaylığı sağlayabilen kumaşlardır.

Genel olarak giysi imalatında dikilebilirlik çalışmalarında, günümüzün gelişmiş giysi üretim süreçlerinde yüksek hızlı dikiş makineleri kullanılması, iplikte çok yüksek gerilimlere ve ayrıca yüksek penetrasyon kuvvetleri uygulanmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, hem dikiş ipliği hem de kumaşı oluşturan iplikler dikiş işlemi sırasında aşınıp kopabilmektedir. Kullanılan kumaş yoğun, kalın ve sertse hasar daha kritik hale gelebilmektedir [1].

Dokuma kumaşlarda dikilebilirlik özelliği performansı, dikiş iğnesinin kumaş içerisinden geçerken atkı ve çözgü ipliklerinin birbirinden ayrılmasına ve bu sayede dikişin kumaşa zarar vermeden oluşmasına bağlıdır. Dikiş iğnesi batış kuvveti, dikiş prosesinin bir sonucu olarak meydana gelen zararın kantitatif olarak ölçümüdür [2].

Literatürde dikilebilirlik konusunda yapılan çalışmaların son yıllarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu kapsamda yapılmış çalışmalardan bir bölümü önemli noktaları ile özetlenmiştir.

Farklı konstrüksiyona sahip denim kumaşlar, iki farklı dikiş ipliği ve iki farklı dikiş sıklığında standartlara uygun şekilde dikilmiş ve dikiş mukavemeti testleri uygulanmıştır. Aynı kumaşlara L&M dikilebilirlik testi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kumaşları oluşturan iplik sıklıkları ve kalınlıkları arttıkça dikilebilirlik kuvvetinin (gf) arttığı ve kumaşın dikilebilirliğinin zorlaştığı belirlenmiştir [2].

Ala ve Gülşen Bakıcı iplik numarası Ne 30 olan 1×1 ribana örme kumaşlarda dikilebilirlik üzerine

deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ilmek yoğunluğunun artması ile örmenin iğne penetrasyon değerleri üzerinde etkili olduğu ayrıca kumaş dikilebilirliği ile dikiş yoğunluğu arasında yüksek bir korelasyon olduğu belirlenmiştir [3].

Bir başka çalışmada, kumaş kat sayısı ile iğne batış kuvveti arasında doğru orantılı bir artışın olduğu buna paralel olarak da kumaş kat sayısının artmasıyla iğne batış kuvvetinin artmasının kumaşta oluşabilecek hasarları artırabileceği gözlemlenmiştir [4].

Dokuma astarlık kumaşların, L&M Dikilebilirlik Test Cihazı kullanılarak dikilebilirlik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen bulgularda penetrasyon kuvveti, kumaş birim ağırlığı ve kumaş kalınlığı ile ilişkilendirilmiştir. Kumaşların ağırlık ve kalınlık derecesi arttıkça dikilebilirlik direncinin de arttığı tespit edilmiştir [5].

Yine bir başka çalışmada astarlık kumaşların dikilebilirliği incelenmiştir. Çalışma sonucunda, iplik sayısı ve yoğunluğunun astar kumaşlarının dikilebilirlik değerleri üzerinde doğrudan etkisi olduğu görülmüştür. Ayrıca dikiş iğnesi penetrasyon kuvveti astar kumaşların, her iki yöndeki kumaş yoğunluğundan ve iplik sayısından etkilenmiştir [6].

Tencel kumaşlar ile 6 farklı tipte dikiş ipliği kullanılarak, farklı gramaj ve örgü türlerindeki kumaşların, değişik yönlerde, farklı dikiş iplikleri ve dikiş sıklıklarında dikiş mukavemetine ve uzamasına etkileri incelenmiştir. Bez ayağı örgü yapılarının dimi örgü yapılarına göre daha fazla mukavemet gösterdikleri gözlenmiştir. Dikiş ipliklerinin kalınlaşmasıyla, atkı, çözgü ve verev yönlerde dikiş mukavemet değerlerinin arttığı, dikiş ipliklerinin incilmesiyle dikiş mukavemetinin azaldığı, verev yönde en yüksek mukavemetin sağlandığı, çözgü yönünde en düşük mukavemetin elde edildiği; ayrıca dikiş sıklığı artışının mukavemet ve uzamayı arttırdığı tespit edilmiştir [7].

Gülşen Bakıcı'nın yapmış olduğu bir çalışmada, %100 polyester esaslı kumaşın dikilebilirlik

özelliğinin, boya banyosuna ilave edilen farklı oranlarda dikiş kolaylaştırıcı kimyasal maddeler yardımıyla tek banyoda iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Boya banyosu içerisine %2, %4 ve %6 oranlarında dikiş kolaylaştırıcı kimyasal ilave edilerek polyester esaslı kumaşların dispers boyamaları yapılmış ve dikilebilirlik özellikleri kıyaslanmıştır. Boyama banyosuna ilave edilen kimyasal konsantrasyonu arttıkça; atkı ve çözgü yönlerindeki numunelerde meydana gelen iğne penetrasyon kuvvetlerinin düştüğü ve bu sayede kumaşın dikilebilirlik özelliğinin iyileştiği belirlenmiştir. İğne penetrasyon kuvvet değerlerinin ortalamaları bakımından istatistiksel olarak farklı olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiş ve tüm grupların istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [8].

Dört farklı türde %100 pamuk denim kumaşların üç farklı incelikte dikiş ipliği kullanıldığı ürünlerin dikim parametrelerinin dikiş mukavemeti üzerindeki etkilerini ortaya çıkarabilmek için deneysel bir çalışma yapılmış ve sonuçlar istatistiksel ve grafiksel olarak analiz edilmiştir. Kullanılan kalın dikiş ipliğinin mukavemeti artırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca üretim öncesi atkı ve çözgü dikiş mukavemetlerini regresyon analizi ile tahmin edecek ve matematiksel olarak temsil edecek denklemler geliştirilmiştir [9].

Haghighat ve arkadaşları, kumaş ağırlığının, iğne boyutunun, kumaş katman sayısının ve dokuma deseninin iğne delme kuvvetine ve kumaş dikilebilirliğine etkisini incelemişlerdir. İğne penetrasyon kuvvetini sırasıyla en fazla kumaş ağırlığının, sonra kumaş katman sayısının, sonrada iğne boyutunun etkilediğini belirtmişlerdir. Genel olarak, iyi bir dikilebilirlik için, dikiş ipliği ve kumaş ağırlığına göre mümkün olduğu kadar ince bir iğne kullanılması önerilmiştir [10].

Yumuşatıcı tipi ve konsantrasyonunun, pamuklu örme kumaşlarda dikilebilirlik ve dikiş büzülmesine etkisinin incelendiği bir çalışmada, bu etkilerin olup olmadığını belirlemek için sonuçlar varyans analizi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Süprem ve interlok kumaşlarda 2 derece, polar kumaşta maksimum 1,5 derece iyileşme sağlandığı, yumuşatıcı konsantrasyonu arttığında ise dikişlerin

görünümünün daha iyi olduğu ortaya konmuştur [11].

Öndoğan ve arkadaşlarının hazırladığı bir çalışmada, dikilebilirliğin önemi ve dikilebilirlik test cihazı ele alınmış, örmedeki problemlerin, dikilebilirlik test cihazı kullanılarak daha kolay giderilebileceği belirlenmiştir [12].

Karypidis, kumaşa uygulanan yıkama ve yumuşatma işlemi ve kumaş rijit yapılarının, iğne kuvveti üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu sonucunu gösteren bir çalışma yapmıştır [13].

Gülşen Bakıcı bir başka çalışmasında dokuz farklı konstrüksiyonda dokunan denim kumaşlara klasik ve "flat" olmak üzere iki farklı terbiye işlemi uygulamış ve bu numunelerin dikiş performans özelliklerini incelemiştir. Kumaşlara uygulanan terbiye işleminin, kumaşların dikilebilirlikleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. "Flat" terbiye işlemi uygulanmış kumaşların iğne penetrasyon kuvvet değerleri ve dikilebilirlik değerleri klasik terbiye işlemi uygulanmış kumaşlara nazaran daha yüksek çıkmıştır. Yazar çalışmasında; atkı ve çözgü yönlerinde iğne penetrasyon kuvvet değerleri ile kumaş gramajı ve eğilme dayanımı arasında pozitif yönde güçlü; atkı ve çözgü yönlerinde iğne penetrasyon kuvvet değerleri ile hava geçirgenliği arasında negatif yönde güçlü bir ilişki olduğunu vurgulamıştır [14].

Son yıllarda sektörde önemli bir yer tutan dijital baskı, daha az atık su oluşturması, daha az enerji kullanımı, daha maliyetli hazırlık işlemlerini elimine etmesi gibi avantajları ile sürdürülebilir bir metot olarak tercih edilmektedir [15]. Bu çalışmada, selüloz esaslı hammaddeden ham kumaşların ve dijital baskı yapılmış kumaşların L&M Dikilebilirlik Test Cihazı kullanılarak iğne batış kuvvetleri ve dikilebilirlikleri deneysel olarak tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada kullanılan kumaşlar, 9 farklı türde üretilmiş olup, atkı ipliği olarak, konvansiyonel

Sürdürülebilir Tekstil Liflerinden Dokunmuş Dijital Baskılı Kumaşların Dikilebilirlik Performansı Üzerine Deneysel Bir Çalışma

pamuk, organik pamuk, geri dönüşüm pamuk, penye, viskon, ecovero viskon*, bambu, keten, kenevir iplikleri kullanılmıştır. Kumaşların tamamında çözgü ipliği olarak ise Ne20\2 karde pamuk ipliği kullanılmıştır. Dokuma kumaşların örgü türü 1\2 Z dimi şeklindedir. Deneysel çalışmanın kumaşlarının atkı iplikleri Çizelge 1’de,

dokuma üretim parametreleri ise Çizelge 2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan kumaşlar 2017 model Picanol optimax-i kancalı dokuma makinasında dokunmuş, çeşitli işlem aşamalarından geçirilerek dijital baskı işlemi uygulanmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan atkı iplikleri

No	Hammadde	İplik numarası (Ne)
1	%100 Pamuk	16/1
2	%100 Pamuk (penye)	16/1
3	%100 Pamuk (organik)	16/1
4	%100 Pamuk (geri dönüşüm)	16/1
5	%100 Viskon	16/1
6	%100 Ecovero viskon	16/1
7	%100 Bambu	16/1
8	%100 Keten	16/1
9	%100 Kenevir	16/1

Çizelge 2. Dokuma kumaş üretim şartları

Toplam çözgü tel sayısı	2916	
Tarak no (diş\tel)	90\2	
Tarak eni (cm)	162	
Atkı sıklığı (tel/cm)	Mekanik	15
	Ham	16
	Mamul	17

Dijital baskı makinesi olarak 2013 model Konica-Minolta Pro1000 model baskı makinesi ile baskı işlemi yapılmıştır. Çizelge 3’te kumaşlara uygulanan dijital baskının işlem akışı yer almaktadır.

*Bu elyaf, viskozun daha sürdürülebilir bir versiyonudur ve çevre dostu bir üretim sürecine sahiptir.

Çizelge 3. Dijital baskının işlem akışı

No	İşlem adı
1.	Desenin Tasarımı
2.	Kumaş hidrofilite kontrolü ve kumaş kalite kontrolü
3.	Yakma
4.	Soğuk kasar
5.	Yıkama
6.	Kurutma
7.	Kumaşa ön pat verilmesi ve kurutma
8.	Dijital baskı işlemi
9.	Kurutma
10.	Buharlama
11.	Yıkama
12.	Kurutma
13.	Apren

2.1. Dikilebilirlik Testi

Kumaşların dikilebilirlik değerleri ve iğne batış kuvvetleri; Şekil 1’de görülen L&M Dikilebilirlik Test Cihazı kullanılarak tayin edilmiştir. Bu cihaz, her türlü kumaşın zorlanmadan, dikiş koşullarına veya operatör becerilerine bağlı olmaksızın dikilebilirliğini test etmektedir. Cihaz ile iğne batış kuvveti ölçümü yapılmaktadır [2,14]. Dikiş ipliği kullanılmadan dikiş iğnesinin kumaşa batışı için gereken kuvveti gf cinsinden ölçmektedir. En düşük eşik değeri 25 gf olup giysilik kumaşlar için bu değerin 150 gf’den fazla olmaması gerekmektedir [2,14]. Farklı konstrüksiyondaki her kumaş için 35 mm x 350 mm ebatlarında 5’er adet atkı ve çözgü numuneleri hazırlanmıştır. Her numune üzerinde 2’şer ölçüm yapılabildiğinden 1 numune için atkı ve çözgü yönündeki 10’ar adet ölçümün ortalaması alınmıştır. Çalışmada yapılan tüm testlerde eşik değeri 50 gf olarak, iğne penetrasyon sayısı ise 100 adet olarak seçilmiştir.



Şekil 1. L&M Dikilebilirlik Test Cihazı

Cihaz 100 adet iğne batış sayısı içerisinde, eşik değerini (50 gf) aşan iğne penetrasyon kuvveti adedini saymakta ve dikilebilirlik değeri (%) olarak vermektedir. Cihazda kullanılan 90/14 numara dikiş iğnesinin hızı, 100 batış/dk olarak ayarlanmıştır. Çizelge 4’de dikilebilirlik testi için kullanılan test parametreleri verilmiştir.

Çizelge 4. Dikilebilirlik test parametreleri

Maksimum Kuvvet Aralığı (gf)	500
İğne Batış Sayısı (adet)	100
İğne Numarası	90/14

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Ham kumaşların ve baskı işlemi yapılmış kumaşların fiziksel özellikleri olarak; atkı, çözgü sıklığı, gramaj ve kalınlık değerleri Çizelge 5’te yer almıştır.

Çizelge 5. Ham ve baskılı kumaşların fiziksel özellikleri

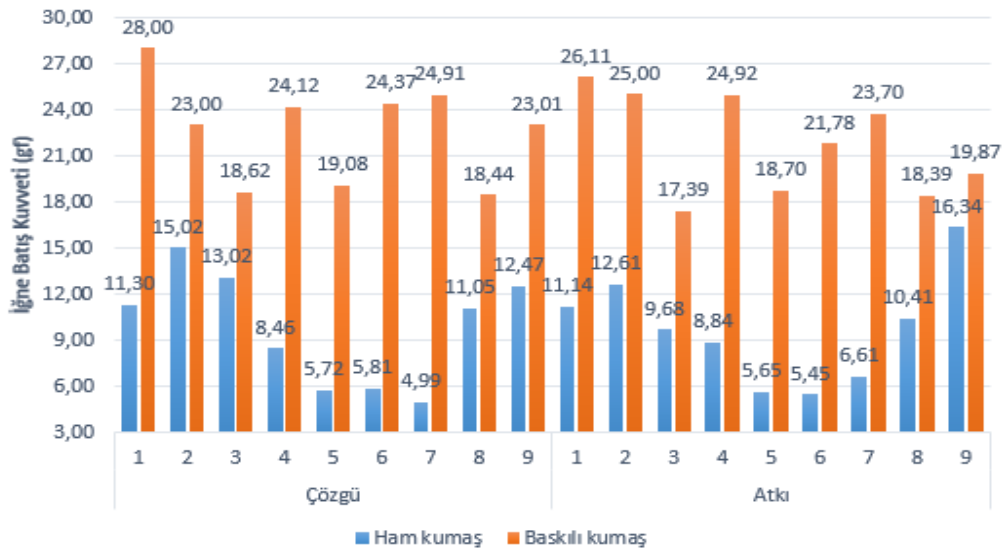
	Kumaş no	Atkı sıklığı tel/cm	Çözgü sıklığı tel/cm	Gramaj g/m ²	Kalınlık (mm)
Ham Kumaş Numunesi	1	18	20	175,7	0,534
	2	17	21	176,3	0,534
	3	17	18	179,0	0,548
	4	17	20	174,8	0,553
	5	16	24	174,7	0,503
	6	17	20	175,5	0,515
	7	17	21	172,8	0,506
	8	18	20	177,8	0,564
	9	18	19	172,8	0,553
Baskılı Kumaş Numunesi	1	16	22	186,4	0,440
	2	16	22	186,2	0,444
	3	16	22	188,3	0,449
	4	16	22	188,3	0,435
	5	16	23	192,5	0,437
	6	16	23	193,4	0,430
	7	16	22	193,3	0,422
	8	16	22	192,6	0,408
	9	16	21	188,2	0,399

L&M dikilebilirlik testi sonucunda her kumaş için elde edilen iğne penetrasyon kuvveti (gf) değerleri Şekil 2’de görülmektedir.

İğne batış kuvvetinin (gf) yükselmesi, kumaşın dikilebilirlik özelliğinin kötüleştiği anlamına gelmektedir. Şekil 2 incelendiğinde (gf) değerleri; çözgü yönünde alınan ham kumaş numunelerinde iğne batış kuvvetinin yüksek olduğu ilk üç kumaş penye, organik pamuk ve kenevirden olup en düşük ilk üç kumaş ise sırasıyla bambu, viskon ve ecovero

viskon olduğu görülmüştür. Atkı yönünde alınan ham kumaş numunelerinde ise kenevir, penye ve keten ilk üç sıradadır. En düşük iğne batış kuvveti değerleri ise ecovero viskon, viskon ve bambuda elde edilmiştir. İğne batış kuvvetinin kumaş kalınlığından kaynaklı söz konusu kumaşlarda yüksek çıkması beklenen bir durumdur. Baskılı kumaşlarda çözgü yönünde alınan numunelerde ilk üç sırayı pamuk, bambu ve ecovero viskon alırken en düşük üç değeri keten, organik pamuk ve viskon almıştır. Atkı yönündeki numunelerde ise; en yüksek değerler ilk üç sırada pamuk, penye, geri dönüşüm pamukta olduğu, en düşük değerlerin ise organik pamuk, keten ve viskonun olduğu görülmüştür. Atkı ve çözgü yönündeki farklılıklar 1/2 dimi örgü nedeniyle atkı yönünde kullanılan

9 farklı numunenin ön plana çıkmasına neden olmuştur. Bunlar arasında en yüksek değerlerin yani dikilebilirliğin zor olduğu liflerin, pamuk, penye, organik pamuk, keten ve kenevir olduğu görülmüştür. Numuneler arasındaki düşük değerlerin yani dikilebilirliğin iyi olduğu liflerin ise bambu, viskon ve ecovero viskon arasında değiştiği belirlenmiştir. Baskılı numunelerde bambu lifinin yüksek değer alma sebebi ise lifin fiziksel özellikleri nedeniyle kimyasal madde ve boyarmaddelerin daha fazla alınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Keten lifinin baskı işlemi sırasındaki tutumunun da dikilebilirlik değerini düşürdüğü söylenebilir; bu durum ise yine keten lifinin kimyasal ve fiziksel özellikleri ile açıklanmaktadır.



Şekil 2. Kumaş türlerine göre iğne batış (penetrasyon) kuvvetleri(gf)

Çözgü sıklığının fazla olması (kumaş gramajını artırmaktadır) ve ring üretiminden kaynaklı ipliğin bükümlü oluşu iğne batış kuvvetini yükseltmekte olup dikilebilirliği zorlaştırmaktadır. Baskılı kumaşta ise OE üretiminden kaynaklı boya baskı patının lif aralarına daha iyi nüfuz etmesi sebebiyle dikilebilirlik zorlaşmıştır.

Baskılı kumaşlarda dikilebilirlik hem çözgü hem atkı yönünde bambu, ecovero viskon ve viskon, olarak sıralanmaktadır. Rejenere kökenli bu

liflerden elde edilen kumaşlarda bambunun dikilebilirliğinin diğerlerine göre daha iyi olduğu söylenebilir.

Bitkinin gövdesinden elde edilen (bast) keten, kenevirin kullanıldığı numunelerin ham ve baskılı atkı ve çözgü yönündeki numunelerinin iğne batış kuvvetleri incelendiğinde kenevir lifinin değerlerinin daha yüksek çıktığı; bu nedenle dikilebilirliğin ketenin kullanıldığı numunelere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak bu

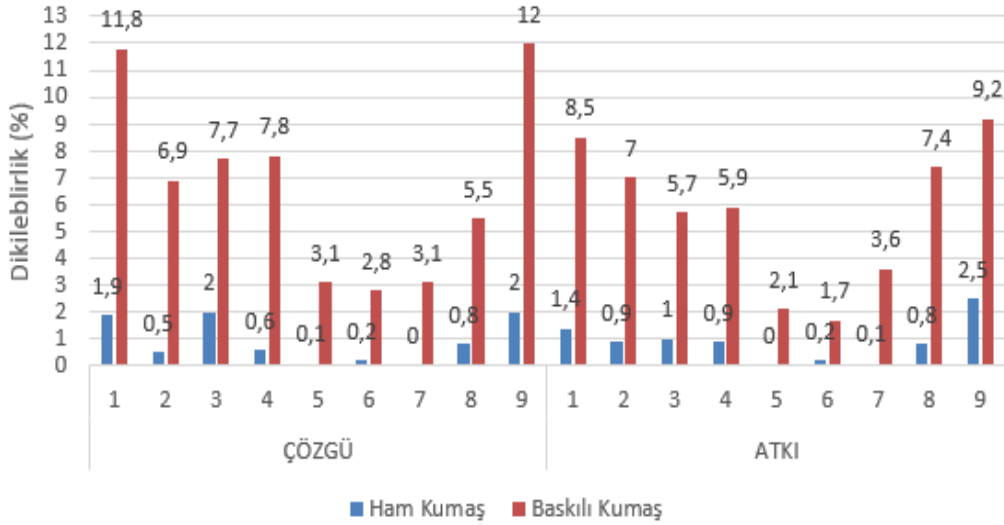
durum liflerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanan bir durum olup giysi kullanımında tercih edilebilir.

Şekil 3'te cihazda 100 adet iğne batış sayısı içerisinde, cihaza girilen 50 eşik değerini aşan iğne penetrasyon kuvveti adedini sayarak elde edilen değer sonuçları '%' olarak verilmiştir. Çözgü yönünde ham numunelerde en yüksek ilk üç sırada kenevir, pamuk ve organik pamuk yer alırken; en düşük üç sırada bambu, viskon, ecovero viskon bulunmaktadır. Atkı yönünde ham kumaş numunelerinde en yüksek ilk üç sırada ise; kenevir, pamuk ve geri dönüşüm pamuk yer almıştır. En düşük değerlerin ise; viskon, bambu, ecovero viskon yer almıştır. Baskılı çözgü yönünde numunelerin ise en yüksek değerleri kenevir, pamuk, geri dönüşüm pamuk almıştır. En düşük değerler ise; ecovero viskon, bambu ve viskon aynı değerleri almıştır. Baskılı atkı yönünde baskılı numunelerin en yüksek olan değerleri kenevir,

pamuk ve penye alırken en düşük değerleri ecovero viskon, viskon ve bambu almıştır.

Doğal lif olarak kenevir ve pamuk lifinin dikilebilirlik % değerinin yüksek olmasının bu liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili olması, ecovero viskon, viskon ve bambu lifinin rejenere selüloz kökenli lif olması nedeniyle dikilebilirlik % değerinin düşük olması ile açıklanabilir.

Dikilebilirlik değerleri %0 ile %10 arasında değiştiğinde, kumaş dikilebilirliği iyi olarak kabul edilmekte, %10 ila %20 arasında ise dikilebilirlik makul olarak kabul edilmektedir [5]. Bu çalışmada elde edilen test sonuçlarına göre; giysi üretiminde kullanılacak tüm ham maddeler için dikilebilirlik değerleri %0 ile %12 arasında değiştiğinden dikilebilirlik performansı olarak iyi sonuçlar verdiği söylenebilir.



Şekil 3. Kumaş türlerine göre dikilebilirlik test sonuçları (%)

4. SONUÇ

Çalışmada; selülozik 9 farklı türde atkı ipliğinin, (konvansiyonel pamuk, penye, organik pamuk, geri dönüşüm pamuk, viskon, ecovero viskon, bambu, keten, kenevir), Ne20\2 karde pamuk 1\2 Z dimi örgüsü ile dokunması sonucu elde edilen

kumaşların ham ve dijital baskı uygulanması sonrası dikilebilirlik değerleri incelenmiştir. Numunelerin L&M dikilebilirlik test cihazı kullanılarak dikilebilirlik özellikleri incelenmiştir. L&M dikilebilirlik test cihazı, iğne penetrasyon kuvvetlerini (gf) ve dikilebilirlik (%) değerlerini ölçmektedir. İğne penetrasyon kuvvetinin fazla

olması kumaşın dikilebilmesinde düşük verimliliğe sebep olacak ve beklenildiği gibi bir dikiş performansı elde edilemeyecektir. Bu çalışmada elde edilen test sonuçlarına göre; giysi üretiminde kullanılabilecek tüm ham maddeler, dikilebilirlik performansı olarak iyi sonuçlar vermiştir. Beklendiği gibi numunelere uygulanan dijital baskı işleminin iğne penetrasyon kuvvetlerini (gf) artırdığı ancak dikilebilirlik (%) değerlerini olumsuz etkilemediği söylenebilir. Özellikle son zamanlarda çevre dostu olarak kenevir ve keten liflerinin diğer ham maddelerden daha iyi sonuçlar verdiği de dikkate alındığında, hazır giyim üretiminde dijital baskılı kumaşlarda dikilebilirlik performansı açısından keten ve kenevir kullanımı tavsiye edilebilir.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar olarak, çalışmaya verdiği destekten dolayı Kıvanç Tekstil A.Ş.'ye, Island Denim A.Ş.'ye ve testlerin yürütülmesinde sağlanan laboratuvar desteği için Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Behera, B.K, Chand, S., 1997. Sewability of Denim. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 9(2), 128-140.
2. Doba Kadem, F., Bakıcı, G., 2016. Denim Kumaşların Dikiş Performansları Üzerine Deneysel Bir Çalışma. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 143-148.
3. Ala, D. M., Gülşen Bakıcı, G., 2019. Sewability (Based on Needle Penetration Force) of 1 × 1 Rib Knitted Fabrics Produced with Separate Ends of Yarns. *AUTEX Research Journal*, 19(4), 340-346.
4. Gürarda, A., Kaplangiray, B., Koncer, P., 2013. Kumaş Kat Sayısının İğne Batış Kuvvetine Etkisinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(1), 51-59.
5. Yıldız, E.Z., Pamuk, O., Öndoğan, Z., 2011. A Study about the Effects of Interlinings to Sewability Properties of the Woven Fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 1, 87-90.
6. Pamuk, O., Kurtoğlu, Ö., Tama, D., Öndoğan, Z., 2011. Sewability Properties of Lining Fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 3, 301-304.
7. Çitoğlu, F., Onur, N., 2010. Tencel Kumaşlarda Dikiş Parametrelerinin Dikiş Mukavemetine Etkilerinin İncelenmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4, 359-365.
8. Gülşen Bakıcı, G., 2019. Polyester Esaslı Kumaşların Tek Banyoda Boyanması ve Dikilebilirlik Özelliğinin İyileştirilmesi. *Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi-UÇTEK'2019*, Adana, 171-177.
9. Ünal Zervent, B., 2012. The Prediction of Seam Strength of Denim Fabrics with Mathematical Equations. *The Journal of the Textile Institute*, 103(7), 744-751.
10. Haghghat, E., Etrati, S. M., Najar, S. S., 2014. Evaluation of Woven Denim Fabric Sewability Based on Needle Penetration Force, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 9(2), 47-60.
11. İllez, A.A., Delbaşı, E.S., Kayseri, G.Ö., 2015. Improving of Sewability Properties of Various Knitted Fabrics with the Softeners, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2786-2795.
12. Öndoğan, Z., Utkun, E., Pamuk, O., Yıldız, E. Z., 2010. Sewability in Apparel Industry, *International Conference of Applied Research in Textile*, Tunus.
13. Karypidis, M., 2018. Sewability Interdependence on Rigid Structures, *Aegean International Textile and Advanced Engineering Conference*, 1-7.
14. Gülşen Bakıcı, G., 2017. %100 Pamuklu Denim Kumaşlarda Dikilebilirlik ve Dikim Performansının Araştırılması ve Tahminlenmesi. *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana, 357.
15. Özdemir, Ş., Doba Kadem, F., 2019. An Experimental Study on Drying Behavior in Digital Printed Fabrics. *DEUFMD*, 21(63), 927-932.

Honey Badger Optimizasyon Algoritması ile Üç Elemanlı Kafes Sisteminin Ağırlık ve Maliyet Minimizasyonu

Cengiz ASLAN*¹ ORCID 0000-0003-1745-4562

Ebubekir SEYYARER² ORCID 0000-0002-8981-0266

Taner UÇKAN² ORCID 0000-0001-5385-6775

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapay Zeka ve Robotik A.B.D, Van

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Van

Geliş tarihi: 15.05.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: ASLAN, C., SEYYARER, E., UÇKAN, T., (2023). Honey Badger Optimizasyon Algoritması ile Üç Elemanlı Kafes Sisteminin Ağırlık ve Maliyet Minimizasyonu. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 441-449.

Öz

Meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri geleneksel algoritmalarla çözümün çok maliyetli olacağı büyük ölçekli gerçek hayat problemleri için başarılı sonuçlar sergilemekte ve birçok alandan araştırmacının ilgi odağı haline gelmektedir. Bu alana duyulan ilgi sayesinde genetik, fizik, biyoloji, müzik gibi ilhamını çeşitli kaynaklardan alan araştırmacılar, yeni meta-sezgisel algoritmalar oluşturmaya devam etmektedir. Şubat 2022'de yayımlanan Bal Porsuğu Algoritması (Honey Badger Algorithm, HBA), ilhamını bal porsuğunun yiyecek arama stratejilerine dayandırmaktadır. Bu çalışmada HBA'nın yanı sıra alan yazının başarılı kanıtlanmış algoritmalarından olan Genetik Algoritma (Genetik Algorithm, GA), Parçacık Sürü (Partical Swarm Optimization, PSO), Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC), Karınca Kolonisi (Ant Colony Optimization, ACO), Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing, SA) algoritmaları, bir yapı problemi olan "üç elemanlı kafes sisteminin ağırlık ve maliyet minimizasyonu" na uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre HBA'nın, GA, ABC, ACO, SA algoritmalarına kıyasla daha iyi yakınsama hızına ve değerlere ulaştığı gözlemlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Honey badger optimizasyon algoritması, Optimizasyon, Kafes sistemi, Ağırlık ve maliyet minimizasyonu, Yakınsama hızı

Weight and Cost Minimization of Three-Element Truss System with Honey Badger Optimization Algorithm

Abstract

Meta-heuristic optimization methods have shown successful results for large-scale real-life problems that would be very costly to solve with traditional algorithms and have become the focus of attention of researchers from many fields. Thanks to the interest in this field, researchers who take their inspiration from various sources such as genetics, physics, biology and music continue to create new meta-heuristic

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Cengiz ASLAN, cengizaslanvanyyu@gmail.com

algorithms. The Honey Badger Algorithm (HBA), released in February 2022, draws its inspiration from the honey badger's foraging strategies. In this study, in addition to HBA, Genetic Algorithm (Genetic Algorithm, GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Artificial Bee Colony (ABC), Ant Colony (Ant Colony Optimization, ACO), Simulated Annealing (SA) algorithms are discussed in a construction problem, "weight and cost minimization of a three-element truss system". According to the results, it is observed that HBA achieves better convergence values compared to GA, ABC, ACO, SA algorithms.

Keywords: Honey badger optimization algorithm, Optimization, Truss system, Weight and cost minimization, Speed of convergence

1. GİRİŞ

Optimizasyon, bir amaç fonksiyonu çerçevesinde parametreleri düzenleyerek en iyi veya en kötü duruma getiren değerleri bulma sürecidir. Optimizasyon yöntemleri finans, tıp, mimari, fizik, sosyal bilimler gibi farklı alanlardaki birçok gerçek hayat problemini çözmek için ilhamını çoğunlukla doğadan alan meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerine evrilmişlerdir. Bu algoritmalar genetik, müzik, biyoloji, fizik gibi farklı alanlardaki adaptasyon, yiyecek bulma stratejisi, yön bulma davranışı, sürü halinde hareket edebilme becerisi gibi birçok yeteneğin ve akıllı davranışın modellenmesi ile ortaya çıkmıştır. Meta-sezgisel algoritmalar temelde problemin uygun bir çözümünü geleneksel yöntemlere göre çok daha makul bir sürede çözme amaçlamaktadır [1].

Meta-sezgisel algoritmalar sayesinde üretim ve tasarım alanlarında malzeme miktarı ve maliyet minimize edilebilmektedir [2]. Aynı şekilde, bu çalışmada da yapılmaya çalışıldığı gibi bir mimari yapıda kullanılacak olan elemanlar ile ilgili ağırlığı en aza indirerek maliyet minimize edilmektedir.

Ayrıca bugün meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri, yapay zeka modellerinin eğitim ve hiper-parametre uyarlamasında sıklıkla kullanılmakta ve bu alanda kendine sağlam bir yer edinmektedir [3].

Bütün bu getirilerinden dolayı meta-sezgisel algoritmalar ile ilgili çalışmaların sayısı gittikçe artmaktadır.

No Free Lunch (NFL) teoreminde bahsedildiği gibi bir meta-sezgisel algoritmanın bütün problemlerde üstün başarı sağlayamayabileceği gerçeğini göz

önünde tutmak gerekmektedir [4]. Bu bakış açısıyla her yıl onlarca yeni algoritmanın geliştirilmesindeki ve farklı problem tiplerine uygulanmasındaki motivasyon anlaşılmaktadır.

Şubat 2022'de yayımlanmış olan Bal Porsuğu Algoritması (Honey Badger Algorithm, HBA) [5], nispeten yeni bir algoritma olmasına rağmen bazı gerçek hayat problemlerine uygulanarak akademik çalışmalara konu olmuştur.

Zhou ve arkadaşları, dünyanın bölgesel olarak en sıcak ve en soğuk yerlerinde bir ila üç kat aylık sıcaklık tahmini için HBA ve yapay sinir ağından (YSA) oluşan hibrit bir akıllı model geliştirmişlerdir. Bu modelin geleneksel YSA ve Gen İfade Programlaması (GEP) ile karşılaştırılması sonucu oluşturulan HBA-YSA hibrit modelinin başarısının daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır [6].

Diab ve arkadaşları fotovoltaiik güneş modüllerinin (PV modules) ölçümü ve değerlendirilmesi arasındaki var olan hataların amaç fonksiyonunu optimize etmek için HBA ve African Vulture Optimization Algorithm (AVOA) kullanmışlar, iki algoritmanın da söz konusu problem açısından etkililiklerinin yüksek ve birbirine rakip derecesinde yakın olduklarını ortaya koymuşlardır [7].

Rawa ve arkadaşları güneş pili parametrelerini tahmin etmek için HBA ve Yapay Goril Birlikleri Optimizasyon Algoritmasını (GTOA) hibrit modelini önermektedir [8].

Ashraf ve arkadaşları proton değişimli membran yakıt hücresinin (PEMFC), yedi verilmemiş parametresini en uygun şekilde belirlemek için

HBA'yı kullanmış ve emsal optimizasyon algoritmalarına göre bu problemde HBA'nın daha üstün sonucuna varmışlardır [9].

Yapılan benzer çalışmalarda da görülebileceği gibi HBA'nın alan yazında çevre ve yakıt problemleri ağırlıkta olmak üzere pek çok problemde iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Alan yazında ele alınan üç elemanlı kafes sisteminin ağırlık ve maliyet minimizasyonu problemlerine benzer problemler alan yazında çeşitli optimizasyon algoritmaları ile ele alınmıştır. Örneğin, Sevim ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC) optimizasyon algoritması ile kafes sisteminin optimizasyonunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir [10].

Değertekin ve arkadaşları tarafından kafes yapıları ile ilgili optimizasyon problemine Jaya Optimizasyon algoritması uygulanmıştır [11].

Alan yazında HBA ile üç elemanlı kafes sistemi problemi beraber çalışılmamıştır. Tek bir meta-sezgisel algoritmanın bütün problemlerde üstün başarı sağlaması beklenmemektedir. Bunun için hangi problem türünde başarılı olduğu hangilerinde benzer başarıyı gösteremediği bilgisi araştırmacılar için önem kazanmaktadır. Bu çalışma ile yeni bir meta-sezgisel algoritma olan HBA daha önce çalışılmamış bir probleme uygulanarak başarısı bu problem tipinde test edilmektedir. Ayrıca bu çalışmanın yazarları tarafından GA, ABC, PSO, ACO ve SA gibi alanın ilklerinden olan başarısı kanıtlanmış meta-sezgisel popüler algoritmalar seçilerek söz konusu problem özelinde uygulanmakta ve elde edilen değerler açısından HBA ile kıyaslanmaktadır [12-16]. HBA'nın yakınsama değerleri ve hızı açısından GA, ABC, ACO ve SA algoritmalarına göre üstünlüğü görülmektedir.

Bu çalışmada yeni bir meta-sezgisel algoritma olan HBA ile alan yazının çok bilinen algoritmalarından GA, PSO, ABC, ACO, SA algoritmaları bir yapı problemi olan “üç boyutlu kafes sisteminin ağırlık ve maliyet minimizasyonu” na uygulanmakta ve

karşılaştırmalı bir bakış açısı ile HBA'nın alan yazına getirileri sorgulanmaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Honey Badger Optimizasyon Algoritması

Meta-sezgisel algoritmaları tek çözüme odaklı ve popülasyon tabanlı algoritmalar olarak ikiye ayırmak mümkündür. Popülasyon tabanlı algoritmaların tek çözüm odaklı algoritmalara göre daha başarılı olduğu görülmektedir [17]. HBA popülasyon tabanlı algoritmalar arasında yer almaktadır.

HBA bal porsuğunun yiyecek arama stratejisini ilham kaynağı olarak almaktadır. Bal porsuğu yiyeceği aramak için koku duyusunu kullanmakta ve güçlü pençeleri ile kısa süre içerisinde pek çok bölgede çukurlar kazabilmektedir. Algoritmada yer alan kardiyoit şeklin hesaplanmasına dair formüller bu çukurların sanal ifadesi olmaktadır [18].

HBA'da genel olarak iki aşamanın bulunduğu söylenebilmektedir. Kazma aşaması ve bal aşaması. Kazma aşaması bal porsuğunun koku yardımıyla çevrede avlanması anlamına gelmektedir. Bal aşaması ise bal porsuğunun bala ulaşmak için Bal Rehberi Kuş (Honey-Guide Bird) un yardımına başvurmasını ifade etmektedir. Bal porsukları balın yerini belirlemede iyi olmadıkları için bu kuşun rehberliğine güvenmektedirler. Bal ele geçirilince bal kovanını parçalayan porsuk sayesinde kuş da yiyeceğe ulaşmakta iki taraf da kazanmaktadır.

HBA'da Kazma ve Bal aşamaları F bayrağı ile rasgele (-1 veya 1) belirlenir. Bal aşamasında arama yönü kazma aşamasının tersi ($F = -1$) olduğundan algoritmanın keşif yetenekleri geliştirilmiş olmaktadır [18].

Algoritmada önemli bir parametre azalan α faktörüdür. Azalan α faktörüne göre algoritmanın rasgele çalışma durumu son iterasyona doğru azalmaktadır. Rasgele çalışma durumu algoritmanın ilk iterasyonlarda arama uzayının keşfine yardımcı olurken, son iterasyonlara doğru yakınsamayı geciktirebilmekte ve çalışma

zamanının verimine engel olabilmektedir. birlikte sağlanmaktadır [18]. Algoritma 1’de Dolayısıyla, azalan α faktörü ile hem keşifsel HBA’nın sözde kodu gösterilmektedir. etkililik hem de yakınsama hızındaki etkililik

Algoritma 1. HBA’nın sözde kodu [18]

```
 $t_{max}$ ,  $N$ ,  $\beta$ ,  $C$  parametrelerinin belirle
Popülasyonu rasgele konumlarla başlat
Her bir bal porsuğunun uygunluk değerini amaç fonksiyonunu kullanarak hesapla
 $f_{prey}$  uygunluk fonksiyonu ile en iyi konumu ( $x_{prey}$ ) hesapla
while  $t \leq t_{max}$  do
  Azalan  $\alpha$  faktörünü güncelle (Eşitlik 2)
  for  $i = 1$  to  $N$  do
    Koku yoğunluğunu ( $I$ ) hesapla (Eşitlik 1)
    if  $r < 0.5$  then ( $r$  [0,1] aralığında rasgele bir değer)
      Konumu ( $x_{new}$ ) güncelle (Eşitlik 3)
    else
      Konumu ( $x_{new}$ ) güncelle (Eşitlik 4)
    end if
  Yeni konumları uygunluk fonksiyonu ile hesapla ( $f_{new}$ )
  if  $f_{new} \leq f_i$  then
     $x_{prey} = x_{new}$ ,  $f_i = f_{new}$ 
  end if
  if  $f_{new} \leq f_{prey}$  then
     $x_{prey} = x_{new}$ ,  $f_{prey} = f_{new}$ 
  end if
  end for
end while durma kriteri sağlandı
return  $x_{prey}$ 
```

Aşağıda algoritmanın işleyişi adım adım açıklanmaktadır [18]:

Adım 1: Başlatma

t_{max} , N , β , C değerleri belirlenir. t_{max} maksimum döngü sayısını ifade etmektedir, istenirse problem durumuna göre algoritmayı sonlandırmak için hata miktarı gibi başka kriterler de eklenebilmektedir. N popülasyon sayısını ifade etmektedir. HBA popülasyon sayısını çalışma süresince korumaktadır. β değeri bal porsuğunun yiyeceği alma becerisi olarak belirlenmiş bir hiper parametredir. Hashim ve arkadaşlarının yaptığı duyarlılık analizi değerlendirmelerinde varsayılan değeri “6” olarak belirlenmiştir. C sabiti $C \geq 1$ olmak üzere varsayılan değeri “2” olarak belirlenmiş bir hiper parametreyi ifade etmektedir [18].

Adım 2: Koku Yoğunluğunun Tanımlanması

Av kokusunun yoğunluğu olarak tanımlanabilecek Intensity (I) değerinin tanımlanması birden fazla formül ve değişkenle gerçekleşmektedir. r_2 , [0,1] aralığında rasgele bir değerdir. S porsuğun konsantrasyon gücünü ifade etmektedir ve bir sonraki porsuk ile olan mesafenin karesi olarak formülize edilmektedir. Bu mesafenin artması porsuğun bu alanı daha iyi taraması gerektiğinin bir göstergesi olmaktadır. Bu durumun konsantrasyon gücü ile ifade edilip denkleme dahil edilmiş olmasını bu işlev ile yorumlanmaktadır. “ d_i ” var olan porsuğun (çözümün), en iyi porsuğa (çözüme) olan uzaklığını ifade etmektedir [18] (Eşitlik 1).

$$I_i = r_2 \times \frac{S}{4\pi d_i^2}$$
$$S = (x_i - x_{i+1})^2$$
$$d_i = x_{prey} - x_i$$
(1)

Adım 3: Azalan α Faktörünü Güncelle

A faktörü döngüye bağlı olarak zamanla azalan rastgeleliği aşağıdaki formül ile sağlamaktadır (Eşitlik 2). Bu sayede keşif ve bulma dengesi sağlanmış olmaktadır.

$$\alpha = C \times \exp\left(\frac{-t}{tmax}\right) \cdot tmax \quad (2)$$

Adım 4: Yerel Optimumdan Kaçınma

Daha önce de söz edildiği gibi F bayrağı kazma ve bal aşamalarına karar vermek için -1 ve 1 değerlerini alır. Bal aşamasında arama yönü kazma aşamasının tersi ($F = -1$) olduğundan algoritmanın keşif yetenekleri geliştirilmiş olmaktadır. F bayrağının değişimine rasgele değerler ile karar verilmektedir [18].

Adım 5: Porsukların Konumlarını Güncelle
Bu adım iki farklı faza ayrılmaktadır:

- Kazma Fazı (Digging Phase)

Bu aşamada çözüm bireyleri Adım 2’de belirlenen koku yoğunluğuna göre iyi çözümler bulmaya çalışmaktadır. Bal porsuğunun gerçek hayatta kardoid şekle benzer biçimde açtığı çukurlar aşağıdaki formülde ifadesini bulmaktadır [18] (Eşitlik 3).

$$x_{new} = x_{prey} + F \times \beta \times I \times x_{prey} + F \times r_3 \times \alpha \times di \times [\cos(2\pi r_4)x[1 - \cos(2\pi r_5)]] \quad (3)$$

- Bal Fazı (Honey Phase):

Daha önce ifade edildiği gibi Bal aşaması ise bal porsuğunun bala ulaşmak için Bal Rehberi Kuş (Honey-Guide Bird) un yardımına başvurmasını ifade etmektedir. F bayrağının -1 olarak rasgele seçilmesi durumunda Bal aşamasına geçilmektedir. Bu aşama zamanla av konumuna yani çözüme yaklaşan bal porsuğunun aramayı etkili hale getirmesini sağlamaktadır [18] (Eşitlik 4).

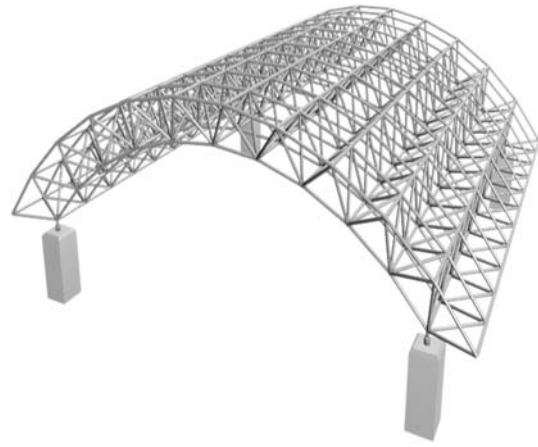
$$x_{new} = x_{prey} + F \times r7 \times \alpha \times di \quad (4)$$

2.2. Üç Elemanlı Kafes Sisteminin Ağırlık Ve Maliyet Minimizasyonu

Yapısal optimizasyon problemlerinde en iyi geometrik şekli bulma, ağırlık ve maliyet minimizasyonu, en iyi topolojiyi oluşturma gibi çeşitli problemler yer almaktadır [19].

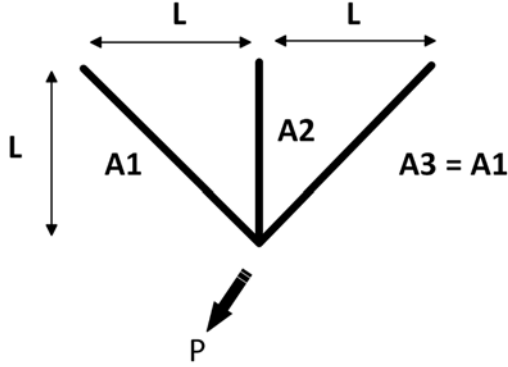
Kafes sistemler birbirleriyle optimal biçimde birleştirilmeye uygun basit yapılar olduğu için optimizasyon problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadırlar [20].

Kafes sistemleri, geleneksel taşıyıcı sistemlere göre yük taşıma kapasitesi, dayanıklılık ve maliyet etkinliği gibi avantajları nedeniyle modern dünyada yaygın olarak kullanılan bir yapısal sistemdir [21]. Örneğin büyük açıklıkları yüksek maliyetlerden kaçınarak kapatmak için uzay kafes sistemleri kullanılmaktadır. Şekil 1’de örnek bir kafes sistemi gösterilmektedir.



Şekil 1. Kafes sistemi [22]

Bu çalışmada ele alınan örnek problem, Şekil 2’te verilen üç elemanlı kafes sistemine aittir. Genişlik ve yükseklik değerleri (L) 100 cm’dir. Uygulanan harici yük (P) 2 kN, çubuklarda kullanılan malzemenin gerilme limit değerleri ise (6) 2kN/cm²’dir [23].



Şekil 2. Üç elemanlı kafes sistemi [23]

Problemdede yapısal elemanların hacmi minimize edilmeye çalışılmaktadır. Böylece aynı malzemelerden üretilen A çubuklarının toplam ağırlığı ve toplam maliyeti de minimize edilmiş olmaktadır. A3 ve A1 eş olduğundan minimizasyon için A1 ve A2 değerleri kullanılacaktır. Sonuç olarak amaç fonksiyonu aşağıdaki denklemle ifade edilebilmektedir [23] (Eşitlik 5).

$$\min(f(A1, A2)) = (2\sqrt{2}A1 + A2)L \quad (5)$$

Her iki eleman için aynı alt ve üst limitler kullanılmıştır ($0 < A < 1$).

Kafes elemanlarının gerilme değerlerinin sınırlarından dolayı optimizasyon işleminde üç farklı tasarım sınırlaması kullanılmıştır (Eşitlik 6).

$$\begin{aligned} g1 &= \frac{2\sqrt{2} \times A1 + A2}{\sqrt{2} \times (A1)^2 + 2 \times A1 \times A2} \times P \\ &\quad - \sigma \leq 0 \\ g2 &= \frac{A2}{\sqrt{2} \times (A1)^2 + 2 \times A1 \times A2} \times P \\ &\quad - \sigma \leq 0 \\ g3 &= \frac{1}{A1 + \sqrt{2} \times A2} \times P - \sigma \leq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Özetle, bu çalışmada optimize edilmeye çalışılan problem, gerilme limit değerlerini aşmayacak şekilde 0 ve 1cm² tasarım sınırlarındaki kesite sahip çubuklarla oluşturulan üç elemanlı kafes sisteminin malzeme hacminin, dolayısıyla ağırlık ve maliyetinin minimize edilmesi olarak tanımlanmaktadır [23].

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

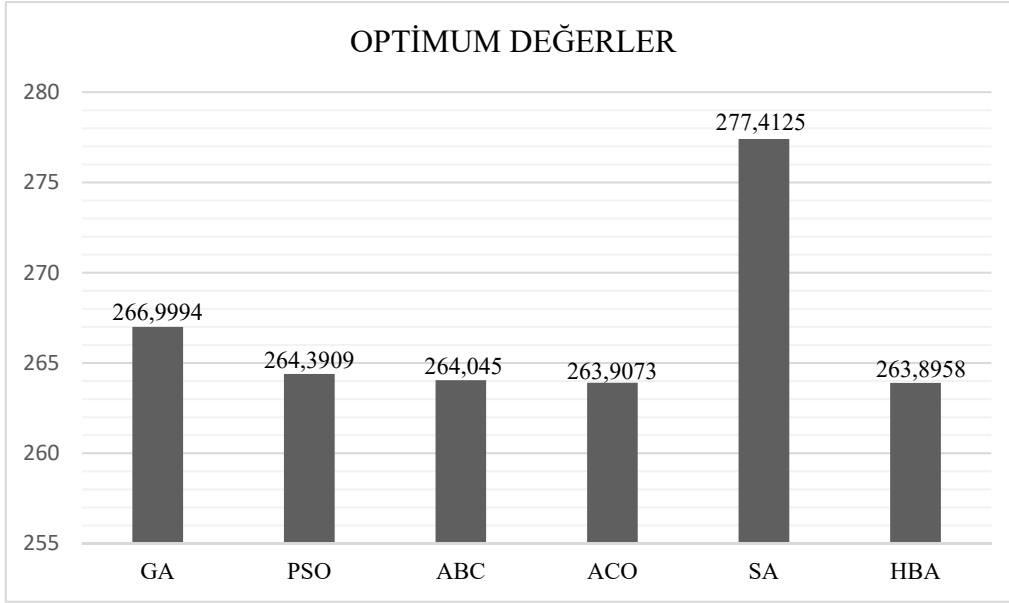
HBA'nın bu çalışmadaki problem özelinde yakınsama değerleri ve hızı açısından karşılaştırılması için alan yazının çok bilinen algoritmaları tarafımızca seçilmişlerdir. Optimizasyon algoritmalarının stokastik yapısından dolayı tek bir çalıştırmada elde edilen sonuçlara güven duyulamayabilir. Bundan dolayı daha gerçekçi ortalama sonuçlar elde edilebilmesi için algoritmalar 10 defa 1000 epoch çalıştırılmıştır. Algoritmalar açık kaynak kodlu mealpy kütüphanesi [24] kullanılarak Google Colab'in standart hizmet sağlayıcısı ile 10 defa 1000 epoch çalıştırılarak, Çizelge 1'de görüldüğü gibi ortalama sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 1. Optimizasyon algoritmalarının ulaştığı değerler

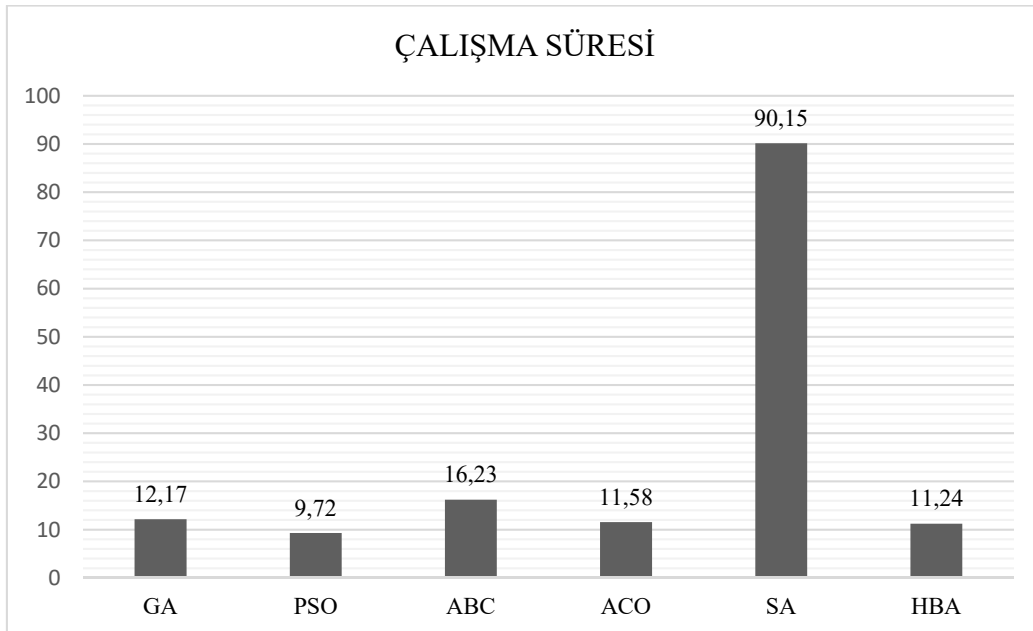
Algoritma	A1	A2	Yakınsama değeri	Çalışma süresi 1000 epoch/sn
GA	0.861021	0.234657	266.9994	12.17
PSO	0.764302	0.482134	264.3909	09.72
ABC	0.782344	0.427646	264.0450	16.23
ACO	0.792494	0.397560	263.9073	11.68
SA	0.713417	0.756275	277.4125	90.15
HBA	0.788429	0.408943	263.8958	11.24

Optimizasyon algoritmalarının üç elemanlı kafes sistemi maliyet minimizasyonu probleminde, amaç fonksiyonlarında ulaştıkları optimum değerler aşağıda (Şekil 3) gösterilmektedir.

Elde edilen çalışma sürelerinin ortalama değerleri aşağıda (Şekil 4) gösterilmektedir.



Şekil 3. Optimizasyon algoritmalarının ulaştığı optimum değerler



Şekil 4. Optimizasyon algoritmalarının çalışma süreleri (1000 epoch/sn)

4. SONUÇLAR

HBA'nın, GA, PSO, ABC, ACO, SA algoritmalarına göre, problemi en çok minimize eden algoritma olduğu görülmektedir (Şekil 3). Bununla beraber yakınsama hızında (PSO hariç) bütün algoritmalarla arasında anlamlı bir fark oluşmaktadır (Şekil 4). Orijinal PSO algoritması HBA dahil tüm algoritmalarından daha hızlı çalışmaktadır.

Çalışma süresi ve yakınsama değerleri beraber göz önüne alındığında HBA'nın alanın çok bilinen başarısı kanıtlanmış seçilen algoritmalarına göre (PSO çalışma süresi hariç) belirgin bir fark oluşturarak daha başarılı olduğu görülmektedir. HBA'nın uygun olmayabileceği problem türlerinin var olabileceği gerçeğini dikkate almak şartıyla, HBA'nın alan yazında sağlam bir yer edinebileceği, bu çalışmanın yazarları tarafından öngörülmektedir. Ayrıca Orijinal optimizasyon algoritmalarının yayımlandıktan sonra araştırmacılar tarafından geliştirilmesine yönelik çalışmalar göz önüne alındığında, HBA'ya yönelik geliştirme çalışmalarının algoritmanın başarısını daha üst noktalara taşıyabileceği dikkate alınmalıdır.

Gelecek çalışmalarda, HBA'nın özellikle çalışma süresi açısından önemli kazançlar sağlayabileceği için çok değişkenli optimizasyon problemlerine yer veren çalışmalarda kullanılması ve test edilmesi hedeflenmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Karaboğa D., 2011. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 246.
2. Abd Elaziz, M., Dahou, A., Abualigah, L., Yu, L., Alshinwan, M., Khasawneh, A.M., Lu, S., 2021. Advanced Metaheuristic Optimization Techniques in Applications of Deep Neural Networks: A Review. Neural Computing and Applications, 1-21.
3. Lagaros, N.D., Plevris, V., Kallioras, N.A., 2022. The Mosaic of Metaheuristic Algorithms in Structural Optimization. Archives of Computational Methods in Engineering, 29(7), 5457-5492.
4. Adam, S.P., Alexandropoulos, S.A.N., Pardalos, P.M., Vrahatis, M.N., 2019. No Free Lunch Theorem: A Review. Approximation and Optimization: Algorithms, Complexity and Applications, 57-82.
5. Hashim, F.A., Houssein, E.H., Hussain, K., Mabrouk, M.S., Al-Atabany, W., 2022. Honey Badger Algorithm: New Metaheuristic Algorithm for Solving Optimization Problems. Mathematics and Computers in Simulation, 192, 84-110.
6. Zhou, J., Wang, D., Band, S.S., Mirzania, E., Roshni, T., 2023. Atmosphere Air Temperature Forecasting using the Honey Badger Optimization Algorithm: On the Warmest and Coldest Areas of the World. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 17(1), 2174189.
7. Diab, A.A. Z., Tolba, M.A., El-Rifaie, A.M., Denis, K.A., 2022. Photovoltaic Parameter Estimation using Honey Badger Algorithm and African Vulture Optimization Algorithm. Energy Reports, 8, 384-393.
8. Rawa, M., Abusorrah, A., Al-Turki, Y., Calasan, M., Micev, M., Ali, Z.M., Aleem, S.H.A., 2022. Estimation of Parameters of Different Equivalent Circuit Models of Solar Cells and Various Photovoltaic Modules Using Hybrid Variants of Honey Badger Algorithm and Artificial Gorilla Troops Optimizer. Mathematics, 10(7), 1057.
9. Ashraf, H., Abdellatif, S.O., Elkholy, M.M., El Fergany, A. A., 2022. Honey Badger Optimizer for Extracting the Ungiven Parameters of PEMFC Model: Steady-State Assessment. Energy Conversion and Management, 258, 115521.
10. Sevim, Ö., Sönmez, M., 2016. Geliştirilmiş Yapay Arı Koloni Algoritması ile Kafes ve Düzlemsel Çelik Yapıların Optimum Tasarımı. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(2), 38-51.
11. Değertekin, S.Ö., Bayar, G.Y., 2020. Kafes Yapıların JAYA Algoritmasıyla Doğal Frekans

- Sınırlayıcıları Altında Optimum Tasarımı. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(3), 1385-1396.
12. Holland John, H., 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor, University of Michigan Press, 232.
 13. Eberhart, R., Kennedy, J., 1995. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, MHS'95, 39-43
 14. Karaboga, D., 2005. An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Kayseri, 1-9.
 15. Dorigo, M., Maniezzo, V., Colomi, A., 1996. Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 26(1), 29-41.
 16. Kirkpatrick, S., Gelatt Jr, C.D., Vecchi, M.P., 1983. Optimization by Simulated Annealing. Science, 220(4598), 671-680.
 17. Almufti, S.M., Marqas, R.B., Othman, P.S., Sallow, A.B., 2021. Single-based and Population-based Metaheuristics for Solving NP-hard Problems. Iraqi Journal of Science, 62(5), 1710-1720.
 18. Hashim, F.A., Houssein, E.H., Hussain, K., Mabrouk, M.S., Al-Atabany, W., 2022. Honey Badger Algorithm: New Metaheuristic Algorithm for Solving Optimization Problems. Mathematics and Computers in Simulation, 192, 84-110.
 19. Renkavieski, C., Parpinelli, R.S., 2021. Metaheuristic Algorithms to Truss Optimization: Literature Mapping and Application. Expert Systems with Applications, 182, 115197.
 20. Gökdere, N., 2002. Kafes Sistemlerin Optimum Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 53.
 21. Bal, Y., 2022. Geçmişten Günümüze Dünya'da ve Türkiye'de Pnömatik Sistemlerin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Bursa, 200.
 22. Structure and Form Analysis System, Spatial Structures, 2019. https://www.setareh.arch.vt.edu/safas/007_fdmtl_21_spatial_structure.html, Erişim Tarihi: 28.04.2023.
 23. Bekdaş G., Nigdeli S.M., Yücel M., Kayabekir A.E., 2021. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları ve Mühendislik Uygulamaları. Seçkin Yayınları, Ankara, 288.
 24. Van Thieu, N., Mirjalili, S., 2023. MEALPY: An Open-source Library for Latest Metaheuristic Algorithms in Python. Journal of Systems Architecture, 102871.

Yanıt Yüzey Metodu Analizi: Alkali Elektroliz ile Hidrojen Gazı Üretimi

Ceyla ÖZGÜR*¹ ORCID 0000-0002-4072-6784

Mehmet Erman MERT² ORCID 0000-0002-0114-8707

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Adana

²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Adana

Geliş tarihi: 25.04.2023

Kabul tarihi: 13.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: ÖZGÜR, C., MERT, M.E., (2023). Yanıt Yüzey Metodu Analizi: Alkali Elektroliz ile Hidrojen Gazı Üretimi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 451-462.

Öz

Bu çalışmada alkali elektroliz hücresi ile hidrojen gazı üretimi için laboratuvar ölçekli, iki elektrotlu bir sistem kurulmuştur. Anot olarak soy metal olan platin kullanılırken, katot olarak nikel köpük elektrotlar galvanostatik yöntemle nikel-bakır-molibden (NiCuMo) ile modifiye edilmiştir. Sisteme farklı uygulama potansiyelleri (2,4 V; 2,7 V ve 3 V) uygulanmış ve farklı süreler için elde edilen hidrojen gazı hacimleri belirlenmiştir. Deneysel bulgulara göre 30 dakikalık elektroliz işlemi sonrasında artan uygulama potansiyellerine göre sırasıyla; 77,30; 90,67 ve 105,08 mL hidrojen gazı üretilmiştir. Söz konusu sistemin optimizasyonu için yanıt yüzey metodu analizi (RSM) kullanılmıştır. Sistem etkinlik analizinde elektroliz potansiyeli ve süre değişkeni olarak seçilerek hidrojen gazı üretim hacmine ve yük miktarına etkileri araştırılmıştır. Hidrojen hacmi ve yük miktarı için tahmini R² değerleri sırasıyla 0,9956 ve 0,9955 olarak belirlenmiştir. Hidrojen gazı hacim ve yük değerleri için %Hata sırasıyla 2,71 ve 0,5'dir.

Anahtar Kelimeler: Yanıt yüzey metodu, Alkali elektroliz, Hidrojen, Optimizasyon

Response Surface Method Analysis: Hydrogen Gas Production by Alkaline Electrolysis

Abstract

In this study, the laboratory scale, two-electrode system was established for the production of hydrogen gas with an alkaline electrolysis cell. The noble metal platinum was utilized as the anode and the nickel foam electrodes which were modified with nickel-copper-molybdenum (NiCuMo) by galvanostatic method, was used as the cathode. Different operation potentials (2.4 V; 2.7 V and 3 V) were applied to the system and the hydrogen gas volumes obtained for variable duration times were determined. According to the results of the study, after 30 minutes of electrolysis, 77.30, 90.67, and 105.08 mL of hydrogen gas were produced, respectively, based on the rising application potentials. The surface response method analysis (RSM) was

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Ceyla ÖZGÜR, cozgur@atu.edu.tr

used for the optimization of the system. In the system efficiency analysis, the electrolysis potential and time were chosen as variables and their effects on the hydrogen gas production volume and the amount of charge were investigated. The R^2 values of hydrogen volume and charge amount were 0.9956 and 0.9955, respectively. The error% was determined as 2.71 and 0.5 for the hydrogen gas volume and charge values, respectively.

Keywords: Response surface method, Alkaline electrolysis, Hydrogen, Optimization

1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan enerji gereksinimlerinin çok sayıda nedeni vardır. Bunlar arasında, nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme, yeni teknoloji atılımları, iklim değişikliği vb. sayılabilir. Dünya nüfusu her geçen gün artmakta ve bu durum enerji talebini arttırmaktadır [1]. Sanayileşme, özellikle gelişmekte olan ülkelerde hızla artan bir enerji talebiyle birlikte gelmektedir. Endüstriyel faaliyetler, üretim ve fabrika işletmeleri gibi enerji yoğun faaliyetlerin artması da enerji talebini arttırmaktadır. Küresel olarak kentleşme hızla devam etmektedir, kentlerde daha yoğun nüfuslar, ulaşım, aydınlatma, ısıtma/soğutma ve diğer enerji yoğun faaliyetler için daha fazla enerji ihtiyacı anlamına gelmektedir. Ayrıca teknolojinin hızla gelişmesi de enerji tüketimini arttırmaktadır. Mobil cihazlar, bilgisayarlar, yapay zeka, araçlar ve diğer cihazlar için daha fazla enerji ihtiyacı duyulmaktadır. İklim değişikliği nedeniyle artan sıcaklık, sera gazı emisyonları, yoğunlaşan nüfus ve değişen yaşam tarzları enerji talebini arttırmaktadır. Örneğin, artan sıcaklıklar klima kullanımını vb sebebiyle tüketim arttırmaktadır [2]. Kısaca bu ve benzer sebepler birlikte enerji talebinin artmasına neden olmaktadır. Dünya genelinde enerji talebi, çeşitli kaynaklardan karşılanır. Bu kaynaklar arasında en büyük oran hala fosil yakıtlara aittir, fakat sınırlı rezervler ve zararlı çevresel etkileri sebebiyle alternatif kaynaklara yönelim her geçen gün hızla artmaktadır. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, enerji talebinin bir bölümünü karşılamaktadır [3,4]. Bu kaynaklar, sürdürülebilir bir enerji üretimi sağlamak için önemlidir. Nükleer enerji, elektrik üretimi için kullanılan bir diğer önemli kaynaktır. Nükleer enerji, düşük karbonlu enerji sağlarken, nükleer atık ve nükleer kazalar riskleri nedeniyle tartışmalı bir konudur. Hidrojen,

yakıt hücresi teknolojisi ve endüstriyel prosesler için kullanılan bir diğer alternatif enerji kaynağıdır. Hidrojen üretimi, enerji yoğun bir süreçtir ve günümüzde daha çok fosil yakıtlar kullanılarak gerçekleştirilir [5,6]. Fakat hidrojen gazı üretiminde yüksek saflık ve düşük karbon ayak izi hedefleri için en uygun yöntem suyun elektrolizidir[1]. Suyun elektrolizi, suyun elektrik akımı kullanılarak hidrojen ve oksijene ayrışması işlemidir. Elektrotların birinde (katot) hidrojen, diğerinde (anot) ise oksijen gazı açığa çıkar. Bu şekilde, yüksek saflıkta hidrojen gazı üretimi gerçekleştirilir. Suyun elektrolizi, temiz bir enerji kaynağıdır. Çünkü hidrojen gazı, yanma sonucu sadece su buharına dönüşür ve çevreye zararlı hiçbir atık bırakmaz [7]. Suyun elektrolizi ile hidrojen gazı üretimi, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi veya rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak hidrojen gazı üretilebilir [8]. Hidrojen gazı, sıkıştırılmış veya sıvılaştırılmış formda depolanabilir. Bu özelliği, elektrik şebekelerinde depolama sorunlarını çözmede büyük bir fırsat sunar. Hidrojen gazı, birçok farklı amaç için kullanılabilir. Örneğin, yakıt hücreleri, endüstriyel üretim, kimyasal üretim ve araçlarda yakıt olarak kullanılabilir. Hidrojen gazı, düşük karbonlu bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtların yerini alarak, dünya genelinde sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir [9]. Bu nedenlerden dolayı, hidrojen gazı üretimi suyun elektrolizi yöntemi ile giderek daha popüler hale gelmektedir. Ancak, hidrojen gazı üretimi, enerji gerektiren bir süreçtir ve elektroliz ekipmanları ve teknolojisi henüz gelişme aşamasındadır [10]. Bu dezavantajların giderilmesi için elektrokatalitik etkinliği yüksek, düşük aşırı gerilimli, ulaşılabilir maliyetlerde elektrotların üretimi çok önemlidir. Bu amaçla çoğunlukla platin (Pt), nikel (Ni) ve paslanmaz çelik (SS) katotlar kullanılmaktadır [11-13]. Platin katotlar, hidrojen gazı üretimi için en etkin katot türlerinden biridir. Platin, yüksek

elektrokatalitik aktivitesi sayesinde, hidrojen gazı üretimi için ideal bir malzemedir. Ancak, oldukça pahalı bir malzemedir, bu nedenle daha ucuz katot malzemeleri araştırılmaktadır. Nikel katotlar, platin katotlara göre daha ucuzdur. Ayrıca, hidrojen gazı üretimi için platin katotlara yakın performans gösterirler. Ancak, nikelin elektrokatalitik aktivitesi platin kadar yüksek değildir fakat çeşitli modifikasyonlar ile nikel elektrotların etkinliklerinin artırıldığı bilinmektedir. Paslanmaz çelik katotlar da hidrojen gazı üretimi için kullanılabilir. Paslanmaz çelik, platin ve nikel katotlara göre daha ucuz bir malzemedir. Ancak, hidrojen gazı üretimi için paslanmaz çelik katotların performansı, platin ve nikel katotlara göre oldukça düşüktür [14]. Bu sebeple fiyat performans analizinde nikel ön plana çıkmaktadır. Fakat bu elektrotların etkinliğinin artırılması için bazı stratejiler geliştirilmelidir. Yüzey alanının artırılması önemli bir parametredir, çünkü elektrokatalitik aktivitenin artmasına yol açabilir [15]. Bu amaçla, nikel elektrotlar genellikle pürüzlü yüzeyler şeklinde dizayn edilir, sünger elektrotlar vb. morfolojik yapılar kullanılır veya elektrot yüzeyi elektroaktif nanopartiküller ile kaplanır [16-18]. Örneğin, katot malzemesine metal ya da karbon nanopartiküller eklenerek elektrokatalitik aktivite artırılabilir veya elektrot yüzeyi plazma işlem veya kimyasal işlemler ile modifiye edilebilir [19-21]. Sonuç olarak, nikel elektrotların elektrokatalitik aktivitesini artırmak için yüzey alanının artırılması, katot malzemesinin modifiye edilmesi, yüzey özelliklerinin değiştirilmesi, elektrolitik çözeltinin değiştirilmesi ve elektrot yapısının değiştirilmesi gibi stratejiler kullanılabilir [3,19,22]. Yang ve arkadaşları [15] elektroliz ile suyun ayrıştırılması için hidrotermal yöntem ile morfoloji kontrollü nanokristal β -Ni(OH)₂/NF (nikel hidroksit/nikel köpük) elektrokatalizörü geliştirdi. Çalışma, β -Ni(OH)₂/NF katalizörünün alkali ortamda hidrojen gazı oluşum reaksiyonu (HER) ve oksijen gazı oluşum reaksiyonu (OER) için morfolojiye bağlı elektrokatalitik özelliklerini araştırmayı amaçlamıştır. Aynı zamanda β -Ni(OH)₂/NF katalizörünün morfolojiye bağlı elektrokatalitik özelliklerinin mekanizması ile ilişkilendirilmiştir. Krishnan ve arkadaşları [23] "HER" için nikel bazlı elektro/fotokatalizörler alanındaki son gelişmeleri gözden geçirdi.

Çalışmada, nikel bazlı katalizörlerin sentezi, karakterizasyonu ve elektro/fotokatalitik etkinlikleri özetlenmiştir. Çalışma ayrıca, yenilenebilir enerji depolama ve dönüştürme gibi pratik uygulamalar için nikel bazlı elektro/fotokatalizörlerin geliştirilmesiyle ilgili zorlukları ve fırsatları da vurgulamaktadır. Çalışmanın genel amacı, gelişmiş katalitik aktivite, kararlılık ve dayanıklılık için nikel bazlı elektro/fotokatalizörlerin tasarımı ve optimizasyonu üzerinedir. Ayrıca çalışma, nikel bazlı katalizörlerin elektro/fotokatalitik performansının altında yatan mekanizmaları vurgulamakta ve performanslarını yöneten temel ilkeler hakkında fikir vermektedir. Genel olarak, çalışma, HER için nikel bazlı elektro/fotokatalizörlerin geliştirilmesindeki son çalışmalara kapsamlı bir genel bakış sağlar ve verimli ve uygun maliyetli su ayırma teknolojilerinin geliştirilmesi için araştırma alanları tanımlar.

Fakat yalnızca mühendislik tasarımlar ve iyileştirmeler ile elektroliz sisteminin etkinlik artırılması söz konusu olmayabilir. Elektroliz sistemi optimizasyonu için hesaplamalı bilgisayar programları mevcuttur ve bu programlar, elektrokimyasal reaksiyonların ve elektroliz işlemlerinin matematiksel modellerini kullanarak, sistem performansını tahmin edebilir ve optimize edebilirler. Bu programların bazıları, özellikle hidrojen üretimi için tasarlanmıştır ve elektroliz işlemi boyunca sistemdeki sıcaklık, basınç, akım yoğunluğu ve elektrot potansiyeli gibi parametreleri hesaplayabilir. Programlar ayrıca, farklı elektrot koşulları gibi faktörlerin sistem performansına etkisini analiz edebilirler. Bu programlar arasında COMSOL Multiphysics, ANSYS Fluent, Aspen Plus, HSC Chemistry ve ECEL-2D gibi yazılımlar yer almaktadır [24-27]. Literatürde kullanılan elektroliz sisteminin "response surface methodology", "yanıt yüzey metodu" (RSM) analizi, sistemin performansını artırmak ve optimize etmek için kullanılan bir tasarım ve analiz yöntemidir [28]. RSM analizinin avantajları oldukça fazladır. RSM, az sayıda deney ile yüksek doğruluk sağlayabilir. Bu durum, deney maliyetlerini ve deney zamanını azaltırken, sistemin performansını etkileyen önemli

parametreleri belirlemeye yardımcı olur. RSM, aynı anda çoklu parametre optimizasyonunu gerçekleştirebilir. Bu durum, elektroliz sistemi için birden fazla parametrenin eşzamanlı olarak optimize edilmesine olanak sağlar. RSM, elektroliz sistemi için matematiksel model oluşturmayı kolaylaştırır. Sistemin performansını daha iyi anlamak ve optimize etmek için kullanılacak modellerin geliştirilmesine olanak tanır. Yüzey tepki analizinin oluşturulmasına olanak tanır, elektroliz sistemi performansının değişkenliğini gösteren bir yüzey haritası oluşturur. Bu sayede harita, farklı işletme koşullarının sistemin performansına etkisini görselleştirir ve daha iyi bir anlayış sağlar. Ayrıca elektroliz sistemi performansının hızlı ve etkili bir şekilde optimize edilmesine olanak tanır ve işletme maliyetlerini azaltabilir [29,30]. Lotfi ve arkadaşları [31] alkali bir çözeltide “HER” için bir dendrit Ni-Cu ile modifiye edilmiş Ni köpük elektrotun elektrokatalitik aktivitesini araştırdı. Çalışma, Ni köpük substratın elektrokatalitik aktivitesini ve stabilitesini arttırmak için dendrit Ni-Cu elektrotunun sentez ve modifikasyon sürecini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, HER için dendrit Ni-Cu elektrot modifiye Ni köpük substratın gelişmiş elektrokatalitik aktivitesinin altında yatan mekanizma araştırılmıştır. Ek olarak, çalışma, dendrit Ni-Cu elektrot modifikasyonunun Ni köpük alt tabakanın yüzey morfolojisi, kimyasal bileşimi ve elektrokimyasal özellikleri üzerindeki etkisine ilişkin öngörü sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışma RSM analizi ile deneysel HER verimliliğini ortaya koyan bir araştırmadır. Esmailzadeh ve arkadaşları. [32] “HER” ve “OER” için iki işlevli bir elektrokatalizör olarak bir nikel selenid (NiSe) nano yapısını geliştirdi ve optimize etti. Çalışma, katalizörün biriktirme süresi, pH, sıcaklık vb. sentez parametrelerini kontrol ederek NiSe nano yapının elektrokimyasal performansını optimize etmek için RSM kullanmıştır. Deneysel karakterizasyon taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve elektrokimyasal ölçümler vb teknikleri kullanarak gerçekleştirilmiştir. NiSe nano yapısının morfolojisini, kristal yapısını ve elektrokatalitik aktivitesi çok yönlü araştırılmıştır. Umer ve arkadaşları [33] tek ve çok duvarlı karbon nanotüpler ile modifiye edilmiş titanyum dioksit (TiO₂) nanoparçacıklarının fotokatalitik hidrojen

üretim aktivitesi üzerindeki etkilerini yanıt yüzey metodolojisini (RSM) kullanarak optimize etmiştir. Karbon nanotüp/TiO₂ kompozitlerinin morfolojisini, kristal yapısını ve bileşimini aydınlatmak için X-ışını kırınımı (XRD), geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ve Raman spektroskopisi teknikleri kullanılmıştır. Ayrıca, maksimum fotokatalitik hidrojen üretim aktivitesinin tespiti için kalsinasyon sıcaklığı, karbon nanotüp modifikasyonu ve reaksiyon süresi vb. işlem parametreleri RSM ile optimize edilmiştir.

Rothan ve arkadaşları [34] yaptıkları çalışmada amonyaktan hidrojen verimliliği için yanıt yüzey metodu ile optimizasyon gerçekleştirmişlerdir. Hidrojen verimliliğinde dikkate alınan değişkenleri değerlendirmek için elektrik gerilimi (90-110 V), amonyak akış hızı (30-150 L/saat) ve yukarı akış basıncı (0-100 kPa) gibi faktörleri YYM aracılığıyla deneyler kullanılarak incelenmişlerdir. Mu ve arkadaşları [35] glukozdan H₂ üretimini optimize etmek için merkezi bileşik tasarıma sahip Yanıt Yüzey Metodolojisi kullanılmıştır. H₂ üretimi üzerinde pH, sıcaklık ve glukoz konsantrasyonunun bireysel ve etkileşimli etkileri de değerlendirilmiştir. Maksimum H₂ verimi için optimum koşullar; sıcaklık 38.8 °C, pH 5.7 ve glukoz konsantrasyonu 9.7 g/L olarak bulunmuştur. Sıcaklık ve pH'nın lineer etkileri ile H₂ verimine olan kare etkileri anlamlı bulunmuştur.

Bu çalışmada ise nikel köpük katotların nikel-bakır-molibden (NiCuMo) ile modifikasyonu elektrokimyasal çöktürme ile gerçekleştirilmiş ve deneysel elektroliz hücresinin etkinliği RSM analizi ile optimize edilmiştir. Sistem etkinlik analizinde elektroliz potansiyeli ve süre değişken olarak seçilerek hidrojen gazı üretim hacmine ve yük miktarına etkileri araştırılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Elektrolis Sisteminin Kurulumu

Ni köpük malzeme (NF - Sigma GF28024657-1EA) 1:1:0.16 cm boyutunda kesildi, ardından sisteme bağlamak için Ni tel ile tutturuldu. Önceki çalışmamızda belirtildiği üzere yüzey hazırlama

işlemleri gerçekleştirildi [28]. Katalizörlerin elektrokimyasal çöktürme işlemleri için Iviumstat Elektrokimyasal analiz cihazı kullanıldı ve katalizör miktarı 10 mg cm^{-2} olacak şekilde gerçekleştirildi. Çöktürme banyosu bileşimi %30 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, %1,25 H_3BO_3 , %3 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, %3 MoNa_2O_4 , %0,2 NaCl 'dir. Hidrojen gazı hacmini belirlemek için anot olarak Pt ve katot olarak çalışma elektrotu (NiCuMo) ile iki elektrotlu bir elektroliz hücresi kullanıldı. Bu sistemin kurulumunda farklı derişimlerde (0,5; 1 ve 1,5 M) KOH çözeltilisiyle doldurulan büretler katotların üzerine ters çevrilmiş ve sisteme çeşitli sabit potansiyeller (2.4, 2.7 ve 3.0 V) uygulanmıştır. Her bir potansiyel için bürette dolan hidrojen gazı farklı süreler (10, 20 ve 30 dakika) için belirlenmiştir. Hidrojen gazı üretiminde, tüm ölçüm sonuçları buhar basıncı düzeltilmesi yapılarak verilmiştir [28].

2.2. Yanıt Yüze Metolojisi (RSM)

Yapılan çalışma kapsamında, veri analizi Design Expert (deneme sürümü) ile gerçekleştirilmiştir ve ikinci dereceden model oluşumu için merkezi kompozit tasarımı tercih edilmiştir. Model oluşturulurken bağımsız değişkenler olarak süre ve elektrik voltajı seçilmiştir. Hidrojen hacmi ve yük miktarı ise bağımlı değişkenlerdir. Toplamda 13 deney yapılmıştır. Tüm deneysel denemeler, etkileşimsel etkiler, bireysel etkiler ve optimum koşulları incelemek için gerçekleştirilmiştir. Bağımsız değişkenler Çizelge 1'de gösterildiği gibi düşük (-1), orta (0) ve yüksek (+1) olmak üzere üç seviyede incelenmiştir. Modellemenin temel sonuçlarından biri olan cevap yüzey metodu denkleminin genel biçimi Eşitlik 1'de ifade edildiği şekilde hesaplanmıştır:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i + \beta_{ii} X_{ii}^2 + \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

Burada, Y_i bağımlı değişken, β_0 , β_i , β_{ii} , β_{ij} model katsayıları, X_i ve X_j bağımsız değişkenlerdir.

Geliştirilen modelin uygunluğunu doğrulamak için Varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Modelin tahmin doğruluğu R^2 korelasyon katsayısı ile

ilişkilidir ve Fisher F testi istatistiksel anlamlılığını kanıtlamaktadır. p ve F değerleri de model terimlerini test etmek için kullanılır [24]. Çizelge 1, giriş parametrelerini ve seviyelerini göstermektedir.

Çizelge 1. Bağımsız parametreler ve seviyeleri

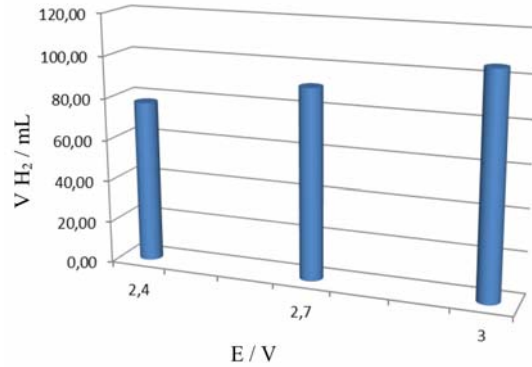
Sembol	Değişken	Birim	Seviye		
			-1	0	+1
A	Süre	dk	10	20	30
B	Elektrik Potansiyeli	Voltaj	2.4	2.7	3.0

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Elektrotların Deneysel Analizi

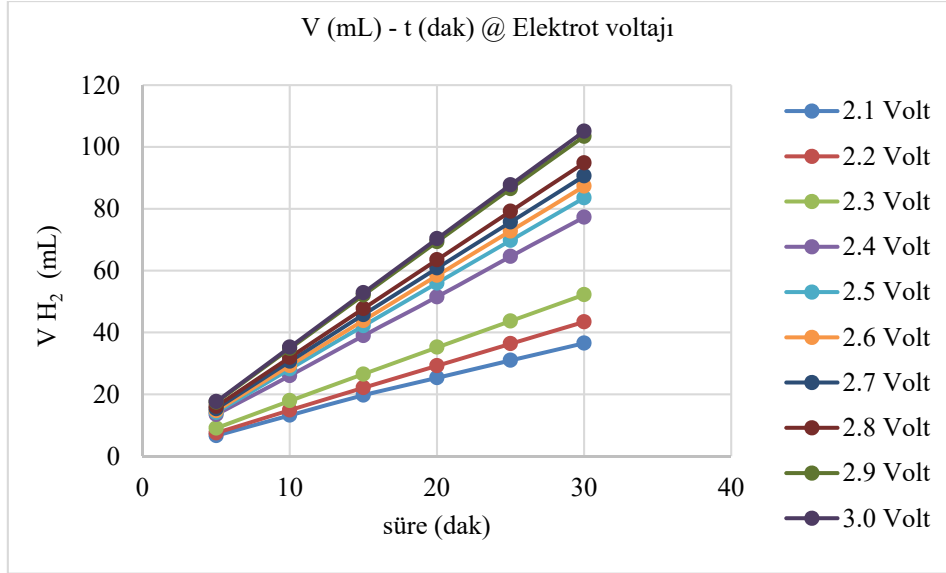
Elektroliz sistemi ile 1 M KOH çözeltilisinde NiCuMo elektrot yüzeyinde farklı potansiyel değerlerinde 30 dakika boyunca üretilen hidrojen gazı hacimleri Şekil 1'de görülmektedir.

Şekil 1'de artan elektrik voltajı ile üretilen hidrojen gazı miktarının arttığı görülmektedir. 2,4; 2,7 ve 3 V için hidrojen gazı hacimleri sırasıyla 77,30; 90,67 ve 105,08 mL olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. Farklı potansiyellerde üretilen hidrojen gazı hacimleri

Elektroliz sisteminde elektroliz süresinin etkisinin tespiti için gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2'de çok daha geniş bir potansiyel aralığında (2,1 V'dan itibaren 3 V'a kadar) deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Farklı elektroliz sürelerinde üretilen hidrojen gazı hacimleri

3.2. Yanıt Yüzey Metodu

Merkezi kompozit tasarımına göre, deneyler optimum kombinasyonu bulmak ve giriş parametrelerinin hidrojen hacmi ve yük miktarı üzerindeki etkilerini incelemek için yapılmıştır ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Hidrojen hacmi ve yük miktarı optimizasyonu ve tahmini için 2 bağımsız değişkenin üç farklı seviyesi kullanılmıştır. Eşitlik 2 ve 3'de sırasıyla hidrojen hacmi ve yük miktarı için 2. dereceden polinom

verilmiştir.

$$Y = 55.57 + 28.05A + 14.67B + 6.48AB - 0.4293A^2 + 3.62B^2 \quad (2)$$

$$Y = 481.23 + 240.66A + 123.27B + 57.65AB - 5.96A^2 + 35.94B^2 \quad (3)$$

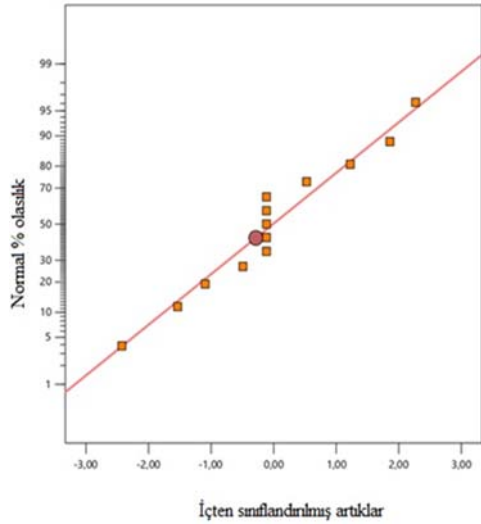
Burada; Y değeri Eşitlik 2 ve 3 için sırasıyla hidrojen hacmi ve yük miktarını, A süreyi, B voltaj değerini belirtmektedir.

Çizelge 2. Farklı deneysel denemeler için gerçek ve tahmin edilen çıktılar karşılaştırılması

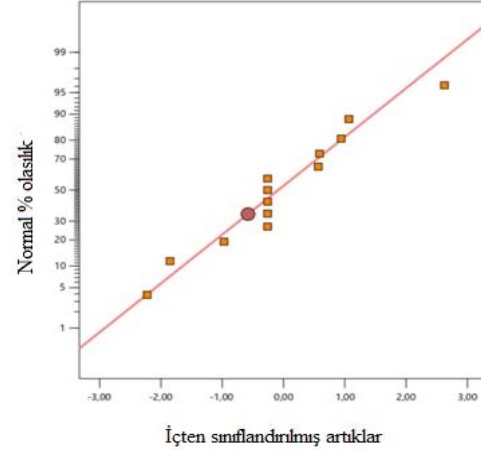
D deney No	A: Süre (dk)	B: Voltaj (V)	Deneysel hacim	Deneysel yük	RSM hacim	RSM yük
1	20	2,7	55,5	479,9	55,57	481,23
2	20	2,7	55,5	479,9	55,57	481,23
3	20	2,7	55,5	479,9	55,57	481,23
4	20	2,7	55,5	479,9	55,57	481,23
5	30	2,4	66,2	572,1	65,67	570,63
6	20	2,7	55,5	479,9	55,57	481,23
7	20	3,0	74,4	642,8	73,85	640,44
8	20	2,4	44,3	398,2	44,52	393,91
9	10	2,7	28,1	245,5	27,09	234,94
10	10	3,0	38,2	331,7	38,90	336,5
11	30	2,7	82,5	711,7	83,19	715,61
12	10	2,4	22,2	199,5	22,52	205,26
13	30	3,0	108,1	934,9	107,95	932,46

3.3. Elektrotların Deneysel Analizlerinin Optimizasyonu

Ölçülen verilerin varsayımının normalitesini doğrulamak için normal olasılık grafikleri oluşturulmuştur. Bu artıkların dağılımını kontrol etmek için kullanılan tanıtıcı grafiklerden birisidir. Şekil 3 ve 4'ten de görüldüğü üzere hidrojen hacmi ve yük değerleri için artıklar normal bir dağılım izlemektedir ve bu da varyans analizinin (ANOVA) geçerliliği için önemlidir [35,36].



Şekil 3. Hidrojen hacmi normal artık grafikleri



Şekil 4. Yük için normal artık grafikleri

Modelin anlamlılığını bulmak için kullanılan varyans analizi (ANOVA) Çizelge 3'te verilmiştir. P-değeri ve F-değeri, sırasıyla modelin önemini ve tutarlılığını göstermektedir. Çizelge 3'e göre F değeri 2842,54 ve p değeri <0,0001 ise tasarlanan modelin önemli olduğu anlamına gelmektedir. ANOVA analizinde, p-değeri 0,05'ten küçük olan modeldeki faktörlerin önemli olduğu kabul edilir. Çizelge 3'e göre p değeri 0,05'ten küçük olduğu için çok önemli kabul edilmiştir. Model için belirlenen korelasyon sayıları (R^2) incelendiğinde, hidrojen hacmi ve yük miktarı için tahmini R^2 değerleri sırasıyla 0,9956'dır ve 0,9955 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3. Model ve faktörlere ait F değerleri ve p değerleri

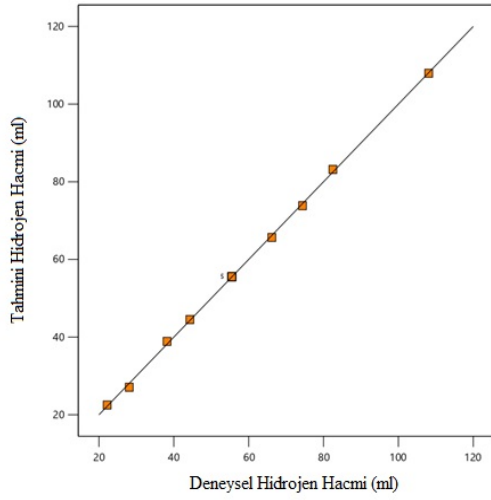
Kaynak	Hidrojen hacmi		Yük	
	F-değeri	P-değeri	F-değeri	P-değeri
Model	3149,72	< 0.0001	2842,54	< 0.0001
A-Süre	11956,03	< 0.0001	10830,55	< 0.0001
B-Potansiyel	3268,77	< 0.0001	2849,14	< 0.0001
AB	424,73	< 0.0001	415,46	< 0.0001
A ²	1,29	0,2936	3,06	0,1235
B ²	91,70	< 0.0001	111,50	< 0.0001

Çizelge 4'e baktığımızda hidrojen hacmi ve yük arasındaki farklar 0,2'den az olduğu için makul bir değeri için tahmini ve ayarlanmış R^2 değerleri uyum içerisinde.

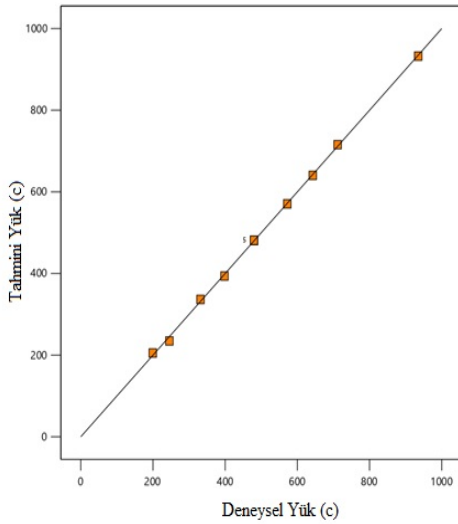
Çizelge 4. Modellerin özeti

	Hacim	Yük		Hacim	Yük
Std. Sapma	0,6284	5,66	R^2	0,9996	0,9995
Ortalama	57,04	495,07	Ayarlanmış R^2	0,9992	0,9992
C.V. %	1,10	1,14	Tahmini R^2	0,9956	0,9955
			Yeterli Kesinlik	200,1282	189,2281

Şekil 5 ve 6 sırasıyla deneyle karşı tahmin edilen hidrojen hacmi ve yük miktarının grafiklerini göstermektedir. Model terimlerinin deneysel verileri, tahmin değerlerini elde etmek için RSM model denklemine eklenmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere diyagonal çizgiye doğru tahmin edilen ve gerçek hidrojen hacmi ve yük değerlerinin birbiriyle olan yakınlığı modelin geçerli olduğunu göstermektedir [37].



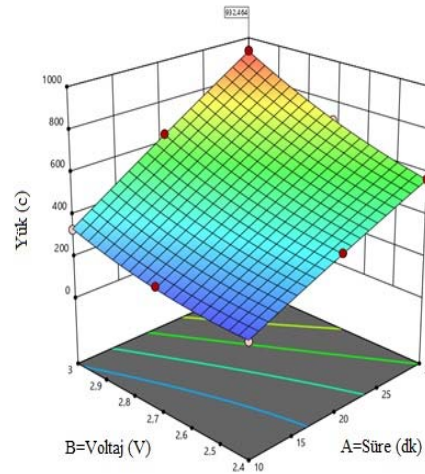
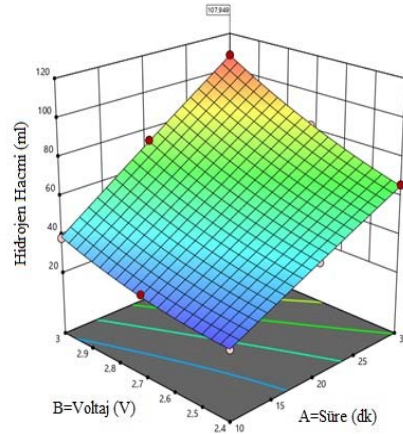
Şekil 5. Hidrojen hacmi için gerçek ve tahmin edilen değerler



Şekil 6. Yük için gerçek ve tahmin edilen değerler

3.4. Proses Parametrelerinin Hidrojen Hacmi ve Yük Miktarı Üzerindeki Etkileri

Bağımsız değişkenlerin sistem üzerindeki etkileri bağımlı değişkenler aracılığı ile yapılmaktadır. Bu yüzden de bağımlı değişkenlerin belirlenmesi büyük bir önem kazanmaktadır [28]. Elektroliz süresi ve elektrot voltajının hidrojen hacim miktarına ve yük miktarına karşı çizilen 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Eşitlik 2 ve 3'deki A ve B değerlerinin pozitif olması artan süre ve voltaj miktarı ile hidrojen hacmi ve yük miktarını arttırdığını göstermektedir.

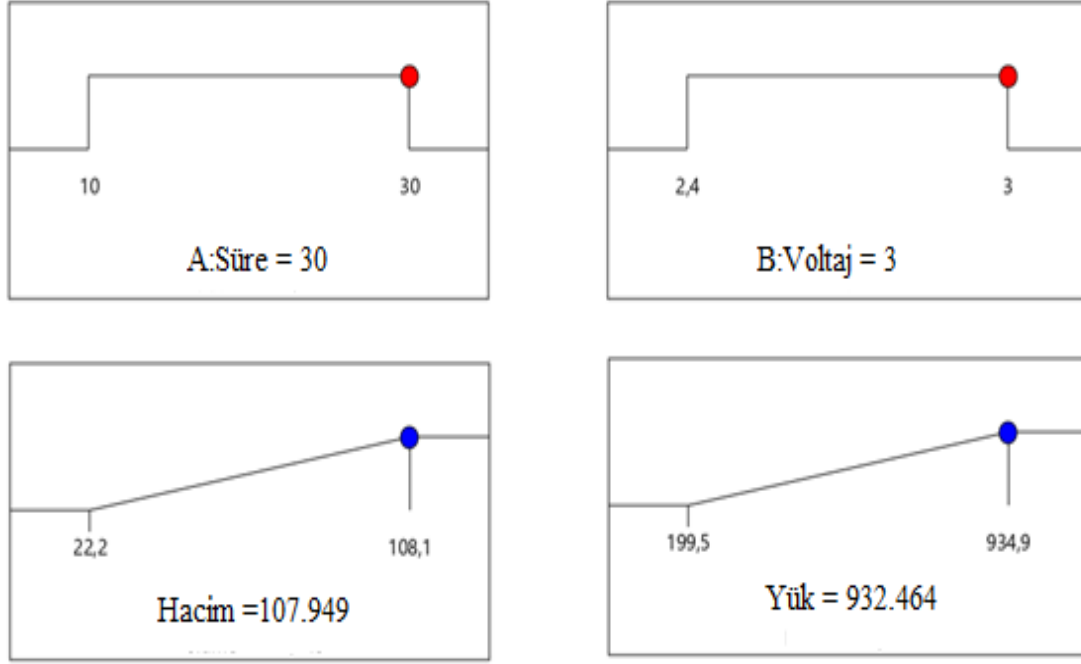


Şekil 7. Hacim miktarına ve yük miktarına karşı çizilen 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri

3.5. Model Doğrulama Deneyleri

Yanıt yüzey metodu ile modellemede üretim parametreleri için optimum değerleri belirlemek yapılan çalışmaların en önemli bir kısımlarından

birisidir. Design-Expert (deneme sürümü) programı kullanılarak oluşturulan ampirik model, maksimum hidrojen hacmine ve yük miktarına ulaşmak için en iyi koşulları belirlemiştir.



Şekil 8. Yanıt yüzey metodu ile elde edilen optimum değerler

Maksimum hidrojen verimi ve yük miktarı için yanıt yüzey metodu tarafından önerilen veri seti Çizelge 5'de verilmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda, modelin optimal parametrelerini 30 dakika ve 3 voltaj olarak bulmuştur. İkinci dereceden model tarafından belirlenen optimum koşullarda maksimum hidrojen hacmi 107.949 mL ve maksimum yük miktarı 932.464 c olarak tespit edilmiştir.

Ampirik modelin ve optimizasyon bulgularının

doğruluğunu test etmek için doğrulama testleri gerçekleştirilmiştir. Her yanıt için, optimum doğrulama deneylerinden elde edilen sonuç ile modelden elde edilen tahmini sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çizelge 5'den de görüldüğü üzere hidrojen hacmi ve yük değeri için hesaplanan hata sırasıyla 2,71 ve 0,5 olarak belirlenmiştir. Elde edilen % hata değerlerine göre, doğrulama testlerinden elde edilen sonuçlar ile tahmini sonuçlar arasında istatistiksel olarak önemli bir farkın olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 5. Yanıt yüzey metodu tarafından önerilen veri seti

Etkileyen Faktörler		H ₂ Hacmi		Yük		% Hata	
Süre (dk)	Voltaj (V)	DeneySEL	Tahmini	DeneySEL	Tahmini	H ₂ Hacmi	Yük
30	3	105,083	107,949	927,5	932,464	2,71	0,5

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, nikel köpük katotların nikel-bakır-molibden (NiCuMo) ile modifikasyonu elektrokimyasal çöktürme ile gerçekleştirilmiş olup hidrojen hacmi ve yük miktarını belirlemede proses parametrelerinin tahmini ve optimizasyonu yanıt yüzey metodu başarıyla uygulanmıştır. Yanıt yüzey metodu ile yüksek oranda hidrojen hacmi ve yük miktarı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği şekildedir:

- Yanıt yüzey metoduna göre elde edilen optimum üretim parametreleri 30 dakika ve 3V elektrik potansiyeli olarak gözlemlenmiştir. Bu optimum parametrelerde 107,949 mL hidrojen hacmi ve 932,964 c oranında yük miktarı elde edilmiştir.
- ANOVA test sonuçlarına göre elektrik potansiyeli hidrojen hacmi ve yük miktarı için en önemli parametre olarak tespit edilmiştir.
- Yanıt yüzey metodunun R^2 değerleri hidrojen hacmi ve yük miktarı için sırasıyla 0,9996 ve 0,9995 olarak elde edilmiştir.
- Doğrulama testi sonuçları, deneysel olarak elde edilen hidrojen hacmi ve yük miktarı sonuçları ile tahmin edilen hidrojen hacmi ve yük miktarı sonuçları arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Kumar, S.S., Lim, H., 2022. An Overview of Water Electrolysis Technologies for Green Hydrogen Production. *Energy Reports*, 8, 13793-13813.
2. Mohammed, H.J., Ali, N.A., 2019. Fabricating and Study Effect of the Concentrations Electrolyte for An Alkaline Electrolysis Cell. *The 7th International Conference on Applied Science and Technology, (ICAST'2019)*, 27-28 March 2019, Katbala City, Iraq, 30002-30006.
3. Batool, M., Hameed, A., Nadeem, M.A., 2023. Recent Developments on Iron and Nickel-based Transition Metal Nitrides for Overall Water Splitting: A Critical Review. *Coordination Chemistry Reviews*, 480, 215029.
4. Dezhdar, A., Assareh, E., Agarwal, N., Bedakhanian, A., Keykhah, S., Fard, G.Y., Zadsar, N., Aghajari, M., Lee, M., 2023. Transient Optimization of A New Solar-wind Multi-generation System for Hydrogen Production, Desalination, Clean Electricity, Heating, Cooling, and Energy Storage using TRNSYS. *Renewable Energy* 208, 512-537.
5. Dincer, I., 2023. Hydrogen 1.0: A new Age. *International Journal of Hydrogen Energy*.
6. Wang, Y., Lu, Z., Chen, M., Liang, D., Wang, J., 2022. Hydrogen Production from Catalytic Steam Reforming of Toluene Over Trace of Fe and Mn Doping Ni/Attapulgate. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 165, 105584.
7. Novotny, V., 2023. Blue Hydrogen can be A Source of Green Energy in the Period of Decarbonization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(20), 7202-7218.
8. Gopinath, M., Marimuthu, R., 2022. A Review on Solar Energy-based Indirect Water-splitting methods for Hydrogen Generation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(89), 37742-37759.
9. Monga, D., Shetti, N.P., Basu, S., Kakarla, R.R., 2023. Recent Advances in Various Processes for Clean and Sustainable Hydrogen Production. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 33, 100948.
10. Dokhani, S., Assadi, M., Pollet, B.G., 2023. Techno-economic Assessment of Hydrogen Production from Seawater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(26), 9592-9608.
11. Omarov, S.O., Martinson, K.D., Matveyeva, A.N., Chebanenko, M.I., Nevedomskiy, V.N., Popkov, V.I., 2022. Renewable Hydrogen Production via Glycerol Steam Reforming over Ni/CeO₂ Catalysts Obtained by Solution Combustion Method: The Effect of Ni Loading. *Fuel Processing Technology*. 236, 107429.
12. Shejale, A.D., Yadav, G.D., 2022. Steam reforming of bio-alcohols over Ni-M (Cu, Co, Pt)/MCF-S (MgO, La₂O₃, CeO₂) for Renewable and Selective Hydrogen Production: Synergistic Effect of MCF Silica and Basic Oxides on Activity and Stability Profiles. *Catalysis Today*, In press.
13. Yuvaraj, A.L., Santhanaraj, D., 2013. A Systematic Study on Electrolytic Production of

- Hydrogen Gas by using Graphite as Electrode. *Materials Research*, 17(1), 83-87.
14. Okonkwo, P.C., Barhoumi, E.M., Mansir, I.B., Emori, W., Bhowmik, H., 2022. Effect of Electrode Material on the Hydrogen Production Using a Low-cost Home-made Alkaline Electrolyzer. *Vacuum*, 198, 110878.
 15. Yang, J.H., Xu, X., Chen, M., Yang, D., Lu, H., Sun, Y., Shao, C., Song, Q., Zhang, J., Gao, L., Zhang, Y., 2021. Morphology-Controllable Nanocrystal β -Ni(OH)₂/NF Designed by Hydrothermal Etching Method as High-Efficiency Electrocatalyst for Overall Water Splitting. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 882, 115035.
 16. Ding, Q., Zou, X., Ke, J., Dong, Y., Cui, Y., Lu, G., Ma, H., 2023. S-scheme 3D/2D NiCo₂O₄@g-C₃N₄ Hybridized System for Boosting Hydrogen Production from Water Splitting. *Renewable Energy*, 203, 677-685.
 17. Hao, J., Liu, J., Wu, D., Chen, M., Liang, Y., Wang, Q., Wang, L., Fu, X.Z., Luo, J.L., 2021. In Situ Facile Fabrication of Ni(OH)₂ Nanosheet Arrays for Electrocatalytic Co-production of Formate and Hydrogen from Methanol in Alkaline Solution. *Applied Catalysis B: Environmental*, 281, 119510.
 18. Kong, X., Lv, F., Zhang, H., Yu, F., Wang, Y., Yin, L., Huang, J., Feng, Q., 2022. NiO Load K₂Fe₄O₇ Enhanced Photocatalytic Hydrogen Production and Photo-Generated Carrier Behavior. *Journal of Alloys and Compounds*, 903, 163864.
 19. Cai, W., Li, Y., Zheng, Q., Song, M., Ma, P., Fang, W., Song, W., Lai, W., 2023. Hydrogenative Rearrangement of Bioderived Furfurals to Cyclopentanones over Ni/Nb₂O₅ Catalysts: Promotion Effect of Reducible NbOx and Water. *Fuel*, 338, 127345.
 20. Liu, F., Tang, Y., Zhao, J., Bai, Y., Chen, J., Tian, L., Shah, S.S.A., Bao, S.J., 2022. Carbon Dots-induced Carbon-coated Ni and Mo₂N Nanosheets for Efficient Hydrogen Production. *Electrochimica Acta*, 424, 140671.
 21. Liu, S., Li, F., Li, T., Cao, W., 2023. High-Performance ZnIn(2)S(4)/Ni(dmgh)(2) for Photocatalytic Hydrogen Evolution: Ion Exchange Construction, Photocorrosion Mitigation, and Efficiency Enhancement by Photochromic Effect. *Journal of Colloid and Interface Science*, 642, 100-111.
 22. Xu, C., Yang, X., Feng, K., Zhang, M., Yang, L., Yin, S., 2023. Metal-organic Framework Derived Ni/Mo₂C/Mo₂TiC₂Tx@NC as an Efficient Electrocatalyst for Enhanced Hydrogen Production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(46), 17553-17564.
 23. Krishnan, A., Ajith, A., Krishnan, A.V., Saji, R.E., Syamli, S., Shibli, S.M.A., 2023. Ni-based Electro/Photo-Catalysts in HER - A Review. *Surfaces and Interfaces*, 36, 102619.
 24. Bilgiç, G., Bendeş, E., Öztürk, B., Atasever, S., 2023. Recent Advances in Artificial Neural Network Research for Modeling Hydrogen Production Processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(50), 18947-18977.
 25. Ince, A.C., Serincan, M.F., Colpan, C.O., Pasaogullari, U., 2023. A Mini Review on Mathematical Modeling of Co-electrolysis at Cell, Stack and System Levels. *Fuel Processing Technology*, 244, 107724.
 26. Kombe, E.Y., Lang'at, N., Njogu, P., Malessa, R., Weber, C.T., Njoka, F., Krause, U., 2022. Process Modeling and Evaluation of Optimal Operating Conditions for Production of Hydrogen-rich Syngas from Air Gasification of Rice Husks Using Aspen Plus and Response Surface Methodology. *Bioresource Technology*, 361, 127734.
 27. Okolie, J.A., Epelle, E.I., Nanda, S., Castello, D., Dalai, A.K., Kozinski, J.A., 2021. Modeling and Process Optimization of Hydrothermal Gasification for Hydrogen Production: A Comprehensive Review. *The Journal of Supercritical Fluids*, 173, 105199.
 28. Özgür ,C., Mert, M.E., 2022. Prediction and Optimization of the Process of Generating Green Hydrogen by Electrocatalysis: A study Using Response Surface Methodology. *Fuel*, 330, 125610.
 29. Pourali, M., Esfahani, J.A., 2022. Performance Analysis of a Micro-scale Integrated Hydrogen Production System by Analytical Approach, Machine Learning, and Response Surface Methodology. *Energy*, 255, 124553.
 30. Salahi, F., Zarei-Jelyani, F., Farsi, M., Rahimpour, M.R., 2023. Optimization of Hydrogen Production by Steam Methane

- Reforming over Y-promoted Ni/Al₂O₃ Catalyst Using Response Surface Methodology. *Journal of the Energy Institute*, 108, 101208.
31. Lotfi, N., Shahrabi, T., Yaghoubinezhad, Y., Darband, G.B., 2019. Surface Modification of Ni Foam by the Dendrite Ni-Cu Electrode for Hydrogen Evolution Reaction in an Alkaline Solution. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 848, 113350.
32. Esmailzadeh, S., Shahrabi, T., Yaghoubinezhad, Y., Darband, B.G., 2021. Optimization and Characterization of Pulse Electrodeposited Nickel Selenide Nanostructure as a Bifunctional Electrocatalyst by Response Surface Methodology. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(36), 18898-18912.
33. Umer, M., Tahir, M., Usman Azam, M., Tasleem, S., Abbas, T., Muhammad A., 2019. Synergistic Effects of Single/Multi-walls Carbon Nanotubes in TiO₂ and Process Optimization Using Response Surface Methodology for Photo-catalytic H₂ Evolution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5), 103361.
34. Rothan, A.Y., Ali, F.F., Issakhov, A., Selim, M.M., Li, Z., 2021. Optimization Analysis of Hydrogen Production Using Ammonia Decomposition. *Journal of Molecular Liquids*, 335, 116190.
35. Mu, Y., Zheng, X., Yu, H., 2009. Determining Optimum Conditions for Hydrogen Production from Glucose by an Anaerobic Culture Using Response Surface Methodology (RSM). *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 7959-7963.
36. Adam I.K., Aziz A.R.A., Yusup S., Heikal M., Hagos F., 2016. Optimization of Performance and Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Rubber Seed Palm Biodiesel Blends using Response Surface Method. *Asian Journal of Applied Sciences*, 4(2), 401-421.
37. Ali R.Y., Ali F.F., Issakhov A., Selim M.M., Li Z., 2021. Optimization Analysis of Hydrogen Production Using Ammonia Decomposition. *Journal of Molecular Liquids*, 335, 116190.
38. Munusamy T.D., Chin S.Y., Khan M.M.R., 2022. Optimization of Process Parameters for Photoreforming of Hydrogen Evolution via Response Surface Methodology (RSM): A Study Using Carbon@exfoliated g-C₃N₄. *Chemical Engineering Research and Design*, 177, 513-525.

Turkey's Green Economy Initiative: An Experimental Evaluation of Hydrogen Energy

Fırat EKİNCİ*¹ ORCID 0000-0002-4888-7881

Mehmet Erman MERT² ORCID 0000-0002-0114-8707

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering,
Department of Energy Systems Engineering, Adana, Türkiye

²Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Advanced Technologies
Application and Research Center, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 02.05.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: EKİNCİ, F., MERT, M.E., (2023). Turkey's Green Economy Initiative: An Experimental Evaluation of Hydrogen Energy. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 463-471.

Abstract

Green economy is a concept that aims to achieve sustainable economic growth without harming the environment. Reducing carbon footprint is an important tool for the green economy. The contribution of reducing carbon footprint to the green economy is to measure the impact of economic activities on the environment and guide the development of green economy practices. Through green economy practices, carbon footprint can be reduced, environmentally friendly production and consumption habits can be promoted, and natural resources can be used more efficiently. Turkey is in a moderate position in terms of carbon footprint worldwide. As of 2019, Turkey's carbon footprint was calculated as 370 million tons of carbon dioxide (CO₂) equivalent. The energy sector, industrial activities, transportation and agriculture sectors are among the largest sources of carbon footprint in Turkey. In this study, the evaluation of hydrogen gas production for reducing carbon footprint during Turkey's transition to the green economy is discussed. The production and evaluation of the cathode electrode used in hydrogen gas production with the alkaline electrolysis system were conducted. For this purpose, a novel, cheap and accessible cathode material containing transition metal was used for the first time in the literature, which was produced by a triple coating of nickel (Ni), iron (Fe), and molybdenum (Mo) on a nickel foam electrode surface at different potentials (2.1 V - 3 V) and different times (5-30 minutes) with two electrode techniques to produce hydrogen gas. According to the results, the amount of hydrogen gas produced per unit surface area (m²) of the electrode during a 30-minute period was approximately 516 L, and the energy value determined by the Lower Heating Value (LHV) was 5533.2 kJ/kg H₂.

Keywords: Green economy, Alkaline electrolysis, Hydrogen, Carbon footprint

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Fırat EKİNCİ, fekinci@atu.edu.tr

Türkiye'nin Yeşil Ekonomi Girişimi: Hidrojen Enerjisinin Deneysel Bir Değerlendirmesi

Öz

Yeşil ekonomi, çevreye zarar vermeyen, sürdürülebilir ekonomik büyümeyi hedefleyen bir kavramdır. Karbon ayak izi azaltılması yeşil ekonomi için önemli bir araçtır. Karbon ayak izi azaltılmasının yeşil ekonomiye katkısı, ekonomik faaliyetlerin çevreye olan etkisini ölçerek, yeşil ekonomi uygulamalarının geliştirilmesine yol göstermesidir. Yeşil ekonomi uygulamaları sayesinde, karbon ayak izi azaltılabilir, çevre dostu üretim ve tüketim alışkanlıkları yaygınlaştırılabilir ve doğal kaynakların daha verimli kullanılması sağlanabilir. Türkiye, karbon ayak izi açısından dünya genelinde orta düzeyde bir konumda yer almaktadır. 2019 yılı itibarıyla Türkiye'nin karbon ayak izi, 370 milyon ton karbondioksit (CO₂) eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin en büyük karbon ayak izi kaynakları arasında enerji sektörü, endüstriyel faaliyetler, ulaşım ve tarım sektörleri yer almaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin yeşil ekonomiye geçiş sürecinde karbon ayak izinin azaltılması için hidrojen gazı üretiminin değerlendirilmesi ele alınmıştır. Alkali elektroliz sistemiyle hidrojen gazı üretiminde kullanılan katot elektrot üretimi ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmada literatürde ilk kez üretilen, geçiş metali ihtiva eden, ucuz ve ulaşılabilir katot malzemesi kullanılmıştır. Bu amaçla nikel köpük elektrot yüzeyinden nikel (Ni); demir (Fe) ve molibden (Mo) üçlü kaplama oluşturulmuştur ve farklı potansiyellerde (2,1 V – 3 V), farklı sürelerde (5-30 dak) iki elektrot tekniğiyle hidrojen gazı üretimi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre üretilen elektrotun birim yüzeyi (m²) başına 30 dakika süresince oluşturulan hidrojen gazı yaklaşık 516 L iken alt ısı değerine (LHV) göre belirlenen enerji değeri ise 5533,2 kJ/kg H₂'dir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil ekonomi, Alkali elektroliz, Hidrojen, Karbon ayak izi

1. INTRODUCTION

Energy transformation based on renewable energy sources, waste management, resource efficiency, and the use of environmentally friendly production technology are only a few examples of sustainable practices that are part of the green economy [1-8]. The implementation of these practices helps reduce carbon footprint and promote more efficient use of natural resources. Carbon footprint and green economy are closely related topics because carbon footprint measures the environmental impact of economic activities and evaluates sustainability. The carbon footprint is a measure of the damage that an individual, a business, or a country causes to the environment [9-12]. The carbon footprint measures the amount of greenhouse gases, directly or indirectly released into the atmosphere. The carbon footprint is calculated by evaluating many factors together. These factors include activities such as transportation, household energy use, food production and consumption, and production and consumption of goods. Carbon footprint

calculations help individuals and businesses understand their impact on the environment and help them adopt a more sustainable lifestyle. Many steps can be taken to reduce the carbon footprint. The first step is to increase energy efficiency. Individuals and businesses can reduce their carbon footprints by using devices that consume less energy and adopting habits that save energy. Additionally, the use of renewable energy sources also plays an important role in reducing the carbon footprint. Turkey can reduce its carbon footprint by taking advantage of renewable energy sources such as solar energy, wind energy, and hydroelectric energy. In summary, carbon footprint and green economy are complementary topics [13-15]. Carbon footprint estimates are a crucial instrument in the development of green economy practices since they assist minimize carbon emissions and promote sustainable economic growth [16-18]. Hydrogen energy is a sustainable energy source that can help reduce greenhouse gas emissions by replacing fossil fuels. Hydrogen fuel cells combine hydrogen with oxygen to produce electrical energy,

with only water vapor being released as a byproduct. Therefore, hydrogen energy can reduce carbon footprint by preventing greenhouse gas emissions associated with fossil fuel use. One way to obtain hydrogen is through the electrolysis of water. This process can be carried out using renewable energy sources such as solar or wind energy, making the energy source used in hydrogen energy production also environmentally friendly [19-21]. Hydrogen can be obtained by splitting water through electrolysis. Electrolysis is a chemical reaction that uses electrical current. In electrolysis, water is converted into hydrogen and oxygen gases by the use of an electric current. During this process, hydrogen gas is stored in hydrogen tanks, while oxygen gas is released into the atmosphere. Hydrogen production through electrolysis does not directly reduce carbon footprint because the electrolysis process requires energy, and greenhouse gas emissions depend on the source of energy used to produce the electricity. However, producing hydrogen through electrolysis using renewable energy sources is a key step towards reducing carbon footprint [22,23].

The carbon footprint of the hydrogen produced depends on the source of electricity used in its production and the efficiency of the electrolysis process. It's crucial to consider the source of electricity, whether it comes from renewable sources or those that emit greenhouse gases, such as fossil fuels. Additionally, the efficiency of the electrolysis process also affects the carbon footprint of hydrogen. Efficient electrolysis processes can produce more hydrogen with less energy, resulting in a lower carbon footprint. Renewable energy sources such as solar, wind, or hydroelectric power can also be used as the energy source for hydrogen production instead of fossil fuels. This contributes to reducing the carbon footprint through hydrogen production using electrolysis [24-26]. The calculation of carbon footprint for electrolysis can vary depending on various factors such as; energy source (the energy source used for electrolysis will determine the carbon emissions generated during the process); efficiency of the electrolysis process (the efficiency of the electrolysis process will determine the amount of energy used). A more efficient electrolysis process will use less energy

and, therefore, result in fewer carbon emissions); production of materials (the production of materials used in the electrolysis process can also affect the carbon footprint) [27-29].

In this study we aimed to produce electrodes which have higher catalytic performance and lower production investments for reducing carbon footprint. For this purpose, nickel, molybdenum and ferrous were determined as deposition metals. Due to the spiderweb-like morphological advantage of Ni foam electrode, it was used as a substrate and NiMoFe was deposited on it. We calculated the carbon footprint of the produced system. As the carbon footprints insights in the fabrication of the electrode are a challenging and complex process to calculate, inaccurate calculations can be generated. Therefore, in this study, we used the data which was obtained from literature. The creation of hydrogen utilizing a renewable energy source has been shown to significantly reduce its carbon footprint, according to the results obtained at various voltage values.

2. MATERIAL AND METHOD

A Ni foam roll (NF - Sigma GF28024657-1EA) was cut to dimensions of 1x1x0.16 cm (0.036 g) for the production of an electrocatalyst. The surface was galvanostatically coated with a Ni:Fe:Mo ratio of 0.9:0.05:0.05 mol to achieve a surface density of 100 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. An Ivium electrochemical analyzer was used as the electrochemical workstation for this process. The study was performed using the three-electrode technique, with an Ag/AgCl (3 M KCl) reference electrode and a 2x2x0.1 cm Ni plate counter electrode. A 1x1x0.1 cm Pt plate counter electrode was used for hydrogen gas production in the two-electrode system. The bath compositions used are given below.

Nickel plating bath: 30% $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 1% $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 1.25% H_3BO_3

Iron plating bath: 9.69% $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.84% $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 1.25% H_3BO_3

Molybdenum plating bath: 30% MoNa_2O_4 , 2% NaCl , 1.25% H_3BO_3

During the electrochemical deposition, a constant current density of 5 mA/cm² was applied, and the Ni foam surface was coated with Ni:Fe:Mo at a ratio of 0.9:0.05:0.05 mol to achieve a surface density of 100 µg/cm². The deposition time was calculated using Faraday's laws. For the amount of hydrogen gas produced in a 1 M KOH solution, a burette filled with 1 M KOH was inverted onto the cathode and various fixed potential values (10 different values between 2.1 V and 3.0 V) were applied to the system for 30 minutes.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Carbon Footprint of Electrocatalyst Production

In this study, the high electrocatalytic activity Ni foam electrode surface was modified with Ni, Fe, and Mo. The carbon footprint of metal catalysts can vary depending on the energy sources, processing methods, and supply chain stages used during their production. Therefore, there may be differences in carbon footprints among different producers. However, in this study, observations were made based on approximate values. Norilsk Nickel, a Finland-based nickel producer, announced that it emits less than 10.4 tons of CO₂ equivalent greenhouse gas emissions per ton of nickel produced as of 2019. The Norinickel Group, as confirmed by Ernst & Young (EY), a global auditing company, reduced its carbon dioxide emissions in 2019-2020. With the help of a leading independent international consultant, Norinickel calculated the carbon footprint of nickel produced according to the ISO 14040 and 14044 international standards, which corresponds to 8.1 tons of CO₂ per ton of finished product [30].

In the steel industry, it has been reported that 2.6 gigatons of carbon dioxide (Gt CO₂) emissions will be released for approximately 1878.5 million tons of production worldwide in 2022 [31]. According to these reports, more than 1.8 tons of CO₂ equivalent emissions are released per ton of iron production on average worldwide [31]. Freeport-McMoRan, a mining company operating in the United States,

stated that it emitted approximately 9.9 tons of CO₂ per ton of molybdenum production in 2020 [32].

Based on the information provided, it can be calculated that the production of one kilogram of catalyst for the electrochemical deposition method results in approximately 8.5 kg of CO₂ emissions, including emissions from raw material production and energy consumption during production. Additionally, the production of one kilogram of hydrogen gas through electrolysis requires approximately 50 kWh of electricity. It is important to note that the actual emissions from the production of hydrogen gas depend on the source of electricity used. If renewable sources of electricity are used, the emissions would be significantly lower. Sources used for calculations include the United States Environmental Protection Agency (EPA), the International Energy Agency (IEA), and the European Environment Agency (EEA).

3.2. Hydrogen Production and Its Contribution to The Green Economy

It is observed that a lot of scientific studies have been conducted on the production of hydrogen gas through literature review [33-38]. Mert and her colleagues [39] designed different cathodes and produced hydrogen gas in an alkaline electrolysis system using electricity from a real hybrid system based on solar and wind energy, which was necessary for each cathode.

Although the production of hydrogen gas by electrolysis is an environmentally friendly approach, it still relies on the use of fossil fuels when produced using traditional electricity generation methods [40-43]. However, electricity produced using renewable sources such as solar and wind power offers a more environmentally friendly option for hydrogen gas production and has many advantages. One of the most important is that when renewable sources such as solar and wind power are used in hydrogen gas production, the carbon footprint is minimal. Therefore, hydrogen gas production is more environmentally friendly compared to other energy production methods that use fossil fuels. Another principal issue is sustainability. By acting as an energy carrier,

hydrogen gas ensures sustainability with solar and wind hybrid systems. In addition, the high energy density of hydrogen gas makes it a suitable energy carrier. Hydrogen gas can carry more energy per unit volume than oil or natural gas. Therefore, hydrogen is seen as an environmentally friendly and renewable option for energy storage and transportation. The volumes of hydrogen gas produced at different durations and fixed potentials in a 1M KOH solution using the NiF/NiFeMo cathode, which was first produced in the literature, are given in Table 1 in this study.

As seen in Table 1, the volume of hydrogen gas produced increases with increasing electrolysis potential. For example, during the 15-minute

electrolysis process, the volumes of accumulated hydrogen gas in the cathode range from 19 mL to 52.23 mL as the potential increases from 2.1V to 3V. Similarly, for a 30-minute electrolysis process at the same potential range, the minimum and maximum hydrogen gas volumes obtained were determined to be 35.5 mL and 103.2 mL, respectively. Figure 1 shows the hydrogen gas volumes produced on the NiF/NiFeMo surface with a 3V potential applied for 30 minutes. Figure 2 presents the hydrogen gas volumes produced at all potential values and durations applied. When compared to various cathode materials used in the literature, it can be said that the NiF/NiFeMo cathode used in the experimental production shows effective catalytic performance.

Table 1. Experimentally produced hydrogen gas volumes in the electrolyzer cell consisting of NiF/NiFeMo cathode and Pt anode

Electrolysis time/min	Volumes of hydrogen gas produced at different constant potentials /mL									
	2.1V	2.2V	2.3V	2.4V	2.5V	2.6V	2.7V	2.8V	2.9V	3V
5	6.44	6.89	8.95	12.6	13.3	14.35	14.83	15.46	17.34	17.44
10	12.7	13.6	17.4	25.14	26.46	28.62	29.6	30.78	34.61	34.89
15	19	20.4	26	37.6	39.59	42.83	44.29	45.75	51.81	52.23
20	25.1	27.2	34.5	49.86	52.65	56.96	58.5	60.58	68.80	69.36
25	30.5	33.8	43	61.8	65.28	71.03	72.77	75.21	85.48	86.35
30	35.5	40.3	51.2	72.7	77.3	85.03	87.12	89.83	101.9	103.2

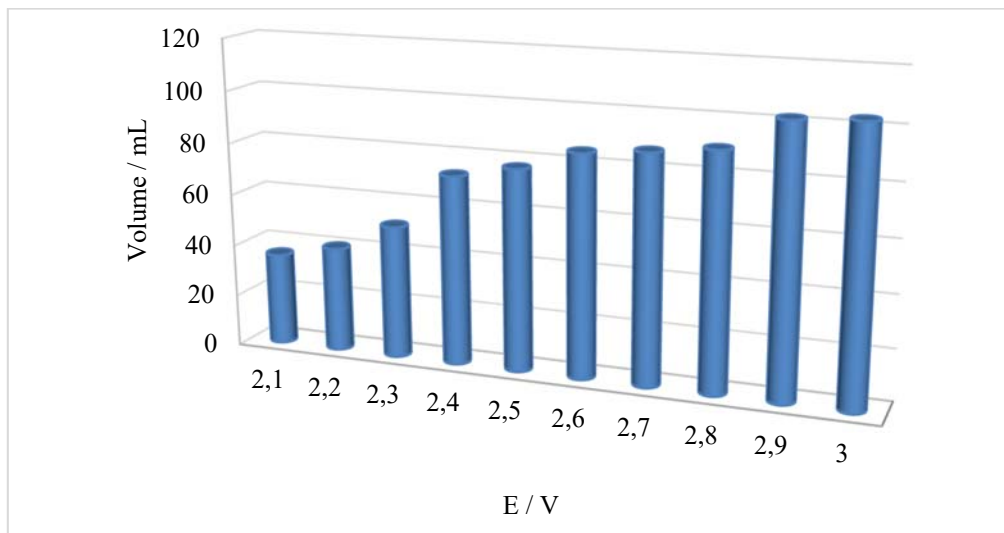


Figure 1. Volumes of hydrogen gas produced after 30 minutes of electrolysis in the electrolyzer cell consisting of NiF/NiFeMo cathode and Pt anode

As seen in Table 2, the hydrogen gas production at 3V for 30 minutes per unit surface area (m²) of C/NiGa [42] and NiF/NiFeMo cathode materials, compared under similar conditions using alkaline electrolysis, are 68.75 L and 516 L, respectively.

The energy values determined based on the LHV corresponding to these gas quantities are 737.2 and 5533.2 kJ/kg H₂, respectively.

Table 2. Comparison of the amount of hydrogen gas produced by the electrolysis method for 30 minutes according to the literature

Cathode	Time /min	Surface area / cm ²	The amount of hydrogen gas obtained	Consumed Energy / kWh	Energy to be produced per m ² * /kJ	Refs
NiF/NiFeMo	30	2	77.3 mL@2.5V		5533.2	Present study
NiF/NiFeMo	30	2	103.2 mL@3V			Present study
C/Ni/Co	30	0.36	42 mL@3V			[39]
NiF/NiCu	30	2	79.2 mL@2.7V			[40]
NiF/NiCu	30	2	106.2 mL@3V			[40]
G/NiCoAg	30	0.36	54 mL@2.5V	1.3x10 ⁻³		[41]
C/NiGa	30	4	27.5 mL@3V		737.2	[42]
Ni/CoBGd	30		16 mL@3V			[43]

* The amount of energy released when 1 kg of hydrogen is completely burned with 100% efficiency has been calculated. The conversion of volume to mass was determined according to ideal gas laws. The LHV of hydrogen, which is 120.1 MJ/kg, was used.

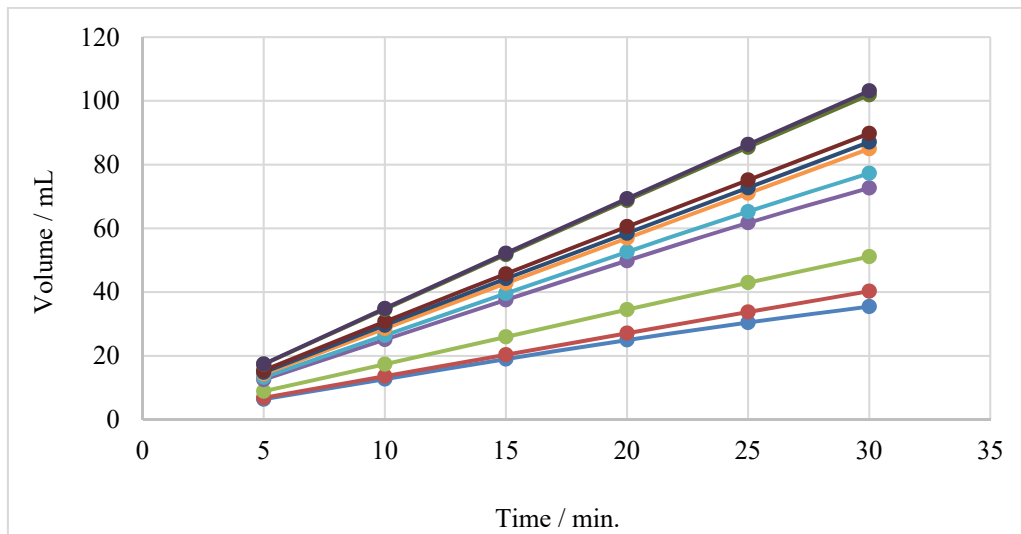


Figure 2. Hydrogen gas volumes produced at different electrolysis times and different potentials in the electrolyzer cell consisting of NiF/NiFeMo cathode and Pt anode

4. CONCLUSION

The consequence of this study, the production of hydrogen gas through electrolysis using renewable energy sources is an important step in reducing carbon footprint. Hydrogen fuel cells can also help

reduce greenhouse gas emissions by replacing fossil fuels. Therefore, hydrogen energy is considered an important solution for reducing carbon footprint. When the data obtained in this study is evaluated, it can be seen that the use of cathodes containing transition metals such as Ni, Fe, and Mo in alkaline

electrolysis systems provides highly efficient hydrogen gas production. For constant potential values of 2.5V and 3V, the amount of hydrogen gas produced per unit electrode surface area (m²) after 30 minutes is 386.5 and 516 L, respectively. The results showed that energy to be produced per m² was almost 5533.2 kJ.

Such studies should be expanded and supported in order to promote the development of new electrode types and hydrogen gas production using renewable energy sources.

5. REFERENCES

1. Domaracká, L., Seňová, A., Kowal, D., 2023. Evaluation of Eco-Innovation and Green Economy in EU Countries. *Energies*, 16(2), 962.
2. Dunlap, A., 2023. The Green Economy As Counterinsurgency, or The Ontological Power Affirming Permanent Ecological Catastrophe. *Environmental Science & Policy*, 139, 39-50.
3. Geng, Q., Wang, Y., Wang, X., 2023. The Impact of Natural Resource Endowment and Green Finance on Green Economic Efficiency in The Context of COP26. *Resources Policy*, 80, 103246.
4. Hao, X., Li, Y., Ren, S., Wu, H., Hao, Y., 2023. The Role of Digitalization on Green Economic Growth: Does Industrial Structure Optimization and Green Innovation Matter?. *Journal of Environmental Management*, 325, 116504.
5. Balayeva, A.H., 2023. Use of Mechanical Braking Energy in Vehicles as Electricity and Hydrogen Energy. *International Journal of Hydrogen Energy*. In Press. 1-17.
6. Hassan, Q., Abdulateef, A.M., Hafedh, S.A., Al-samari, A., Abdulateef, J., Sameen, A.Z., Salman, H.M., Al-Jiboory, A.K., Wieteska S., Jaszczur, M., 2023. Renewable Energy-To-Green Hydrogen: A Review of Main Resources Routes, Processes and Evaluation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(46), 17383-17408.
7. Hassan, Q., Abdulrahman, I.S., Salman, H.M., Olapade, O.T., Jaszczur, M., 2023. Techno-Economic Assessment of Green Hydrogen Production by an Off-Grid Photovoltaic Energy System. *Energies*, 16(2), 744.
8. Liu, Y., 2023. How Does Economic Recovery Impact Green Finance and Renewable Energy in Asian Economies. *Renewable Energy*, 208, 538-545.
9. Raihan, A., 2023. Toward Sustainable and Green Development in Chile: Dynamic Influences of Carbon Emission Reduction Variables. *Innovation and Green Development*, 2(2), 100038.
10. Raihan, A., Muhtasim, D.A., Farhana, S., Rahman, M., Hasan, M.A.U., Paul, A., Faruk, O., 2023. Dynamic Linkages between Environmental Factors and Carbon Emissions in Thailand. *Environmental Processes*, 10(1), 1-26.
11. Rehman, A.U., Malik, A.H., Isa, A.H., Jais, M., 2022. Dynamic Impact of Financial Inclusion and Industrialization on Environmental Sustainability. *Social Responsibility Journal*, 19(5), 906-929.
12. Hassan, S.T., Wang, P., Khan, I., Zhu, B., 2023. The Impact of Economic Complexity, Technology Advancements, and Nuclear Energy Consumption on the Ecological Footprint of the USA: Towards Circular Economy Initiatives. *Gondwana Research*, 113, 237-246.
13. Amprazis, A., Galanis, N., Malandrakis, G., Panaras, G., Papadopoulou, P., Galli, A., 2023. The Ecological Footprint of Greek Citizens: Main Drivers of Consumption and Influencing Factors. *Sustainability*, 15(2), 1377.
14. Mukhtarov, S., Aliyev, F., Aliyev, J., Ajayi, R., 2022. Renewable Energy Consumption and Carbon Emissions: Evidence from an Oil-Rich Economy. *Sustainability*, 15(1), 134.
15. Wang, J., Dong, K., Wang, K., 2023. Towards Green Recovery: Platform Economy and Its Impact on Carbon Emissions in China. *Economic Analysis and Policy*, 77, 969-987.
16. Ruan, S., Wan, G., Le, X., Zhang, S., Yu, C., 2023. Combining The Role of the Banking Sector and Natural Resource Utilization on Green Economic Development: Evidence from China. *Resources Policy*, 83, 103671.
17. Sharma, G.D., Verma, M., Taheri, B., Chopra, R., Parihar, J.S., 2023. Socio-economic Aspects of Hydrogen Energy: An Integrative Review. *Technological Forecasting and Social Change*, 192, 122574.

18. Wang, Z., Yao-Ping, P.M., Anser, M.K., Chen, Z., 2023. Research on the Impact of Green Finance and Renewable Energy on Energy Efficiency: The Case Study E-7 Economies. *Renewable Energy*, 205, 166-173.
19. Azni, M.A., Khalid, R., Hasran, U.A., Kamarudin, S.K., 2023. Review of the Effects of Fossil Fuels and the Need for a Hydrogen Fuel Cell Policy in Malaysia. *Sustainability*, 15(5), 4033.
20. Li, X., Raorane, C.J., Xia, C., Wu, Y., Tran, T.K.N., Khademi, T., 2023. Latest Approaches on Green Hydrogen as a Potential Source of Renewable Energy Towards Sustainable Energy: Spotlighting of Recent Innovations, Challenges, and Future Insights. *Fuel*, 334, 126684.
21. Mneimneh, F., Ghazzawi, H., Hejjeh, M.A., Manganelli, M., Ramakrishna, S., 2023. Roadmap to Achieving Sustainable Development via Green Hydrogen. *Energies*, 16(3), 1368.
22. Hou, Z.M., Xiong, Y., Luo, J.S., Fang, Y.L., Haris, M., Chen, Q.J., Yue, Y., Wu, L., Wang, Q.C., Huang, L.C., Guo, Y.L., Xie, Y.C., 2023. International Experience of Carbon Neutrality and Prospects of Key Technologies: Lessons for China. *Petroleum Science*, 20(2), 893-909.
23. Patnaik, D., Pattanaik, A.K., Bagal, D.K., Rath, A., 2023. Reducing CO₂ Emissions in the Iron Industry with Green Hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48, 23449-23458.
24. Nadaleti, W.C., Souza, E.G., Souza, S.N.M., 2022. The Potential of Hydrogen Production from High and Low-Temperature Electrolysis Methods Using Solar and Nuclear Energy Sources: The Transition to a Hydrogen Economy in Brazil. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(82), 34727-34738.
25. Terlouw, T., Bauer, C., McKenna, R., Mazzotti M., 2022. Large-Scale Hydrogen Production via Water Electrolysis: a Techno-Economic and Environmental Assessment. *Energy and Environmental Science*, 15(9), 3583-3602.
26. Zhang, L., Wang, Z., Qiu, J., 2022. Energy-Saving Hydrogen Production by Seawater Electrolysis Coupling Sulfion Degradation. *Advanced Materials*, 34(16), e2109321.
27. Berger, N.J., Lindorfer, J., Fazeni, K., Pfeifer, C., 2022. The Techno-Economic Feasibility and Carbon Footprint of Recycling and Electrolysing CO₂ Emissions into Ethanol and Syngas in an Isobutene Biorefinery. *Sustainable Production and Consumption*, 32, 619-637.
28. Chen, Z., Wei, W., Zou, W., Li, J., Zheng, R., Wei, W., Ni, B.J., Chen, H., 2022. Integrating Electrodeposition with Electrolysis for Closed-Loop Resource Utilization of Battery Industrial Wastewater. *Green Chemistry*, 24(8), 3208-3217.
29. Puig-Samper, G., Bargiacchi, E., Iribarren, D., Dufour, J., 2022. Assessing the Prospective Environmental Performance of Hydrogen from High-Temperature Electrolysis Coupled with Concentrated Solar Power. *Renewable Energy*, 196, 1258-1268.
30. Nornickel, <https://www.nornickel.com/news-and-media/press-releases-and-news/nornickel-produces-first-batch-of-certified-carbon-neutral-nickel/>, Access date: 25.04.2023.
31. CO₂ Emissions in 2022, <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>, Access date: 25.04.2023.
32. Freeport-McMoRan Slashes Carbon Emissions by 21 Percent, <https://copperalliance.org/resource/freeport-mcmoran-slashes-carbon-emissions-by-21-percent/>, Access date: 25.04.2023.
33. Amin, M., Shah, H.H., Fareed, A.G., Khan, W.U., Chung, E., Zia, A., Rahman-Farooqi, Z.U., Lee, C., 2022. Hydrogen Production Through Renewable and Non-Renewable Energy Processes and Their Impact on Climate Change. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (77), 33112-33134.
34. Etminanbakhsh, M., Reza-Allahkaram, S., 2023. Reaction of Aluminum Particles with Superheated Steam to Generate Hydrogen Gas as a Readily Usable Clean Fuel. *Fuel*, 332, 126011.
35. Kim, C., Cho, S.H., S. Cho, M., Na, Y., Kim, S., Kim, D.K., 2023. Review of Hydrogen Infrastructure: The Current Status and Roll-Out Strategy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(5), 1701-1716.
36. Panchenko, V.A., Daus, Y.V., Kovalev, A.A., Yudaev, I.V., Litt, Y.V., 2023. Prospects for the Production of Green Hydrogen: Review of

- Countries with High Potential. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(12), 4551-4571.
37. Pham, C.Q., Siang, T.J., Kumar, P.S., Ahmad, Z., Xiao, L., Bahari, M.B., Cao, A.N.T., Rajamohan, N., Qazaq, A.S., Kumar, A., Show P.L., Vo D.V.N., 2022. Production of Hydrogen and Value-Added Carbon Materials by Catalytic Methane Decomposition: A Review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(4), 2339-2359.
 38. Vijayaragavan, M., Subramanian, B., Sudhakar, S., Natrayan, L., 2022. Effect of Induction on Exhaust Gas Recirculation and Hydrogen Gas in Compression Ignition Engine with Simarouba Oil in Dual Fuel Mode. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(88), 37635-37647.
 39. Güllü, E., Mert, B.D., Nazligül, H., Demirdelen, T., Gurdal, Y., 2021. Experimental and Theoretical Study: Design and Implementation of a Floating Photovoltaic System for Hydrogen Production. *International Journal of Energy Research*, 46(4), 5083-5098.
 40. Özgür, C., Mert, M.E., 2022. Prediction and Optimization of The Process of Generating Green Hydrogen by Electrocatalysis: A study Using Response Surface Methodology. *Fuel*, 330, 125610.
 41. Nazligül, H., 2021. Experimental and Theoretical Evaluation of Hydrogen Production Via PV-Assisted Alkaline Electrolysis. Master of Science, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and Electronic Engineering, Adana, 95.
 42. Koca, M.B., Gümüşgöz, Ç.G., Kardeş, G., Yazıcı, B., 2019. NiGa Modified Carbon-Felt Cathode for Hydrogen Production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(27), 14157-14163.
 43. Zhu, Y., Chen, B., Cheng, T., Du, C., Zhang S., 2020. Deposit Amorphous Ni-Co-B-RE (RE=Ce, Gd and Nd) on Nickel Foam as a High Performance and Durable Electrode for Hydrogen Evolution Reaction. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 878, 114552.

Örnek Bir Yeraltı Metal Madeninde Simülasyon Yazılımı ile Yangın Senaryoları Hazırlanıp Değerlendirilmesi

Hasan Onur İNAL*¹ ORCID 0000-0001-6564-5721

Bayram KAHRAMAN² ORCID 0000-0001-9429-6591

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, İzmir

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş tarihi: 19.04.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: İNAL, H.O., KAHRAMAN, B., (2023). Örnek Bir Yeraltı Metal Madeninde Simülasyon Yazılımı ile Yangın Senaryoları Hazırlanıp Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 473-483.

Öz

Yeraltı madenciliğinde havalandırma, işçi sağlığı ve güvenliği için hayati öneme sahiptir. Havalandırma sistemi tasarımı ve işletilmesi için simülasyon teknikleri kullanmak, doğru havalandırma sistemlerinin tasarlanmasına ve işletilmesine yardımcı olabilir. Bu nedenle, yeraltı madenciliğinde havalandırma ve simülasyon teknikleri, maden işletmeciliğinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Simülasyonlar, havalandırma sisteminin tasarımı ve işletilmesi için gerekli hava akış hızı, basınç düşüşü ve hava kalitesi gibi parametrelerin belirlenmesine kullanılmaktadır. Simülasyonlar ayrıca, havalandırma sistemlerinin farklı senaryolarda nasıl çalışacağını ve potansiyel sorunları belirleyebilmektedir. Bu çalışmada Ventsim yazılımı yardımıyla farklı yangın senaryoları değerlendirilerek acil durum eylem planları hazırlanmasına nasıl katkı verilebileceğini göstermek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon, Ventsim, Acil durum eylem planı, Yeraltı madenciliği, Havalandırma

Preparation and Evaluation of Fire Scenarios with Simulation Software in a Sample Metal Underground Mine

Abstract

Ventilation in underground mining is vital for worker health and safety. Using simulation techniques for ventilation system design and operation can assist in the design and operation of correct ventilation systems. Therefore, ventilation and simulation techniques in underground mining have become an important part of mining operations. Simulations can help determine the necessary parameters for the design and operation of the ventilation system, such as air flow rate, pressure drop, and air quality. Simulations can also identify how ventilation systems will work in different scenarios and detect potential problems beforehand. This

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Hasan Onur İNAL, hsnin127@gmail.com

study, it is aimed to contribute to the preparation of emergency action plans in underground mines by evaluating different fire scenarios with the help of Ventsim software.

Keywords: Simulation, Ventsim, Contingency plan, Underground mining, Ventilation

1. GİRİŞ

Yeraltı madencilğinde havalandırma hayati öneme sahiptir. Bu yüzden, maden güvenliği ve konforlu çalışma ortamı için havalandırma koşulları çok iyi planlanmalıdır. Bu amaçla, Türkiye’de çeşitli yasal düzenlemeler yapılmıştır. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi’ne göre, Solunum için gerekli hava miktarları her bir işçi için; grizu miktarı çok az olan ocaklarda 1-2 m³/dk., grizu miktarı orta seviyede olan ocaklarda 3-6 m³/dk., grizu miktarı yüksek seviyeli ocaklarda 20-25 m³/dk. olarak belirlenmiştir. Maden havası, yer altı çalışma alanlarında genellikle toz, su buharı ve gaz karışımından oluşmaktadır. Yeraltı havasındaki olumsuz değişim genel olarak oksijen miktarının azalması, karbondioksit ve diğer gazların artması olarak değerlendirilmektedir. Bu değişiklik maden havasını kirletmekte ve ortamda yanıcı, boğucu ve zehirli gazların birikmesine neden olmaktadır. Maden havasında kirletici olarak bulunan yanıcı gazlara örnek olarak metan (CH₄) ve türevlerinin yanı sıra karbon monoksit (CO) ve hidrojen (H₂) verilebilir. Bu gazlar aynı zamanda belirli konsantrasyonlarda patlayıcı özellik gösterirler. Boğucu gazlar karbondioksit (CO₂), nitrojen (N₂) ve metan (CH₄); zehirli gazlar karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), hidrojen sülfür (H₂S) ve tüm azot oksitlerdir (N_xO_y). Bu anlamda madenlerin havalandırması; yer altında çalışan işçilere yeterli havanın getirilmesi, gazların seyreltilmesi ve sıcaklığın düzenlenmesini sağladığı için önemlidir. Her madenin tanımlanmış bir havalandırma devresine sahip olması önemlidir, bu sayede gerekli olan alanlarda hava ihtiyacı sağlanır. Hazırlık, geliştirme ve işletme çalışmalarından vazgeçildiğinde, yönetmelikler regülatör veya havalandırma kapıları ile ilgili (yer altındaki bir maden çalışmasından hava geçişini durdurmak veya düzenlemek için ahşap, plastik, kauçuk, metal veya diğer herhangi bir malzeme yapısı) uygulamaları gerektirir [1]. Bu sayede basınç kayıplarının önüne geçilmekte ve hava,

maden içerisinde havalandırması gereken yerlere yönlendirilmektedir. Doğal hava akışı yönündeki mekanik havalandırma, gerektiğinde hava akışı yönünü tersine çevirebilen vantilatörlere sahip olmalıdır. Yani işçiler olası bir yangında kaçmak için çıkışa yakın galeriyi tercih edeceklerinden, kaçış yolu kirli hava dönüş yolu üzerinde ise, açığa çıkan CO gazı işçileri takip edecektir. Havalandırma sisteminin emici olması durumunda, yer altında açığa çıkan metan gazını emeyeceği ve bu gazın vantilatör ile temas edeceği düşünüldüğünde, bu fanın hiçbir şekilde metanın tutuşmasına izin vermeyecek şekilde olması, yani ex-proof olması gereklidir. Ana havalandırma, madenin tümünde dolaşan havalandırma sistemini ifade ederken tali havalandırma, madenlerde hava ulaşmayan kör noktaları havalandırmayı ifade eder. Havalandırma için kullanılan simülasyonlar ise yer altı madenlerindeki ısı ve nemin termodinamik simülasyonlarını yapmak; havanın yön, miktar, yoğunluk ve akışını değerlendirmek ve ölçmek için kullanılır. Ayrıca havalandırma da kullanılacak ekipmanların maliyetini hesaplamak içinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, bir yeraltı altın madeninin nakliye yolunda çalışan maden kamyonunda çıkacak olası bir yangın durumu Ventsim Fire programı ile simüle edilerek değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sayesinde acil durum eylem planına etki edecek durumların önceden görülerek tedbirlerin daha rasyonel olarak alınması amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Yeraltı Madenlerinde Havalandırma

Yeraltı madenlerini havalandırmada yoğun bir şekilde simülasyon programları kullanılmaktadır. Madenlerdeki havalandırma sistemlerini simüle etmek ve modellemek için çeşitli teknikler ve yazılım araçları mevcuttur. Bu araçlar, madendeki hava akışının ve kirletici maddelerin davranışını

tahmin etmek ve zayıflık veya risk alanlarını belirlemek için bir dizi matematiksel model ve algoritma kullanır. Bu çalışmada kullanılan yazılım programı Ventsim'dir. Bu yazılım paketi, havalandırma sistemlerini tasarlamak, analiz etmek ve optimize etmek için madencilik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ventsim, maden havalandırma sistemindeki hava akışını simüle etmek için hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) kullanır [2].

Ventsim, aşağıda belirtilen işlemleri simüle etmek için bir dizi matematiksel model ve algoritma kullanır;

- Isı transferi denklemleri: Bu denklemler, maden atmosferi ile çevredeki kaya kütlesi arasındaki ısı transfer oranını belirlemek için kullanılır. Isı transfer denklemleri, sıcaklık gradyanı, kaya kütlesinin termal iletkenliği ve hava akış hızı gibi faktörlere bağlıdır. Isı transfer denklemleri, madenin ısı yükünü ve güvenli bir çalışma ortamı sağlamak için soğutma gereksinimlerini belirlemek için kullanılır.
- Basınç denklemleri: Maden havalandırma şebekesindeki statik ve dinamik basınçları hesaplamak için basınç denklemleri kullanılır. Bu denklemler, sistemdeki hava akış yönünün ve basınç düşüşlerinin belirlenmesinde esastır. Basınç denklemleri, kütlenin korunumu ve enerji ilkelerine dayanmaktadır.
- Ses yayılma denklemleri: Maden havalandırma sistemindeki gürültü seviyelerini tahmin etmek için ses yayılma denklemleri kullanılır. Bu denklemler, madendeki gürültü seviyelerinin işçi sağlığı ve güvenliği için kabul edilebilir sınırlar içinde olmasını sağlamak için gereklidir [3].

Yukarıdaki denklemler, maden havalandırma simülasyon yazılımının esasını oluşturmaktadır. Yazılım paketleri, havalandırma sisteminin davranışını simüle etmek ve performansını optimize etmek için bu denklemleri kullanır. Bu sayede yeraltı madenlerinde kullanılan emici veya üfleyci fanların optimizasyonuna katkı sağlanabilir (Şekil 1).



Şekil 1. Yeraltı madenlerinin havalandırmasında kullanılan emici fanlar

2.2. Simülasyon Adımları

Madencilik operasyonu ve havalandırma sistemini optimize etmek için kullanılan havalandırma simülasyon yazılımları, mühendislerin madenin ayrıntılı modellerini oluşturmasına ve madendeki hava ve gaz akışını simüle etmesine olanak tanır. Simülasyon, havalandırma sistemi tasarımını test etmek ve iyileştirmek için kullanılır ve güvenli çalışma koşullarının sürdürülmesinde etkili olmasını sağlar.

Simülasyon sürecindeki ilk adım, maden ve havalandırma sisteminin üç boyutlu (3B) modelini oluşturmaktır. Model, üretim galerilerini, başyukarı ve baş aşağı shaftları ve yüzey fanını içerir. Model, ayrıca madencilik yöntemi, cevher ve yantaş özellikleri ve hava kalitesi standartları ile ilgili verileri de içermektedir. Simülasyon yazılımları mühendislerin ve maden operatörlerinin yeraltı madenlerinin ayrıntılı üç boyutlu (3B) modellerini oluşturmalarına ve madendeki hava ve kirletici maddelerin akışını simüle etmesine olanak tanımaktadır.

Üç boyutlu (3B) model oluşturulduktan sonra, madendeki hava ve gaz akışını simüle etmek için simülasyon yazılımı kullanılır. Simülasyon, madencilik faaliyetlerinin yerini, hava akış hızlarını, havadaki gaz ve toz konsantrasyonunu ve maden havasının sıcaklığını ve nemini dikkate alır. Simülasyon, hava akış modelleri, havadaki gaz ve toz konsantrasyonu ve maden havasının sıcaklığı ve nemi hakkında ayrıntılı bilgi sağlar. Yazılım, kullanıcıların havalandırma sistemlerinin

performansını analiz etmesine ve optimize etmesine yardımcı olacak bir dizi özellik ve araç sağlar. Simülasyon adımları şu şekilde sıralanabilir:

1. Üç boyutlu (3B) modelleme: Kullanıcıların galeriler, rampalar, havalandırma kuyuları ve diğer yapılar dahil olmak üzere yeraltı madenlerinin doğru ve ayrıntılı üç boyutlu (3B) modellerini oluşturmasına olanak tanır. Yazılım, kullanıcıların bu modelleri oluşturmasına ve düzenlemesine yardımcı olmak için bilgisayar destekli tasarım (CAD) dosyalarını ve jeo-uzamsal verileri içe aktarma ve modele notlar ve etiketler ekleme yeteneği gibi bir dizi araç sağlamaktadır.
2. Hava akışı simülasyonu: Yazılımlar hava akışı, sıcaklık, nem ve zararlı gazların konsantrasyonları arasındaki karmaşık etkileşimleri hesaba katarak madendeki hava akışını simüle edebilmektedir. Yazılımlar, kullanıcıların havalandırma sistemlerinin performansını analiz etmelerine ve optimize etmelerine yardımcı olacaktır. Örneğin; hava akış modellerini görselleştirme, düşük hava hızı veya düşük hava kalitesine sahip alanları belirleme ve hava akış hızlarını ve basınçlarını hesaplama gibi bir dizi araç sağlamaktadır.
3. Zararlı gazları izleme: Yazılımlar, kullanıcıların toz, gazlar ve diğer tehlikeli maddeler dahil olmak üzere zararlı gazların maden boyunca taşınmasını ve dağılmasını simüle etmesine olanak tanımaktadır. Yazılım, kullanıcıların gazların hareketini izlemelerine ve analiz etmelerine yardımcı olacaktır. Örneğin; konsantrasyon seviyelerini hesaplama, yüksek riskli alanları belirleme ve havalandırma kontrollerinin etkinliğini değerlendirme gibi bir dizi araç sağlamaktadır.
4. Sistem optimizasyonu: Yazılım, kullanıcıların farklı havalandırma senaryolarını simüle etme, maden yerleşimi veya üretim planındaki değişikliklerin etkisini değerlendirme ve çalışma alanlarını belirleme gibi havalandırma sistemlerinin tasarımını ve işletimini optimize etmelerine yardımcı olacak bir dizi araç sağlamaktadır [2].

Genel olarak simülasyon yazılımları, madenlerin havalandırma sistemlerinin tasarımını ve işletimini optimize etmelerine ve madenciler için güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamı sağlamalarına yardımcı olabilecek güçlü ve çok yönlü bir havalandırma aracıdır. Simülasyon yazılımları, madencilik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve havalandırma performansını iyileştirme ve havadaki kirletici maddelerle ilişkili riskleri azaltma konusunda mühendislere katkısı büyüktür.

2.3. Havalandırma Bileşenleri

Madencilik operasyonu için havalandırma sistemi, bir yüzey fanı, hava yolları, hava kapıları, kontrol cihazları, emiş ve egzoz noktaları ve temiz hava giriş kuyusundan oluşur. Yüzey fanı, madene gerekli hava debisini sağlarken, hava giriş kuyuları, üretim galerilerine taze hava vermekte ve hava dönüş kuyusu, madendeki kirli havayı uzaklaştırmaktadır.

Havalandırma sistemi, yeraltı madenlerinde işçilere temiz hava sağlamak ve çalışma alanından tehlikeli gazları ve tozları uzaklaştırmak için kullanılan temel bir güvenlik özelliğidir. Sistem, bir hava yolu ağı ve havalandırma ekipmanı kullanarak maden içinde hava dolaşımını sağlamak için çalışır.

Yeraltı madencilğinde havalandırma sisteminin temel amaçlarından biri, madenin çalışma alanlarında yeterli temiz hava kaynağı sağlamaktır. Bu hedefe ulaşmak için gereken hava miktarı, madendeki çalışan madenci sayısı, madenin boyutu ve yapılan faaliyetler gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak belirlenir. Gerekli hava hacmi hesaplamak için gerekli hesaplamalar yapılmıştır [4].

Hava hareketinin hızı, havalandırma sisteminin emme ve tahliye tarafları arasındaki basınç farkıyla belirlenir. Bu basınç farkı, büyük hava hacimlerini hareket ettirmek için tasarlanmış havalandırma fanları kullanılarak oluşturulur. Hava yolunun kesit alanı ve uzunluğu da hava akışına karşı oluşan direnci etkileyen önemli faktörlerdir. Çalışmaya konu olan yeraltı madeni girişi aşağıda görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Yeraltı ocak girişi

2.4. Yeraltı Ocağının Simülasyon Yardımıyla Modellenmesi

Madencilikte uygulanan iki ana havalandırma sistemi vardır. Bunlar; doğal havalandırma ve mekanik havalandırma. Doğal havalandırma, maden ile yüzey arasındaki sıcaklık ve basınç farklarından kaynaklanan, madendeki doğal hava akışına dayanır. Bu tür havalandırma, düşük gaz ve toz emisyon seviyelerine sahip daha küçük ve daha sık madenler için uygundur. Ancak doğal havalandırma, daha derin madenlerde veya daha yüksek gaz konsantrasyonlarına sahip madenlerde etkili değildir.

Öte yandan mekanik havalandırma, madendeki hava akışını kontrol etmek için fanların ve diğer ekipmanların kullanılmasını içerir. Bu tür havalandırma, doğal havalandırmadan daha etkilidir ve daha yüksek gaz ve toz emisyon seviyelerine sahip daha büyük ve derin madenler için uygundur. Mekanik havalandırma sistemleri ayrıca pozitif basınçlı (üfleleyici) ve negatif basınçlı (emici) sistemler olarak iki kategoriye ayrılabilir.

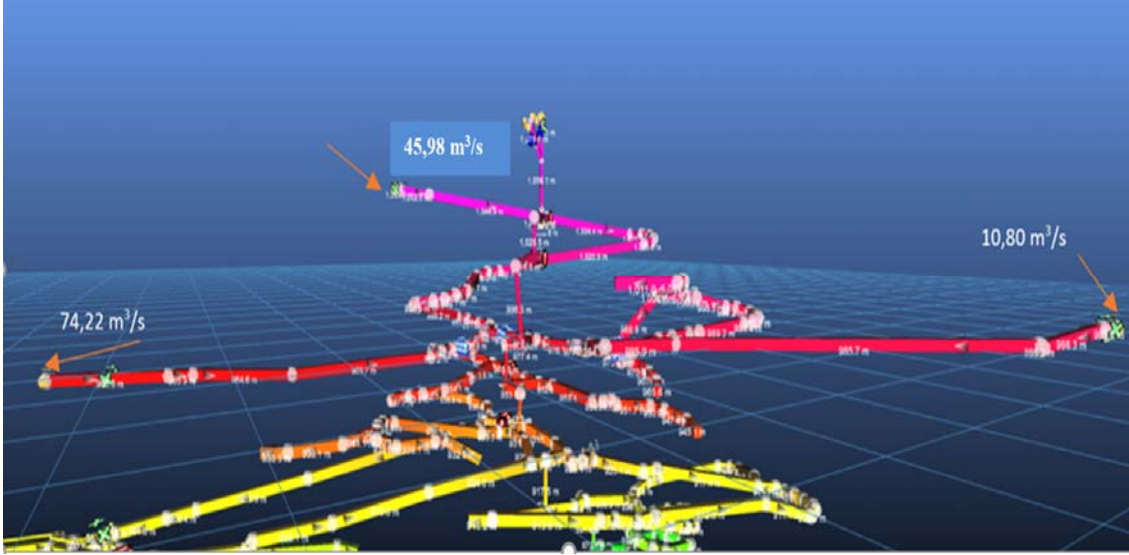
Pozitif basınçlı sistemler, kirli havanın girişini önleyen bir pozitif basınç farkı oluşturarak temiz havayı madene zorlamak için fanların kullanılmasını içerir. Bu tür bir sistem, madendeki tozu ve diğer kirlenmeleri kontrol etmede etkilidir, ancak çalışması için önemli miktarda enerji gerektirir [5].

Öte yandan, negatif basınçlı sistemler, madende negatif bir basınç farkı oluşturmak için egzoz fanlarını kullanabilir ve aynı anda kirli havayı çıkarırken madene temiz hava çekebilirler. Bu tür bir sistem, pozitif basınçlı sistemlerden daha enerji verimlidir ve madendeki gaz emisyonlarının kontrolünde etkilidir.

Bu çalışmada, örnek bir yeraltı ocağında mevcut havalandırmanın iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından değerlendirilmesi simülasyon yazılımı Ventsim kullanılarak yapılmıştır. Madende var olan gerçek havalandırma sistemi simüle edilerek nakliye yolunda yangın çıkması halinde ortaya oluşacak değişimi, hava sirkülasyonu ve gazın dinamik hareketleri incelenmiştir.

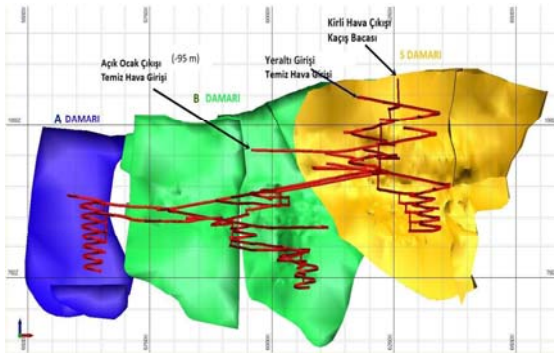
Örnek yeraltı işletmemizde; yeraltı ocağına 0 kotundaki portaldan 45,98 m³/s, -60 kotundaki galeri açıklığından 10,80 m³/s, -95 kotundaki açık işletme girişinden 74,22 m³/s ve olmak üzere toplam 131 m³/s hava girmektedir (Şekil 3).

A ve B damarında aktif üretim yapılmakta olup S damarında üretim yapılmamaktadır. -121 kotundaki B ve A damarları temiz hava giriş yolu başlangıcı olan kavşak noktasına kadar hava kapılarından 13 m³/s hava, hava dönüş yoluna kaçak yapmaktadır. Bu nedenle, B ve A damarları temiz hava yoluna 118 m³/s hava gitmektedir. Bu miktarın 2,5 m³/s'lik kısmı hava dönüş yoluna kaçak yapmakta ve sonuçta B ve A damarları temiz hava yol ayrımı olan kavşağa 115,5 m³/s hava gelmektedir. Bu miktarın 61,37 m³/s lik kısmı B damarına gitmektedir. B damarı hava giriş rampasındaki hava dönüş kuyusuna bağlantı kapılarında 8 m³/s hava kaçığı olmakta ve rampa tabanına 53,37 m³/s hava ulaşmaktadır. Delme patlatma işleminden sonra yükleme ve taşıma işlemi sırasında dizel araçlar için gerekli olan 37,5 m³/s nin çok üzerinde bir hava miktarı rampa tabanına ulaşmaktadır. Üretim galerilerine temiz hava 2x55 kW Korfmann marka tali vantilatörler ile sevk edilmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. Yeraltı ocak havalandırma projeksiyonu

%75 vantilatör verimi dikkate alındığında, yeraltı işletmesi için gereken fan gücü 182 kW'dır. Bu çalışmada nakliye yolunda çalışan maden kamyonunda çıkacak yangın ile ilgili bir senaryo değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Yeraltı ocağı üretim damarları ve hava girişleri

2.5. Yangın Senaryosu Oluşturulması ve Simülasyonu

Yeraltı altın madenciliğindeki yaygın yangın türleri tipik olarak üç kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar elektrik yangınları, mekanik yangınlar ve kendiliğinden yanma olayları olarak sıralanabilir [6].

Elektrik yangınları, madende kullanılan elektrikli ekipmanlardaki elektrik arızaları veya arızalarından kaynaklanır. Bu yangına sebep olarak, kablolar, transformatörler, motorlar ve jeneratörler gibi ekipmanların kısa devrelerini, söz konusu devrelerin aşırı yüklenmesi veya aşırı ısınması gösterilmektedir. Elektrik yangınları, hızla yayılabileceği ve genellikle kontrol edilmesi zor olduğu için özellikle tehlikeli olabilir.

Mekanik yangınlar, madende kullanılan makine ve teçhizatın arızalanması veya fonksiyonunu yitirmesinden kaynaklanmaktadır. Buna aşırı ısınma, sürtünme ısısı veya arızalı yataklar, kaplinler, kayışlar ve dişlilerin neden olduğu kıvılcımlar dahildir. Mekanik yangınlara hidrolik sızıntılar, yakıt sızıntıları veya diğer yanıcı sıvı kaynakları da neden olabilmektedir.

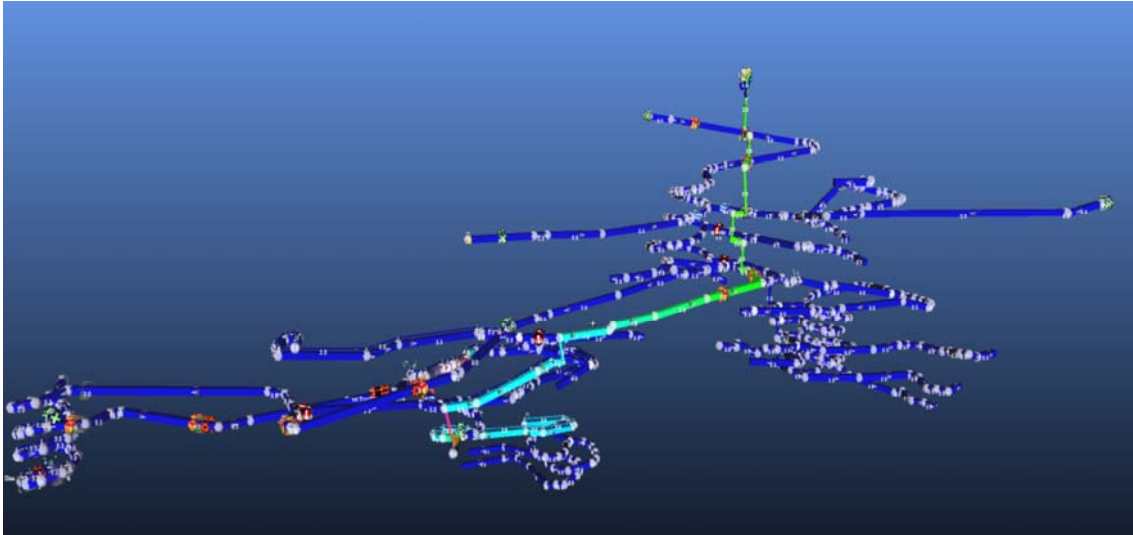
Yeraltı altın madenciliğinde, cevher, yantaş veya diğer organik malzeme stoklarında kendiliğinden tutuşan yangınlar meydana gelmekte ve tespit edilmesi ve söndürülmesi zor olmaktadır. Kömür, ağaç veya petrol bazlı ürünler gibi organik materyaller mikrobiyal aktivite, oksidasyon veya diğer kimyasal reaksiyonlar tarafından üretilen ısı nedeniyle kendiliğinden tutuşan yangınlar meydana gelir.

Bu üç kategoriye ek olarak, yer altı madenciliğindeki yangınlara yanıcı maddelerin uygun olmayan şekilde taşınması, depolanması ve bertaraf edilmesi, yasak alanlarda açık alev kullanılması veya sigara içilmesi gibi insan hatası neden olmaktadır [7].

Yeraltı metal madenciliğinde yangınları önlemek için, düzenli ekipman bakımı, yanıcı maddelerin uygun şekilde depolanması ve taşınması, etkili havalandırma sistemleri ve çalışan eğitim programları dahil olmak üzere sıkı güvenlik protokolleri ve prosedürlerinin uygulanması esastır. Herhangi bir yangın olayına hızlı bir şekilde

müdahale etmek ve daha büyük ve tehlikeli yangınlara dönüşmesini önlemek için sprinkler sistemleri, yangın söndürücüler ve duman dedektörleri gibi uygun yangın söndürme ve algılama sistemlerine sahip olmak da kritik öneme sahiptir [8].

Bu çalışmada yangın sebebi olarak en yaygın görülen dizel yakıt ve lastik yanması senaryosu programda simüle edilmiştir. Örnek olarak B damarında çıkarılan dizel yakıt ve lastik yanması senaryosunda; oluşan kirli havanın büyük kısmının havalandırma kuyularından yeryüzüne çıktığı görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. B damarından çıkan yangının havalandırma kuyularından yeryüzüne direkt çıkışı

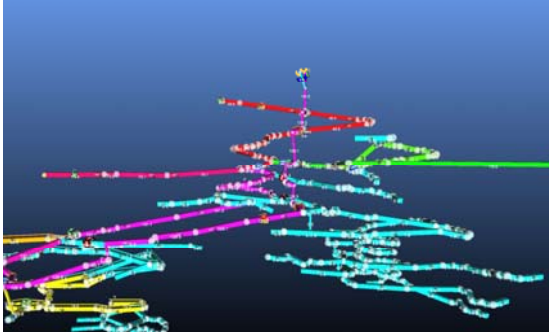
2.6. Yangın Senaryosunun Simülasyonu ve Değerlendirilmesi

Yeraltı maden işletmesinin A damarından B damarına giden 900 metre ve 872 metre uzunluğunda iki adet hafif rampalı nakliye yolu bulunmaktadır. Bu yollardan 900 metre uzunlukta olanı, temiz havanın üretim galerilerine girdiği tüneldir. Diğeri ise üretim galerilerinden dolaşan temiz havanın kirlenerek çıktığı güzergahtır. Kirli hava bu yolu takip ederek havalandırma kuyularından emici fanlarla yer yüzüne taşınmaktadır. Oluşturulan yangın senaryosunda her iki yolda dizel ve lastik yangını ele alınmıştır.

İlk senaryoya göre; temiz havanın B damarından A damarına gittiği yolda yangın çıkması halinde oluşan gaz ve partiküller, bütün üretim galerisini dolaşmakta ve tüm madene 45 dakika içinde yayılmaktadır. Bunu gözlemek için yeraltı ocağının birçok yerine dinamik gözlem aracı yerleştirilmiştir. Dinamik monitör, dinamik veya yangın simülasyonu sırasında değişen havalandırma koşullarını kaydetmek ve grafiklerle göstermek için kullanılır. Zamana dayalı dinamik simülasyon, yangının sonuçlarını, duraklatılabilen ve devam ettirilebilen şekilde grafiksel olarak gösterir. VentFIRE modülü aynı anda birden fazla parametreyi simüle edebilir. Zaman tabanlı

simülasyon sonuçlarının geçmişini kaydetmek için, havalandırma akışındaki değişiklikleri kaydetmek üzere tanımlanmış konumlara 'monitörler' yerleştirilebilir. Dinamik simülasyon, simülasyon sırasında dinamik olarak görüntülenebilen ve değiştirilebilen zamana dayalı simülasyon sonucunu gösteren özel bir simülasyon yöntemidir. Dinamik simülasyon, kirletici maddelere, gazlara, DPM'ye (Dizel partikülleri) ve ısıya uygulanabilmektedir.

Bu senaryoda fanların ters çalıştırılması durumunda yangın dumanı 0 ve -95 kotundan yeryüzüne ulaşmaktadır (Şekil 6).

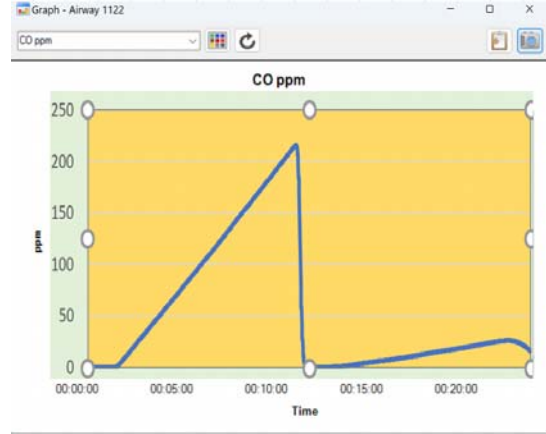


Şekil 6. Emici fanın ters çalıştırılması halinde havanın kırmızı ile gösterilen yerlerden (0 kotu ve -95 kotundan) çıkışı

İkinci senaryoya göre; A damarından B damarına doğru kirli havanın aktığı yönde çıkarılan yangında zehirli gazların direkt olarak emici kuyulara doğru aktığı ve üretim galerilerine uğramadığı saptanmıştır. Ayrıca, bu yangın çıktığında regülatör kullanılarak hava tahliyesi hızlıca sağlanmış olup, B ve S damarına zehirli gazların girişi engellenmiştir.

İlk senaryoda dinamik monitörlerden elde edilen bilgilere göre emici fanların ters çalıştırılmaması ve regülatörlerin kapalı olması durumunda CO seviyesi 15 dk. süre içinde 200 ppm seviyesine çıkarak, oldukça tehlikeli seviyelere gelmektedir (Şekil 7).

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğine göre CO müsaade edilen değer maksimum 50 ppm dir.



Şekil 7. Simülasyon çalıştıktan sonra maden sahasında görülen CO ppm miktarı

Ek olarak, temiz havanın B damarından A damarına gittiği yolda çıkarılan ikinci yangın senaryosunda emici fanlar ters çalıştırılmış, regülatörler kapatılarak yangın 1 saat 15 dakika boyunca simüle edilmiştir.

Çıkan tabloda zehirli gazlar -121 kotundaki temiz hava girişinden dışarı doğru tahliye edilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Yangın Senaryo Simülasyonlarının Acil Durum Eylem Planına Katkısı

Yeraltı madenlerindeki yangın simülasyonları, madencilerin ve acil durum müdahale ekiplerinin farklı senaryoları simüle etmelerine ve kontrollü bir ortamda acil durum müdahale planlarını test etmelerine olanak tanıdığından acil durum planlaması için önemli bir araçtır [2]. Yeraltı madenlerinde yangın simülasyonunun acil durum planları için önemi şu şekilde özetlenebilir:

Geliştirilmiş güvenlik: Madenciler ve acil durum müdahale ekipleri, çeşitli senaryoları simüle ederek potansiyel tehlikeleri belirleyebilir ve gerçek bir acil durum meydana gelmeden önce bunları hafifletmek için stratejiler geliştirebilir. Bu durum, güvenliği artırmaya ve kaza olasılığını azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Gelişmiş acil durum hazırlığı: Yangın simülasyonları, madencilerin ve acil durum müdahale ekiplerinin acil durum müdahale planlarını ve prosedürlerini uygulamasına, boşlukları ve eksiklikleri belirlemesine ve müdahale stratejilerini iyileştirmesine olanak tanır. Bu, gerçek bir acil durumla başa çıkmak için daha hazırlıklı olmalarını sağlamaktadır [9].

Uygun maliyetli eğitim: Yangın simülasyonları, madencileri ve acil durum müdahale ekiplerini acil durum müdahale prosedürleri konusunda eğitmek için uygun maliyetli bir yol sağlar. Pahalı ve tehlikeli olabilen canlı tatbikatlar yapmak yerine, simülasyonlar güvenli ve daha düşük maliyetle yapılabilir.

Mevzuata uygunluk: 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 11. Maddesi ve İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik gereği işyerleri için acil durum planlarının olması gereklidir. Ayrıca Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinin de acil durumlar ile ilgili maddeler de mevcuttur. Yangın simülasyonları yapmak, madenlerin bu düzenlemelere uyum göstermelerine ve planlarının etkili olmasını sağlamalarına büyük katkı sağlamaktadır.

Acil durumların azaltılmış etkisi: Madenciler ve acil durum müdahale ekipleri, farklı senaryoları simüle ederek ve acil durum müdahale planlarını test ederek acil durumların etkisini en aza indirecek stratejiler geliştirebilir. Bu, gerçek bir acil durumdan kaynaklanabilecek can ve mal kaybını azaltmaya yardımcı olabilir.

Gerçekleştirilen senaryolara göre acil eylem planı hazırlanması halinde, regülatörlerin etkin bir şekilde kullanılması durumunda fanların ters yönde çalıştırılması gerekmektedir. Yangının yerine göre senaryolar oluşturulmalı ve bu senaryolara göre etkin acil eylem planları hazırlanmalıdır. İşçilerin tahliyesi de buna göre ayarlanmalıdır. Örneğin A damarından B damarına doğru çıkan yangınlarda zehirli gazla direkt olarak havalandırma kuyularından dışarı çıkmakta B damarından A damarına giden nakliye yolunda yangın çıkması durumlarında zehirli gaz tüm üretim galerilerini

dolaşmaktadır. Bunu önlemek için fanların ters yönde çalıştırılması şarttır.

Madenlerde acil durum planlarında diğer önemli bir olayda işçilerin tahliyesidir. Ortalama sağlıklı bir yetişkin yaklaşık 3,5 ila 4,5 m/sn hızla koşabilir [10]. Bununla birlikte, tam koşu hızı yaş, cinsiyet, kondisyon düzeyi, vücut kompozisyonu ve bireysel genetik gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Dayanıklılık ve genel kardiyovasküler sağlık da dikkate alınması gereken önemli faktörlerdendir. Belirtilen senaryolarda ilk 15 dakikada zehirli gazların hızla yayıldığı görülmüştür. Yangın senaryosunun başladığı yerden en yakın çıkış noktasına olan mesafe 1200 m'dir. Bu durumda, işçilerin tahliye süresi 15-20 dakika arası değişmektedir. Bu hesabı yaparken sporcu ve normal sağlıkta bir insanın koşma hızı ve madendeki rampaların eğimi dikkate alınmıştır.

Çizelge 1'de görüldüğü üzere işçilerin herhangi bir yangın anında çıkışa doğru yönelip madeni terk etmesi özellikle üretim galerilerinde çalışan işçiler için zor olmaktadır. Bu durumda, madenlerde yer alan sığınakların kullanılması üretim galerilerinde çalışan işçiler için gerekli olabilir. Oluşan zehirli gazların solunması işçilere zarar vereceğinden yangının olası etkilerine karşı ek tedbir olarak temiz hava sirkülasyonuna sahip sığınakların kullanılması gereklidir (Şekil 8).

Çizelge 1. Madenin belli noktalarından dışarıya çıkış süreleri

Koşu yolu	Variş süresi (dakika)
A damarından B damarına giden nakliye yolu	11,1 dakika
A damarı nakliye yolundan -121 kotlu çıkış	26 dakika
B damarı nakliye yolundan -121 kotlu çıkış	15,2 dakika
A damarı en alt kot üretim galerisinden -121 kotlu çıkış	36,3 dakika

Bu sığınakların özellikleri şu şekilde olmalıdır;

1. Yeraltı madenlerindeki acil durumlarda çalışanların güvenli bir alana sığınmalarını sağlamalıdır.

2. Yangın, gaz kaçağı veya diğer tehlikeli durumlarda kullanılacak şekilde tasarlanmalıdır.
3. Tasarımı, dayanıklılık, hava sızdırmazlığı, yangın dayanımı ve gaz filtreleme kapasitesi gibi faktörleri içermelidir.
4. Havalandırma sistemleri ve diğer donanımlarla donatılarak çalışanların yaşamsal ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır.
5. Yeraltı madenlerindeki işletmelerin özelliklerine ve risklerine göre özelleştirilebilmelidir [11].

Ayrıca, yangına karşı işçiler eğitilmiş olmalı bu sayede erken müdahale imkânı oluşturulmalıdır. Otomatik yangın söndürme ekipmanları ve diğer teknik sistemler periyodik olarak test edilmelidir.



Şekil 8. Yeraltında kullanılan 12 kişilik taşınabilir sığınma odası

4. SONUÇLAR

Sonuç olarak, yangın senaryolarının simüle edilmesi acil durum planlarına pozitif katkı yapacak ve olası durumlar gerçekçi olarak ele alınabilecektir. İşletmeler, bu sayede maliyet etkin politikalar üreterek oluşturulan senaryoyu test edebilecektir. Alınması gereken tedbirleri gerektiği şekilde alıp kaynak ve malzeme israfının önlenmesi yanı sıra etkin politikalar geliştirebilecektir.

Bu sayede;

Eylem planlarının etkililiğinin artması ve güncellenmesi: Simülasyonlar sayesinde acil durum eylem planlarındaki eksiklikler ve hatalar tespit

edilerek düzeltilir ve bu sayede eylem planları daha etkili hale getirilir.

Daha iyi hazırlanmış personel: Simülasyonlar sayesinde maden çalışanları ve acil durum müdahale ekipleri, acil durumlarda başa çıkmak için daha iyi hazırlanır. Bu da acil durumlarda daha etkili bir müdahale ve daha az zararlar sonuçlanır.

İşçi güvenliğinin artması: Simülasyonlar sayesinde, acil durum müdahale ekipleri işçilerin güvenli bir şekilde tahliyesi için en uygun yöntemleri belirleyebilirler. Bu da işçilerin hayatını kurtarabilir ve ciddi yaralanmaların önüne geçebilir.

Maliyet tasarrufu: Simülasyonlar gerçek acil durumların maliyetli ve tehlikeli olabilecek uygulamalarından kaçınmak için maliyet tasarrufu sağlar [7].

Mevzuata uyum: Simülasyonlar, yeraltı madenciligi için gerekli olan acil durum planı mevzuatına uyumu sağlar ve madenlerin denetçiler tarafından kabul edilmesini kolaylaştırır [12].

5. KAYNAKLAR

1. Olgun, B., Gültek, S., Bulgurcu, H., 2015. Yeraltı Maden Ocaklarında Havalandırma Kriterleri. Teskon 2015 Bildiriler Kitabı, 357-370.
2. Liang, Y., Zhang, J., Wang L., 2019. Forecasting Spontaneous Combustion of Coal in Underground Coal Mines by Index Gases: A review. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 57, 208-222.
3. Barker, M., Caldwell, S., Orozco, M.G., 2023. NFPA 120 Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines, National Fire Protection Association (NFPA).
4. Perrott-Humphrey, F., 2011. SME Mining Engineering Handbook. Third Edition, Darling, P., The Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 405.
5. Salami, O.B., Xu, G., Kumar, A.R., Pushparaj, R.I., 2023. Underground Mining Fire Hazards and Optimization of Emergency Evacuation Strategies: The Issues, Existing Methodology

- and Limitations, and Way Forward. Process Safety and Environmental Protection, In Press.
6. U.S. Department of Labor, 2016. Guidelines for Mine Emergency Response Planning, <https://www.msha.gov/p16-v-01>, Erişim Tarihi: 12.03.2023.
 7. Zujovic, L., Kecojevic, V., Bogunovic, D., 2021. Interactive Mobile Equipment Safety Task-Training in Surface Mining. International Journal of Mining Science and Technology, 31, 743-751.
 8. Conti, RS., Chasko, L., Wiehagen, WJ., Lazzara, CP., 2012. Mining Publication: Fire Response Preparedness for Underground Mines, The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Pittsburgh.
 9. Birch, B.W., 2014. Fire Simulation for Emergency Planning: A Case Study from the South African Mining Industry. Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 114(7), 583-588.
 10. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2017. Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=18858&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeliği&mevzuatTertip=5>, Erişim Tarihi: 14.04.2023.
 11. Gürleyen, A., 2016. Sığınma Odalarının Yeraltı Metal Madenlerinde Kullanımının Araştırılması. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 91.
 12. Direk, C., 2016. Bir Yeraltı Taşkömürü Madeninde Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Kazalarının Kök Nedenlerinin Araştırılması. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 107.

Enine Zemin Hareketine Maruz Gömülü Boru Hatlarının Tepkisi İçin Örnek Bir Çalışma

Adil YİĞİT*¹ ORCID0000-0003-1045-6127

¹*İstanbul Gaz Dağıtım A.Ş., Kavacık, Beykoz-İstanbul*

Geliş tarihi: 01.02.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: YİĞİT, A., (2023). Enine Zemin Hareketine Maruz Gömülü Boru Hatlarının Tepkisi İçin Örnek Bir Çalışma. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 485-494.

Öz

Yaşam hatları olarak adlandırılan gömülü boru hatları, parçalı ve sürekli boru hatları olarak sınıflandırılmaktadır. Söz konusu bu altyapıların güvenliği insan hayatı için üst yapılar kadar önemlidir. Bu çalışmada, İstanbul ili Esenyurt ilçesi 2126. Sokak'ta meydana gelen düşey zemin deplasmanı nedeniyle bu bölgede gömülü olan parçalı ve sürekli boru hatları incelenmiştir. İnceleme alanında 20 cm zemin oturması tespit edilmiştir. Bu zemin oturmasına konu olan bölgede hem sürekli (24" çelik, Ø1400 çelik ve PE125 polietilen) hem de parçalı (Ø300 beton ve 100DF düktil) gömülü boru hatlarının davranışı enine kalıcı zemin deformasyonuna göre incelenmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda bölgede mevcut olan boru hatlarının söz konusu zemin hareketine karşı güvenli olduğu ancak lokal burkulma incelemeleri sonucunda polietilen doğalgaz boru hattında (PE125) hasar oluşabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gömülü boru hattı, Enine zemin hareketi, Hasar analizi, Emniyet

A Sample Study for the Response of Buried Pipelines Subject to Transverse Ground Motion

Abstract

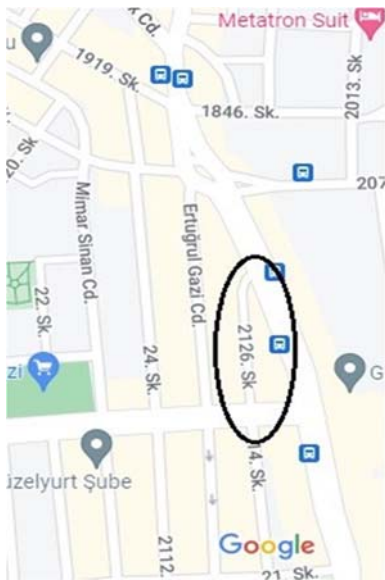
Buried pipelines, called lifelines, are classified as segmented and continuous pipelines. The safety of these infrastructures is as vital as superstructures for human life. This study analyses the segmented and continuous pipelines buried in the 2126th street of the Esenyurt district of Istanbul in terms of vertical ground displacement. 20 cm ground settlement has been determined in the investigated area. The response of both the continuous (24" steel, Ø1400 steel and PE125 polyethylene) and the segmented (Ø300 concrete and 100DF ductile) buried pipelines in the region subject to this ground settlement has been investigated according to transverse permanent ground deformation and the obtained results have been examined. As a result of the analyzes, it has been determined that the pipelines in the region are safe against ground movement but that damage may occur for the polyethylene natural gas pipeline (PE125) according to local buckling examinations.

Keywords: Buried pipeline, Transverse ground movement, Damage analysis, Safety

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Adil YİĞİT, adilyigit75@hotmail.com

1. GİRİŞ

Yeraltına gömülü olan boru hatları genel itibariyle sürekli (kaynakla birbirine bağlanmış) boru hatları ve parçalı (geçmeli) boru hatları olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Deprem kaynaklı olsun veya olmasın içinde buldukları zeminin hareket etmesinden bu gömülü boru hatları da üst yapılar gibi olumsuz etkilenmektedir. Sıvılaşma, heyelan, fay hareketi burada bahsedilen riski oluşturabilecek aktörler arasındadır. Ayrıca literatürde zeminin hareket yönü ile gömülü boru hattının konumlanma doğrultusuna bağlı olarak zemin boru etkileşimi iki alt başlıkta ele alınmaktadır. Boru hattı zemin hareketinin olduğu yön boyunca uzanıyorsa bu duruma “boyuna zemin hareketi durumu”, zemin hareketi boru eksenine dik yönde meydana geliyorsa da buna “enine zemin hareketi durumu” denilmektedir. Bunların dışında boru hattı-zemin hareketi arasında belli bir açının olması durumunda ise problem “enine” ve “boyuna” hareket diye iki tane alt bileşene ayrılarak çözümlenebilmektedir. Bu çalışmada 26 Nisan 2019 tarihinde İstanbul Esenyurt İlçesi Güzelyurt Mahallesi 2126 Sokak'ta (Şekil 1) meydana gelen zemin hareketine bağlı olarak sokakta mevcut olan gömülü boru hatlarının analizi amaçlanmıştır.



Şekil 1. İncelenen bölge

1.1. Bölgenin İncelenmesi

Bu çalışma kapsamında ilgili alandaki zemin hareketinin nedenleri üzerinde durulmamış olup söz konusu bu zemin deformasyonunun sonuçları incelenmeye çalışılmıştır. Yerinde yapılan incelemeler sonucunda zeminde yatay bir deplasman tespit edilmemiş olup düşeyde yaklaşık 20 cm'lik bir oturma meydana geldiği anlaşılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Bölgeden zemin hareketi fotoğrafları

Yetkililer tarafından zamana yayılı olarak yapılan ölçümlerde (Şekil 3) inceleme konusu bu zemin hareketinin devam etmediği, ani bir oturmada ibaret olduğu ayrıca tespit edilmiştir.



Şekil 3. Zemin hareketinin takibi

Tüm bu incelemeler ışığında ilgili noktaya gömülü olan boru hatlarına etkisi anlamında sadece düşeyde 20 cm'lik bir defaya mahsus bir zemin hareketi varlığının tespiti söz konusu olmuştur.

1.2. Bölgedeki Mevcut Boru Hatları

Genel manada boru hatları parçalı boru hatları ve sürekli boru hatları olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Parçalı boru hatları kanalizasyon, yağmursuyu hatları gibi birbirine geçmeli şekilde imal edilen basınçsız madde taşıyan hatlardır. Sürekli boru hatları ise kaynakla birbirine bağlanan borulardan oluşan ve genelde basınçlı malzeme taşıyan isale ve doğalgaz hatları gibi boru hatlarıdır.

İncelenen bölgede sürekli boru hattı olarak 24" çelik doğal gaz hattı, Ø125 polietilen (PE125) doğalgaz boru hattı ve Ø1400 çelik isale hatlarının; parçalı boru hattı olarak ise Ø300 atık su boru ve 100DF içme suyu boru hattının mevcut olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 1'de bölgede mevcut boru hatlarının tespit edilen teknik ve fiziki özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. Mevcut boru hattı malzeme özellikleri

	24" Çelik	PE125	Ø300	Ø1400	100DF
Malzeme	Grade-B	Polietilen	Beton	S235JR	Demir
Dış Çap (cm)	60,96	12,5	40	140	11,8
Et Kalınlığı (mm)	7,92	11,4	50	16	3
Boru parça boyu, L ₀ (m)	-	-	1,58	-	6
Bağlantı Noktası Geçme Boyu, d (cm)	-	-	8	-	15
Derinlik, H (m)	1,9	1,0	3,5	2,6	1,2

1.3. Literatür Araştırması

İster parçalı boru hattı isterse sürekli boru hattı olsun gömülü boru hattı sistemleri içinde buldukları zeminin hareketi dolayısıyla bu hareketten etkilenirler. Bu nedenle hem parçalı boru hatları hem de sürekli boru hatlarının zemin hareketlerine karşı tepkisi bilimsel araştırmaların konusu olagelmıştır [1-13].

a) Sürekli boru hattı durumu

Sürekli boru hattının enine zemin hareketi durumunda tepkisini tarif eden M. O'Rourke (1989) problemi iki ayrı şekilde izah etmektedir. Birinci durumda kalıcı zemin hareketi (KZH) bölgesinin geniş olduğu esnek boru durumu tanımlanmış ve Eşitlik 1 şeklinde ifade edilen en büyük eğilme şekil değiştirme miktarı (ϵ_b) eşitliği ve Eşitlik 2 gibi ifade edilen en büyük eksenel şekil değiştirme oranı miktarı (ϵ_a) eşitliği elde edilmiştir [8].

$$\epsilon_b = \frac{\pi^2 \delta D}{w^2} \quad (1)$$

$$\epsilon_a = \left(\frac{\pi \delta}{2w} \right)^2 \quad (2)$$

Burada δ zemin deplasman miktarını, D boru çapını ve w ise hareket eden zemin bölgesinin genişliğini göstermektedir.

İkinci durum için ise kalıcı zemin hareketi (KZH) bölgesinin dar olduğu rijit boru durumu şeklinde tanımlanmış olup elde edilen en büyük eğilme şekil değiştirme miktarı (ϵ_b) eşitliği aşağıdaki gibi önerilmiştir:

$$\epsilon_b = \frac{P_u W^2}{3\pi E t D^2} \quad (3)$$

Bu eşitlikte P_u birim uzunluk başına maksimum yanal kuvvet (Eşitlik 13), t boru et kalınlığı ve E elastisitemodülüdür.

Enine zemin hareketine maruz sürekli boru hattının bu etkiye tepkisini Yiğit ve arkadaşları (2018) aşağıdaki gibi tarif etmiştir [10]:

$$\epsilon_b = \frac{\delta \beta_v^2 e^{-\frac{\pi}{4}} D}{\sqrt{2} \cdot 2} \quad (4)$$

$$\epsilon_{at} = -1 + \sqrt{1 + \frac{\beta_v^2 \delta^2}{4}} \quad (5)$$

Burada ε_{at} ve ε_b sırasıyla enine zemin hareketi durumunda sürekli boru hattında meydana gelen maksimum eksenel şekil değiştirme ve maksimum eğilme şekil değiştirmesidir. D boru çapı, δ zemin deplasman miktarını göstermektedir.

k_v boru hattının gömülü olduğu zeminin enine yay katsayısı ve EI boru rijitliği olacak şekilde;

$$4\beta_v^4 = \frac{k_v}{EI} \quad (6)$$

ifade edilmektedir [14]. Buna göre;

$$k_v = \frac{2p_u}{y_u} \quad (7)$$

olarak belirtilmekte olup kum zeminler için (kohezyonsuz zeminler, $c=0$);

$$P_u = \bar{\gamma}HN_{qh}D \quad (8)$$

$$y_u = \begin{cases} (0,07\sim 0,10)(H + D/2); & \text{gevşek} \\ (0,03\sim 0,05)(H + D/2); & \text{orta} \\ (0,02\sim 0,03)(H + D/2); & \text{sıkı} \end{cases} \quad (9)$$

şeklinde tarif edilmektedir.

b) Parçalı boru hattı durumu

Enine zemin hareketi nedeniyle Parçalı boru hatlarındaki bir boru parçasının bir ucundaki toplam açılma, boru hattındaki dönmeye bağlı açılma ile eksenel açılmanın toplamı şeklinde ifade edilmektedir. M. O'Rourke ve Nordberg (1991) tarafından yapılan çalışma sonucu bu durum aşağıdaki şekilde matematiksel ifadeye çevrilmiştir [15]:

$$\Delta x = \begin{cases} \frac{\pi^2 L_0 \delta^2}{W^2} \left(\frac{2D}{\delta} \right); & 0,268 \leq \frac{D}{\delta} < 3,73 \\ \frac{\pi^2 L_0 \delta^2}{2W^2} \left(1 + \left(\frac{D}{\delta} \right)^2 \right); & \text{Diğer} \end{cases} \quad (10)$$

Bu eşitlikte L_0 boru parçası boyu, D boru çapı, W hareket eden zemin bölgesi genişliği ve δ zemin deplasman miktarını ifade etmektedir.

Yiğit (2022) tarafından önerilen yöntemle göre de yine enine zemin hareketine maruz kalmış parçalı boru hattındaki bir boru parçası ucunda meydana gelebilecek olan en büyük toplam açılma (Δd_t) dönmeden kaynaklı açılma (Δd_r) ile eksenel açılmanın (Δd_{at}) toplamıdır [1].

$$\Delta d_t = \Delta d_r + \Delta d_{at} \quad (11)$$

$$\Delta d_r = \frac{\beta_v \delta}{2} D \quad (12)$$

$$\Delta d_{at} = \varepsilon_{at} l_0 \quad (13)$$

Burada L_0 boru parçası boyu, δ zemin deplasman miktarı, D boru çapı olmak üzere β_v Eşitlik 6'da ve ε_{at} ise Eşitlik 5'te ifade edildiği gibidir.

1.4. Hasar Görebilirlik Ölçütleri

Üretici firmaların vermiş olduğu sürekli borular için çekme ve basınç dayanımları, parçalı borular için düğüm (bağlantı) noktası açılma miktarlarının yanı sıra literatürde genel hasar oluşum kriterleri de tespit edilmiştir. Parçalı borular için herhangi bir izin verilen düğüm noktası açılma değeri yoksa bu değer boru ek yerlerindeki geçme boyunun yarısı ($d/2$) şeklinde alınabileceği kabul edilmektedir [7].

Sürekli boru hatları için boru hattının taşımakta olduğu malzemeye ve boru türüne göre çekme ve basınç limitleri Çizelge 2'de verilmektedir [14,16].

Çizelge 2. Gömülü sürekli boru hatları için izin verilen şekil değiştirme oranları

Boru Fonksiyonu	Boru Türü	İzin Verilen Şekil Değiştirme Oranı	
		Çekme	Basınç
Petrol ve Gaz Boru Hattı	Düktül Dökme Demir Boru	%2	KZH için: ε_{cr-c}
	Çelik Boru	%3	Sismik Dalga Yayılımı Durumu İçin: $(0,5 - 1,0)\varepsilon_{cr-c}$
	Polietilen Boru	%20	
	DİRSEK ve Te'ler	%1	
Su Boru Hattı	Çelik ve Demir	0,25 ε_u veya %5	ε_{c-PGD}
			ε_{c-Wave}

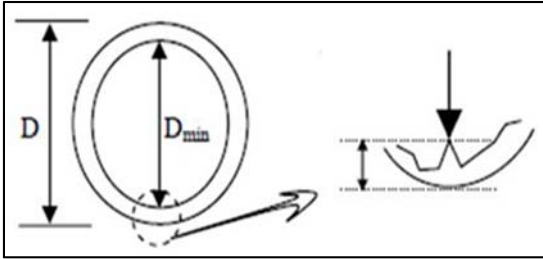
$$\varepsilon_{cr-c} = 0,175 \frac{t}{R} \quad (14)$$

$$\varepsilon_{c-PGD} = 0,88 \frac{t}{R} \quad (15)$$

$$\varepsilon_{c-Wave} = 0,75 \left[0,5 \frac{t}{D'} - 0,0025 + 3000 \left(\frac{PD}{2Et} \right)^2 \right] \quad (16)$$

$$D' = \frac{D}{1 - \frac{3}{D}(D - D_{min})} \quad (17)$$

Eşitliklerde ve Çizelge 2’de; ε_u boru kopma dayanımı şekil değiştirme oranı, D boru çapı, t boru et kalınlığı ve R boru yarıçapı olmak üzere D_{min} Şekil 4’teki gibi tanımlanmaktadır.



Şekil 4. D_{min} parametresinin tanımı [16]

Boru hattı ile zemin hareket yönünün birbirine dik bileşen oluşturacak şekilde konumlanmış olması durumu boru hattında eğilme gerilmesi ve şekil değiştirmesine neden olacaktır. Eğilmeye bağlı olarak sürekli boru hattının basınç tarafında meydana gelebilecek lokal burkulma boru hatlarının en önemli hasar risklerinden biridir. Burkulma ile boru çeperinde yerel geometri bozuklukları meydana gelmekte olup bu bozuklukların görüldüğü noktalarda oluşan gerilme yığılmaları çeperin yırtılmasına sebebiyet verebilmektedir. Teorik olarak eğilmeye bağlı şekil değiştirme oranının Eşitlik 18’den elde edilecek değere ulaşması lokal burkulma olarak kabul edilmekte olup Hall ve Newmark (1977) tarafından lokal burkulmanın teorik değerinin 1/3’ü ile 1/4’ü arasında başladığı tespit edilmiştir (Eşitlik 19) [14,17].

Bu çalışmada Eşitlik19’da belirtilen aralığın ortalaması olan ve Eşitlik14’te ifade edilen değer lokal burkulma başlangıcı olarak alınmaktadır.

$$\varepsilon_{teorik} = 0,6 \frac{t}{R} \quad (18)$$

$$0,15 \frac{t}{R} \leq \varepsilon_{cr} \leq 0,20 \frac{t}{R} \quad (19)$$

1.5. İlave Yükler

Boru hatları üzerine sıcaklık değişimi, toprak dolgu yükü, trafik yükü ve iç basınçtan kaynaklı ilave yükler, işletme yükleri gelmektedir.

İncelenen bölge için zemin yüzeyinin günlük sıcaklık değişiminin, toprak profili derinliği boyunca mevcut boru derinliğine ulaşmış boru hatlarını etkilemediği tespit edilmiştir [18].

Ayrıca tranşeye gömülen boru hatları üzerindeki dolgu malzemesinin boru üzerine etkittiği ilave basınç aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [11]:

$$P = \gamma H \frac{1 + k_0}{2} \quad (20)$$

Burada γ dolgu birim hacim ağırlığı, H boru hattı derinliği ve k_0 ise \emptyset dolgunun içsel sürtünme açısı olacak şekilde;

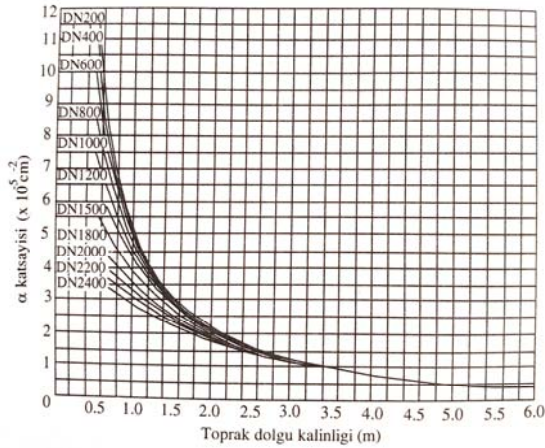
$$k_0 = 1 - \sin \emptyset \quad (21)$$

olarak ifade edilmektedir. T. O’Rourke ve arkadaşları (1985) tarafından $k_0=1,0$ olarak alınması önerilmektedir [9].

Doğrudan Boussinesq yöntemi yanı sıra bu yöntemeye dayalı olarak trafik yüküne bağlı gömülü boru hattında oluşabilecek ilave yük aşağıdaki gibi de hesaplanabilmektedir:

$$W_t = F\alpha P \quad (22)$$

Burada; W_t , trafik yükü nedeniyle oluşan ilave basınç, F etki faktörü ($F=1,5$ alınabilir); P tekerlek yükü (ağır trafik yükü için $p=10.000$ kgf'tir), α Boussinesq katsayısı olup iki kamyon olması durumuna göre Şekil 5'ten elde edilebilir.



Şekil 5. İki kamyon halinde α katsayısı [19]

Boru hatları işletmeye alındıklarında ihtiyaca binaen basınçlı veya cazibeli akış ile çalışmaktadır. Basınçlı boru hatlarında iç basınç nedeniyle ilave gerilme ve dolayısıyla da şekil değiştirme oranı ortaya çıkmaktadır. Elastik sınırlar içinde kalarak iç basınçtan dolayı bir boru hattında ortaya çıkacak ilave şekil değiştirme miktarı;

$$\varepsilon_E = v \frac{pd}{2Et} \quad (23)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte $d = (d_{iç} + d_{dış})/2$, t boru et kalınlığı, v Poisson oranı (çelik malzeme için 0,3 ve polietilen malzeme için 0,4), p borudaki iç basınç olup E elastisite modülü olarak kullanılmaktadır.

1.6.Emniyet Faktörü

Boru hattı hasar analizleri yapılırken emniyetli tarafta kalabilmek için bir emniyet (önem) faktörü kullanılmaktadır. Bu faktör hasarın kaynağı ve türlerine göre Çizelge 3'teki gibi sınıflandırılmıştır [16,20].

Çizelge 3. Çeşitli Boru hattı sınıflarına göre önem katsayısı (I_p)

Boru Hattı Sınıfı	Dalga Yayılımı	Fay	Enine ve Boyuna KZH	Heyelan
I	1,5	2,3	1,5	2,6
II	1,25	1,5	1,35	1,6
III	1,0	1,0	1,0	1,0
IV	Sismik Hasar Yok			

Çizelgede Sınıf-I çok önemli su boru hatları ile yüksek basınçlı (≥ 10 kgf/cm²) petrol ve gaz boru hatlarını kapsamaktadır. Sınıf-II kritik su hatları ile orta basınç (3 kgf/cm² ile 10 kgf/cm² arası) petrol ve gaz boru hatlarını ifade etmektedir. Sınıf-III su temin (dağıtım) hatları ile düşük basınç (≤ 3 kgf/cm²) petrol ve gaz boru hatlarını içermektedir. Sınıf-IV ise düşük ve az önemli su boru hatlarını tarif etmektedir.

2. ANALİZLER

İncelenen bölgede tespit edilmiş olan 20 cm'lik düşey doğrultudaki zemin deplasmanı, boru hatlarının ehemmiyet durumuna göre Çizelge 3'te belirtilen kriterler de dikkate alınarak, dizayn deplasman miktarına Çizelge 4'te belirtildiği gibi dönüştürülmüştür.

Çizelge 4. Dizayn deplasman miktarları (δ_{dizayn})

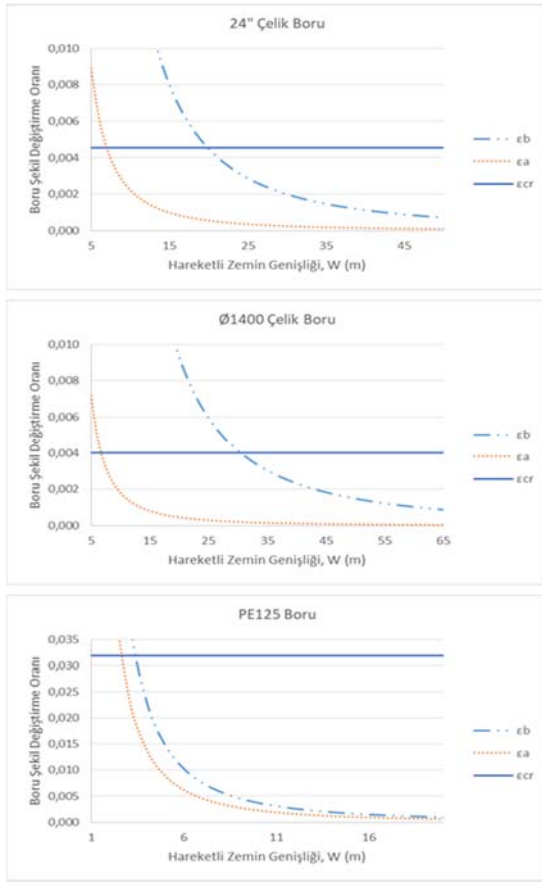
Boru Tipi	δ (cm)	I_p	δ_{dizayn} (cm)
24" Çelik	20	1,5	30
Ø1400 Çelik	20	1,35	27
PE 125	20	1,5	30
Ø300 Beton	20	1,0	20
100 DF	20	1,0	20

Kayan zemin bölgesinin genişliğinden bağımsız enine zemin hareketi problemini analiz edebilen Yiğit ve arkadaşları (2018) yöntemine göre incelenen bölgede mevcut bulunan sürekli boru hatları tetkik edilerek elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Sürekli boruların analizleri

	ε_b		ε_a	
	O'Rourke (Eş.1)	Yiğit (Eş. 4)	O'Rourke (Eş. 2)	Yiğit (Eş. 5)
24" Çelik	Şekil 6	0,00341	Şekil 6	0,00130
Ø1400 Çelik	Şekil 6	0,00183	Şekil 6	0,00027
PE125	Şekil 6	0,06242	Şekil 6	0,11010

Buna göre Ø1400 çelik boru hattının 24" çelik doğalgaz boru hattına göre daha rijit bir yapıya sahip olduğu yani 24" borunun daha esnek olduğu söylenebilir. Aynı sonuç Kayan zemin bölgesinin genişliğine bağımlı olarak enine zemin hareketi problemini yorumlayan M. O'Rourke (1989) yönteminde de ortaya çıkmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Sürekli boru hattı analizleri

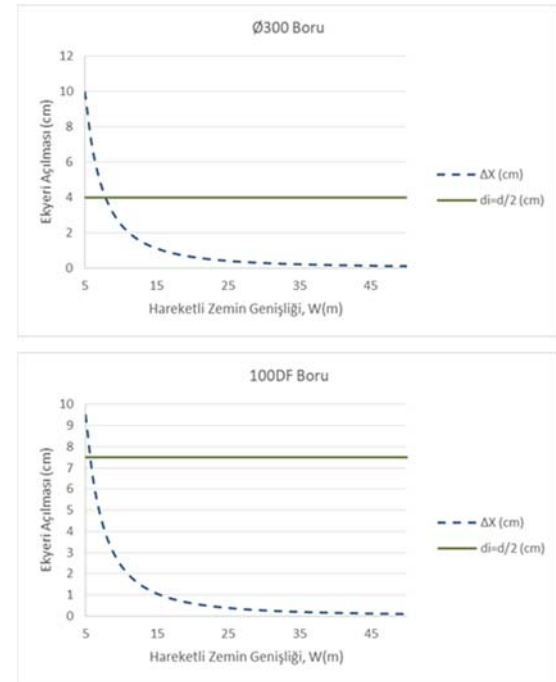
Bu yönteme göre hazırlanmış olan grafikler (Şekil 6) incelendiğinde araştırılan olaydaki zemin deplasman miktarına göre 24" çelik boru hattının yaklaşık 20 metrelik bir kayma bölgesi genişliğine katlanabildiği ancak aynı zemin deplasmanı durumunda daha rijit olan Ø1400 çelik boru için bu genişliğin yaklaşık en az 30 metre olması gerektiği anlaşılmaktadır. Çelik borulara göre çok daha esnek olan polietilen boru (PE125) ise 20 cm'lik bu deplasmanın meydana geldiği kayan

bölge genişliğinin yaklaşık 4 metre olması durumuna kadar dayanabilmektedir. Bu analizler ve kıyaslar boru hattındaki bir eğilmeden kaynaklı lokal burkulma durumuna göre gerçekleştirilmiştir. Eksenel gerilme (çekme gerilmeleri) ve işletme aşamasında meydana gelen ilave gerilmelerin de dikkate alındığı nihai durum analizi bir sonraki bölümde (3. Tartışma) ele alınmaktadır.

Aynı bölgede bulunan Ø300 ve 100 DF parçalı boru hatlarının mevcut 20 cm'lik zemin deplasmanına tepkisinin kayan bölgenin genişliğinden bağımsız (Yiğit 2022) hesabı ile bu genişliğe bağlı (M. O'Rourke ve Nordberg 1991) değişimleri Çizelge 6 ve Şekil 7'de özetlenmiştir.

Çizelge 6. Parçalı boruların analizleri

		Ø300	100DF
Toplam Açılma (cm)	M. O'Rourke-1991 (Eşitlik 10)	Şekil 7	Şekil 7
	Yiğit-2022 (Eşitlik 11)	2	4



Şekil 7. Parçalı boru hattı analizleri

Bu tetkiklere göre kayan bölgenin genişliğinden bağımsız parçalı boru hatlarında meydana gelmesi

beklenen maksimum düğüm noktası açılma miktarları Ø300 ve 100 DF boru için sırasıyla 2 ve 4 cm olarak elde edilmiştir. Kayan zemin bölgesinin genişliğine (W) bağımlı olacak şekilde parçalı boru hattındaki en büyük düğüm noktası açılmasını gösteren Şekil 7’de Ø300 boru için W=8 m’de kritik eşiğe ($d_i=4$ cm) ulaşıldığı, 100DF boru için ise w=5,7 m’den sonra bu eşiğe ($d_i=7,5$ cm) ulaşıldığı tespit edilmiştir.

3. TARTIŞMA

İncelenen bölgedeki hem parçalı hem de sürekli borularda oluşması beklenen ilave işletme gerilmeleri ve zemin kaymasından doğacak gerilmelere bağlı en büyük şekil değiştirme oranları ve düğüm noktası açılmaları (Yiğit 2018 ve Yiğit 2022’ye göre) elde edilmiştir (Çizelge 7 ve 8). İşletme şekil değiştirme oranı olarak iç basıncın yüksek olduğu doğalgaz boruları ve basınçlı isale hatlarında bu iç basınçtan kaynaklı şekil değiştirme oranları dikkate alınmıştır. Yapılan analizler sonucu incelenen bölgedeki gömme derinliğine göre trafik ve toprak dolgudan kaynaklanan ilave gerilme ve şekil değiştirme oranlarının ihmal edilebilecek kadar düşük olduğu ayrıca tespit edilmiştir. Ancak yine de yüzeysel sıcaklık değişimlerinin etkilemediği bu boru hatlarına etkileyen işletme şekil değiştirme oranı ve düğüm noktası açılma miktarları elde edilip tabloda (Çizelge 7 ve 8) gösterilmiştir.

Çizelge 7. Sürekli boru hattı kıyasları

	24" Çelik	PE125	Ø1400
İşletme Şekil Değiştirme Oranı (çekme), ϵ_i	0,0001	0,0006	0,0001
Zemin Hareketine Bağlı Eğilme Şekil Değiştirme Oranı (basınç/çekme), ϵ_b	0,0034	0,0624	0,0018
Zemin Hareketine Bağlı Eksenel Şekil Değiştirme Oranı (çekme), ϵ_a	0,0013	0,1101	0,0003
Toplam Eğilme Şekil Değiştirme Oranı (basınç), ϵ_{Tb}	0,0033	0,0619	0,0017
Toplam Eğilme Şekil Değiştirme Oranı (çekme), ϵ_{Tc}	0,0035	0,0630	0,0019
Toplam Eksenel Şekil Değiştirme Oranı (çekme), ϵ_{Ta}	0,0014	0,1107	0,0004
İzin Verilen Şekil Değiştirme Oranı (basınç), ϵ_{erc}	0,0042	0,0319	0,004
İzin Verilen Şekil Değiştirme Oranı (çekme)	0,03	0,2	0,05

Çizelge 8. Parçalı boru hattı kıyasları

	Ø300	100DF
İşletme Ekyeri Açılması (cm)	-0,4	0,02
Zemin Hareketine Bağlı Ekyeri Açılması (cm)	2	4
Toplam Ekyeri Açılması (cm)	1,6	4,0
İzin Verilen Ekyeri Açılması ($d/2$, cm)	4	7,5

Aynı çizelgelerde söz konusu bu boru hatları için izin verilebilen şekil değiştirme oranları ve ek yeri açılma miktarları da tespit edilerek kıyaslama yapılmıştır. Buna göre parçalı boru hatlarında beklenen ek yeri açılma miktarlarının izin verilen değerlerin altında, güvenli durumda olduğu görülmektedir (Çizelge 8). Sürekli boru hatları için ise PE125 borunun basınç kontrolü hariç diğer tüm boruların basınç ve çekme durumuna göre izin verilen sınırlar dâhilinde kaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 7). PE125 polietilen doğalgaz borusunun ise basınç durumunun izin verilen değerleri aştığı tespit edilmiş olup bu boru hattının bu anlamda kontrolünün gerektiği tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Mevcut boru hatları açısından incelenen bölgede düşey doğrultuda meydana gelen zemin hareket miktarının yaklaşık 20 cm olduğu ve bu hareketin devam etmediği anlaşılmıştır. Zemin hareketinin ortaya çıktığı sokakta sürekli (kaynaklı) boru anlamında 24" çelik ve PE125 polietilen doğalgaz boru hatları ile Ø1400 çelik isale hattının bulunduğu, parçalı (geçmeli) boru hattı anlamında da Ø300 ve 100DF boru hatlarının mevcut olduğu tespit edilmiştir.

Bölgedeki boru hatlarının zemin hareketine karşı davranışları analiz edilmiş olup PE125 boru hattının çekme durumu kriterlerini sağladığı ancak basınç durumuna göre hasar görebileceği ve kontrolünün gerektiği diğer borularda ise hem basınç hem de çekme durumuna göre herhangi bir hasar oluşumunun beklenmediği sonucuna varılmıştır. PE125 boru hattında lokal burkulmanın (basınç hali) oluşması durumunda, hasar oluşumu yanında, kesitte daralmanın olabileceği ve bu daralmanın da gaz akışını engelleyebileceği hususuna dikkat edilmedi. Bina girişlerinde

oluşan 20 cm'lik düşey zemin deplasmanlarının doğalgaz ve su bina bağlantı noktaları hasarlarına neden olabileceği ayrıca tespit edilmiş olup bu bina bağlantılarının tetkikinin elzem olduğu sonucuna varılmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Yigit, A., 2022. Response of Segmented Pipelines Subject to Earthquake Effects, *Geomechanics and Engineering*, 30(4), 353-362.
2. Wham, B., P., Davis, A.,C., 2019. Buried Continuous and Segmented Pipelines Subjected to Longitudinal Permanent Ground Deformation. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 10(4).
3. Banushi, G., Wham, B., P., 2021. Deformation Capacity of Buried Hybrid-Segmented Pipelines Under Longitudinal Permanent Ground Deformation. *Canadian Geotechnical Journal*, 58(8), 1095-1117.
4. Toprak, S., Nacaroglu, E., Ballegooy, S.V., Koc, C.A., Jacka, M., Manav, Y., Torvelainen, E., O'Rourke, T.D., 2019. Segmented Pipeline Damage Predictions using Liquefaction Vulnerability Parameters. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 125, 105758
5. Toprak, S.,Nacaroglu, E., Koc, C., A., 2015. Seismic Damage Probabilities for Segmented Buried Pipelines in Liquefied Soils. 6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 1-4 November, Christchurch, New Zealand, 9.
6. O'Rourke, M., Londono, T.V., 2016. Analytical Model for Segmented Pipe Response to Tensile Ground Strain. *Earthquake Spectra*, 32(4), 2533.
7. O'Rourke M.J., Liu X., 1999. Response of Buried Pipelines Subject to Earthquake Effects. Multidisciplinary Center for Earthquake Research, University of Buffalo, Buffalo, 276.
8. O'Rourke M., 1989. Approximate Analysis Procedure for Permanent Ground Deformation Effect on Buried Pipelines, Proceedings of 2nd Japan-U.S. Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifeline Facilities, Buffalo, New York, Technical Report NCEER-89-0032, Multidisciplinary Centre for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York 1989, 336-347
9. O'Rourke, T.D., M.D. Grigoriu, M.M. Khater, 1985. Seismic Response of Buried Pipe-lines. *Pressure Vessel and Piping Technology*, Ed. C. Sundararajan, ASME, NewYork, NY, 281-323.
10. Yigit, A., Lav, M.,A, Gedikli, A., 2018. Vulnerability of Natural Gas Pipelines Under Earthquake Effects, *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 9(1).
11. Yigit A., 2015. Deprem Etkisi Altındaki Gömülü Sürekli Boru Hatları. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 140.
12. Gedikli, A., Lav, M.A., Yiğit, A., 2008. Seismic Vulnerability of a Natural Gas Pipeline Network. *ASCE Pipelines 2008*. Atlanta, July 22-27.
13. Yiğit, A., 2007. Gömülü Boru Hatlarının Deprem Etkilerine Karşı Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 228.
14. American Society of Civil Engineers (ASCE), 1984. Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems. Committee on Gas and Liquid Fuel Lifeline, Reston, 473.
15. O'Rourke, M., Nordberg, G., 1991. Analysis Procedures for Buried Pipelines Subject to Longitudinal and Transverse Permanent Ground Deformation. Proceedings of the Third Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, San Francisco, California, Technical Report NCEER-91-0001, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, 439-453.
16. Indian Institute of Technology Kanpur, 2007. IITK-GSDMA Guidelines for Seismic Design of Buried Pipelines, Kanpur, 105.
17. Hall, W., Newmark, N., 1977. Seismic Design Criteria for Pipelines and Facilities, Current

- State of Knowledge of Lifeline Earthquake Engineering, ASCE, New York, 18-34.
18. Yiğit, A. 2021. Çelik Doğal Gaz Boru Hatlarının Güvenli Gömme Derinliği. *El-Cezeri*, 8(1), 471-480.
 19. Türkdoğan, F. İ., Yetilmezsoy, K., 2004. Su Getirme ve Kanalizasyon Uygulamaları. İstanbul: Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 455.
 20. American Lifelines Alliance (ALA), 2005. Seismic Guidelines for Water Pipelines. A Report by Public-Private Partnership between Federal Emergency Management Agency (FEMA) and National Institute of Building Sciences (NIBS), Washington, 48.

Analysing The Effects of Knitted Fabrics Physical Properties to The Heating of Sewing Machine Needles

Engin AKÇAGÜN¹ ORCID 0000-0002-3668-7268
Abdurrahim YILMAZ^{*1} ORCID 0000-0002-9877-8990
Mahmut KAYAR² ORCID 0000-0002-0862-6900

¹Mimar Sinan Fine Arts University, Vocational School, Clothing Production Technology, İstanbul, Türkiye

²Marmara University, Faculty of Technology, Department of Textile Engineering, İstanbul, Türkiye

Geliş tarihi: 07.03.2023 Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: AKÇAGÜN, E., YILMAZ, A., KAYAR, M., (2023). Analysing the Effects of Knitted Fabrics Physical Properties to the Heating of Sewing Machine Needles. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 495-506.

Abstract

Due to the increasing demand in the clothing industry, industrial sewing machines operate at high speeds ranging from 2000 to 3000 revolutions per minute. One of the most significant problems that adversely affect the stitching quality and efficiency is the needle temperature, which reaches up to 300 °C and is influenced by various parameters such as machine speed, thread tension, and fabric properties. In this study, the heat generated from the friction between the needle and the textile surface in knitted fabrics and the fabric properties affecting heat are examined. Four different knitting techniques and twelve different knitted fabrics with varying weights, thicknesses, and blend properties were used. An Optris CT3M pyrometer was employed to measure the temperature on the needle. The results can be summarized as follows: in all knitted fabrics, an increase in fabric weight and thickness was observed to correspond to an increase in needle temperature values. The highest needle temperature values above 90 °C were obtained in TF2-coded three-thread fleece fabric with a fabric thickness of 1.31 mm and a fabric weight of 340 g/m², while the lowest needle temperatures of 66 °C and below were achieved in the lightest and thinnest fabric with a fabric weight of 100 g/m² and a thickness of 0.39 mm. Additionally, no significant relationship was found between fabric stitching density and needle temperature.

Keywords: Sewing machine needle, Heating, Knitted fabric, Physical properties

Örme Kumaşların Fiziksel Özelliklerinin Dikiş Makinesi İğnelerinin Isınmasına Etkilerinin Analizi

Öz

Hazır giyim sanayisinde artan talep dolayısıyla endüstriyel dikiş makineleri 2000-3000 devirlerde varan yüksek hızlarda çalışmaktadır. İğne sıcaklığı makine hızı, iplik tansiyonu, kumaş özellikleri gibi birçok parametreden etkilenerek 300 °C sıcaklıklara ulaşarak dikiş kalitesi ve verimliliğini olumsuz yönde

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Abdurrahim YILMAZ, abdurrahim.yilmaz@msgsu.edu.tr

etkileyen en önemli problemlerden birisidir. Bu çalışmada, örme kumaşlarda iğne ile tekstil yüzeyi arasındaki sürtünmeden kaynaklanan ısı ve ısıyı etkileyen kumaş özellikleri incelenmektedir. Çalışmada dört farklı örgü tekniğine ve on iki farklı ağırlık, kalınlık, karışım özelliğine sahip örme kumaşlar kullanılmıştır. İğne üzerindeki ısıyı ölçmek için Optris CT3M pirometre kullanılmıştır. Sonuçlar şöyle özetlenebilir: tüm örme kumaşlarda, kumaş ağırlığı ve kalınlığındaki artışın iğne sıcaklığı değerleri ile bağlantılı bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. 90 °C üzerindeki iğne sıcaklık değerleri en yüksek sıcaklık değerleri 1.31 mm kumaş kalınlığı ve 340 g/m² kumaş ağırlığı ile TF2 kodlu üç iplik kumaşta elde edilirken, 100 g/m² kumaş ağırlığı ve 0.39 mm ile en hafif ve en ince kumaş türünde 66 °C ve altındaki en düşük iğne sıcaklıkları elde edilmiştir. Bunların yanında kumaş dikiş yoğunluğu ile iğne ısı arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Dikiş makinesi iğnesi, Isınma, Örme kumaş, Fiziksel özellikler

1. INTRODUCTION

The basic process in clothing industry is sewing. Sewing is an assembling technique that comprises of needle, thread, fabric, and machine that follows certain methods and with this method people produce millions of products such as apparel, medical textiles, automotive textiles, shoes, bags etc. [1].

With the increase in consumption, the demand has increased so companies have started to produce more products by using high-speed sewing machines and capacity usage rates. The sewing machine speeds vary from 2000 to 6000 r/min. During the sewing operation, the needle penetrates the fabric and moves very fast, causing the needle heating due to friction between the needle and fabric. Sewing speed is one of the main factors in the needle heating, but other factors also contribute, such as sewing needle design, coating, material sewn, thread tension, thread lubricants and fabric finishing. Due to these factors, the temperature of needle can change from 100 °C~300 °C during the sewing operation depending on the sewing conditions [2-5].

The needle heating can lead problems for productivity and seam quality such as sewing thread breaks, creased threads, seam damage, fabric damage and decrease of production [6-13].

According to literature there are various studies evaluating the problem of needle heating. Experimental techniques such as usage of thermocouple (touch, inserted method), IR

pyrometers, temperature sensitive materials like waxes are commonly used for measuring the needle temperature [6,7,14].

While various studies have measured and predicted the needle temperature using different methods, designs, or materials, this research focuses on studying the fabric parameters causing needle heating.

Mazari et. al. predicted needle temperature using theoretical models and verified their results using the inserted thermocouple method. They concluded that needle temperature increases with machine speed according to theoretical and the experimental results [15]. Liasi et. al. used finite element analysis to predict and compare the needle temperature with experimental results [16].

Dal, et. al. studied needle coating design studied needle coating design and concluded that coating the needle with TiN can reduce needle temperature by reducing friction [17]. Other studies, e.g., Mazari et. al., have also analysed different coatings for needle heating, with some concluding that DLC (Diamond-like carbon) coating has a positive effect on reducing needle temperature by reducing friction [18].

Additionally, needle size and point shape have been analysed as factors affecting needle heating [7]. Moreover, the literature has analysed the effect of sewing thread lubrication on reducing friction [19]. Some studies have examined seam and fabric damages and the impact of fabric properties on needle heating. For instance, Muge et. al.

investigated different woven polyester upholstery fabrics with varying sewing machine speeds, and needle temperature was measured using thermal cameras [20]. They found that needle temperature increases with increasing machine speed and sewing thread count.

Similarly, Dal et. al. analysed the impact of woven fabric properties on needle heating and concluded that it is a critical issue for sewing quality and production efficiency [21]. While many studies have investigated woven fabrics, there are fewer studies on the effect of knitted fabric properties on needle heating, despite the widespread use of knitted fabrics in daily clothing, outerwear, sportswear, medical textiles, and shoes with synthetic or other natural fabrics. Sewing damage is particularly critical in knitted fabrics because ruptures in the thread may result in knots being pulled off or even the knitting pattern coming undone entirely. Some sewing errors are not noticeable during the sewing process but become

apparent during wear or washing due to stretching and movement [2].

This paper presents an experimental study on needle heating and the effect of knitted fabric properties to the needle heating. The primary objective of this study is to understand how knitted fabric properties affect needle temperature. This research aims to contribute to the literature on sewing problems and their causes.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

In this study, twelve knitted fabrics with four different knitting types, varying fabric weights, and thicknesses, all made from 100% cotton, were utilized. The physical characteristics and knitting notations of each fabric are displayed in Table 1 and Table 2.

Table 1. Properties of the fabrics

Fabric code	Fabric type	Fabric weight (g/m ²)	Fabric thickness (mm)	Average yarn count (tex)	Course density (Loop/cm)	Wale density (Loop/cm)
S1	Single Jersey	100	0.39	14.75/1	15	18
S2	Single Jersey	110	0.45	14.75/1	15	20
S3	Single Jersey	155	0.54	19.67/1	12	21
S4	Single Jersey	175	0.59	21.85/1	11	14
R1	Rib (1*1)	195	0.71	19.67/1	24	21
R2	Rib (2*2)	210	0.73	19.67/1	20	18
R3	Rib (1*1)	280	0.77	19.67/1	20	20
R4	Rib (1*1)	380	1.18	19.67/2	16	18
TF1	Three Thread Fleece	270	1.50	19.67/19.67/29.50	9	11
TF2	Three Thread Fleece	340	1.31	19.67/29.50/59	10	13
DP1	Double Pique	190	0.74	24.58/1	12	36
DP2	Double Pique	210	0.82	24.58/1	11	44

Table 2. Knitting notations of fabrics

Single Jersey	Rib (1*1)	Rib (2*2)	Three thread fleece	Double pique

2.2. Method

The standards used to analyse the fabric properties were TS 251-Determination of Mass Per Unit Length and Mass Per Unit Area of knitted fabrics to determine the fabric weight; TS EN 14971 Textiles-Knitted fabrics-Determination of number of stitches per unit length and unit area to determine the density of knitted fabrics; and TS EN 14970 Textiles-Knitted fabrics-Determination of stitch length and yarn linear density in weft knitted fabrics. The tests were conducted under laboratory conditions of 20 ± 2 °C and $65\% \pm 2$ humidity.

All objects with a temperature above absolute zero (-273.15 °C) emit electromagnetic radiation from their surface that is proportional to their internal temperature. Electromagnetic radiation is a form of energy that moves through space in the form of electromagnetic waves.

It is defined by its wavelength, frequency, and energy, and follows the principles of diffraction, refraction, reflection, and polarization.

The electromagnetic radiation spectrum is the range of all types of electromagnetic radiation, including radio waves, microwaves, infrared radiation, visible light, ultraviolet radiation, X-rays, and gamma rays. Each type of electromagnetic radiation has a unique wavelength, frequency, and energy, and together they form the electromagnetic spectrum. The pyrometer uses infrared area in the electromagnetic spectrum. (Figure 1) [22].

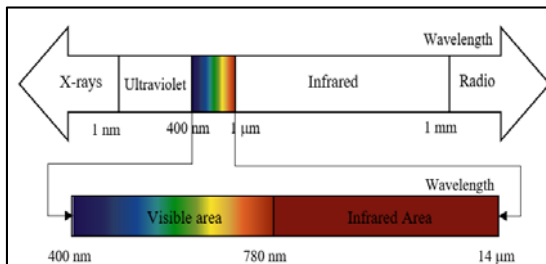


Figure 1. Electromagnetic spectrum

Pyrometer, a type of non-contact temperature measuring device, measures the temperature of the object by detecting the infrared radiation emitted.

The device consists of a lens that focuses infrared radiation on the infrared detector that generates analogue signal corresponds to the radiation. An analogue to digital convertor converts analogue signal to digital. Digital signal is processed by the processor to determine the temperature of the object and converted into an output signal proportional to the temperature of the object.

A thermal pyrometer uses four laws which explain radiation, Planck's law, Stefan-Boltzmann law, Wien's Displacement law and Kirchhoff's law.

Planck's law to measure the temperature of an object. Black body is an idealized object that perfectly absorbs all incoming radiation. Planck's law (1) describes the spectral distribution of the radiation emitted by a black body at a specific temperature. This law states that the radiant energy emitted at a given wavelength is directly proportional to the frequency of the radiation and the temperature of the black body. describes the relationship between the spectral radiance of a black body and its temperature: (Equation 1)

$$R(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}, = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad (1)$$

where $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$,

$c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

c : speed of light,

$c_1 = 3.74 \times 10^{-16} \text{ W/m}^2$,

$c_2 = 1.44 \times 10^{-2} \text{ m K}$,

h : Planck's constant,

k : Boltzmann constant, [23,24]

The Stefan-Boltzmann law (2) describes the total thermal radiation energy emitted by a blackbody is proportional to the fourth power of its temperature, meaning that as the temperature increases, the amount of thermal radiation emitted by the blackbody increases dramatically. (Equation 2)

$$P = \sigma T^4 \quad (2)$$

where P is the total power emitted by the blackbody,

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$, (Stefan-Boltzmann Constant) and T is the temperature of the blackbody in Kelvin [25-27].

Wien's Displacement Law, states that the wavelength of maximum radiation emitted by a black body is inversely proportional to its temperature. (Equation 3) This law is expressed mathematically as

$$\lambda_{max} = b/T \quad (3)$$

where λ_{max} is the wavelength of maximum radiation, b is Wien shift constant, T is the black body temperature [28].

Kirchhoff's law states that a given material has the same ratio of emissivity to absorptivity at a given temperature and wavelength. In other words, a good radiation emitter is also a good radiation absorber. (Equation 4)

$$\varepsilon = \alpha \quad (4)$$

where α is absorptivity, ε is emissivity [28].

Emissivity is a measure of the ability of a surface to emit thermal radiation. It is a dimensionless value between 0 and 1. An emissivity of 1 represents a perfect emitter, or a black body, which absorbs all incoming radiation and emits radiation according to Planck's law at a given temperature. On the other hand, an emissivity of 0 represents a perfect reflector, which does not emit any radiation [27].

Most objects are not perfect black bodies or white bodies, but rather have intermediate emissivity's that depend on the material, surface finish, and temperature of the object. These objects are referred to as grey bodies.

The concept of a grey body is important in the study of thermal radiation and temperature measurement because it allows for the calculation of the temperature of an object based on the emitted thermal radiation, considering the effect of the object's emissivity. The emissivity of a grey body can be measured experimentally, and then used to correct temperature measurements made using

thermal imaging cameras or pyrometers to ensure accurate results [22].

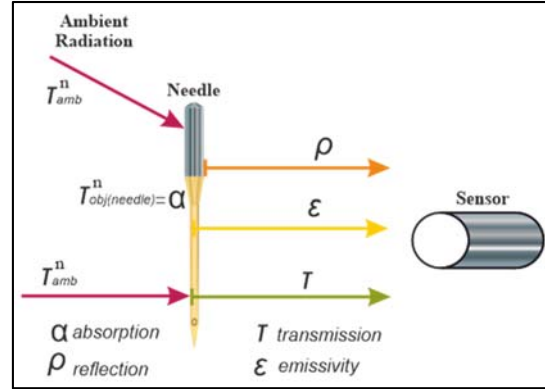


Figure 2. Ambient influences

Infrared sensors receive radiation emitted from the surface of an object, but also reflected radiation from the environment and possibly transmitted infrared radiation through a black body.

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (5)$$

Where

ε : emissivity, ρ : reflection, τ : transmissivity,

Most bodies do not exhibit infrared transmission. So:

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (6)$$

Since according to Stefan Boltzmann law, the electrical signal of the detector is as follows:

$$U \sim \varepsilon T^4 \quad (7)$$

Since reflected ambient radiation and the intrinsic radiation of the infrared thermometer must also be considered, the formula is:

$$U = C[\varepsilon T_{obj}^4 + (1 - \varepsilon) T_{amb}^4 - T_{pyr}^4] \quad (8)$$

U: Detector signal, T_{obj} : Object (needle) temperature, T_{amb} Temperature of background radiation, T_{pyr} Temperature of the device, C: Device-specific constant, $\rho = 1 - \varepsilon$ Reflection of object (needle).

Since infrared thermometers do not cover entire wavelength range, the exponent n depends on the wavelength λ . In the wavelength range from 1 to 14 μm , n is between 17 and 2 (at long wavelengths between 2 and 3, short wavelengths between 15 and 17).

$$U = C[\varepsilon T_{obj}^n + (1 - \varepsilon) T_{amb}^n - T_{pyr}^n] \quad (9)$$

Therefore, the object (needle) temperature is determined as follows [22]:

$$T_{obj} = \sqrt[n]{\frac{U - C T_{amb}^n + C \varepsilon T_{amb}^n + C T_{pyr}^n}{C \varepsilon}} \quad (10)$$

An Optris CT3M pyrometer shown in Figure 3 was utilized to measure the needle temperature. To achieve this, the experimental setup seen in Figure 4 was established.



Figure 3. The Pyrometer (Optris CT3M)

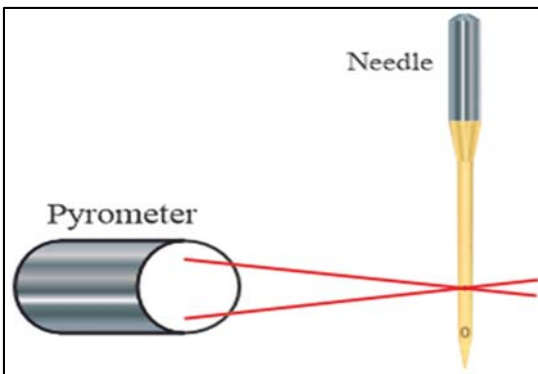


Figure 4. Focus of the laser lights on the needle

Laser beams of pyrometer were focused on the sewing needle, and the emissivity of the needle that made of chromium was assumed to be 0.8 for the thermal images.

The setup was configured to perform 100 measurements per second, with the laser beams continually focused on the sewing needle, as shown in Figure 5, to collect measurements from the entire needle surface that interacts with the fabric while the sewing machine is in operation.

Sewing threads were not used in this study, as they may absorb heat from the needle. Instead, 20 cm x 100 cm pieces of 12 different knitted fabrics, each with four different knitting types, different weights, and thicknesses, were cut into 10 pieces for each fabric type.

Each fabric variant underwent five sewing trials using the Juki DDL 9000A-SS Lock Stitch Machine, a commonly utilized sewing machine model in the industry. The prevailing stitch type, 302 lock sewing type, was employed, and a seam density of 5 seams per 1 cm was maintained throughout the experiments. The sewing process utilized a Nm 80 (12) sewing needle, with two plies of fabric being sewn together. Each sewing operation lasted approximately 10 seconds for a 1-meter fabric piece, during which the pyrometer recorded around 1000 temperature measurements at a rate of 100 measurements per second. To conduct a statistical analysis on the influence of knitted fabric parameters on needle heating, the MINITAB software was employed.



Figure 5. Needle temperature measurement setup

3. RESULTS

The data collected was subjected to analysis, focusing solely on the maximum temperature values. The obtained findings were then interpreted

in relation to the different types of knitted fabrics. Figure 6 highlights the maximum temperature values of the sewing machine needle for the various knitted fabric samples after five sewing operations, highlighting the impact of fabric weight on needle

temperature. The conducted tests, utilizing 100% cotton single jersey, rib, fleece, and double pique fabrics, revealed a proportional increase in the temperature values of the sewing machine needle with the fabric weight.

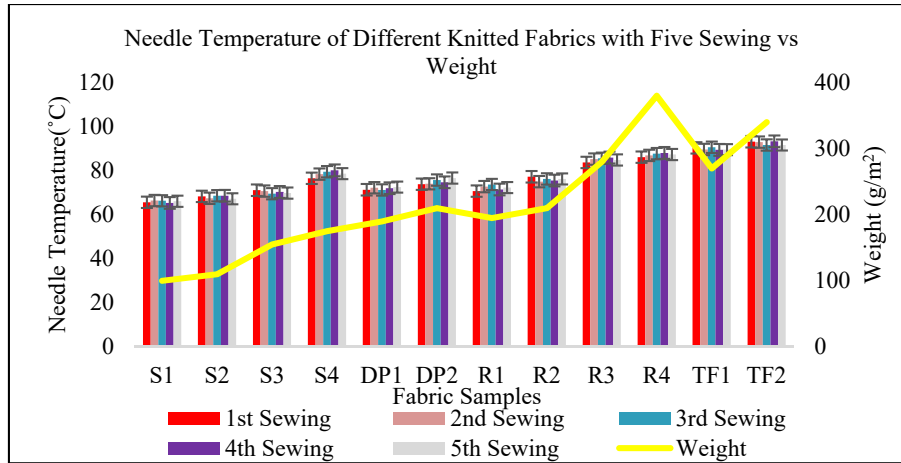


Figure 6. Temperature values of knitted fabrics after sewing vs fabric weight

The physical properties of the single jersey fabrics SJ1, SJ2, SJ3 and SJ4, rib fabrics R1, R2, R3 and R4, fleece fabrics TF1 and TF2, and double pique fabrics DP1 and DP2, including thickness, fabric weight, and course density, were studied, and the results are shown in Table 1. The increase in fabric thickness leads to heightened friction between the needle and fabric during the sewing operation, thereby causing an increase in needle temperature.

The results for TF1, TF2, R3, and R4 samples indicate the highest needle temperature values (Figure 7), which can be attributed to their fabric properties. TF1 has a high fabric weight (270 g/m²) and thickness (1.31 mm), while TF2 has a higher fabric weight (340 g/m²) but less thickness (1.31 mm). Rib fabric samples R4 and R3 have high fabric weight values (380 g/m² and 280 g/m², respectively), which is why their results are close to those of three-thread fleece fabric samples.

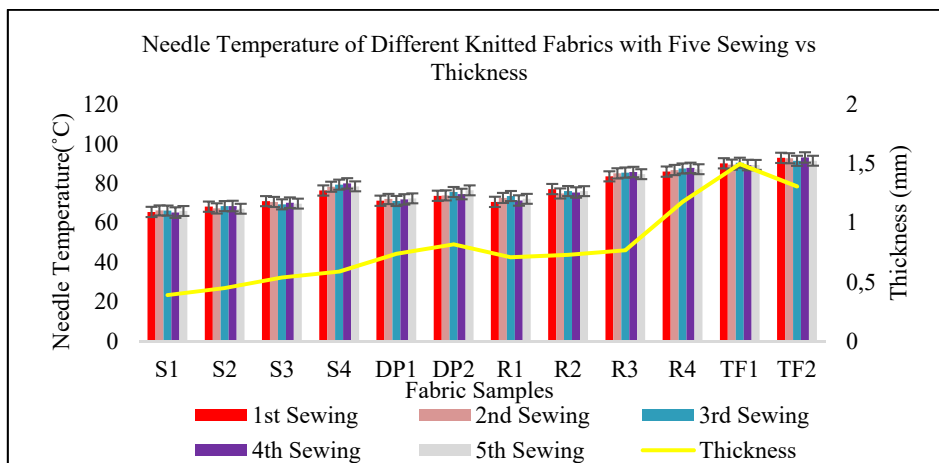


Figure 7. Needle temperature values of knitted fabrics after sewing vs fabric thickness

3.1. Statistical Analysis of the Effect of Fabric Weight on Needle Temperature

During this stage, a statistical analysis was conducted to examine the correlation between the needle temperature and the weight of knitted fabrics. As depicted in Figure 8, a linear model was fitted, providing an equation that describes the

relationship between the maximum temperature and the fabric weight: $Y=58.01+0.09477X$. If the model adequately captures the data, this equation can be used to predict the maximum temperature for a given fabric weight or determine the settings that correspond to a desired maximum temperature value or range.

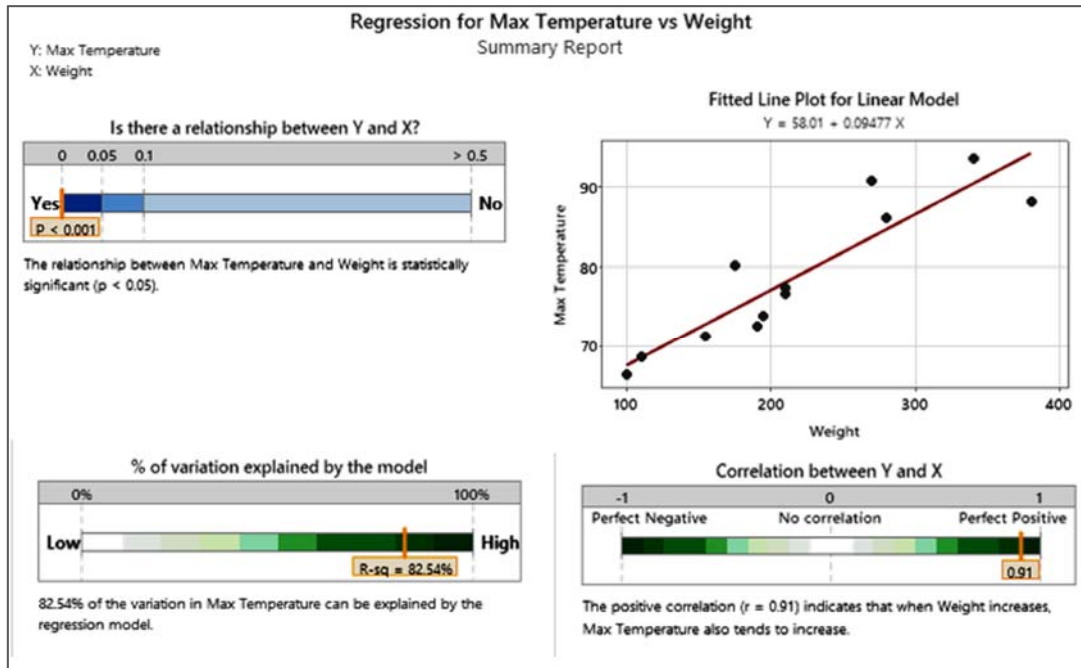


Figure 8. Statistical Analysis of the Effect of Fabric Weight on Needle Temperature

The relationship between maximum temperature and weight is statistically significant ($p\text{-value} = 0.001 < 0.05$ at 95% confidence interval) with an R^2 -value of 0.8254 indicating that the maximum temperature data depends on weight about 82.54%. The regression model includes the y-intercept (58.01) and slope value (0.09477) coefficients, which explain the regression line's nature and trend. The y-intercept value indicates that the regression line intersects the y-axis at 0.09477, which is very close to the origin of the axis. The slope gives the rate at which the dependent variable is explained by the independent variable. The correlation between the maximum temperature and weight was also measured using MINITAB

software ($r=0.91$), indicating a direct positive relationship between the two parameters.

3.2. Statistical Analysis of the Effect of Fabric Thickness on Needle Temperature

During this stage, a statistical analysis was performed to examine the correlation between needle temperature and the thickness of knitted fabrics. Figure 9 presents the equation derived from the linear model, which accurately represents the connection between maximum temperature and thickness as $Y= 61.22 + 21.51X$. If the model effectively captures the data, this equation can be employed to forecast the maximum temperature for

a specific thickness or determine the thickness settings that yield a desired value or range of values for the maximum temperature.

The relationship between maximum temperature and fabric thickness is statistically significant (p -value=0.001<0.05 at a 95% confidence interval). The coefficient of determination (R^2 -value=0.6938) indicates that approximately 69.38% of the variation in needle maximum temperature can be attributed to fabric thickness. The regression model includes the y-intercept (61.22) and slope value

(21.51), which provide insights into the nature and trend of the regression line. The y-intercept value (61.22) suggests that the regression line intersects the y-axis at a value of 61.22, which is close to the origin. The slope value (21.51) indicates the rate at which the dependent variable (maximum temperature) changes in relation to the independent variable (fabric thickness). Furthermore, the correlation value calculated using MINITAB software ($r=0.83$) indicates a strong positive relationship between maximum temperature and fabric thickness.

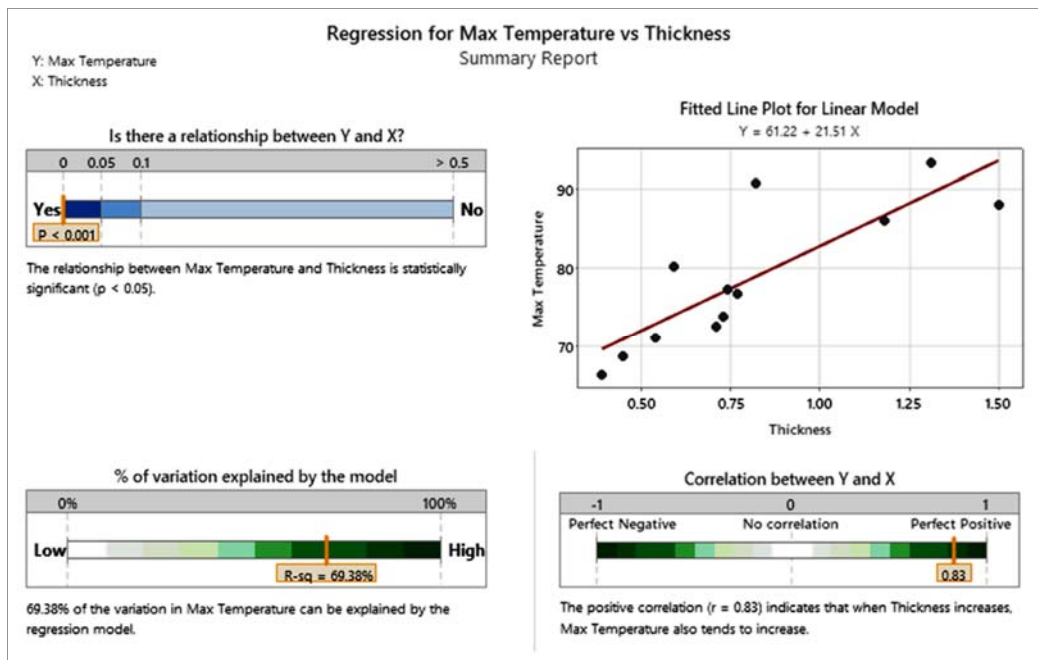


Figure 9. Statistical Analysis of the Effect of Fabric Thickness on Needle Temperature

3.3. Statistical Analysis of the Effect of Fabric Stitch Density on Needle Temperature

Figure 10 presents the fitted equation for the linear model that characterizes the relationship between maximum temperature and fabric stitch density as $Y=87.92+0.03024X$. However, it is important to note that the relationship between maximum temperature and fabric stitch density is not statistically significant (p -value=0.135>0.05 at a

95% confidence interval). The coefficient of determination (R^2 -value=0.2087) indicates that approximately 20.87% of the variation in needle maximum temperature can be explained by the fabric thickness. The regression model also includes two significant coefficients: the y-intercept (87.92) and the slope value (0.03024), which provide insights into the nature and trend of the regression line.

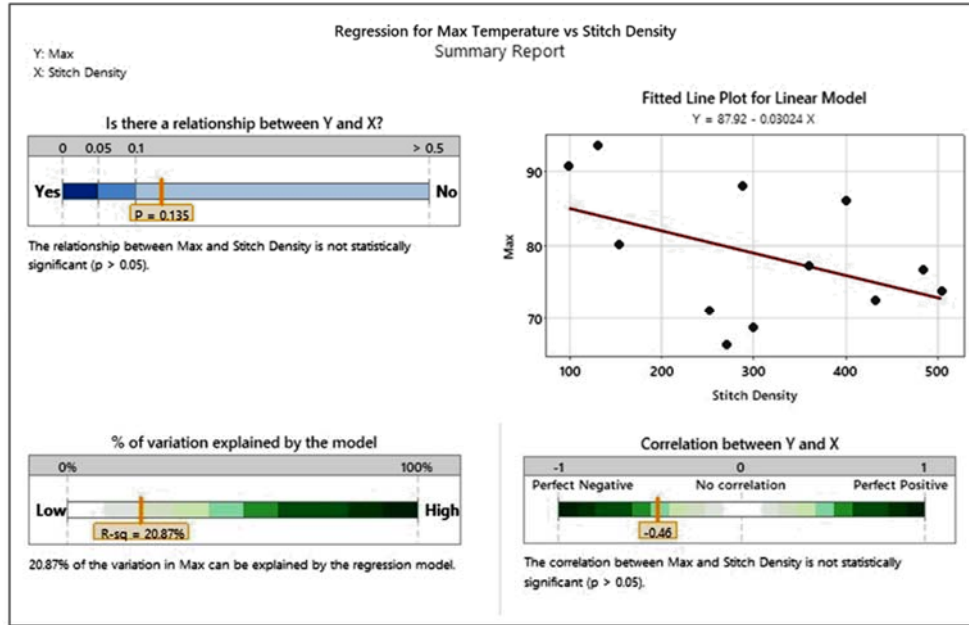


Figure 10. Statistical Analysis of the Effect of Fabric Stitch Density on Needle Temperature

4. CONCLUSION

The objective of the current research was to examine the impact of knit fabric characteristics on the heat generated in sewing machine needles. Needle heating can be attributed to the friction between the needle and sewing thread, which was identified as a significant factor [15]. A comprehensive study was conducted, involving sixty sewing processes using diverse knit fabrics with different densities and weights. Non-invasive temperature measurements were carried out using a pyrometer, focusing solely on the maximum temperature values attained.

The findings of the study revealed a positive relationship between needle temperature and the weight and thickness of various knit fabrics, including single jersey, rib, fleece, and double pique. Notably, the TF2 fabric, characterized by a three-thread fleece structure, exhibited the highest needle temperature values among the tested fabrics, with a fabric thickness of 1.31 mm and a fabric weight of 340g/m². The results also demonstrated a strong correlation between fabric weight and needle heating, as well as between fabric thickness and

needle heating. These findings align with previous studies conducted on woven fabrics, indicating that similar patterns emerge in the context of knitted fabrics [5,20,21]. The intensification of friction between the needle and the fabric with increasing thickness and weight can be attributed to the elevated needle temperature. Conversely, no significant correlation was observed between fabric stitch density and needle temperature. These findings provide valuable insights into addressing the issue of needle heating in knit fabric research.

5. REFERENCES

1. Kalaoglu, F., 1992. Dikim İşlemi Sırasında Sürtünme Isısına Etki Eden Malzeme Değişkenlerinin İncelenmesi. PhD Thesis, İstanbul Technical University, Institute of Pure and Applied Sciences, İstanbul, 143.
2. Mazari, A., Havelka, A., Mazari, F.B., 2012. Needle Eye Temperature Measurement at Different Speeds of Sewing. 2012 International Conference on Engineering and Technology (ICET), Cairo, Egypt, 1-4.
3. Mazari, A., Havelka, A., 2013. Tensile Properties of Sewing Thread and Sewing Needle

- Temperature at Different Speed of Sewing Machine. *Advanced Materials Research*, 627, 456-460.
4. Li, Q., Liasi, E., Zou, H.J., Du, R., 2001. A Study on the Needle Heating in Heavy Industrial Sewing: Part 1: Analytical Models. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 13, 87-105.
 5. Liasi, E., Du, R., Simon, D., Bujas-Dimitrejevic, J., Liburdi, F., 1999. An Experimental Study of Needle Heating in Sewing Heavy Materials Using Infrared Radiometry. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 11, 300-314.
 6. Hersh, S.P., Grady, P.L., 1969. Needle Heating During High-Speed Sewing. *Textile Research Journal*, 39, 101-120.
 7. Thilagavathi, G., Viju, S., 2013. Process Control in Textile Manufacturing. Elsevier, 512.
 8. Gurarda, A., Meric, B., 2005. Sewing Needle Penetration Forces and Elastane Fiber Damage during the Sewing of Cotton/Elastane Woven Fabrics. *Textile Research Journal*, 75, 628-633.
 9. Choudhary, A.K., Sikka, M.P., Bansal, P. 2018. The Study of Sewing Damage and Defects in Garments. *RJTA*, 22, 109-125.
 10. Domjani, J., Kova, S., Ujevi, D., 2016. An Investigation of Fabric Properties and Needle Penetration Force During Tailoring. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 26, 100-108.
 11. Yıldız, E.Z., Pamuk, O., 2021. The Parameters Affecting Seam Quality: A Comprehensive Review. *RJTA*, 25, 309-329.
 12. Rudolf, A., Geršak, J., 2012. The Effect of Drawing on Pet Filament Sewing Thread Performance Properties. *Textile Research Journal*, 82, 148-160.
 13. Midha, V.K., Kothari, V.K., Chattopadhyay, R., Mukhopadhyay, A., 2010. Effect of Workwear Fabric Characteristics on the Changes in Tensile Properties of Sewing Threads After Sewing. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 5, 31-38.
 14. Mazari, A., Zhu, G., Havelka, A., 2014. Sewing Needle Temperature of an Industrial Lockstitch Machine. *Industria Textila*, 65, 335-339.
 15. Mazari, A., Bal, K., Havelka, A., 2016. Prediction of Needle Heating in an Industrial Sewing Machine. *Textile Research Journal*, 86, 302-310.
 16. Li, Q., Liasi, E., Simon, D., Du, R., 2001. A Study on the Needle Heating in Heavy Industrial Sewing: Part 2: Finite Element Analysis and Experiment Verification. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 13, 351-367.
 17. Vedat, D., Yargici, M.E., Salman, S., 2014. Analyzing the Effects of Sewing Machine Needle Coating Materials on the Needle's Heating During Sewing. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 24, 393-398.
 18. Mazari, A., Havelka, A., Wiener, J., Zbigniew, R., 2015. A Study on DLC-Coated Industrial Lockstitch Sewing Needle, *Industria Textila*, 66, 43-47.
 19. Koncer, P., Gürarda, A., Kaplangiray, B., Kanik, M., 2014. The Effects of Sewing Thread Properties on the Needle Thread Tension in an Industrial Sewing Machine. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 24, 118-123.
 20. Yukseloglu, S.M., Çitoğlu, F., Çetinkaya, B., 2013. A Study on the Needle Heating in Polyester Blend Upholstery Fabrics. *Industria Textila*, 64, 246-253.
 21. Dal V, Kayar M, Akçagün E., 2014. Examination of the Effects of the Physical Properties of Woven Fabrics on the Heating of Sewing Machine Needles. *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 22, 113-117.
 22. Basic Principles of Non-Contact Temperature Measurement, Optris Infrared Sensing. LLC, 40.
 23. Priest, J., 2004. Temperature and Its Measurement. *Encyclopedia of Energy*, (Cleveland, Cutler J. eds.) Elsevier, New York, 45-54.
 24. Röhrens, D., Abouserie, A., Wang, B., Haselmann, G., Simon, U., 2022. Microwave-Assisted CO Oxidation over Perovskites as a Model Reaction for Exhaust Aftertreatment-A Critical Assessment of Opportunities and Challenges. *Catalysts*, 12, 802.
 25. Childs, P., 2001. Practical Temperature Measurement. Butterworth-Heinemann, Oxford Boston, 368.
 26. Goodwin, A.R.H., Marsh, K.N., Wakham, W.A., 2003. Measurement of the Thermodynamic

- Properties of Single Phases. Elsevier, Amsterdam, 576.
27. Mazari, A.A. 2015. A Study on the Needle Heating of Industrial Lockstitch Sewing Machine. PhD Thesis, Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic, 137.
28. Balaji, C., Srinivasan, B., Gedupudi, S. 2020. Heat Transfer Engineering: Fundamentals and Techniques. Academic Press, 438.

Performance Analysis of Zhao and Durbin Numerical Inversion Methods of Laplace Transform

Sefa YILDIRIM*¹ ORCID 0000-0002-9204-5868

¹Alanya Alaaddin Keykubat University, Mechanical Engineering Department, Antalya, Türkiye

Geliş tarihi: 10.04.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: YILDIRIM, S., (2023). Performance Analysis of Zhao and Durbin Numerical Inversion Methods of Laplace Transform. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 507-513.

Abstract

The Laplace transform is essential to satisfy the independence of time for the analysis of the transient response of the composite or functionally-graded materials. The time independent boundary value problem may be solved then either by numerically or analytically. The solutions should be inverted to the physical plane using inverse Laplace transform. Therefore, the selected numerical inversion method may be crucial to obtain the high accuracy throughout the whole analysis steps. In the present study, Zhao's Method I, Zhao's Method II, Durbin's Method and Modified Durbin's Method are applied to dynamic loading conditions. The analysis results show that the accurate and stable solutions even for long time inversion have been obtained by Modified Durbin's Method and Zhao's Methods. However, compared with the methods of Zhao's, the computational and programing load of Durbin's Methods are minimum.

Keywords: Numerical inversion, Laplace transform, Transient analysis, Composite materials

Sayısal Ters Laplace Dönüşümü için Zhao ve Durbin Methodlarının Performans Analizi

Öz

Laplace dönüşümü kompozit ya da fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin dinamik analizlerinde, zamana olan bağımlılığı ortadan kaldırmak için önemli bir yöntemdir. Zamandan bağımsız sınır değer problemleri analitik ya da sayısal olarak çözülebilir. Elde edilen sonuçlar fiziksel uzaya ters Laplace dönüşümü ile çevrilir. Bu yüzden seçilecek olan ters dönüşüm yöntemi tüm analiz adımlarında yüksek doğruluk elde edilmesi bakımından oldukça önemli olabilir. Bu çalışmada, Zhao Method I, Zhao Method II, Durbin Method ve Düzeltilmiş Durbin Methodları dinamik yükleme koşulları için uygulanmıştır. Analiz sonuçları, uzun süreli çözümlerinde bile Düzeltilmiş Durbin ve Zhao Methodları ile güvenli ve stabil sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Fakat, Zhao Methodları ile kıyaslandığında Düzeltilmiş Durbin Methodu'nun programlama ve hesaplama yükü çok daha azdır.

Anahtar Kelimeler: Sayısal ters dönüşüm, Laplace dönüşümü, Transient analiz, Kompozit malzemeler

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Sefa YILDIRIM, sefa.yildirim@alanya.edu.tr

1. INTRODUCTION

The functionally-graded materials (FGM) which are one of the advanced composite materials have started to be used especially in the aerospace, automotive, marine etc. industries. The dynamic analysis of such materials requires the infusion of Laplace transform method to the governing differential equations. The accuracy and efficiency of the analysis are highly depended on inversion from the Laplace domain to time domain. Closed form inversion may not be possible except for certain loading cases and many methods are proposed in the literature for numerical Laplace inversion [1-4]. Recently, two novel and powerful numerical inversion methods have been proposed by Zhao [5] based on irregularly spaced intervals. Also accelerations of these two algorithms are carried out by Chen and Mei [6] by sub-dividing the entire integrating range into sub-bands while sampling interval in each sub-band remaining constant.

Zhao [5] has reported that Durbin’s Method gives an unstable results for long time inversion of functions. This drawback can be overcome by adding a correction factor to the Durbin’s Method. Also, compared with the Durbin’s Method, programming and computational load are much heavier and selections of sub-spaces and parameters effect the accuracy significantly.

2. MATERIAL AND METHOD

If a real function of time is considered, the inverse Laplace transform and Laplace transform of $f(t)$ are given as respectively:

$$\bar{f}(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt \tag{1}$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{a-i\infty}^{a+i\infty} \bar{f}(s) e^{-st} ds \tag{2}$$

where $\bar{f}(s)$, s and a , respectively are the Laplace transform of $f(t)$, Laplace parameter and reel number. In the proceeding section, the theoretical backgrounds of four different numerical inversion of Laplace transform based on Zhao and Durbin’s algorithms will be presented.

2.1. Durbin’s Methods

Durbin’s inverse Laplace transform method is based on the Fast Fourier Transform which calculates the integral in Equation (2) numerically. For the real time function $f(t_j)$ obtained from corresponding function $\bar{f}(s_j)$ in Laplace domain, Durbin’s inverse Laplace transform formula is given as follows [7]:

$$f(t_j) \cong \frac{2e^{aj\Delta t}}{T} \left[-\frac{1}{2} Re\{\bar{f}(a)\} + Re\left\{ \sum_{k=0}^{N-1} (A(k) + iB(k)) e^{i\frac{2\pi}{N}jk} \right\} \right] \tag{3}$$

$$j = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

here

$$A(k) = \sum_{l=0}^L Re\left\{ \bar{f}\left(a + i(k + lN)\frac{2\pi}{T}\right) \right\}$$

$$B(k) = \sum_{l=0}^L Im\left\{ \bar{f}\left(a + i(k + lN)\frac{2\pi}{T}\right) \right\}$$

where i is the complex number, N is the number of equal time intervals and T is the solution interval. The time increment Δt is expressed as $\Delta t = T / N$. The selection of constant a is done by giving a value to aT in the range of 5-10 as suggested by Durbin [7].

The Modified Durbin’s Method is obtained by multiplying each term by Fejer (F_k) or Lanczos (L_k) factors [8]. As given by Narayanan [8], the Equation (3) is modified using Lanczos correction term:

$$f(t_j) \cong \frac{2e^{aj\Delta t}}{T} \left[-\frac{1}{2} \operatorname{Re}\{\bar{f}(a)\} + \operatorname{Re}\left\{ \sum_{k=0}^{N-1} (\bar{f}(s_k)L_k) e^{i\frac{2\pi}{N}jk} \right\} \right] \quad (4)$$

where k th Laplace parameter is expressed as $s_k = a + i\omega_k$ and the Lanczos correction factor is [8]:

$$L_k = \begin{cases} \frac{\sin \frac{k\pi}{N}}{N} & \text{for } k > 1 \\ \frac{k\pi}{N} & \\ 1 & \text{for } k = 1 \end{cases} \quad (5)$$

Note that $\omega_k = k 2\pi/T$ for Durbin's Methods.

2.2. Zhao's Method

In this section Zhao's Method I and Zhao's Method II will be discussed entirely. The idea behind the Zhao's algorithms is to divide the integration interval into small sub-spaces [5].

The formulation of first method can be summarized as follows:

$$f(0) \cong \sum_{k=1}^N \frac{(F_k + F_{k+1})\Delta_k}{2\pi} \quad (6)$$

$$f(t) \cong \frac{e^{at}}{\pi t^2} \sum_{k=1}^N \left[\begin{array}{l} \frac{F_k + F_{k+1}}{\Delta_k} (\cos w_{k+1}t - \cos w_k t) \\ - \frac{G_k + G_{k+1}}{\Delta_k} (\sin w_{k+1}t - \sin w_k t) \end{array} \right] \quad (7)$$

where

$$F_k = \operatorname{Re}[\bar{f}(a + i\omega_k)]$$

$$G_k = \operatorname{Im}[\bar{f}(a + i\omega_k)]$$

$$\Delta_k = \omega_{k+1} - \omega_k$$

The second algorithm proposed by Zhao are given below:

$$f(0) \cong \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^N \left[F_k + \frac{\Delta_k(Z_{k+1} - Z_k)}{24} \right] \Delta_k \quad (8)$$

$$f(t) \cong \frac{e^{at}}{\pi} \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{t} g_1(t) + \frac{1}{t^2} g_2(t) - \\ \sum_{k=1}^N \frac{1}{t^3 \Delta_k} \left[\begin{array}{l} (Y_{k+1} - Y_k)(\cos w_{k+1}t - \cos w_k t) \\ + (Z_{k+1} - Z_k)(\sin w_{k+1}t - \sin w_k t) \end{array} \right] \end{array} \right\} \quad (9)$$

where

$$F_k = \operatorname{Re}[\bar{f}(a + i\tau_k)]$$

$$G_k = \operatorname{Im}[\bar{f}(a + i\tau_k)]$$

$$\tau_k = \frac{1}{2}(\omega_{k+1} + \omega_k)$$

Z_k can be determined by the following set of equations:

$$3\Delta_1 Z_1 + \Delta_1 Z_2 = 8(F_1 - F_0) \quad (10)$$

$$\Delta_{k-1} Z_{k-1} + 3Z_k (\Delta_k + \Delta_{k-1}) + \Delta_k Z_{k+1} = 8(F_k - F_{k-1}) \quad (11)$$

$(k = 2, 3, \dots, n)$

$$3\Delta_n Z_{n+1} + \Delta_n Z_n = 8(F_{n+1} - F_n) \quad (12)$$

where $F_0 = \operatorname{Re}[\bar{f}(a + i\omega_1)]$ and

$$F_{n+1} = \operatorname{Re}[\bar{f}(a + i\omega_{n+1})]$$

Y_k can be determined by the following set of equations:

$$3\Delta_1 Y_1 + \Delta_1 Y_2 = 8(G_1 - G_0) \quad (13)$$

$$\Delta_{k-1} Y_{k-1} + 3Y_k (\Delta_k + \Delta_{k-1}) + \Delta_k Y_{k+1} = 8(G_k - G_{k-1}) \quad (14)$$

$(k = 2, 3, \dots, n)$

$$3\Delta_n Y_{n+1} + \Delta_n Y_n = 8(G_{n+1} - G_n) \quad (15)$$

where $G_0 = \operatorname{Im}[\bar{f}(a + i\omega_1)]$ and

$$G_{n+1} = \operatorname{Im}[\bar{f}(a + i\omega_{n+1})].$$

Consequently, general expressions for the Zhao's Method II are given below:

$$f(0) \cong \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^n \left[F_k + \frac{\Delta_k}{24} (Z_{k+1} - Z_k) \right] \Delta_k \quad (16)$$

$$f(t) \cong \frac{e^{at}}{\pi} \left[\frac{1}{t} g_1(t) + \frac{1}{t^2} g_2(t) - \sum_{k=1}^n \frac{1}{t^3 \Delta_k} \left[(Z_{k+1} - Z_k)(\sin \omega_{k+1} t - \sin \omega_k t) + (Y_{k+1} - Y_k)(\cos \omega_{k+1} t - \cos \omega_k t) \right] \right] \quad (17)$$

where

$$g_1(t) = \left[F_n + \frac{1}{8} (Z_n + 3Z_{n+1}) \Delta_n \right] \sin \omega_{n+1} t + \frac{1}{8} (Y_2 + 3Y_1) \Delta_1 - G_1 + \left[G_n + \frac{1}{8} (Y_n + 3Y_{n+1}) \Delta_n \right] \cos \omega_{n+1} t$$

$$g_2(t) = -Z_1 + Z_{n+1} \cos \omega_{n+1} t - Y_{n+1} \sin \omega_{n+1} t$$

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Two different loading case given by Zhao [5] are used to study of convergency and accuracy of four proposed methods. The sample loading functions

are $\bar{f}(s) = s^{-l}$ and $\bar{f}(s) = s(s^2 + 1)^{-2}$ which correspond the Heaviside function $f(t) = H(t)$ and sinusoidal function $f(t) = (t/2)\sin(t)$ in the time domain, respectively. The results are tabulated in Table 1-4. The time length is defined as $T=20$ and the range of integration for Zhao' Methods is divided into three intervals as $[0, 2.5]$, $[2.5, 37.5]$ and $[37.5, 897.5]$ where Δ_k is 0.005, 0.5 and 2.0, respectively. For Durbin's Methods, aT is chosen to be 6 as Ref. [9]. The Lanczos correction factor is used for Modified Durbin approach.

It has been seen from Table 1 and 2, the divergency of the result for the last time sequence of first function is very high for the Durbin Method. As the considering Table 2 and 4, the relative error values of both Zhao Methods are lower than Durbin Methods, however, Modified Durbin Method also provides very good relative errors for both loading function which means that Lanczos correction factor has increased the stability. Also, time interval selection is not the case for Durbin Methods as both Zhao method.

Table 1. Inverse Laplace transform of $\bar{F}(s) = s^{-1}$

Time	Modified Durbin's Method	Durbin's Method [5]	Zhao's Method 1 [5]	Zhao's Method 2 [5]	Exact
0.0	0.501753412	0.50653049	0.50002454	0.49998200	1.0000
1.0	1.00248651	1.00549358	0.99984388	0.99999402	1.0000
2.0	1.00248643	1.00597629	0.99995698	1.00000370	1.0000
3.0	1.00248642	1.00612267	1.00016226	1.00002421	1.0000
4.0	1.00248642	1.00618855	0.99973049	1.00001323	1.0000
5.0	1.00248642	1.00622859	1.00017907	0.99999158	1.0000
6.0	1.00248642	1.00626599	0.99975946	0.99998448	1.0000
7.0	1.00248642	1.00631770	0.99995896	0.99996924	1.0000
8.0	1.00248642	1.00640245	0.99992645	1.00001701	1.0000
9.0	1.00248642	1.00654564	0.99966112	1.00001107	1.0000
10.0	1.00248642	1.00678511	1.00004361	1.00003587	1.0000
11.0	1.00248641	1.00717982	0.99944320	0.99999743	1.0000
12.0	1.00248641	1.00782468	1.00009414	0.99997066	1.0000
13.0	1.00248641	1.00887807	0.99923983	0.99996375	1.0000
14.0	1.00248641	1.01061669	0.99977563	0.99999187	1.0000
15.0	1.00248641	1.01355593	0.99945386	1.00003359	1.0000
16.0	1.00248641	1.01874996	0.99948358	1.00002965	1.0000
17.0	1.00248640	1.02868949	0.99940670	1.00002235	1.0000
18.0	1.00248639	1.05088628	0.99931966	0.99996898	1.0000
19.0	1.00248637	1.12293998	0.99923481	0.99995546	1.0000
20.0	1.00248631	75.17073028	0.99920029	0.99997784	1.0000

Table 2. Relative error values of inverse Laplace transform methods for $\bar{F}(s) = s^{-1}$

Time	Modified Durbin's Method	Durbin's Method	Zhao's Method 1	Zhao's Method 2
0.0	0.49824659	0.49346951	0.49997546	0.50001800
1.0	0.00248651	0.00549358	0.00015612	0.00000598
2.0	0.00248643	0.00597629	0.00004302	0.00000370
3.0	0.00248642	0.00612267	0.00016226	0.00002421
4.0	0.00248642	0.00618855	0.00026951	0.00001323
5.0	0.00248642	0.00622859	0.00017907	0.00000842
6.0	0.00248642	0.00626599	0.00024054	0.00001552
7.0	0.00248642	0.00631770	0.00004104	0.00003076
8.0	0.00248642	0.00640245	0.00007355	0.00001701
9.0	0.00248642	0.00654564	0.00033888	0.00001107
10.0	0.00248642	0.00678511	0.00004361	0.00003587
11.0	0.00248641	0.00717982	0.00055680	0.00000257
12.0	0.00248641	0.00782468	0.00009414	0.00002934
13.0	0.00248641	0.00887807	0.00076017	0.00003625
14.0	0.00248641	0.01061669	0.00022437	0.00000813
15.0	0.00248641	0.01355593	0.00054614	0.00003359
16.0	0.00248641	0.01874996	0.00051642	0.00002965
17.0	0.00248640	0.02868949	0.00059330	0.00002235
18.0	0.00248639	0.05088628	0.00068034	0.00003102
19.0	0.00248637	0.12293998	0.00076519	0.00004454
20.0	0.00248631	74.17073028	0.00079971	0.00002216

Table 3. Inverse Laplace transform of $\bar{F}(s) = s(s^2 + 1)^{-2}$

Time	Modified Durbin's Method	Durbin's Method [5]	Zhao's Method 1 [5]	Zhao's Method 2 [5]	Exact
0.0	-0.004128592	0.06218747	-0.00009131	0.00000218	0.00000000
1.0	0.445407616	0.47977090	0.42073715	0.42072545	0.42073549
2.0	0.941424649	0.90776061	0.90949537	0.90931095	0.90929743
3.0	0.221132725	0.14529924	0.21129895	0.21166887	0.21168001
4.0	-1.53750814	-1.58679915	-1.51309243	-1.51360309	-1.51360499
5.0	-2.43415229	-2.40758056	-2.39762968	-2.39729723	-2.39731069
6.0	-0.85384868	-0.77051018	-0.83785428	-0.83827882	-0.83824649
7.0	2.32132447	2.38657029	2.29907174	2.29950339	2.29945310
8.0	3.99840548	3.98214155	3.956842373	3.95736997	3.95743299
9.0	1.87692324	1.78863406	1.85447616	1.85460021	1.85453318
10.0	-2.73863399	-2.82025465	-2.71993636	-2.72016580	-2.72010555
11.0	-5.54423632	-5.54135701	-5.49808585	-5.49990224	-5.49994614
12.0	-3.24904812	-3.15882255	-3.21897264	-3.21946065	-3.21943751
13.0	2.74495541	2.84272087	2.73054498	2.73109266	2.73108574
14.0	6.98083258	6.99415956	6.93118737	6.93426442	6.93425149
15.0	4.91419067	4.82541788	4.87496126	4.87712892	4.87715880
16.0	-2.31116225	-2.42416899	-2.30199547	-2.30319122	-2.30322653
17.0	-8.21953369	-8.25152215	-8.16699679	-8.17190744	-8.17187868
18.0	-6.80328714	-6.71963241	-6.75430215	-6.75886561	-6.75888522
19.0	1.42464613	1.55131243	1.42278407	1.42382934	1.42383349
20.0	9.17680430	9.22943796	9.12178084	9.12944158	9.12945251

Table 4. Relative error values of inverse Laplace transform methods for $\bar{F}(s) = s(s^2 + 1)^{-2}$

Time	Modified Durbin's Method	Durbin's Method [ref]	Zhao's Method 1 [ref]	Zhao's Method 2 [ref]
0.0	-	-	-	-
1.0	0.05864047	0.14031479	0.00000395	0.00002386
2.0	0.03533191	0.00169012	0.00021768	0.00001487
3.0	0.04465568	0.31359017	0.00180017	0.00005263
4.0	0.01579220	0.04835750	0.00033864	0.00000126
5.0	0.01536789	0.00428391	0.00013306	0.00000561
6.0	0.01861289	0.08080715	0.00046789	0.00003857
7.0	0.00951155	0.03788605	0.00016585	0.00002187
8.0	0.01035330	0.00624358	0.00014924	0.00001592
9.0	0.01207315	0.03553407	0.00003075	0.00003614
10.0	0.00681166	0.03681809	0.00006220	0.00002215
11.0	0.00805284	0.00752932	0.00033824	0.00000798
12.0	0.00919745	0.01882781	0.00014439	0.00000719
13.0	0.00507845	0.04087573	0.00019800	0.00000253
14.0	0.00671754	0.00863944	0.00044188	0.00000186
15.0	0.00759292	0.01060882	0.00045058	0.00000613
16.0	0.00344548	0.05251002	0.00053449	0.00001533
17.0	0.00583159	0.00974604	0.00059740	0.00000352
18.0	0.00656941	0.00580759	0.00067808	0.00000290
19.0	0.00057074	0.08953220	0.00073704	0.00000291
20.0	0.00518671	0.01095197	0.00084032	0.00000120

4. CONCLUSION

In this study four different numerical inverse Laplace transform method are investigated. The main drawback of Zhao's algorithm is having heavy programming burden and progress time. The selection of intervals and parameters affects significantly to accuracy of method. The advantage of Zhao's algorithm is to give stable results for long time inversion on the contrary to Durbin's Method. However, adding a correction factor to the formulation of Durbin's algorithm increases stability of method. It can be induced that Modified Durbin's Method gives an accurate result even for long time investigations with less burden and progress time.

5. REFERENCES

1. Cohen, A.M., 2007. Numerical Methods for Laplace Transform Inversion. Springer-Verlag, New York, 252.
2. Miller, M.K., Guy W., 1966. Numerical Inversion of The Laplace Transform by Use of Jacobi Polynomials. SIAM J. Num. Anal., 3(4), 624-635.
3. Genin, R., Calvez, L., 1968. Numerical Inversion of The Laplace Transform Using Laguerre Polynomials. Electron. Lett., 4(21), 461-462.
4. Pavelyev, A.G., 2019. Duality Principle and New Forms of The Inverse Laplace Transform for Signal Propagation Analysis in Inhomogeneous Media with Dispersion. Dokl. Math., 100(3), 594-599.
5. Zhao, X., 2004. An Efficient Approach for The Numerical Inversion of Laplace Transform and Its Application in Dynamic Fracture Analysis of A Piezoelectric Laminate. Int. J. Solids Struct., 41(13), 3653-3674.
6. Chen, K.F, Mei S.L., 2011. Accelerations of Zhao's Methods for The Numerical Inversion of Laplace Transform. Int. J. Numer. Methods Biomed, 27(2), 273-282.
7. Temel, B., Noori, A.R., 2019. Transient Analysis of Laminated Composite Parabolic Arches of Uniform Thickness. Mech. Based Des. Struct. Mach., 47(5), 546-554.

8. Li, X.F., 2008. A Unified Approach for Analyzing Static and Dynamic Behaviors of Functionally Graded Timoshenko and Euler-Bernoulli Beams. *J. Sound Vib.*, 318(4), 1210-1229.
9. Pekel, H., Keles, I., Temel, B., Tutuncu, N., 2011. Transient Response of FGM Pressure Vessels. *Vibration Problems (ICOVP 2011)*, Prague, 315-320.

Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimine Firma Niteliklerinin Etkisi: Tekstil Sektörü Bakış Açısı

Emel YONTAR*¹ ORCID 0000-0001-7800-2960

Şölen ZENGİN¹ ORCID 0000-0003-2309-4954

¹ Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 12.05.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/How to cite: YONTAR, E., ZENGİN, Ş., (2023). Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimine Firma Niteliklerinin Etkisi: Tekstil Sektörü Bakış Açısı. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 515-530.

Öz

Kaynak kullanımının yoğun olduğu bilinen tekstil sektörü için sürdürülebilirlik çalışmalarının uygulanması ekonomik anlamda sektörün gelişmesini sağlayarak çevresel ve sosyal anlamda tedarik zinciri yönetiminin aşamalarında olumlu etki bırakacağı yadsınamaz bir gerçektir. Tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilirliğin sağlanması için ele alınması gereken çok sayıda parametre bulunmaktadır. Tekstil sektörü ihtiyaçları doğrultusunda sürdürülebilirliği amaçlayan firmaların bu parametrelere göre ilerlemesi olası kaynak kayıplarını daha da azaltacaktır. Mevcut çalışma bu konuyu ele alarak tedarik zinciri yönetimi içerisinde sürdürülebilirliği etkileyen değişkenlerin araştırılmasını amaçlamaktadır. Firmaların sahip olduğu niteliklerin değişkenlerine göre belirlenen müşteri odaklı yaklaşım, teslimat odaklı yaklaşım, kaynak kullanımı ve ürün odaklı yaklaşım değişkenleri ile aralarındaki ilişki Yapısal Eşitlik Modeli ile ele alınmıştır. Çalışmada belirlenen 35 değişken beş gizli değişken içerisinde gruplandırılarak çıkan değerlerin etki düzeyleri belirlenmiştir. Etkili risk yönetimi, müşteri isteklerinin yerine getirilmesi, sipariş takibi, dönüştürülebilir ambalajın kullanılması, tahmin tekniklerinin doğruluğu değişkenlerinin etki düzeyleri en yüksek değişkenler olarak çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Tedarik zinciri yönetimi, Tekstil, Yapısal eşitlik modeli

The Effect of Company Qualifications on Sustainable Supply Chain Management: Textile Sector Perspective

Abstract

It is an undeniable fact that the implementation of sustainability studies for the textile industry, which is known to be resource-intensive, will ensure the economic development of the industry and leave a positive impact on the stages of supply chain management in environmental and social terms. There are many parameters that need to be addressed in order to ensure sustainability in supply chain management. The progress of companies aiming at sustainability in line with the needs of the textile industry according to these parameters will further reduce possible resource losses. The present study aims to investigate the variables affecting sustainability in supply chain management by addressing this issue. The customer-

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Emel YONTAR, eyontar@tarsus.edu.tr

oriented approach, delivery-oriented approach, resource use and product-oriented approach variables determined according to the variables of the qualifications of the companies and the relationship between them are discussed with the Structural Equation Model. The 35 variables determined in the study were grouped into five hidden variables and the effect levels of the values were determined. Effective risk management, fulfillment of customer requests, order tracking, use of recyclable packaging, accuracy of forecasting techniques have the highest effect levels.

Keywords: Sustainability, Supply chain management, Textile, Structural equation model

1. GİRİŞ

Küresel ısınma, değişen iklim şartları, çevresel kirlilikler ve azalan kaynaklar işletmelerin sürdürülebilirlik konusuna daha çok ilgi göstermesine neden olmuştur. İşletmeler uzun vadeli finansal, sosyal ve çevresel performanslarından ödün vermeden kısa vadeli taleplere cevap verme yeteneği ile [1] rekabet avantajı elde etmek, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak amacıyla ekonomik, çevresel ve sosyal performanslarını arttırmayı ilke edinmiştir [2]. Birçok endüstri, “kirlilemeyen, enerji ve doğal kaynakları koruyan, ekonomik olarak uygun süreç ve sistemler kullanılarak mal ve hizmetlerin oluşturulması” olarak tanımladıkları sürdürülebilir kalkınmaya yönelik farklı uygulamaları benimsemeye başlamıştır [3]. Sürdürülebilirlik işletme yönetiminde giderek artan bir öneme sahiptir, özellikle tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilirlik kritik öneme sahiptir [4]. Seuring ve Müller [5], sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimini, tedarik zinciri boyunca şirketler arasında işbirliğinin yanı sıra malzeme, bilgi ve sermaye akışının yönetimi olarak tanımlamaktadır. Sürdürülebilir tedarik zinciri, müşteri ve paydaş gereksinimlerinden türetilen sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutunun yani ekonomik, çevresel ve sosyal boyutların tedarik zincirine entegrasyonudur. Carter ve Rogers [4], üç boyutlu tedarik zincirine entegrasyonunu oluşturarak etkin tedarik zinciri yönetiminin sürdürülebilirliğe katkı sunacağını ifade etmiştir.

Tekstil sektörü hammadde, üretim ve atık gibi sorunlar nedeniyle sürdürülebilirlik anlamında dikkat çeken sektörler arasında ön sıralardadır [6]. Tekstil tedarik zinciri giderek daha küresel hale geldikçe gelişmekte olan ülkelerde artan dış kaynak kullanımı, sürdürülebilirlik uygulamalarına artan

bir şekilde odaklanmaya başlamıştır [7-9]. Pagell ve Shevchenko [10], son yirmi yılda sürdürülebilirlik konusunun tedarik zinciri yönetiminde büyük ilgi gördüğünü ve birçok araştırmanın konusu olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle tekstilde sürdürülebilirlik çalışmaları da önem arz etmektedir. Küresel tekstil tedarik zincirlerinde faaliyet gösteren şirketler için temel zorluk, itibar ve güvenilirliği korumak için farklı paydaşların beklentilerini karşılarken rekabet avantajı elde etmek ile sürdürülebilir hareket etmek arasındaki dengedir [11,12]. Her ne kadar bazı çalışmalarda üç boyutun hepsi aynı anda araştırılmamış olsa da [13] genellikle sosyal, çevresel ve ekonomik boyutlarının tamamlayıcı ve birbirine bağlı olduğunu ve beraber değerlendirilmesi gerektiğini kabul etmişlerdir [14,5,15]. Tekstil tedarik zincirinde ipliğin üretimindeki ilk aşamadan kumaş üretimindeki son aşamaya kadar su kirliliği, hava kirliliği ve atık üretimi gibi sürdürülebilirliğin temel sorunları ile karşılaşmaktadır [16]. Bu nedenle çalışmada tekstil tedarik zincirinde sürdürülebilirlik konusu ele alınmıştır.

Çalışmanın amacı yoğun kaynak tüketiminin sebep olduğu tekstil sektörüne yönelik tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilirliğin etken faktörlerini incelemektir. Bu doğrultuda literatür taraması sonucu tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilirliği etkileyen faktörler tekstil sektörü düşünülerek belirlenmiş ve değişkenlerin firma nitelikleri boyutu ile karşılaştırma yapılması sağlanarak sürdürülebilirlikle arasındaki ilişki yapısal eşitlik modellemesi ile belirlenmiştir.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde devam etmektedir; İkinci bölümünde literatür taraması aktarılmıştır. Üçüncü bölümde çalışmanın metodolojisi için, kavramsal modeli verilerek

yapısal eşitlik modeli teorik bilgileri verilmiştir. Daha sonra dördüncü bölümde belirlenen kriterlere yönelik yapısal eşitlik modellemesi yapılarak bulgu ve elde edilen çıkarımlar verilmiştir. Son olarak çalışmadan çıkarılan sonuçlar yorumlanmış ve tekstil işletmelerine sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ile ilgili bir takım öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmanın bu bölümünde tedarik zinciri sürdürülebilirliği ve tekstil sektöründe sürdürülebilirlik çalışmaları ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş ve aktarılmıştır.

Son yıllarda endüstriler hem hükümet düzenlemelerinden hem de küresel rekabetten kaynaklanan çevresel girişimler üzerindeki baskıyla karşı karşıyadır. Dünya fosil yakıtlar ve zararlı etkileri nedeniyle sorunlarla karşı karşıyadır [17]. Bu nedenle kuruluşlar, çevresel performanslarını ekonomik performanslarından daha iyi hale getirmek için sürdürülebilir uygulamaları uygulamaya zorlanmaktadır. Bu nedenle tedarik zincirinde sürdürülebilirlik, kurumsal sorumluluğun önemli bir parçası haline gelmiştir.

Tekstil sektörü dünyadaki büyük üretim ve iş gücü endüstrilerinden biri olması bakımından tedarik zincirinde sürdürülebilirliği önem taşımaktadır. Bu çalışmada bu nedenle tekstilde sürdürülebilirlik konusu ele alınmış ve sürdürülebilirliği sağlamada önemli kriterler yapısal eşitlik modeli ile araştırılmıştır. Geleneksel tedarik zincirleri sosyal, ekonomik ve çevresel bakımdan sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine dönüşmelidir [18].

Sürdürülebilirliğin, organizasyonel sınırların ötesinde eylem gerektiren endüstrilere etkili bir şekilde entegrasyonunu gereklidir. Bu nedenle, son zamanlarda çevre sorunları araştırmacılar tarafından özel bir ilgi görmektedir [18]. İmalat sanayilerinin çevre uygulamalarını mevcut tedarik zinciri yönetiminde uygulamaya başladıklarından bahsedilmiştir [19]. Tedarik zincirinde sürdürülebilirlik, risk [20,21], performans değerlendirme [22,23] ve literatür çalışmaları mevcuttur [24].

Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerdeki endüstriler, geleneksel tedarik zincirinde sürdürülebilirliği benimsemek için çeşitli perspektiflerden gelen baskılarla karşı karşıyadır. Bu bağlamda ele alınan çalışmada sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin Hindistan endüstrilerine uygulanmasını sağlayan unsurları analiz edilmesi amaçlanmıştır [8]. Çalışmada Güney Hindistan'da bulunan beş Hint tekstil biriminde yapısal modelleme kullanılmıştır. Hindistan'daki tekstil endüstrisinde entegre sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının benimsenmesini ve bunun firmanın iş performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır [23]. Büyük firmaların talep yönlü sürdürülebilirlik girişimlerinin ve küçük firmaların içsel sürdürülebilirlik uygulamalarının iş performanslarını doğrudan etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca tedarikçilerin sürdürülebilirlik girişimlerinin firmanın iç sürdürülebilirliği üzerinde doğrudan ve olumlu bir etkiye sahip olduğu ve bunun da Hindistan tekstil endüstrisinde talep yönlü sürdürülebilirlik üzerinde doğrudan ve olumlu bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan Aljoghaiman ve arkadaşları [25], çalışmasında Suudi Arabistan'da bulunan 6 büyük şirketini incelemiştir. İmalat sanayinde sürdürülebilir tedarik zincirinin uygulanmasıyla ilişkili motive ediciler, engeller ve kolaylaştırıcılar incelenmiştir. Çalışma sonucunda, dış paydaş bariyerlerinin sürdürülebilir tedarik zinciri gelişimini iç bariyerlerden daha fazla engellediği tespit edilmiştir. Dış engeller, hükümetler, tedarikçiler, müşteriler ve yatırımcılardan oluşmaktadır. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi (STZY) işletmeleri ekonomik, çevresel ve sosyal açılardan etkileyerek, çalışmada paydaş katılımının STZY engellerini azaltmada kritik rol oynadığı görülmüştür. Sebastianelli ve Tamimi [26], çalışmasında Bloomberg'den alınan S&P 500 verilerinin analizini yapmıştır. Çalışmada sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ile ilgili önceki araştırmaların çoğunun çevresel yönle odaklandığı vurgulanmıştır. Bu nedenle sosyal sürdürülebilir tedarik zinciri girişimlerinin uygulanmasındaki rolü de dikkate alınmıştır. Sonuç olarak STZ girişimlerinin (çevresel ve sosyal) öncülleri olarak stratejik faktörlerin, yani yönetim kurulu özellikleri ile ilişkili sürdürülebilirlik

konusundaki proaktif bir kurumsal duruşun önemli olduğu görülmüştür.

Çalışmalardan farklı olarak Govindan ve arkadaşları [27], çeşitli sürdürülebilirlik uygulama türlerinin (çevresel, sosyal ve birleşik) firma performansı üzerindeki etkisini anlamak için 129 makaleden yararlanılarak hazırlanan 167 etki büyüklüğünün sonuçlarını sentezlemek için psikometrik bir meta-analiz yöntemi benimsenmiştir. Yadav ve arkadaşları [28], çalışmada sürdürülebilirliğin benimsenmesi, endüstrilerin küresel pazarda ayakta kalabilmeleri için son yıllarda son derece önemli bir unsur haline geldiğini vurgulamıştır. Bununla birlikte, tedarik zincirinde sürdürülebilirliğin benimsenmesi, üretim organizasyonları için daha fazla endişe kaynağıdır. Sürekli olarak değişen pazar, bu kuruluşların yalın, yeşil, döngüsel ve endüstri 4.0 vb. uygulayıcılar için endişe kaynağı olmuştur. Benzer şekilde, STZY benimseme sorunlarının üstesinden gelmek için gereken çözümlerin de değişen iş ortamlarına göre güncellenmesi gerekir. Dolayısıyla bu çalışmada, endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi tabanlı çözüm önlemleri aracılığıyla STZY zorluklarının üstesinden gelmek için bir çerçeve geliştirilmiştir. Bir başka farklı çalışmada Geyi ve arkadaşları [29], sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamaları ile çevik uygulamalar arasında anlamlı bir ilişki bulunduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, sürdürülebilirliği en üst düzeye çıkarmak isteyen yöneticiler, sürdürülebilirlik uygulamalarının ve çevik uygulamaların eşzamanlı olarak uygulanmasını tavsiye etmiştir.

Tedarik zincirinde sürdürülebilirlik çalışmalarının yanı sıra tekstil sektörünü içine katan çalışmalarda, Muthu [30], sürdürülebilirlik değerlendirmesinin her alanda önemli bir konu olduğunu ve sürdürülebilirlik alanındaki farklı oyuncuların ihtiyaçlarına uygun doğru aracı seçmenin önemini vurgulamıştır. Tekstil tedarik zinciri çeşitli sürdürülebilirlik araçları ve bunların tekstil endüstrisindeki etkileri ele alınmıştır. Desore ve Narula [16], çalışmada dünya çapında tekstil endüstrisini çevreleyen çeşitli sürdürülebilirlik konularıyla ilgili mevcut literatürü gözden geçirmiştir. Firmaları sürdürülebilirliğe yönlendiren motivasyonları ve uygulamadaki

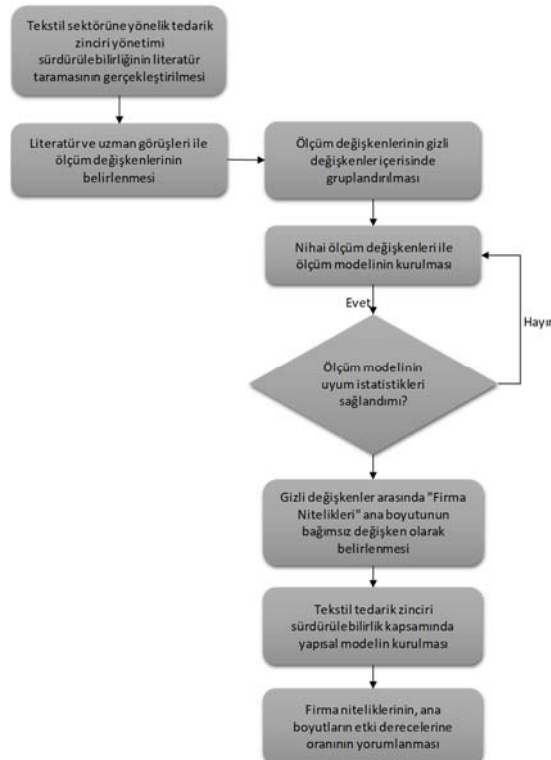
engelleri anlamak çok önemli olmakla birlikte, yeni teknolojilere ve süreçlere yönelik yönetsel algı ile ilgili araştırma yönlerine de dikkat çekmiştir. Pattnaik ve arkadaşları [31], Hindistan'daki tekstil endüstrisinin ulusun ekonomik büyümesinde hayati bir rol oynadığını vurgulamıştır. Tekstil sektörünün büyümesi sadece ülke ekonomisini etkilemekle kalmıyor, aynı zamanda küresel ekonomiyi ve ülkeler arasındaki karşılıklı teknoloji alışverişini de etkiliyor. Bu çalışmada sıfır atık su yönetimi teknikleri ile çevresel atıkların azaltılması ve geri dönüştürülmüş suyun etkin kullanımı için yöntemlerin tanımlanmasına odaklanılmıştır. Tekstil atıklarının azaltılmasına yönelik alternatif yöntemler de bu incelemede ele alınmıştır. Lombardi ve arkadaşları [32], sürdürülebilirlik programları, sosyal ve çevresel konuların iş modellerine ve organizasyonel süreçlere entegrasyonunu içerir. Sürdürülebilirlik programlarının değerlendirilmesi, çok kriterli karar analizi sorunu olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışma, tekstil endüstrisindeki sürdürülebilirlik çalışmalarının değerlendirilmesi için çok kriterli karar verme uygulamalarını sunmuştur. Çalışmada Brezilya tekstil endüstrisinden altı lider şirketin sürdürülebilirlik programları AHP ve TOPSIS ile değerlendirilmiştir. Oelze, [33] çalışmada, tekstil endüstrisinden 10 şirketin yöneticileriyle yapılan 23 görüşmeye dayanan derinlemesine karşılaştırmalı bir vaka çalışması analizinin sonuçlarını sunmaktadır. Analiz, belirli işbirliği biçimlerinin hem etkili bir sürdürülebilir tedarik zincirinin sağlanabileceğini hem de politika uygulaması önündeki engelleri azaltabileceğini göstermiştir. Warasthe ve arkadaşları [24], çalışmada tekstil ve hazır giyim endüstrisinde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine ilişkin 127 makaleyi sistematik olarak incelemiştir. Özetle, sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamaları, genel olarak performans ve risk ve özel olarak da tekstil ve hazır giyim endüstrisi konularında gelişmiş bir araştırma yapılmıştır. Ancak araştırılması gereken farklı yönler ve detaylandırılması gereken noktalar tespit edilmiştir.

Ele alınan çalışma tekstil sektöründe sürdürülebilirliği yapısal eşitlik modeli ile detaylı olarak incelememize yardımcı olacak ve tekstilde sürdürülebilirlik ilişkisini detaylı inceleyen çok

çalışma bulunmaması bakımından literatürde bu boşluğun doldurulmasına katkı sağlayacaktır.

3. YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde tedarik zincirinin sürdürülebilirlik çalışmalarında firmanın sahip olduğu niteliklerin etki düzeyi Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) ile incelenmiştir (Şekil 1). Yapısal Eşitlik Modeli, sürekli veya ayrık bir veya daha fazla bağımsız değişken ile sürekli veya ayrık bir veya daha fazla bağımlı değişken arasındaki ilişkilerin bir dizi olmasına izin veren bir istatistiksel teknikler topluluğudur [34]. En basit düzeyde, bir araştırmacı tek bir ölçülen değişken ile diğer ölçülen değişkenler arasında bir ilişki varsayar ve bunu istatistiki olarak açıklamaya çalışır. Bu çalışmada da firmanın yetkin olduğu nitelikleri dikkate alınarak literatür sonrası olası ölçüm değişkenleri bulunmuş ve gizli değişkenler ile aralarındaki ilişki açıklanmıştır.



Şekil 1. Mevcut çalışmanın kavramsal modeli

3.1. Yapısal Eşitlik Modeli

Yapısal eşitlik modelleri, nedensel modelleri oluşturmak, tahmin etmek ve test etmek için kullanılır, böylece çoklu regresyon, doğrudan geçiş analizi, faktör analizi ve kovaryans analizine bir alternatif sağlar ve belirtilmemiş değişkenlerin açıklanmasına, gizli değişkenlerin doğrulanmasına izin verir [35]. YEM’de yapılan incelemeler belirli sayıda gizli değişken ve bu gizli değişkenlerin hesaplanmasında kullanılan ölçüm değişkenlerinden oluşmaktadır.

YEM tahmin prosedürü teori odaklıdır ve keşif analizinden doğrulayıcı analize geçişi vurgular [36]. YEM iki istatistiksel tekniğe dayanmaktadır: Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) ve Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA). Hem DFA hem de AFA birbirine bağlı istatistiksel tekniklerdir. DFA, gözlenen ölçümler ile gizli değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamak amacıyla kullanılan YEM’in bir türüdür [37]. DFA, Açıklayıcı Faktör Analizi’nin bir uzantısıdır ve gizli ile ölçüm değişkenleri arasındaki ilişkilerin ölçülmesini sağlar. Analizleri yürütmek için yapısal model ve ölçüm modeli tasarlanmıştır [38]. AFA, veri setindeki anlamlı örüntüleri belirlemek için kullanılabilir ve ayrıca faktör çıkarımını sağlar. DFA ise bir kavram veya olguya en iyi yaklaşan ve açıklayan bir model test etmek için kullanılır. DFA bu nedenle modeldeki farklı faktörler arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılır [39].

Yapısal denklemlerin genel modeli, bir ölçüm modeli ve yapısal modelden oluşur. Ölçüm modeli, gözlemlenebilir değişkenler ile bunların altında yatan gizli değişkenler arasındaki ilişkileri belirtir. Yapısal model ise, dışsal değişkenler veya yapılardan (ξ) ve içsel değişkenler veya yapılardan (η) oluşan gizli değişkenler arasındaki ilişkileri belirtir. Öte yandan, ölçüm modeli, gözlenen ve gizil değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamak ve gözlenen değişkenlerin gizli değişkenler üzerindeki etkisini ölçmek için kullanılan doğrulayıcı faktör analizidir [40]. Yapısal modelin doğrulanması, onu tahmin eden yapılar tarafından açıklanan içsel değişkenin varyans miktarını doğrular [41].

Elde edilen verilerin Yapısal Eşitlik Modeli için ne kadar uygun olduğuna dair değerlendirme ölçütleri yani uyum indeksleri belirlenmelidir. Modelin uyum iyiliğini kontrol etmek için ortalama karesel yaklaşım hatası (RMSEA), karşılaştırmalı uyum indeksi (CFI) kullanılabilir.

3.2. Değişkenlerin Belirlenmesi ve Analizi

Mevcut çalışmada ilk olarak tekstil tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilirliği etkileyen parametreler belirlenmiştir (Çizelge 1). Olası parametrelerin belirlenmesi aşamasında tekstil sektöründe çalışan üst düzey yöneticiler ve akademisyenlerden oluşan 7 kişilik uzman ekip ile görüşmeler yapılarak nihai tablo oluşturulmuştur. Bu aşamada amaç literatürde mevcutta yer alan parametrelerin tekstil sektöründe kullanılabilirliği, önemi ve sürdürülebilirlik ilişkisini ele alarak güvenilir ölçüm değişkenlerine ulaşmaktır. Toplamda Yapısal Eşitlik Modelinde ölçüm değişkeni olarak adlandırılan 35 parametre ile çalışmanın devam etmesine karar verilmiştir.

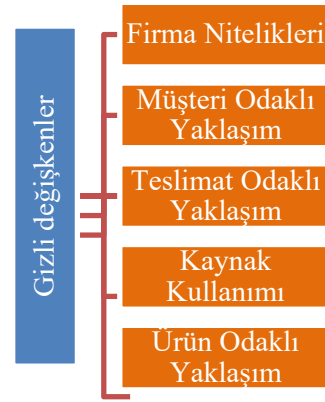
Çizelge 1. Tedarik zinciri sürdürülebilirliğinde rol oynayan parametreler

Ölçüm değişkenleri	Tanım
Müşteri memnuniyeti	Müşterinin alınan hizmet ya da ürün karşısındaki tatmini olarak ifade edilir.
Doğru anlaşılmiş müşteri istekleri	Daha üretim başlamadan müşteri isteklerinin eksiksiz ve doğru anlaşılması şeklinde tanımlanır.
Müşteri isteklerinin yerine getirilmesi	Müşterinin belirttiği isteklerin doğru şekilde yerine getirilmesini ifade eder.
Müşteri sorgu ve cevap alma süresi	Müşterinin siparişi için termin sorma ve cevap alma süresini içermektedir.
Termine uygunluk	Müşteriye teslimat için verilen söze uyumun ölçülmesidir. Yapılan üretim planının performansını gösterir niteliktedir.
Sipariş takibi	Sipariş daha kesinleşmeden müşterinin termin sorma aşamasından başlayarak son teslimatına kadar siparişin izlenebilir olması olarak ifade edilir.
Akış gün süresi	Müşterinin siparişi verme zamanından sevk edilmesine kadar geçen ortalama süre olarak ifade edilir.

Ölçüm değişkenleri	Tanım
Gecikme gün süresi	Siparişlerin ortalama gecikme gün süresini ifade eder.
Acil teslimata duyarlılık	Müşteri aciliyeti olan durumlarda üretimde öncelik sağlama olarak ifade edilir.
Dağıtım ağının optimum planlanması	Her nakliyede, siparişin hızlı ve zamanında gitmesini sağlayacak, beklemeyi en aza indirecek dağıtım ağının oluşturulmasını ifade eder.
Kapasite ve kaynak kullanım düzeyi	Kapasite ve kaynak kullanımının yüzdesini gösterir. Amaç kapasiteyi maksimum verimde kullanmaktır.
Yenilenebilir enerji kullanımı	Toplam enerji kullanımı içinde yenilenebilir enerji kullanımının yüzdesi olarak ifade edilir.
Çevre dostu ürün ve malzeme kullanımı	Ürünlerin üretiminde çevreye zarar vermeyen, geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanılmasını ifade eder.
Az bulunan ürünlerin tüketiminin azaltılması	Sürdürülebilirliği sağlama amacıyla tükenmekte olan ürünlerin kullanımının azaltılması olarak tanımlanabilir.
Su tüketimi	Üretimde kullanılan yıllık ortalama temiz su tüketimini ifade eder.
Üretim, depolama ve taşımada ortaya çıkan sera gazları emisyonunun azaltılması	Üretimde, taşımada ve depolamada ortaya çıkan sera gazı etkisi yaratacak gazların etkisinin azaltılması amaçlanır.
Atık sayılan ürünlerin bir başka amaç için kullanımı	Kullanılmayacak durumda olan ürünlerin geri dönüşüm yoluyla işlevsel hale getirilmesi olarak tanımlanır. Buna örnek; pamuk çekirdeğinden yağ üretimi, genelde tavuk yemi olarak kullanılan küspe üretimi, liflerinden rejenere lif üretiminde veya kağıt para üretiminde kullanılması verilebilir.
Atıkları en aza indirmek için yapılan çalışmalar	Firma içerisinde atık yönetimi kapsamında, atıkları en aza indirmesi için yaptığı çalışmaları ifade eder. Atık ürün veya atık suya yönelik tüm çalışmalar bu kapsamda değerlendirilebilir.
Dönüştürülebilir ambalajın kullanılması	Sevkiyat öncesi, ürün paketlemesinde dönüştürülebilir ya da geri dönüşümü kolay olan ambalajın tercih edilmesini ifade eder.
Pazar payı	Şirketin pazar içindeki payını ifade eder.
Çevresel Yönetim Sisteminin varlığı	Bu sistem doğal kaynak kullanımını en aza indirerek çevreyi korumayı amaçlar. İşletmeler daha kaliteli ve belirli standartta, çevre dostu ürün sunabilmek için birtakım sertifikaları almaya çalışır.

Ölçüm değişkenleri	Tanım
	Tekstilde bu sertifikalara OEKO-TEX, BCI, ISO9001, OCS, GRS, FSC örnek olarak verilebilir.
Bilgi ve malzeme akış entegrasyonu	Tedarik zincirinin tüm elemanları arasında bilgi ve malzeme akışının doğru ve güvenilir olmasını ifade eder.
Etkili risk yönetimi	Tedarik zincirindeki elemanların riskini minimuma düşürmeyi amaçlayan performans ölçütüdür.
Yatırım geri kazanımı	Bir şirketin stratejik geri dönüşüm için atıl varlıklarını satarak hem depolamayı azaltması hem de varlıkları gelire dönüştürmesi olarak ifade edilebilir.
Firmanın AR-GE kapasitesi	Firmanın ARGE birimindeki üretim kapasitesi, çalışan sayısı ve ARGE'ye ayrılan bütçesi olarak ifade edilebilir.
Çevrenin korunması için yapılan yenilik sayısı	Çevre faktörünün de ele alındığı yılda yapılan proje, yenilik vs çalışmalarını ifade eder.
Çalışan motivasyonu ve sürekli gelişimi	Çalışanların motivasyonlarının yüksek olması ve sürekli gelişimleri için yapılan eğitimlere katılımı ifade eder.
Tedarikçi performans takibi	Belirli periyotlarda tedarikçilerin performansının takip edilmesinin önemini ifade eder.
Ürün/Hizmet kalitesi	Üretilen ürün yada sağlanan hizmetin belirli kalite standartları ve performans göstergeleri dahilinde performansa etkisini gösterir.
İkinci kalite oranının kullanımı	Ürünlerde bulunan tamiri mümkün olmayan hatalar o ürünleri 2. kalite yapar. 2. kalite oranı, toplam üretimdeki 2. kalite yüzdesini ifade eder.
Fire oranının azaltılması	Üretim sırasındaki zaiyat oranının azaltılması şeklinde tanımlanır.
Metre başına hata oranının azaltılması	Kalite standartlarını sağlamak için metre başına bulunan hata olarak ifade edilir.
Metre uyumunun sağlanması	Siparişin planlanan metresiyle üretilen metrajı arasındaki uyum olarak ifade edilir.
Tahmin tekniklerinin doğruluğu	Makro plan seviyesinde yapılan satış tahminlerinin doğruluğunu ifade eder.
Etkin bir talep planlama sistemi	Şirketlerin siparişi doğru ve zamanında teslim edebilmesi amacıyla siparişin termin sorgusu olarak sorulduğu andan itibaren, hammadde ve kapasiteden sevkiyata kadar tüm tedarik zincirini kapsayacak şekilde planlanması olarak ifade edilir.

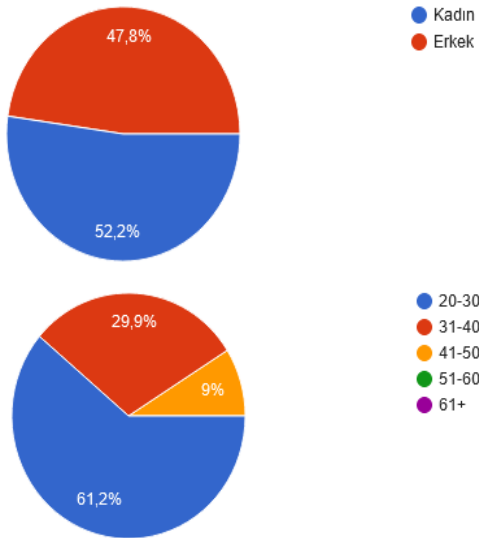
Belirlenen ölçüm değişkenleri kendi içerisinde uygun niteliklere ve anlam uyumuna sahip olacak şekilde ana boyutlar çerçevesinde gruplandırılması istenmiştir. Gruplandırmaların yapılması mevcutta gizli değişkenleri belirleyecek ve bağımlı ve bağımsız değişkenlerin yorumlanmasına olanak tanıyacaktır. Bu bakımdan firma nitelikleri ana boyutu dâhil, müşteri odaklı yaklaşım, teslimat odaklı yaklaşım, kaynak kullanımı ve ürün odaklı yaklaşım olmak üzere beş gizli değişken belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Sürdürülebilir tekstil tedarik zinciri yönetimi gizli değişkenleri

Gizli ve ölçüm değişkenleri belirlenen parametrelerin değerlendirme aşamasına geçmiştir. Yapısal modelde gösterge olarak uygulanacak bu faktörlerin değerlendirilmesine ilişkin veriler, saha ölçümü yoluyla toplanır ve bu tür araştırmalarda anket en uygun araçtır. Anket, Likert ölçeğine göre (1-5 skalasında (1: Çok Az Önemli 2: Az Önemli 3: Orta seviyede Önemli 4: Fazla Önemli 5: Çok Fazla Önemli)) oluşturulmuştur. Ölçüm değişkenlerinin yer aldığı anket Google forms aracılığıyla hazırlanmış ve cevaplayıcılardan önem derecesine göre puanlama yapılması istenmiştir. 418 kişiye ulaştırılan anketten eksik ve cevaplanmayanlar çıkarıldıktan sonra 356 kişinin yanıtı model çerçevesinde değerlendirmeye alınmıştır. Demografik bilgileri belirtilen cevaplayıcıların %52.2 si kadın, %47.8'si erkek ve yaş dağılımları Şekil 3'deki gibidir. Ayrıca %55.2 kişi tekstil sektöründe çalışan kişilerden oluşuyorken, %29.9 kişi akademisyen olarak

üniversitelerde görev alan kişilerdir. Diğer grubuna katılan kişiler de kamu ve özelde çalışan müşteri ve tekstil kullanımı sağlayan sürdürülebilirlik tanımına haiz kişileri oluşturmaktadır.



Şekil 3. Demografik bilgiler

Çalışmanın veri toplanma aşamasından sonra verilerin güvenilirliğini teyit etme aşamasına geçilmiş ve geliştirilen anketin iç tutarlılık katsayısını ölçmek için SPSS25.0 yazılımı kullanılmıştır. Gizli değişkenlerin tümünün Cronbach alfa katsayıları 0.7'den büyük olarak çıkmış ve bu da anketin yeterli iç tutarlılığa ve yüksek güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir [42].

Güvenilirliği ardından yapısal eşitlik modelinin ölçüm modeli değerlendirme aşamasına geçiş yapılmış ve gizli değişkenlerin altında yer alacak ölçüm değişkenlerine ölçüm modeli yardımıyla test edilmesi istenmiştir. Ölçüm modeli LISREL 11.0'da SIMPLIS kodları ile ilerletilmiş ve ölçüm değişkenleri arasında bazı tutarsızlıklar olduğu sonucuna varılarak uyum indeksi yüksek sonuçlar elde etmek adına ölçüm değişkenlerinin bazıları çıkarılmış (Ürün/Hizmet kalitesi ölçüm değişkeni) veya gruplamaları değiştirilmiştir. Böylelikle nihai ölçüm modeline ulaşılmıştır (Çizelge 2). Çizelge 2'de verilen kodlamalar LISREL 11.0'da kullanılan kısaltmalardır.

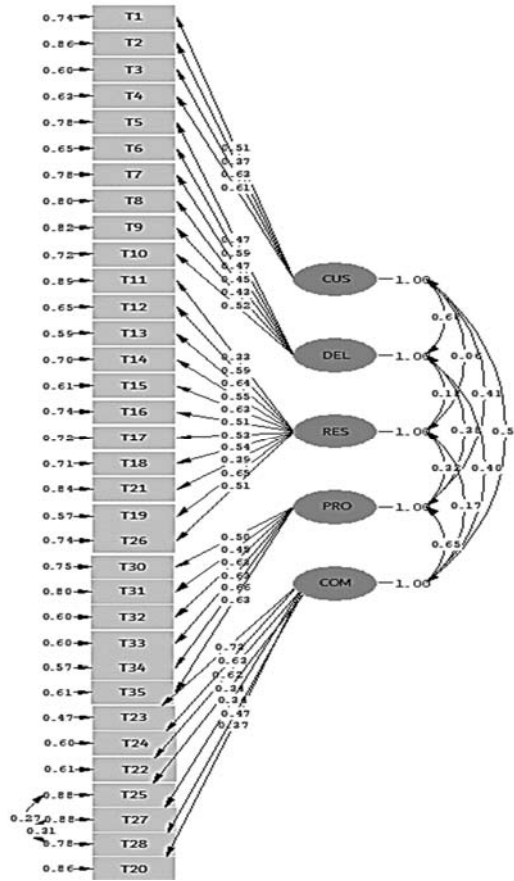
Çizelge 2. Ölçüm değişkenlerine atanan gizli değişkenler

Gizli değişkenler	Kod	Ölçüm değişkenleri
Müşteri Odaklı Yaklaşım (CUS)	T1	Müşteri memnuniyeti
	T2	Doğru anlaşılmiş müşteri istekleri
	T3	Müşteri isteklerinin yerine getirilmesi
	T4	Müşteri sorgu ve cevap alma süresi
Teslimat Odaklı Yaklaşım (DEL)	T5	Termine uygunluk
	T6	Sipariş takibi
	T7	Akış gün süresi
	T8	Gecikme gün süresi
	T9	Acil teslimata duyarlılık
	T10	Dağıtım ağının optimum planlanması
Kaynak Kullanımı (RES)	T11	Kapasite ve kaynak kullanım düzeyi
	T12	Yenilenebilir enerji kullanımı
	T13	Çevre dostu ürün ve malzeme kullanımı
	T14	Az bulunan ürünlerin tüketiminin azaltılması
	T15	Su tüketimi
	T16	Üretim, depolama ve taşımada ortaya çıkan sera gazları emisyonunun azaltılması
	T17	Atık sayılan ürünlerin bir başka amaç için kullanımı
	T18	Atıkları en aza indirmek için yapılan çalışmalar
	T19	Dönüştürülebilir ambalajın kullanılması
	T21	Çevresel Yönetim Sisteminin varlığı
T26	Çevrenin korunması için yapılan yenilik sayısı	
Firma Nitelikleri (COM)	T20	Pazar payı
	T22	Bilgi ve malzeme akış entegrasyonu
	T23	Etkili risk yönetimi
	T24	Yatırım geri kazanımı
	T25	Firmanın AR-GE kapasitesi
	T27	Çalışan motivasyonu ve sürekli gelişimi
	T28	Tedarikçi performans takibi
Ürün Odaklı Yaklaşım (PRO)	T30	İkinci kalite oranının kullanımı
	T31	Fire oranının azaltılması
	T32	Metre başına hata oranının azaltılması
	T33	Metre uyumunun sağlanması
	T34	Tahmin tekniklerinin doğruluğu
	T35	Etkin bir talep planlama sistemi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Ölçüm modelinin tamamlanmasının ardından Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir (Şekil 4). DFA modelinde gizli değişkenler ile ölçüm değişkenleri arasındaki değerler, uygunluk derecelerini ifade etmektedir. 1'e yakınsama durumu ne kadar fazla ise uygunluk derecesinin yüksek olduğu sonucuna varılabilir. Öte yandan DFA modeli ile birlikte LISREL 11.0 programında çıkan sonuçların uyum

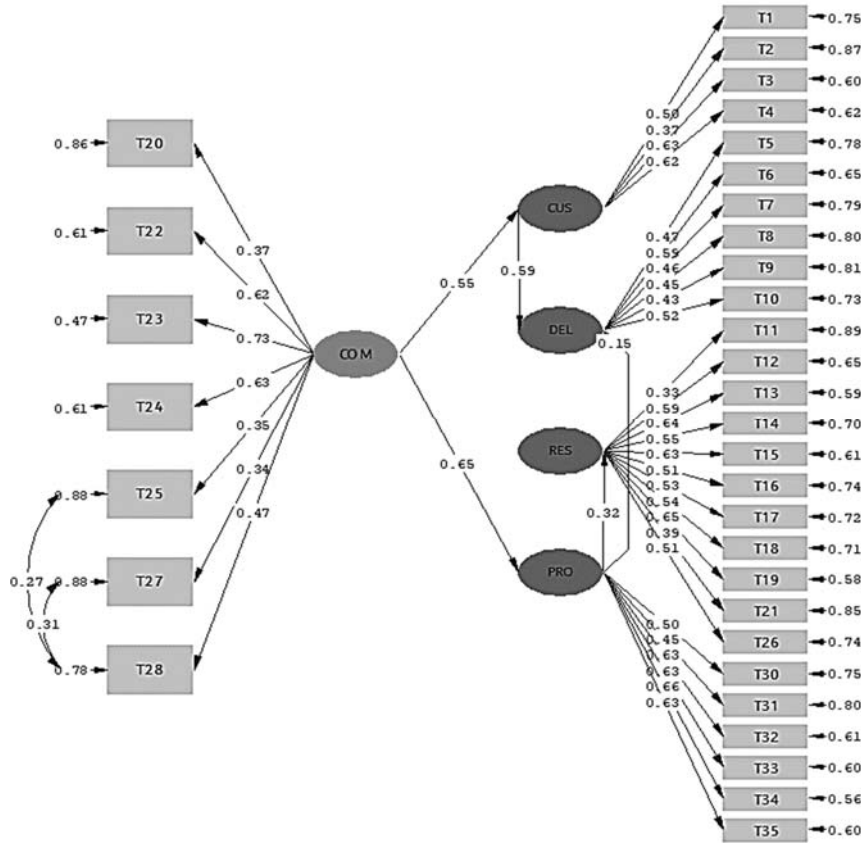
değerleri incelenmiştir. RMSEA değeri 0,064 ile kabul edilebilir uyumla, SRMR değeri 0,081 ile kabul edilebilir değer olarak çıkmıştır. Ki-kare/DF değeri 2.45 ile iyi uyum göstermiştir. Uyum istatistikleri olumlu sonuç verdiği durumlarda yapısal model aşamasına geçilir anlamı çıkarmak doğrudur. RMSEA değeri ve Ki-kare/DF değerleri en önemli göstergeler olarak bilinmekte ve bu çalışmada da kabul edilebilir uyum ve iyi uyum ile çalışmanın bir sonraki aşamaya geçmesinin uygunluğunu onaylamıştır..



Şekil 4. Ölçüm ve gizli değişkenlerin ayrımını ifade eden DFA sonucu

Uyum istatistiğini sağladığı gözlemlenen modelin yapısal model aşamasına geçilerek “Firma Nitelikleri” düzeyinde, kalan dört gizli değişkenin aralarındaki etki düzeyleri Şekil 5’de yer almaktadır. Buna göre firma nitelikleri gizli değişkeni bağımsız değişken rolünü üstlenirken,

müşteri odaklı yaklaşım, ürün odaklı yaklaşım, teslimat odaklı yaklaşım ve kaynak kullanımı gizli değişkenleri bağımlı değişkenler olarak belirlenmiş ve Şekil 5’de RMSEA değerinin 0.064 olarak çıkmasıyla kabul edilebilir uyum doğrulanmıştır.



Şekil 5. Firma nitelikleri ile kalan dört gizli değişkenin aralarındaki etki düzeyleri

Göstergenin yani değişkenlerin (gizli ve ölçüm) güvenilirliği, ilgili yapıları ile göstergeler arasındaki basit korelasyonlar aracılığıyla kurulur ve birbirlerine olan etki derecesini gösterir. Bu nedenle, göstergenin bireysel güvenilirliği, yüklerin (λ) incelenmesiyle değerlendirilir. Değişkenlerin bileşiminde bir göstergenin güvenilir kabul edilmesinin kriteri, faktörde en az 0,5 yüklü olmasıdır [43]. 0.5 değerinden düşük olmasıyla “<0,10 ise düşük etki, 0,30 civarı ise normal düzeyde etki” olarak değerlendirilebilir [44]. Modelde determinasyon katsayıları (R²) 0-1 arasında bir değer alır ve 1’e yakın olması modelin açıklayıcılık gücünü gösterir.

Bu çalışmanın sonuçları öncelikle bağımlı gizli değişkenler ile teker teker ele alınır;

- Müşteri odaklı yaklaşımda λ değerinin en yüksek 0.63 ile T3 (Müşteri isteklerinin yerine getirilmesi) değerinin aldığı gözükmektedir. Müşteri odaklı yaklaşım politikası uygulayacak, sürdürülebilirliğe odaklanacak tekstil firmalarının en yüksek etkiyi müşteri isteklerinin karşılanması ile alabilecekleri gösterilmektedir. Müşteri isteklerinin yerine getirilmesi ölçüm değişkeni, müşteri odaklı yaklaşım gizli değişkenini açıklama oranı (R²) %40 olarak belirlenmiştir.
- Teslimat odaklı yaklaşımda 0.59 etkileme düzeyiyle T6 (Sipariş takibi) ön planda yer almıştır. Teslimat içerisinde yapılacak her türlü faaliyetin takibin yapılması ve sağlıklı kontrollerin sağlanması ile müşteriye ulaşan

ürünler sürdürülebilirlik çalışmalarından bir diğer önemli parametresi olacaktır. Sipariş takibi ölçüm değişkeninin, teslimat odaklı yaklaşım gizli değişkenini açıklama oranı %35 ile en yüksek oranı almıştır.

- Kaynak kullanımı gizli değişkeni içerisinde yer alan T19 (Dönüştürülebilir ambalajın kullanılması) ölçüm değişkeni 0,65 oran ile etki düzeyi en yüksek değişken olarak belirlenmiştir. Tekstil sektöründe ambalajlama faaliyetinin oldukça yüksek bir payı bulunmaktadır. Bu paketlemelerin sürdürülebilirliğinin sağlanması geri dönüştürülebilir ambalajlama ve yeniden kullanılabilir ambalajlama ile mümkün olacaktır. Dönüştürülebilir ambalajın kullanılması ölçüm değişkeni 0,49 oran ile kaynak kullanımı gizli değişkenini açıklamaktadır.
- Ürün odaklı yaklaşım altında yer alan en önemli ve etki düzeyi yüksek değişken 0,66 oran ile T34 (Tahmin tekniklerinin doğruluğu) olmaktadır. Tekstilde kullanılan kumaşın, alt malzemelerin doğru planlanması ve müşterilerin uygun mevsimlerde uygun sayılarda ürünlere ulaşması talep tahminin planlanması ve yürütülmesi ile sağlanabilmektedir. Sürdürülebilirliğin önemli adımlarından olan israfın azaltılması için tahmin tekniklerinin doğruluğu çalışmalarına önem verilmelidir. Öte yandan bu ölçüm değişkeninin ürün odaklı yaklaşım gizli değişkeni içerisindeki yeri ve açıklama oranı 0,44 olmaktadır.

Bağımsız değişken olarak belirtilen firma niteliklerinin etki düzeyleri ve açıklama oranları şu şekildedir;

- Etki düzeyini gösteren $\lambda=0,73$ ile T23 (Etkili risk yönetimi) ölçüm değişkeni firma niteliklerini en yüksek oranda etkileyen ölçüm değişkeni olarak belirlenmiştir. Firma çalışmalarından biri olan risk yönetimi, olası risklerin önceden belirlenmesi ve önleyici faaliyetlerin gerçekleştirilmesi tekstil sektörünü olumlu şekilde etkileyecektir. Etkili risk yönetimi ölçüm değişkeninin firma nitelikleri gizli değişkeni içerisinde yer alma seviyesini gösteren ve onu açıklayan oran ise 0.53 olarak gözükmektedir.

- Gizli değişkenlerin birbirleri arasındaki etki düzeylerinde bağımsız değişken olarak belirlenen firma nitelikleri gizli değişkeni sırasıyla 0.55 oranında müşteri odaklı yaklaşımı, 0.65 oranında ürün odaklı yaklaşımı etkilemektedir. Müşteri odaklı yaklaşım 0,59 oranında teslimat odaklı yaklaşımı etkilemektedir. Ürün odaklı yaklaşım 0.32 oranında kaynak kullanımı yaklaşımını etkilemektedir. Etki düzeyleri 0.30 üzerindeyse normal etki olarak algılanırken; 0.50 üzeri olanlar yüksek etki düzeyi olarak belirtilebilir. 0.15 düşük etki oranıyla ürün odaklı yaklaşım teslimat odaklı yaklaşımı etkilemektedir sonucu da yorumlanabilir.

Ortaya çıkan bulgular doğrultusunda firma nitelikleri içerisinde pazar payı, bilgi ve malzeme akış entegrasyonu, etkili risk yönetimi, yatırım geri kazanımı, firmanın Ar-Ge kapasitesi, çalışan motivasyonu ve sürekli gelişimi, tedarikçi performans takibi değişkenleri yer almaktadır. Mevcut durumda sürdürülebilirliğe ulaşmak için firmaların kurumsal olması yani yazar payında yüksek orana sahip olması, yatırım geri kazanımının yüksek olması, Ar-Ge kapasitesinin varlığı, paydaş performanslarının takibi oldukça önemlidir. Bu etkenler beraberinde birçok çalışmayı da vurgulamaktadır. Ürün odaklı yaklaşımı yüksek oranda etkileyen firma nitelikleri altında yer alan bu parametreler ile mümkün olacaktır. Bilgi ve malzeme akış entegrasyonunun etkili, doğru ve verimli olması talep planlama sistemini ve tekniklerinin doğruluğunun doğrudan etkilemektedir. Planlamanın sağlıklı bilgi akışı ile yürütülmesi de fire oranını azalttığı gibi ikinci kalite oranı kullanımını azaltmaktadır. Benzer şekilde malzeme akış entegrasyonu tedarik zinciri içerisinde yüksek verimde olursa metre başına hata oranını azaltacağı gibi, metre uyumu sağlanabilecektir. Bir diğer etkilenen gizli değişken müşteri odaklı yaklaşım anlayışıdır. Bu bağlamda firma niteliklerinden olan çalışan motivasyonu ve sürekli gelişimi anlayışı müşteriye olan yaklaşımı da kuvvetlendirecektir. Müşterinin talebinin doğru bilgi akışı ile sağlanması, eğitimlerle geliştirilmiş

çalışan başarısı sayesinde müşterinin isteklerinin anlaşılıp yerine getirilmesini etkileyecek ve beraberinde olası riskleri ortadan kaldıracaktır.

Firma niteliklerinin dolaylı yoldan etkilediği teslimat odaklı yaklaşım ile etkili risk yönetimi ve bilgi akışı entegrasyonu sayesinde akış gün süresinin doğruluğu artacak, termine uygunluk sağlanacaktır. Öte yandan buna bağlı olarak gecikme gün süreleri azalarak müşteri talebinin zamanında teslimatı sağlanabilecektir. Teslimat odaklı yaklaşım müşteri odaklı yaklaşımdan doğrudan etkilenmektedir. Bu da demek oluyor ki müşteri talebinin karşılanması için, doğru isteklerin belirlenip yerine getirilmesi için sipariş takibinin yapılarak termine uyum sağlanarak teslimat süresi kısaltılabilecektir.

Kaynak kullanımının çok fazla olduğu tekstil sektöründe firmanın profili olası gelişimleri de beraberinde getirmektedir. Su tüketiminin yüksek seviyelerde olduğu tekstil sektöründe sürdürülebilirlik çalışmaları kaynak tüketimini azaltmaktan veya dönüştürmekten geçmektedir. Etkili malzeme akışı ile kaynak kullanım düzeyi optimum seviyelerde kalacaktır. Firmanın Pazar payının yüksek olması rekabet edebilirliğinin arttıracağı için yükselen bir trend olan ve müşterilerin dikkatini çeken sürdürülebilirlik eylemlerine odaklanmasını kolaylaştıracaktır. Böylelikle yenilenebilir enerji kullanımına olan yatırım, çevre dostu ürünlerin kullanımının sağlanması, sera gazı emisyonları için firma ölçümlerinin yapılması ve iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi, çevre yönetim sisteminin varlığı ile atık çalışmalarını etkilemektedir. Kaynak kullanımı aşamalarında atık oranlarına dikkat edilmesi, atık yönetimi faaliyetlerine önem verilmesi tekstil sektöründe açığa çıkan ve geri dönüşümü yüksek malzemelerin zamanında kontrolünün sağlanması ile sürdürülebilirliğe bir adım daha yaklaşmış olacaktır. Benzer şekilde firma içerisinde Ar-Ge kapasitesinin varlığı, proje geliştirilmesine olanak tanıyarak çevrenin korunması için yapılan yenilik sayısına katkı sağlayabilecektir.

5. SONUÇ

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, ekonomik, sosyal ve çevresel perspektifleri göz önünde bulundurarak tedarik zinciri paydaşlar arasında işbirliğini ve ortak çalışmayı kolaylaştıran bir bilgi akışı yönetimi türüdür [45]. Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin önemi, küresel nüfus artışı, kaynak kısıtlamaları, tüketim faaliyetleri ve artan atık ve kirlilik nedeniyle artmıştır [46,47]. Sürdürülebilirlik artan çevre bilinci ile birçok farklı sektörde dikkate alınmaya başlanmıştır [48]. Tekstil endüstrisi en büyük küresel endüstrilerden biridir ve sürdürülebilirlik kavramı tekstilde önemli bir yere sahiptir.

Çalışmada tedarik zincirinin sürdürülebilirlik niteliklerin etki düzeyi ve ilişkileri Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) ile modellenmiştir. Sürdürülebilir tekstil tedarik zinciri yönetimi gizli değişkenleri belirlenmiştir. Literatürden ve tekstil uzmanlarından alınan görüşler doğrultusunda belirlenen 35 değişken gizli değişkenler altında gruplanmıştır. Doğrulayıcı Faktör Analizi yardımıyla gizli değişkenler ile ölçüm değişkenleri arasındaki ilişkilerin uyumlu olduğu sonucuna varılmış ve yapısal eşitlik modellemesine geçilmiştir. Firma nitelikleri bağımsız değişken, müşteri odaklı yaklaşım, ürün odaklı yaklaşım, teslimat odaklı yaklaşım ve kaynak kullanımı ise bağımlı değişkenler olarak belirlenmiştir. Kurulan modelde bağımlı gizli değişkenler ile bağımsız gizli değişken ayrı ayrı incelenmiş ve en yüksek λ değerleri belirlenmiştir. Bağımlı değişkenlerden müşteri odaklı yaklaşım içerisinde T3 (müşteri isteklerinin yerine getirilmesi), teslimat odaklı yaklaşımda T6 (sipariş takibi), kaynak kullanımı içerisinde T19 (dönüştürülebilir ambalajın kullanılması) ve diğer bir gizli değişken olan ürün odaklı yaklaşım içerisindeki T34 (tahmin tekniklerinin doğruluğu) değişkeni en yüksek etki seviyesine sahiptir. Bağımsız değişken firma niteliklerinde ise T23 (etkili risk yönetimi) en etkili değişken çıkmıştır. Model incelendiğinde firma niteliklerini ürün odaklı yaklaşımın müşteri odaklı yaklaşımdan daha çok etkilediği görülmektedir. Ürün odaklı yaklaşım içindeki değerler

incelendiğinde T30 (ikinci kalite oranının) kullanımı ve T31 (fire oranının azaltılması) değişkenleri ürün odaklı yaklaşımı en az etkileyen niteliklerdir. Bu iki ölçüm değişkeni üründeki kalite ve hata oranının en aza inmesini sağlayacağı için firmaların bu iki değişkene özen göstermesi gerekmektedir. Makine bakımı yapılması, hammadde ve ürün incelemelerinin iyi yapılması, tüm üretim aşamalarında bitmiş ara ürünün kontrolü, metot etütlerinin yapılması, kalite ve sağlamlığa yatırım yapılması, kalite artırıcı ARGE çalışmalarının yapılması daha kaliteli ve hatasız ürünün üretilmesine olanak sağlayacaktır. Bu iki ölçüm değişkeni de ürün odaklı yaklaşımı etkileyerek firmayı sürdürülebilirlik konusunda daha iyi seviyeye taşıyacaktır. Ürün odaklı yaklaşım içerisinde metre başına hata oranının azaltılması, metre uyumunun sağlanması, tahmin tekniklerinin doğruluğu ve etkin bir talep planlama sistemi daha diğer iki göstergeye göre daha yüksek etki düzeyine sahiptir. Bu değişkenleri daha iyi seviye getirebilmek için talep tahmin yöntemlerinin iyileştirilmesi, ERP' nin performansının artırılması ve daha iyi üretim planlama yapılması yönünde çalışmalar yapılabilir. Müşteri odaklı yaklaşım teslimat odaklı yaklaşımı, ürün odaklı yaklaşımın kaynak kullanımı yaklaşımını etkilemesinin yaklaşık 2 katı oranda etkilemektedir. Bu nedenle müşteri odaklı yaklaşım ile teslimat odaklı yaklaşımın arasındaki bağı pozitif yönde güçlendirici çalışmalar yapılmalıdır.

Bu çalışma sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi göstergeleri ile ilgili mevcut bilgilerin geliştirilmesine ve bu göstergelerin sürdürülebilirlik ile arasındaki ilişkisinin incelenmesine katkıda bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan ve bir ikinci nesil veri analiz tekniği olan yapısal eşitlik modellemesi [49], bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin modellenmesini, kompleks problemin sistematik ve derinlemesine incelenmesini sağlamaktadır [50]. Yapısal eşitlik modeli aynı zamanda birçok analizi tek defada yaparak ele alınan modeldeki ilişkilere yönelik yeni düzenlemeler ve tavsiyeler sunması ile çalışmaya zenginlik katmıştır. Dolayısıyla yapısal

eşitlik modellemesinde ilişki düzeylerinin eş zamanlı olarak değerlendirilmesi çalışmanın literatüre olan bir diğer katkısıdır.

Çalışma sonucunda tekstilde sürdürülebilirliği etkileyen ölçüm değerlerine yenileri eklenmiş ve etkisi yüksek olan değişkenler ile etkisi daha düşük olanlar belirlenmiştir. Tekstilde daha sürdürülebilir bir tedarik zinciri yönetimi için daha çok önem verilmesi gereken değişkenler ortaya konulmuştur. Çalışmadaki yeni performans göstergelerinin sonraki çalışmalara ışık olacağı düşünülmektedir. Öte yandan benzer göstergeler ile Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden DEMATEL ile kıyaslama yapılabilir ve farklı sektörler de aynı yöntem uygulanabilir. Ek olarak tekstil firmalarında sürdürülebilir tedarik zincirinin benimsenmesi toplumun ekonomik refahı, sağlık ve güvenlik sorunları ve istihdam istikrarı gibi sosyal konularda da toplumu ileriye taşıyacaktır.

6. KAYNAKLAR

1. Slawinski, N., Bansal, P., 2015. Short On Time: Intertemporal Tensions in Business Sustainability. *Organization Science*, 26(2), 531-549.
2. Shen, L., Olfat, L., Govindan, K., Khodaverdi, R. And Diabat, A., 2013. A Fuzzy Multi Criteria approach for Evaluating Green Supplier's Performance in Green Supply Chain With Linguistic preferences. *Resources, Conservation and Recycling*, 74, 170-179.
3. Veleva, V., Ellenbecker, M., 2001. Indicators of Sustainable Production: Framework and Methodology. *Journal of Cleaner Production*, 9(6), 519-549.
4. Carter, C.R., Rogers, D.S., 2008. A Framework of Sustainable Supply Chain Management: Moving Toward New Theory. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38(5), 360-387.
5. Seuring, S., Müller, M., 2008. From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699-1710.
6. Çetiner, M., Tunca, M.Z., 2022. A Literature Review on Sustainable Fashion Marketing,

- Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, .27(2), 291-315
7. Bruce, M., Daly, L., Towers, N., 2004. Lean or Agile: a Solution for Supply Chain Management in the Textiles and Clothing Industry?. *International Journal of Operations and Production Management*, 24(2), 151-170.
 8. Diabat, A., Kannan, D., Mathiyazhagan, K. 2014. Analysis of Enablers for Implementation Of Sustainable Supply Chain Management-A Textile Case. *Journal of Cleaner Production*, 83, 391-403.
 9. Freise, M., Seuring, S., 2015. Social and Environmental Risk Management in Supply Chains: A Survey in the Clothing Industry. *Logistics Research*, 8, 1-12.
 10. Pagell, M., Shevchenko, A., 2014. Why Research in Sustainable Supply Chain Management Should Have No Future. *Journal of Supply Chain Management*, 50(1), 44-55.
 11. Rahbek Pedersen, E., 2009. The Many and the Few: Rounding Up the Smes That Manage Csr in the Supply Chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(2), 109-116.
 12. Ciliberti, F., Pontrandolfo, P., Scozzi, B., 2011. Small Business Social Responsibility in the Supply Chain: A Literature Review. *Ethics in Small and Medium Sized Enterprises: A Global Commentary*, 291-311.
 13. Zorzini, M., Hendry, L.C., Huq, F.A., Stevenson, M., 2015. Socially Responsible Sourcing: Reviewing the Literature and its Use of Theory. *International Journal of Operations and Production Management*, 35(1), 60-109.
 14. Seuring, S., 2013. A Review of Modeling Approaches for Sustainable Supply Chain Management. *Decision Support Systems*, 54(4), 1513-1520.
 15. Gimenez, C., Tachizawa, E.M., 2012. Extending Sustainability to Suppliers: A Systematic Literature Review. *Supply Chain Management: An International Journal*.
 16. Desore, A., Narula, S.A., 2018. An Overview on Corporate Response Towards Sustainability Issues in Textile Industry. *Environment, Development and Sustainability*, 20, 1439-1459.
 17. Göçmen, E., Derse, O., 2018. Forecasting of Electricity Generation Shares by Fossil Fuels using Artificial Neural Network and Regression Analysis in Turkey. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 2(2), 20-30.
 18. Swee, S.K., Sev, V.N., Amer, Y., 2010. Challenges in Implementing Sustainable Supply Chain Within a Collaborative Manufacturing Network. In 2010 8th International Conference On Supply Chain Management and Information, 1-8.
 19. Govindan, K., Kaliyan, M., Kannan, D., Haq, A.N., 2014. Barriers Analysis for Green Supply Chain Management Implementation in Indian Industries using Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Production Economics*, 147, 555-568.
 20. Raian, S., Ali, S.M., Sarker, M.R., Sankaranarayanan, B., Kabir, G., Paul, S.K., Chakraborty, R.K., 2022. Assessing Sustainability Risks in the Supply Chain of the Textile Industry Under Uncertainty. *Resources, Conservation and Recycling*, 177, 105975.
 21. Köksal, D., Strähle, J., Müller, M., Freise, M. 2017. Social Sustainable Supply Chain Management in the Textile and Apparel Industry-A Literature Review. *Sustainability*, 9(1), 100.
 22. Aytekin, A., Okoth, B.O., Korucuk, S., Karamaşa, Ç., Tirkolae, E.B., 2023. A Neutrosophic Approach to Evaluate the Factors Affecting Performance and Theory of Sustainable Supply Chain Management: Application to Textile Industry. *Management Decision*, 61(2), 506-529.
 23. Shahi, S.K., Shiva, A., Dia, M., 2021. Integrated Sustainable Supply Chain Management and Firm Performance in the Indian Textile Industry. *Qualitative Research in Organizations and Management: an International Journal*, 16(3/4), 614-635.
 24. Warasthe, R., Brandenburg, M., Seuring, S., 2022. Sustainability, Risk and Performance in Textile and Apparel Supply Chains. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 100069.

25. Aljoghaiman, A., Saad, M. Kumar, V., 2020. Investigating the Motivators, Barriers and Enablers Associated With the Implementation of Sustainable Supply Chain in Saudi Manufacturing Industry. 3rd Ieom European International Conference on Industrial Engineering and Operations Management.
26. Sebastianelli, R., Tamimi, N., 2020. Antecedents of Sustainable Supply Chain Initiatives: Empirical Evidence From The S&P 500. *Business and Society Review*, 125(1), 3-22.
27. Govindan, K., Rajeev, A., Padhi, S., Pati, R., 2020. Supply Chain Sustainability and Performance of Firms: A Meta-Analysis of the Literature. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 137, 101923.
28. Yadav, G., Luthra, S., Jakhhar, S., Mangla, S. Rai, D., 2020. A Framework to Overcome Sustainable Supply Chain Challenges Through Solution Measures of Industry 4.0 and Circular Economy: An Automotive Case. *Journal of Cleaner Production*, 254, 1.
29. Geyi, D., Yusuf, Y., Menhat, M., Abubakar, T., Ogbuke, N., 2020. Agile Capabilities As Necessary Conditions for Maximising Sustainable Supply Chain Performance: An Empirical Investigation. *International Journal of Production Economics*, 222, 107501.
30. Muthu, S.S., 2017. Evaluation of Sustainability in Textile Industry. *Sustainability in the Textile Industry*, 9-15.
31. Pattnaik, P., Dangayach, G.S., Bhardwaj, A.K., 2018. A Review on the Sustainability of Textile Industries Wastewater with and Without Treatment Methodologies. *Reviews on Environmental Health*, 33(2), 163-203.
32. Lombardi Netto, A., Salomon, V.A., Ortiz-Barrios, M.A., Florek-Paszowska, A.K., Petrillo, A., De Oliveira, O.J., 2021. Multiple Criteria Assessment of Sustainability Programs in the Textile Industry. *International Transactions in Operational Research*, 28(3), 1550-1572.
33. Oelze, N., 2017. Sustainable Supply Chain Management Implementation-Enablers and Barriers in the Textile Industry. *Sustainability*, 9(8), 1435.
34. Ullman, J.B., Bentler, P.M., 2012. Structural Equation Modeling. *Handbook of Psychology*, Second Edition, 2.
35. Raza, M.H., Abid, M., Yan, T., Naqvi, S.A.A., Akhtar, S., Faisal, M., 2019. Understanding Farmers' Intentions to Adopt Sustainable Crop Residue Management Practices: A Structural Equation Modeling Approach. *Journal of Cleaner Production*, 227.
36. Jöreskog, K.G., Wold, H.O., 1982. *Systems Under Indirect Observation: Causality, Structure, Prediction*, North-Holland. Elsevier Science Publishers., 139.
37. Yılmaz, V., Çelik, H.E., Yağızzer, C., 2009. Çevresel Duyarlılık ve Çevresel Davranışın Ekolojik Ürün Satın Alma Davranışına Etkilerinin Yapısal Eşitlik Modeliyle Araştırılması. *Anadolu University Journal of Social Sciences/Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 1-13.
38. Beran, T.N., Violato, C., 2010. Structural Equation Modeling in Medical Research: A Primer. *Bmc Research Notes*, 3(1), 1-10.
39. Manavvi, S., Rajasekar, E., 2023. Assessing Thermal Comfort in Urban Squares in Humid Subtropical Climate: A Structural Equation Modelling Approach. *Building and Environment*, 229, 109931.
40. Li, J., Yang, L., Lv, R., Kuang, J., Zhou, K., Xu, M., 2023. Mediating Effect of Post-Stroke Depression Between Activities of Daily Living And Health-Related Quality of Life: Meta-Analytic Structural Equation Modeling. *Quality of Life Research*, 32(2), 331-338.
41. Villalva A.J.E., 2023. Sustainability Assessment in the Steel Industry using Partial Least Squares-Structural Equation Model. *World Development Sustainability*, 2.
42. MacCallum, R.C., Widaman, K.F., Zhang, S., Hong, S., 1999. Sample Size in Factor Analysis. *Psychological Methods*, 4(1), 84.
43. Leidner, D.E., Carlsson, S., Elam, J., Corrales, M., 1999. Mexican and Swedish Managers' Perceptions of the Impact of EIS on Organizational Intelligence, Decision Making,

- and Structure. *Decision Sciences*, 30(3), 632-658.
44. Kline, R.B., 2023. *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. New York: The Guilford Press, 494.
 45. Tseng, M.L., Bui, T.D., Lim, M.K., Fujii, M., Mishra, U., 2022. Assessing Data-Driven Sustainable Supply Chain Management Indicators for the Textile Industry Under Industrial Disruption and Ambidexterity. *International Journal of Production Economics*, 245, 108401.
 46. Rebs, T., Brandenburg, M., Seuring, S. 2019. System Dynamics Modeling for Sustainable Supply Chain Management: A Literature Review and Systems Thinking Approach. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1265-1280.
 47. Bui, T.D., Tsai, F.M., Tseng, M.L., Tan, R.R., Yu, K.D.S., Lim, M.K., 2021. Sustainable Supply Chain Management Towards Disruption and Organizational Ambidexterity: A Data Driven Analysis. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 373-410.
 48. Derse, O., 2022. Detection of Sustainable Logistics Sub-Components and, Determination of Impact Levels of Sustainable Logistics Components With Dematel Method. *Toros University Feass Journal of Social Sciences*, 9 (Special Issue), 18-25.
 49. Bagozzi, R.P., Fornell, C., 1982. Theoretical Concepts, Measurement, and Meaning. C. Fornell (Ed.) *A Second Generation of Mulivariate Analysis*, Praeger, 2, 5-23.
 50. Anderson, J.C., Gerbing, D.W., 1988. Structural Equation Modeling in Practice: A Review and Recommended Two-Step Approach. *Psychological Bulletin*, 103, 411-423.

Nanoakışkan Hacimsel Oranının ve Parçacık Boyutunun Gövde Borulu Isı Değiştiricisindeki Isı Transferine Etkisinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi

Mustafa KILIÇ¹ ORCID 0000-0002-8006-149X

Mahir ŞAHİN^{*1} ORCID 0000-0002-9565-9160

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 06.04.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: KILIÇ, M., ŞAHİN, M., (2023). Nanoakışkan Hacimsel Oranının ve Parçacık Boyutunun Gövde Borulu Isı Değiştiricisindeki Isı Transferine Etkisinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 531-543.

Öz

Bu deneysel çalışmanın amacı, farklı parametrelerin gövde borulu ısı değiştiricisinde meydana gelen ısı transferine ve akış özelliklerine etkisini sayısal olarak incelemek ve deneysel olarak doğrulamaktır. Çalışmada kullanılan parametreler; sıcak akışkan Re sayısı, TiO₂/H₂O nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu ve nanoakışkan oluşturulmasında kullanılan nanoparçacık boyutudur. Çalışmanın sayısal sonuçları ANSYS Fluent Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programını kullanarak elde edilmiş ve deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında yapılan deneysel çalışmada; farklı Re sayılarının (Re=1000, 1500, 2000, 2200) gövde borulu ısı değiştiricisi etkinliğine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında; sayısal sonuçlar deney sonuçları ile doğrulanmış ve farklı iki parametrenin (nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu (%0,2, 0,4, 0,8, 1,6) ve nanoparçacık boyutu (D_p=5, 10, 20 40 nm) ısı değiştiricisi etkinliğine olan etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak; sıcak akışkan giriş sıcaklığı T_{sıcak,giriş}=50 °C'de sabit iken Re sayısı Re=1000-2200 aralığında arttırıldığında ısı transfer etkinliğinde %6,15 azalma tespit edilmiştir. Sayısal olarak oluşturulan D_p=10 nm parçacık boyutlu TiO₂/H₂O nanoakışkanı için sabit giriş sıcaklığı (T_{sıcak,giriş}=50 °C), sabit Re sayısında (Re=1000) nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu φ=%0,2-1,6 aralığında arttırıldığında ısı transfer etkinliğinde %8 artış tespit edilmiştir. Nanoparçacık boyutunun etkisini incelemek için aynı şartlarda ve φ=0,2 hacimsel konsantrasyonda parçacık boyutu D_p=5-40 aralığında arttırıldığında ısı transfer etkinliğinde %1 azalma tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak gelecekte, daha yüksek performanslı ısı değiştiricilerin tasarlanabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gövde borulu ısı değiştiricisi, Isı transferi, Isı değiştiricisi etkinliği, Nanoakışkan

Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Nanofluid Volume Ratio and Particle Size on Heat Transfer in a Shell-and-Tube Heat Exchanger

Abstract

The aim of this experimental study is to numerically examine and experimentally verify the effects of different parameters on the heat transfer and flow properties performing in the shell and tube heat

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Mahir ŞAHİN, msahin@atu.edu.tr

exchanger. The parameters used in the study; Re number of the hot fluid, volumetric concentration of the TiO₂/H₂O nanofluid, and nanoparticle size used in the producing of nanofluid. The numerical results of this study were obtained using the ANSYS Fluent Computational Fluid Dynamics program and verified with the experimental results. In the experimental study which is carried out in the first step; the effect of different Re numbers (Re=1000, 1500, 2000, 2200) on the effectiveness of the shell-tube heat exchanger was investigated. In the second step of the study; the numerical results were verified with the experimental results and the effects of two different parameters (the volumetric concentration of the nanofluid (0.2%, 0.4, 0.8, 1.6) and the nanoparticle size (D_p=5, 10, 20 40 nm)) were investigated on the heat exchanger effectiveness. As a result; when hot fluid inlet temperature is constant (T_{h,in}=50 °C), increasing Re number in the range of Re=1000-2200 caused a decrease by 6.15% in the heat transfer effectiveness. When volume concentration ratio of the nanofluid was increased in the range of φ=0.2-1.6%, the heat transfer effectiveness improved by 8.0% for the numerically created TiO₂/H₂O nanofluid with D_p=10 nm particle size for constant temperature (T_{h,in}=50 °C) and constant Re number (Re=1000). In order to examine the effect of nanoparticle size, 1.0% decrease in heat transfer effectiveness was determined when the particle size was increased in the range of D_p=5-40 under the same conditions and at volumetric concentration of φ=0.2%. Using the data obtained as a result of this study, it is evaluated that higher performance heat exchangers can be designed in the future.

Keywords: Shell-and-tube heat exchanger, Heat transfer, Heat exchanger effectiveness, Nanofluid

1. GİRİŞ

Isı değiştiricileri; ısıtma, soğutma, iklimlendirme, gıda, enerji üretim, imalat, otomotiv, havacılık ve uzay uygulamaları gibi birçok alanda sıkça kullanılmaktadırlar. Birçok uygulamaya özel olarak kolay tasarlanabilmeleri, bakımlarının basit olması, yüksek basınç dayanımları ve kolay kurulum yapılabilmesi ile gövde borulu ısı değiştiricileri sanayide en çok kullanılan türlerden biridir. Bir gövde borulu ısı değiştiricisi genellikle dairesel kesitli boru demetleri ve bu demetleri kaplayan silindirik bir gövdeden oluşur. Akışkanlardan biri boruların içinden akarken, diğer akışkan gövde ve borular arasındaki boşluktan paralel, karşıt ve çapraz düzende akar. Tek fazlı veya iki fazlı akış (buharlaştırma-yoğuşma) uygulamaları için kullanılırlar. Bir gövde borulu ısı değiştiricide ısının transfer edilmesi; gövde ve boru geçiş sayısına, girdap oluşturu, akış yönlendirici gibi elemanlara, boruların oluşturduğu düzene, akış ve akışkan tipine bağlıdır. Bu bağlamda; literatürdeki çalışmalarda Mohammadi ve arkadaşları [1] gövde borulu bir ısı değiştiricide gözenekli ara perde kullanımının termal etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Basınç kayıplarına rağmen gözenekli ara perde kullanmak ısı transfer performansını önemli derecede arttırdığını tespit etmişlerdir. Slimene ve arkadaşları [2] farklı

kesitlerdeki bir gövde borulu ısı değiştiricisinin akış dinamiği ve ısı transfer karakteristiğini nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmada, boru akışında kullanılan glikol için Re sayısı 10³-10⁵ aralığında seçilmiştir. Maksimum ısı transfer etkinliği en düşük Re sayısında ve ara perde kullanıldığı durumda ε=0,76 olarak gerçekleşmiştir. Fares ve arkadaşları [3] grafen/su nanoakışkanı kullandıkları dikey gövde borulu ısı değiştiricisinde ısı transfer analizini deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında hacimsel olarak %0,2 grafen/su nanoakışkanı kullanarak ısı transfer katsayısında %29 artış sağlayabilmişlerdir. Özden ve Tari [4] ısı değiştiricisinde sıcaklık konturlarını sayısal olarak incelemişlerdir. Isı transfer katsayısı ve basınç kaybı hesabı için farklı üç türbülans modeli ile akış yönlendirici mesafesi, kesim oranı, akış debisine göre elde edilen veriler Kern ve Bell-Delaware metotlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlara en yakın veriler Bell-Delaware metoduyla elde edilmiştir ve bu verilerle sayısal veriler arasındaki fark %2'nin altında oluşmuştur. Said ve arkadaşları [5] CuO/H₂O nanoakışkan kullanarak gövde borulu bir ısı değiştiricisinde stabilite, termofiziksel özellikler, ısı transfer performansı açısından incelemişlerdir. Deneysel çalışmada nanoakışkan kullanımı ısı transfer performansında artış sağlamıştır ve taşınım ısı transfer katsayısında %11,39; toplam ısı transfer katsayısında %7 artış sağlandığı gösterilmiştir.

Safari ve arkadaşları [6] faz değiştiren malzeme kullanarak eş merkezli ve eksantrik gövde borulu ısı değiştiricide farklı kanat konfigürasyonlarının da etkisini müşterek olarak incelemişlerdir. Deneysel bulgular kanatsız ısı değiştiricide eksantrik yapılı model eş merkezli modele göre faz değiştiren malzeme erime süresini %54 kısaltabildiğini tespit etmişlerdir. Xie ve arkadaşları [7] akış yönlendiricili bir gövde borulu ısı değiştiricisinde sıcaklık farkları ve ısı transfer hızı için elde edilen deneysel bulguları yapay sinir ağları (ANN, Artificial Neural Network) yöntemi ve ampirik bağıntılarla kıyaslamışlardır. Geri yayılım algoritması kullanılan yapay sinir ağı yönteminde elde edilen veriler, deney verilerine göre ampirik bağıntılarla elde edilen verilerden daha hassas sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada yapay sinir ağı kullanımının karmaşık termal sistemlerin tasarımında üstünlük sağlayacağı değerlendirilmiştir. Yu ve arkadaşları [8] türbülanslı akış şartlarında gövde borulu ısı değiştiricisinde uzunlamasına kullanılan girdap üretici yapının etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Girdap üretici geometrinin yüksekliğinin ve hücum açısının artması ısı transfer performansını artırdığını göstermiştir. Bahiraei ve arkadaşları [9] gövde borulu ısı değiştiricisinde ara perde açısını ve nanoparçacık şekil faktörünün etkisini incelemişlerdir. Çalışmada soğuk akışkanın Re sayısını artırdıklarında basınç kaybının, toplam ısı transfer katsayısının, etkinliğin ve transfer birim sayısının (NTU) arttığını tespit etmişlerdir. Arani ve Moradi [10] ısı değiştiricide ara perde ve boru yapılandırılmalarının ısı transfer performans etkilerini incelemişlerdir. Wang ve arkadaşları [11] ısı değiştiricisinde boru sayısının ve boru düzenlerinin ısı transfer etkilerini analiz etmişlerdir. Helisel borulu ısı değiştiricisinde şaşırtmalı boru düzeni en iyi ısı transfer performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Deng ve arkadaşları [12] yatay gövde borulu ısı değiştiricide faz değiştiren malzemenin erime sürelerini boru üzerindeki kanat aralarındaki açılara göre incelemişlerdir. En yüksek ısı transfer performansını ve dolayısıyla erime süresini en az sürede gerçekleşmesini sağlayan tasarım, açının 120 derece olduğu tasarım olduğunu göstermişlerdir. Abbasi ve arkadaşları [13] gövde borulu ısı değiştiricisinde ısı transfer performansını ara perdenin açısı, sayısı ve kalınlığı

parametrelerine göre sayısal olarak çalışmışlardır. Sonuçta 10 adet gözenekli ara perdenin 111,9 derece açıda ve 16,69 mm kalınlıkta en iyi performansı gösterdiğini tespit etmişlerdir. Nallusamy [14] %1 hacimsel orandaki Al_2O_3 /su nanoakışkanı kullanarak yaptığı deneysel çalışmada gövde borulu bir ısı değiştiricisinde karşıt akış ve paralel akış etkilerini laminer aralıkta farklı Re sayılarında incelemiştir. Çalışmasını Re sayısı 600 ve 1200 aralığında saf su ve nanoakışkan için gerçekleştirerek ısı transfer etkisini Nusselt sayısı, LMTD ve toplam ısı transfer katsayısına göre değerlendirmiştir. Nanoakışkan Re sayısı 600'den 1200'e artarken, LMTD, Nusselt sayısı ve toplam ısı transfer katsayısı saf suya paralel şekilde arttığı gösterilmiştir. Alazwari ve Safaei [15] termal performans ve akış karakteristiklerini inceledikleri nümerik çalışmalarında gövde borulu bir ısı değiştiricisinde farklı hacimsel oranlarda hibrit nanoakışkan kullanarak farklı ara perde açıları ve farklı Reynolds sayılarını parametre olarak kullanmışlardır. Ara perde açıları 45°, 90°, 135° ve 180° için Reynolds sayısı 10000'den 20000'e artarken aynı zamanda nanoakışkan hacimsel oranı 0'dan %0,1 oranına artarken ısı transfer performanslarında sırasıyla %99,05 %109,75 %111,03 ve %107,16 artış tespit etmişlerdir. Barzegarian ve arkadaşları [16] deneysel çalışmalarında su bazlı Al_2O_3 -gama nanoakışkanı kullanarak gövde borulu bir ısı değiştiricisinde ısı transfer performansını farklı nanoakışkan hacimsel konsantrasyonlarında ve farklı Re sayılarında incelemişlerdir. Sonuçlara göre Re sayısındaki artış toplam ısı transfer katsayısı ve Nu sayısını önemli derecede artırmıştır. Çalışma sonunda maksimum nanoparçacık hacimsel oranı olan %0,3 için termal performans faktörü %21,5 olarak gerçekleşmiştir. Bahiraei ve arkadaşları [17] böhmite nanokristallerinin farklı parçacık şeklinin etkisinin incelendiği nümerik çalışmalarında gövde borulu ısı değiştiricisinin gövde tarafında soğuk akışkan olarak saf su kullanarak yaptıkları analizde Reynolds sayısı artarken performans endeksinin düşmesine karşın; basınç kaybı, toplam ısı transfer katsayısı, ısı transfer hızı, ısı transfer etkinliği ve transfer birim sayısının arttığı tespit edilmiştir. Re sayısı 5000'den 20000'e artarken toplam ısı transfer katsayısında %2,5 ısı transfer etkinliğinde ise %6,25 artış kaydedilmiştir. Amini ve arkadaşları

[18] ANSYS Fluent yazılımı kullanarak gövde borulu bir ısı değiştiricisinde, boru yüzey pürüzlülüğü, gövde tarafındaki akışkanın Reynolds sayısı ve boru üzerine kanat eklenmesi ve bu kanatların kanat adımı ve kanat yüksekliği etkilerini incelediği nümerik çalışmalarında son olarak kanatların helisel olma durumundaki etkilerini analiz etmişlerdir. Çalışmada Re sayısının artması ısı transferini artırmış, kanatların eklenmesi Nu sayısını artırmış, kanat yüksekliğinin artması ısı transferini artırırken; kanat adımının artması ısı transferini azaltmış fakat basınç kaybını da azaltmış, ayrıca kanatların bölümlü şekil yerine helisel şekilde olması aynı Re, kanat adımı ve pürüzlülük değerleri için Nu sayısını %35 artırmıştır. Ullah ve arkadaşları [19] gövde borulu bir ısı değiştiricisinde γ - Al_2O_3 - H_2O ve TiO_2 - H_2O nanoakışkanları kullanarak türbülanslı akış şartlarında ısı transfer karakteristiklerini nümerik olarak incelemişlerdir. Re sayısı, nanoparçacık hacimsel oranı ve parçacık tipine göre ısı transferi performansı analiz edilmiştir ve ısı transferindeki artış saf suya göre değerlendirilmiştir. Çalışmadaki verilere göre saf su için Re sayısı 4000'den 9000'e artarken taşınım ısı transfer katsayısında yaklaşık %56 ve toplam ısı transfer katsayısında yaklaşık %40 oranında artış elde edilmiştir. Dharmalingam ve arkadaşları [20] laminer akış şartlarında %1 hacim oranında Al_2O_3 - H_2O nanoakışkanı kullanarak paralel akışlı ısı değiştiricisi, karşıt akışlı ısı değiştiricisi ve gövde borulu ısı değiştiricisinde zorlanmış taşınım ısı transferini ve akış karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri verilere göre; nanoakışkan saf suya göre, aynı giriş sıcaklığı ve aynı kütledebide toplam ısı transfer katsayısı ve Nu sayısı daha yüksek çıkmıştır. Re sayısının 600'den 1200'e artması ısı değiştiricisinde sadece saf su için toplam ısı transfer katsayısını %17 oranında; Al_2O_3 - H_2O nanoakışkanı için ise %25 oranında artırmıştır. Ayrıca kütledebideki artış, akış yönünden bağımsız olarak logaritmik ortalama sıcaklık farkının azalmasına sebep olmuştur.

Sajadi ve Kazemi [21] dairesel kesitli boruda TiO_2 - H_2O nanoakışkanının ısı transfer özelliklerini türbülanslı şartlarda farklı hacimsel konsantrasyonlara göre incelemişlerdir. Nanoakışkan hacimsel oranının artması ısı transfer

hızını arttırdığını tespit etmişlerdir. Das ve arkadaşları [22] belirli bir sıcaklık aralığında Al_2O_3 ve CuO nanoparçacıkların saf suda ısı iletkenliklerinin artışı analiz etmişlerdir ve sıcaklık artışının ısı iletkenlik katsayısını artırdığını tespit etmişlerdir. Kristiawan ve arkadaşları [23] TiO_2 - H_2O nanoakışkanının farklı hacimsel oranda sürtünme faktörü ve termal performans davranışını mikro kanal yapılı bir boru içinde incelemişlerdir ve TiO_2 - H_2O nanoakışkanı, termal performansı önemli miktarda artırmıştır. Arani ve Amani [24] çift borulu ısı değiştiricisinde deney düzeneğinde TiO_2 - H_2O nanoakışkanının 10, 20, 30, 40 ve 50 nm parçacık boyutlarının basınç kayıplarına ve termal performans faktörüne olan etkisini karşıt akış düzeninde çalışmışlardır. Parçacık boyutunun artması Nusselt sayısını genel olarak artırmadığını ve en yüksek termal performans faktörünün 20 nm parçacık boyutunda tespit etmişlerdir. Kulkarni ve arkadaşları [25] TiO_2 , CuO ve SiO_2 nanoparçacıklarının temel akışkan olarak saf su ve etilen glikol için taşınım ısı transfer katsayısını ve viskozite özelliklerini çalışmışlardır. Nanoakışkan hacimsel oranının artışı taşınım ısı transfer katsayısını arttırdığını tespit etmişlerdir.

Cruz ve arkadaşları [26] hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiziyle gövde borulu bir ısı değiştiricisinde CuO - H_2O nanoakışkanıyla türbülanslı akışta basınç kaybı ısı transfer katsayısı ve nanoakışkanın hidrodinamik davranışını farklı Re sayıları ($Re=17000-71000$) ve farklı akışkan hacimsel oranları (%0,1-1,0) parametre olarak kullanarak incelemişlerdir. En yüksek ısı transfer performansı artışını en yüksek parçacık hacimsel yoğunluğunda elde etmişlerdir ancak basınç kaybı da artış göstermiştir. Akışkanın hidrodinamik davranışında ise önemli bir fark gözlenmediğini tespit etmişlerdir.

Zolfagharnasab ve arkadaşları [27] atık ısı geri kazanım sistemlerinde kullanılan gövde borulu bir ısı değiştiriciyi gözenekli doldurmalı olarak tasarlamışlardır ve ısı transfer performansını incelemişlerdir. Gözenekli yapı, ısı değiştiricisinde daha homojen bir termal dağılım sağlayarak ısı transfer performansını artırdığını

değerlendirmişlerdir. Geleneksel yapıdaki sistemlere göre gözenekli doldurmalı bu tasarım, gövde borulu ısı değiştiricisinde ısı transfer verimini %60 kadar artırdığını tespit etmişlerdir.

Safari ve arkadaşları [28] ısı değiştiricisinde gövde geometrisi ve boru eksantriklik etkisini faz değiştiren malzeme olan parafin mumun erime davranışına göre parametrik olarak incelemişlerdir. Eksantrik oranının artması belirli bir noktaya kadar parafinin de erime hızını artırmıştır. Eksantrik faktörü 0,5 olan tasarım, eş merkezli tasarıma göre erime süresini %50,4 oranında azaltmıştır. Ayrıca eksantrik faktörün artması taşınım bazlı erime süresini uzatırken, iletim bazlı erime süresini kısalttığı da tespit edilmiştir.

Zhou ve arkadaşları [29] yatay gövde borulu ısı değiştiricilerinde mekanik titreşimleri farklı frekans ve farklı dalga genliklerinde faz değiştiren malzemeye olan ısı transfer etkisini incelemişlerdir. Düşük frekanslarda faz değiştiren malzemenin erime hızının arttığını tespit etmişlerdir.

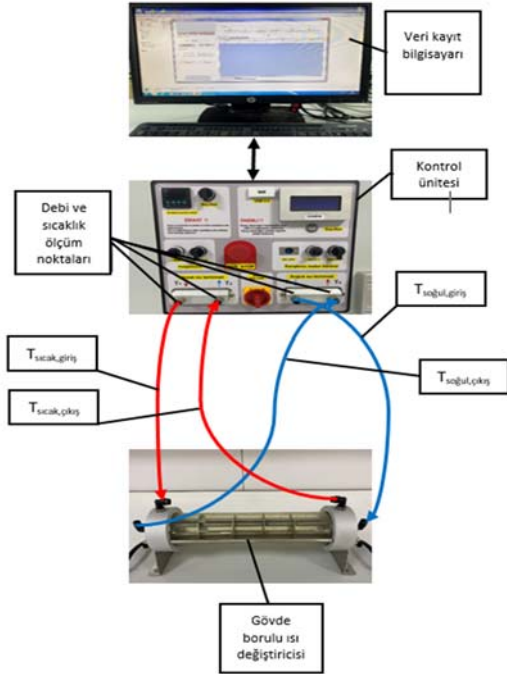
Moya-Rico ve arkadaşları [30] çift borulu ısı değiştiricilerinde termohidrolik performansı 21 farklı gövde ve boru tasarımı için çalışmışlardır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, farklı tiplerdeki ısı değiştiricilerinde ısı transfer ve akış karakteristikleri çoğunlukla pasif yöntemler olan ısı değiştiricisi yüzey alanının artırılması ve akış dinamiğini arttıran, akış yönlendirici, türbülötör, girdap oluşturucu gibi yapıların kullanılmasının etkisi incelenmiş ve akış türü olarak çoğunlukla farklı türbülans modelleriyle çalışılmıştır. Ayrıca geleneksel ısı transferi akışkanları olarak kullanılan etilen glikol, motor yağları, saf su gibi akışkanların yerine yine pasif bir yöntem olan nanoakışkan kullanarak ısı transfer performansının artırıldığı çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalarda da ısı transfer katsayısı artan iş akışkanının ısı transfer ve akış karakteristikleri incelenmiş; stabilite, çökme, topaklanma gibi problemler ortaya konmuş ve bu problemlerin çözümü için çalışmalar yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, ara perdeli bir gövde borulu ısı

değiştiricisinin laminer şartlarda akış ve ısı transfer karakteristiği deneysel olarak incelenmiş, TiO_2/H_2O nanoakışkanının hacimsel oranının ve parçacık boyutunun etkisi sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu çalışma, gelecekte ısı transfer performansının artırılması için yapılan çalışmalara ve ısı değiştiricilerinin geliştirilmesi amacıyla nanoakışkan kullanıldığı çalışmalara faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

2. DENEY DÜZENİĞİNİN KURULUMU

Çalışmada kullanılan gövde borulu ısı değiştiricisi deney seti (Şekil 2) dört ara perdeli, dairesel boru düzeninde, tek gövde ve tek boru geçişlidir. 6 adet dairesel düzende borular 350 mm uzunlukta olup, iç çap ve dış çapı sırasıyla 7 ve 8mm'dir. Borular ve ara perde 304 paslanmaz çelik malzemeden, gövde ise polikarbon malzemeden imal edilmiştir. Gövde iç ve dış çapları sırasıyla 70 ve 80 mm'dir. Gövde içindeki ara perdeler arasındaki adım 70 mm'dir. Isı değiştiricisinin gövde kısmında soğuk saf su ve boru kısmında sıcak saf su karşıt akış formunda düzenlenmiştir. Boru kısmında sıcak akışkanın hızına bağlı Reynolds sayısı laminer aralıkta 1000-2200 arasında belirlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda (80 °C altında) işletilen birçok atık ısı geri kazanım sistemlerinde küçük boyutlarda ısı değiştiricileri kullanılmakta olup, öngörülen ısı transfer miktarını sağlayacak en düşük akışkan kütle debisi seçilmeye çalışılmıştır. Bu sebeple, Reynolds sayısı laminer akış aralığında seçilmiştir. Hem boru tarafında hem de gövde tarafında akışkan sıvı fazda olup, akışkan hızları ısı değiştiricilerinde ($V_{akışkanboru,min}=0,08$ $V_{akışkanboru,maks}=0,18$ ve $V_{akışkan,gövde}=0,08$ m/s) müsaade edilen hız değerinin ($V_{maks}=7$ m/s) altında seçilmiştir. Basınç kaybı, titreşimler, gürültü ve aşınma problemlerinden sakınmak için düşük hızlar ısı değiştiricileri için faydalıdır. Isı değiştiricisinin gövde kısmında soğuk akışkan olarak saf su giriş sıcaklığı $T_{soğuk,giriş}=20$ °C olarak belirlenmiştir. Sabit ısı akısı, deney seti güç kontrol ünitesindeki (Şekil 3.) elektrikli ısıtıcılar tarafından sağlanmıştır. Ölçülen değerler veri kayıt bilgisayarı (Şekil 4) ile kaydedilmiştir.



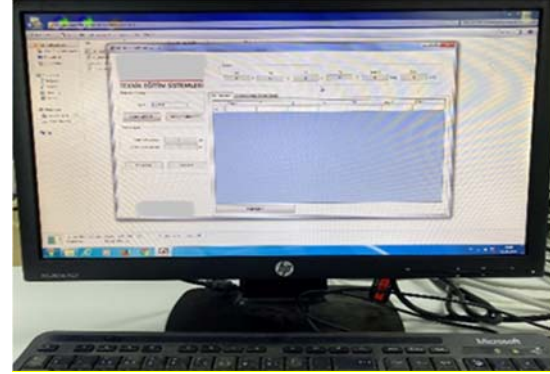
Şekil 1. Deneysel kurulumun şematik gösterimi



Şekil 2. Isı değiştiricisi test düzeneği



Şekil 3. Debi ve güç kontrol ünitesi



Şekil 4. Veri kayıt bilgisayarı

3. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON VE SAYISAL MODEL

Bu çalışmada kullanılan parametreler, akış karakteristiğini gösteren Reynolds sayısı, nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu ve parçacık çapıdır. Sıcak akışkan hızına bağlı olarak hesaplanan Reynolds sayısı aşağıdaki denklemden elde edilmiştir.

Reynolds sayısı:

$$Re = u_0 D_h / \nu \quad (1)$$

Burada; u_0 akışkan giriş hızını ve ν kinematik viskoziteyi ifade etmektedir.

Sıcak ve soğuk taraf ısıl yük değerleri:

$$\dot{Q}_{cold} = \dot{m}_c c_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{hot} = \dot{m}_h c_{ph} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (3)$$

Isı kapasiteleri;

$$C_h = \dot{m}_h c_{ph} \quad \text{ve} \quad C_c = \dot{m}_c c_{pc} \quad (4)$$

Sıcak ve soğuk akışkan kapasiteleri;

$$\dot{Q}_{cold} = C_c (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{hot} = C_h (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (6)$$

Sıcak ve soğuk akışkan arasında oluşan sıcaklık değişimi, logaritmik ortalama sıcaklık farkı ile ifade edilmiştir.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (7)$$

Burada ΔT_1 giriş bölgesindeki sıcak ve soğuk akışkan sıcaklık farkını, ΔT_2 ise çıkış bölgesindeki sıcaklık farkını göstermektedir.

$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out} \quad (8)$$

$$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in} \quad (9)$$

Ortalama logaritmik sıcaklık farkından elde edilen değerlerle ısı transfer hızı;

$$\dot{Q} = UA_s F \Delta T_{lm} \quad (10)$$

Burada; U toplam ısı transfer katsayısı, A_s ısı değiştirici yüzey alanı, F şekil faktörü ve ΔT_{lm} ise logaritmik ortalama sıcaklık farkıdır.

Bir gövde borulu ısı değiştiricisinin performansı ısı transfer etkinliğiyle “ ε ” aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{act}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\text{Gerçek ısı transfer miktarı}}{\text{Maksimum ısı transfer miktarı}} \quad (11)$$

Burada \dot{Q}_{act} sıcak ya da soğuk akışkandan aktarılan gerçek ısı transfer miktarını,

$$\dot{Q}_{max} = C_{min} \Delta T_{max} \quad (12)$$

$$\Delta T_{max} = T_{h,in} - T_{c,in} \quad (13)$$

\dot{Q}_{max} ısı değiştiricide elde edilebilecek en yüksek ısı transfer hızını, C_{min} soğuk ve sıcak akışkan ısı kapasitelerinden küçük olan ısı kapasitesini ve ΔT_{max} ısı değiştiricisinde en yüksek sıcaklık farkını ifade etmektedir.

TiO₂/H₂O nanoakışkanının termofiziksel özelliklerinin hesaplanması;

Nanoakışkan yoğunluğu [31];

$$\rho_{eff} = (1 - \varphi) \cdot \rho_f + \varphi \cdot \rho_p \quad (14)$$

Burada “ φ ” nanoakışkanın hacim oranını, ρ_f ve ρ_p sırası ile temel akışkan yoğunluğunu ve nanoparçacık yoğunluğunu ifade etmektedir.

Nanoakışkan dinamik viskozitesi [32];

$$\mu_{eff} = \mu_f (1 + 2,5\varphi + 4,698\varphi^2) \quad (15)$$

Nanoakışkan özgül ısı [33];

$$c_{p,eff} = \frac{\varphi \cdot (\rho \cdot c_p)_p + (1 - \varphi) \cdot (\rho \cdot c_p)_f}{(\rho_{eff})} \quad (16)$$

Nanoakışkan ısı iletim katsayısı [34];

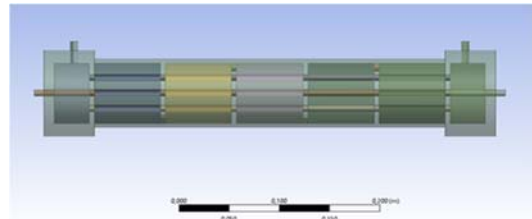
$$k_{eff} = k_f \left[1 + 4.4 (Re_p)^{0.4} (Pr_f)^{0.66} \left(\frac{T_{eff}}{T_{f(fr)}} \right)^{10} \left(\frac{k_p}{k_f} \right)^{0.03} (\varphi)^{0.66} \right] \quad (17)$$

Burada Re_p parçacık Reynolds sayısıdır [34];

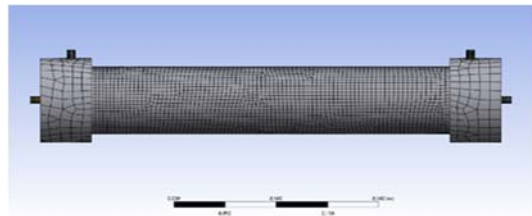
$$Re_p = \frac{2\rho_f k_b T_{eff}}{\pi(\mu_f)^2 d_p} \quad (18)$$

Burada k_b Boltzmann sabitini ve d_p nanoparçacık boyutunu göstermektedir.

ANSYS Fluent Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programı kullanılarak oluşturulan sayısal model geometrisi Şekil 5’te ve geometriye ait ağ yapısı Şekil 6’da sunulmuştur.



Şekil 5. Sayısal model geometrisi



Şekil 6. Modelin ağ yapısı

Sayısal model analizinde kullanılan süreklilik, momentum ve enerji denklemleri aşağıda ifade edilmiştir. Bu çalışmada doğal konveksiyon etkileri ihmal edilmiştir.

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (19)$$

Momentum denklemleri;

r:

$$\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\phi}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \phi} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{u_\phi^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \frac{1}{r\rho} \frac{\partial(r\tau_{rr})}{\partial r} + \frac{1}{r\rho} \frac{\partial\tau_{r\phi}}{\partial \phi} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial\tau_{rz}}{\partial z} \quad (20)$$

φ:

$$\frac{\partial u_\phi}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\phi}{\partial r} + \frac{u_\phi}{r} \frac{\partial u_\phi}{\partial \phi} + u_z \frac{\partial u_\phi}{\partial z} + \frac{u_r u_\phi}{r} = -\frac{1}{r\rho} \frac{\partial P}{\partial \phi} + \frac{1}{r\rho} \frac{\partial\tau_{r\phi}}{\partial r} + \frac{1}{r^2\rho} \frac{\partial(r^2\tau_{r\phi})}{\partial \phi} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial\tau_{z\phi}}{\partial z} \quad (21)$$

z:

$$\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\phi}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \phi} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial\tau_{zz}}{\partial z} + \frac{1}{r\rho} \frac{\partial\tau_{\phi z}}{\partial \phi} + \frac{1}{r\rho} \frac{\partial r\tau_{rz}}{\partial r} \quad (22)$$

Enerji denklemi;

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{e}_{gen} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (23)$$

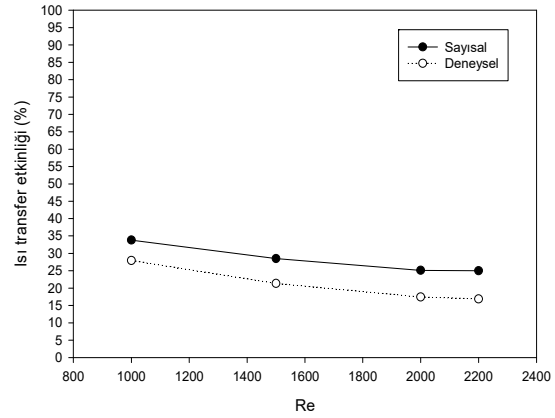
Sayısal modelin sınır şartları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Sayısal model sınır şartları

	U(m/s)	V(m/s)	W(m/s)	T (K)
Sıcak akışkan Giriş	U=U _{giriş}	V=0	W=0	T=T _{sıcakgiriş}
Soğuk akışkan Giriş	U=0	V=V _{giriş}	W=0	T=T _{soğukgiriş}
Sıcak akışkan Çıkış	$\frac{\partial U}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial V}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial W}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial x} = 0$
Soğuk akışkan Çıkış	$\frac{\partial U}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial V}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial W}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$
Gövde borusu	U=0	V=0	W=0	$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$

3.1. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması

Sayısal modelin doğrulanması maksadıyla, deneysel çalışmada farklı Reynolds sayısı ve akışkan giriş sıcaklığına göre elde edilen ısı transfer etkinlik değerleri, sayısal çalışmada oluşturulan modelde karşılaştırılmıştır. Sayısal çalışma sonuçlarının, deneysel çalışma sonuçlarını Re=1000'de %6 hata ile ve Re=2200'de %8 hata ile başarılı bir şekilde modellediği tespit edilmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması Şekil 7'de sunulmuştur.

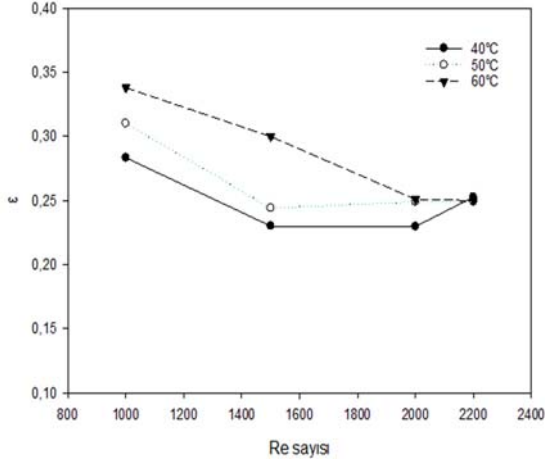


Şekil 7. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

4.1. Re Sayısının Isı Transfer Etkinliğine Etkisi

Akış hızına bağlı olarak, boru tarafından akan sıcak suyun giriş sıcaklığı 40°C'de sabit tutulurken Re sayısı 1000, 1500, 2000 ve 2200 aralığında kademeli olarak artırılmıştır. Re sayısı 1000-2200 aralığında artarken ısı transfer etkinliğinin %3,07 değerinde azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmanın giriş sıcaklığı 50°C'de sabit tutulduğunda %6,15 oranında, giriş sıcaklığı 60°C sabit tutulduğunda ise %8,87 değerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Farklı Re sayılarında ısı değiştirici etkinliğinin farklı giriş sıcaklıkları için değişimi Şekil-8'de sunulmuştur.

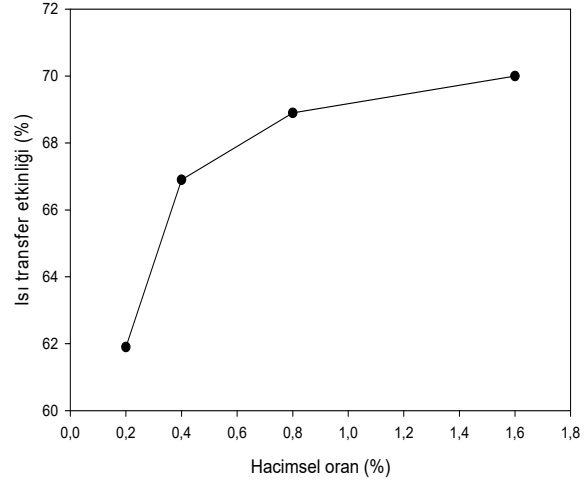


Şekil 8. Farklı Reynolds sayılarında ısı değiştirici etkinliğinin değişimi

Isı değiştirici etkinliğindeki bu azalmanın, sıcak akışkan boru uzunluğunun ve ısı transferi yüzey alanının sınırlı olmasından dolayı, boru iç yüzeyindeki hidrodinamik sınır tabakanın yeterince gelişmemesine ve ısıl sınır tabaka kalınlığının artmasından dolayı, sıcak akışkandan soğuk akışkana ısı transferinin sınırlı kalmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bu sebeple; düşük Re sayılarında ($Re=1000, 1600$) farklı giriş sıcaklıklarında etkinlik değeri arasındaki fark daha belirginken, yüksek Re sayılarında ($Re=2000, 2200$) etkinlik değerlerindeki farkın azaldığı belirlenmiştir. Giriş sıcaklığı $40\text{ }^{\circ}\text{C}-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında arttırıldığında, $Re=1000$ değeri için ısı değiştirici etkinliği arasındaki fark %6 iken, $Re=2200$ değerinde bu fark %1'in altında düştüğü belirlenmiştir.

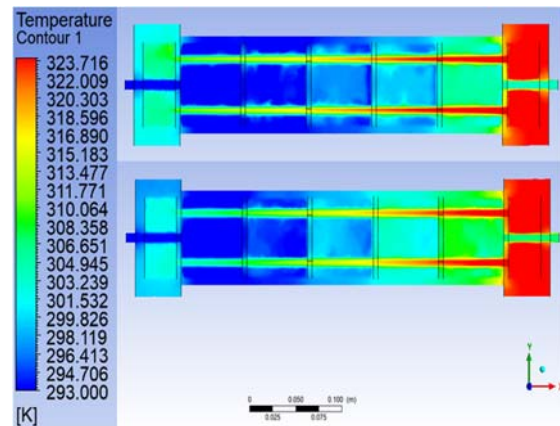
4.2. Nanoakışkan Hacimsel Konsantrasyonun Isı Transfer Etkinliğine Etkisi

Gövde borulu ısı değiştiricisinde gövde tarafında saf su sabit debide ve sabit giriş sıcaklığında ($T_{soğuk,giriş}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$); borularda ise $D_p=10\text{ nm}$ parçacık boyutlu nanoakışkan sabit debide ve sabit giriş sıcaklığında ($T_{sıcak,giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$) modellenmiştir. Isı transfer etkinliğine nanoakışkan hacimsel oranlarının etkisi Şekil 9'da sunulmuştur.

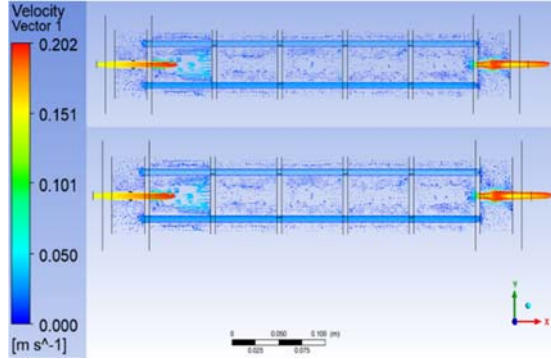


Şekil 9. Farklı nanoakışkan hacimsel oranlarında ısı değiştirici etkinliğinin değişimi

$\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu %0,2-0,4 aralığında arttırıldığında ısı transfer etkinliğinde %5; %0,4-0,8 aralığında arttırıldığında %2; %0,8-1,6 aralığında arttırılması ise ısı transfer etkinliğinde %1 artış sağlamıştır. Hacimsel oran %0,2-1,6 aralığında arttırıldığında ısı transfer etkinliğindeki artış azalarak devam etmiştir ve toplamda %8 artış tespit edilmiştir. $\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ nanoakışkanın hacimsel oran %0,2 ve %1,6 için sıcaklık konturları Şekil 10'da ve hız vektörleri Şekil 11'de sunulmuştur.



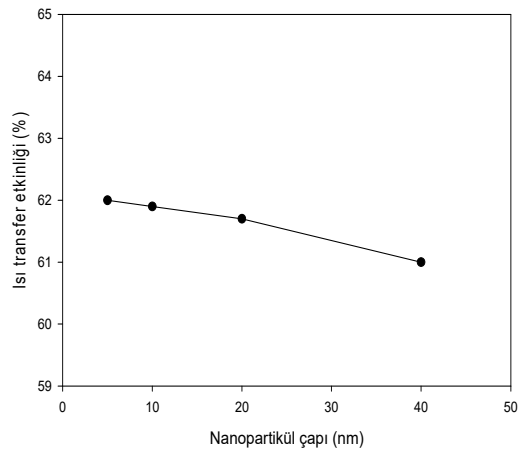
Şekil 10. Nanoakışkan hacimsel oranı %0,2 (üstteki) ve %1,6 için sıcaklık konturları



Şekil 11. Nanoakışkan hacimsel oranı %0,2 (üstteki) ve %1,6 için hız vektörleri

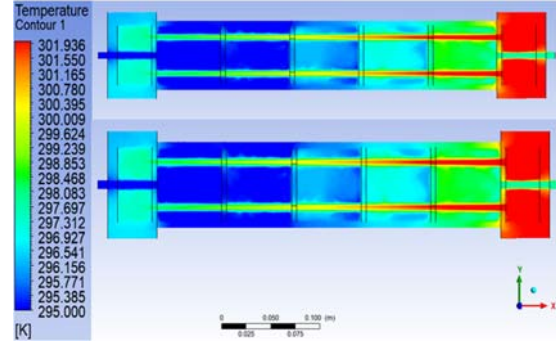
4.3. Nanoparçacık Boyutunun Isı Transfer Etkinliğine Etkisi

Nanoparçacık boyutunun ısı transfer etkinliğine olan etkisini incelemek için nanoakışkan hacimsel oranı %0,2'de sabit iken, nanoparçacık çapı $D_p=5-10$ nm aralığında arttırıldığında ısı transfer etkinliğinde %0,1; $D_p=10-20$ nm aralığında arttırıldığında %0,2; $D_p=20-40$ nm aralığında arttırıldığında ise ısı transfer etkinliğinde %0,7 azalma tespit edilmiştir. Nanoparçacık çapının $D_p=5-40$ nm aralığında arttırılırken ısı transfer etkinliğindeki azalma artarak devam etmiş ve toplamda %1 azalma tespit edilmiştir. Nanoparçacık boyutunun ısı transfer etkinliğine etkisi Şekil 12'de sunulmuştur.

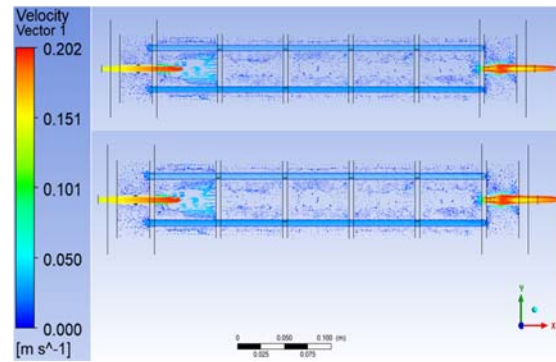


Şekil 12. Farklı nanoparçacık boyutlarında ısı değiştirici etkinliğinin değişimi

Nanoparçacık çapı $D_p=5$ nm ve $D_p=40$ nm için sıcaklık konturları Şekil 13'te ve hız vektörleri Şekil 14'te sunulmuştur.



Şekil 13. Nanoparçacık çapı $D_p=5$ nm (üstteki) ve $D_p=40$ nm için sıcaklık konturları



Şekil 14. Nanoparçacık çapı $D_p=5$ nm (üstteki) ve $D_p=40$ nm için hız vektörleri

5. SONUÇ

Bu çalışmada; gövde borulu bir ısı değiştiricisinde farklı parametrelerin ısı değiştiricisi etkinliğine etkisi sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak;

1. Reynolds sayısının laminar akış şartlarında $Re=1000-2200$ aralığında kademeli olarak arttırıldığında ısı transfer etkinliğinin % 3,07 değerinde azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmanın giriş sıcaklığı 50 °C'de sabit tutulduğunda % 6,15 oranında, giriş sıcaklığı 60 °C sabit tutulduğunda ise %8,87 değerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

2. Akışkan giriş sıcaklığı $T_{sıcak,giriş}=50$ °C’de, 10 nm nanoparçacık boyutlu nanoakışkan sabit Reynolds sayısında ($Re=1000$) nanoakışkan hacimsel oranı $\varphi=0,2-1,6$ aralığında arttırıldığında ısı transfer etkinliğinde %8 artış tespit edilmiştir.
3. $T_{sıcak,giriş}=50$ °C’de giriş sıcaklığındaki nanoakışkan, %0,2 hacimsel oranında ve $Re=1000$ ’de nanoparçacık çapının $D_p=40-5$ nm aralığında azaltılması ısı transfer etkinliğinde %1 artış sağlamıştır.
4. Gelecekte bu alanda yapılacak çalışmalarda, gövde borulu ısı değiştiricilerinde farklı uygulamalara yönelik olarak metal ve metal oksit hibrit nanoparçacıkların farklı geometri ile ısı değiştiricilere uygulanmasına yönelik ısı transfer performansının incelendiği çalışmaların faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

Kısaltmalar

HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
STHE	Gövde borulu ısı değiştiricisi
LMTD	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı
CFD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
EG	Etilen glikol
ANN	Yapay sinir ağları
Pr	Prandtl sayısı
NTU	Transfer birim sayısı
D_p	Parçacık çapı

Alt simgeler

eff	efektif (nanoakışkan)
f	akışkan
p	parçacık
nf	nanoakışkan
fr	donma noktası
lm	logaritmik ortalama

6. KAYNAKLAR

1. Mohammadi, M.H., Abbasi, H.R., Yavarinasab, A., Pourrahmani, H., 2020. Thermal Optimization of Shell and Tube Heat Exchanger Using Porous Baffles. Applied Thermal Engineering, 170, 115005.
2. Slimene, M.B., Poncet, S., Bessrou, J., Kallel, F., 2022. Numerical Investigation of the Flow Dynamics and Heat Transfer in a Rectangular Shell-and-Tube Heat Exchanger. Case Studies in Thermal Engineering, 32, 101873.
3. Fares, M., Mohammad, A.M., Mohammed, A.S., 2020. Heat Transfer Analysis of a Shell and Tube Heat Exchanger Operated with Graphene Nanofluids. Case Studies in Thermal Engineering, 18, 100584.
4. Ozden, E., Tari, I., 2010. Shell Side CFD Analysis of a Small Shell-and-Tube Heat Exchanger. Energy Conversion and Management, 51(5), 1004-1014.
5. Said, Z., Rahman, S.M.A., Assad, M.E.H., Alami, A.H., 2019. Heat Transfer Enhancement and Life Cycle Analysis of a Shell-and-Tube Heat Exchanger using Stable CuO/Water Nanofluid. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 31, 306-317.
6. Safari, V., Abolghasemi, H., Darvishvand, L., Kamkari, B., 2021. Thermal Performance Investigation of Concentric and Eccentric Shell and Tube Heat Exchangers with Different Fin Configurations Containing Phase Change Material. Journal of Energy Storage, 37, 102458.
7. Xie, G.N., Wang, Q.W., Zeng, M., Luo, L.Q., 2007. Heat Transfer Analysis for Shell-and-Tube Heat Exchangers with Experimental Data by Artificial Neural Networks Approach. Applied Thermal Engineering, 27(5-6), 1096-1104.
8. Yu, C., Zhang, H., Zeng, M., Wang, R., Gao, B., 2020. Numerical Study on Turbulent Heat Transfer Performance of a New Compound Parallel Flow Shell and Tube Heat Exchanger with Longitudinal Vortex Generator. Applied Thermal Engineering, 164, 114449.
9. Bahiraei, M., Naseri, M., Monavari, A., 2022. Thermal-Hydraulic Performance of a Nanofluid in a Shell-and-Tube Heat Exchanger Equipped with New Trapezoidal Inclined Baffles: Nanoparticle Shape Effect. Powder Technology, 395, 348-359.
10. Arani, A.A.A., Moradi, R., 2019. Shell and Tube Heat Exchanger Optimization Using

- New Baffle and Tube Configuration. *Applied Thermal Engineering*, 157, 113736.
11. Wang, W., Shuai, Y., Li, B., Li, B., Lee, K.S., 2021. Enhanced Heat Transfer Performance for Multi-Tube Heat Exchangers with Various Tube Arrangements. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 168, 120905.
 12. Deng, S., Nie, C., Wei, G., Ye, W.B., 2019. Improving the Melting Performance of a Horizontal Shell-Tube Latent-Heat Thermal Energy Storage Unit using Local Enhanced Finned Tube. *Energy and Buildings*, 183, 161-173.
 13. Abbasi, H.R., Sedeh, E.S., Pourrahmani, H., Mohammadi, M.H., 2020. Shape Optimization of Segmental Porous Baffles for Enhanced Thermo-Hydraulic Performance of Shell-and-Tube Heat Exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 180, 115835.
 14. Nallusamy, S., 2017. Characterization of Al₂O₃/Water Nanofluid Through Shell and Tube Heat Exchangers over Parallel and Counter Flow. In *Journal of Nano Research*, 45, 155-163.
 15. Alazwari, M.A., Safaei, M.R., 2021. Combination Effect of Baffle Arrangement and Hybrid Nanofluid on Thermal Performance of a Shell and Tube Heat Exchanger Using 3-D Homogeneous Mixture Model. *Mathematics*, 9(8), 881.
 16. Barzegarian, R., Aloueyan, A., Yousefi, T., 2017. Thermal Performance Augmentation Using Water Based Al₂O₃-Gamma Nanofluid in a Horizontal Shell and Tube Heat Exchanger Under Forced Circulation. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 86, 52-59.
 17. Bahiraei, M., Naseri, M., Monavari, A., 2022. Thermal-Hydraulic Performance of a Nanofluid in a Shell-and-Tube Heat Exchanger Equipped with New Trapezoidal Inclined Baffles: Nanoparticle Shape Effect. *Powder Technology*, 395, 348-359.
 18. Amini, R., Amini, M., Jafarinia, A., Kashfi, M., 2018. Numerical Investigation on Effects of Using Segmented and Helical Tube Fins on Thermal Performance and Efficiency of a Shell and Tube Heat Exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 138, 750-760.
 19. Ullah, M.R., Ishtiaq, T.M., Mamun, M.A.H., 2019. Heat Transfer Enhancement in Shell and Tube Heat Exchanger by Using Al₂O₃/Water and TiO₂/Water Nanofluid. In *AIP Conference Proceedings*, 2121(1), 070018.
 20. Dharmalingam, R., Sivagnanaprabhu, K.K., Yogaraja, J., Gunasekaran, S., Mohan, R., 2015. Experimental Investigation of Heat Transfer Characteristics of Nanofluid Using Parallel Flow, Counter Flow and Shell and Tube Heat Exchanger. *Archive of Mechanical Engineering*, 62(4), 509-522.
 21. Sajadi, A.R., Kazemi, M.H., 2011. Investigation of Turbulent Convective Heat Transfer and Pressure Drop of TiO₂/Water Nanofluid in Circular Tube. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38(10), 1474-1478.
 22. Das, S.K., Putra, N., Thiesen, P., Roetzel, W., 2003. Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids. *J. Heat Transfer*, 125(4), 567-574.
 23. Kristiawan, B., Rifa'i, A.I., Enoki, K., Wijayanta, A.T., Miyazaki, T., 2020. Enhancing the Thermal Performance of TiO₂/Water Nanofluids Flowing in a Helical Microfin Tube. *Powder Technology*, 376, 254-262.
 24. Arani, A.A., Amani, J., 2013. Experimental Investigation of Diameter Effect on Heat Transfer Performance and Pressure Drop of TiO₂-Water Nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 44, 520-533.
 25. Kulkarni, D.P., Das, D.K., Vajjha, R.S., 2009. Application of Nanofluids in Heating Buildings and Reducing Pollution. *Applied Energy*, 86(12), 2566-2573.
 26. Cruz, P.A.D., Yamat, E.J.E., Nuqui, J.P.E., Soriano, A.N., 2022. Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis of the Heat Transfer and Fluid Flow of Copper (II) Oxide-Water Nanofluid in a Shell and Tube Heat

- Exchanger. *Digital Chemical Engineering*, 3, 100014.
27. Zolfagharnasab, M.H., Pedram, M.Z., Hoseinzadeh, S., Vafai, K., 2022. Application of Porous-Embedded Shell and Tube Heat Exchangers for the Waste Heat Recovery Systems. *Applied Thermal Engineering*, 211, 118452.
 28. Safari, V., Kamkari, B., Abolghasemi, H., 2022. Investigation of the Effects of Shell Geometry and Tube Eccentricity on Thermal Energy Storage in Shell and Tube Heat Exchangers. *Journal of Energy Storage*, 52, 104978.
 29. Zhou, W., Mohammed, H.I., Chen, S., Luo, M., Wu, Y., 2022. Effects of Mechanical Vibration on the Heat Transfer Performance of Shell-and-Tube Latent Heat Thermal Storage Units During Charging Process. *Applied Thermal Engineering*, 216, 119133.
 30. Moya-Rico, J.D., Molina, A.E., Córcoles, J.I., Almendros-Ibáñez, J.A., 2022. Experimental Characterization of a Double Tube Heat Exchanger with Different Corrugated Tubes and Shells. *International Journal of Thermal Sciences*, 179, 107640.
 31. Ch, P.B., Cho, Y.I., 1998. Experimental Heat Transfer: A Journal of Thermal Energy Transport, Storage, and Conversion Hydrodynamic Generation and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Sumicron Metallic Oxide. *Therm. Energy*, 11(2), 151-70.
 32. Batchelor, G.K., 1977. The Effect of Brownian Motion on the Bulk Stress in a Suspension of Spherical Particles. *Journal of Fluid Mechanics*, 83(1), 97-117.
 33. Wang, B.X., Zhou, L.P., Peng, X.F., 2006. Surface and Size Effects on the Specific Heat Capacity of Nanoparticles. *International Journal of Thermophysics*, 27, 139-151.
 34. Corcione, M., 2011. Empirical Correlating Equations for Predicting the Effective Thermal Conductivity and Dynamic Viscosity of Nanofluids. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 789-793.

Çift-Girişim Tabanlı İyileştirme Algoritmasının Sayısal İyileştirme Fonksiyonları Üzerinde Performans Analizi

Mehtap KÖSE ULUKÖK*¹ ORCID 0000-0003-4335-483X

¹Kıbrıs İlim Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Girne, KKTC

Geliş tarihi: 31.05.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: KÖSE ULUKÖK, M., (2023). Çift-Girişim Tabanlı İyileştirme Algoritmasının Sayısal İyileştirme Fonksiyonları Üzerinde Performans Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 545-552.

Öz

Sayısal iyileştirme, mühendislik alanında en çok uğraşılan problemlerden biridir. Bu çalışmada, son zamanlarda geliştirilen Çift-Girişim Tabanlı İyileştirme Algoritması'nın (Bi-Attempted Based Optimization Algorithm) (ABaOA) arama yakınsama kabiliyeti yirmi iyi bilinen referans fonksiyonu üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Genetik Algoritma (GA) ve Temel İyileştirme Algoritması (Based Optimization Algoritması) (BaOA) ile karşılaştırılmıştır. ABaOA, tüm yinelemeler boyunca iki sabit adım boyutlu çoğaltma parametresi ve iki işlem operatörü kullanan nüfus tabanlı bir Evrimsel Algoritma'dır. Evrimsel algoritmalar arama alanı boyunca global optimuma hızlı bir şekilde yaklaşır ve uygulanabilir bir çözümü garanti ederler. Deneysel sonuçlar ABaOA'nın hem BAOA'ya hem de GA'ya göre global optimuma daha hızlı yaklaştığını açıkça göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar zekası, Evrimsel algoritmalar, İyileştirme problemleri

Performance Analysis of Bi-Attempted Based Optimization Algorithm on Numerical Optimization Functions

Abstract

Numerical optimization is one of the most challenging problem in engineering field. In this study, a recently developed Bi-Attempted Based Optimization Algorithm (ABaOA) is tested on twenty well-known benchmark functions to find its search convergence capability. Obtained results are compared with the Genetic Algorithm (GA) and the Base Optimization Algorithm (BaOA). ABaOA is a population-based Evolutionary Algorithm that uses two fixed step-size displacement parameter and two arithmetic reproduction operators throughout all the iterations. Evolutionary algorithms converge to the global optimum throughout the search space quickly, and they guarantee a feasible solution. The experimental results clearly showed that the ABaOA reaches the global optimum faster than the BaOA and the GA.

Keywords: Computational intelligence, Evolutionary algorithms, Optimization problems

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Mehtap KÖSE ULUKÖK, mehtapulukok@csu.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünya kaynakları sınırlı sayıda bulunmaktadır. Bunları verimli bir şekilde tüketmek gelecek nesillere yapılacak en büyük yatırımlardan biri olabilir. Su, enerji ve ham madde kaynaklarının etkili ve verimli kullanılması uzun vadede doğacak kaynak sıkıntılarını geciktirebilir. Bu nedenle, iyileştirme metotları birçok disiplinde olduğu gibi özellikle çeşitli mühendislik problemleri için de vazgeçilmez bir işlevdir [1-4]. Genetik Algoritmalar (GA) [5], Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) [6], Karınca Kolonileri Optimizasyonu (ACO) [7], Yapay Arı Kolonileri (ABC) [8] sıklıkla kullanılan meta-sezgisel algoritmalarından sadece bir kaçıdır.

Araştırmacılar, herhangi bir probleminin çözümünde arzu edilen iyileştirmeye ulaşmak için sıklıkla iyileştirme algoritmalarını değiştirir veya birden fazla iyileştirme yönteminin avantaj sağlayan yönlerini kullanarak birleştirirler [9-22].

Meta-sezgisel algoritmalar, ayarlanması gereken bazı parametrelere sahiptirler ve uygulanabilir bir çözüme ulaşmak için uzun hesaplama süresi gerektirirler. Bu algoritmalarından türetilen çözümlerin kalitesi, büyük ölçüde parametrelerinin değerlerine bağlıdır [18,23].

Son zamanlarda en uygun çözümlere ulaşmak için geliştirilen yeni birkaç meta-sezgisel yöntem önerilmiştir [24-35]. Eldeki soruna bağlı olarak, tüm algoritmalar bazı iyileştirmeler gerektirmektedir. Bu nedenle, yerel arama yöntemi sezgisel algoritmaların performansını arttırmak için iyi bilinen ve sık kullanılan yöntemlerden biridir [36-41]. Literatürde çok çeşitli meta-sezgisel algoritmalar bulunmaktadır. Bunun sebebi meta-sezgisel algoritmaların parametre ayarlarının zorluğundan ve hesaplama karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. Bu da, daha az sayıda parametre ayarı gerektiren ve parametreleri kolaylıkla ayarlanabilen yeteneklere sahip algoritmaların geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

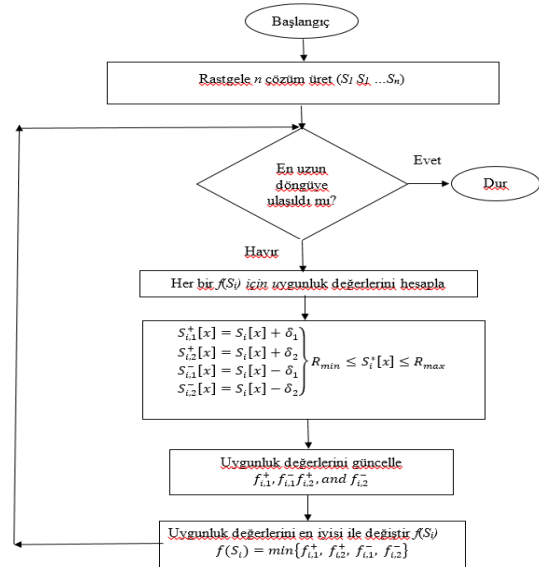
Bu çalışmada Çift-Girişim Tabanlı İyileştirme Algoritması arama yakınsama kabiliyeti açısından yirmi referans fonksiyon kullanılarak test

edilmiştir. Sonuçlar Genetik Algoritma ve Temel iyileştirme Algoritması ile karşılaştırılmıştır..

2. YÖNTEM

2.1. Çift-Girişim Tabanlı İyileştirme Algoritması

Bu çalışmada ABaOA'nın çözüm uzayında yakınsama performansı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Nüfus tabanlı evrimsel bir algoritma olan ABaOA, rastgele üretilen bir nüfusu iki sabit adım boyutlu çoğaltma parametresi ve iki temel aritmetik işlem operatörü kullanan bir Evrimsel Algoritma'dır [42]. Algoritmanın kodlama akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çift-Girişim Tabanlı İyileştirme Algoritması

Meta-sezgisel algoritmalar, arama alanında global bir optimum noktaya ulaşmak için global ve yerel arama tekniklerini kullanırlar. Bu teknikler yüksek hesaplama süresi gerektirir ve programlama karmaşıklığı yaratırlar. ABaOA, iki sabit adım boyutlu çoğaltma parametreleri olan δ_1 ve δ_2 ile çözüm uzayı üzerinde çeşitlendirme ve yoğunlaşma işlevlerini gerçekleştirir. Çoğaltma operatörü olarak kullanılan aritmetik toplama ve çıkarma işlemleri algoritmaya kolay kullanım imkanı ve yanı sıra düşük hesaplama gereksinimi vermektedir.

Çift-Girişim Tabanlı İyileştirme Algoritması yakın zamanda Bulamaç boru hattı ve çoklu rezervuar zamanlama problemlerinin optimum çözümlerini araştırmak için kullanılmış ve cesaret verici sonuçlara ulaşılmıştır [43]. Bu çalışmada, ABaOA'nın arama yakınsama kabiliyetini analiz etmek için yirmi referans fonksiyonu kullanılarak GA ve BaOA ile kıyaslanmıştır. Kullanılan referans fonksiyonların isimleri Çizelge 1'de listelenmiştir.

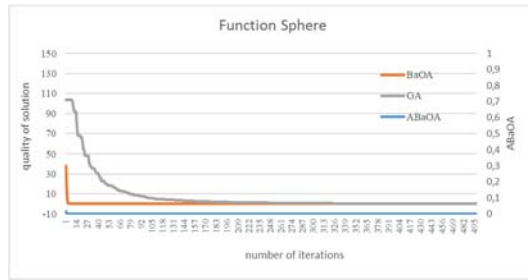
Çizelge 1. Kullanılan referans fonksiyonları

Fonk. no	Fonksiyon ismi	Fonk. no	Fonksiyon ismi
f ₁	Sphere	f ₁₁	Zakharov
f ₂	Sum of Different Powers	f ₁₂	Dixon-Price
f ₃	Rotated Hyper-ellipsoid	f ₁₃	Michalewicz
f ₄	Griewank	f ₁₄	Powell
f ₅	Trid	f ₁₅	Bent Cigar
f ₆	Rastrigin	f ₁₆	Alpine
f ₇	Levy	f ₁₇	Weierstrass

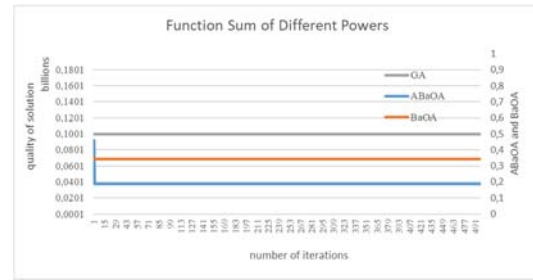
f ₈	Ackley	f ₁₈	Styblinski-Tang
f ₉	Schwefel	f ₁₉	Salomon
f ₁₀	Rosenbrock	f ₂₀	Shaffer F7

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

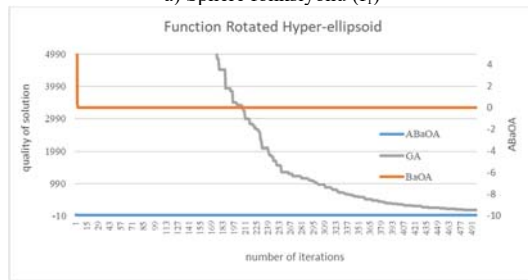
ABaOA, BaOA ve GA yöntemlerinin referans fonksiyonları için buldukları çözümler yaklaşım davranışları açısından bağımsız ve tek çalışmalar olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Kullanılan yirmi referans fonksiyonları literatürde kullanılan test fonksiyonları [42] olarak seçilmiş ve Çizelge 1'de sadece isimleri verilerek listelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda ABaOA, çoğu referans fonksiyonunda BaOA ve GA'ya göre optimum çözüme daha hızlı bir şekilde ulaşmış veya benzer bir yaklaşım göstermiştir. Her referans fonksiyonu için bulunan sonuçlar Şekil 2'de gösterilmektedir.



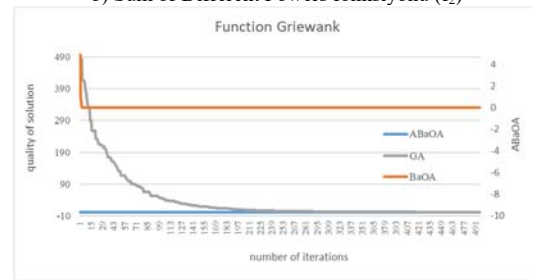
a) Sphere fonksiyonu (f₁)



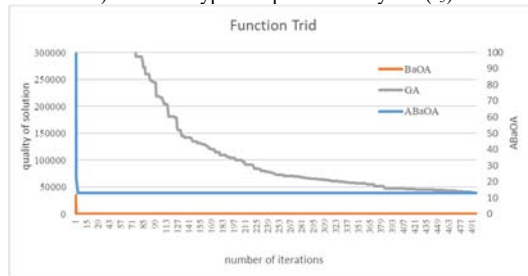
b) Sum of Different Powers fonksiyonu (f₂)



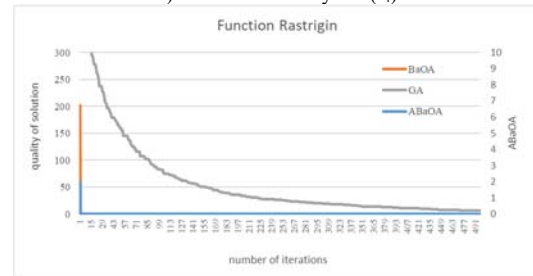
c) Rotated Hyper-ellipsoid fonksiyonu (f₃)



d) Griewank fonksiyonu (f₄)

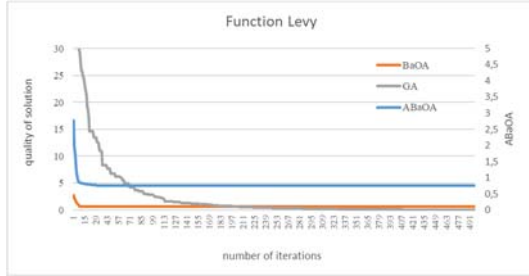


e) Trid fonksiyonu (f₅)

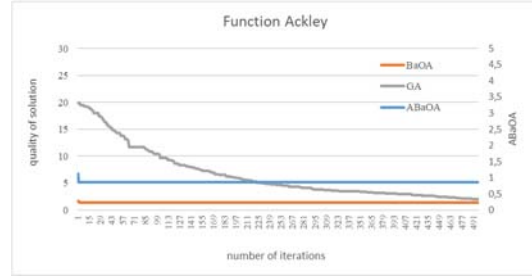


f) Rastrigin fonksiyonu (f₆)

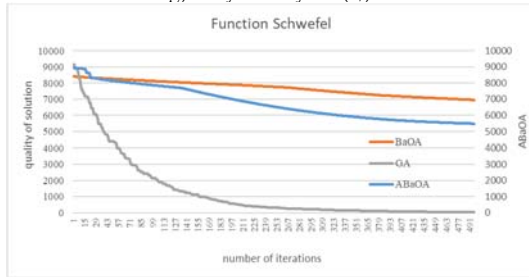
Çift-Girişim Tabanlı İyileştirme Algoritmasının Sayısal İyileştirme Fonksiyonları Üzerinde Performans Analizi



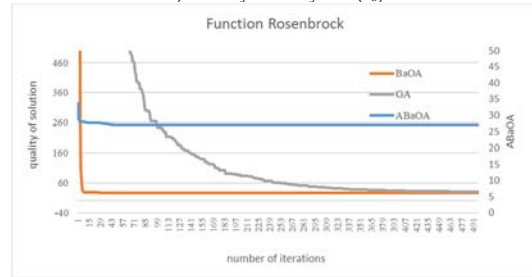
g) Levy fonksiyonu (f_7)



h) Ackley fonksiyonu (f_3)



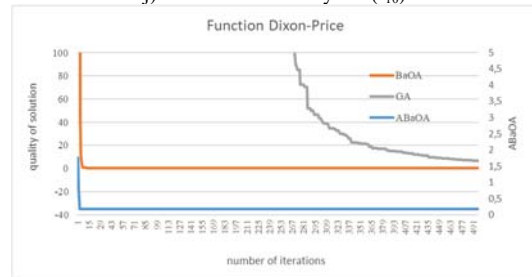
i) Schwefel fonksiyonu (f_9)



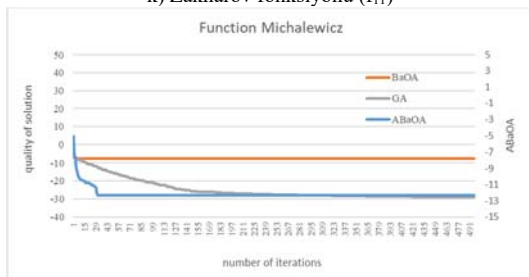
j) Rosenbrock fonksiyonu (f_{10})



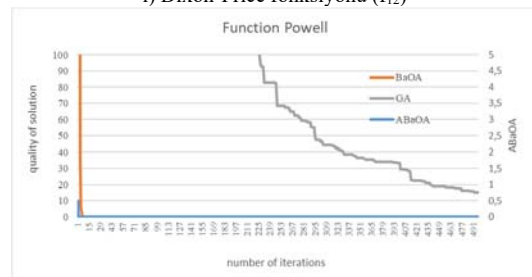
k) Zakharov fonksiyonu (f_{11})



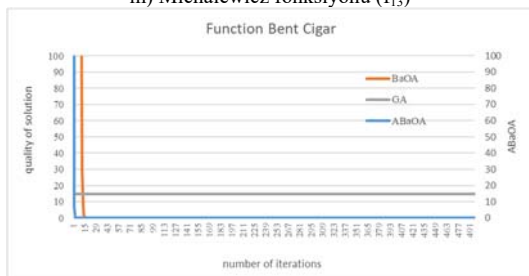
l) Dixon-Price fonksiyonu (f_{12})



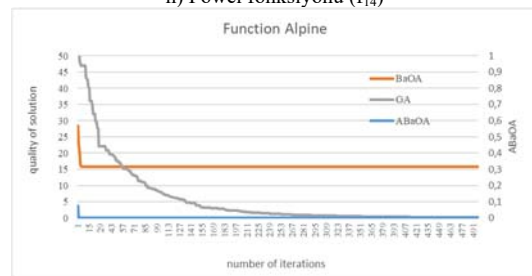
m) Michalewicz fonksiyonu (f_{13})



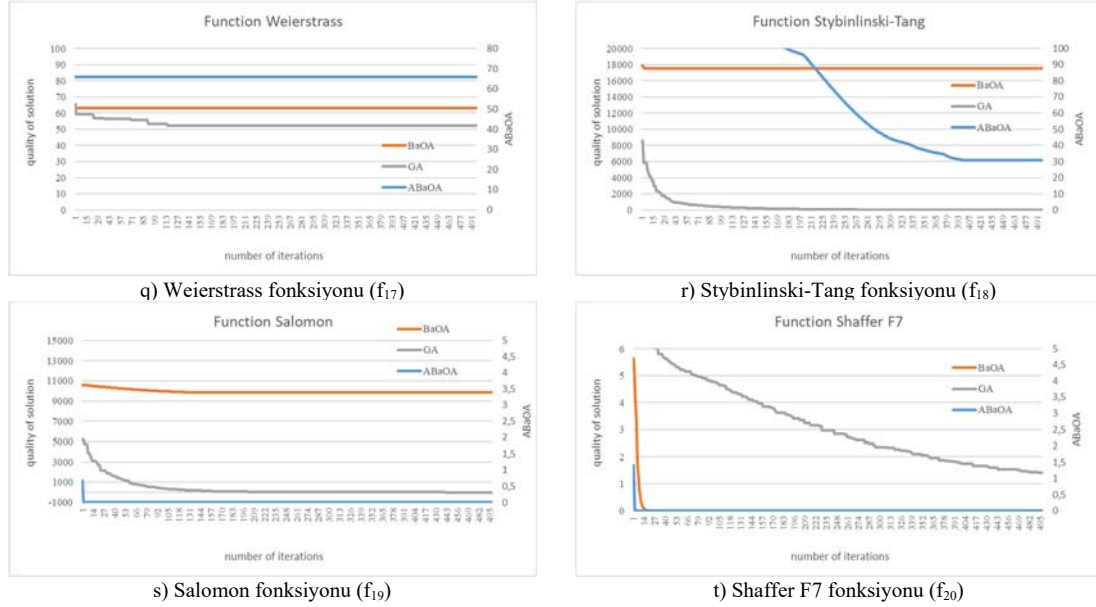
n) Powel fonksiyonu (f_{14})



o) Bent Cigar fonksiyonu (f_{15})



p) Alpine fonksiyonu (f_{16})



Şekil 2. Çift-Girişim tabanlı iyileştirme algoritmasının yakınsama performansları

ABaOA, BaOA ve GA algoritmalarının en iyi performans veren parametreleri denenerek yakınsama performansları incelenmiştir. ABaOA'nın yakınsama performansının sadece dört fonksiyonda GA ve BaOA'dan daha yavaş kaldığı gözlemlenmiştir. Bu fonksiyonlar; Schwefel, Styblinski-Tang, Weierstrass ve Rosenbrock fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonların hedef global optimum değerlerine ulaşmada ABaOA'nın çeşitlendirme performansının GA ve BaOA göre nispeten düşük kaldığı görülmüştür. Diğer on altı referans fonksiyonun hepsinde ABaOA global optimum sonuca BaOA ve GA'dan daha hızlı ulaşmıştır.

Rastrigin fonksiyonunun ABaOA, BaOA, GA, BPSO ve PSO algoritmaları ile literatürdeki çözümü Çizelge 2'de özetlenmiştir [10,42].

Çizelge 2. Rastrigin fonksiyonunun literatürde sunulan performans sonuçları

Algoritma İsmi	Medyan	Standart Sapma
ABaOA [42]	0.00E+00	0.00E+00
BaOA [42]	0.00E+00	2.05E+00
GA [42]	5.895E+01	1.825E+01
BPSO [10]	0,0012	0,3459
PSO [10]	0,9949	0,6633

Medyan ve standart sapma sonuçlarından da anlaşılacağı üzere ABaOA'nın Rastrigin fonksiyonunun çözümünde gösterilen diğer algoritmalarından daha iyi sonuç bulduğu söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ABaOA yirmi referans iyileştirme fonksiyonu üzerinde yakınsama performansı açısından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Nüfus tabanlı evrimsel bir algoritma olan ABaOA, rastgele üretilen bir nüfusu iki sabit adım boyutlu çoğaltma parametresi ve iki temel aritmetik işlem operatörü kullanılarak çözüm uzayında global optimum çözümü aramaktadır.

ABaOA Algoritması yakın zamanda bulamaç boru hattı ve çoklu rezervuar zamanlama problemlerinin optimum çözümleri üzerinde de denenmiş ve cesaret verici sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçlara ek olarak bu çalışmada da arama yakınsama kabiliyeti incelenmiş ve on altı referans fonksiyonunda ABaOA'nın çözüme GA ve BaOA algoritmalarında daha hızlı ulaştığı ve daha yüksek arama yakınsama kabiliyetine sahip olduğu görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

1. Campbell S.D., Sell, D., Jenkins, R.P., Whiting, E.B., Fan, J.A., Werner D.H., 2019. Review of Numerical Optimization Techniques for Meta-Device Design. *Optical Materials Express*, 9(4), 1842-1863.
2. Afshar, M.H., Mariño, M.A., 2007. A Parameter-Free Self-Adapting Boundary Genetic Search for Pipe Network Optimization. *Comp. Optim Appl*, 37(1), 83-102.
3. Melo, V.V.de., Banzhaf, W., 2018. Drone Squadron Optimization: A Novel Self-Adaptive Algorithm for Global Numerical Optimization. *Neural Comp. Appl*, 30(10), 3117-3144.
4. Xiang, Y., Peng, Y., Zhong, Y., Chen, Z., Lu, X., Zhong, X., 2014. A Particle Swarm Inspired Multi-Elitist Artificial Bee Colony Algorithm for Real-Parameter Optimization. *Comp. Optim Appl*, 57, 493-516.
5. Holland, J.H., 1962. Outline for a Logical Theory of Adaptive Systems. *Journal of the ACM (JACM)*, 9(3), 297-314.
6. Deb, K., Padhye, N., 2014. Enhancing Performance of Particle Swarm Optimization Through an Algorithmic Link with Genetic Algorithms, *Comp Optim Appl*, 57(3) 761-794.
7. Dorigo, M., Blum, C., 2005. Ant Colony Optimization Theory: A Survey Theoretical, *Computer Science*, 344, 243-278.
8. Karaboga, D., Akay, B., 2009. A Comparative Study of Artificial Bee Colony Algorithm. *Appl Math Comp.*, 214(1), 108-132.
9. Tuncel, O., Aydın, H., 2023. Optimization of Nd:YAG Laser Welding Factors of Cold Rolled Strenx 700 CR Steel by Taguchi Method. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 38(1), 85-92.
10. Gençal, M.C., 2022. Bipolar Particle Swarm Optimization Algorithm, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 37(3), 617-625.
11. Alhamad, A., Günal, A.Y., 2022. Optimization of Water Distribution System within Tented Camps. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 37(1), 23-31.
12. Madenli, Ö., Deveci, E. Ü., 2021. Alkaline Pre-Treatment Optimization of Agro-Industrial Waste Apple Pulp with Box-Behnken Response Surface Methodology. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 36(3) 769-780.
13. Das, K.N., Mishra, R., 2013. Chemo-Inspired Genetic Algorithm for Function Optimization, *Appl Math Comp*, 220, 394-404.
14. Khuat, T.T., Le, M.H., 2017. A Genetic Algorithm with Multi-Parent Crossover Using Quaternion Representation for Numerical Function Optimization. *Applied Intelligence*, 46(4), 810-826.
15. Pan, X., Jiao, L., Liu, F., 2010. An Improved Multi-Agent Genetic Algorithm for Numerical Optimization, *Natural Computing*, 10(1), 487-506.
16. Zang, W., Ren, L., Lui, X., 2018. A Cloud Model Based DNA Genetic Algorithm for Numerical Optimization Problems, *Future Generation Comp Sys*, 81, 465-477.
17. Alatas, B., 2010. Chaotic Bee Colony Algorithms for Global Numerical Optimization, *Expert Sys Appl.*, 37(8), 5682-5687.
18. Karaboga, D., Gorkemli, B., 2014. A Quick Artificial Bee Colony (qABC) Algorithm and its Performance On Optimization Problems. *Applied Soft Computing*, 23, 227-238.
19. Cao, Y., Lu, Y., Pan, X., Sun, N., 2019. An Improved Global Best Guided Artificial Bee Colony Algorithm for Continuous Optimization Problems. *Cluster Computing*, 22(2), 3011-3019.
20. Badem, H., Basturk, A., Caliskan, A., Yuksel, M.E., 2018. A New Hybrid Optimization Method Combining Artificial Bee Colony and Limited-Memory BFGS Algorithms For Efficient Numerical Optimization. *Applied Soft Computing*, 70, 826-844.
21. Ghanem, W.A., Jantan, A., 2016. Hybridizing Artificial Bee Colony with Monarch Butterfly Optimization for Numerical Optimization Problems, *Neural Comp Appl*, 30(1), 163-181.
22. Pan, X., Lu, Y., Sun, N., Li, S., 2019. A Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm with Modified

- Search Model for Numerical Optimization, Cluster Computing, 22(2), 2581-2588.
23. Ulukök, M.K., 2017. Impact of Genetic Algorithm's Parameters on Solution of Numerical Optimization Benchmark Problems. IEEE 9th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN2017), 16-17 September 2017, Final Üniversitesi, Girne, KKTC.
 24. Khalilpourazari, S., Khalilpourazary, S., 2019. An Efficient Hybrid Algorithm Based on Water Cycle and Moth-Flame Optimization Algorithms for Solving Numerical and Constrained Engineering Optimization Problems. Soft Computing, 23(5), 1699-1722.
 25. Wang, G.G., Deb, S., Cui, Z., 2014. Monarch Butterfly Optimization, Neural Comp Appl, 31(7), 1995-2014.
 26. Wang, G.G., Gandomi, A.H., Zhao, X. Chu, H.C.E., 2016. Hybridizing Harmony Search Algorithm with Cuckoo Search for Global Numerical Optimization, Soft Computing, 20(1), 273-285.
 27. Shehab, M., Khader A.T., Louchedi, M., Alomari, O.A., 2019. Hybridizing Cuckoo Search Algorithm with Bat Algorithm for Global Numerical Optimization. The Journal of Supercomputing, 75(5), 2395-2422.
 28. Zhang, Y., Jin, Z., Chen, Y., 2020. Hybridizing Grey Wolf Optimization with Neural Network Algorithm for Global Numerical Optimization Problems. Neural Comp Appl, 32, 10451-10470.
 29. Abualigah, L.M., Khader, A.T., Hanandeh, E.S., 2019. Modified Krill Herd Algorithm for Global Numerical Optimization Problems. Advances in Nature-Inspired Comp Appl, Springer, 205-221.
 30. Ahandani, M.A., Vakil-Baghmisheh, M.T., Talebi, M., 2014. Hybridizing Local Search Algorithms for Global Optimization. Comp Optim Appl, 59(3), 725-748.
 31. Ye, X., Wang, P., 2019. Impact of Migration Strategies and Individual Stabilization on Multi-Scale Quantum Harmonic Oscillator Algorithm for Global Numerical Optimization Problems. Applied Soft Computing, 85, 105800.
 32. Arora, S., Anand, P., 2019. Chaotic Grasshopper Optimization Algorithm for Global Optimization. Neural Comp Appl, 31(8), 4385-4405.
 33. Cassioli, A., Locatelli, M., Schoen, F., 2010. Dissimilarity Measures for Population-Based Global Optimization Algorithms. Comp Optim Appl, 45(2), 257-281.
 34. Chen, B., Lei, H., Shen, H., Liu, Y., Lu, Y., 2019. A Hybrid Quantum-Based PIO Algorithm for Global Numerical Optimization. Science China Information Sciences, 62(7), 70203.
 35. Civicioglu, P., 2013. Backtracking Search Optimization Algorithm for Numerical Optimization Problems. Applied Maths Comp, 219(15), 8121-8144.
 36. Gaviano, M., Lera, D., 2002. A Complexity Analysis of Local Search Algorithms in Global Optimization. Optim Meth Software, 17(1), 113-127.
 37. Ghetas, M., Chan, H.Y., 2018. Integrating Mutation Scheme Into Monarch Butterfly Algorithm for Global Numerical Optimization. Neural Comp Appl, 32, 2165-2181.
 38. Dai, J. He. H., Song, X., 2014. The Combination Stretching Function Technique with Simulated Annealing Algorithm for Global Optimization. Optim Methods and Software, 29(3), 629-645.
 39. Hedar, A.R., Fukushima, M., 2002. Hybrid Simulated Annealing and Direct Search Method for Nonlinear Unconstrained Global Optimization. Optim Methods and Software, 17(5), 891-912.
 40. Chetty, S., Adewumi, A.O., 2013. Three New Stochastic Local Search Algorithms for Continuous Optimization Problems. Comp Optim Appl, 56(3), 675-721.
 41. Narayanam, G., Ranjan, K., Kumar S., 2019. Comparison of Optimization Strategies for Numerical Optimization, Software Engineering. Springer, Singapore, 709-716.
 42. Ulukök, M.K., 2021. Bi-Attempted Based Optimization Algorithm for Numerical Optimization Problems. European Journal of Science and Technology, Special Issue(26), 466-471.

43. Yıldız, B., Ulukök, M.K., Bashiry, V., 2023.
Bi-Attempted Base Optimization Algorithm on
Optimization of Hydrosystems. Water
Resources Management, 1-13.

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri: Sahadan Jeolojik Veriler, Değerlendirme ve Adana için Etkileri

Ahmet Can AKINCI*¹ ORCID 0000-0002-6608-6607

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ¹ ORCID 0000-0002-4092-7041

¹ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 28.04.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: AKINCI, A.C., ÜNLÜGENÇ, U.C., (2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri: Sahadan Jeolojik Veriler, Değerlendirme ve Adana için Etkileri. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 553-569.

Öz

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ta yerel saat ile 04:17 ile 13:24 de yaklaşık 9 saat ara ile gerçekleşen 2 büyük depremin (Mw 7.8 ve 7.6) ardından sahadan jeolojik veriler derlenmiş ve oluşan deformasyon yapıları incelenmiştir. Depremlerin etkilediği Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman ve Adana yörelerinde meydana gelen yüzey yırtılmaları belirlenmiş, bunların yönelimi, kayma yönü, atımı gibi unsurlar ile heyelan, kaya devrilmesi gibi yüzey hareketleri detayları ile raporlanmıştır. Depremlerin ardından Doğu Anadolu Fayı'nın güney segmentleri boyunca oluşan yüzey yırtılmasının izleri sahada gözlenmiş ve sol yönlü ortalama 3.5 metre sol yönlü atım tespit edilmiştir. Düşey atım 1 metreye kadar ulaşmakla beraber genellikle kuzey blok yükselmiştir. Fay yüzey kırığının yönelimi İslahiye civarında K10°D iken Türkoğlu kuzeydoğusunda K45°-50°D yönelimine geçmektedir. İkinci depremin meydana geldiği Çardak Fayı üzerinde Göksun ilçesi güneydoğu kesimlerinde ortalama 3.5 metre civarında sol yönlü atım belirlenmiştir. Depremlerin ardından Adana çevresinde meydana gelen daha küçük çaplı yüzey deformasyonları incelenmiş ve Adana'nın geçmiş dönem depremselliği ile beraber değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, 6 Şubat 2023, Kahramanmaraş, Hatay, Deformasyon, Yüzey yırtılması

6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes: Geological Data from the Field, Implications and Assessment for Adana City

Abstract

After two major earthquakes (Mw 7.8 and 7.6) that occurred in Kahramanmaraş on Feb. 6, 2023 at 04:17 and 13:24 local time with an interval of approximately 9 hours, the geological data from the field were compiled and the formed surface deformation structures were examined. Surface ruptures that occurred in Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman and Adana regions were defined and their orientation, slip direction, slip and surface movements such as landslides and rockfalls were reported in detail. After the earthquakes, the traces of the surface rupture along the southern segments of the East Anatolian Fault were observed in the field and an average of 3.5 meters sinistral offset was detected. Although the vertical offset reaches up

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Ahmet Can AKINCI, acakinci@cu.edu.tr

to 1.5 meters, the northern block is generally elevated. While the orientation of the fault surface rupture is N10°E in the south (İslahiye), it changes to N45°-50°E in the northeast of Türkoğlu. On the Çardak Fault, where the second earthquake occurred, an average of 3.5 meters of left lateral slip was determined in the southeast parts of the Göksun district. Smaller-scale surface deformations interpreted together with the seismicity of Adana city.

Keywords: Earthquake, 6 February 2023, Kahramanmaraş, Hatay, Deformation, Surface rupture

1. GİRİŞ

Anadolu'nun güney-güneydoğusunda 6 Şubat 2023 tarihinde yerel saat ile 04:17 ile 13:24 de yaklaşık 9 saat ara ile 2 büyük deprem meydana gelmiştir. Suriye'nin kuzey kesimlerini de etkileyen depremlerin yıkıcı etkisi Türkiye Cumhuriyet tarihinin en büyüğü olmuştur. Kandilli Rasathanesi (KRDAE) [1] verilerine göre sabahın ilk saatlerinde meydana gelen depremin merkez üssü Sofalaca mahallesi (Gaziantep) (Şekil 1) olup öğle saatlerinde gerçekleşen ikinci büyük depremin merkez üssü ise Ekinözü (Kahramanmaraş)'tır [2]. AFAD ise depremlerin merkez üslerini sırası ile Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olarak açıklamıştır [3]. 04:17 deki ilk depremin büyüklüğü Kandilli rasathanesi tarafından $M_w=7.7$, odak derinliği ise 5 km olarak belirtilmiştir. İkinci depremin büyüklüğü ise yine Kandilli rasathanesi raporunda $M_w=7.6$, odak derinliği ise yine 5 km olarak belirtilmiştir. Her iki deprem de sığ odaklı depremlerdir [1-3]. Bunun yanında ilk depremin yaklaşık 10-11 dk. sonrasında $M_w=6,6$ büyüklüğünde bir artçı deprem daha meydana gelmiştir. Benzer şekilde ikinci depremin de hemen ardından yaklaşık 6 büyüklüğünde bir artçı şok Saimbeyli civarında meydana gelmiştir [4]. Böylece 24 saatlik bir zaman dilimi içinde doğada nadir görülebilecek yoğunlukta ve büyüklükte bir deprem silsilesi yaşanmıştır. Bu iki büyük deprem başta Kahramanmaraş ve Hatay olmak üzere Adıyaman, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa ve Elazığ'da çok şiddetli hissedilmiş, çok büyük can kaybı ve ağır hasarlara neden olmuştur. Öğle saatlerinde gerçekleşen depremde vatandaşların büyük bir bölümünün ilk depremden dolayı dışarda olmaları can kaybını azaltmıştır ancak Malatya ili oldukça etkilenmiştir. Özellikle ilk depremin üzerinde meydana geldiği Amanos segmentinin geçtiği Karasu Grabeni ve Amik Ovası içinde

kurulmuş ilçe ve mezralarda (Türkoğlu, Şekeroba, Beyoğlu, Nurdağı, İslahiye vb.) yıkımın fazla olduğu dikkat çekmektedir. İlk depremin merkez üssüne bakıldığında en yakın konumda bulunan Ölü Deniz Fayı'nın Narlı segmentine yakın bir bölgede olduğu görülmektedir. Ancak, saha gözlemlerinde bu alanda herhangi bir büyük ölçekli yüzey kırığı görülmemiştir. Öğle saatlerindeki ikinci deprem ise yaklaşık ilk depremin merkez üssünün yaklaşık 100 km. kuzeyindeki başka bir fay olan doğu-batı uzanlı Çardak Fayı üzerindedir.

Depremlerin ardından meydana gelen yüzey deformasyonları, özellikle yüzey kırıkları depremin hemen ardından gözlenmesi ve kayda geçirilmesi gereken unsurlardır. Bunların uzanımı, yanal, düşey atımları ve meydana getirdiği küçük ölçekli yarıklar, sırtlar ve çökmeler daha sonraki çalışmalara yön verecek önemli parametreleri oluşturmaktadırlar. Bunun yanında yörede meydana gelen heyelanlar, yüzey yayılmaları, ikincil yüzey deformasyonları (konjugate faylar-riedel kırıkları vs.), zemin sıvılaşmaları ise kayda geçmesi gereken diğer önemli unsurlardır. Bu çalışmanın amacı depremin hemen ardından sahada meydana gelen bu parametreleri mümkün ölçüde tespit etmek ve diğer deprem verileri (uydu görüntüleri, odak mekanizması çözümleri, yatay yüzey yer değişimi ve stres transfer modelleri) ile beraber değerlendirerek yorumlamaktır.

1.1. 6 Şubat Depremleri

Türkiye yerel saati ile 04.17'de ve 13.24'te merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olan iki büyük deprem ($M_w 7,8$ ve $M_w 7,7$ (AFAD) Çizelge 1) meydana gelmiştir (Şekil 1-3). Depremleri izleyen ilk 1 hafta içinde yaklaşık 3000, ilk bir ay içinde ise 9000 civarında büyüklü küçükü artçı sarsıntılar meydana gelmiştir [1-4]. KRDAE her iki depremin de odak derinliğini

5 km olarak belirtirken AFAD ilk depremin derinliğini (37,236 K - 37,057 D) 8.6 km, ikinci depremin (37,239 K - 38,089 D) ise 7.0 km olarak belirtmiştir [3]. Sismik merkezlerden gelen ilksel/hızlı odak mekanizması çözümleri her iki depremin doğrultu atımlı bir faylanma ile meydana geldiğini göstermektedir. İlk depreme ait şiddet ve maksimum yer ivmesi haritalarına bakıldığında (Şekil 2). Adıyaman-Antakya hattı boyunca şiddetin 10-11'e ulaştığı, maksimum yer ivmesinin ise Fevzipaşa'daki (İsrahiye) bir istasyon tarafından kaydedilen en yüksek değer olan 1.62 g olduğu görülmektedir [5]. Hassa'da maksimum yer hızı ise 2,15 cm/sn² olarak kaydedilmiştir (NEIC, 2023) (Şekil 2,3). 6 Mart 2023 itibarıyla Türkiye'de 46.100'den fazla ve Suriye'de 7.200'den fazla olmak üzere 53.300'den fazla vefat bildirilmiştir. Son yaşanan depremler 526 yılındaki Antakya depreminin bu yana Türkiye'deki en ölümcül, 2010 Haiti depreminin bu yana ise dünya çapında en ölümcül deprem olarak kayıtlara geçmiştir. Öğle saatlerinde Ekinözü'ndeki deprem ise doğu-batı doğrultulu, kuzey eğimli, sol yönlü doğrultu atımlı bir fay boyunca kırılmış olup (Şekil 3) bunu iki ek Mw 6.0 civarı artçı şoku izlemiştir.



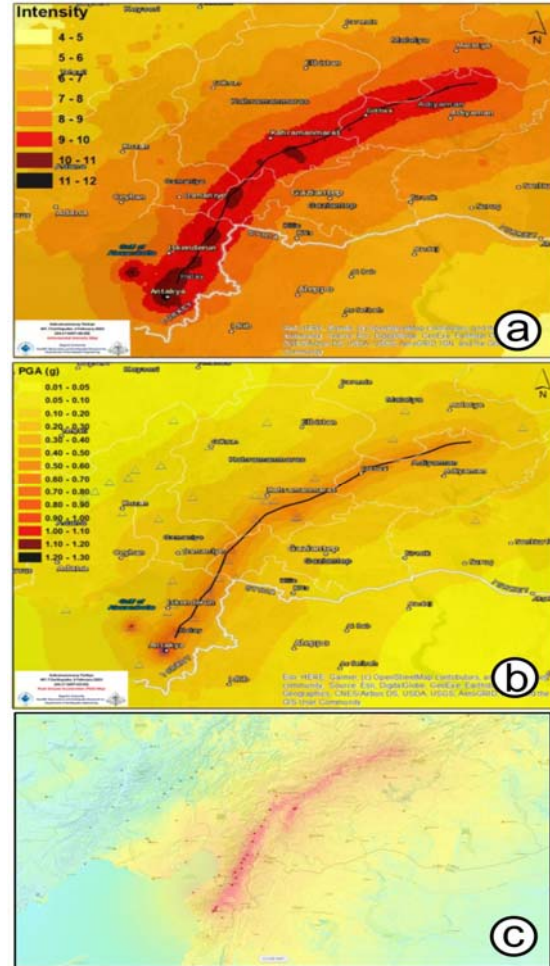
Şekil 1. Farklı kaynaklar tarafından verilen 6 Şubat 2023 04:17 depremi odak noktası konumları [1-3].

1.2. Artçı Şoklar

6 Şubat depremlerinin ardından 8 Mart tarihine kadar bölge ve yakın çevresinde 47 adet Mw>5 (3 adeti Mw>6 olmak üzere) artçı şok meydana gelmiştir (Şekil 4). Bunların önemli bir bölümü de kırılan ana faylardan farklı fay ve segmentlerde meydana gelmiştir. Örneğin deprem bölgesinden

yaklaşık 250 km uzaklıkta, sismik açıdan oldukça sakin görülen Kayseri ve Niğde bölgelerinde oldukça şiddetli artçı şoklar (Mw=5 civarı) meydana gelmiştir.

Depremlerin ardından 1 aylık süreçte bölgede meydana gelen Mw>3 artçı şok sayısı ise yaklaşık 2750'dir [4]. Bu artçı şokların doğal olarak Doğu Anadolu Fayının güney segmentleri ile Sürgü-Çardak fayları üzerinde yoğunlaştığı görülürken, kuzeydoğuda Sivrice-Palu hattında da özellikle bir yoğunlaşma dikkat çekmektedir.

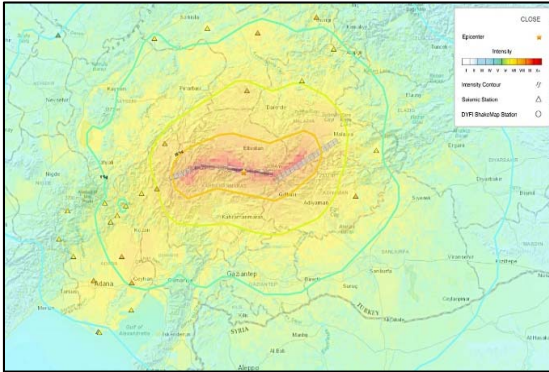


Şekil 2. İlk depreme ait şiddet dağılım ve yer ivmesi haritaları (a, b) [7], USGS tarafından paylaşılan, deprem (04:17) maksimum yer ivmesi haritası (c) [5].

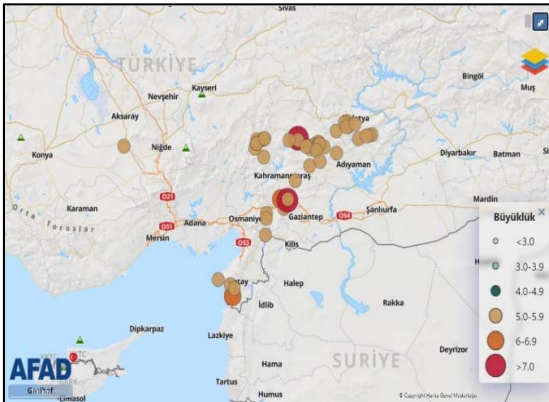
Çizelge 1.6 Şubat depremlerinin farklı sismik merkezler tarafından belirtilen lokasyon ve büyüklük verileri [1-6].

Tarih	KRDAE	AFAD	GFZ	USGS
06.02.23 04:17	37.17/37.08	37.28/37.04	37.23-37.05	37.22/37.02
Mw	7.7	7.8	7.7	7.8
06.02.23 13:24	38.07-37.20	38.08/37.23	38.17/37.23	38.02/37.20
Mw	7.6	7.6	7.6	7.5

Depremlerin sonrasında 3 hafta içinde toplam artçı şok sayısı 10 bini geçmiştir. Bu artçı şoklar neticesinde ana depremlerde orta ve ağır hasar almış çok sayıda bina yıkılmıştır. Bunun yanında 21 Şubat 2023 tarihinde Hatay'ın Defne ilçesi merkezli olmak üzere Mw 6.4 büyüklüğünde bir artçı şok meydana gelmiştir.



Şekil 3. Ekinözü'nde gerçekleşen (Mw 7.6) depreme ait yatay yer ivmesi ve şiddet kontur haritası [5].



Şekil 4. Depremleri izleyen 1 aylık süreçte Mw 5'den büyük artçı şokların dağılımı [4].

1.3. Bölgesel Jeoloji ve Aktif Fay Hatları

6 Şubat depremlerinin gerçekleştiği Kahramanmaraş bölgesi yeryüzündeki başlıca kenet kuşaklarından birinde yer almaktadır. Anadolu, Arap ve Afrika levhaları Kahramanmaraş'ın güneyinde yer alan Türkoğlu ilçesi güney kesimlerinde kenetlenerek bir 3'lü eklem sistemi oluşturmaktadır (Şekil 5). Yılda yaklaşık 15-20 mm kuzey yönlü bir hareket yaparak Afrika levhasından Ölü Deniz Fayı (sol yönlü transform fay) boyunca sıyrılan Arap levhası özellikle Miyosen döneminden bu yana Anadolu levhasını sıkıştırmakta, kuzeyde Avrasya Levhası ile sınırlanan görece daha küçük boyutlu Anadolu levhası ise 2 büyük fay hattı boyunca (kuzeyde sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF), güneyde sol yönlü doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay hattı (DAF)) batıya hareket etmektedir (20-25 mm/yıl) [8-12]. DAF, kuzeyde KAF ile birleştiği Bingöl-Karlıova'dan başlayarak güneyde Amanos dağlarının doğusunda Hatay/Samandağ yöresine kadar uzanmaktadır (Şekil 5). DAF farklı araştırmacılar tarafından değişik sayıda segmentlere ayrılarak incelenmiş olup, genel bakış itibari ile kuzeydoğudan güneybatıya doğru; Karlıova-Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos segmentlerinden oluşmaktadır [9,11,12]. Fayın gidişi güney kesimlerde Amanos yöresinde K10°D iken Türkoğlu kuzeyinde saat yönünde kıvrılarak yaklaşık K35°-40°D ya yönelmektedir. Fayın toplam uzunluğu yaklaşık 560 km olup, fay boyunca 6 mm/yıl'dan 29 mm/yıl'a kadar değişen kayma hızları bildirilmektedir [12].



Şekil 5. Kahramanmaraş-Hatay-Adana ve çevresindeki önemli fay hatları [8-12].

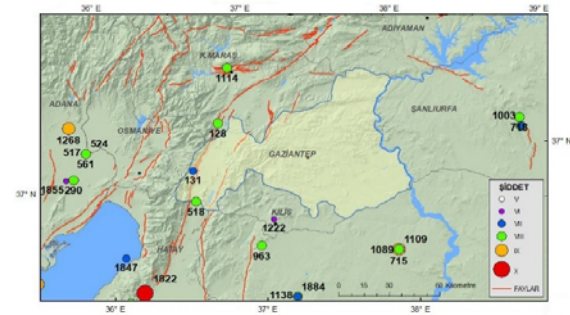
6 Şubat öğle saatlerinde meydana gelen ikinci deprem Adıyaman ilinin Çelikhan ilçesinin batı kesimlerinden Göksun'a kadar uzanan hat boyunca DAF'ın kuzey kolu olarak da nitelenen Sürgü ve Çardak fayları üzerindedir. Bu bölgede yapılan birçok çalışmada Sürgü ve Çardak fayları sol yanal doğrultu atımlı faylar olarak tanımlanmıştır [9-11,13]. Öte yandan, uzaktan algılama yöntemleri, saha gözlemleri ve fay atım verilerine dayanan diğer bir çalışmada ise, Sürgü ve Çardak fay segmentlerinden oluşan Sürgü Fay Zonu'nun sağ yanal doğrultu atımlı kinematik karakter gösterdiği öne sürülmüştür [14-16].

Yaklaşık 85 km uzunluğundaki Çardak fayı, Nurhak ile Göksun arasında yaklaşık doğu-batı uzanımlı içbükey bir geometri temsil eder (Şekil 5). Ericek'in (Göksun) yaklaşık 10 km doğusunda, fay yaklaşık 500 m genişliğindeki bir basamak üzerinden sağa doğru sıçramakta ve fay uçları doğu (35km) ve batı (50km) yönlerinde iki kola ayrılmaktadır [17]. Fay, Göksun ilçesi güney batısında ise bir dirsek yaparak KD-GB gidışe sahip Savrun Fayına bağlanmaktadır (Şekil 5). Duman ve Emre (2013) [9] Çardak Fayı'nın 50 km uzunluğundaki batı kesiminin bölgedeki kıvrımları ve daha eski bindirmeleri kestiğini ve belirgin bir aktif sol yanal fay morfolojisi sergilediğini; Holosen nehir vadilerinin ötedediğini belirtmişlerdir. Son zamanlarda gündeme gelen Savrun Fayı ile ilgili olarak ise Prof. Dr. Cenk Yalıtırak (İTÜ) 18 Nisan 2023 tarihli bir sosyal medya paylaşımında jeoloji haritası ile beraber sunduğu sayısal arazi modellerine göre bölgede Miyosen yaşlı birimlerde ötelenme görülmediğini ve bu fayın 20 my. önce aktivitesinin sonlandığını belirtmiştir.

1.4. Bölgenin Sismik Geçmiş

Avrasya, Afrika ve Arap levhaları arasında yer alan Anadolu sismik açıdan oldukça aktif bir konumda yer almaktadır. Başlıca KAF, DAF ve Ege genişleme sistemi tarafından denetlenen sismik çatı, fayların kıtasal alanlar üzerinde bulunması nedeni ile de şiddetini doğrudan yerleşim bölgelerine yansıtmaktadır. 1900 yılından bugüne Türkiye'de 21 adet $M_w \geq 7$ deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden 11'i Kuzey Anadolu fayı üzerinde veya yakınında gerçekleşmişken; 5 tanesi

Türkiye'nin batısındaki genişleme rejimi içindedir; 3'ü ise Türkiye'nin doğusundadır (DAF). 6 Şubat 2023 depremleri ise (M_w 7.8 ve M_w 7.6) Doğu Anadolu fayının orta ve güney segmentlerinde meydana gelmiştir. Doğu Anadolu fayı üzerinde sismik olarak belgelenen en büyük deprem, sistemin orta kısmında (Malatya civarı) meydana gelen 1905 M_w 6.8 depremiydi. 20. yüzyılın başından bu yana Türkiye'yi en çok hasara uğratan depremler 1939 M_w 7.9 Erzincan ve 1999 M_w 7.6 İzmit (Kocaeli) depremleridir. 20. yüzyılda, Kuzey Anadolu Fayı'nın büyük bir bölümü doğudan batıya doğru bir dizi şeklinde $M_w \geq 7$ depremlerle kırılmıştır. Aynı dönemde, Doğu Anadolu fayı boyunca çok sayıda $M_w \geq 6$ deprem meydana gelmiş olup, aktivitenin çoğu en kuzey kesimde Karlıova-Palu ve Pütürge hattı boyunca gerçekleşmiştir. 2020 yılında M_w 6.7 (Elazığ-Pütürge) deprem serisi ve son olarak 2023 M_w 7.8 ve M_w 7.6 deprem serisi ile başlayan Doğu Anadolu fayının güney kesimindeki aktivite sonucu büyük bir kısmı kırılmıştır. Tarihsel döneme bakıldığında ise (Şekil 6) Doğu Anadolu fayının ilgili segmentleri boyunca MS 128, 131, 518 ve 1822 yıllarında 7 ile 10 şiddetindeki depremler dikkat çekmektedir. Adana bölgesinin depremselliği daha detaylı olarak ileriki bölümlerde ele alınacaktır.

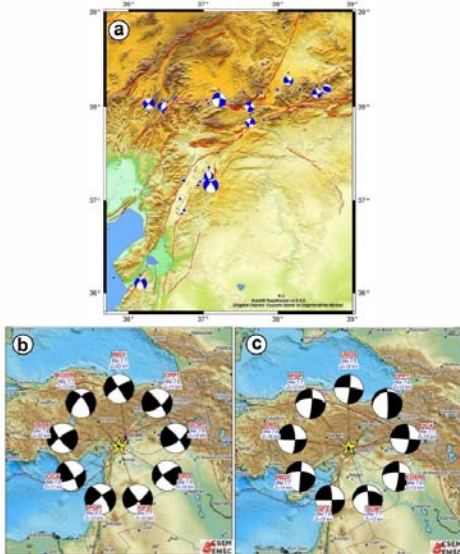


Şekil 6. Kahramanmaraş ve civarının tarihsel deprem kayıtları ([18]'den değiştirilerek).

2. DEPREM PARAMETRELERİ VE ODAK MEKANİZMASI

Bölgedeki sismometrelerce kaydedilen ilk harekete göre belirlenen "best-fitting" deprem-fay mekanizması odak çözümleri önemli deprem parametreleridir (Şekil 7). Odak çözümü sunumunda kullanılan plaj toplarının boyutu, ilk

sismik dalgaya karşılık gelen zaman penceresindeki maksimum etki oranı yoğunluğuna göre ölçeklenir. Optimum doğrultu/gidiş açısı, muhtemel fay düzleminin ve referans fay düzleminin fay-normal vektörlerinin iç çarpımını en aza indiren iki olası düğüm düzleminin biridir. Bunlar, Mw 7.8 ve Mw 7.6 depremleri olmak üzere sırasıyla ortalama-yaklaşık 30° - $50^{\circ}/90^{\circ}$ ve 250° - $270^{\circ}/90^{\circ}$ (doğrultu/eğim) olarak görünmektedir (Şekil 7,8). 06 Şubat 2023’de yerel saat ile 04:17’de gerçekleşen depreminin (Mw=7.7 derinlik=10 km) küresel sismoloji merkezleri tarafından verilen odak mekanizması çözümleri (Şekil 7) incelendiğinde depremin yaklaşık KD gidişli bir fay hattı boyunca yaklaşık K-G yönlü bir sıkışma ile meydana geldiği görülmektedir. Öğle saatlerinde Ekinözü’nde meydana gelen depremin odak çözümleri ise yaklaşık D-B uzanımlı bir kırılma düzlemine işaret ederken, stres KD-GB eksenleri üzerinde görülmektedir.



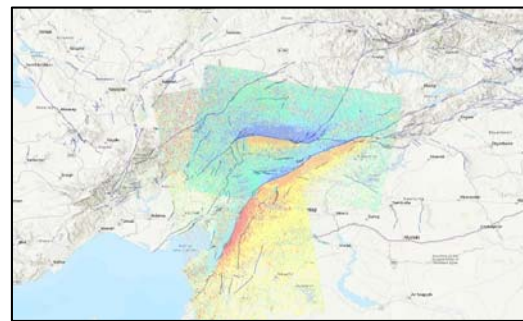
Şekil 7. a) 06 Şubat 2023 depremlerinin Odak Mekanizması Çözümleri [1-2]. b) 4:17 de ve c) 13:24’ de meydana gelen depremlerin farklı sismoloji merkezleri tarafından bildirilen odak mekanizması çözümleri.

6 Şubat 2023 depremlerinin sismik parametrelerine göre (Şekil 7,8 ve [19]) Arap ve Afrika plakaları arasındaki hareketi temsil eden Ölü Deniz Fayında (ÖDF) başlayan kırılmanın kuzeye doğru ilerlerken hızlı bir şekilde Kahramanmaraş Türkoğlu

civarındaki “Eklem Sistemi” ne ulaştığı anlaşılmaktadır. Bu noktada, yırtılma DAF boyunca iki taraflı olarak devam etmiştir. Kuzeydoğudaki kırılma Anadolu ve Arap levhaları arasındaki hareketi, güneybatıya doğru ilerleyen kırılma ise Anadolu ve Afrika levhaları arasındaki hareketi temsil etmektedir. Kahramanmaraş Eklemi yakınında, küçük bir Afrika plakası şeridi ile ayrılan iki fay segmentinde neredeyse aynı anda kırılma meydana geldiği düşünülmektedir.

3. FAY YÜZEY KIRIKLARI VE SAHA GÖZLEMLERİ

Depremin hemen ardından, Japon Uzay Ajansı (JAXA) ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) dahil olmak üzere optik ve radar sensörleri ile donatılmış uydular depremden etkilenen bölgeden veriler sunmuşlardır. Birçok farklı merkezden alınan görüntülerin analizi, Mw 7.8 ve Mw 7.6 depremlerinin deprem yüzey kırılmasının konumlarını ve bu fayların etrafındaki yüzey hareketlerini ortaya koymaktadır (Şekil 8). 28 Ocak 2023 ve 10 Şubat 2023’te alınan ESA Sentinel-1 radar görüntü çiftlerinden türetilen bu yer değiştirme haritası, uyduya doğru ve uydudan uzağa yapılan yüzey yer değiştirmelerinin büyüklüğünü göstermektedir. Depremlerin meydana geldiği her iki fay hattının güneyinde negatif yer değiştirme görülürken kuzey blokta pozitif yer değiştirme dikkat çekmektedir.



Şekil 8. ESA Sentinel-1 radar görüntü çiftlerinden türetilen yer değiştirme haritası [20], uyduya doğru ve uydudan uzağa yapılan yüzey yer değiştirmelerinin büyüklüğünü göstermektedir. Pozitif (mavi alanlar) ve negatif (kırmızı alanlar) yer değiştirmeler arasındaki belirgin doğrusal kırılma faylarının konumunu da belirlemiştir.

Farklı kaynaklarca paylaşılan (uydu [21] ve saha görüntüleri) fay yüzey kırıkları ve bölgede yaşayan halktan gelen bildirimler de göz önüne alınarak deprem sahasında arazi çalışmaları planlanmıştır. Bu kapsamda Kahramanmaraş il sınırlarında yer alan başlıca Beyoğlu, Türkoğlu, Çiğli, Şekeroba, Göksun, Çardak yörelerinde, Gaziantep'e bağlı Nurdağı, İslahiye, İdilli, Sakçagöz, Atalar ve Yamaçoba yörelerinde, Adıyaman'a bağlı Pazarcık, Gölbaşı, Balkar ve Harmanlı yöreleri ile Adana il sınırlarında bulunan Yumurtalık, Haylazlı, Aladağ, Eğner, Çiğşar yörelerinde saha gözlemleri yapılmıştır. Bunların büyük bir bölümü depremin gerçekleştiği ana faylar üzerinde yer alırken bazı yerler dolaylı yoldan etkilenmiş ve çeşitli (heyelan, yüzey yayılması, kaya düşmesi vs.) yüzey deformasyonlarına maruz kalmış alanlardır. Elde edilen saha verileri DAF ve Çardak Fayı (ÇF) üzerinde meydana gelenler olarak iki başlık altında incelenecektir.

3.1. Doğu Anadolu Fayı (DAF)

6 Şubat depremlerinin ilk şok merkez üssü verileri ve diğer sismik göstergeler [19] ilk kırılmanın büyük olasılıkla Ölü Deniz Fayının (ÖDF) en kuzey segmentlerinde başladığını ve çok hızlı bir şekilde ("super-shear" yırtılması) DAF'ı tetikleyerek kuzey ve güney kollarda kırılmanın devam ettiğini göstermektedir. ÖDF üzerinde yapılan saha gözlemleri bölgede önemli bir yüzey kırığı oluşturmadığı yönündedir. Ancak bu hat boyunca özellikle Sakçagöz yerleşim alanı oldukça etkilenmiştir. Atalar – Yamaçoba köyüne devam eden karayolu boyunca çok sayıda kaya devrilmeleri gözlenirken yerleşim alanı içinde özellikle stabilize yolları etkileyen yaklaşık K30°-40° D uzanımında yüzey kırık-çatlak sistemleri gözlenmiştir. Daha doğuda Atalar-Yamaçoba civarında ise karayolu asfaltını etkilemiş görülen birkaç ince fay yarığı haricinde yüzey deformasyonu gözlenmemiştir. DAF boyunca meydana gelen yüzey kırılmaları bu çalışma kapsamında Gaziantep'in İslahiye ilçesinin güney kesimlerinden Adıyaman ilinin Gölbaşı ilçesinin kuzey doğusundaki Harmanlı yöresine kadar izlenmiştir. Meydana gelen kırılma ve ötelenme parametreleri ile farklı yüzey deformasyonlarının detayları ileriki bölümde açıklanacaktır.

3.1.1. DAF Yüzey Kırığı Parametreleri

Depremlerin ardından sahada meydana gelen yüzey yırtılmaları bazı yerlerde belirgin olarak izlenirken bazı yerlerde sönümlenmektedir. Haritada bunlar uydu görüntüleri [21] ile de denetirilerek birleştirilmiştir. DAF boyunca deprem yüzey kırığının en belirgin izlenebildiği yerlerden birisi Kahramanmaraş'ın 15 km güneydoğusunda yer alan Çiğli köyü civarıdır. Bu yörede fay kırığı yaklaşık K45°-50°D uzanımında olup, batıda Öksüzlü köyünün güney kesimlerinden ve Kocalar, Tevekkeli ve Kapıçam köylerinin hemen güneyinden geçerek Çiğli kasabasına doğru devam etmektedir (Şekil 9 a,b,c). Bu bölgede fay kırığı aynı zamanda Kahramanmaraş-Cumhuriyet karayolunu da keserek ötelemiştir. Bu bölgede ölçülen sol yönlü ötelenme 3.20 metre civarında olup önemli bir normal veya ters bileşen sunmamaktadır (30-40 cm).

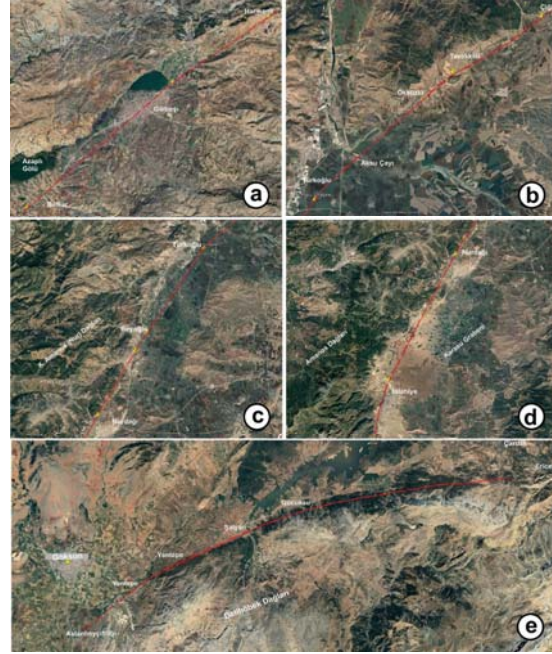
Güneyde fay hattı Kahramanmaraş ovası içinden tarlaları keserek devam etmekte ve Türkoğlu-Şihağalar civarında fay yüzey kırığı hafif bir kıvrım yaparak K30°-40°D gidişine dönmektedir (Şekil 10 a,b). Bu bölgede fay kırığı sulamada kullanılan kanalları ve tarla sınır yollarını ötelemiş, aynı zamanda 95 cm düşey atım meydana getirmiştir. Yanal atım yine sol yönlü ve 3 m civarında olup, düşey atım ile kuzey blok yükseltilmiştir.

DAF yüzey kırığı güneyde devamında Kahramanmaraş'a bağlı Türkoğlu ilçesi güneyinde Ceceli ve Akçalı köylerinin doğusunda kalan tarım alanları içerisinden (Şekil 10b) K35°D doğrultusunda geçerek (Şekil 9d) Beyoğlu mahallesinde GÖRPA tarım arazisi içine devam etmektedir. Bu alanda tarım alanlarını etkilemiş, derin yarıklar, ötelenmeler oluşturmuş ve bir adet köprüde sıkıştırma ile bükülme meydana getirmiştir. Tarım sahaları arasındaki tel örgülerden ölçülen ötelenme yine sol yönlü ve 2.70 m.'dir. Yer yer 1.3 metreye varan yaklaşık D-B uzanımlı derin yarılmalar ve küçük çaplı basınç sırtları meydana gelmiştir (Şekil 9e). Güneye devam eden fay Beyoğlu Yeni mah. güneyinde yaklaşık D-B uzanımlı bir sulama kanalını keserek ötelemiş, demir korkulukları kırmış ve zarar vermiştir. Devamında yaklaşık 67 cm düşey atım meydana

getirerek GB yönünde tarım arazileri içinden devam etmektedir (Şekil 9f). Bu noktada Gavurgözü olarak bilinen sulak alan içinde irili ufaklı bazı su birikintileri ve kanalları içinde balıkların topluca öldüğü ve yüzeye çıktığı da gözlenmiştir.



Şekil 9. DAF boyunca gözlenen önemli yüzey deformasyonları a,b,c) Çiğli civarında gözlenen yüzey yırtıkları ve yanıl ötelenmeler; d) Türkoğlu Şihağalar civarında gözlenen 3 m. sol yanıl ötelenme; e) Beyoğlu Yeni mah. Civarından yüzey yırtılmasının izi ve oluşan düşey atımlar, g) Şekeroba civarında bir kanal köprüsü üzerinde meydana gelen deformasyon.



Şekil 10. Farklı bölgelerde haritalanmış fay yüzey kırıklarının yerlerini gösterir (kırmızı çizgi) uydu fotoğrafları: a) Gölbaşı civarında DAF, b) Türkoğlu-Çiğli hattında DAF, c) Türkoğlu-Nurdağ hattında DAF, d) Nurdağı-İslahiye hattında DAF, e) Göksun güneyi (Aslanbeyçiftliği) ile Ericek arası ÇF yüzey kırığı.

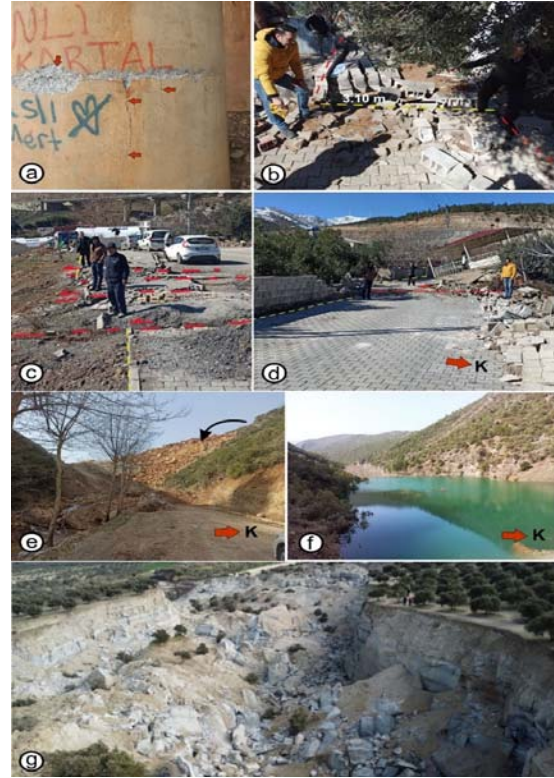
Daha güneyde DAF yüzey kırığı Şekeroba mahallesine ulaşmaktadır. Şekeroba depremden en çok hasar alan yerleşim alanlarında birisi olarak göze çarpmaktadır. Bu bölgede tek ve çift katlı pek çok yapı döşeme katları birbiri üstüne yığılacak şekilde yıkılmıştır. Yörede hasar kuzey kesimlere nazaran belirgin şekilde fazladır. Fay kırığı yerleşim alanına KD yönünden tarım arazileri içinden girerek önce Nurdağı tarafından gelen tren raylarını kesmiştir. Hemen ardından Hatay-Kahramanmaraş karayolunu kesmiş, yol üzerinde bulunan bir sulama kanalı köprüsü üzerinde ağır hasar yaratmıştır (Şekil 9g). Karayolu boyunca çok sayıda paralel deformasyon sistemi gözlenmekte olup burada fayın gidişi K30°D şeklindedir. Dolayısı ile fay hattı, direkt olarak Şekeroba'nın yerleşim alanı içerisinde geçerek (Şekil 10c) büyük yıkım yaratmış olup güneyde Yeşilyurt,

Bademli hattı üzerinden Nurdağı ilçesine doğru devamı izlenmektedir.

Gaziantep'e bağlı Nurdağı ilçesi (Şekil 10c,d) depremden en çok etkilenen yerleşim alanlarında bir diğeridir. DAF yüzey kırığı yerleşim alanının kuzey kesiminde Osmaniye-Bahçe tarafından gelen otoban viyadüklerinin ayak temellerini etkilemiştir (Şekil 12a). Bu taşıyıcı kolonlarda hafif hasar meydana gelmiş ve hafif oturma ve ötelenme ile karayolu yüzeyinde bağlantı noktalarında ayrılmalar oluşturmuştur. Ancak KGM ilk günlerde buralarda asfalt ile hızlı ön bakım-onarım yapmıştır. Otoban viyadüklerinin hemen altından Nurdağı yerleşim alanına giren fay yüzey kırığı ilçenin kuzeyindeki Başpınar mahallesini çok etkilemiştir. Bu bölgede 1970'li yıllarda meydana gelen depremin ardından yapılan afet evlerinin içinden geçen fay çok sayıda yapıya büyük zarar vermiş, yollarda ötelenme meydana getirmiştir (Şekil 11 b,c). Bu noktada basamaklı şekilde toplamda 3 metreyi bulan sol yönlü ötelenme ölçülmüştür (Şekil 12 b,c,d). Bu bölgede fayın gidişi K28°D olup önemli bir düşey atım gözlenmemiştir. Fay yüzey kırığı bu noktadan güneye Amanos segmentine geçmekte ve Gökçedere, Karaburçlu hattı boyunca devam ederek Fevziye ilçesine ulaşmakta ve hemen doğusundan geçerek İslahiye ilçesine doğru Karasu volkanitlerini kesecek şekilde devamı izlenmektedir (Şekil 10d).

DAF boyunca meydana gelmiş olan yüzey kırığı İslahiye Ceza İnfaz Kurumu yerleşkesinin hemen batısından tarlalar içinden geçerek Türkbahçe-İslahiye karayolu kenarında konumlanmış olan İslahiye devlet hastanesine ulaşmaktadır. Modern teknikler ile inşa edildiği anlaşılan Hastane üzerinde önemli bir hasar meydana getirmeyen fay güneybatı yönüne devam etmekte ve İslahiye'nin eteklerine kurulduğu KD-GB uzanımlı basıç sırtının batı yamaçlarından Değirmencik mahallesine ulaşmaktadır (Şekil 10d). Değirmencik mahallesinde oldukça büyük hasarlar meydana getiren deprem buradan batı yönüne İdilli köyüne bağlanan ve Amanos Dağlarını enine kesen vadi boyunca devam eden karayolu boyunca büyük çaplı bir heyelana neden olmuştur. Karayolunun kuzey yamaçlarından (Pancarlıkaya Tepe) dökülen önemli bir miktar kaya-moloz (Paleozoyik kireçtaşları)

vadi ve dere yatağını kapatarak (Şekil 11e) hem karayolunu ulaşımına kapatmış hem de batıdaki memba yönünde derinliği 8-9 metreye ulaşan bir gölet meydana getirmiştir (Şekil 11f). Bu bölgede fay yırtılması K10°-15°D yönelimini kazanmış ve güneyde Hassa yönünde devam etmektedir. En güneyde Antakya il merkezinin yaklaşık 8-10 km güneydoğusunda bulunan Altinkaya ilçesi Tepehan mahallesinde depremin ardından büyük çaplı bir heyelan meydana gelmiştir. Karbonatlı ve killi sedimanter kayaların hâkim olduğu bölgede (Tepehan Fm.) yaklaşık K60°B yönelimli ve 55 ila 100 metre genişliğinde, 20-30 m. derinliğinde bir çöküntü alanı oluşmuştur (Şekil 11g).



Şekil 11. DAF boyunca meydana gelen bazı deformasyonlar; a) Nurdağı girişinde otoban viyadük ayaklarında görülen hasar, b,c,d) Nurdağı, Başpınar mahallesinde görülen deformasyonlar ve yanal atım, e,f) İslahiye Değirmencik ile İdilli köyleri arasında heyelan ve ona bağlı gelişen gölet, g) Hatay Altinkaya Tepehan mahallesinde depremler sonucu meydana gelen heyelan sonucu ve oluşan kanyon.

Kuzeyde ise DAF fay yüzey kırığı Çiğli doğusunda Kartal köyünün hemen güneyinden KD-GB uzanımlı ince bir sırtın zirvesinden geçerek Büyüknacar ve Karaağaç yönüne devam etmektedir (Şekil 10a,b). Bu yörelerde fay kırığı çok net olarak gözlenmemiştir. Daha kuzeyde fay kırığı Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesi güneyindeki Küçükören ve Kösüklü köylerine komşu tarım arazilerinden geçerek Balkar Mahallesi mevkiine ulaşmaktadır. Balkar yerleşim alanının batı kesimlerinden (Aktepe civarı-Balkar köyü mezarlığı güneyi) yaklaşık $K50^{\circ}D$ yönelimi boyunca (Şekil 10a) uzanan fay kırığı büyük hasarlar meydana getirmiş (Şekil 12a), yollarda ve su kanallarında ötelenmeler oluşturmuştur. Bu bölgede ölçülen yanal sol yönlü atım 3.10 m olup, yerel olarak 1 metreye ulaşan düşey atım ölçülmüştür (Şekil 12 b,c). Yükselen blok çoğunlukla kuzeydoğu bloktur. Bölgede Gölbaşından Kahramanmaraş yönüne devam eden demiryolu hattı boyunca büyük ölçekli burkulma ve eğilmeler dikkat çekmektedir.

Yüzey kırığı Balkar beldesi kuzeyinde Gölbaşı'na bağlanan karayolunun doğu tarafına geçerek $K50^{\circ}D$ gidişli olarak devam etmekte ve Gölbaşı ilçe merkezine girmektedir. Gölbaşı merkez yerleşim alanının içinden geçen fay kırığı çok sayıda binaya zarar vermiş ve çok yakın geçtiği anayol üzerindeki 6-7 katlı bir binayı temeli ile beraber yerinden kaldırarak yıkılmaksızın batıya doğru yatırmıştır (Şekil 12d). Fay kırığı Gölbaşı kuzey çıkışında asfalt yolda da oldukça zararlara ve ötelenmelere neden olmuş ve KD yönünde Harmanlı mahallesine doğru devam ettiği izlenmiştir. Harmanlıda ortaları derecede yıkıma neden olan deprem yollarda da hasara sebep olmuş ana fayı çapraz kesen konjugate sıralı çatlaklar ve yarılmalar meydana getirmiştir. Ancak yüzey kırığı bu bölgede sönümlenmeye ve izini belirsizleştirmeye başlayarak KD yönünde Malatya'nın Çelikhan ilçesine doğru devam etmektedir (Şekil 10a). Dolayısı ile sahada DAF ana kolu boyunca yüzey yarılmasının net olarak izlendiği bu hattın toplam uzunluğu 160 km ye ulaşmaktadır. Deprem kırılma bölgesinin çoğu boyunca gözlenen bu yerel yüzey

kırılmaları yüzeye ulaşan sığ fay hareketlerini işaret etmektedir.



Şekil 12. DAF boyunca Türkoğlu-Gölbaşı yörelerinde görülen deformasyonlar; a) Pazarcık güney kesiminde kaya devrilmeleri ve heyelan, b,c) Gölbaşı Balkar civarında meydana gelen yüzey deformasyonları ve atım, d) Gölbaşı merkezde deprem nedeniyle sivilaşma sonucu yatan bina, e) Gölbaşı civarında arazide gözlenen düşey atım.

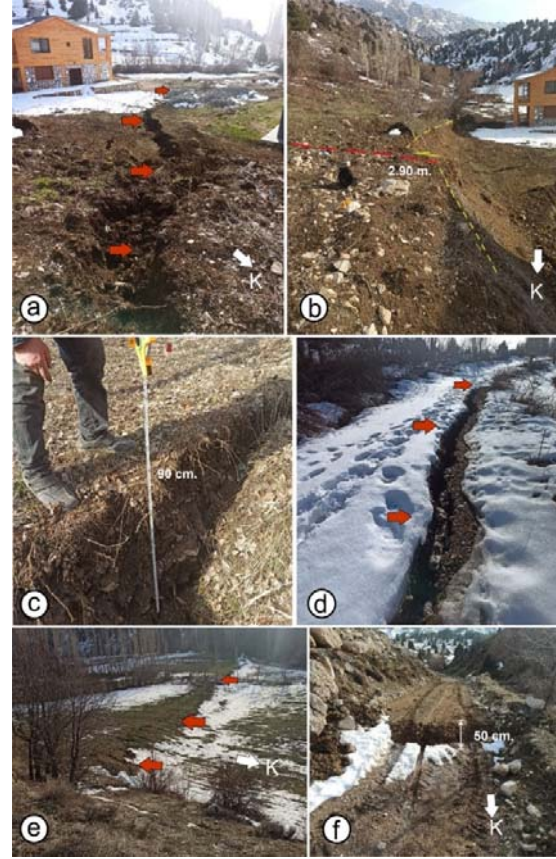
3.2. Çardak Fayı

Çardak Fayı (ÇF), DAF'ın Çelikhan bölgesinden geçen ana kolundan batıya doğru ayrılan Sürgü segmentinin devamı şeklinde uzanmaktadır (Şekil 5). Fay hattı doğuda Nurhak ilçesinden doğuya

doğru sırası ile Gözpinar, Kandil, Kabaktepe, Çardak, Ericek, Korkmaz, Gücüksu yörelerine devam ederek sonunda Göksun ovasına bağlanmaktadır. ÇF Kahramanmaraş'ın Göksun ilçesinin hemen güneyinde genişçe bir dirsek yaparak yönelimini doğu-batıdan aşamalı olarak K30°D istikametine dönüşmekte ve Savrun Fayına bağlanmaktadır (Şekil 10e). Literatüre göre Göksun'dan GB yönüne Adana'nın Kozan-Sumbas bölgelerine kadar uzanan Savrun Fayının güneyde alüvyon altındaki devamı belirsizdir. Bu çalışma kapsamında özellikle ÇF'nın Göksun ile Ericek arasında kalan hattında saha gözlemleri yapılmıştır. Saha gözlemlerinin yapıldığı Şubat ayı boyunca bölgenin kar altında olması özellikle doğu kesimlerde fay kırığının izlenmesini zorlaştırmıştır.

3.2.1. ÇF Yüzey Kırığı Parametreleri

ÇF yüzey kırığı depremden oldukça fazla yara alan Göksun ilçesinin güneyindeki Yantepe Mahallesi civarında net olarak gözlenebilmektedir. Fay yüzey kırığı burada hemen güneyindeki dağ sırasının (Kaman Dağı) eteklerine yakın kesimden yaklaşık K60°D yöneliminde geçmektedir. Bu lokasyonda bir köy evinin neredeyse tam altından geçerek yıkımına neden olan fay yüzey kırığı hemen batıdaki devamında yine iki adet yeni inşa edildiği gözlenen evin ortasından geçmiş ancak bunlarda önemli bir hasara neden olmamıştır (Şekil 13a). Bu bölgede fay hattı boyunca bir tesviye edilmiş yama şevinde atım sol yönlü 3.5 m olarak ölçülmüştür (Şekil 13b). Yüzey kırığı boyunca zeminde, verev gelişmiş küçük ölçekli çek-ayır çukurları ve basınç sırtı tümsekleri izlenmektedir. Güneye doğru fay yüzey kırığı yüzlerce metre devam etmekte 1 m ye yakın derinlikte yüzey yarılmaları oluşturarak (Şekil 13c) tarım alanlarını ve patikaları keserek devam etmekte ve Aslanbeyçiftliği mahallesine bağlanmaktadır (Şekil 13d). Bu noktanın güneybatısında fayın yüzey kırığı net olarak gözlenememiş ancak yollarda yayılma çatlakları, heyelanlar ve benzeri deformasyonlar izlenebilmiştir. Fay yüzey kırığına ait ölçülen en güneydeki doğrultu değeri K40°D'dur.



Şekil 13. 6 Şubat depremleri ardından Çardak Fayı üzerinde ve çevresinde meydana gelen deformasyon yapıları: a-d) Göksun ilçesi güneyinde Yantepe mahallesi civarında gözlenen yüzey deformasyonları, yanal ve düşey atımlar, e) Salyan köyü civarında vadi boyunca görülen fay kırığı, f) Çardak beldesi yakınlarında görülen deformasyon.

ÇF yüzey kırığı doğuda ise K65°D yönelimde dağ yamacı boyunca sırası ile Karahmet, Saraycık köyleri civarındaki tarım alanlarından geçerek Salyan yönünde devam etmektedir. Bu mevkide ana fay kırığı Salyan köyünün güneyindeki Ahmetçik köyüne bağlayan karayolunu verev kesecek şekilde izlenmektedir. Hemen batıdaki vadi boyunca gelen fay kırığı (Şekil 13e), burada karayolunu ve yol yarması şevini kesmiş ve hafifçe sol yönlü ötelemiştir. Meydana gelen atım sol yönlü 3 metre olarak ölçülmüş olup kuzey blok hafifçe düşmüştür

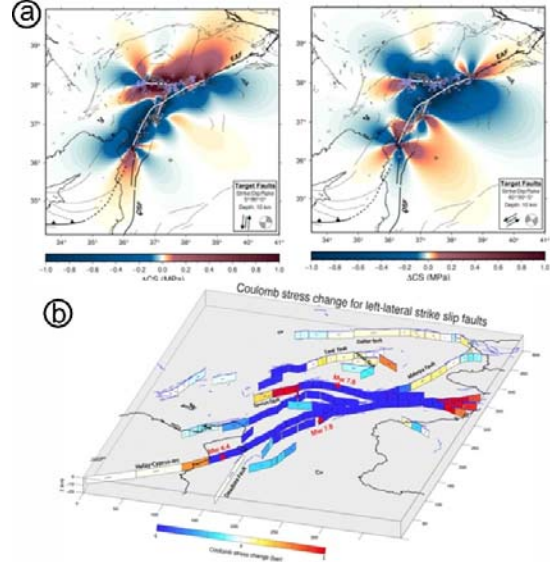
(yaklaşık 15-20 cm). Fay yüzey kırığı doğuda Gücüksü Köyü yönüne devam ederken artık dağ eteği önünden ayrılarak biraz daha güneye doğru sırtlar üzerinden devam eder pozisyona gelmiştir. Fay hattı daha doğuda Korkmaz köyünün güneyindeki dağ sırtlarında kar nedeni ile belli belirsiz olarak gözlenebilirken civarda ileri derecede yıkımlara ve kaya devrilmelerine yol açtığı görülmüştür. Daha doğuda Çardak beldesi yaklaşık 2 km güneyinde toprak satırlı köy yolunda faylanma nedeni ile oluşan yarılma ve çatlamlar, basamaklı yapılar (Şekil 13f) ve yüzey yayılmasına bağlı küçük çaplı heyelanlar gözlenmiştir.

4. SİSMİK GÖSTERGELER VE STRES TRANSFERİ

İlk kırılmanın meydana geldiği ve DAF'ı tetikleyerek ilk depremde güney ve kuzeye doğru kırılmanın meydana geldiği sismik hareketliliğin kaynağı Arap plakasının kuzey yönlü (hafifçe saat yönü tersine) hareketidir. Bu hareket neticesinde ortaya çıkan elastik enerji yüzey dalgaları ile yayılırken kıta hareketinin sahada ölçülen 3-3.5 metre civarında yapmış olduğu atım kuzey kesimde Anadolu bloğuna stres transferi olarak aktarılmıştır. Anadolu bloğunun kuzeyden Avrasya Plakası ile sınırlanması neticesinde batı yönüne yaptığı mecburi hareketi karşılayan ve onu güneyindeki Adana bloğu ile ayıran Sürgü-Çardak fay hattı üzerinde 9 saat sonra meydana gelen kırılma bu hat boyunca da uzun süre bir enerji biriktirdiğini ortaya koymaktadır.

DAF'ın ve komşu fay sistemlerinin geometrik karmaşıklığı, M 7.8 depremi merkez üssünün ana DAF hattından uzaklığı, GCMT (Global Centroid Moment Tensör) çözümlerinin yüksek non-double (çift olmayan) bileşenleri ve çeşitli yönelimlere sahip artçı şok dağılımı beraber değerlendirildiğinde, deprem dizisinin hem kırılma evriminin hem de fay geometrisinin karmaşıklığını ortaya koymaktadır [22,23]. Ayrıca, farklı tektonik rejimlerdeki karmaşık fay sistemlerinde, fay kıvrımları boyunca süper-shear kırılmaları [24,25] farklı faylanma stilleriyle kırılmaların tetiklenmesi gibi, kırılma düzensizliğine ve farklı segmentlerde [23,26,27] belirgin kopma geri yayılımı veya

yeniden kopma [23, 28-31] olaylarına dair kanıtlar sunmaktadır.



Şekil 14. Mw 7.8 ve Mw 7.6 depremleri için uzaktan algılamayla gözlemlenen verilere dayalı Coulomb stress değişim haritaları. Beyaz çizgiler, modellemede kullanılan fayın segmentlerini temsil ederken, açık mor daireler depremselliği göstermektedir. Fay isimlerinin anahtarı: Ölü Deniz Fayı (ÖDF), Doğu Anadolu fayı (DAF) ve Sürgü fayı [5] b) DAF ve ÇF sol yanal atımlı fayları boyunca bölgesel Coulomb stres değişimi haritası (Dr. Çakır Z., 2023 – Twitter hesabı).

Her iki deprem için Moment Tensörü çözümleri (Şekil 7), oblik sol yanal doğrultu atımlı hareketi işaret etmektedir. İki çözümün fay yönelimleri, sırasıyla ana DAF segmenti ve ÇF'nin toplu genel yönelimleri ile tutarlı görünmektedir (Şekil 2), ancak, GCMT çözümleri, %42 ve %57'lik orta derecede yüksek non-double bileşenler göstermektedir.

7.8 ve 7.6 büyüklüğündeki depremler için hazırlanmış olan Coulomb stres değişim haritaları (Şekil 14) değerlendirildiğinde DAF'ın en güney kesimlerindeki segment üzerine bir stres yükü geldiği görülmektedir. Ancak bu bölgede 20 Şubat 2023 akşamında meydana gelen Mw 6.4

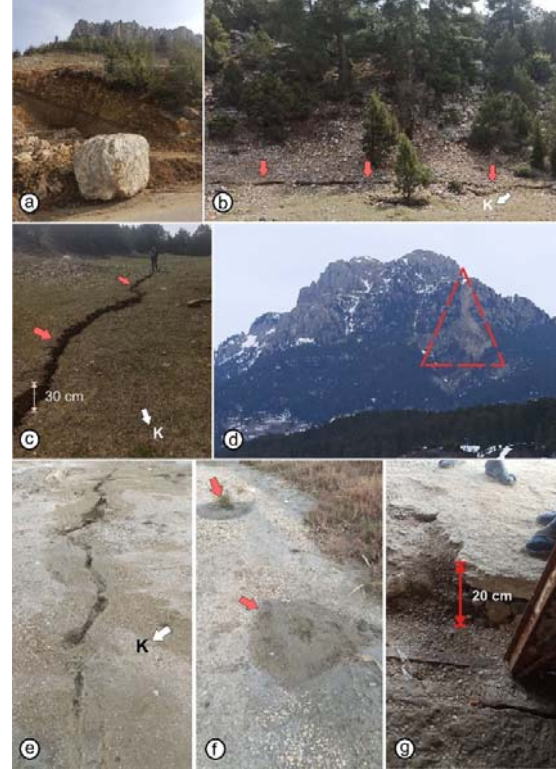
depreminin bu stresi büyük ölçüde harcadığı düşünülmektedir. Ancak bölgedeki stresin büyük bir kısmı daha güneydeki Ölü Deniz Fay hattına ve GB yönüne uzanan Kıbrıs-Helen yayına aktarılmış olabilir. DAF'ın kuzey segmentinde ise yırtılma yaklaşık Malatya Çelikhan civarına kadar gerçekleşmiş ve Coulomb stres değişim haritasında bu bölgede bir stres aktarımı görülmektedir. Çardak Fayı üzerinde meydana gelen depremde ise stres yükü yırtılmanın en batı ucunda kalan Göksun civarında düğümlenmektedir. Göksun yöresinde GB yönünde bir stres yükü dikkat çekmekle beraber depremler sonrası burada meydana gelen artçı şokların yoğunluğu da bu stresin önemli bir göstergesi olarak görülmektedir.

5. ADANA İÇİN OLASI ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

Adana şehir merkezi 6 Şubat depremlerinin gerçekleştiği DAF hattının yaklaşık 120 km batısında yer almaktadır. Adana'ya bağlı Ceyhan ilçesi ise yaklaşık 70 km mesafede olup 4:17 depreminden merkeze göre daha fazla etkilenmiştir. Kozan ilçesi ise hem DAF hem de ÇF'na yaklaşık 90 km uzaklıkta olup, yine fazlaca etkilenen yerleşim yerlerindedir. Adana merkezde ölçülen yer ivmesi değerleri 0,05 g civarında görülmesine rağmen özellikle şehir merkezinin kuzeyinde yer alan Çukurova merkez ilçesinde çok sayıda yıkım (13 adet) meydana gelmiştir. 418 kişinin hayatını kaybettiği kentte, 2 bin 869 binanın ağır, 5 bin 136 binanın ise orta hasarlı olduğu bildirilmiştir.

Kentin alüvyon zemine sahip güney kesimlerinde de çok katlı yapılar olmasına rağmen bunların büyük bir çoğunluğu (özellikle 10 kat üzeri yapılar) 2000 yılı sonrası inşa edilmiştir. Sonbahar aylarında ve Ocak ayında yağışların çok az olması güney kesimde alüvyon zeminin suya doygunluğunu düşürerek sıvılaşma riskini düşürmüş olabilir. Kentin kuzey kesiminde yıkılan yapılarla ilgili adli süreç hem göçüklerden alınan beton karot örnekleri hem de zemin çalışmaları ile devam etmektedir. Öğleden sonra meydana gelen Elbistan-Ekinözü merkez üslü deprem ise Adana'nın kuzey kesimlerindeki Aladağ, Feke, Saimbeyli yörelerini önemli ölçüde etkilemiştir. Ancak bu yerleşim yerlerinde yapılaşma genellikle az katlı olduğundan

büyük bir yıkım oluşmamıştır. Bu bölgede genellikle heyelanlar ve kaya düşmeleri önemli zararlar oluşturmuştur.



Şekil 15. 6 Şubat depremleri ardından Adana civarında meydana gelen deformasyonlar; a) Aladağ ilçesi güney girişinde yol şevinde meydana gelen kaya devrilmesi; b,c) Aladağ Eğner civarında meydana gelen yüzey yırtılması; d) Aladağ Kuzeyinde Çiğsar beldesi güney kesimlerinde meydana gelen heyelan; e,f) Karataş ilçesi Haylazlı köyü sahil kesimlerinde meydana gelen yüzey deformasyonları ve kum volkanları; g) Haylazlı köyü civarında sıvılaşmaya bağlı yapıda meydana gelen oturma.

Aladağ ilçe merkezi güney girişinde karayolu şevlerinde önemli heyelanlar ve kaya devrilmeleri meydana gelmiştir (Şekil 15a). Bunun yanında yine Aladağ güneyinde Eğner yöresinde Ceritler köyünün 2.5 km batısında 1 km ye yakın bir fay

yüzey kırığı tespit edilmiştir (Şekil 15b). Fay kırığı uzanımı K30°D olup 0.4 m civarı sağ yönlü atım tespit edilmiş olup, kuzey blok yaklaşık 30 cm düşmüştür (Şekil 16b,c).

Aladağ'ın kuzey kesimlerinde Kahramanmaraş ilinin Andırın ilçesine bağlı Çiğsar mahallesinin güney kesimindeki dağ üzerinde büyük ölçekli bir heyelan meydana gelmiştir (Şekil 15d). Adana şehir merkezinin güney kesimlerinde ise Yumurtalık ilçesinde Haylazlı köyü civarında fay yüzey kırıkları izlenmiştir. Bu yüzey kırıklarının bölgedeki uzunluğu oldukça sınırlıdır, fakat deniz içine devamı tespit edilememiştir (Şekil 15e). Yöredeki balıkçılar deniz içinde zeminde fay kırılmasının izlerinden bahsetmektedirler. Yüzey kırığının yönelimi K65°B olup karada tespit edilebilen uzunluğu 300 metre civarındadır. Bölgede fayın yakın geçtiği sahildeki yapılarda 15-20 cm'ye varan sıvılaşmaya bağlı oturmalar gözlenmiştir (Şekil 15g). Ayrıca fay yüzey kırığı boyunca yer yer yüzeye çıkan çamur konileri görülmektedir (Şekil 15f).

Adana bölgesinin deprenselliği kent yakınındaki irili ufaklı faylar (doğuda Misis/İmamoğlu, Toprakkale; güneyde Yumurtalık, Karataş; kuzeyde Kozan, Savrun, İmamoğlu ve batıda Ecemiş fayları) ile doğuda daha uzakta bulunan majör DAF tarafından denetlenmektedir. Adana içindeki yakın zamanda meydana gelmiş en büyük deprem (Mw 5.9-6.2) 1998 Ceyhan depremidir (145 ölü). Ceyhan depreminin, Adana şehir merkezi ile Misis Dağları arasında geçen ve yaklaşık K57°D gidişli, hafif ters bileşenli (sismik kesitler ile belirlenen) sol yönlü doğrultu atımlı gömülü bir fay ile denetlendiği düşünülmektedir [32,33]. Aletsel dönemde ölçülmüş daha büyük bir deprem olmamakla beraber bölgede Mw 5-6 arası büyüklükte 8 adet deprem (1998 deki M 5.4 artçı hariç) meydana gelmiştir [4,34]. Bunlardan 3 tanesinin merkez üssü İskenderun Körfezi içinde iken 3 tanesi de Kent merkezine çok yakın konumdadır. Dolayısı ile aletsel dönem kayıtları bölgede yaklaşık ortalama 10 yılda bir M 5-6 büyüklüğünde deprem gerçekleştiğini göstermektedir. Tarihsel döneme bakıldığında ise 1268-1269 yılında yaklaşık 7 büyüklüğünde (8-9 şiddetinde) olduğu tahmin edilen Kilikya

depreminin bölgeyi etkilediği görülmektedir. Kozan ilçesi ve civarını etkilediği bildirilen bu deprem dışında 290, 334, 524 ve 1855 yıllarında meydana geldiği bildirilen ve genellikle Misis-Ceyhan ve Anavarza yöresini etkilemiş depremler görülmekte olup haklarında yeterli detay veri bulunmamaktadır. Dolayısı ile bölgede birkaç yüzyılda bir 7 büyüklüğüne ulaşan depremlerin de gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Adana ili yakın çevresindeki bu saha verileri bölgenin depremden oldukça etkilendiğini gösterirken farklı akademisyenler ve araştırmacılar tarafından yapılan basın açıklamaları tedirgin bekleliğini sürdüren bölge halkını endişelendirmeye devam etmektedir. Depremlerin ardından devam eden artçı şoklar sürerken Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen hasar belirleme çalışmaları ile tespit edilen orta ve ağır hasarlı yapılara vatandaşların girmemesi önerilmektedir.

Daha önceki bölümlerde bahsedilen "Coloumb" stres analizlerine göre depremlerin ardından hangi bölgelerde stresin yoğunlaştığı belirtilmişti. Bunlardan Adana ilini en çok tehdit eden kesimlerden biri kuzeydoğuda Göksun ilçesi civarındaki stres yoğunluğudur. Bu alan hem ikinci depremden yüzey yırtılmasının en batı kesimini oluşturmakta, hem de yoğun bir artçı şok dalgası yaşanmaktadır. Bu alanda depremin ardından geçen yaklaşık 1,5 aylık süreçte 650 adet Mw 3-4, 140 adet Mw 4-5 ve 11 adet de Mw>5 artçı şok meydana gelmiştir. Bu artçı şoklar neticesinde yaklaşık 73 trilyon joule enerji açığa çıktığı hesaplanmıştır. Ancak bu değer olası bir Mw 6,5 büyüklüğündeki bir depremin enerjisinin yaklaşık yarısına karşılık gelmektedir. Anadolu plakacığının Adana bloğuna göre batıya hareketini temsil eden bu fay segmenti (ÇF) batı ucunda (Aslanbeyçiftliği) bir dirsek yaparak Savrun fayına bağlanmaktadır. Bu büyüklük ve fay karakteristiğindeki değişim Savrun Fayının (K40°D) kırılmasını zorlaştırmış olabilir. Ancak ileri bir tarihte bölgede biriken enerjinin bu ve çevresindeki benzer mekanizmada çalışan diğer fay hatlarında (Saimbeyli, Sarız ve Ecemiş Fayları) bir kırılmayı tetikleyebileceği ihtimali tamamen göz ardı edilmemelidir. Bunun yanında, ÇF boyunca açığa çıkan enerji ve aktarılan stresin önemli bir

bölümü, batı yönünde, sismik açıdan görece sakin olarak bilinen Kayseri ve Niğde-Konya bölgelerindeki irili ufaklı fay segmentlerinde sismik etkinlikler (Niğde Bor batısı Mw 5.3 ve Hacılar Kayseri Mw 4.8'e varan büyüklüklerde) oluşturmuştur.

DAF boyunca Nurdağı civarından KB yönüne görünen stres transferi (Şekil 14, 15) ise İskenderun Körfezi kuzeyinden Adana'nın Osmaniye-Ceyhan yönüne etkilemektedir. Ancak bu bölgedeki fayların (Toprakkale, İskenderun-Düziçi, Karataş-Yumurtalık fayları) uzanımı KD-GB ve sol yönlü bir mekanizmaya sahip olduklarından kırılma ihtimalleri nispeten daha düşük görünmektedir. Bu bölgede, ana depremin ardından geçen 2 aylık süreçte Ceyhan batısındaki (muhtemelen Misis/İmamoğlu Fayı) Mw 4 büyüklüğündeki bir artçı depremin dışında önemli bir artçı şok etkinliği görülmemektedir.

Adana ilinin kuzey kesimlerinde Aladağ Küp yöresinden güneye Eğner, Çatalan bölgesine doğru bir artçı şok aktivitesi dikkat çekmektedir. Bu bölgede $M_w \geq 2$ büyüklüğünde ve yaklaşık K-G uzanımlı bir hat boyunca 50 civarında artçı şok meydana gelmiştir. Dolayısı ile bu bölgede tespit edilememiş K-G yönelimli bir fay hattı varlığı söz konusu olabilir. Diğer bir unsur ise Göksun-Savrun üzerinden gelebilecek stres sonucu etkilenmesi olası olan Kozan Fayıdır. Kozan Fayı, Adana'nın Kozan ilçesinin güney kesiminden Çatalan Barajı göletine doğru ve oradan GB yönüne devam eden bir fay hattı olup (Ünlügenç, 1993) geçmiş dönem aktivitesi ile ilgili veriler sınırlıdır.

6. SONUÇLAR

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş, Hatay ve çevre illeri etkileyen 2 büyük deprem ve artçıları ardından deprem bölgelerinde meydana gelen deformasyon yapıları saha çalışmaları ile detaylı olarak incelenerek ulusal ve uluslararası farklı kurumlar ve çalışmacılarca paylaşılan veriler [5,7,19,20,31,35] beraberce değerlendirilmiştir. DAF boyunca İslahiye güneyinden Gölbaşı kuzey doğusunda Harmanlı'ya kadar olan hat boyunca meydana gelen yüzey kırığı saha çalışmaları ve uydu görüntüleri üzerinden detaylı olarak

belirlenmiş ve ölçülen yapısal veriler (atımlar) paylaşılmıştır. Bu hat boyunca ortalama atım sol yönlü 3-3.5 metre olarak ölçülmüştür. Fay boyunca 1 metreye varan düşey atımlar ve fayı verev ve dike yakın kesen konjugate kırılmalar ve yarılmalar belirlenmiştir. Fay yüzey kırığının güneyde $K10^\circ-15^\circ D$ doğrultusundan Türkoğlu bölgesine doğru $K30^\circ D$ yönelimine geldiği ve burada saat yönünde bir kavis yaparak $K45^\circ-50^\circ D$ doğrultusunda Gölbaşına doğru devam ettiği gözlenmektedir. Çardak Fayı boyunca özellikle Göksun ile Ericek yöresi arasında kalan alanda yüzey kırıkları haritalanmış ve atımın yine sol yönlü ve 3 metre civarında olduğu gözlenmiştir. Her iki fay hattı boyunca depreme bağlı olarak farklı bölgelerde heyelanlar, kaya devrilmeleri ve bunlara bağlı gölet oluşumu (Değirmencik) gözlenmiş ve lokasyonları belirlenmiştir. Sahada ölçülen fay kırıkları, sismik verilerle ortaya konulan odak mekanizmaları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bölgede meydana gelen deprem serisi, Hatay Üçlü Eklem bölgesi civarındaki üç levha arasındaki tektonik etkileşimlerle ilişkili karmaşık fay geometrisini temsil etmektedir. Deprem kırılma bölgesinin çoğu boyunca yerel yüzey kırılmaları yüzeye ulaşan sığ fay hareketlerini işaret etmektedir. Bölgede devam eden yoğun artçı sarsıntılar, depremlerden sonra açığa çıkan sismik enerjinin civardaki diğer faylarda stres değişimine bağlı meydana getirdiği plaka içi makaslama deformasyonlarına bağlı sismik aktivitesini ortaya koymaktadır. Dolayısı ile çevrede periyodu yaklaşmış olan fay hatlarında bu enerjinin açığa çıkması önümüzdeki dönemde tehlike arz ederken bu süreçte hem bu fayların detay özelliklerini belirlemek hem de yerleşim alanlarını hazır hale getirmek için gerekli önlemleri almak büyük önem arz etmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. KRDAE, 2023. 06 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil- Gaziantep; Ekinözü-Kahramanmaraş ve 20 Şubat 2023 Hatay Depremleri Ön Değerlendirme Raporu, 25.
2. KRDAE, 2023. 06 Şubat 2023 Ekinözü Kahramanmaraş Depremi Bülteni, 6.
3. AFAD, 2023. 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık ve Elbistan) Depremleri Saha Çalışmaları Ön Değerlendirme Raporu, 29.

4. Deprem Kataloğu, <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog> Erişim Tarihi: Nisan 2023
5. M 7.8 - Pazarcik earthquake, Kahramanmaraş Earthquake Sequence USGS, 2023. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/executive> Erişim tarihi: Mart 2023.
6. KRDAE, 2023. Kahramanmaraş - Gaziantep Türkiye M7.7 Earthquake, 6 February 2023 (04:17 GMT+03:00) Strong Ground Motion and Building Damage Estimations Preliminary Report (v6), 42.
7. Hancılar, U., Şeşetyan, K., Çaktı, E., Yenihiyat, E.Ş.N., Malcıoğlu, F.S., Dönmez, K., Tetik, T., Süleyman, H., 2023. Strong Ground Motion and Building Damage Estimations Preliminary Report, 42.
8. Menekşe, A., 2016. Probabilistic Seismic Hazard Assessment For East Anatolian Fault Zone Using Planar Source Models. M.Sc Thesis, Natural and Applied Sciences of METU, 132.
9. Duman, T.Y., Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault: Geometry. Segmentation and Jog Characteristics Geological Society, London, Special Publications, 372, 495-529, 615 s.
10. Westaway, R., 2004. Kinematic Consistency Between the Dead Sea Fault Zone and The Neogene and Quaternary Left-Lateral Faulting in SE Turkey. Tectonophysics, 391, 203-237.
11. Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., Çan, T., 2016. Active Fault Database of Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering, 1-47.
12. Herece, E., 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. General Directorate of Mineral Research and Exploration. Special Publications. Ankara, Serial Number, 13, 359.
13. Westaway, R., 2003. Kinematics of The Middle East and Eastern Mediterranean Updated. Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 5-46.
14. Koç, A., 2005. Remote Sensing Study of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey). Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış), Ankara, 90.
15. Sunkar, M., Günek, H., Canpolat, C., 2008. Kurucaova ve Yakın Çevresinin (Malatya) Jeomorfolojisi. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 18(2), 1-22.
16. Koç, A., Kaymakçı, N., 2013. Kinematics of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey): A remote sensing study. Journal of Geodynamics, 65, 292-307.
17. Balkaya, M., Özden, S., Akyüz, H.S., 2021. Morphometric and Morphotectonic Characteristics of Sürgü and Çardak Faults (East Anatolian Fault Zone). Çanakkale Onsekiz Mart University, Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, 7(3), 375-392
18. Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu. TUBITAK, Proje no. TBAG 341, İstanbul, 86.
19. Okuwaki, R., Yagi, Y., Taymaz, T., Hicks, S., 2023. Multi-scale Rupture Growth with Alternating Directions in a Complex Fault Network During the 2023 South-eastern Türkiye and Syria Earthquake Doublet. Geophysical Research Letters, 50.
20. Reitman, N.G., Briggs, R.W., Barnhart, W.D., Thompson, J.A., DuRoss, C.B., Hatem, A.E., Gold, R.D., Mejstrik, J.D., 2023. Preliminary Fault Rupture Mapping of the 2023 M7.8 and M7.5 Türkiye Earthquakes.
21. Harita Genel Müdürlüğü, 2023. <https://atlas.harita.gov.tr/#5.76/38.422/35.189> Erişim Tarihi: Nisan 2023.
22. Abercrombie, R.E., Antolik, M., Ekström, G., 2003. The June 2000 M w 7.9 Earthquakes South of Sumatra: Deformation in the India-Australia Plate. J. Geophys. Res. Solid Earth, 108(B1), ESE 6-1-ESE 6-16.
23. Okuwaki, R., Fan, W., 2022. Oblique Convergence Causes Both Thrust and Strike-Slip Ruptures During the 2021 M 7.2 Haiti Earthquake. Geophys. Res. Lett., 49(2), 1-12.
24. Bao, H., Ampuero, J.P., Meng, L., Fielding, E., Liang, C., Milliner, C., Feng, T., Huang, H., 2019. Early and Persistent Supershear Rupture of the 2018 Magnitude 7.5 Palu Earthquake. Nature Geoscience. 12.
25. Socquet, A., Hollingsworth, J., Pathier, E., Bouchon, M., 2019. Evidence of Supershear During the 2018 Magnitude 7.5 Palu Earthquake from Space Geodesy. Nature Geoscience. 12.

26. Nissen, E., Elliott, J.R., Sloan, R.A., Craig, T.J., Funning, G.J., Hutko, A., Parsons, B.E., Wright, T.J., 2016. Limitations of Rupture Forecasting Exposed by in Stantaneously Triggered Earthquake Doublet. *Nat. Geosci.*, 9(4), 330-336.
27. Fan, W., Shearer, P.M., 2016. Local Near Instantaneously Dynamically Triggered Aftershocks of Large Earthquakes. *Science*, 353(6304), 1133-1136.
28. Hicks, S.P., Okuwaki, R., Steinberg, A., Rychert, C. A., Harmon, N., Abercrombie, R. E., Bogiatzis, P., Schlaphorst, D., Zahradnik, J., Kendall, J., Yagi, Y., Shimizu, K., Sudhaus, H., 2020. Back-propagating Supershear Rupture in the 2016 Mw 7.1 Romanche Transform Fault Earthquake. *Nat. Geosci.*, 13(9), 647-653.
29. Vallée, M., Xie, Y., Grandin, R., Villegas-Lanza, J. C., Nocquet, J. M., Vaca, S., Meng, L., Ampuero, J.P., Mothes, P., Jarrin, P., Farfan, C.S., Rolandone, F., 2023. Self-reactivated Rupture During the 2019 Mw=8 Northern Peru Intraslab Earthquake. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 601, 117886.
30. Yamashita, S., Yagi, Y., Okuwaki, R., 2022. Irregular Rupture Propagation and Geometric Fault Complexities During the 2010 Mw 7.2 El Mayor-Cucapah Earthquake. *Sci. Rep.*, 12(1), 4575.
31. Yagi, Y., Okuwaki, R., Enescu, B., Lu, J., 2023. Irregular Rupture Process of the 2022 Taitung, Taiwan, Earthquake Sequence. *Sci. Rep.*, 13(1), 1107.
32. Budakoğlu, E., Utkucu. M., 2021. 27 Haziran 1998 Adana (Mw=6.2) Depreminin Uzak Alan Dalga Şekillerinden Elde Edilen Faylanma Parametreleri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), 743-757.
33. Ünlügenç, U.C., 1993. Controls on Cenozoic Sedimentation in the Adana Basin, Southern Turkey. Unpublished Ph.D Thesis, Keele University, UK, 229.
34. Ayhan, E., Alsan, E., Sancaklı, N., Üçer, S.B., 1981. Turkey and Surrounding Earthquake Catalogue 1881-1980. Bogaziçi University Publications, İstanbul. 118.

Çapraz Satışı Destekleyebilecek Transformer ile Geliştirilmiş Bir Öneri Sistemi

İbrahim Erdem KALKAN¹ ORCID 0000-0002-1997-5436
Cenk ŞAHİN^{*1} ORCID 0000-0002-6076-7794

¹ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 08.05.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: KALKAN, İ.E., ŞAHİN, C., (2023). Çapraz Satışı Destekleyebilecek Transformer ile Geliştirilmiş Bir Öneri Sistemi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 571-584.

Öz

Öneri sistemlerinin, perakende sektöründe çapraz satış bağlamında bir ürün grubunu satış için hedeflemek veya hangi müşterilerin diğerlerine göre daha pazarlanabilir olduğunu tahmin edebilen yeteneklere sahip olduğu düşünülmektedir. Bu sayede mevcut müşterilerin bir sonraki seferde hangi ürün veya hizmeti satın alacaklarına ilişkin bir tahmin oluşturularak çapraz satış etkinliği artırılabilir. Bu araştırmada temel amaç, çevrimiçi alışveriş endüstrisine, çapraz satış olanaklarını arttırabilmek bağlamında, belirli bir ürün ya da ürün grubu için, belli bir satın alma tarihçesi bulunan müşterilerinden hangilerinin diğerlerine göre daha uygun olduğunu tahmin etmek için bir öneri sistemi geliştirip sunmaktır. Bu kapsamda transformer kullanılarak probleme adapte edilmiş öneri sisteminin karşılaştırmalı bir çalışması yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre önceki çalışmalarda sunulan modellere göre daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Transformer, Öneri sistemi, Çapraz satış, Derin öğrenme

A Transformer-Improved Recommender System Supporting Cross-Selling

Abstract

It is believed that recommender systems have the ability to target a product group for sales in cross-selling context or predict which customers are more marketable than others in the retail sector. In this way, cross-selling efficiency can be increased by creating a forecast about which product or service current customers will purchase next time. The main purpose of this research is to develop and present a recommendation system to the online shopping industry to predict which customers with a certain purchasing history are more suitable than others for a particular product or product group, in order to increase cross-selling opportunities. A comparative application of the recommendation system adapted to the problem using transformers is presented in this study, and successful results were observed compared to previous studies.

Keywords: Transformer, Recommender system, Cross selling, Deep learning

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Cenk ŞAHİN, cenksahin@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

İşletmelerdeki teknolojik gelişmeler ve dijitalleşme, pazarlamada hızlı dönüşümlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Örneğin, biyometrik, akıllı kart ve e-ticaret uygulamaları; etkileşimli karar destek sistemleri sayesinde hızla yaygınlaşmıştır [1]. Bu dönüşümün bir sonucu olarak, etkili müşteri ilişkileri yönetimi (Customer Relationships Management, CRM) stratejilerinin geliştirilmesi, pazarlamanın önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu bağlamda karar vericiler, mevcut tüm verileri değerlendirebilmeli ve büyüyen rekabetle başa çıkmak için sürdürülebilir veri odaklı modeller geliştirebilmelidirler. Geline nokta, yeni müşteri edinmenin çok daha maliyetli olduğu ve mevcut müşterilerle ilişkileri geliştirmenin daha iyi bir uygulama olacağı genel bir bilgi haline gelmiştir [2,3]. Bu noktada, “çapraz satış,” mevcut ilişkileri geliştirmeye odaklanmış etkili çapraz satış araçlarından biridir [2]. Mevcut bağlantıları derinleştirmek suretiyle satışların nasıl arttırılacağı ise bir iş problemi olarak karşımıza çıkar.

Çapraz satış, daha önce satın alınmış bir ürüne, bağlantılı veya bazen bağlantısız diğer ürünlerin ek satışı olarak tanımlanmıştır [4]. Çapraz satışın en önemli zorluğu, hangi ürünün hangi müşteriye hedeflenmesi gerektiğini tahmin edebilmektir. Optimal çapraz satış fırsatlarını belirleyebilmek için, pazarlama stratejistleri öncelikle, bir sonraki satın alımı yapacağı muhtemel mevcut bir müşterinin, karar aşamasında, hangi ürünü satın alacağını tahmin edebilmelidir [5]. Temel olarak, bir işletmenin birden fazla aday ürünü vardır. Gerek iletişim ve pazarlama giderleri, gerek çok zaman alıcı ve verimsiz olması nedeniyle, tüm ürünleri tüm müşterilere hedeflemek olanaklı değildir. Bununla beraber, müşteriyi çok fazla teklif ile karşı karşıya bırakarak onu rahatsız etmemek beklenmektedir [6]. Çapraz satışın en önemli noktası, hedeflenen bir ürün için uygun müşterileri araştırmak ve değerlendirmektir. Örneğin, bir çevrimiçi perakendeci belirli bir ürünlerdeki satışları arttırmayı hedefliyorsa, öncelikle mevcut portföyündeki pazarlanabilir müşterileri keşfetmeye çalışmalıdır.

Teknolojik dönüşümde, çapraz satış, müşterilerin geçmiş satın alma davranışlarını analiz etmeli, müşteri benzerliklerini belirlemeli ve müşteriyle her

etkileşimde çapraz satış fırsatlarını değerlendirebilmek için tüm analitik araçları kullanılmalıdır [4]. Bu anlamda, çok etiketli sınıflandırma algoritmaları gibi istatistiksel yöntemlerin kullanılması, çapraz satış fırsatlarının ortaya çıkarılması noktasında, alışveriş yapması beklenen müşterilerin sıradaki satın alacağı ürünün tahmin edilmesinde faydalı olacaktır [7]. Bu tarz çalışmaları yürütmek için müşteri demografik kayıtları gibi ilişkisel veri setinin hazırlanması gereklidir. Müşteri segmentasyonu, çapraz satış için faydalı kabul edilebilecek bir başka yöntemdir. Bu teknik, müşterileri segmentasyon sürecinde kullanılan müşteri özelliklerine bağlı olarak, bir grup içinde müşterilerin benzerliklerini ve gruplar arasındaki farklılıklarını maksimize edecek şekilde gruplara böler. Aynı grupta öteki müşterilerin satın aldığı ürünler, söz konusu müşteri için çapraz satış olarak değerlendirilebilir [8].

Çapraz satış destekleyebilecek, etkili, başka bir yöntem öneri sistemlerini (Recommender System, RS) kullanmaktır. RS'nin hedefi, genel olarak, geçmiş işlemlerden veya kullanıcı tercihlerinden elde edilen verileri kullanarak, kullanıcıların gelecekteki olası beğenileri veya ilgi alanları hakkında çıkarımda bulunmaktır [9]. RS, kullanıcılara zevklerine ve ihtiyaçlarına uygun kişiselleştirilmiş öneriler sunabilmek üzere geliştirilir. Bu sistemler, farklı türde kullanıcı geri bildirimlerinden yararlanırlar. En uygun olanı, ürünlere olan eğilimleri konusunda kullanıcıların açıkça verdiği, kaliteli, açık geri bildirimdir [10]. Puanlama verileri açık geri bildirim örneklerinin en yaygın olanlarındandır. Bu tür veri setini kullanan sistemler, çevrimiçi satış gibi bazı endüstrilerde, yeterli miktarda açık geri bildirim toplamak zor olduğundan, daha fazla kullanıcı çabası, zamanı ve dikkati gerektirir. Açık geri bildirim toplama ile ilgili çeşitli zorluklar vardır. İlk olarak, kullanıcılar genellikle tüketmeleri gerektiğini düşündükleri öğelere yüksek puan verme eğilimindedirler, bu durum sonuç olarak verinin yanlılığının yüksek olmasına neden olur. İkinci olarak, kullanıcılar satın aldıkları ürünlerin sadece küçük bir bölümüne puan verme eğilimindedirler [11,12]. Bu ikinci problemden, açık geri bildirim her zaman kullanıcıların gerçek tercihini yansıtmayabileceğini göstermektedir. Bu zorluklardan dolayı ilgi,

giderek, satın alınan ürün, izlenen yayın, dinlenen şarkı, kiralanan veya okunan kitap, hatta tıklanan reklamlar gibi örtük geri bildirim kaymaktadır. Yalnızca pozitif veriden oluşan satın alma geçmiş verisi tipik bir örtük geri bildirim örneğidir [12].

Çok çeşitli tekniklerin kullanılabilirdiği RS uygulamaları için oldukça geniş bir akademik literatür bulunduğu söylenebilir. Adomavicius ve Tuzhilin [13], belli başlı teknikler hakkında oldukça kapsamlı bir çerçeve sunabilmektedir. Bu çalışmaya göre, bu teknikler sezgisel tabanlı ve model tabanlı olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilmektedir. Sezgisel tabanlı teknikler, farklı benzerlik ölçüleriyle yakın komşu yaklaşımlarını içerirken, model tabanlı yöntemler genellikle yapay sinir ağları (YSA), Bayes sınıflandırıcılar ve kümeleme gibi veri madenciliği tekniklerini içerir. Tüm yöntemler arasında, YSA'nın kullanımı son zamanlarda hız kazanmıştır. Derin öğrenme (Deep Learning, DL) tabanlı öneri sistemleri (DL'nin sinir ağlarıyla ilgilenen makine öğrenmesinin bir alt kümesi olması nedeniyle, bu çalışmada YSA ve DL terimleri eş anlamlı olarak kullanılmıştır.) geleneksel modellerin zayıflıklarını aşarak yüksek öneri kalitesi elde etmesi nedeniyle ilgi çekmeye devam etmektedir [14]. Özyinelemeli sinir ağları (Recurrent Neural Networks, RNN) ve onun özel bir mimarisi olan uzun kısa-sürelilik bellek (Long Short-term Memory, LSTM) gibi teknikler, standart en yakın komşu ve matris faktörizasyonu (MF) gibi yöntemlere kıyasla oldukça etkili sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir [15]. Buna ilaveten, RNN'nin yerini alabilecek ve doğal dil işlemedeki en ileri teknik olarak kabul edilen transformer [16] mimarisinin yapısal veri ile çalışan örneklerinin daha etkili sonuçlar ortaya çıkarabilmesi beklenmektedir.

Bu çalışmada temel amaç, çevrimiçi alışveriş endüstrisine, çapraz satış olanaklarını arttırabilmek bağlamında, belirli bir ürün ya da ürün grubu için, belli bir satın alma tarihçesi bulunan müşterilerinden hangilerinin diğerlerine göre daha uygun olduğunu tahmin etmek için bir çözüm çerçevesi önerilebilir. Bu çalışma, özellikle örtük geri bildirim verisini işleyen, transformer ile geliştirilmiş bir RS modelinin açık kaynaklı bir veri seti ile sınanmasını ve sonuçlarının RNN ile

geliştirilmiş modeller ile karşılaştırılmasını içermektedir. Bu anlamda, bu çalışmanın bilimsel katkısı iki yönlü olarak düşünülebilir: (1) çevrimiçi alışverişte çapraz satışa analitik bir yaklaşım sunması nedeniyle pazarlama yönetimi bilgi birikimine veri temelli bir çerçeve sunması ve (2) bir öneri sisteminin karşılaştırmalı olarak test etmesi ve sonuçlarını ortaya koyması. Bu çalışma, ürüne ve kullanıcıya ait ek özelliklerin birleştirilmesinin modellere faydalı bilgi sağladığını ve değerlendirme sonuçlarını iyileştirdiğini göstermektedir.

Çalışmanın takip eden bölümü, farklı veri madenciliği araçlarını kullanan çapraz satış uygulamaları ve derin öğrenme ile geliştirilmiş öneri sistemleri çalışmaları hakkında bilgi vermektedir. Öneri sistemi ve transformer yapısının teorik arka planı üçüncü bölümde ele alınacak olup dördüncü bölümde açık kaynaklı veri seti üzerindeki karşılaştırmalı sonuçları sunulacaktır. Son bölümde ise araştırma bulguları ve çıkarımlar sunulacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışma ile ilgili olabilecek önceki çalışmalar iki alt kategoride incelenmektedir. İlk olarak, literatür, çapraz satış uygulamaları açısından incelenmekte ve ardından farklı yöntemleriyle RS uygulamaları sunulmaktadır.

Çapraz satış açısından bakıldığında, 2000'lerin başında veri odaklı modellerin kullanıma eğilimi göze çarpmaktadır. Kamakura ve arkadaşları [2] çalışması, müşteri alışveriş verilerine dayalı, çapraz satış için geliştirilmiş bir modeli ve onun genişletilmiş versiyonlarını sunan, bu alanda ilk olmamakla birlikte oldukça ilham verici bir çalışmadır. Çalışmalarını, finansal işlemlere, 22 farklı finansal ürüne ve müşterilere ait öznitelik verilerini kullanarak, 5.550 farklı müşteri için uygulamışlardır. Knott ve arkadaşları [6], çapraz satış bir sonraki satın alma (next-product-to-buy, NPTB) modeli olarak ele alır. Belirli bir müşterinin en olası satın alma ürününü tahmin etmek için; veri toplama, model seçimi, model değerlendirmesi ve müşterilerin puanlanması ve hedeflenmesi olmak

üzere dört ana adımdan oluşan bir NPTB çerçevesi sunarlar. Çalışmasını, 14 farklı perakende finansal ürün ve 270.842 müşteriden oluşan bankacılık alanından bir veri seti ile geliştirilen dört istatistiksel modeli bir sezgisel saha testi ile karşılaştırarak uygular. Thuring ve arkadaşları [17], Avrupa'dan bir sigorta şirketi tarafından sağlanan geçmiş satın alma davranışı veri kümesini kullanarak hedef müşteri seçimi için bir yöntem uygularlar. Geuens ve arkadaşları [11], çalışması, RS ve sınıflandırma modellerinin etkililiklerini karşılaştırma yaklaşımıyla farklı bir bakış açısına sahiptir. Çalışmalarında, 83 farklı finansal ürün ve 96.602 benzersiz müşteriden oluşan veri setleri üzerinde geliştirdikleri, Adaboost ve rastgele orman gibi "state-of-the-art" çok-etiketli sınıflandırma tekniklerinin RS yaklaşımından biraz daha iyi olduğu sonucuna varırlar.

Önceki çalışmalara bakıldığında, yeniden satın alma tahmini modellerinin sadece CRM'nin ayrılmaz bir parçası değil, aynı zamanda çapraz satış uygulamalarıyla da yüksek derecede ilişkili olduğu görülebilir. Bu tür modeller de bir sonraki satın alma işlemi tahmin etmek için önceki müşteri alışveriş verilerinden özellik çıkarımı yapmak suretiyle yararlanır. Martinez ve arkadaşları [18], bir zaman serisi verisini, 276 adet tahmin edici oluşturarak makine öğrenmesi algoritmalarını değerlendirmek üzere kullanırlar ve en iyi sonuçlarını "gradient tree boosting" algoritması ile elde ederler. Chou ve arkadaşları [19] ise, benzer bir veri setinden yaklaşık 100 tahmin edici elde ederek bir RNN mimarisinden daha iyi sonuçlar üreten yeni bir yaklaşım önermektedir.

RS çalışmaları açısından, matris faktörizasyonu (MF) en yaygın yöntemlerden biri olmaktadır [20]. Gizli faktör analizinden türetilen popüler bir teknik olan MF, temel olarak kullanıcıların öğe tercihlerinden oluşan seyrek bir matrisin düşük boyutlu çözümlenmesine dayanır [21]. MF'nin, negatif olmayan MF [22], olasılıksal MF ve Bayes versiyonları [23] gibi farklı versiyonları hakkında kapsamlı bir literatür bulunmaktadır. He ve

arkadaşları [17] gömülmüş katmanlar ile MF'nin DL çıkarımını tanımlar ve RS için üç yaklaşım önerirler: (1) genelleştirilmiş MF (GMF), (2) çok katmanlı sinir ağı (Multi Layer Perceptron, MLP) yaklaşımı ve (3) sinir ağı ile işbirliği filtresi (Neural Collaborative Filtering, NCF). Daha geniş kapsamlı DL tabanlı RS geliştirmeleri için Zhang ve Yao [25] kapsamlı bir araştırma sunarlar. Kısıtlanmış Boltzmann makinelerinin [26] kullanımı en ilham verici çalışma olarak kabul edilmekle beraber, MLP'lerden daha karmaşık yapı taşlarına kadar, etkili bir RS elde etmek için çeşitli sinir ağları uygulanabilmektedir.

RNN ile yapılmış RS uygulamalarının çoğu, kullanıcı-ürün etkileşimleriyle zaman farkındalığına vurgu yapar. Bundan dolayı, puanlama ve alışveriş gibi kullanıcı etkileşimleri, zaman sırasına göre bir dizi haline gelir. Bu uygulamalar genellikle, bir hedef kullanıcının muhtemelen tüketeceği bir sonraki öğeyi tahmin etmeyi amaçlayan tüketilmiş öğelerin sıralı bir listesi gibi önceki kullanıcı-ürün etkileşimlerini dikkate alır [27]. Özel bir RNN mimarisi olan LSTM ile uygulanmış modeller, en yakın komşu ve MF yöntemleri ile karşılaştırıldığında oldukça etkili sonuçlar ortaya koyabilirler [15]. Oturum temelli zaman sıralı verileri ele almak açısından, RNN mükemmel bir araç olarak kabul edilebilir. Oturum, kullanıcı ve sistem arasındaki belirli bir zaman aralığındaki etkileşimler olarak kabul edildiğinden, oturum temelli RS kullanıcı ile gerçek zamanlı etkileşimleri yönetebilmek üzere geliştirilir [20,28, 29,30]. Bu kapsamdaki örneklerden Smirnova ve Vasile [31], oturum temelli tıklama verisi üzerine bağlamsal özelliklerin de ilave edilmesiyle elde edilen bir vektör üzerine geliştirilmiş bir model önermektedirler. LSTM ve zincir veri kullanan modeller arasında Kalkan ve Şahin [32], önceden filtrelemek suretiyle elde edilmiş hedef ürünlerin olasılıklarının hesaplanması yerine tüm ürünlerin olasılık değerlerinin hesaplanmasını içeren, örtük geri bildirim, ürüne ve kullanıcıya ait özelliklerin de ilave edilmesini içeren bir model tanıtmışlardır. Geniş ve derin ağlar olarak tanıtılan bir diğer karmaşık sinir ağı modelinde [33], gömülü

vektörleri girdi kabul eden derinleşen bir MLP ile kullanıcı örtük geri bildirimini işleyen bir geniş ağ yapısı bütünleşmiş şekilde kullanılmıştır. Bu çalışmaya eleştirel yaklaşan bir başka çalışma, doğal dil işleme alanındaki gelişmelerin adapte edilmesi yoluyla, çok başlı öz-dikkat mekanizmasını uygulayan davranışsal zincir transformer (Behavioral Sequence Transformer, BST) modelini tanıtmıştır [34]. Bu model, 200 milyondan fazla kullanıcı bir çevrimiçi alışveriş ürün tıklama veri seti üzerinde eğitilmiş ve tatmin edici sonuçlar üretmiştir.

3. TEORİK ÇERÇEVE

Bu bölümde, çalışmanın teknik arka planı ve teorik bileşenleri açıklanacaktır; ancak, daha öncesinde 3.1 numaralı bölümde ele alınan problemin matematiksel tanımının sunulması gerekmektedir. 3.2 numaralı bölüm ise, önerilen modelin bileşenlerini açıklamakta ve her biriyle ilgili kısaca teorik bilgi vermektedir.

3.1. Problemin Tanımı

Önceki çalışmalarda (örneğin [7]), RS'nin etkili bir pazarlama çerçevesinde faydalı bir araç olarak kabul edilebileceği vurgulanmıştır. Şekil 1'in ifade ettiği gibi, RS modelinin her müşteri için, daha önce satın alınmış olunsun veya olunmasın, önerilen ürünleri sunması, seçilen müşteriler için hedef ürünler kümesi veya belirli bir ürün için hedef müşteriler kümesi olarak yorumlanabilir.

Bu çalışmada, müşterilerin bir sonraki sefer hangi ürünleri veya hizmetleri satın alacaklarına dair olasılıklarını tahmin ederek çapraz satış etkinliğini arttırmak şeklinde yaygın bir iş problemi üzerinde durulmaktadır. Bu bağlamda, önerilen sistem Çizelge 1'de soyut bir temsil olarak gösterildiği gibi bir temel alışveriş veri kümesini kullanmaktadır. Bu problemin açıklanmasındaki matematiksel temsil büyük ölçüde Martinez ve arkadaşları [18] çalışmasından uyarlanmıştır. Her müşterinin her alışverişi, bir zaman damgasıyla bir satır olarak işlemler veri setine kaydedilir.

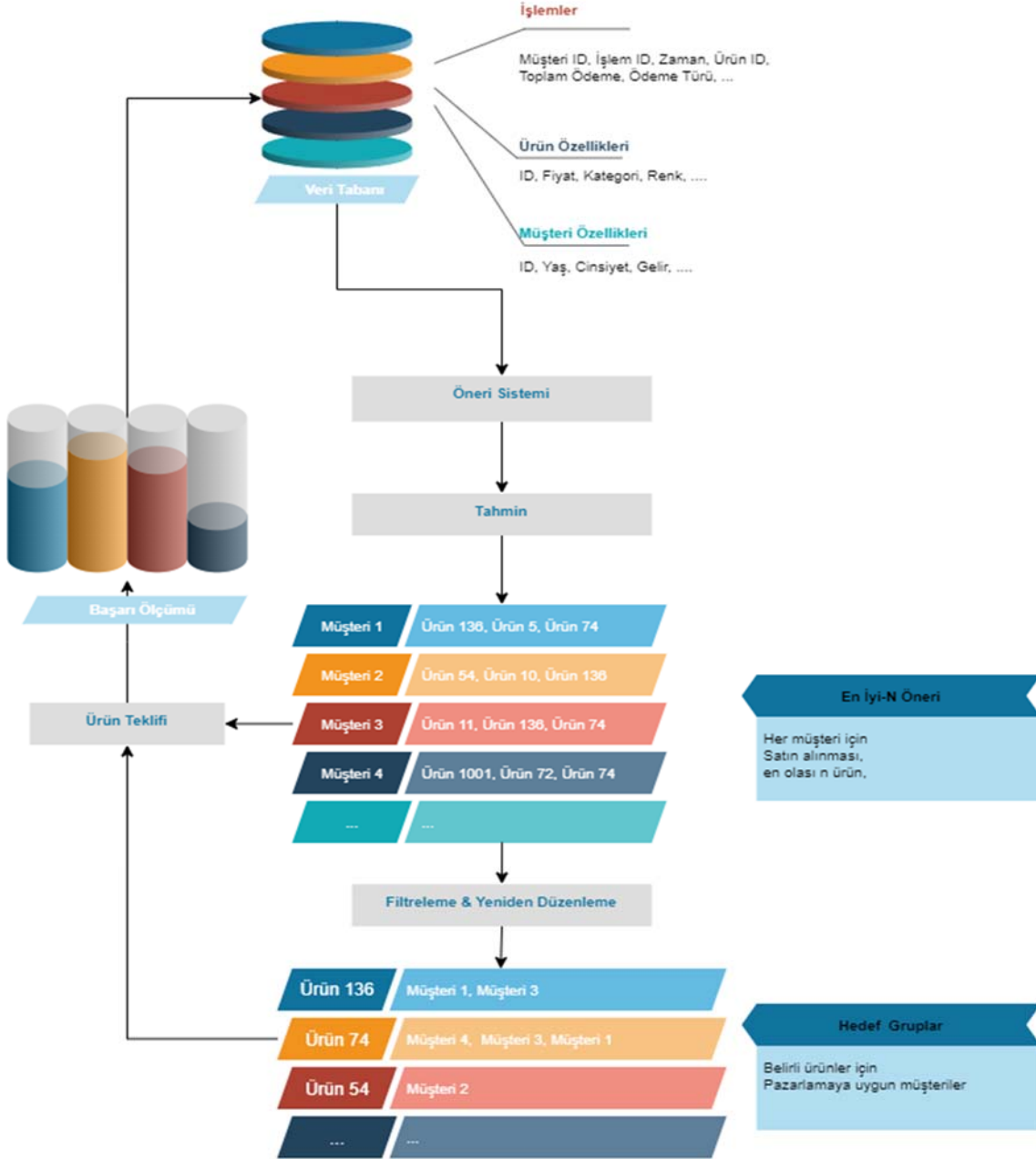
Bir çevrimiçi perakendecinin portföyündeki toplam müşteri sayısı U olarak gösterilirse, ID ile kayıtlı her bir müşteri, u , ($u \in \{1, \dots, U\}$), N_u işlemleri göstermek üzere, belli bir periyotta kaydedilmiş bir satın alma geçmişine, i_u, N_u , sahip olacaktır. Her satın alma davranışında bir zaman damgası $t_{u,n}$, ve bir ürün, $i_{u,n}$, bulunmaktadır. Tüm işlemlerin her bir müşteri için kronolojik olarak sıralandığı varsayılmaktadır. Bir başka ifadeyle; her bir müşterinin, $u \in \{1, \dots, U\}$ satın aldığı her ürün $i_{u,1} \leq i_{u,2}$ için $t_{u,1} \leq t_{u,2}$ olacaktır. Bu durumda verilen bir tarihsel veri için: $\{(t_{u,n}, i_{u,n}) | n = 1, \dots, (N - 1)_u\}$ problem, söz konusu müşteri için, gelecek satın almadaki N_u , ürünün önceden belirli bir katalog, $i \in \{i_{U,N_u}\}$ içerisinde hangisi olacağının tahmini şeklinde tanımlanabilir.

Çizelge 1. İşlemler veri seti temsili gösterimi

Müşteri ID	İşlem ID	Zaman damgası	Ürün
u	n	$t_{u,n}$	$i_{u,n}$
1	1	$t_{1,1}$	$i_{1,1}$
...
1	N_1	t_{1,N_1}	i_{1,N_1}
2	1	$t_{2,1}$	$i_{2,1}$
...
U	1	$t_{U,1}$	$i_{U,1}$
...
U	N_u	t_{U,N_u}	i_{U,N_u}

Öte yandan bu şekilde tanımlanmış bir problem, zamansal sınırlamalar eklenmek suretiyle genişletilebilir. Başka bir ifadeyle herhangi bir müşterinin t_a ve t_b zaman aralığındaki alışverişleri veri olmak suretiyle t_b 'den belirli bir süre sonraki satın almada hangi ürünün tercih edileceğinin tahmini şekline getirilebilir.

Şu ana kadar bahsedilen tüm veri öğeleri kronolojik olarak sıralanabildiği için zincir olarak ele alınabilir. Ancak, müşterilere özgü değişkenleri içeren verilerin herhangi bir zaman özelliği olmadığından, bunlar statik özellikler olarak kabul edilir. Çizelge 1'e, müşteriye ait değişkenler ve ürüne ait değişkenler gibi yan bilgi kaynaklarından oluşan farklı veri kümeleri ilave etmek de mümkündür.

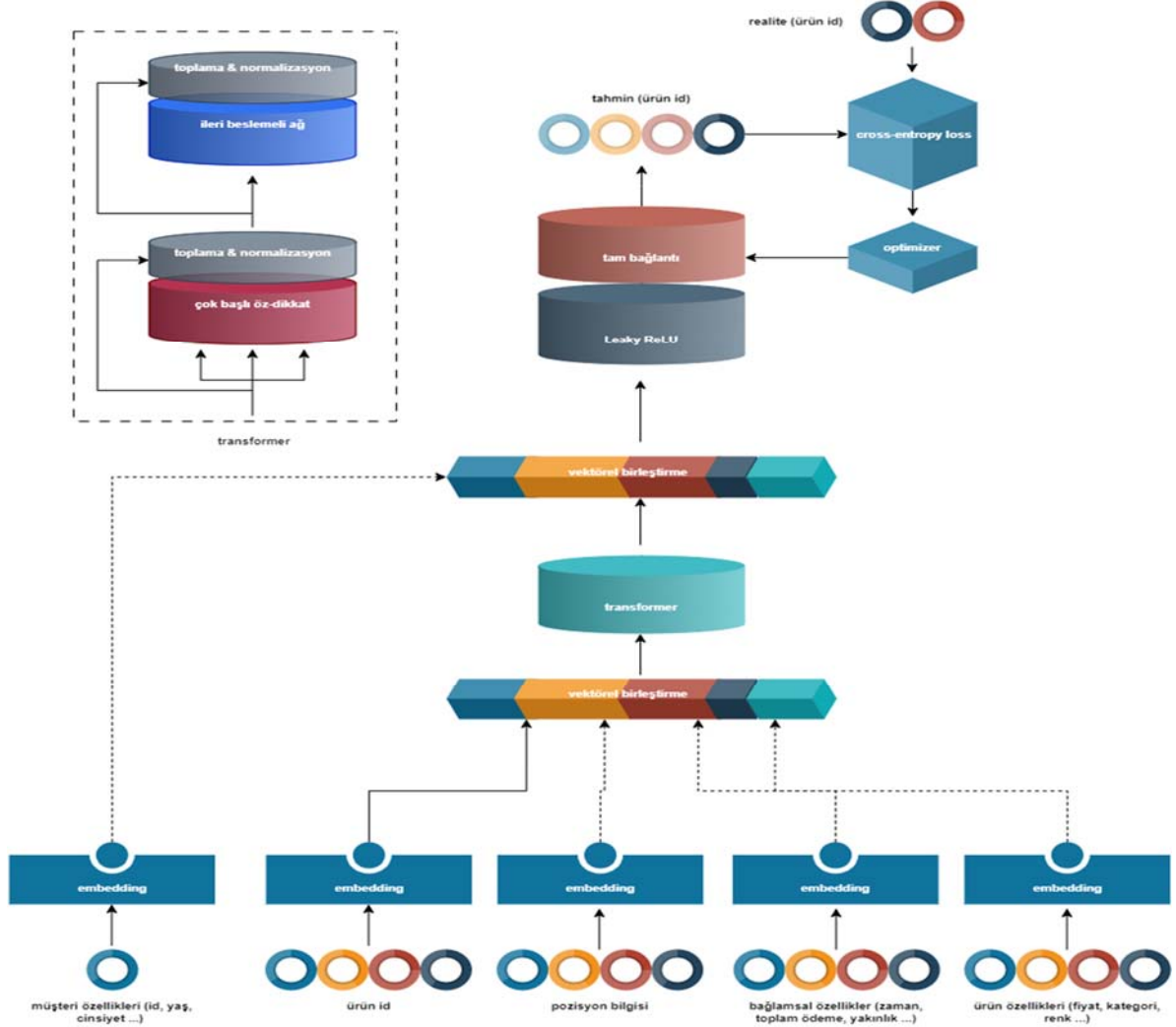


Şekil 1. Çapraz satış sisteminin genel çerçevesi

3.2. Önerilen RS Modeli

Bu çalışmada, farklı yan bilgi kaynaklarının da eklenmesi ve BST modelinin çevrimiçi alışverişte satın alma verisine uyarlanmasıyla elde edilecek,

orijinal çalışmadan [34] farklı olarak ön filtrelemeye tabi tutulmaksızın tüm katalog ürünleri üzerinde olasılık dağılımını üretebilecek bir RS modeli önerilerek test edilecektir. Şekil 2, modelin bileşenlerinin tam bağlantı yapısını göstermektedir.



Şekil 2. Transformer yapısını da kapsayan, modelin şematik gösterimi

3.2.1. Girdi Yapısı

Şekil 2'de görülen girdiler içerisinde “ürün id” müşterinin satın alma geçmişine atıfta bulunurken, ürüne bağlı diğer girdiler ayrı olarak gösterilmiştir. Satın alma geçmişi ise sadece pozitif olarak temsil edilebilen örtük geri bildirimdir. Buna ilaveten, ürünlerin gömülü pozisyonel konumlarının da girdilere eklenmesi önerilmiştir [16,34]. Pozisyonel konumlar her bir olay için sıra bilgisini tutmakta olup bu modelde bir seçenek olarak dikkate alınmıştır. Alışveriş olayının bağlamına vurgu

yapan ödeme biçimi, toplama ödeme miktarı, olay günü gibi girdilerin ve müşteriye özgü zamana göre değişmediği varsayım olarak kabul edilen, cinsiyet, yaş, gelir gibi girdilerin modele beslenmesi ve model içindeki yayılımı Şekil 2 de gösterildiği gibidir. Daha önce bahsedildiği gibi (bkz. Bölüm 1) bu çeşit bir verinin toplanabilmesindeki zorluklara binaen model girdileri arasında bir seçenek olarak yer almıştır.

Zamana bağlı olarak anlam ifade ettiği düşünülen tüm girdiler bir zincir vektörü haline getirilerek

kullanılmaktadır. Orijinal çalışmanın [34] aksine bu çalışmada ürüne bağlı özellikler de her satın alma olayında ürünün değişebileceği varsayımı ile sıralı olarak düşünülere kullanılmıştır. Bununla ilaveten girdilerin kodlanarak daha düşük boyutlarda temsil edilebilmesi amacıyla Şekil 2’de görülen ilk katman gömülü (embedding) katmandır. Modelin bu kısmında bir seçenek olarak girdilerin öncelikle kesikli hale getirilmesi ve 1 ve 0 gösterimi (one-hot-encoding) ile kodlanması da mümkündür.

Kodlanan tüm girdilerin transformer katmanına aktarılabilmesi için birbirlerini eklenerek birleştirilmesi ve tek bir vektör olarak temsil edilebilmesi gereklidir.

3.2.2. Transformer Katmanı

Şekil 2’de görülen kodlanmış sıralı verinin yayıldığı ilk yer transformer katmanıdır. Bu bölüm modelin ürünlerin birbirleri ile ilişkilerini içerebilecek şekilde yeni bir gösterimini öğrendiği kısımdır. Şekil 2’deki detay gösteriminde fark edildiği gibi çok başlı öz-dikkat mekanizmasını bünyesinde barındırmaktadır. Genel olarak dikkat mekanizması, model eğitimi sırasında belirli özellik bilgilerine odaklanabilme amacıyla görüntü işleme alanında önerilmiştir. Öz dikkat veya iç-dikkat mekanizması ise girdilerin içsel bağlantılarına odaklanarak, girdiler arası bir iç bağlantı vektörü hesaplar bu sayede harici veri bağımlılığını azaltan bir gelişme olarak kabul edilir [16,35]. Genel dikkat mekanizması modelin çıktısıyla ilgili önemli bölümleri keşfetmeye çalışırken, öz dikkat mekanizması, girdilerin birbirleriyle ilgili önemli kısımları bulmaya çalışmaktadır [36].

Orijinal çalışmalarında [16] ölçeklendirilmiş noktasal-çarpım dikkat (Scaled Dot-Product Attention) olarak adlandırdıkları hesaplama çok başlı öz dikkat mekanizmasının giriş katmanını oluşturmaktadır. Bu sistemde girdi, d_k boyutlu sorgu ve anahtarlar (Query and Keys, Q, K) ve d_v boyutlu değerlerden (Values, V) oluşur. Sorgular tüm anahtarlarla noktasal çarpıma tabi tutulmakta ve her biri $\sqrt{d_k}$ ile bölünmektedir, değerler üzerinde ağırlıkları elde etmek için *softmax* fonksiyonunu uygulanmaktadır. Ölçeklendirilmiş

noktasal-çarpım dikkat 3 adet çıktı matrisi hesaplamakta ve çok başlı bir öz dikkat mekanizmasına iletmektedir [16,36]:

$$\begin{aligned} \text{Attention}(Q, K, V) &= \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V \\ S &= MH(E) \\ &= \text{Birleştire}(head_1, head_2, \dots, head_n)W^H, \\ head_i &= \text{Attention}(EW^Q, EW^K, EW^V) \end{aligned}$$

Bu ifadelerde W^Q, W^K, W^V üç adet projeksiyon matrisini göstermekte iken E , gömülü girdi matrislerini göstermektedir. T , toplam pozisyon sayısını, H , toplam head (baş) sayısını ifade etmektedir.

3.2.3. Tam Bağlantılı Katmanlar

Bu bölüm modelin tam bağlı sinir ağı katmanlarını içermektedir (bkz: Şekil 2). Modelin girdi ve çıktıları arasındaki ilişki bu bölümde açıkça görülür. Eğitimde modele beslenen çıktı, ürün girdi dizisinin bir zaman adımı kaydırılması sonucu elde edilen dizinin son ögesidir. Bu öge müşterinin satın aldığı son ürünü temsil etmekle beraber öncesinde satın aldığı ürünler modele bir girdi olarak sunulmaktadır. Bir tahmin modeli olarak her bir müşteri için sadece ürünlerden oluşan girdi: $\{(t_{u,n}, i_{u,n}) | n = 1, \dots, (N-1)_u\}$ iken; çıktı: $\{t_{u,N}, i_{u,N}\}$ olacaktır. Modelin son katmanı, eğitimde kullanılan tüm ürünlerin katalog boyutu şeklinde tahminleri içerir. Yüksekten düşüğe doğru sıralanmış olasılıklardan, önceden belirli bir sayı olarak, ilk k tanesi, söz konusu müşteri için öneri listesini oluşturacaktır.

Farklı bir bakış açısından modelin çıktıları bazı yönlerden bir sınıflandırma temelli çıktılar olarak kabul edilebilecektir [20]. Bu nedenle, böyle bir sınıflandırma hedefi için minimize edilecek bir kategorik çapraz entropi (Categorical Cross-Entropy) kayıp fonksiyonu uygun olacaktır:

$$L = \sum_{m=1}^M y_m \log p(m)$$

M , eğitim verisindeki farklı ürün sayısını, y_m , olması gereken ürünü, $p(m)$ ise tüm ürünler üzerinde olasılık dağılımını göstermektedir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bölüm 3'te tanıtılan RS yapısı, açık kaynak Python kütüphaneleri sayesinde uygulanmış ve test edilmiştir. Çok başlı dikkat, doğal dil işleme yöntemleri gibi bazı uygulamalarda Keras, [37] ve Tensorflow [38] kütüphanelerinin sunduğu hazır katmanlar ve yapılar kullanılmıştır. Tüm GPU tabanlı deneyler için, Kaggle [39] platformunun sunduğu bir adet ücretsiz Tesla P100-PCIE-16 GB GPU kullanılmıştır. Bu bölümde elde edilen sonuçlar [32]'de elde sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Bu nedenle veri seti seçimi ve üzerinde yapılan tüm işlemler kıyaslama yapılabilmesi açısından çalışmada tarif edildiği gibidir.

4.1. Veri Seti İşlemleri

Deneysel çalışmanın yürütülebilmesi için sıralı ve statik türden değişkenleri aynı anda içerebilen bir veri setine ihtiyaç bulunmaktaydı. Bu türden bir veri seti alışveriş tarihçesini ürüne bağlı özellikleri ve müşterilere özgü değişkenleri içermelidir. Bu nedenle açık kaynaklı bir çevrimiçi alışveriş veri seti tercih edilmiştir: Pakistan's Largest E-Commerce Dataset, [40]. Veri seti Temmuz 2016'dan Ağustos 2018'e kadar zaman damgalarıyla birlikte, yaklaşık yarım milyon sipariş kaydı, ilgili ürünlerin kategorileri, fiyatları ve sipariş edilen miktarları ve diğer özellikleri içermektedir. Her müşteri işlemi için bir kayıt vardır ve her müşteri için satın aldığı ürünlere bağlı olarak birden çok kayıt bulunabilir. Veri seti sadece tamamlanmış siparişler filtrelenerek kullanılmış olup bu açıdan 233.685 gözlem içerir.

Çizelge 2. İlgili olabilecek uygun kolonların filtrelenmesiyle elde edilen veri seti

Kolon Adı	Açıklama
t_id	Her bir işlem için anahtar
t_date	İşlem tarihi
c_id	Her bir müşteri için anahtar
c_since	Müşterinin sisteme kayıt tarihi
item_name	Ürün ismi
item_category	Ürün kategorisi
price	Her bir ürünün fiyatı
amount	Her bir işlem için işlem miktarı

Gerek içerdiği kayıtların kalitesi ve gerekse modelde kullanmaya uygunluk açısından kullanılabilir olan tüm özellikler kolon başlıklarında filtrelenerek ayrılmıştır. Bu kolonların isimleri ve kısa açıklamaları Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 3, her bir müşterinin yaptığı satın alma sayısının dağılımına ilişkin özet istatistikleri içerirken, Çizelge 4'te her bir ürünün satın alma sayısının dağılımına ilişkin özet bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 3. Müşterilerin satın alma sayılarına göre özet istatistik değerler

Minimum	1,0
1. Çeyrek	1,0
Ortalama	5,2
Standart sapma	26,95
3. Çeyrek	3,0
Maksimum	2863,0

Çizelge 4. Ürünlerin satın alınma sayılarına göre özet istatistik değerler

Minimum	1,0
1. Çeyrek	1,0
Ortalama	3,48
Standart sapma	16,82
3. Çeyrek	3,0
Maksimum	1657,0

Çizelge 3 ve 4'te özetlendiği gibi, veri setindeki müşterilerin çoğunluğunun sadece bir satın alma işlemi yaptığı ve bazı ürünlerin nadir gözlemlendiği tespit edilmiştir. Veri setinde gözlenen bu tarz bir seyrekliliğin üstesinden gelmek için, Bogaert ve arkadaşlarının [7] çalışmasında tarif edildiğine benzer bir yaklaşım kullanılmıştır. Bununla beraber çalışmada müşterilerin satın alma geçmişi önemli yer tutmaktadır, bu tarz bir geçmişten söz edilemeyen müşteri kayıtları veri setinden çıkarılmıştır. İlk filtreleme işleminde, iki satın alma işleminden daha az işleme sahip olan müşteriler çıkarılmıştır. İkinci filtrelemede ise iki defadan az satın alınmış nadir ürünler veri setinden elenmiştir. Çok nadir gözlenen ürün kategorileri için ise "diğer" adı altında bir kategori oluşturulmuş ve 2.500'den az gözlenen kategorilerdeki tüm ürünler

bu yeni kategori altına yerleştirilmiştir. Bu işlemlerden sonraki veri bileşimi Çizelge 5'te özetlendiği gibi olmuştur. Çizelge 5, tüm veri önileme adımları tamamlandıktan sonra elde edilen veri setinin içeriğini göstermektedir.

Çizelge 5. Önilemeden sonra elde edilen veri seti görünümü

İşlem sayısı	150.075
Müşteri sayısı	25.562
Ürün sayısı	12.861
Ürün kategorisi sayısı	13

Dizi olarak ele alınabilecek öznitelikler, bağlamsal özellikler olarak hazırlanmıştır. Türetilen bağlamsal özellikler aşağıda açıklanmıştır:

recency: Satın alınan her ürün için satın alma tarihi ile modelleme tarihi arasındaki gün sayısıdır. Değerleri 1 ile 100 arasında kategorize edilmiştir.

month: Her satın alınan ürünün ay numarası, 1 ile 12 arasında bir tamsayı olarak ifade edilir.

dayofweek: Her satın alınan ürünün haftalık gün numarası, 1 ile 7 arasında bir tamsayı olarak ifade edilir.

payment: Her işlem için ödenen toplam para miktarıdır. Fiyat ve miktarın çarpımıyla elde edilir. Değerleri 1 ile 1000 arasında kategorize edilmiştir.

Anahtar numaralı hariç ürüne bağlı özellikler de dönüştürülüp kullanılmıştır:

price: Ürün fiyatından oluşturulmuş olup değerleri 1 ile 500 arasında kategorize edilmiştir.

category: Her bir ürünün dahil olduğu kategoriyi ifade etmektedir. 1 ile 13 arasında bir tamsayı olarak ifade edilir. Bununla beraber, kullanıcı profiline uygun öneri oluşturma fırsatlarını yakalamak için statik veri özelliklerinin entegrasyonu da kullanılmaktadır. Bu amaçla, sisteme kaydolma tarihi ile modelleme tarihi arasındaki gün sayısı başka bir özellik olarak kullanılmaktadır (*customer_since*). Değerleri 1 ile 100 arasında kategorize edilmiştir.

Tüm müşteri satın alma olayları zaman sırasına konulmuştur. Ürün kimlikleri ve ürünle ilgili ek özellikler kodlanarak sıralı diziler oluşturulmuştur. Tüm müşteriler eşit miktarda işlem yapmadığından, değeri deneysel olarak belirlene bir sayı kadar işlem sıralanmış eksik satın alma olayları 0 yazılarak doldurulmuştur. Model eğitimi aşaması için, her müşterinin son satın alma etkinliği realite olarak tutulmuş ve önceki etkinlikler girdi olarak saklanmıştır. Son etkinlik hariç tüm satın alma etkinliklerine ait diziler, modele girdi olarak verilmektedir.

4.2. Modelleme

Modeller, iki ayrı senaryoya göre eğitime tabi tutulup kıyaslanmıştır. İlk senaryo Monte Carlo Çapraz Doğrulama (MCCV) [41] tekniğidir. İkincisi eğitim öncesinde ayrılmış bir test veri seti üzerinde performans ölçümüdür. Yaklaşık olarak %10'luk bir kayıt rastgele seçilmiş ve test amaçlı ayrılmıştır. Geri kalanı üzerinde ise, k katlı alt örnekler halinde bölmek yerine, tekrarlı rastgele yeniden örnekleme ve doğrulama tekniği uygulanmıştır. MCCV, modelleme kısmının yaklaşık %80'inin eğitim ve %20'sinin doğrulama için rastgele bölündüğü şekilde beş kez gerçekleştirilir. Tüm doğrulama denemeleri maksimum 200 iterasyon (epoch) ve erken durdurma sistemi ile çalıştırılmıştır. Denemeler, her iterasyonda, doğrulama setinde bir performans metriği hesaplanması ve ardışık üç iterasyonda herhangi bir iyileşme elde edilemezse, çalışmayı durduracak şekilde ayarlanmıştır.

Hiper-parametrelerin en uygun değerlerinin ayarlanabilmesi için, grid arama yöntemi uygulanmış olup, veri setinin her yeniden örneklemeinden bir hiper-parametre birleşimi denenmiştir. Kombinasyon sayısı yüksek olacağından bazı hiper-parametreler ön deneyleri ile sabitlenmiştir. Öğrenme oranı ve optimizasyon değeri değiştirilerek anlamlı bir iyileşme gözlenememesinden dolayı bunlar, sırasıyla 0.0001 ve "adaptive momentum optimizer" (ADAM) olarak sabitlenmiştir. Öte yandan, dropout oranı %20 olarak sabitlenmiş, amaç fonksiyonu değiştirilmemiş ve ekstra gizli katmanlar eklemenin de anlamlı bir iyileştirme sağlamadığı görülmüştür.

Üç başlı öz dikkat sistemi kullanılmış olup giriş katmanının boyutu içi modelin tüm girdileri birleştirildiğinde elde edilen boyut miktarı ve bunun iki katı denenmiştir. Tam bağlantılı çıktı katmanı ve gömülü ürün vektörlerinin çıktı boyutu için 512 ve 1024 sayıları denenmiştir. Sıralı dizi pozisyon değerleri için 10 ve 12 sayısı üzerinden denemeler yapılmıştır. Bu sayının giderek yükselmesi olumlu sonuçlar verirken modelin hafıza kullanımını giderek arttırmaktadır.

4.2.1. Performans Ölçümü

Modellerinin performansını değerlendirmek için temel bir değerlendirme metriği olarak hit rasyosu (HR) kullanılmaktadır. Validasyon setindeki bir ürünün önerilen ilk k içinde yer alması durumunda, bir "hit" olarak sayılır [42]. Böylece, $HR(k)$ şu şekilde hesaplanır:

$$HR(k) = \text{toplam hit} / \text{validasyon seti büyüklüğü}$$

Diğer bir popüler metrik olarak kabul edilen, üst sıralarda elde edilen sonuçlara daha fazla önem veren marjinal oransal fayda ile başarılı sonuçları art arda düşük sıralara yerleştiren normalize edilmiş, indirilmiş kümülatif kazanç (NDCG) [42], bu çalışma için adapte edilmiştir:

$$NDCG(k) = Z_k \sum_{n=1}^k (2^{r_i} - 1) / \log_2(i + 1)$$

Z_k , en iyi sonucun 1 olmasını garanti etmek üzere bir normalize edici, r_i , i 'nci pozisyonundaki ürün için derecelendirilmiş isabet oranıdır. Eğer önerilen bir ürün validasyon setinde ise r_i 1 değerini, değilse 0 değerini almaktadır.

Metrikler, satın alınan ürün numarasını doğru etiket olarak kabul etmek suretiyle hesaplanır. Gerçek etiketler, son satın alınan ürün numarasıdır. Ayrıca, model çıktısındaki sıralanmış olasılıklardan en üst $k=20$ olasılığa karşılık gelen ürünlerden öneri listesi oluşturulur.

4.3. Sonuçlar

Çapraz validasyon ortalama sonuçları, en iyi hiperparametre birleşimleri itibariyle Çizelge 6'da

özetlendiği gibidir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aynı yaklaşımla modellenmiş daha önceki çalışmayla [32], bu çalışmada elde edilmiş en iyi iki sonuçla kıyaslanmıştır.

Çizelge 6. MCCV ortalama değerleri itibariyle performans metrikleri (en iyi değerler koyu olarak gösterilmiştir)

	Bu çalışma	Kalkan ve Şahin (2022) [32]	
	Transformer	Model 3	Model 4
HR(20)	0,3204	0,3169	0,3184
NDCG(20)	0,2606	0,2332	0,2330

Çizelge 7. Test seti üzerinde en iyi iterasyondaki performans metrikleri (en iyi değerler koyu olarak gösterilmiştir)

	Bu çalışma	Kalkan ve Şahin (2022)[32]	
	Transformer	Model 3	Model 4
HR(20)	0,3109	0,3007	0,2944
NDCG(20)	0,2332	0,2123	0,2150

Test seti, modelleme sürecinin başında ayırdığımız veri kümesinin yaklaşık %10'u kadarlık kısmıdır. Test seti modelin önceden görmediği gözlemlerden oluştuğu için, bu sonuçlar modelin genelleme performansının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Modeller, çapraz validasyon bölümünde elde edilen minimum kayıp değeri üreten birleşimleri ile test seti üzerinde çalıştırılmışlardır. Her modelin performansı test setinde 100 iterasyon boyunca takip edilmiş ve en iyi sonucu üreten iterasyon değerleri Çizelge 7'de özetlenmiştir.

Bu sonuçlara göre transformer modeli daha önce önerilmiş özyinelemeli sinir ağları ile geliştirilmiş öneri sistemlerden daha iyi sonuçlar üretmiştir. Özellikle NDCG(20) metriği açısından oldukça belirgin bir iyileşme gözlenmiştir.

5. BULGULAR

Bu çalışmada, mevcut müşteri portföyüyle ilerlemenin nasıl mümkün olabileceği şeklinde özetlenebilen bir iş problemi ortaya atılmıştır. Çapraz satış açısından, analitik tahmin araçlarının etkili çözümler olarak dikkate alınması

önerilmektedir. Doğal dil işleme alanında önemli bir araç olarak son zamanlarda popüler olan transformer ile RS uygulamaları bu alanda halen yeni sayılabilir. Bununla beraber, bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, daha önce önerilmiş yöntemler üzerinde önerilen değişiklikler ile açıkça bir iyileştirme sağlanabileceği gösterilmiştir.

CRM uygulamaları açısından müşterinin satın alabileceği bir sonraki ürünün ne olabileceğini tahmin etmek ve karar aşamasında bu ürünleri müşteriye önerilebilir, genellikle zor bir görevdir. Bu çalışmadan elde edilebilecek bir diğer bulgu ise, RS uygulaması kullanmanın daha derin bir kataloğa sahip bir çevrimiçi perakendeci için karlı görüldüğüdür. Örneğin, bu çalışmada önerilen model, test setinin 2.636 müşterisinden, önceki modellere göre 50 daha fazla pazarlanabilir müşteri tahmini oluşturur. Bir öneri listesi, her müşterinin bir sonraki satın alacağı en muhtemel ürünleri bulmak amacıyla kullanılabilir ve pazarlanabilir ürün tahminleri belirli bir ürünü filtreleyerek kolayca pazarlanabilir müşterilere dönüştürülebilir. Benzer RS uygulamaları gibi, transformer kullanımı da ürünlerin ve müşterilerin seyrekliği gibi daha önce sözü edilen bazı sınırlamaları doğrudan aşmamaktadır. Bu modellerin bu tarz bir seyreklikle iyi çalışmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle, yeterli satın alma geçmişi olmayan müşterilerin bu sisteme dahil edilebilmesi için sezgisel yöntemlerin de dikkate alınmasını gerektirir.

Bu çalışmada kullanılan transformer temelli model 262 milyonun üzerinde parametrenin optimum değerini araştırmıştır. Verinin non-lineer fonksiyonlardan yayıldığı da dikkate alındığında yüksek sayılabilecek bir hesaplama maliyetinin ortaya çıkışı da bir kısıtlılık unsuru olarak dikkate alınmalıdır.

Transformer, kendi başına bu kapsamda oldukça değerli bir araçtır. Bunun yanı sıra, gelecek çalışma alanları açısından daha fazla doğal dil işleme araçlarının bu alana adapte edilmesi dikkate değer bir çaba olarak görülmektedir. Gelecek çalışmalarda, daha önce önerilmiş geniş ve derin ağ [33] mimarisini kullanan modellerin de bir

kıyaslama unsuru olarak dahil edildiği, daha geniş kapsamlı uygulamalar düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Akçura, M.T., Srinivasan, K., 2005. Customer Intimacy and Crossselling Strategy. *Manage Sci*, 51(6), 1007-1012.
2. Kamakura, W.A., Wedel, M., Rosa, F., Mazzon, J.A., 2003. Crossselling Through Database Marketing: A Mixed Data Factor Analyzer for Data Augmentation and Prediction. *Int J Res Mark*, 20, 45-65.
3. Reinartz, W.J., Kumar, V., 2003. The Impact of Customer Relationship Characteristics on Profitable Lifetime Duration. *J Mark*, 67, 77-99.
4. Kamakura, W.A., 2008. Cross-Selling: Offering the Right Product to the Right Customer at the Right Time. *J Relationship Market*, 6(3-4), 41-58.
5. Ansel, J., Archibald, T., 2007. Identifying Cross-Selling Opportunities, Using Lifestyle Segmentation and Survival Analysis. *Mark Intell Plan*, 25(4), 394-410.
6. Knott, A., Hayes, A., Neslin, S.A., 2002. Next-Product-to-Buy Models for Cross-Selling Applications. *J Interact Mark*, 16(3), 59-75.
7. Bogaert, M., Lootens, J., Van den Poel, D., Ballings, M., 2019. Evaluating Multi-Label Classifiers and Recommender Systems in the Financial Service Sector. *Eur J Oper Res*, 279(2), 620-634.
8. Zhang, L., Priestley, J., De Maio, J., Ni, S., Tian, X., 2021. Measuring Customer Similarity and Identifying Cross-Selling Products by Community Detection. *Big Data*, 9(2), 132-143.
9. Lü, L., Medo, M., Yeung, C., Zhang, Y., Zhang, Z., Zhou, T., 2012. Recommender Systems. *Phys Rep*, 519, 1-49.
10. Hu, Y., Koren, Y., Volinsky, C., 2008. Collaborative Filtering for Implicit Feedback Datasets. *Eighth IEEE International Conference on Data Mining*, 263-272.
11. Geuens, S., Coussement, K., De Bock, K.W., 2017. A Framework for Configuring Collaborative Filtering-Based Recommendations Derived from Purchase Data. *Eur J Oper Res*, 265(1), 208-218.

12. Verstrepen, K., Bhaduriy, K., Cule, B., Goethals, B., 2017. Collaborative Filtering for Binary Positiveonly Data ACM SIGKDD Explor Newslett, 19(1), 1-21.
13. Adomavicius, G., Tuzhilin, A., 2005. Toward the Next Generation of Recommender Systems: A Survey of the State-of-the-Art and Possible Extensions. IEEE Trans Knowl Data Eng, 17(6), 734-749.
14. Zhang, S, Yao, L., 2019. Deep Learning Based Recommender System: A Survey and New Perspectives. ACM Comput Surv, 52(1), 1-38.
15. Devoght, R., Bersini H., 2017. Collaborative Filtering with Recurrent Neural Networks, 1-9.
16. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N. 2017. Attention is All You Need Adv. Neural Inf. Process. Syst. Nips, 5999-6009.
17. Thuring, F., Nielsen, J.P., Guillen, M., Bolance, C., 2012. Selecting Prospects for Cross-Selling Financial Products Using Multivariate Credibility. Expert Syst Appl, 39, 8809-8816.
18. Martinez, A., Schmuck, C., Pereverzyev, S., Pirker, C., Haltmeier, M., 2020. A Machine Learning Framework for Customer Purchase Prediction in the Non-Contractual Setting. Eur J Oper Res, 281(3), 588-596.
19. Chou, P., Chuang, H-C., Chou, Y-C., Liang, T-P., 2021. Predictive Analytics for Customer Repurchase: Interdisciplinary Integration of Buy Till You Die Modeling and Machine Learning. Eur J Oper Res, 296(2022), 635-651.
20. Tan, Y.K., Xu, X., Liu, Y., 2016. Improved Recurrent Neural Networks for Session-Based Recommendations. Proceedings of the 1st Workshop on Deep Learning for Recommender Systems, 17-22.
21. Li, S., Kawale, J., Fu, Y., 2015. Deep Collaborative Filtering via Marginalized Denoising Auto-Encoder. Proceedings of the 24th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM '15), 811-820.
22. Lee, D.D., Seung, H.S., 2000. Algorithms for Non-Negative Matrix Factorization. Proceedings of the 13th International Conference on Neural Information Processing Systems, 535-541.
23. Salakhutdinov, R., Mnih, A., 2008. Bayesian Probabilistic Matrix Factorization Using Markov Chain Monte Carlo. Proceedings of the 25th International Conference on Machine Learning, 880-887.
24. He, X., Liao, L., Zhang, H., Nie, L., Hu, X., Chua, T., 2017. Neural Collaborative Filtering. Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web, 173-182.
25. Zhang, S., Yao, L., 2019. Deep Learning Based Recommender System: A Survey and New Perspectives. ACM Comput Surv, 52(1), 1-38.
26. Salakhutdinov, R., Mnih, A., Hinton, G., 2007. Restricted Boltzmann Machines for Collaborative Filtering. Proceedings of the 24th International Conference on Machine Learning, 791-798.
27. Donkers, T., Benedikt, L., Ziegler, J., 2017. Sequential User-Based Recurrent Neural Network Recommendations. Proceedings of RecSys, 17, 27-31.
28. Hidasi, B., Karatzoglou, A., 2018. Recurrent Neural Networks with Top-k Gains for Session-Based Recommendations. The 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'18), 843-852.
29. Hidasi, B., Karatzoglou, A., Baltrunas, L., Tikk, D., 2016. Session-Based Recommendations with Recurrent Neural Networks, 4th International Conference on Learning Representations (ICLR), 1-10.
30. Wu, S., Ren, W., Yu, C., Chen, G., Zhang, D., Zu, J., 2016. Personal Recommendation Using Deep Recurrent Neural Networks in NetEase. IEEE 32nd International Conference on Data Engineering (ICDE), 1218-1229.
31. Smirnova, E., Vasile, F., 2017. Contextual Sequence Modeling for Recommendation with Recurrent Neural Networks. Proceedings of the 2nd Workshop on Deep Learning for Recommender Systems, 2-9.
32. Kalkan, İ.E., Şahin, C., 2022. Evaluating Cross-Selling Opportunities with Recurrent Neural Networks on Retail Marketing. Neural Computing and Applications, 35(8), 6247-6263.
33. Cheng, H.T., Koc, L., Harmsen, J., Shaked, T., Chandra, T., Aradhye, H., Anderson, G., Corrado, G., Chai, W., Ispir, M., 2016. Wide and Deep Learning for Recommender Systems.

- Proceedings of the 1st Workshop on Deep Learning for Recommender Systems, 7-10.
34. Chen, Q., Zhao, H., Li, W., Huang, P., Ou, W., 2019. Behavior Sequence Transformer for e-commerce Recommendation in Alibaba. Proceedings of the 1st International Workshop on Deep Learning Practice for High-Dimensional Sparse Data, 1-4.
 35. Li, W., Qi, F., Tang, M., Yu, Z., 2020. Bidirectional LSTM with Self-Attention Mechanism and Multi-Channel Features for Sentiment Classification. *Neurocomputing*, 387, 63-77.
 36. Katrompas, A., Metsis, V., 2022. Enhancing LSTM Models with Self-Attention and Stateful Training. *Intell Syst Appl*, 217-235.
 37. Keras. <https://keras.io/>, Erişim Tarihi: 06.09.2022
 38. Abadi, M., Agarwal, A., Barham, P., Brevdo, E., Chen, Z., Citro, C., Corrado, G.S., Davis, A., Dean, J., Devin, M., Ghemawat, S., Goodfellow, I., Harp, A., Irving, G., Isard, M., Jozefowicz, R., Jia, Y., Kaiser, L., Kudlur, M., Zheng, X., 2015. TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems. Tensorflow. <https://tensorflow.org/>, Erişim Tarihi: 06.09.2022.
 39. Kaggle. Your Machine Learning and Data Science Community. <https://www.kaggle.com/>, Erişim Tarihi: 06.09.2022.
 40. Pakistan's Largest E-Commerce Dataset, Version 2, <https://www.kaggle.com/datasets/zusmani/pakistans-largest-e-commerce-dataset/> Erişim Tarihi: 06.9.2022.
 41. Xu, Q-S., Liang, Y-Z., 2001. Monte Carlo Cross Validation. *Chemom Intell Lab Syst*, 56(1), 1-11.
 42. He, X., Chen, T., Kan, M.Y., Chen, X., 2015. TriRank: Review-Aware Explainable Recommendation by Modeling Aspects. CIKM'15: Proceedings of the 24th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, 1661-1670.

Body Temperature Related Risk Factor Assessment Using RFID Sensor Tags

Reyat YILMAZ^{*1} ORCID 0000-0001-9108-0576

Özgür TAMER¹ ORCID 0000-0002-5776-6627

R. Alp KUT² ORCID 0000-0002-5781-334X

Nihal FİDAN³ ORCID 0009-0008-4905-2967

¹Dokuz Eylül University, Electrical and Electronics Engineering Department, İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül University, Computer Engineering Department, İzmir, Türkiye

³Akar Tekstil A.Ş. 10000 Sokak No:3 İAOSB, 35620 Çiğli/İzmir, Türkiye

Geliş tarihi: 02.02.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

Atıf şekli/ How to cite: YILMAZ, R., TAMER, Ö., KUT, R.A., FİDAN, N., (2023). Body Temperature Related Risk Factor Assessment Using RFID Sensor Tags. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(2), 585-592.

Abstract

Detecting and identifying individuals with high body temperature can be critical for preventing the spread of diseases with high body temperature as a symptom like COVID-19. Thermal cameras or manual temperature inspection methods are widely used to identify elevated body temperature. In this work, we propose a novel method to identify and track people with higher disease risk, including the body temperature change of each person in a specified community and other risk factors like family backgrounds, habits, and social life. Results show that each person's body temperature can be tracked and recorded with the user's ID number every time the user passes from specific locations equipped with RFID readers. By using an artificial intelligence-supported risk scoring system, a risk factor is evaluated based on the parameters defined accordingly. If the evaluated risk score of the user is above a specific value, the system generates an alarm to isolate the person with a high-risk score. Therefore, isolating any potentially infected individual helps health professionals reduce the spreading speed of infections through isolated communities.

Keywords: RFID, Sensor tag, Body temperature tracking, Risk assessment, Machine learning

RFID Sensör Etiketleri Kullanarak Vücut Sıcaklığı İle İlgili Risk Faktörü Değerlendirmesi

Öz

Yüksek vücut sıcaklığına sahip kişilerin tespit edilmesi ve tanımlanması, COVID-19 gibi vücut sıcaklığının belirtisi olan hastalıkların yayılmasını önlemede kritik önem taşır. Yükselmiş vücut sıcaklığını tanımlamak için termal kameralar veya manuel sıcaklık kontrol yöntemleri yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada, belirli bir toplulukta her bir kişinin vücut sıcaklığındaki değişimi ve aile geçmişi, alışkanlıklar ve sosyal yaşam gibi diğer risk faktörleri dahil olmak üzere daha yüksek hastalık riski taşıyan insanların

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Reyat YILMAZ, reyat.yilmaz@deu.edu.tr

tanımlanmasını ve izlenmesini amaçlayan yeni bir yöntem sunuyoruz. Sonuçlar, her bir kullanıcının RFID okuyucularıyla donatılmış belirli yerlerden geçtiği her seferinde kullanıcının kimlik numarasıyla birlikte vücut sıcaklığının izlenebileceği ve kaydedilebileceğini göstermektedir. Yapay zeka destekli risk puanlama sistemi kullanılarak, tanımlanmış parametrelere göre bir risk faktörü değerlendirilir. Kullanıcının değerlendirilen risk puanı belirli bir değerin üstünde ise, sistem yüksek riskli skorlu kişiyi izole etme alarmı üretir. Bu nedenle, potansiyel olarak enfekte olabilecek herhangi bir kişinin izole edilmesi, sağlık profesyonellerinin enfeksiyonların yayılmasını izole topluluklar aracılığıyla azaltmasına yardımcı olur.

Anahtar Kelimeler: RFID, RFID etiket, Vücut ısı takibi, Risk değerlendirme, Makine öğrenmesi

1. INTRODUCTION

Radio Frequency Identification (RFID) is a widely used technology that employs electromagnetic waves to identify an object with a proper tag. It is preferred in several commercial applications, including tracking/locating items to inventory management within a warehouse. Even though commercial uses for it, including electronic toll collection, animal and vehicle tracking, and factory automation, were first presented in the 1970s, it has become more universally accessible in recent years due to the miniaturization and cost reduction of the RFID tags [1]. RFID sensor tags are improved versions of standard RFID tags that can detect several environmental parameters and events and can wirelessly transfer the acquired parameter data to an RFID reader, which can read sensor data [2]. Depending on the application, these tags can sense parameters such as motion, humidity, temperature, pressure, etc. [3].

In recent years, several applications of RFID sensor tags have been proposed. Catarinucci et. al. [4] have proposed a waste management system that employs ultralow power RFID sensor tags [4]. The tags designed specifically for this work are equipped with weight sensors to detect the amount of urban waste produced by the houses, and the weight data are collected via cloud software. The sensor board is equipped with a microcontroller, a weight sensor, and a GPRS module to transfer data. In work presented by Colella and friends Ultra High Frequency (UHF) RFID sensor tags equipped with inertial measurement unit (IMU) sensors are used for biomechanical analysis of human body movements [5]. The tag is equipped with a cell battery to power the sensor and the microcontroller. The authors have shown that the system

appropriately reproduces the body's movements. A system for tracking environmental data during logistics operations of perishable products using RFID sensor tags equipped with sensors capable of monitoring temperature, humidity, vibration, etc., as proposed by Mejjaoui et. al. [6]. The proposed approach is not realized by using real sensor tags, but a software model has been implemented. Toda and Shinomiya proposed a fall detection system for older people by employing passive UHF RFID sensor tags equipped with pressure sensors [7]. Sensor tags are placed beneath the footwear and can sense pressure and RSSI to identify the person's fall. The results presented in the paper show that the proposed system is capable of identifying the fall event. In the work presented by Zhongbin et. al., an RFID sensor tag-based temperature monitoring system to be used in measuring the temperature of high voltage equipment in a substation has been proposed [8]. The sensor tags used in the paper are energized from the energy relays that harvest energy from electric fields inside the substation; therefore, the energy source is unlimited, and measurements can be taken long-term. In the work presented by Chen and friends, a temperature measurement is performed using a resistor temperature-dependent value on an off-the-shelf RFID Tag [9]. The authors claim that the temperature measurement range with their approach is 0 C to 85 C with an accuracy of 2.7 C. Catarinucci et. al. [10,11] have proposed a rule-based healthcare monitoring software framework based on a generic RFID sensor tag. The RFID sensors are UHF based, but the acquired parameters are not specified in the proposed work; therefore, the framework seems to provide a flexible and customizable solution for different application scenarios. A textile yarn integration of a temperature sensor RFID tag integrated circuit is presented in work by Benouakta

[12]. The integrated circuit is integrated using the E-Thread assembling technology. Authors claim that the integrated sensor is capable of measuring temperature between 25 C to 70 C with a distance between 4.5 meters to 6.2 meters. Liu and friends propose a system that includes standard and temperature sensor RFID tags to locate the position of the sensor RFID tag relative to the standard tags used as a reference [13]. The received signal strength indicator (RSSI) data of both the reference tags and the sensor tag are acquired and compared for the positioning of the sensor tag. The average error for the location estimate is 0.461 m. for a 12.25 m² area. Rasheed et al. presented an RFID sensor tag design and textile integration for measuring human body temperature [14]. Measurements from different body regions such as forehead, abdomen, wrist and fabric material and with different antenna polarizations are presented. The antenna polarization seems effective since the antenna feed efficiency depends on the polarization.

In this paper, we propose a novel method to measure the body temperature of individuals in a population, track data in cloud software, and generate an alert based on the unique ID record of the evaluated risk score for each individual. Off-the-shelf temperature measuring RFID sensor tags are integrated on textiles, while temperature value is acquired from standard RFID readers with appropriate specifications. Each measured temperature data is stored with the tag UID number and transferred to the cloud for long-term body temperature tracking of each individual. The main objective of this work is to alert if any individuals are infected with a feverish disease such as COVID19. The rest of the paper is organized as follows; in section two general methodology of the system is introduced, while in section three, laboratory and field implementation results are presented. In the final section, the results are discussed and concluded.

2. METHODOLOGY

The proposed body temperature measurement and tracking system comprise several hardware and software components. The general scheme introducing the system is presented in Figure 1. Each RFID sensor tag is placed on the inner part of

the yoke of the clothing to ensure contact with the skin. The sensor and ID number are acquired using the RFID reader module equipped with a proper antenna. Each acquired data is transferred to the cloud server using the software running on the local PC simultaneously. A web-based application is used to observe the data acquired by the clients.

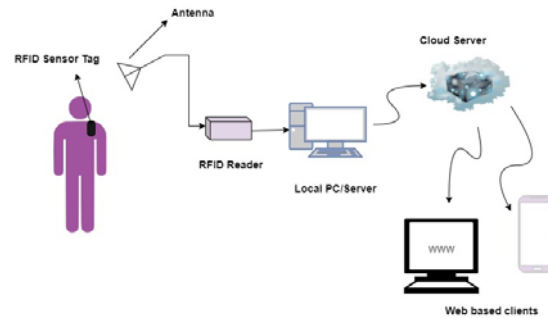


Figure 1. General scheme of the proposed system

2.1. Acquisition of the Temperature

The RFID sensor tags used in this work are off-the-shelf tags equipped with an NMV2D integrated circuit. These integrated circuits are compatible with Electronic Product Code (EPC) Radio-Frequency Identity Protocols Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860MHz – 960 MHz [15]. The temperature sensor included in the NMV2D chip operates in the range of -40 °C to +75 °C with a step of 1 °C and ±1°C tolerance.

RF interfacing of these tags to read the identification number stored in the tag is no different from the standard UHF RFID tags. However, to achieve a temperature reading, a two-stage operation is necessary. The temperature-sensing operation is activated by a Gen2 standard Read command sent by the RFID Reader with up to 4 ms. delay time to stabilize the measurement. The temperature measurement can be accessed in two memory registers. The following Equation 1 is used to assess the temperature in Celsius [16].

$$\text{Temp} = -0.0006x^2 + 0.0928x + 71,288 \quad (1)$$

Where x is the value read from the corresponding registers of the NMV2D integrated circuit. A calibration value based on reference measurements can also be added to the formula by writing this

calibration value to the TEMP_TRIM region of the register.

To enable the temperature sensor, an RFID Reader or the I²C Master device must read the RESERVED memory bank, using the WordPtr parameter equal to 7h, through the Gen2 Read command; 11000010₂. If the temperature sensor is being accessed through an RFID Reader, the Read command must be executed in a loop, without turning off the RF signal until a value other than 0000_n is read as a result of the READ command.

The most critical operation in reading the temperature acquired by a tag is to keep the RF signal on until a proper temperature value is read. Most RF readers are equipped with a command to keep the RF signal on; CW (Continuous Wave) command. Under normal conditions, the RF signal of the reader is enabled only during the read operation and then automatically closed; however, to achieve temperature measurements correctly, the CW command is used to keep the signal open until a temperature value is acquired. The temperature value read from the tag is transferred to the local server, along with the tag's ID.

Since each RFID sensor tag is placed on the inner part of the yoke of an individual, the body temperature of the individual is measured and stored in a database with their corresponding ID numbers.

2.2. Cloud Software

A private cloud structure that will work within the relevant organization is built on the software side of the study. With the help of this structure, it is possible to collect data from antennas located anywhere in the organization. During data collection, it is possible to read more than one time for the same data value due to the nature of RFID antennas. With the filter services we have developed in the cloud system, the repetitive data that coincide is eliminated.

In addition, with antenna placements and related software modules designed in schools or businesses, information about people entering or leaving a place (A Student Classroom, Meeting

Room, Dining Hall) is obtained and passed through that area. The collected data are virtual ID numbers representing students or employees, as well as information on the person's body temperature at that moment. After each movement, a timestamp, virtual identity and body temperature information are recorded in our cloud system.

To protect the personal data of the individuals, virtual identity numbers instead of real identity information are preferred for tracking the data of the individuals. However, suppose a detection is made in the system as a suspect with a high-risk score. In that case, the personnel supervisor will be able to reach the person's real identity and ensure that he or she is isolated and undergoes a health check. Suppose there is a positive case after the control. In that case, it is ensured that the person is diagnosed as a patient, and the people who contacted the patient for a certain time in the same environment until one week ago will be contacted and informed about the health risk they are facing. In this way, it will be possible to accurately identify the people who have contacted the patient.

The PostGre SQL Database system and Microsoft.Net Core MVC software technology are used in the Cloud Architecture so that the application can run on any platform without additional licensing fees. In addition, Android and IOS Native Mobile applications have been developed to access the cloud system via the local intranet or remotely using a VPN connection via mobile devices. These applications have features that will enable easy monitoring of the data.

Another feature of our study is analyzing the collected data and discovering hidden connections by employing machine learning algorithms. As an important field of computer science, machine learning helps computer software predict previous information [17]. Its learning process is categorized into four various types, namely supervised learning, by labelled training data for the related algorithms, unsupervised learning, which utilizes an unlabeled training dataset, reinforcement learning, which predicts through observing the environment, doing a suitable action, the semi-supervised learning, whose dataset consists of both unlabeled and

labelled cases [18]. We can point to Support Vector Machines, k-Nearest Neighbors, Artificial Neural Networks, Random Forest, Decision Trees, and Linear Regression as the most important algorithms to select for solving supervised learning problems [19].

In addition, machine learning consists of two main processes, scoring and clustering. With the scoring process performed in the first stage, a SCORE parameter is obtained regarding how prone people are to the disease. Clustering estimates the risk of disease for the people detected in the system. The study is performed by combining the SCORE values obtained and the location and temperature values measured by the system. More detailed information on the steps taken is presented in the following sections.

2.3. Stage Scoring

Since fever is not the only risk factor, a risk score is assigned to users using cardholder health, family and physical information. Gender and disease information is used for physical characteristics. They are scored according to their distribution and risk ratio, as presented in Figure 2.

PHYSICAL													
Gender		is_diabetes		is_obesity		is_cardiovascular		is_asthma		is_kidney_failure		is_liver	
VALUE	SCORE	VALUE	SCORE	VALUE	SCORE	VALUE	SCORE	VALUE	SCORE	VALUE	SCORE	VALUE	SCORE
Female	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0 0 (YOK)	0
Male	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1 1 (VAR)	1

Figure 2. Parameters used to evaluate the physical risk factor

The information is used for family characteristics, information about how many people there are in the family, how many people work and whether there is a smoker. They are scored according to their distribution and risk ratio, as presented in Figure 3.

FAMILY						
CountOfFamilyMembers		number_working_family		is_smoke_someone		
VALUE	SCORE	VALUE	SCORE	VALUE	SCORE	SCORE
2	1	1	1	2	0	0
3	2	2	2	2	1	1
4	2	3	3	3		
5	3	4	3	3		
6	3					

Figure 3. Parameters used to evaluate the family risk factor

Information about how he came to school/office is used for his external features. As presented in Figure 4, they are scored according to their distribution and risk ratio.

EXTERNAL			
TransportationType		is_going_course	
VALUE	SCORE	VALUE	SCORE
walking	1	0 FALSE	0
private car	1	1 TRUE	1
public transportation service	3		

Figure 4. Parameters used to evaluate the external risk factor

As a result, three different scores are calculated for each user, and a 3-digit risk score is evaluated according to Equation 2.

$$SCORE = PHYSICAL * 100 + FAMILY * 10 + EXTERNAL * 1 \quad (2)$$

2.4. Testbed

A testbed has been built to test the performance of the proposed system. Two antennas are connected to a four-port RFID reader to read the temperature value on one side of a gate. In contrast, the other side of the gate is equipped with a conventional RFID reader and a single antenna to identify the direction of the individual, as presented in Figure 5. The reason to put two RFID sensor tags on the yoke of the clothing is to guarantee the temperature reading for both directions of the user since the head of the individual can block the radio frequency illumination over the tag. As mentioned previously, the sensor IC over the tag cannot get enough energy during the reading operation, which is critical.

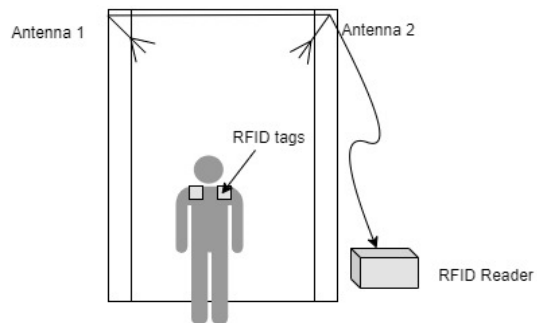


Figure 5. Placement of RFID tags and antennas at the testbed gate.

The other side of the gate is not presented in the figure, but it is equipped with a conventional RFID reader without any capability of reading temperature values. Its only purpose is to estimate the direction of the individual, whether entering or exiting the room. If the temperature measuring side reads the tag first, this means that the person with the RFID sensor tag is moving from the temperature sensing part to the not sensing part of the gate. If the non-sensing part reads first, the opposite direction is valid. Therefore, with the help of a conventional low-cost reader, both the person's direction and body temperature are identified. Photographs of the testbed are presented in Figure 6, while the placement of the tags inside the clothing yoke is presented in Figure 7.



Figure 6. Testbed photographs from both sides of the gates

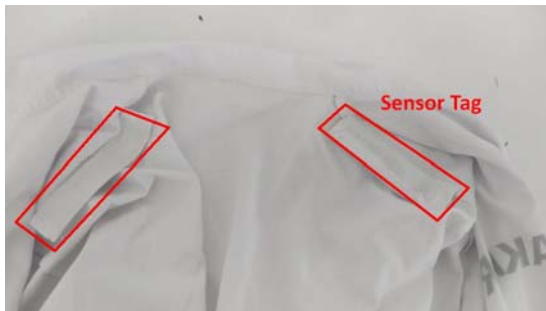


Figure 7. Placement of RFID sensor tags inside the clothing of the yoke

2.5. Results

As introduced in Section 2, the temperature formula for a sensor tag includes an additive calibration value used to correct each measurement. Therefore,

as a first step, the testbed is used to evaluate the calibration value for the sensor tags. A sensor is placed under the reading antennas, and 33 temperature readings are recorded. The temperature is measured with a calibrated temperature sensor of 25 °C. The average measurement in this setup is 21.9 °C with a 0.153 variance value, and the difference between the real temperature value is 3.1 °C. Since this value will be used for other sensor tags, it is rounded to 3 °C and stored as the software's calibration factor. To test the validity of this value, three other sensor tags are used under the same test setup but with different temperatures. As presented in Table 1, the 3 °C calibration value seems adequate for temperature measurement using these sensor tags.

Table 1. Results of the calibration value test

	Real temperature °C	Measured temperature °C	Difference °C
Tag 1	33.5	31.56	3.06
Tag 2	33.5	31.25	2.75
Tag 3	25	21.89	3.11

The calibration data are used to acquire the correct body temperatures of individuals equipped with RFID tags in their clothing yokes. Each pass from the gate with a dedicated tag to a user is recorded in the database as presented in Figure 8. After the acquisition of the temperature data of the individuals, the Isolation Forrest algorithm is employed to detect anomalies to identify the change in temperature changes that could project to potential risk.

Id	Temperature	Datetime	ReaderMachineAntennald	CardNo
141	25.62	2021-06-28 12:09:58.704257	19	201905144527
144	27.27	2021-06-28 12:10:07.14265	19	201905144527
146	28.91	2021-06-28 12:10:14.424696	19	201905144337
147	30.19	2021-06-28 12:10:30.50452	19	201905144337
148	29.46	2021-06-28 12:10:54.507065	19	201905144527

Figure 8. Temperature data of the individuals with unique ID numbers

Other factors affecting the potential risk are also included as additional data and used to evaluate the total risk of the individual. These factors include

past health records, family and physical information such as sex, age, weight, etc. Using this data; a risk score is evaluated with three factors. The first factor is calculated using gender and past health records, while the second factor is family records, including employed people and smokers in the family, and the last factor is the external effects factor, which includes transportation method and the other possible social environment the individual might contact with other people. The cumulative risk is evaluated by a weighted combination of these three risk factors. The physical factor is the most influential factor among all, with a weight of 100, while the family factor affects the risk evaluation by 10 and external factors weight 1.

Data that are thought to affect an individual's risk status were produced and added to the table. Then, considering the distribution of these characteristics, three scores were calculated. Due to a lack of sufficient data, the database was intervened, and more data was produced. In this direction, an exploratory data analysis was performed, including a detailed statistical and visual analysis of the data, which is presented in Figure 9.

ID	FirstName	LastName	Gender	ParentName	ParentLastName	ParentPhone	CountOfFamilyMembers	TransportationType
3	Leat	Roone	Female	Faber	Roone	427699344	5	service
4	Azzara	Burdett	Female	Lacke	Burdett	718025274	3	service
5	Sonne	Parvett	Male	Watta	Parvett	535499338	3	service
6	Banet	Bulane	Female	Patta	Bulane	842521532	2	private car
7	Deatre	Syon	Agender	Reacine	Syon	387644683	5	public transportation

ProfilePic	BirthDate	BirthDate	LastTemperature	is_smoke	is_smoke	is_smoke	is_smoke	is_smoke
pic02	4	2019-09-21 14:14	0	0	1	0	0	0
pic02	2	2019-09-09 23:24	0	0	1	0	1	1
pic02	2	2019-09-09 23:52	0	1	1	1	1	1
pic02	4	2019-05-27 18:37:40	0	1	1	0	1	1
pic02	6	2019-02-17 12:55:40	0	0	0	1	0	1

is_liver	is_going_course	number_working_family	is_smoke_someone
0	1.0	4	0
1	1.0	2	1
1	0.0	2	1
1	1.0	1	0
0	0.0	4	1

Figure 9. Risk factors of the individuals in the database

3. CONCLUSION

This paper presents an RFID sensor tag-based body temperature tracking of the individuals in a population. RFID sensor tag is located on the

uniform's yoke, and the person's temperature is measured every time the person passes from specific locations with the developed RFID reader with temperature reading capability. The temperature data is evaluated on cloud software, and changes in the temperature of each individual are tracked. Change in temperature data is used to evaluate the cumulative risk of the user, which also includes other factors like physical, family, and external factors. If the cumulative risk is above a threshold, an alert is generated to the person's isolation and stop the spreading of the disease.

The important contribution of this study is to diagnose possible fever outbreaks at an early stage and to prevent their spread with the help of a low-cost tag and an RFID system. In addition, thanks to the artificial intelligence-supported risk scoring system used in the study, a risk factor is obtained by using demographic characteristics such as age, gender, family characteristics, chronic diseases, as well as the fever of the people. Thus, risky people are provided to go to health inspection even if they have a lower fever value.

4. DECLARATIONS

4.1. Human and Animal Ethics

All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards

5. REFERENCES

- Landt, J., 2005. The History of RFID. IEEE Potentials, 24(4), 8-11.
- Baumbauer, C.L., Anderson, M.G., Ting, J., 2020. Printed, Flexible, Compact UHF-RFID Sensor Tags Enabled by Hybrid Electronics. Sci Rep 10, 16543.
- Jeong, J.Y., Yeo, J., Lee, H.S., Pyo, C.S., 2007. Technology Trend of RFID Sensor Tags. Electronics and Telecommunications Trends, 22(3), 38.
- Catarinucci, L., Colella, R., Consalvo, S.I., Patrono, L., Rollo, C., Sergi, I., 2020. Iot-Aware

- Waste Management System Based on Cloud Services and Ultra-Low-Power RFID Sensor-Tags. *IEEE Sensors Journal*, 20(24), 14873-14881.
5. Colella, R., 2021. Design Of UHF RFID Sensor-Tags For The Biomechanical Analysis of Human Body Movements. *IEEE Sensors Journal*, 21(13), 14090-14098.
 6. Mejjaoui, S., Babiceanu, R.F., Nisanci, I., 2014. The use of RFID Sensor Tags for Perishable Products Monitoring in Logistics Operations. *Proceedings of The Winter Simulation Conference, Georgia, 2001-2012*,
 7. Toda, T., Shinomiya, N., 2019. Machine Learning-Based Fall Detection System for the Elderly using Passive RFID Sensor Tags. *13th International Conference On Sensing Technology (ICST)*, Sydney, Australia, 1-6.
 8. Che, Z., Deng, F., He, Y., Liang, Z., Fu, Z., Zhang, C., 2018, A Self-Powered RFID Sensor Tag for Long-Term Temperature Monitoring in Substation, *J Electr Eng Technol.*, 13(1), 501-512
 9. Chen, X., Liu, J., Xiao, F., Chen, S., Chen, C., 2021. Thermotag: Item-Level Temperature Sensing with a Passive RFID Tag. *Proceedings of the 19th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (Mobisys '21)*. New York, USA, 163-174.
 10. Catarinucci, L., Colella, R., Esposito, A., 2012. RFID Sensor-Tags Feeding a Context-Aware Rule-Based Healthcare Monitoring System. *J Med Syst* 36, 3435-3449.
 11. Catarinucci, L., Colella, R., Esposito, A., Tarricone, L., Zappatore, M., 2009. A Context-Aware Smart Infrastructure Based on RFID Sensor-Tags and Its Application to the Health-Care Domain. *IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation, Spain*, 1-8.
 12. Benouakta, S., Hutu, F., Duroc, Y., 2021. Passive UHF RFID Yarn for Temperature Sensing Applications. *RFID-TA. 11th IEEE International Conference on RFID Technology and Applications, Delhi, India*, 1-3.
 13. Guangwei, L., 2014. Locatable-Body Temperature Monitoring Based on Semi-Active UHF RFID Tags. *Sensors*, 14, 5952-5966.
 14. Rashee, A., Iranmanes, E., Li, W., Fen, X., Andrenk, A.S., Wan, K., 2017. Experimental Study of Human Body Effect on Temperature Sensor Integrated RFID Tag. *IEEE International Conference on RFID Technology & Application, Poland*, 243-247.
 15. EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications At 860 Mhz - 960 Mhz, Epcglobal Inc. www.epcglobalinc.org, Erişim Tarihi: 31 Ocak 2005.
 16. Braun, W.V., 2018. Passive UHF RFID 915mhz EPC Gen2v2 and ISO/IEC 29167-10 with I2C Interface and Temperature Sensor. *NMV2D Datasheet*, 10.
 17. Burkov, A., 2019. *The Hundred-Page Machine Learning Book*. 1st Ed.; Andriy Burkov: Quebec, Canada, 160.
 18. Ghasemkhani, B., Yilmaz, R., Birant, D., Kut, R.A., 2022. Machine Learning Models for the Prediction of Energy Consumption Based on Cooling and Heating Loads in Internet-of-Things-Based Smart Buildings. *Symmetry*, 14(8), 1553.
 19. Kang, Z., Catal, C., Tekinerdogan, B., 2020. Machine Learning Applications in Production Lines: A Systematic Literature Review. *Comput Ind Eng*, 149, 106773.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirimleri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. **Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract** (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar**,

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalın bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

Makale ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. makalenin tam başlığı. derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları.

Kitap ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. kitabın tam adı. cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, son sayfa no.

Bildiri ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. bildirinin tam başlığı. konferansın adı, yapıldığı yer.

Elektronik ortamdan alınmış ise: Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, yıl, bildirinin adı. konferansın adı (CD/DVD), yapıldığı yer, yıl. "Konferansın adından hemen sonra parantez içerisinde CD/DVD olduğu belirtilecektir."

Tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi., yıl. tezin adı. derecesi, sunulduğu kurum, son sayfa no.

Rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, yıl. raporun adı. türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer.

Web Sitesi ise: Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, varsa yayımlandığı yıl. yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.

Kurum/Kuruluşlara ait ise; Kurum adı, varsa yayımlandığı yıl. yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.

Elektronik kitap/rapor ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, varsa yayımlandığı yıl, konunun tam adı, Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.