

22ND

INTERNATIONAL SCIENTIFIC
RESEARCH CONGRESS
SCIENCE AND ENGINEERING

Full Text Book

Tam Metin Kitabı

08 - 09 MARCH

2025

Publishing Director / Yayın Yönetmeni

Muhammet ÖZCAN

Editor/ Editör

Prof. Dr. Bahri Bayram

Bu kitapta yayınlanan Bildiri Tam metinleri “Bookcites Kitap Atıf Dizini” tarafından taranmaktadır

**Cover Design / Kapak Tasarımı**

Bülent POLAT

Interior Design / İç Tasarım

Mahmut Sami TEMİZ

First Edition / Birinci Basım / ©

16 Mart 2025 - Ankara

ISBN: 978-625-5909-03-9**Asos Yayınevi****1st Edition** 16 March 2025**Address / Adres:** Çaydaçıra Mah. Hacı Ömer Bilginoğlu Cad. No:67/2-4/Merkez/Elazığ**E-Mail:** asos@asosyayinlari.com**Web:** www.asosyayinlari.com**Instagram:** <https://www.instagram.com/asosyayinevi/>**Facebook:** <https://www.facebook.com/asosyayinevi/>**Twitter:** <https://twitter.com/Asosyayinevi>**Ankara 2025**

BORADS / KURULLAR

Supporting Institutions / Destekleyen Kurumlar

Atatürk Üniversitesi

Chairman of the Organizing Committee / Düzenleme Kurulu Başkanı

Prof. Dr. Bahri BAYRAM, Atatürk Üniversitesi

Congress Organizing Committee / Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Taşkın POLAT, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Betül Güzelidir, Atatürk Üniversitesi

Asst.Prof.Dr. Burhanettin Ozdemir, Prince Sultan University

Prof. Dr. Irshad HUSSAİN, The Islamia University of Bahawalpur

Prof. Dr. Erdoğan ÖZTÜRK, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Marziyeh EBRAHİMİ, University of Tabriz

Prof. Dr. M. Kerim GÜLLAP, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Yerlan ANDEASBAYEV, Zhetysu State University, Kazakhstan

Asst. Prof.Dr. Burhanettin Ozdemir, Prince Sultan University

Prof. Dr. Adem KAYA, Atatürk Üniversitesi

Congress Scientific Committee / Bilim Kurulu

Dr. Mammadova Ana, Baku Slav University

Prof.Dr. Recep AYDIN, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Yerlan ANDEASBAYEV, Zhetysu State University, Kazakhstan

Doç. Dr. Mahir Murat CENGİZ, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Huseyin COLAK, Northeastern Illinois University

Prof. Dr. Bülent ÇELİK, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Abdülkerim DİLER, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Marziyeh EBRAHİMİ, University of Tabriz

Dr. Öğretim Üyesi Ayşe DEMİRHAN, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. M. Kerim GÜLLAP, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Irshad HUSSAİN, The Islamia University of Bahawalpur

Asst. Prof. Dr. Ateeq Ur Rehman Irshad, Prince Sultan University

Doç. Dr. Rita ISMAİLOVA, Kyrgyz-Turkish Manas University

Prof. Dr. Jose Miguel Molina JORDA, Universidad de Alicante

Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU, Ankara Üniversitesi,

Prof. Dr. Ersin KAYAHAN, Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr Daniela KERTİKOVA, Institute of Forage Crops, Plevn

Dr. Naseem Ahmad KHAN, The Islamia University of Bahawalpur

Doç. Dr. Şule KISAKÜREK, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Davoud KIANIFARD, University of Tabriz

Prof. Dr. İlkey KOCA, Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Prof. Dr Todor KERTİKOV, Institute of Forage Crops, Plevn

Prof. Dr. Vahit KONAR, Amasya Üniversitesi

Doç. Dr. Matanat MEHRABOVA, Azerbaijan National Academy of Sciences

Prof. Dr. Efendi NASİBOĞLU, Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Stephen Newton, Yerevan State University

Dr. Öğretim Üyesi Veysel Fatih ÖZDEMİR, Atatürk Üniversitesi

Asst. Prof.Dr. Burhanettin Ozdemir, Prince Sultan University

Prof. Dr. Hüseyin POLAT, Aksaray Üniversitesi

Prof. Dr. Oleg SYNYUK, Khmelnytsky National University, Ukraine

Prof. Dr. Akbar TAGHİZADEH, University of Tebriz

Prof. Dr. Taha TAŞKIRAN, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Prof. Dr. Erkin TOKPANOV, Zhetysu State University, Kazakhstan

Prof. Dr. Nurzat Totubaeva Kyrgyz – Turkish Manas University

Doç. Dr. Selda Kapan ULUSOY, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Vilianna VASİLEVA, Institute of Forage Crops, Plevna
Doç. Dr. Pelin Köse YAMAN, Dokuz Eylül Üniversitesi

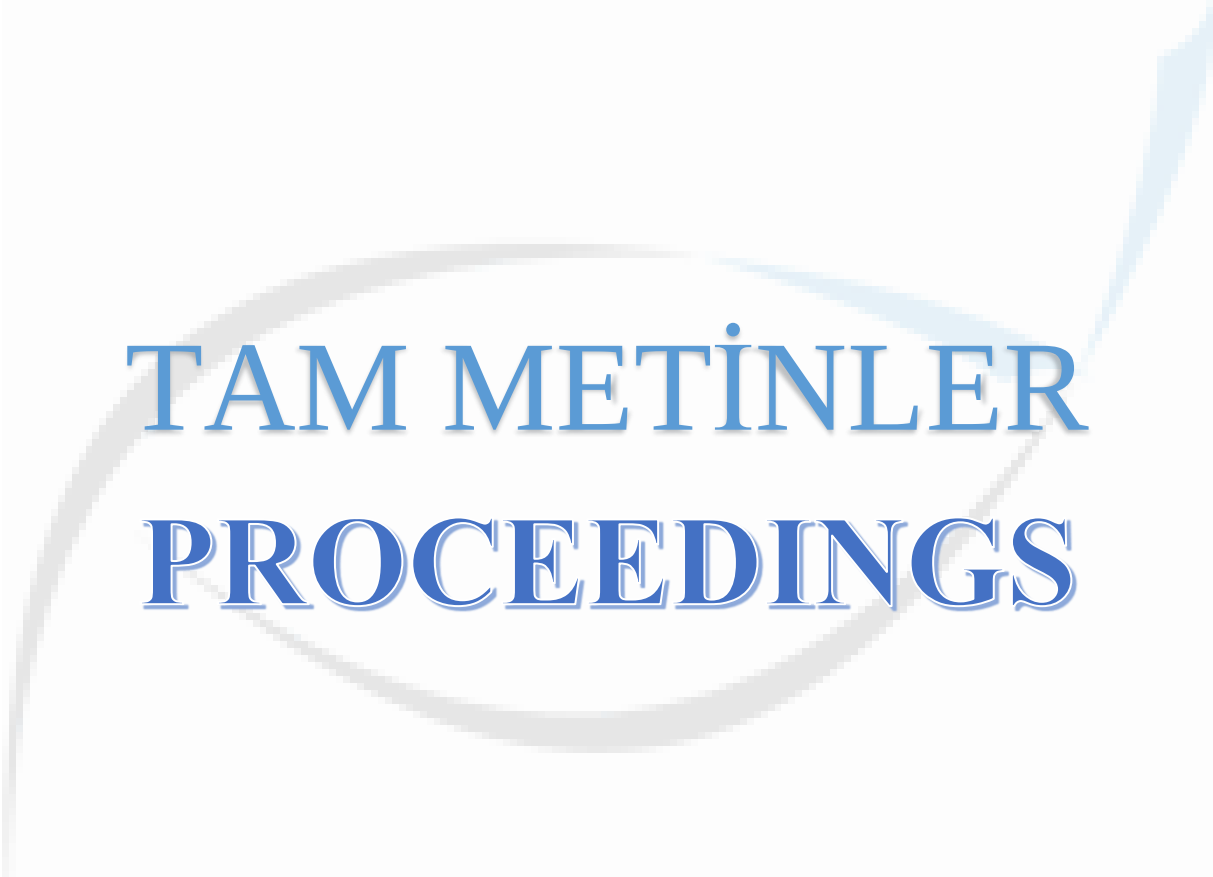
Sekretary / Sekreteryä

Yasin ŞAHİN

D Doç. Dr. Mahir Murat CENGİZ, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Adem KAYA, Atatürk Üniversitesi





TAM METİNLER PROCEEDINGS

İÇİNDEKİLER

Çevresel Kirliliğin Rat Populasyonlarında (<i>Rattus Rattus</i>) Karyotip Varyasyonu Üzerine Etkisinin Belirlenmesi.....	8
Mushroom Mycelium in Biomaterial Production	17
MATLAB/Simulink Yazılımında Pekiştirmeli Öğrenme Kullanılarak Ters Sarkacın Kontrolü.....	27
Yüksek Frekanslı Titreşim Altında Nonlineer Kauçuk Bileşenlerin Coherence Analizinde Örneklem Frekansı ve Pencere Uzunluğunun Etkisi.....	35
Havacılıkta Simülasyon Destekli Öğrenmenin Pilotlar Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	44
Radiation Mapping of Mersin Metropolitan Municipality	55
Ankara İçin Su Tüketim Tahmin Modeli Geliştirilmesi	69
Atık Lastik ile Modifiye Edilmiş Asfalt Karışımların Performans Analizi.....	77
Borsa Analizi ve Tahmini İçin Derin Öğrenme Ağları.....	87
Ribavirin'in Elektrokimyasal Davranışının Poli(Metilen Mavisi) Modifiye Camsı Karbon Elektrot ile İncelenmesi.....	98
Metronidazol'ün Modifiye Edilmiş Elektrot Kullanılarak Elektrokimyasal Davranışının İncelenmesi... ..	105
Jacobsthal, Fibonacci ve Lucas Dizileri Arasındaki İlişki ve Matrisler Üzerinde Uygulamalar.....	111
Telekomünikasyon Merkezi Şebekelerinde LSTM Model ile Anomali Tespiti, Tahminlemesi ve Bazı Denetimsiz Öğrenme Metotları ile Kıyaslanması.....	117
Elektrik Araçlar ve Otomotiv Sektörüne Yönelik Karbon Fiber Takviyeli Polimer Matrisli Kompozit Malzeme Uygulamaları.....	122
Okullarda Kritik Başarı Faktörlerinin Belirlenmesi ve Okul Performansının Ölçümü: Liseler Üzerine Bir Uygulama	129
Mikrohücrese Köpük Enjeksiyon Kalıplama İşlemi	141
Kanlıca Mantarının Mikrodalga Kurutma Yöntemiyle Kuruma Kinetiğinin Değerlendirilmesi	149
Ticari Hücrelerden Oluşan Bir Lityum-Iyon Batarya Modülü İçin Hava Soğutmalı Termal Yönetim Sisteminin Tasarımı ve Analizi	151
EPDM Kauçuklarda Koajan ve Pişirici Sistemlerinin Yaşlanma Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi	158
Sac Metal Deformasyon Süreçlerinde Hasar Modelleri Üzerine Bir Değerlendirme	168
İleri Tesis Planlama Kapsamında Tabu Search Yaklaşımının Kuramsal İncelemesi ve Uygulama Potansiyelleri.....	179
Taban Halısı ve Pur Üretilirlik Problemi ve Ergonomi Açısından İncelenmesi	190
Bagaj Eşik Kaplama ve Kilit Kancası Hareketli Kapağı Arası Bağlantı Tasarımı	194
Renk, Desen ve Gloss Özellikleri Arasındaki İlişki ve Estetik Algı Üzerindeki Etkisi	200
Gümüş Kaplı CuZn39 Bakır Çubukların Kararmasının Haşlanmış Yumurta Metodu ile Yeniden Ortaya Çıkarılması.....	207
Özellik Mühendisliğinin Görüntü Sınıflandırmaya Etkisinin İncelenmesi.....	213
Arc Füzyon Reaktöründe Katı Trityum Üretici Malzemelerinin Performansının Değerlendirilmesi	223
Upgrading Urban Slums Through Sustainable Development and Community Engagement	232
Zaman ve Frekans Farklarından Yararlanarak Hareketli Ses Kaynağı Konumu Belirleme	244
Ordu Üniversitesi Cumhuriyet Yerleşkesinde Peyzaj Donatı Elemanlarının İncelenmesi.....	253
Ambiyans Aydınlatma Uygulamalarında Kullanılan Farklı Estetik Yüzeylerin, Parlaklık Seviyesinin ve Malzeme Katkısının Müşteri Üzerindeki Etkileri	263
Temizleme Yönteminin Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Kumaş ve Plastik Parçaların Renk ve Parlaklık Ölçümlerine Etkisi	270
Otomotiv Dış Parçaları İçin Geliştirilen Doğal Elyaf Dolgulu Polipropilen Malzeme Özellikleri	277

Altıgen Chiral Auxetic Kafes Merkez Katmanlı Sandviç Plakanın Sıcaklığa Bağlı Mekanik ve Termal Malzeme Özelliklerinin Teorik Araştırması.....	281
Farklı Parlaklık Değerlerine Sahip Lazer Desenli Plastik Alaşımın Çizilme Performansı	292
Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hastanelerinde İyileştirici Bahçe Tasarımlarının Önem ve Gerekliliği	296
Atıl Turizm Tesislerinin Rasyonel Kullanımına Yönelik Bir Öneri: Yaşlılar İçin Yaşam Turizmine Dönüştürülmesi.....	304
Sürdürülebilir Yapımda Minimalist Tasarım Yaklaşımının Değerlendirilmesi.....	313
Pinus Sylvestris L.var. Compacta (Tosun) Ü.Akkemik Aşılı Tohum Bahçesinde Dişi Çiçek ve Kozalak Sayılarının Klonal Varyasyonu	322
İskenderun Güvercinlerinin (Columba livia domestica) Beslenmesi	329
Ortalama Pitot Tüp Tasarımında Etkili Parametreler	335
Kategorik Verilerin Analizinde Kullanılan Hurdle Regresyon Analizine İlişkin Bir Uygulama	344
Bir Fazlı Transformatörlerin Farklı İletken ve Nüve Tipine Göre Maliyet ve Verimlilik Analizi	355
Pe Malzemenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı	364
Demiryolu Kaynaklı Titreşimlerin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi ve Azaltılması	375

Makale id= 5

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-1705-5107

| 8

Çevresel Kirliliğin Rat Populasyonlarında (Rattus Rattus) Karyotip Varyasyonu Üzerine Etkisinin Belirlenmesi**Doç.Dr. Tuba Yağcı Gurbanov¹**¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Özet: Kromozomların fenotipik açıdan incelenmesine olanak sağlayan karyotip, nükleer genomun yapısal ve işlevsel özelliklerini temsil eder. Tür içi ve türler arasında görülen karyotip varyasyonları, hayvanlarda değişen çevreye uyum sağlamak ve yeni ekolojik nişlere yayılabilmek için gerekli olan biyoçeşitliliğin oluşturulmasında önemli rol oynar. Kromozom sayısı, boyutu, sentromer lokalizasyonu gibi kromozomal karakterler karyolojik değişiklikleri tespit etmede kullanılan önemli belirteçlerdir. Karyomorfometrik araştırmalarda kullanılan bu belirteçler, kromozomal varyasyonu ve gen akışının olası engellerini daha iyi anlamak için oldukça bilgilendirici, moleküler ve sitogenetik çalışmaları tamamlayıcıdır. Bu araştırmada, Marmara bölgesine ait (Bilecik ili) kırsal ve kentsel alanlarından alınan rat (*Rattus rattus*) örneklerinde kromozom analizi yapılarak toplam 100 metafaz plağı fotoğraflanmıştır. Kromozom sayıları, kromozomlarda toplam boy, kol uzunluğu, sentromer yerleşimi ve indeksi, heterokromatin yoğunluğu C- bantlama tekniği ve kromozom analiz programı ile tespit edilmiştir. Sonuçlar, her grupta 5 olmak üzere toplam 10 bireye ait temel kromozom sayısının $2n=38$ olduğunu, ancak kromozomların boy ve sentromer indeksi ve heterokromatin yoğunluğu bakımından kentsel alanlarda kırsal alanlara göre azalan bir oranı göstermiştir. Ayrıca sentromer lokalizasyonu açısından bazı metafaz plaklarında belirgin farklılıklar kaydedilmiştir. Tespit edilen veriler; gruplara ait metafaz plakları, uzunluk idiogramları, istatistiksel grafikler, çevresel kirlilik ile ilişkilendirilerek sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Kirlilik, Karyotip, Kromozomal Varyasyon, *Rattus Rattus*

Determining the Effect of Environmental Pollution On Karyotype Variation in Rat Populations (*Rattus Rattus*)

Abstract: The karyotype, which allows for the phenotypic examination of chromosomes, represents the structural and functional characteristics of the nuclear genome. Intra-species and inter-species karyotype variations play a significant role in the creation of biodiversity necessary for animals to adapt to changing environments and spread to new ecological niches. Chromosomal characteristics, such as chromosome number, size, and centromere localization, are important markers used to detect karyological changes. These markers used in karyomorphometric studies are highly informative and complement molecular and cytogenetic research, providing a better understanding of chromosomal variation and potential barriers to gene flow. In this study, chromosome analysis was conducted on rat (*Rattus rattus*) samples from rural and urban areas of the Marmara region (Bilecik province), and a total of 100 metaphase plates were photographed. Chromosome numbers, total chromosome length, arm length, centromere position and index, and heterochromatin density were detected using the C-banding technique and chromosome analysis software. The results showed that the basic chromosome number was $2n=38$ for a total of 10 individuals (5 from each group), but there was a decreasing trend in urban areas compared to rural areas in terms of chromosome size, centromere index, and heterochromatin density. Additionally, significant differences in centromere localization were observed in some metaphase plates. The collected data, including metaphase plates, length idiograms, and statistical graphs of the groups, are presented in relation to environmental pollution.

Keywords: Environmental Pollution, Karyotype, Chromosomal Variation, *Rattus Rattus*

1. INTRODUCTION

The restriction of gene flow within a species due to numerical, morphological, and structural differences in chromosomes, which lead to genetic incompatibility, is a fundamental stage in speciation (Cardoso et al., 2018). The number, shape, and size of chromosomes in each individual constitute their karyotype, which is known as the global map of the genome (Graphodatsky et al., 2011). Karyotyping, often performed for diagnostic purposes, is used to analyze the shape and morphological characteristics of chromosomes (Dhivyapriya and Baskar, 2014). These characteristics, along with morphological and molecular data, provide information about karyotype variations within and between species (Peruzzi et al., 2016). Chromosomes, which ensure heredity in organisms, are thread-like structures located in the cell nucleus (Burrack and Berman, 2012). The most suitable stage for clearly observing these condensed thread-like structures during cell division is the metaphase stage. Chromosomes consist of two parts: the short arm (p arm) and the long arm (q arm) (Antonin and Neumann, 2016). The constricted regions on chromosomes, called centromeres, ensure the proper separation of chromosomes during cell division. Variations in centromeres, which hold sister chromatid pairs together, are a significant factor in restricting gene flow within a species (Burrack and Berman, 2012). Chromosomes are classified into four groups based on centromere position: metacentric, submetacentric, subtelocentric, and acrocentric. Metacentric chromosomes have a centromere located in the middle, submetacentric chromosomes have a centromere that is not in the middle, with one arm longer than the other, subtelocentric chromosomes have a centromere closer to one end, and acrocentric chromosomes have a centromere at the very end of the arm (Gokhman, 2020). The most common chromosome banding techniques used to identify chromosomes are G (Giemsa), R (reverse), C (centromere), and Q (quinacrine) banding. Strongly stained bands are called positive bands, while weakly stained bands are called negative bands (Bickmore, 2001). Among these techniques, C-banding and AgNOR staining are used to detect chromosomal heteromorphisms (Zhu et al., 2019). Heterochromatin regions are chromatin that remain condensed during the interphase stage. Repetitive and inactive DNA regions are referred to as heterochromatin regions due to this characteristic and are used in species differentiation by being identified on chromosomes (Penagos-Puig and Furlan-Magaril, 2020). Heterochromatin is divided into two types: constitutive and facultative heterochromatin. Constitutive heterochromatin forms in repetitive sequence regions and has a highly stable structural organization, while facultative heterochromatin forms under specific conditions such as developmental processes and tissue differentiation (Nishibuchi and Déjardin, 2017). In mammals, heterochromatin is a significant source of karyotype variation. Mammalian species exhibit distinct differences in the amount and distribution of heterochromatin. Heterochromatin is typically detected using the C-banding technique, and early studies using this technique have shown that differences in the number of chromosome arms may primarily result from the presence of heterochromatic chromosome arms (Graphodatsky et al., 2011). Chromosomal staining techniques are applied to obtain reliable and accurate data on the composition and organization of DNA in chromosomes. Cytogenetic analyses, particularly those conducted to understand the effects of environmental pollution on wildlife and how it harms the environment, are considered valuable tools for revealing the genotoxic effects of these pollutants (Christofolletti Mazzeo and Marin-Morales, 2015). Research aimed at assessing the effects of environmental pollution on natural populations of small mammals relies on cytogenetic or morphometric techniques (Veličković, 2014). Due to their small body size and high metabolic rates, small mammals are more exposed to environmental pollutants. Therefore, they are frequently chosen as bioindicators of environmental pollution and in pollution monitoring studies (Mitkovska and Dimitrov, 2020). Among these mammals, rodents, particularly rats, are exposed to toxic metal pollution due to their widespread distribution in various ecological areas, often found in dumps and abandoned regions (Kolumbayeva et al., 2014). Chromosomal aberrations, micronucleus tests in erythrocytes, comet assays in peripheral blood lymphocytes, and other techniques are used to detect the frequency of genetic deviations caused by pollution in bioindicator animals (Cherednichenko et al., 2022). In addition to natural environmental pollution, chromosomal aberration tests (CA) conducted to determine the *in vivo* mutagenic potential effects of various chemicals have confirmed structural and numerical abnormalities such as chromosome breaks, aneuploidy, dicentric chromosomes, chromosome fragmentation, and ring chromosomes in rat chromosomes (Siddiqui et al., 2006; El-Sheikh et al., 2008; Al-Terehi et al., 2013; Iqbal Lone et al., 2013).

Chromosome number and structure are species-specific characteristics, with most mammalian diploid chromosome numbers ranging between 36 and 60. Polymorphisms in heterochromatin and copy number variations of repetitive DNA sequences are significant sources of karyotype and genome size variations in mammals and other organisms (Scherthan, 2012). Chromosomal structural differentiation is a major factor affecting meiotic pairing, leading to reproductive barriers among closely related species. Research on chromosomal structural differentiation provides important insights into speciation and evolution. Additionally, mitotic chromosomes in different organisms adopt various sizes, and the factors defining these sizes are not yet fully understood (Kakui et al., 2022). A specific upper tolerance limit for chromosome arm length has been identified. Exceeding this length disrupts fertility and viability due to incomplete chromatid separation during mitosis, ultimately leading to DNA loss (Schubert and Oud, 1997). With few exceptions, this conserved limit of chromosome size variation, applicable across a broad taxonomic range, suggests that cellular, molecular, and evolutionary mechanisms likely work together to constrain chromosome lengths around a species-specific average (Li et al., 2011).

| 10

Since chromosome number and structure are characteristic features of species, detecting changes caused by environmental mutagens within a species is a commonly used and reliable tool. The effects of environmental pollutants on natural populations are most frequently determined using chromosomal aberration techniques. Morphometric changes in chromosomes are as vital for organisms as chromosomal anomalies. In this study, the karyotypes of rat (*Rattus rattus*) samples collected from rural and urban areas in the Marmara region (Bilecik province) were examined morphometrically for the first time. Chromosome analysis was conducted to determine chromosome numbers, total chromosome length, arm length, centromere position and index, and heterochromatin density using the C-banding technique and chromosome analysis software. The results were comparatively analyzed between localities with different characteristics, revealing karyometric and heterochromatin variations caused by environmental pollution.

2. MATERIAL AND METHOD

The characteristic features of the urban and rural areas where field studies were conducted were determined based on the criteria provided in previous research. Accordingly, industrial zones were defined as polluted areas, while open lands were classified as rural areas. Blood samples were collected from a total of 10 male individuals (*Rattus rattus*, Linnaeus, 1758), with 5 individuals from each area, using live capture traps, and chromosome analysis was performed (Sinha et al., 1989). The animals used in the study were released back into their respective localities after sampling. For chromosome analysis, a total of 100 metaphase plates were photographed using a 100x objective. Karyotypes were prepared for the two different localities of *Rattus rattus*, and the diploid chromosome number (2n), autosomal fundamental number (NFa), and fundamental number (NF) were determined. Additionally, total chromosome length, arm length, and centromeric indices were calculated, and ideograms were constructed. The prepared chromosome slides were subjected to the C-banding technique, and at least 20 well-spread and banded metaphase plates were photographed to determine centromere localizations (Gosden, 1994).

The identified data, including metaphase plates and statistical ideograms for each group, were evaluated in relation to environmental pollution.

3. RESULTS

Chromosome analysis of *Rattus rattus* (Linnaeus, 1758) samples revealed that both groups (rural and urban areas) had a diploid chromosome number of $2n = 38$, an autosomal arm number of $NFa = 58$, and a fundamental chromosome arm number of $NF = 60$ (Figure 1). The karyotype of *Rattus rattus* was characterized by 9 pairs of metacentric/submetacentric chromosomes, 2 pairs of subtelocentric chromosomes, and 7 pairs of acrocentric chromosomes. The sex chromosomes consisted of a medium-sized acrocentric X chromosome and a shorter acrocentric Y chromosome. The distribution of C-band heterochromatin in the karyotype of *Rattus rattus* was also examined (Figure 2).

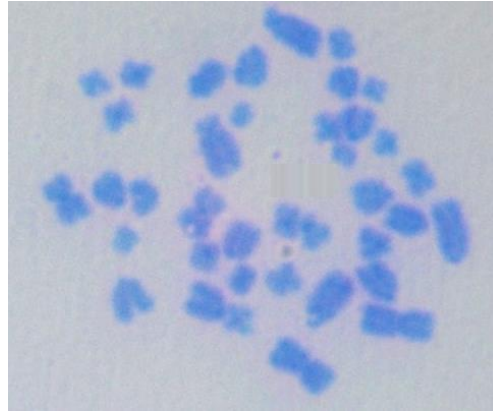


Figure 1. Metaphase plate of *Rattus rattus* samples.

The chromosome preparations subjected to the C-banding technique were stained with 10% Giemsa and photographed. The chromosomes of samples from both groups were compared in terms of centromere localization and heterochromatin density (Figure 2).

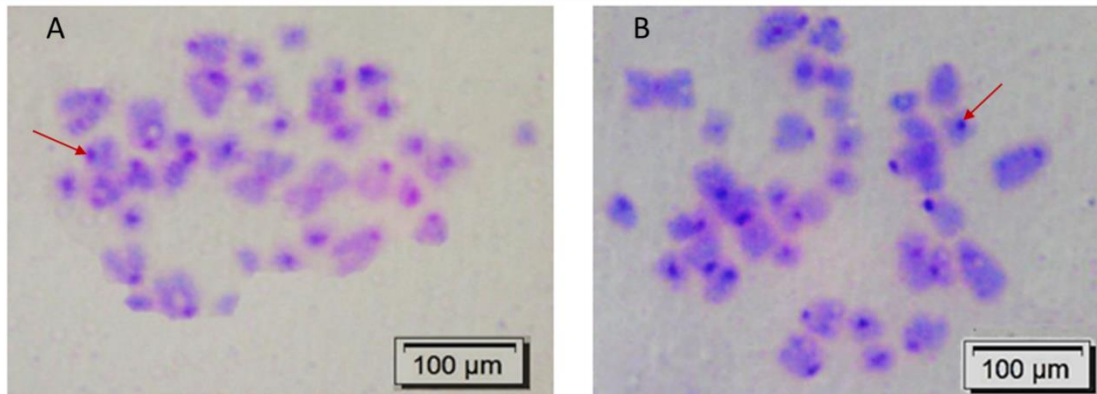


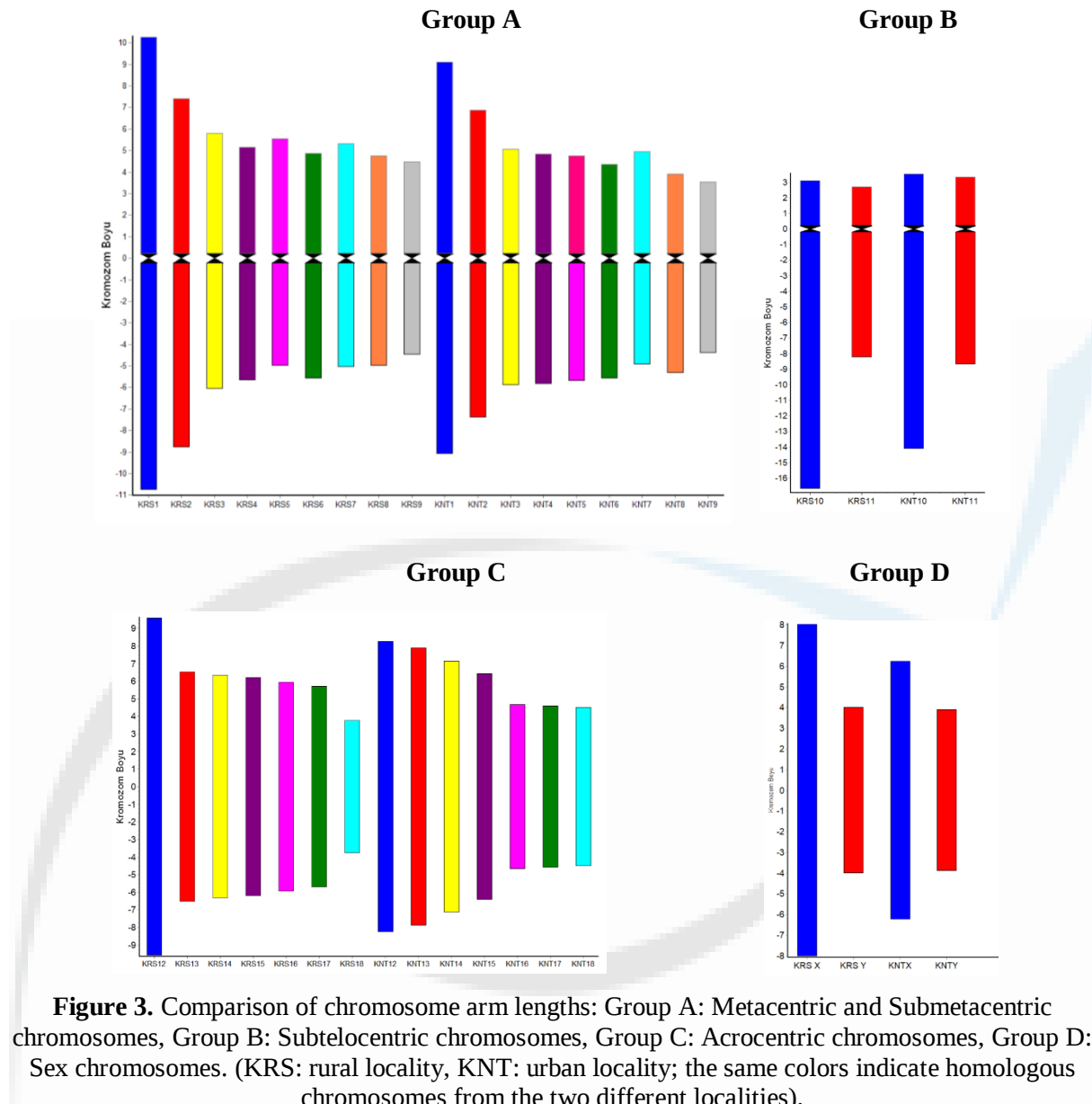
Figure 2. C-banded metaphase plates of *Rattus rattus* samples (A: urban area, B: rural area; arrows indicate stained centromeric regions).

In the Group A samples collected from the urban area, low-density centromeric heterochromatin was observed in 1 pair of small acrocentric chromosomes and 1 pair of large metacentric chromosomes, while no heterochromatin (heterochromatin-negative) or very little heterochromatin was detected in the centromeric regions of 2 pairs of small acrocentric chromosomes. In contrast, in the Group B samples collected from the rural area, the centromeric regions of the chromosomes, except for 2 pairs of small acrocentric chromosomes, were distinctly banded. The centromeric index, total length, and other karyometric measurements of the chromosomes were determined using chromosome analysis software and are presented (Figure 3). The chromosomes constituting the chromosome set of *Rattus rattus* (Linnaeus, 1758) ($2n=38$) were classified as follows to reveal karyometric differences:

- Group A (1–9): Metacentrics/submetacentrics
- Group B (10–11): Subtelocentrics
- Group C (12–18): Acrocentrics
- Group D (X, Y): Medium and short acrocentric sex chromosomes

When the 9 pairs of metacentric/submetacentric chromosomes (Group A) were analyzed based on their size, it was found that the total chromosome lengths ($p+q$) of rats from the rural area were longer

compared to those from the urban area (Figure 3). The mean short arm length, long arm length, centromeric index, and coefficients of variation are presented in Tables 1–4.



When the 2 pairs of subtelocentric chromosomes (Group B), 7 pairs of acrocentric chromosomes (Group C), and acrocentric sex chromosomes (Group D) were analyzed based on their size, the following observations were made: Although the p arms of subtelocentric chromosomes were shorter in rural rats, the total length of these chromosomes was greater in rural samples (15.15 μm and 14.83 μm , respectively). The size of acrocentric chromosomes was larger in rural areas (12.60 μm) compared to urban areas (12.44 μm). When comparing the sex chromosomes of rural rats, the X chromosome was notably larger in rural areas, with a total length of 12.13 μm , compared to 10.13 μm in urban areas.

Table 1. Group A (1–9): Karyometric data for metacentric/submetacentric chromosomes.

Group A (Rural Locality) Karyometric Data		
Longest to shortest chromosome length ratio	LC/SC	2.344
Mean short arm length	P	5.95 ($\pm 1,73$)
Mean long arm length	Q	6.27 ($\pm 1,98$)
Mean chromosome length	CL	12.22 ($\pm 3,67$)
Mean Centromeric Index	CI	0.49 ($\pm 0,02$)
Chromosome Length Coefficient of Variation	CVCL	30.038
Centromeric Index Coefficient of Variation	CVCI	4.124
Group A (Urban Locality) Karyometric Data		
Longest to shortest chromosome length ratio	LC/SC	2.275
Mean short arm length	P	5.26 ($\pm 0,11$)
Mean long arm length	Q	6.03 ($\pm 2,72$)
Mean chromosome length	CL	11.29 ($\pm 2,83$)
Mean Centromeric Index	CI	0.46 ($\pm 0,04$)
Chromosome Length Coefficient of Variation	CVCL	25.719
Centromeric Index Coefficient of Variation	CVCI	4.974

Table 2. Group B (10–11): Karyometric data for subtelocentric chromosomes.

Group B (Rural Locality) Karyometric Data		
Longest to shortest chromosome length ratio	LC/SC	1.811
Mean short arm length	P	2.9 ($\pm 0,20$)
Mean long arm length	Q	12.46 ($\pm 4,23$)
Mean chromosome length	CL	15.35 ($\pm 4,43$)
Mean Centromeric Index	CI	0.20 ($\pm 0,05$)
Chromosome Length Coefficient of Variation	CVCL	28.857
Centromeric Index Coefficient of Variation	CVCI	22.940
Group B (Urban Locality) Karyometric Data		
Longest to shortest chromosome length ratio	LC/SC	1.471
Mean short arm length	P	3.42 ($\pm 0,11$)
Mean long arm length	Q	11.40 ($\pm 2,72$)
Mean chromosome length	CL	14.83 ($\pm 2,83$)
Mean Centromeric Index	CI	0.24 ($\pm 0,04$)
Chromosome Length Coefficient of Variation	CVCL	19.066
Centromeric Index Coefficient of Variation	CVCI	16.065

Table 3. Group C (12–18): Karyometric data for acrocentric chromosomes.

Group C (Rural Locality) Karyometric Data		
Longest to shortest chromosome length ratio	LC/SC	2.543
Mean chromosome length	CL	12.60 ($\pm 3,19$)
Chromosome Length Coefficient of Variation	CVCL	25.295
Group C (Urban Locality) Karyometric Data		
Longest to shortest chromosome length ratio	LC/SC	1.843
Mean chromosome length	CL	12.44 ($\pm 3,01$)
Chromosome Length Coefficient of Variation	CVCL	24.156

Table 4. Group D (X, Y): Karyometric data for medium and short acrocentric sex chromosomes.

Group D (Rural Locality) Karyometric Data		
Longest to shortest chromosome length ratio	LC/SC	2.004
Mean chromosome length	CL	12.03 ($\pm 4,02$)
Chromosome Length Coefficient of Variation	CVCL	33.418
Group D (Urban Locality) Karyometric Data		
Longest to shortest chromosome length ratio	LC/SC	1.604
Mean chromosome length	CL	10.13 ($\pm 2,35$)
Chromosome Length Coefficient of Variation	CVCL	23.196

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The karyotype, which allows for the phenotypic examination of chromosomes, represents the structural and functional characteristics of the nuclear genome. Karyotype variations observed within and between species play a significant role in creating the biodiversity necessary for animals to adapt to changing environments and colonize new ecological niches. Chromosomal characteristics such as chromosome number, size, and centromere localization are important markers used to detect karyological changes. These markers, utilized in karyomorphometric research, are highly informative and complementary to molecular and cytogenetic studies, providing a deeper understanding of chromosomal variation and potential barriers to gene flow. Based on the results of our cytogenetic and karyometric study on individuals of *Rattus rattus* (Linnaeus, 1758) from rural and urban localities in Bilecik province, the following conclusions were drawn:

- The 2n, NF, and NFa values of *Rattus rattus* (Linnaeus, 1758) in Turkey's Marmara region, as identified in this study, are consistent with previous records.
- No differences were observed in these values between urban areas, characterized by industrial pollution (e.g., food, air, and noise pollution), and rural areas, which represent natural habitats.
- C-banding results revealed heterochromatin variations between the localities.
- According to karyometric data, the average total chromosome lengths showed a decreasing trend from rural to urban areas.

The karyometric and heterochromatin distribution data obtained for *Rattus rattus* (Linnaeus, 1758) in this study contribute to the karyological data on chromosomal evolution and the taxonomy of the species. Considering the individual chromosomal variations in small mammals of the order Rodentia, it is recommended that future studies include more samples and localities to establish definitive relationships

between environmental pollution effects and chromosome lengths. Expanding research in this area will provide a clearer understanding of the impact of environmental stressors on chromosomal morphology and genetic stability.

This study highlights the importance of cytogenetic and karyometric analyses in assessing the effects of environmental pollution on wildlife and underscores the need for further research to support conservation efforts and biodiversity preservation.

5. REFERENCES

- Al-Terehi, M. N., Al-Ameri, Q. M. A., Khleel, S. H., & Al-Saadi, A. H. M. (2013). Effect of Polluted Water on Chromosomes of Rats. *Journal of University of Babylon*, 21(7).
- Antonin, W., & Neumann, H. (2016). Chromosome condensation and decondensation during mitosis. *Current opinion in cell biology*, 40, 15-22.
- Bickmore, W. A. (2001). Karyotype analysis and chromosome banding. *Encyclopedia of life sciences*, 10.
- Burrack, L. S., & Berman, J. (2012). Flexibility of centromere and kinetochore structures. *Trends in Genetics*, 28(5), 204-212.
- Cardoso, D. C., Heinze, J., Moura, M. N., & Cristiano, M. P. (2018). Chromosomal variation among populations of a fungus-farming ant: implications for karyotype evolution and potential restriction to gene flow. *BMC Evolutionary Biology*, 18, 1-10.
- Cherednichenko, O., Pilyugina, A., & Nuraliev, S. (2022). Cytogenetical bioindication of pesticidal contamination. In *Pesticides in the Natural Environment* (pp. 227-260). Elsevier.
- Dhivyapriya, B., & Baskar, V. V. (2014, July). Automated feature measurement for human chromosome image analysis in identifying centromere location and relative length calculation using LabVIEW. In *2014 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)* (pp. 149-155). IEEE.
- El-Sheikh, E. S. A. M., Romeh, A. A., Salama, M. A., & Ashour, M. B. A. (2008). Toxicological effects and chromosomal aberration induced by diazinon in albino rats *Rattus norvegicus*. *Proc. 5th Int. Con. Biol. Sci.(Zool)*, 5, 187-193.
- Gokhman, V. E. (2020). Chromosomes of parasitic wasps of the superfamily Chalcidoidea (Hymenoptera): An overview. *Comparative Cytogenetics*, 14(3), 399.
- Gosden, J. R. (Ed.). (2008). *Chromosome analysis protocols* (Vol. 29). Springer Science & Business Media.
- Graphodatsky, A. S., Trifonov, V. A., & Stanyon, R. (2011). The genome diversity and karyotype evolution of mammals. *Molecular cytogenetics*, 4, 1-16.
- Graphodatsky, A. S., Trifonov, V. A., & Stanyon, R. (2011). The genome diversity and karyotype evolution of mammals. *Molecular cytogenetics*, 4, 1-16.
- Iqbal Lone, M., Nazam, N., Shaikh, S., & Ahmad, W. (2013). Genotoxicity of an organochlorine pesticide dichlorophene by micronucleus and chromosomal aberration assays using bone marrow cells of *Rattus norvegicus*. *Caryologia*, 66(4), 296-303.
- Kakui, Y., Barrington, C., Kusano, Y., Thadani, R., Fallesen, T., Hirota, T., & Uhlmann, F. (2022). Chromosome arm length, and a species-specific determinant, define chromosome arm width. *Cell Reports*, 41(10).
- Kolumbayeva, S., Begimbetova, D., Shalakhmetova, T., Saliev, T., Lovinskaya, A., & Zhunusbekova, B. (2014). Chromosomal instability in rodents caused by pollution from Baikonur cosmodrome. *Ecotoxicology*, 23, 1283-1291.

- Li, X., Zhu, C., Lin, Z., Wu, Y., Zhang, D., Bai, G., ... & Yu, J. (2011). Chromosome size in diploid eukaryotic species centers on the average length with a conserved boundary. *Molecular biology and evolution*, 28(6), 1901-1911.
- Mammel vd. (2021). Chromosome Length And Gene Density Contribute To Micronuclear Membrane Stability.
- Mazzeo, D. E. C., & Marin-Morales, M. A. (2015). Genotoxicity evaluation of environmental pollutants using analysis of nucleolar alterations. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 9796-9806.
- Mitkovska, V. I., Dimitrov, H. A., & Chassovnikarova, T. G. (2020). Chronic exposure to lead and cadmium pollution results in genomic instability in a model biomonitor species (*Apodemus flavicollis* Melchior, 1834). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194, 110413.
- Nishibuchi, G., & Déjardin, J. (2017). The molecular basis of the organization of repetitive DNA-containing constitutive heterochromatin in mammals. *Chromosome research*, 25(1), 77-87.
- Pages M. vd., (2011). Morphological, chromosomal, and genic differences between sympatric *Rattus rattus* and *Rattus satarae* in South India.
- Penagos-Puig, A., & Furlan-Magaril, M. (2020). Heterochromatin as an important driver of genome organization. *Frontiers in cell and developmental biology*, 8, 579137.
- Peruzzi, L., Carta, A., & Altinordu, F. (2017). Chromosome diversity and evolution in *Allium* (Allioideae, Amaryllidaceae). *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 151(2), 212-220.
- Scherthan, H. (2012). Chromosome numbers in mammals. *eLS*.
- Schubert, I., & Oud, J. L. (1997). There is an upper limit of chromosome size for normal development of an organism. *Cell*, 88(4), 515-520.
- Siddiqui, M. F., Ahmad, R., Ahmad, W., & Hasnain, A. U. (2006). Micronuclei induction and chromosomal aberrations in *Rattus norvegicus* by chloroacetic acid and chlorobenzene. *Ecotoxicology and environmental safety*, 65(2), 159-164.
- Sinha, A. K., Gollapudi, B. B., Linscombe, V. A., & McClintock, M. L. (1989). Utilization of rat lymphocytes for the in vitro chromosomal aberration assay. *Mutagenesis*, 4(2), 147-153.
- VELIČKOVIĆ, M. (2004). Chromosomal aberrancy and the level of fluctuating asymmetry in black-striped mouse (*Apodemus agrarius*): effects of disturbed environment. *Hereditas*, 140(2), 112-122.
- Zhu, J. J., Qi, H., Cai, L. R., Wen, X. H., Zeng, W., Tang, G. D., ... & Zhang, S. Q. (2019). C-banding and AgNOR-staining were still effective complementary methods to indentify chromosomal heteromorphisms and some structural abnormalities in prenatal diagnosis. *Molecular Cytogenetics*, 12, 1-11.

Makale id= 25

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-1657-5901

| 17

Mushroom Mycelium in Biomaterial Production**Doç.Dr. Sinan Aktaş¹**¹Selçuk Üniversitesi

Abstract: Mycelium-based bio-composites have emerged as eco-friendly and biodegradable alternatives to conventional synthetic materials in sectors ranging from construction and packaging to textile and product design. Mycelium, the vegetative root structure of fungi, forms a dense network of filamentous hyphae that naturally binds cellulosic substrates such as agricultural residues and industrial by-products. This process produces lightweight, thermally and acoustically insulating, and mechanically stable composites that boast minimal environmental impact. The production typically involves substrate selection and preparation, inoculation with fungal spawn, incubation for complete colonization, and heat treatment to stop growth. Resulting materials offer promising properties in terms of thermal insulation, sound absorption, and structural integrity when used as panels, blocks, or coatings. While challenges remain—most notably lower mechanical strength, water sensitivity, and the need for standardized mass-production protocols—ongoing research focusing on strain selection, substrate composition, and optimized manufacturing methods aims to address these limitations. Harnessing agricultural and industrial waste, mycelium-based composites contribute to a more circular economy with reduced carbon footprints and minimal end-of-life disposal problems. As a result, mycelium-based products show high potential for sustainably transforming building and packaging industries, enabling innovative approaches for future green design.

Keywords: Mycelium, Biomaterial, Sustainability, Insulation, Circularity

Biyomalzeme Yapımında Mantar Miselyumu

Özet: Mantar miselyumu esaslı biyokompozitler, inşaat ve ambalajdan tekstil ve ürün tasarımına kadar geniş bir yelpazedeki sektörlerde, geleneksel sentetik malzemelere ekolojik açıdan dost ve biyolojik olarak parçalanabilen bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Mantarın toprak altındaki vejetatif yapısı olan miselyum, tarımsal atıklar veya endüstriyel yan ürünler gibi selüloz içeren substratları doğal şekilde bağlayan yoğun bir hif (lifsi uzantı) ağı oluşturur. Bu süreç, hafif, ısı ve ses yalıtım özellikleri yüksek, mekanik açıdan kararlı ve çevresel etkisi son derece düşük kompozitlerin üretilmesini sağlar. Üretim sürecinde genellikle uygun substrat seçimi ve hazırlanması, mantar miselyumunun aşılınması, tam kolonizasyon için inkübasyon ve büyümeyi durdurmak amacıyla ısıtma işlemi aşamaları yer alır. Elde edilen malzeme, panel, blok veya kaplama biçiminde kullanıldığında ısı yalıtımı, ses emilimi ve yapısal bütünlük yönünden ümit vadeder. Bununla birlikte, nispeten düşük mekanik dayanım, neme duyarlılık ve seri üretim standartlarının eksikliği gibi sorunlar halen çözülmeyi beklemektedir. Tür seçimi, substrat bileşimi ve üretim yöntemlerinin iyileştirilmesine odaklanan güncel araştırmalar, bu sınırlılıkların üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır. Tarımsal ve endüstriyel atıkları dönüştürerek döngüsel ekonomiye katkıda bulunan miselyum esaslı kompozitler, karbon ayak izini en aza indirir ve kullanım ömrü sonunda atık sorunu yaratmaz. Sonuç olarak, mantar miselyumu tabanlı ürünler, sürdürülebilir ve yenilikçi tasarım yaklaşımlarıyla yapı ve ambalaj sektörlerini dönüştürme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Miselyum, Biyomalzeme, Sürdürülebilirlik, Yalıtım, Döngüsellik

1. INTRODUCTION

With industrialization, the simultaneous increase in production and consumption has raised human welfare but also created notable adverse effects on the environment and natural resources. In particular, the high energy and raw material demand of petroleum-based synthetic materials, combined with challenges in recyclability at the end of their service life, exacerbates

waste management issues (Alaneme et al., 2023; Attias et al., 2020). Consequently, contemporary criteria such as “the use of renewable resources, valorization of waste materials as raw materials, and the development of highly biodegradable products” have emerged as key factors in the development of next-generation materials that meet sustainability principles (Kutbay et al., 2022; Rajendran, 2022).

Mycelium-based biomaterials have been attracting growing interest among potential candidates capable of fulfilling these criteria (Islam et al., 2018). The mycelium, which is the vegetative structure of fungi (mushrooms) found underground, forms a fibrous (hyphal) network that naturally binds lignocellulosic substrates such as agricultural or industrial waste, acting much like a natural adhesive (Elsacker et al., 2019). As a result, it becomes possible to obtain lightweight biocomposites with improved thermal and acoustic insulation properties that can largely degrade in nature at the end of their service life (Stamets, 2005; Walter & Gürsoy, 2022). Many studies in the literature emphasize characteristics such as ease of shaping, a low carbon footprint, and an environmentally friendly solution compared to synthetic foam (Alaneme et al., 2023; Attias et al., 2020).

Recent research in this area has focused on optimizing different fungal species and various organic wastes (Alemu et al., 2022; Sydor et al., 2021). For example, biocomposites obtained by cultivating *Pleurotus ostreatus* on wheat straw were shown to have certain advantages over conventional materials in terms of ignition times and water absorption properties (Kutbay et al., 2022). Similarly, other studies investigate how mycelium develops under different substrate sizes and moisture conditions, and how the molding process affects mechanical and thermal properties (Appels et al., 2019; Mohseni et al., 2023).

Alongside these advantages, mycelium-based materials also have limitations, such as longer production times compared to synthetic foams and sensitivity to moisture and water (Attias et al., 2020; Kutbay et al., 2022). Nevertheless, it has been reported that significant steps have been taken toward developing processes suitable for mass production through the introduction of automation systems and 3D printing techniques (Mohseni et al., 2023). Additionally, meeting safety standards such as flammability tests is considered critical for the widespread use of these materials in the building sector; in this context, various studies indicate that mycelium-based composites exhibit flame-retardant properties, although particle size and substrate composition can affect ignition times (Girometta et al., 2019; Kutbay et al., 2022).

In this article, we will first examine in detail the processes of obtaining mycelium-based biomaterials (substrate preparation, fungal inoculation, incubation, and growth termination). We will compare different production methods and raw materials reported in the literature. Subsequently, we will discuss the mechanical, thermal, and acoustic advantages offered by mycelium composites compared to conventional synthetic materials, referencing experimental findings on ignition times and water absorption (Islam et al., 2018; Kutbay et al., 2022). In the final section, various application areas—such as construction, packaging, product design, and environmental remediation—will be discussed, along with field experiences and the technological and standardization requirements needed for industrial-scale production (Attias et al., 2020; Sariay et al., 2023). In so doing, we aim to provide a broader perspective on the high sustainability potential of mycelium-based composites and guide future research in this field.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material Components

2.1.1. Fungal Mycelium (Binder)

Fungal species commonly chosen for producing mycelium-based composites are determined by criteria such as their ability to degrade plant polymers (cellulose, lignin) through enzymatic activity, rapid colonization, high fiber production, and adhesive properties (Attias et al., 2020; Islam et al., 2018). The most frequently encountered fungal species in the literature include:

Pleurotus ostreatus

Characteristics: Exhibits rapid growth on a wide range of substrates and plays a strong binding role due to high fiber production (Islam et al., 2018; Kutbay et al., 2022).

Applications: Has been shown to colonize various wastes such as wheat straw (Kutbay et al., 2022), rice husk (Revin et al., 2022) and sawdust (Appels et al., 2019).

Ganoderma lucidum

Characteristics: Possesses robust cellulose-degrading enzymes; used in some studies for vegan leather-like applications (Sydor et al., 2021).

Applications: Produces hardened composites by developing mycelium on woody waste (Appels et al., 2019).

Trametes versicolor

Characteristics: A white rot fungus capable of degrading lignin.

Applications: Reported to form bio-composites with substrates such as hemp shives and beech sawdust (Elsacker et al., 2019).

Pleurotus eryngii

Characteristics: Genetically close to *P. ostreatus*, showing rapid colony formation and a dense mycelial network (Tacer-Caba et al., 2020).

Applications: Tested in mixtures with coconut coir and wheat bran for water absorption and mechanical performance (Teixeira et al., 2018).

Pycnoporus sanguineus

Characteristics: Common in tropical regions, known for its brightly colored fruiting bodies.

Applications: Included in some comparative studies with other species, evaluated for water absorption and mechanical tests (Teixeira et al., 2018).

Fusarium oxysporum

Characteristics: Exhibits rapid spread at the microscopic level and can form biofilms.

Applications: Combined with recycled paper and coffee grounds to investigate flame-retardant effects (Iordache et al., 2018; Kutbay et al., 2022).

Agaricus bisporus

Characteristics: Known in the food industry but has limited use in biomaterial applications.

Applications: Reported to have been tested with *Trichoderma asperellum* on substrates like oat husks and rapeseed, though findings are limited (Tacer-Caba et al., 2020).

Each fungal species offers different enzymatic repertoires and colony formation capacities, thereby affecting the mechanical, thermal, and biological properties of the resulting composite (Appels et al., 2019). For this reason, the choice of fungal species is critical for achieving the target performance of the material (Kutbay et al., 2022).

2.1.2. Substrate (Agricultural/Industrial Waste)

Substrates include lignocellulosic or cellulosic wastes that provide nutrients and mechanical support for mycelial growth. Common examples include wheat straw, rice husk, corn cob, coffee grounds, sawdust, or paper waste (Islam et al., 2018; Kutbay et al., 2022; Rajendran, 2022).

Particle Size: Chopping to sizes of 5–20 mm facilitates homogeneous mycelial distribution. Larger particles may increase porosity but reduce mechanical strength (Appels et al., 2019).

Pre-Treatment (Sterilization/Pasteurization): Autoclaving (121 °C) or heating in hot water (80–90 °C) for a specific duration minimizes unwanted microorganisms (Attias et al., 2020).

pH and Nutritional Adjustments: Additives such as CaSO₄ (gypsum) or bran can optimize mycelial growth (Alemu et al., 2022; Sariay et al., 2023).

2.1.3. Additional Additives and Modifiers

pH buffers, nutritional supplements, and coating materials shape the water resistance, mechanical strength, and suitability for various applications (Kutbay et al., 2022; Sydor et al., 2021).

2.2. Production Process

A review of various protocols in the literature (Attias et al., 2020; Kutbay et al., 2022; Mohseni et al., 2023) indicates that production can be summarized in four main stages: substrate preparation, inoculation, incubation (colonization), and heat treatment (drying).

2.2.1. Substrate Preparation

Cleaning and Chopping: The substrate is cleaned of foreign materials and then chopped to the desired size (5–20 mm).

Moisture and pH Adjustment: Through boiling/pasteurization, the substrate is brought to about 60–70% moisture. Gypsum or lime can be used to maintain a pH of 4–6 (Appels et al., 2019).

Sterilization: Treatment in an autoclave (121 °C, 15–30 min) or hot water reduces contamination risk (Alaneme et al., 2023).

2.2.2. Inoculation

The prepared substrate is mixed with fungal spawn at a specific ratio (e.g., 5–10%). Maintaining sterile conditions is crucial (Kutbay et al., 2022; Attias et al., 2020).

2.2.3. Incubation (Colonization)

Temperature and Humidity Control: The mixture is stored at 20–30 °C and 50–90% humidity for 7–20 days, during which the mycelium colonizes the substrate (Islam et al., 2018).

Molding (Optional): If the product requires a certain shape, molding may be performed during or after incubation (Alaneme et al., 2023).

2.2.4. Drying and Heat Treatment

Once mycelial colonization is complete, the product is dried/oven-baked at around 80–100 °C for 4–12 hours. This process kills living cells, halts biological activity, and stabilizes the product (Kutbay et al., 2022).

2.3. Experimental Design and Testing Procedures

2.3.1. Mechanical Tests

Density Measurement: The mass and volume of specimens are measured to determine density in g/cm³.

Compression/Flexural Strength: Mechanical strength is evaluated using universal testing machines following ASTM-like standards (Attias et al., 2020; Kutbay et al., 2022).

2.3.2. Thermal and Acoustic Analyses

Thermal Conductivity: The guarded hot plate or hot-wire method is used to determine thermal conductivity (W/mK) (Girometta et al., 2019).

Sound Absorption: Measurements of sound absorption, particularly at medium-high frequencies, are conducted using impedance tube or anechoic chamber tests (Walter & Gürsoy, 2022).

2.3.3. Water and Moisture Resistance

Water Absorption: Samples are immersed in water for a specified time, and the mass increase is recorded (Kutbay et al., 2022).

Thickness Swelling: Changes in thickness are measured during the same immersion tests to assess dimensional stability (Iordache et al., 2018).

2.3.4. Flammability (Ignition Time) Tests

Single Flame Source: A controlled flame is applied from a fixed distance for a set duration to determine ignition onset (Kutbay et al., 2022).

Cone Calorimetry: Used for detailed analysis of combustion behavior (Revin et al., 2022).

2.4. Considerations for Application

Mold Selection: Paper molds may be perceived as an extra cellulose source by the mycelium, whereas controlling moisture loss in plastic/metal molds becomes critical (Kutbay et al., 2022; Mohseni et al., 2023).

Production Time: Incubation and drying times are critical parameters for cost and scaling (Sydor et al., 2021).

Standardization: Variability between batches can complicate mass production. Automation is needed to standardize process parameters (Appels et al., 2019).

3. RESULTS

The mechanical, thermal, acoustic, and flammability properties of the final composite are strongly influenced by the chosen fungal species, substrate composition, and production parameters (moisture, temperature, incubation time, etc.) (Attias et al., 2020; Kutbay et al., 2022). This section summarizes frequently reported experimental findings and observations in the literature, evaluating the performance of these materials.

3.1. Mechanical Properties

3.1.1. Density and Porosity

Density: Reported values typically range from 0.05 to 0.40 g/cm³, indicating a lightweight advantage (Alaneme et al., 2023; Appels et al., 2019). Kutbay et al. (2022), measured densities between 0.07 and 0.09 g/cm³.

Porosity: Particle size and the degree of pressing affect the pore structure. High porosity increases insulation but can somewhat lower mechanical strength (Elsacker et al., 2019).

3.1.2. Compressive and Flexural Strength

Compressive Strength: Most commonly reported in the 0.1–0.8 MPa range, with values approaching or exceeding 1 MPa in pressed samples (Appels et al., 2019; Islam et al., 2018).

Flexural/Fracture Behavior: Generally sufficient for non-load-bearing components, but additional reinforcement may be required for applications subject to high loads (Attias et al., 2020).

3.1.3. Water and Moisture Sensitivity

Water Absorption: Levels as high as 250–260% have been observed (Kutbay et al., 2022) reflecting the porous structure.

Kalınlık Şişme: Swelling in the range of 2.5–3.5% indicates potential dimensional stability issues in humid environments (Alemu et al., 2022).

3.2. Thermal Properties

3.2.1. Thermal Conductivity

Value Range: Measured at approximately 0.02–0.05 W/mK, which points to good insulation (Girometta et al., 2019; Islam et al., 2018).

Substrate Effect: Rice husk and sawdust can lower thermal conductivity. Various combinations can achieve values in the 0.03–0.04 W/mK range (Alaneme et al., 2023)).

3.2.2. Effect of Temperature and Humidity

Increased Moisture: Reduces insulation capacity, necessitating surface coatings in external or humid applications (Elsacker et al., 2019; Sariay et al., 2023).

3.3. Acoustic Properties

Sound Absorption: The porous structure can yield absorption coefficients above 0.4 in the 500–2000 Hz range (Islam et al., 2018; Walter & Gürsoy, 2022). Suitable for indoor acoustic regulation (Alemu et al., 2022).

3.4. Flammability and Flame Retardancy

3.4.1. Ignition Time and Charring

Single Flame Source: Kutbay et al. (2022), reported ignition around the 67th second, with charring observed beforehand. Tests using cone calorimetry highlighted low heat release rates (Revin et al., 2022).

3.4.2. Flame-Retardant Factors

Biofilm and Additives: The protective layer formed by *Fusarium oxysporum* or additives such as boron compounds can extend ignition times (Appels et al., 2019; Iordache et al., 2018).

3.5. Other Findings and Observations

3.5.1. Pressing and Compaction

Cold Pressing: Retains porosity.

Hot Pressing: Increases density and strength (Appels et al., 2019; Attias et al., 2020).

3.5.2. Mold Selection

Paper Molds: May become fused into the substrate.

Plastic/Metal Molds: Require careful moisture control (Kutbay et al., 2022; Mohseni et al., 2023).

3.5.3. Variation Among Batches

Even with the same methods, products can vary significantly. Contamination and incubation conditions must be stabilized for mass production (Alaneme et al., 2023; Elsacker et al., 2019).

3.6. General Assessment

Low density, effective thermal/acoustic insulation, and partial flame retardancy are the strengths of mycelium-based composites (Alemu et al., 2022; Kutbay et al., 2022). However, their sensitivity to water and moisture, limited mechanical strength, and lack of standardized large-scale production underscore the need for continued R&D (Appels et al., 2019). It is predicted that such limitations can be significantly mitigated through the correct choice of species/substrate and the use of surface protection techniques (Sydor et al., 2021).

4. DISCUSSION

The findings detailed in the previous section clearly demonstrate that mycelium-based biomaterials offer noteworthy advantages in terms of sustainability, low carbon footprint, lightness, insulation (thermal and acoustic), and biodegradability (Alaneme et al., 2023; Attias et al., 2020; Kutbay et al., 2022). At the same time, important limitations persist, including susceptibility to moisture and water, relatively low mechanical strength, and standardization challenges in mass production (Appels et al., 2019; Elsacker et al., 2019). This section discusses the practical implications of these findings and future-oriented areas for improvement.

4.1. Strength and Insulation Performance: Mutual Interaction

Balancing Mechanical Strength vs. Insulation: High pressing or densification improves mechanical strength but reduces porosity, which in turn can diminish thermal/acoustic insulation (Revin et al., 2022). Production parameters must therefore be optimized according to the application's aims (Alaneme et al., 2023; Sariay et al., 2023).

4.2. Sensitivity to Water and Moisture

Limited Use in Outdoor Settings: High water absorption and thickness swelling values (Kutbay et al., 2022) mean that additional coatings are needed for exterior or damp environments (Appels et al., 2019).

Surface Protection Options: Experiments with biopolymer-based or wax/resin coatings are ongoing (Alaneme et al., 2023; Sydor et al., 2021).

4.3. Flammability Behavior and Safety

Ignition Time and Retardancy: While it may be possible to lengthen the onset of ignition, full compliance with fire codes may require additional chemicals or layered structures (Kutbay et al., 2022; Revin et al., 2022).

***Fusarium oxysporum* and Biofilm Formation:** Certain fungal species can create a flame-retardant film on the surface (Iordache et al., 2018).

4.4. Production Process and Scale-Up

Inter-Batch Variability: Due to biological processes, each batch can yield differing outcomes, posing quality control challenges in mass production (Elsacker et al., 2019).

Automation and Robotics: Full automation of inoculation, incubation, and drying processes, supported by robotic systems, can improve product quality (Alaneme et al., 2023; Mohseni et al., 2023).

4.5. Environmental and Economic Perspective

Low Carbon Footprint: The use of renewable resources and low energy consumption add significant value in green building certifications (Alemu et al., 2022; Attias et al., 2020).

Cost Analysis and LCA: Although an abundance of raw materials reduces cost, long production times and automation needs affect overall costs (Revin et al., 2022).

4.6. Future Directions and Areas for Improvement

Material Modifications: Flame-retardant additives, biofilm coatings, and water-repellent treatments (Appels et al., 2019; Iordache et al., 2018).

Species and Substrate Diversity: Desired mechanical/thermal properties can be targeted through different fungal species and waste combinations (Kutbay et al., 2022; Tacer-Caba et al., 2020).

4.7. Overall Assessment

Mycelium-based biomaterials exhibit strengths in lightness, insulation, and sustainability. If limitations regarding mechanical strength, water resistance, and standardized mass production can be addressed, these materials could find a much broader range of applications than conventional materials (Kutbay et al., 2022; Sydor et al., 2021). Given their contribution to the circular economy and low carbon footprint, large-scale commercialization of these materials is expected in the future (Alemu et al., 2022).

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

5.1. Conclusions

Sustainability and Environmental Benefits

Mycelium-based biomaterials, derived from agricultural or industrial waste, offer a low carbon footprint and biodegradability (Attias et al., 2020; Kutbay et al., 2022). They align with circular economy principles and contribute significantly to waste management (Alemu et al., 2022).

Mechanical and Physical Performance

Densities range between 0.05 and 0.40 g/cm³, resulting in lightweight materials with excellent thermal (0.02–0.05 W/mK) and acoustic insulation properties (Girometta et al., 2019; Walter & Gürsoy, 2022).

Sensitivity to water and moisture can be a limitation for outdoor applications, but there is potential for improvement through coatings or different production methods (Appels et al., 2019; Kutbay et al., 2022).

Flammability and Safety

Although ignition onset times can be comparable to or longer than those of synthetic foams, overall heat release rates are lower (Revin et al., 2022). Certain fungal species can produce flame-retardant biofilms (Iordache et al., 2018).

Production Process and Standardization

Small variations in incubation, pressing, or drying can lead to significant differences in final product properties (Elsacker et al., 2019). Automation, robotics, and quality control protocols are essential for mass production (Mohseni et al., 2023).

Application Potential

Mycelium composites show great promise in construction (insulation, filling), packaging, and decorative/design sectors (Rajendran, 2022; Sariay et al., 2023).

5.2. Recommendations

Improving Mechanical and Water Resistance

Incorporating biopolymer coatings (chitosan, lignin-based resins) or boron-based chemicals for flame-retardant/water-repellent properties (Appels et al., 2019; Iordache et al., 2018).

Optimizing press and mold design parameters to balance density, strength, and insulation (Kutbay et al., 2022).

Automation and Mass Production

Employing 3D printing, robotic inoculation, and sensor-based humidity/temperature control to ensure consistent quality (Mohseni et al., 2023).

Developing international standardization guidelines for serial production (Elsacker et al., 2019).

Diverse Fungal Species and Substrate Combinations

Exploring less-studied species like *Fusarium oxysporum* and *Agaricus bisporus* for additional benefits (biofilm formation, rapid spread) (Alaneme et al., 2023; Tacer-Caba et al., 2020).

Mixing wheat straw, rice husk, coffee grounds, and corn cobs in different ratios to achieve desired composite properties (Kutbay et al., 2022).

Fire Safety and Chemical Modification

Applying flame-retardant chemicals during incubation or as post-production coatings (Appels et al., 2019). Investigating the flame-retardant potential of surface films produced by *Fusarium oxysporum* or similar species (Iordache et al., 2018).

Economic and Logistical Viability

Reducing raw material costs by utilizing local waste sources (Rajendran, 2022). Assessing commercial sustainability through life cycle analysis (LCA) and cost-benefit studies (Alaneme et al., 2023).

5.3. Overall Assessment

Mycelium-based biomaterials are garnering increasing attention due to their low carbon footprint, contribution to waste management, and relatively straightforward production processes (Attias et al., 2020; Kutbay et al., 2022). The results confirm their potential as alternatives to conventional petroleum-based foams, especially in thermal/acoustic insulation and packaging (Sariay et al., 2023; Walter & Gürsoy, 2022). However, it is evident that further research is needed in areas such as mechanical enhancement, water resistance, and standardization for large-scale production (Elsacker et al., 2019). With technological and scientific innovations, mycelium-based composites are expected to become a widely adopted industrial solution in the near future (Alemu et al., 2022; Revin et al., 2022).

REFERENCES

- Alaneme, K. K., Anaele, J. U., Oke, T. M., Kareem, S. A., Adediran, M., Ajibuwa, O. A., & Anabaranze, Y. O. (2023). Mycelium based composites: A review of their bio-fabrication procedures, material properties and potential for green building and construction applications. *Alexandria Engineering Journal*, 83, 234–250. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2023.10.012>
- Alemu, D., Tafesse, M., & Gudetta Deressa, Y. (2022). Production of Mycoblock from the Mycelium of the Fungus *Pleurotus ostreatus* for Use as Sustainable Construction Materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022(1), 2876643. <https://doi.org/10.1155/2022/2876643>
- Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials and Design*, 161, 64–71. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2018.11.027>
- Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119037>
- Elsacker, E., Vandeloock, S., Brancart, J., Peeters, E., & De Laet, L. (2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLOS ONE*, 14(7), e0213954. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0213954>
- Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., & Savino, E. (2019). Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review. *Sustainability* 2019, Vol. 11, Page 281, 11(1), 281. <https://doi.org/10.3390/SU11010281>
- Islam, M. R., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L., & Picu, R. C. (2018). Mechanical behavior of mycelium-based particulate composites. *Journal of Materials Science*, 53(24), 16371–16382. <https://doi.org/10.1007/S10853-018-2797-Z/FIGURES/9>
- Iordache, O., Perdum, E., Mitran, E. C., Chivu, A., Dumitrescu, I., Ferdeş, M., & Săndulache, I. M. (2018). Novel myco-composite material obtained with *fusarium oxysporum*. 111–116. <https://doi.org/10.24264/ICAMS-2018.I.16>
- Kutbay, H. N., Yavuzcan, G. H., & Aktaş, S. (2022). Mantarın Bağlayıcı Olarak Kullanıldığı Bir Kompozit Malzemenin Üretilmesi ve Tutuşma Süresi ile Su Alma Özelliklerinin Tespiti. *Politeknik Dergisi*, 25(4), 1701–1711. <https://doi.org/10.2339/POLITEKNİK.943738>
- Mohseni, A., Vieira, F. R., Pecchia, J. A., & Gürsoy, B. (2023). Three-Dimensional Printing of Living Mycelium-Based Composites: Material Compositions, Workflows, and Ways to Mitigate Contamination. *Biomimetics* 2023, Vol. 8, Page 257, 8(2), 257. <https://doi.org/10.3390/BIOMIMETICS8020257>
- Rajendran, R. C. (2022). Packaging Applications of Fungal Mycelium-Based Biodegradable Composites. *Fungal Biopolymers and Biocomposites: Prospects and Avenues*, 189–208. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1000-5_11

- Revin, V. V., Liyaskina, E. V., Parchaykina, M. V., Kuzmenko, T. P., Kurgaeva, I. V., Revin, V. D., & Ullah, M. W. (2022). Bacterial Cellulose-Based Polymer Nanocomposites: A Review. *Polymers* 2022, Vol. 14, Page 4670, 14(21), 4670. <https://doi.org/10.3390/POLYM14214670>
- Sariay, E., Cörüt, A., & Büyükkıncı, B. Y. (2023). Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 196–207. <https://doi.org/10.29048/MAKUFEBED.1228676>
- Stamets, P. (2005). *Mycelium Running*.
- Sydor, M., Bonenberg, A., Doczekalska, B., & Cofta, G. (2021). Mycelium-Based Composites in Art, Architecture, and Interior Design: A Review. *Polymers* 2022, Vol. 14, Page 145, 14(1), 145. <https://doi.org/10.3390/POLYM14010145>
- Tacer-Caba, Z., Varis, J. J., Lankinen, P., & Mikkonen, K. S. (2020). Comparison of novel fungal mycelia strains and sustainable growth substrates to produce humidity-resistant biocomposites. *Materials & Design*, 192, 108728. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2020.108728>
- Teixeira, J. L., Matos, M. P., Nascimento, B. L., Griza, S., Holanda, F. S. R., & Marino, R. H. (2018). Production and mechanical evaluation of biodegradable composites by white rot fungi. *Ciência e Agrotecnologia*, 42(6), 676–684. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018426022318>
- Walter, N., & Gürsoy, B. (2022). A Study on the Sound Absorption Properties of Mycelium-Based Composites Cultivated on Waste Paper-Based Substrates. *Biomimetics* 2022, Vol. 7, Page 100, 7(3), 100. <https://doi.org/10.3390/BIOMIMETICS7030100>

Makale id= 28

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-7647-0023

| 27

MATLAB/Simulink Yazılımında Pekiştirmeli Öğrenme Kullanılarak Ters Sarkacın Kontrolü

Arş.Gör. Erman Köybaşı¹, Doç.Dr. Sabri Bıçakçı¹, Öğr.Gör. Batın Demircan¹,
Doç.Dr. Ersin Akyüz¹
¹Balıkesir Üniversitesi

*Corresponding author: Erman Köybaşı

Özet: Yapay zeka sistemleri birçok alanda devrim yapmıştır ve kontrol teorisi ile sarkaç sistemleri üzerindeki etkisi de benzer şekildedir. Bu alanlarda yapay zeka kullanımı, karmaşık ve doğrusal olmayan dinamikleri daha yüksek verimlilik ve doğrulukla ele alabilen gelişmiş kontrol stratejilerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Kontrol teorisinde, sinir ağları ve takviyeli öğrenme gibi yapay zeka algoritmaları, sürekli olarak öğrenebilen ve değişen sistem davranışlarına uyum sağlayabilen uyarlanabilir kontrolörler tasarlamak için kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, kontrol sistemlerinin performanslarını gerçek zamanlı olarak otonom bir şekilde optimize etmeleri için yeni olanaklar sunmuş ve daha sağlam ve güvenilir kontrol çözümlerinin ortaya çıkmasına imkan tanımıştır. Sarkaç sistemleri bağlamında, yapay zeka tabanlı kontrol yaklaşımları, bozucuların bozuklukların ve çevresel belirsizliklerin varlığında bile sarkaç hareketini etkili bir şekilde stabilize etme ve kontrol etme potansiyeli sunmaktadır. Yapay zekanın yardımıyla sarkaç sistemlerinin doğası gereği doğrusal olmayan dinamiklerini hassas bir şekilde ele alabilen akıllı kontrol sistemleri geliştirilmektedir. Bununla birlikte, yapay zekanın kontrol teorisi ve sarkaç sistemlerine entegrasyonu, gelecekteki sistem davranışını öngörebilen ve istenen performans sonuçlarını elde etmek için kontrol eylemlerini proaktif olarak ayarlayabilen öngörücü kontrol tekniklerinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu yetenek, kontrol sistemlerinin kararlılığını ve verimliliğini artırmakla birlikte aynı zamanda sarkaç tabanlı uygulamalarda öngörücü bakım ve arıza tespiti için fırsatlar sunmaktadır. Sonuç olarak, kontrol teorisi ve sarkaç sistemlerinde yapay zekanın benimsenmesi, kontrol stratejileri, kararlılık ve öngörü yeteneklerinde önemli ilerlemeler sağlamıştır. Bu çalışmada gerçek bir ters sarkaç sistemine ait parametreler Matlab/Simulink ortamına aktarılacak ve yapay zeka alanının önemli bir alt dalı olan reinforcement learning kontrol metodu ile bilgisayar ortamında Matlab/Simulink yazılımına aktarıldıktan sonra algoritmada eğitilerek ters sarkacın bilgisayar ortamında kontrol edilmesi sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kontrol Teorisi, Yapay Zeka, Pekiştirmeli Öğrenme, Ters Sarkaç, Robotik

Control of An Inverted Pendulum Using Reinforcement Learning in MATLAB/Simulink Software

Abstract: Artificial intelligence (AI) systems have brought about a revolution in numerous domains, and their impact on control theory and pendulum systems is no different. The utilization of AI in these areas has facilitated the development of sophisticated control methodologies capable of managing complex and nonlinear dynamics with increased efficiency and precision. Within control theory, AI algorithms such as neural networks and reinforcement learning are employed to devise adaptive controllers that can continuously learn and adapt to evolving system behaviors. This approach has created new opportunities for control systems to autonomously optimize their real-time performance, leading to more robust and dependable control solutions. Regarding pendulum systems, AI-based control approaches hold promise for effectively stabilizing and managing pendulum motion, even in the presence of disturbances and environmental uncertainties. With the assistance of AI, intelligent control systems are being developed to precisely handle the inherently nonlinear dynamics of pendulum systems. Furthermore, the integration of AI into control theory and pendulum systems has led to the development of predictive control techniques capable of forecasting future system behaviors and proactively adjusting control actions to achieve desired performance outcomes. This capability not only enhances the stability and efficiency of control systems, but also provides opportunities for predictive maintenance and fault detection in pendulum-based

applications. Consequently, the adoption of artificial intelligence in control theory and pendulum systems has resulted in significant advancements in control strategies, stability, and predictive capabilities. This study aims to transfer the parameters of a real inverted pendulum system to the Matlab/Simulink environment and control the inverted pendulum in a computer-based setting using reinforcement learning control, an important sub-branch of the artificial intelligence field. This will involve training the algorithm after transferring it to the Matlab/Simulink software.

Keywords: Control Theory, Artificial Intelligence, Reinforcement Learning, Inverted Pendulum, Robotics

1. INTRODUCTION

Boubaker and Iriarte (2017) and Khan et al., (2018) states that inverted pendulum systems are structures that are encountered as theoretical research and various experimental objects in the field of control engineering and are expressed as nonlinear systems. Kim and Kwon (2015) and Xu and Yu (2004) shows that high-order nonlinear models called inverted pendulum systems find practical application in structures such as humanoid robots and two-wheeled self-balancing systems.

The inverted pendulum system basically consists of a pendulum that swings freely without providing movement and a carriage part that moves on a certain axis to ensure that this pendulum remains balanced in an upright position as depicted by Bicakci (2012). On the other hand, inverted pendulum systems are one of the basic criteria used in the field of control engineering.

Reinforcement learning plays a crucial role in the advancement of artificial intelligence. It enables AI systems to learn and adapt in dynamic environments, make complex decisions, and optimize their actions based on feedback. Arulkumaran et al., (2017) proves that these features are essential for many areas, especially robotics applications.

However, in recent years, the use of inverted pendulum applications in control systems has shown great potential for a variety of industries, including robotics, aerospace, and manufacturing. Brunke et al., (2021) states that as technology continues to advance, the potential for these systems to increase efficiency, safety, and overall performance is also increasing.

2. METHOD

The system basically consists of an inverted pendulum, Labview software for controlling the inverted pendulum, and MATLAB software for simulation work in a computer environment. The inverted pendulum structure used in the study consists of the car belonging to the system, the 3-joint arm structure coupled to the car, the myRIO module from National Instruments, and power supply components. Figure 1 shows the physical inverted pendulum structure. The cart on which the inverted pendulum system is mounted has a 1.8-meter range of motion and moves on a linear slide with a belt-pulley mechanism. The position of the cart is controlled by a linear incremental encoder with a resolution of 0.025 mm, and the angle of the pendulum is controlled by a rotary incremental encoder with a resolution of 0.018 degrees using the National Instruments myRIO embedded system. The myRIO hardware includes an ARM Cortex A9 processor and a Xilinx Zynq 7 FPGA structure.

Figure 1. Inverted Pendulum System.

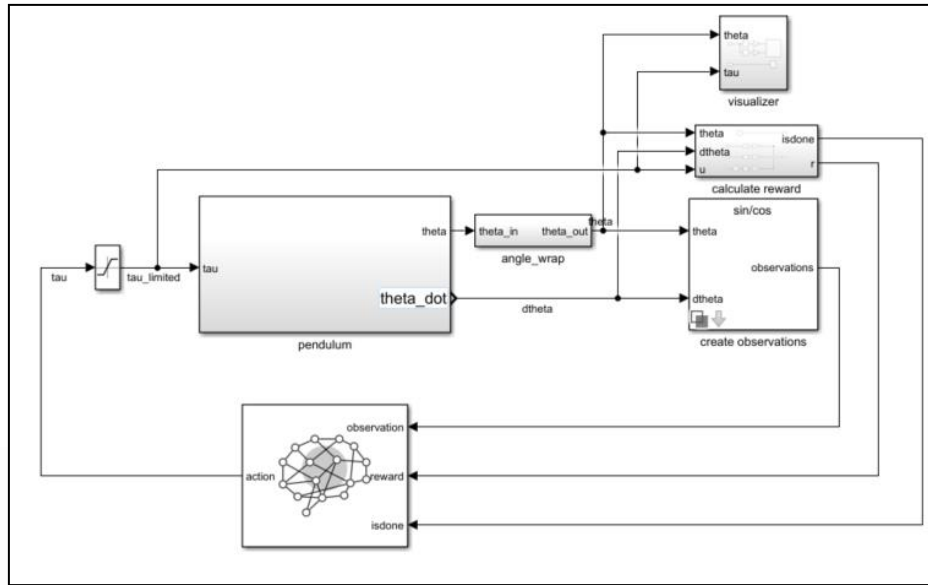
The parameters of the physical quantities of the inverted pendulum system in the laboratory environment were first transferred to the MATLAB/Simulink environment. After this transfer, a single-joint model of the same inverted pendulum structure was created in the computer environment instead of the physical inverted pendulum structure.

The physical parameters of the inverted pendulum system are given in Table 1.

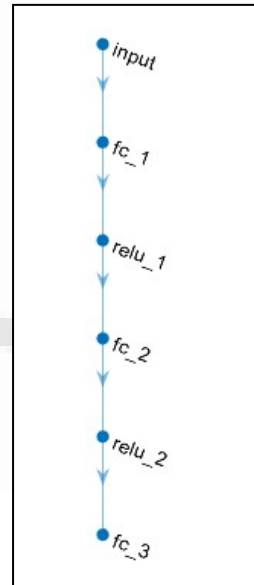
Table 1. Physical Parameters of an Inverted Pendulum.

Symbol	Description	Value
m	Mass of the pendulum	2.09838 kg
l	Length of the center of gravity	0.25535 m
I	Moment of inertia of the pendulum	0.05052 kg.m ²
g	Gravitational acceleration	9.81 m/s ²
M	Mass of the car	1.70411 kg
r	Pulley Radius	0.012415 m
N	Gear ratio	8
η	Dc motor efficiency	0.90
K_t	Torque constant	0.0385 N.m/A
K_b	Inverse electromotr force coefficient	0.0385 V.s/rad
R_a	Armature resistance	0.103 ohm
J_m	Moment of inertia of the motor	6.03e-5 kg.m ²
F_{fp}	Viscous friction constant of the pendulum	0
F_{fc}	Viscous friction constant of the car	72.49 N.s/m

In order to run the reinforcement learning control structure in a computer environment, the Simulink diagram given in Figure 2 was created using the “MATLAB Reinforcement Learning Toolbox”.

Figure 2. MATLAB/Simulink Diagram.

In order for the diagram given in Figure 2 to work, the relationship between the input and output functions of the model used is defined as in Figure 3.

Figure 3. Critic Network Layers

After the specified arrangements, the code structure given below was run in the MATLAB software environment and agent training was started. The MATLAB software codes for the application are as follows.

```
%MATLAB simulink inverted pendulum reinforcement learning control code
```

```
clc;
```

```
clear;
```

```
close all;
```

```
mdl="rlSimplePendulumLabVal";
open_system(mdl)
obsInfo = rlNumericSpec([3 1])
obsInfo.Name = "observations";
actInfo = rlFiniteSetSpec([-24 0 24])
actInfo.Name = "torque";
agentBlk = mdl + "/RL Agent";
env = rlSimulinkEnv(mdl,agentBlk,obsInfo,actInfo)
env.ResetFcn = @(in) setVariable(in,"theta0",pi,"Workspace",mdl);
Ts = 0.05;
criticNet = [
featureInputLayer(prod(obsInfo.Dimension))
fullyConnectedLayer(24)
reluLayer
fullyConnectedLayer(48)
reluLayer
fullyConnectedLayer(numel(actInfo.Elements))];
criticNet = dlnetwork(criticNet);
summary(criticNet)
plot(criticNet)
critic = rlVectorQValueFunction(criticNet,obsInfo,actInfo);
criticOpts = rlOptimizerOptions(LearnRate=0.001,GradientThreshold=1);
agentOptions = rlDQNAgentOptions(...
SampleTime=Ts,...
CriticOptimizerOptions=criticOpts,...
ExperienceBufferLength=3000,...
UseDoubleDQN=false);
agent = rlDQNAgent(critic,agentOptions);
trainingOptions = rlTrainingOptions(...
MaxEpisodes=1000,...
MaxStepsPerEpisode=500,...
ScoreAveragingWindowLength=5,...
Verbose=false,...
Plots="training-progress",...
StopTrainingCriteria="AverageReward",...
StopTrainingValue=-750,...
SaveAgentCriteria="EpisodeReward",...
```

```

SaveAgentValue=-750);
trainingStats = train(agent,env,trainingOptions);
simOptions = rlSimulationOptions(MaxSteps=500);
experience = sim(env,agent,simOptions);

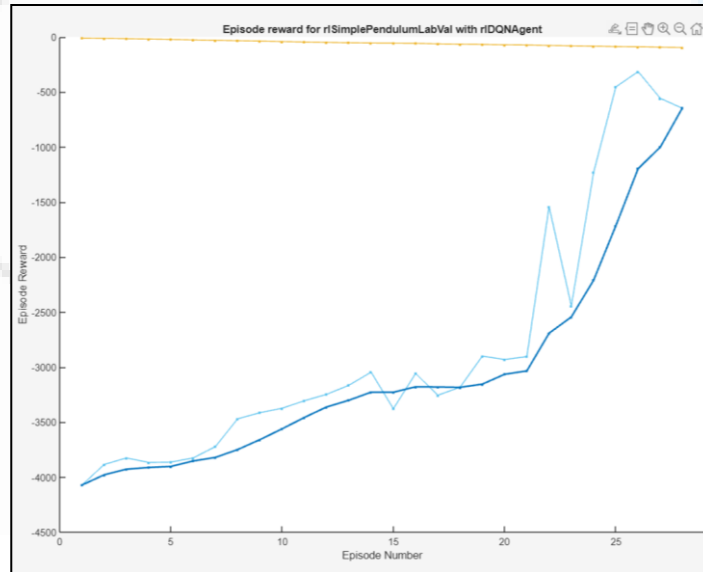
```

3. FINDINGS

| 32

The output found in the agent training performed to balance the inverted pendulum system is given in Figure 4. In this graph, the number of episodes performed by the agent during its training is shown on the x-axis, and the reward value received by the agent in each episode is shown on the y-axis. Here, episode is the unit training period consisting of the agent's 500-step movement in our system. Due to the structure of the Agent DQN, it can only move discretely, that is, it moves the cart to the right or left by applying maximum torque to keep the pendulum, which starts in a stable rest position, in balance by bringing it to an unstable rest position during an episode. An episode ends after the agent performs this action 500 times and receives the reward calculated by the reward function determined by the designer while designing the reinforcement learning system (in this simulation, it is $r_t = -(\theta_t^2 + 0.1\dot{\theta}_t^2 + 0.001u_{t-1}^2)$) as feedback. In order to increase exploration during the training process, the agent trains the neural network by choosing the action that will maximize this reward or a random action at each step, depending on the epsilon value in the system. At the end of the training process, the desired total reward was reached in the 26th episode and the system was kept in the desired balance.

Figure 4. MATLAB Simulation Results.

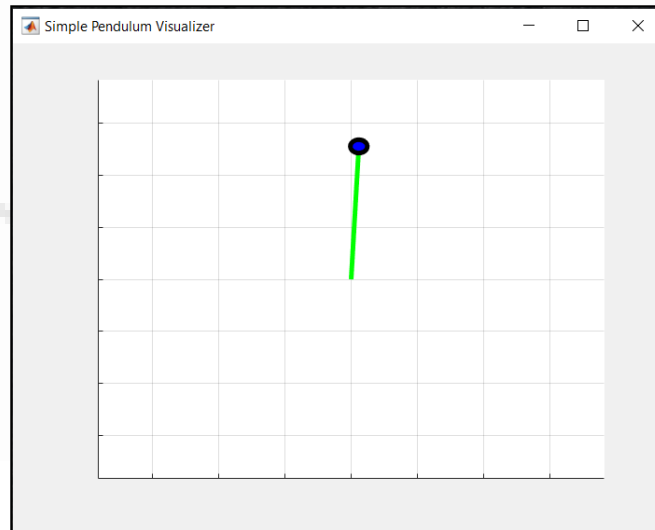


As shown in Figure 5, the inverted pendulum system was kept in balance by using the reinforcement learning method, which was used for a total of 28 iterations to balance the system.

Figure 5. MATLAB Training Results.

Episode number:	28/1000
Start time:	16-Apr-2024 15:40:02
Duration:	00:03:00
Final result:	Training finished after all agents reached stop training criteria.
Training Information	
Agent	Status
rIDQNAgent	Training finished

In Figure 6, the result image of the simulation of the swing up experiment of the inverted pendulum using the neural network obtained as a result of training with the parameters belonging to the physical inverted pendulum structure is given.

Figure 6. MATLAB Inverted Pendulum Simulation Results.

4. CONCLUSION

The parameters of a real inverted pendulum system were transferred to the MATLAB/Simulink software environment. A reinforcement learning agent was trained using the simulation environment and the Reinforcement Learning Toolbox. After training the AI agent kept the pendulum in the equilibrium position in the experiment simulations. The results obtained were determined to be successful and a study was carried out in the field of control engineering.

5. RECOMMENDATIONS FOR FUTURE STUDIES

The potential of reinforcement control systems in inverted pendulum applications can be evaluated as unlimited. Developments in a technological field such as artificial intelligence and machine learning will continue to play an important role for these control systems.

The results obtained with the Reinforcement Learning control structure, one of the sub-divisions of artificial intelligence, can be transferred to the controller in the system in real time to be used in the control of the inverted pendulum existing in the physical world.

| 34

6. REFERENCES

- Arulkumaran, K., Deisenroth, M. P., Brundage, M., & Bharath, A. A. (2017). A Brief Survey of Deep Reinforcement Learning *IEEE Signal Processing Magazine, Special Issue On Deep Learning For Image Understanding (Arxiv Extended Version)*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1708.05866>
- Bicakci, S. (2012) Sanal elemanlar yardımı ile üst seviye robot kontrol sistemi tasarımı. Retrieved April 21, 2024, from <https://dspace.balikesir.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12462/373>
- Boubaker, O., & Iriarte, R. (2017). The Inverted Pendulum in Control Theory and Robotics: From theory to new innovations. *The Inverted Pendulum in Control Theory and Robotics*, 1–395. <https://doi.org/10.1049/PBCE111E>
- Brunke, L., Greeff, M., Hall, A. W., Yuan, Z., Zhou, S., Panerati, J., & Schoellig, A. P. (2021). Safe Learning in Robotics: From Learning-Based Control to Safe Reinforcement Learning. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 5, 411–444. <https://doi.org/10.1146/annurev-control-042920-020211>
- Khan, A. R., Khan, M. A., Zubair, A., & Irshad, S. F. (2018). Two Wheel Self-Balancing Human Carrier. *Proceedings of the 21st International Multi Topic Conference, INMIC 2018*. <https://doi.org/10.1109/INMIC.2018.8595555>
- Kim, S., & Kwon, S. J. (2015). Dynamic modeling of a two-wheeled inverted pendulum balancing mobile robot. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 13(4), 926–933. <https://doi.org/10.1007/S12555-014-0564-8/METRICS>
- Xu, C., & Yu, X. (2004). Mathematical modeling of elastic inverted pendulum control system. *Journal of Control Theory and Applications* 2004 2:3, 2(3), 281–282. <https://doi.org/10.1007/S11768-004-0010-1>

Makale id= 53

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0000-8270-6151

| 35

Yüksek Frekanslı Titreşim Altında Nonlinear Kauçuk Bileşenlerin Coherence Analizinde Örneklem Frekansı ve Pencere Uzunluğunun EtkisiAraştırmacı Ege Özdemiryürek¹, Prof.Dr. Hakan Gürkan²¹Angst+Pfister²Bursa Teknik Üniversitesi

*Corresponding author: Ege Özdemiryürek

Özet: Bu çalışma, örneklem frekansı ve pencere uzunluğunun, yüksek frekanslı mekanik titreşime (50 Hz - 3000 Hz) maruz kalan nonlinear bir kauçuk numunenin coherence tahmini üzerindeki etkisini incelemektedir. Geleneksel olarak lineer sistemlere odaklanan çalışmaların aksine, bu araştırma kanatlı tasarıma sahip elastomerik bir bileşeni analiz etmekte olup, ivme giriş sinyali olarak uygulanırken, kuvvet çıkış sinyali olarak ölçülmektedir. Coherence fonksiyonu, Welch yöntemi kullanılarak farklı pencere uzunlukları (%0.1'den %100'e kadar) ve dört farklı örneklem frekansı (8192, 16384, 32768, 65536 Hz) ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, spektral sızıntı ile frekans çözünürlüğü arasındaki dengeyi ortaya koymakta ve pencere uzunluğu toplam sinyal süresinin %50'sini aştığında coherence değerlerinin yapay olarak 1'e ulaştığını göstermektedir. Bu çalışma, Welch tabanlı coherence analizinin nonlinear kauçuk malzemelere uygulanmasına dair önemli metodolojik bulgular sunmakta olup, pencereleme ve spektral ortalama ile ilgili geleneksel varsayımların, bu tür malzemelerde hatalı yorumlamalara yol açabileceğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, yüksek frekanslı uyarıma maruz kalan nonlinear elastomerik sistemlerin frekans alanındaki karakterizasyonunun güvenilirliğini artırmaya katkıda bulunmaktadır. **Keywords:** Nonlinear Rubber rubber materials, Coherence analysis, Welch method, High-frequency vibration, Sampling rate effect

Anahtar Kelimeler: Nonlinear Kauçuk Malzeme, Coherence Analizi, Welch Metodu, Yüksek Frekans Titreşim, Örneklem Oranı Etkisi

Effect of Sampling Rate and Window Length On Coherence Analysis of Nonlinear Rubber Components Under High-Frequency Vibration

Abstract: This study investigates the influence of sampling rate and window length on the coherence estimation of a nonlinear rubber specimen under high-frequency mechanical vibration (50 Hz - 3000 Hz). Unlike traditional studies focusing on linear systems, this research analyzes an elastomeric component with a winged design, where the input signal is acceleration, and the output is force. The coherence function is computed using Welch's method with varying window lengths (0.1% to 100% of the total signal duration) and four different sampling rates (8192, 16384, 32768, 65536 Hz). The results reveal a trade-off between spectral leakage and frequency resolution, with coherence values artificially reaching 1 when the window length exceeds 50% of the total duration. This study provides critical insights into the application of Welch-based coherence analysis for nonlinear rubber materials, where traditional assumptions about windowing and spectral averaging may lead to misleading interpretations. The findings contribute to improving the reliability of frequency-domain analysis in nonlinear elastomeric systems subjected to high-frequency excitation.

Keywords: Nonlinear Rubber Materials, Coherence Analysis, Welch Method, High-Frequency Vibration, Sampling Rate Effect

1. Introduction

Electric vehicles' increasing usage and popularity in recent years have led to new requirements for

various components used in automobiles[1]. One of these changes is related to the vibration conditions generated by the vehicle. In internal combustion engine vehicles, mechanical waves reach up to a maximum of 200 Hz, whereas in electric vehicles, they exhibit significantly lower amplitudes but can extend up to 2500 Hz. This shift has necessitated that rubber-based vibration-damping components, which are inherently nonlinear in both design and material properties, be developed with different design considerations and material characteristics.

Mechanical vibration analyses are widely used in engineering applications to understand system dynamics and characterize material behavior. The coherence function is a crucial tool for determining the frequency-dependent relationship between a system's input and output signals. Traditionally, coherence analyses have been primarily applied to linear systems and used to examine the frequency response of linear materials. Additionally, in the past, the automotive industry did not focus on high-frequency behaviors due to the lack of necessity for such analyses. However, nonlinear elastomeric materials, such as rubber, exhibit complex and non-linear responses to high-frequency vibrations.

The Welch method is one of the most commonly used techniques for estimating spectral density functions, aiming to enhance frequency resolution while reducing spectral leakage through windowing and averaging processes[2]. However, the impact of window length and data segmentation on coherence estimation has not been sufficiently investigated for nonlinear materials. In particular, there is no systematic study in the literature on how to optimize window length and sampling frequency in the coherence analysis of elastomeric components subjected to high-frequency mechanical vibrations.

In this study, the coherence analysis of a nonlinear rubber specimen with a finned design was conducted, and the effects of sampling frequency and window length on the coherence function, calculated using the Welch method, were investigated. In the analysis, acceleration was selected as the input signal, while force was chosen as the output signal, and a sweep test was performed in the frequency range of 50 Hz to 3000 Hz. The sampling frequency was varied across four different values (8192, 16384, 32768, and 65536 Hz), while the window length was incrementally increased from 0.1% to 100% of the test duration. Welch-based Cross-Power Spectral Density (CPSD) and Auto-Power Spectral Density (APSD) calculations were performed accordingly.

The obtained results indicate that as the window length increases, spectral leakage decreases; however, frequency resolution is altered. Additionally, it was observed that when the window length exceeds 50% of the total signal duration, the coherence values artificially reach 1. This finding provides important insights into how reduced data segmentation and spectral averaging influence coherence calculations.

This study presents new methodological approaches for optimizing Welch-based coherence analysis to better understand the behavior of nonlinear rubber materials under high-frequency vibrations. The findings contribute to the frequency-domain characterization of nonlinear elastomers, enabling more reliable analyses in engineering applications.

2. Theoretical Background

2.1. Auto-Power Spectral Density (APSD) and Cross-Power Spectral Density (CPSD)

The power spectral density (APSD) of a signal $x(t)$ represents the power distribution of the signal across different frequency components and is defined using the Fourier transform as follows:

$$S_{xx} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E[|X_T(f)|^2] \quad (\text{eq. 1})[3]$$

Here:

- $S_{xx}(f) \rightarrow$ Auto-Power Spectral Density
- $X_T(f) \rightarrow$ Fourier transform of signal
- $T \rightarrow$ Length of Signal
- $E[.] \rightarrow$ Expected value operator

The cross-power spectral density (CPSD) between two signals defines the frequency-dependent relationship between the input signal $x(t)$ and the output signal $y(t)$ and is expressed as follows:

$$S_{xy} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E[|X_T^*(f) Y_T(f)|] \quad (\text{eq. 2})[4]$$

Here:

- $S_{xy}(f) \rightarrow$ Cross power spectral density between signals $x(t)$ and $y(t)$
- $X_T^*(f) \rightarrow$ Complex conjugate Fourier transform of signal $x(t)$
- $Y_T(f) \rightarrow$ Fourier transform of signal $y(t)$

| 37

These calculations can be performed directly using the Fourier transform; however, the Welch method is employed to reduce spectral leakage and obtain reliable results through windowing and averaging processes [1].

2.2. CPSD and APSD Calculation Using the Welch Method

The Welch method is a technique used to reduce spectral leakage and decrease the variance caused by data segmentation in spectral density calculations. In this method, the signal is divided into segments of specific lengths, the Fourier transform is calculated for each segment, and the results are averaged [5]. The calculation of APSD and CPSD for a signal using the Welch method is performed through the following steps.

- The signal is divided into segments of specific lengths (e.g., at percentages such as 10%, 20%).
- A window function is applied to each segment (in this study, a Hanning window was used).
- The FFT of each segment is calculated to obtain the power spectral density.
- The spectral density is calculated by averaging across all segments.

2.3. Coherence Function

The coherence function indicates the strength of the linear relationship between the input and output signals of a system in the frequency domain[5]. The coherence value ranges from 0 to 1, with values closer to 1 indicating a stronger linear relationship between the signals. Coherence is defined by the following formula:

$$\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)} \quad (\text{eq. 3})[6]$$

Here:

- $\gamma_{xy}^2(f) \rightarrow$ Coherence function between input and output signals
- $S_{xy}(f) \rightarrow$ Cross power spectral density
- $S_{xx}(f) \rightarrow$ APSD of input signal
- $S_{yy}(f) \rightarrow$ APSD of output signal

When the coherence value is 1, the two signals are completely linearly related. In this study, the coherence values reaching 1 when the window length exceeds 50% of the total signal duration are due to the loss of data averaging resulting from the decrease in the number of segments.

2.4. Reasons for Choosing the Hanning Window

In this study, the Hanning window was chosen to reduce spectral leakage. It is one of the most commonly used windows in data segmentation and is widely preferred in vibration analysis. Its formula is as follows [5]:

$$w(n) = 0.5 \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \right) \quad (\text{eq. 4})[5]$$

Here, $w(n)$ represents the Hanning window function, and N is the window length. The primary reason for choosing the Hanning window in this study is its ability to reduce spectral leakage. It suppresses the

side lobes of sharp frequency components and prevents the emergence of unwanted spurious spectral components in vibration analysis. At the same time, it provides a balanced frequency resolution [5].

3. Experimental Methodology

3.1. Test Specimen

The test specimen is a nonlinear elastomeric rubber component with a finned design, created as an example of vibration isolation systems used in automotive and aerospace applications.

3.2. Experimental Setup

In the experiment, an electro-dynamic shaker was used with a sweep rate of 1 Octave/minute, covering the frequency range of 50-3000 Hz. The amplitude was set to 3g.

An accelerometer of PCB brand was used for collecting acceleration data, while a Kistler brand piezoelectric force sensor was used for collecting force data. The accelerometer will collect the input signals of the system, and the force sensor will collect the output signals. It should also be noted that a 4.97 kg apparatus was used in the system to compensate for the effects of the moment of inertia.

The test was repeated four times under the exact same conditions. In each test, different sampling frequencies were used sequentially: 8192, 16384, 32768, and 65536 Hz. The test setup and specimen are shown in the figure and table below. Additionally, the table provides all the parameters applied during the test. During the data collection phase of this study, the test was repeated using the same parameters each time.

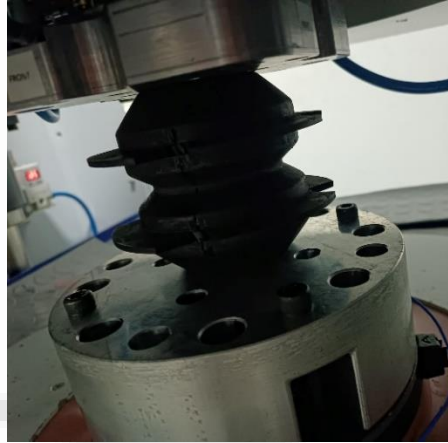


Figure 1: Test specimen

Table 1: Test Parameters

Specimen Name	Hollow Rubber Spring
Upper Mass[kg] :	4.97kg
Frequency Interval[Hz] :	50-3000
Preload[N] :	600
Amplitude[g] :	±3
Sweep Rate[Oct/min]	1
Sampling Rate[sample/sec.]	8192, 16384, 32768, 65536

3.3. Data Processing

In this section, the stages of data processing of the study are given in order.

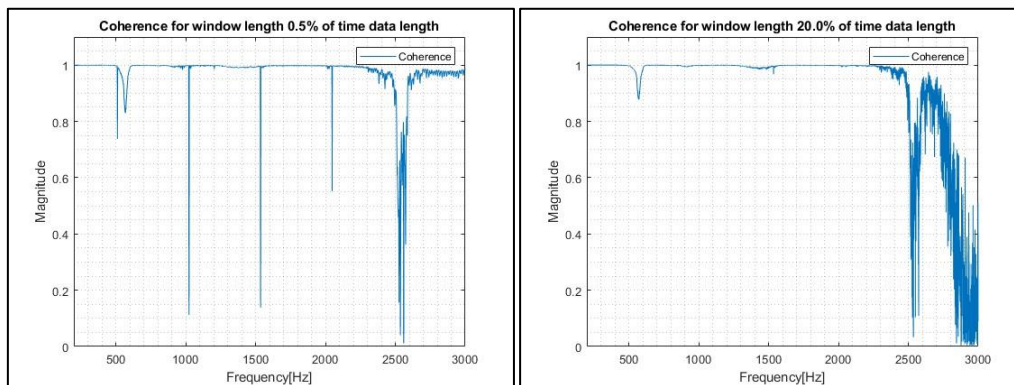
- The obtained signals were analyzed using Matlab. The Welch method was used for the coherence calculation, and the following steps were followed:
- The data was transferred into the Matlab environment.
- After the acceleration data was transformed into the frequency domain using FFT, it was converted into displacement data by taking two integrals. Then, the inverse FFT was applied to obtain the input signal in the time domain, with the unit "mm." [7].
- Before using the force sensor data, the net force was calculated manually by multiplying the acceleration data on the system with the 4.7 kg upper mass information, which was entered manually into the system. The moment of inertia effect, caused by the upper mass, was then calculated and added to the recorded force, resulting in the net force. The obtained net force is considered the system's output signal.
- The APSD and CPSD functions were obtained using the Hanning window. The window length was changed from 0.1% to 100% of the length of the input and output signals of the same length, and the APSD and CPSD calculations were repeated. The aim of this study is to investigate the variability of spectral leakage and frequency resolution. Additionally, the overlap ratio was kept constant at 50%.
- Coherence was calculated for each window length using the obtained APSD and CPSD, and frequency-dependent graphs were plotted.
- This process was repeated for each data set collected at different sampling rates.

4. Results and Discussion

4.1. Results

As described in section 3.3, as a result of these processes, graphs containing the Coherence results for data sets with four different sampling rates, selected in accordance with the Nyquist Theorem from 0.1% window length to 100% window length, were obtained [8].

In the study, numerous graphs were obtained, and some examples for different sampling rates and window lengths are provided. As stated at the beginning of the paper, the test conditions were kept consistent throughout. That is, the tests were performed with the same sweep rate and within the same frequency ranges. The only variation was the sampling rate, so each of the four sets of graphs represents the same test, but recorded with different sampling rates.



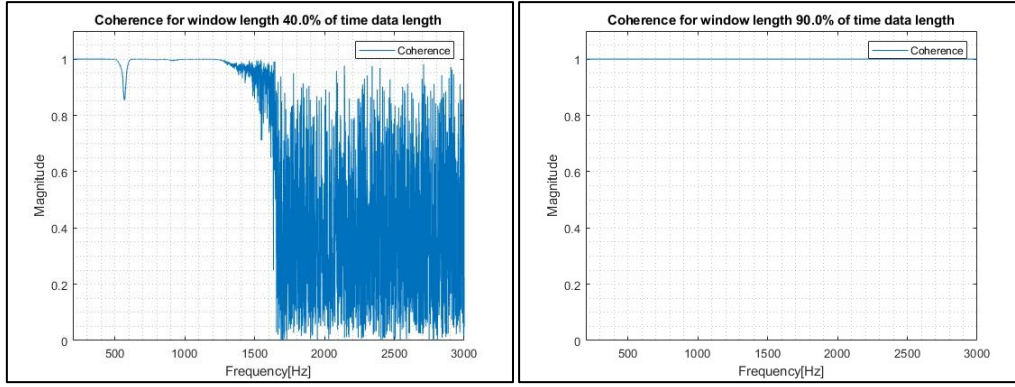


Figure 2: Coherence Results of Different window lengths on Sampling Rate 8192 Hz.

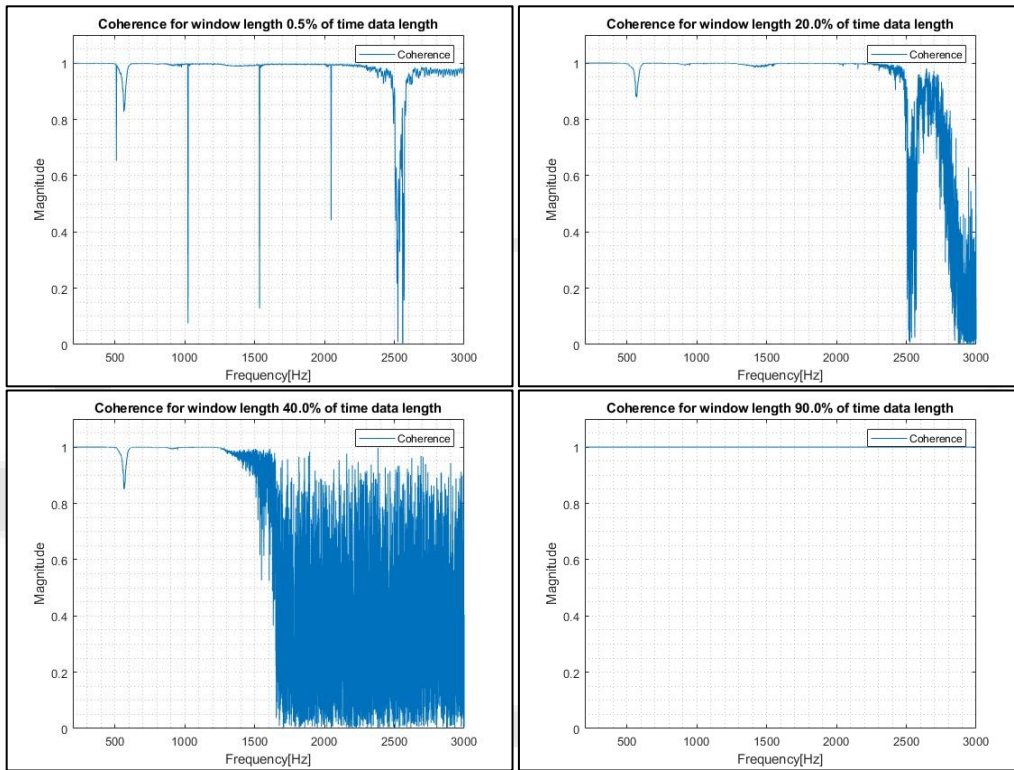
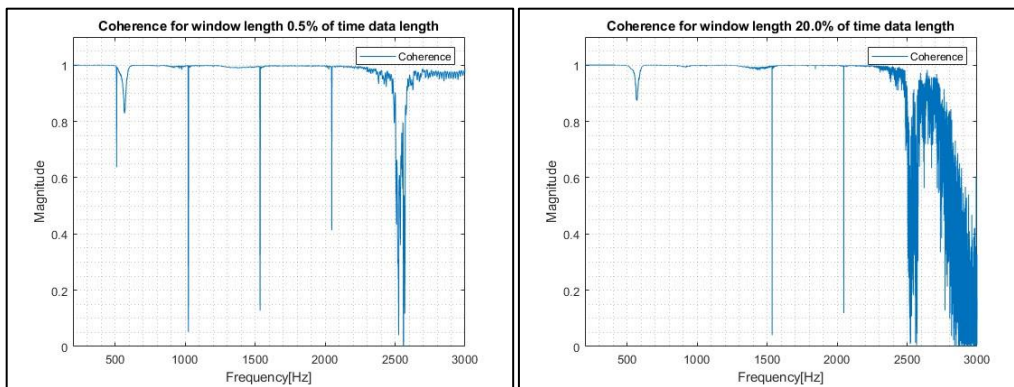


Figure 3: Coherence Results of Different window lengths on Sampling Rate 16384 Hz.



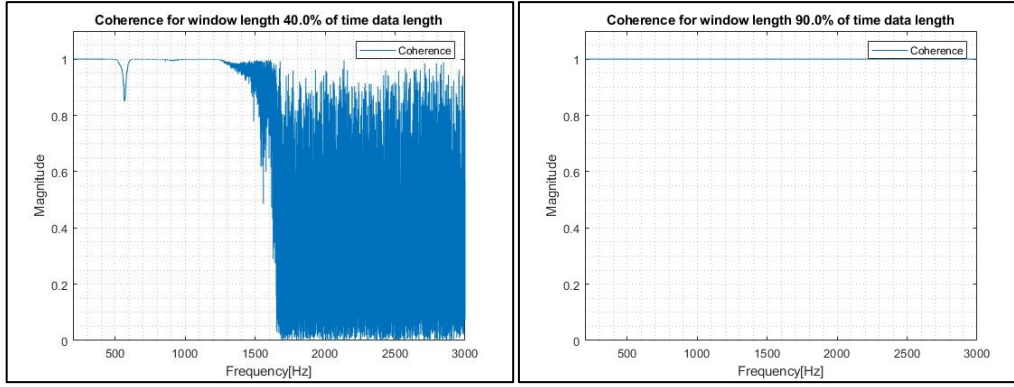


Figure 4: Coherence Results of Different window lengths on Sampling Rate 32768 Hz.

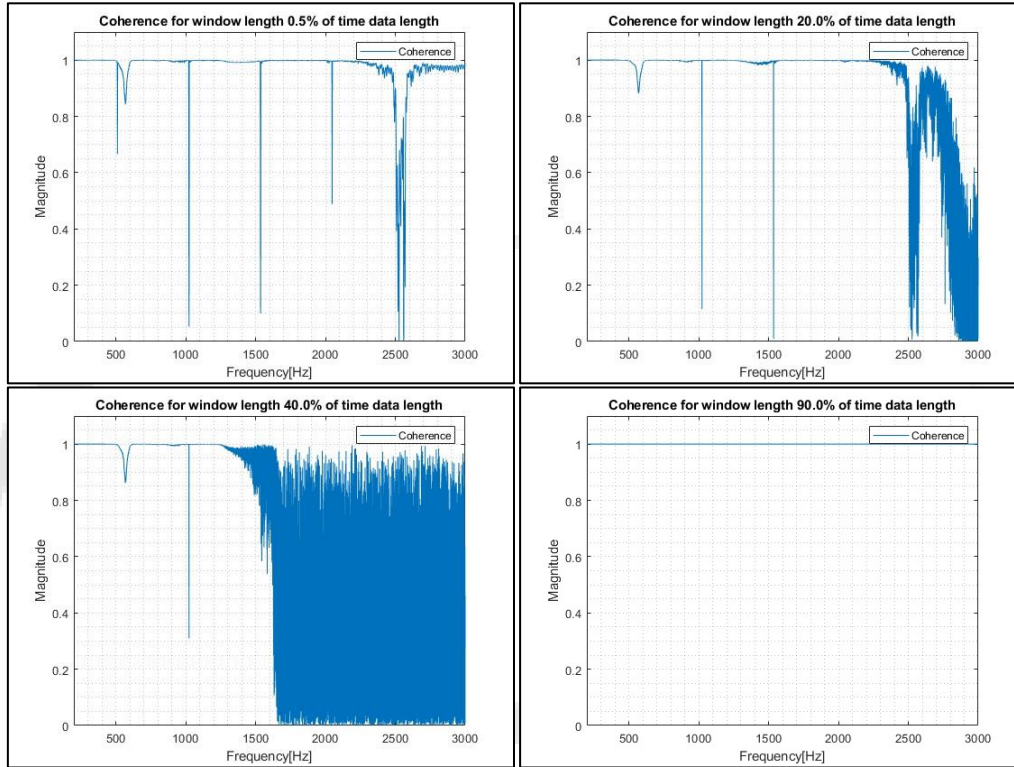


Figure 5: Coherence Results of Different window lengths on Sampling Rate 65536 Hz.

As seen in the coherence results for data groups with different sampling rates, the spectral leakage and frequency resolution in the coherence results vary depending on the ratio of the window length to the total data duration. To analyze these variations, the standard deviations, mean values, and the time spent by the computer to perform these calculations for all the obtained coherence data were computed or recorded. This allows for making inferences and interpreting the results.

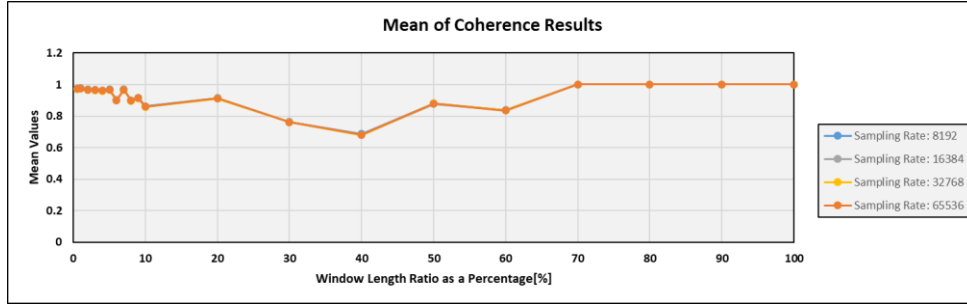


Figure 6: Mean of Coherence Results For Different Window Lengths

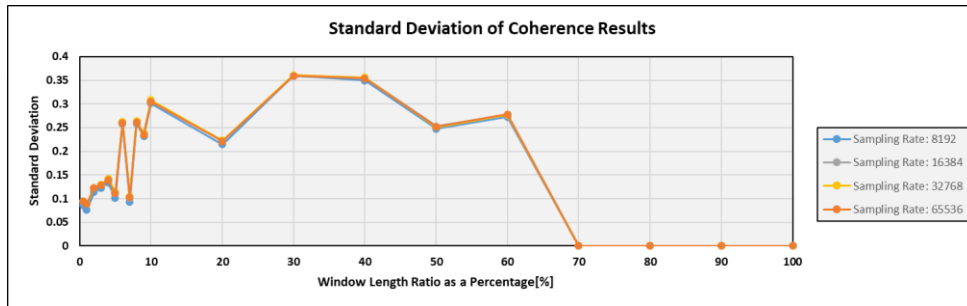


Figure 7: Standard Deviation of Coherence Results For Different Window Lengths

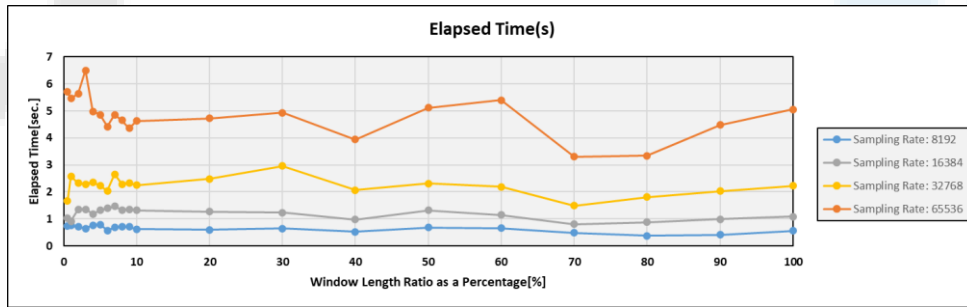


Figure 8: Elapsed Time of Coherence Results For Different Window Lengths

4.2. Discussion

This study evaluated the response of a nonlinear rubber material to mechanical vibration in the range of 50 Hz to 3000 Hz through the coherence function and comprehensively analyzed the effects of window length and sampling frequency. The key findings of the study reveal that the coherence values, calculated using various sampling frequencies (8192 Hz, 16384 Hz, 32768 Hz, 65536 Hz) and window lengths (ranging from 0.1% to 100%), exhibited different patterns.

The standard deviation graph shows that as the window length exceeds 50%, the coherence calculations become increasingly stable. However, this stabilization is not due to a real physical effect but rather a methodological artifact. The standard deviation increased up to a certain window length, but after the 50% threshold was surpassed, it approached zero. This finding emphasizes the need for careful selection of windowing parameters when performing coherence analysis on nonlinear systems.

In the elapsed time graph, it was observed that the calculation times increased with higher sampling frequencies. Calculations were fastest at 8192 Hz, while at a sampling frequency of 65536 Hz, the elapsed time increased significantly, and the computational load rose dramatically. High sampling frequencies, especially when combined with large window lengths, significantly increase the

computation times, which highlights the need to determine an optimal sampling frequency and window size.

An important contribution of this study is the detailed examination of coherence analysis on nonlinear materials such as rubber. It has been observed that in the literature, the response of these materials to high-frequency vibrations up to 3000 Hz has been studied only to a limited extent. With the rise of electric vehicles, it is a fact that rubber-based materials are exposed to higher frequencies, and therefore, accurately analyzing the behavior of these materials under high-frequency vibrations is of critical importance.

5. Conclusion

This study has thoroughly examined the response of nonlinear rubber materials to high-frequency mechanical vibrations using the coherence function. Analyses conducted under various sampling frequencies and window lengths revealed that when the window length exceeds a certain threshold, the coherence values artificially approach 1, and there is a critical balance between spectral leakage and frequency resolution.

Standard deviation analyses revealed that the stability of coherence calculations increased up to a certain point, but after the 50% window length threshold was surpassed, it reached zero due to a methodological artifact. The study also highlights the impact of high sampling frequencies on computation times, emphasizing the importance of selecting an optimized windowing and sampling frequency for practical applications.

With the rise of electric vehicles, accurately modeling the behavior of rubber-based materials under high-frequency vibrations has become increasingly critical. This study contributes important methodological findings to the literature on high-frequency vibration analysis of nonlinear elastomeric systems and aims to guide both past and future research on such materials.

6. Acknowledgements

I would like to sincerely thank Angst+Pfister Advanced Technical Solutions for their support with the test devices, sensors, and software license.

7. References

- [1] Statista. (2024, December 22). *Global EV market share*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1371599/global-ev-market-share/>
- [2] Welch, P. (1967). The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 15(2), 70-73.
- [3] Vibration Research. (2021, Haziran 2). *Auto-Spectral Density (ASD)*. Vibration Research. <https://vru.vibrationresearch.com/lesson/auto-spectral-density-asd/>
- [4] Vibration Research. (2021, Haziran 2). *Cross-Spectral Density (CSD)*. Vibration Research. <https://vru.vibrationresearch.com/lesson/cross-spectral-density-csd/>
- [5] Harris, F. J. (1978). On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform. *Proceedings of the IEEE*, 66(1), 51-83.
- [6] Vibration Research. (2021, Haziran 2). *Coherence*. Vibration Research. [Coherence -Fundamentals of Signal Processing - VRU](#)
- [7] Newcastle University (t.y.). *Variable Acceleration*. Newcastle University. <https://www.ncl.ac.uk/webtemplate/ask-assets/external/maths-resources/mechanics/kinematics/variable-acceleration.html>
- [8] Shannon, C. E. (1949). *Communication in the presence of noise*. *Proceedings of the IRE*, 37(1), 10-21.

Makale id= 24

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0008-6231-1484

| 44

Havacılıkta Simülasyon Destekli Öğrenmenin Pilotlar Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi**Araştırmacı Berk Böke¹, Prof.Dr. Mehmet Kaya¹**¹Kocaeli Üniversitesi

*Corresponding author: Berk Böke

Özet: Bu çalışma, simülasyon tabanlı eğitimlerin pilotların öğrenme süreçleri üzerindeki etkisini incelemektedir. Araştırmaya katılan 94 pilotun verileri analiz edilerek, simülasyon destekli eğitimlerin öğrenmeye yönelik motivasyon, problem çözme becerileri, özgüven ve ekip çalışması üzerindeki katkıları değerlendirilmiştir. Bulgular, katılımcıların %81-%87 oranında hipotezlere katıldığını göstermiştir. Araştırmada, yaş ve deneyim farklılıklarının eğitim beklentileri ve bilgi algısı üzerinde belirleyici olduğu bulunmuştur. Daha tecrübeli pilotların eğitim hedeflerine yönelik daha eleştirel bir bakış açısına sahip olduğu, genç ve az deneyimli pilotların ise eğitimi genel bilgi edinme aracı olarak değerlendirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, sadece helikopter intibaklı olan pilotlar ile hem helikopter hem de uçak intibaklı olan pilotlar arasında öğrenme yöntemleri açısından anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Statü farklılıkları da eğitim süreçlerine yönelik algıları etkilemiştir. Daha deneyimli I. pilotlar eğitim süreçlerine daha yüksek özgüvenle yaklaşıırken, II. pilotlar rehberlik ihtiyacı duymaktadır. Simülasyonların, öğrenci memnuniyeti, öğrenmede öz güven, simülasyon tasarımı ve eğitim uygulamaları arasında güçlü ilişkiler ortaya koyduğu belirlenmiştir. Özellikle öğrenci pilotlarda, zamanında verilen geri bildirimlerin öğrenme süreçlerine aktif katılımı teşvik ettiği görülmüştür. Çalışmanın sonucunda, simülatörlerin teknolojik olarak modernize edilmesi, eğitim programlarının pilotların ihtiyaçlarına uygun hale getirilmesi ve geri bildirim süreçlerinin iyileştirilmesi önerilmektedir. Bu bağlamda, simülasyon destekli eğitimlerin daha gerçekçi senaryolarla sunulması, ekip çalışması ve bireysel becerileri geliştiren uygulamalar içermesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Geri Bildirim, Öğrenme Süreci, Pilot Eğitimi, Simülasyon Tabanlı Eğitim, Uçuş Simülatörleri.

Investigating the Effect of Simulation-Supported Learning On Pilots in Aviation

Abstract: This study examines the impact of simulation-based training on pilots' learning processes. Data from 94 participating pilots were analyzed to evaluate the contributions of simulation-supported training to learning motivation, problem-solving skills, self-confidence, and teamwork. The findings indicate that participants agreed with the hypotheses at a rate of 81%-87%. The study found that differences in age and experience were significant in shaping educational expectations and knowledge perception. More experienced pilots had a more critical perspective on training objectives, whereas younger and less experienced pilots viewed training as a means of general knowledge acquisition. Additionally, significant differences were found in learning methods between pilots who were only helicopter-rated and those who were rated for both helicopters and fixed-wing aircraft. Status differences also influenced perceptions of the training process. More experienced Captains (First Pilots) approached training with greater confidence, while First Officers required more guidance. It was determined that simulations established strong relationships between student satisfaction, learning confidence, simulation design, and training applications. In particular, timely feedback was found to encourage active participation in learning processes, especially among student pilots. As a result, it is recommended that simulators be technologically modernized, training programs be adapted to meet pilots' needs, and feedback processes be improved. In this context, simulation-based training should incorporate more realistic scenarios and include practices that enhance both teamwork and individual skills.

Keywords: Feedback, Learning Process, Pilot Training, Simulation-Based Training, Flight Simulators

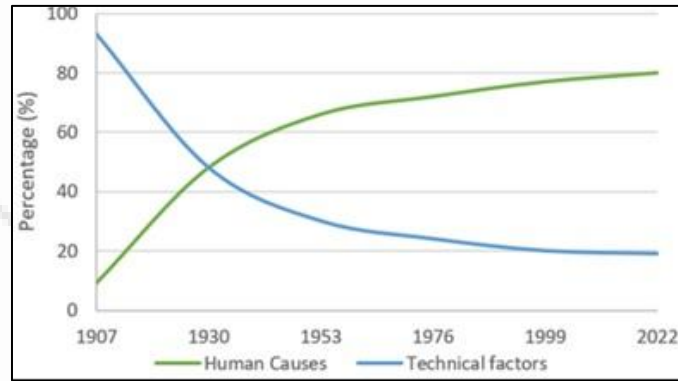
1. GİRİŞ

İnsanoğlunun uçuş düşüncesi aslında oldukça eskilere uzanır. Masallarda veya efsanelerde uçabilen insanlar ya da uçan halılara binen kahramanlar sıkça karşılaşılan motiflerdir. Bu bağlamda, ilk uçan insan olarak tanınan İkarus, insanlığın uçuş arzularının bir simgesidir. İlkçağlardan itibaren insanlar, kuşların hareketlerini taklit ederek uçabileceklerini düşünmüşlerdir. Bu amaçla, kollarına bezlerle kaplanmış ağaç kırımlardan kanatlar takarak kendilerini boşluğa bırakmışlar (Tok, 1999). Havacılık tarihinde başarıyla uçan ilk uçağı ABD'li Orville ve Wilbur Wright kardeşler icat etti. Hafif bir benzinli motora sahip olan uçak 17 Aralık 1903 tarihinde yerden 3 metre yükselerek 12 saniye havada kalmayı başarmıştı. 1800'li yılların sonuna kadar birçok helikopter tasarımı yapılmasına rağmen hiçbiri gerçekleştirilmedi. İçten yanmalı motorun bulunmasıyla helikopteri havalandırmak için gereken güç sağlanmış oldu ve 1907 yılında Fransız Paul Cornu, geliştirdiği çift pervaneli helikopter prototipiyle 20 saniyelik yerden 30 cm havalanmayı başardı (Sığırcı, 2022).

1.1. Hava Aracı Kazaları ve Nedenleri

Havacılık tarihinde bilinen ilk uçak kazası Orville Wright tarafından kullanılan Wright uçağı ile 17 Eylül 1908'de meydana gelmiş olup bir kişi ölmüş ve bir kişi de ağır yaralanmıştır (TMMOB, 2007). Hava taşımacılığı, sosyal ve ekonomik gelişime küresel çapta önemli katkılar sağlayan en güvenilir ulaşım yöntemlerinden biridir. Bu yüksek derecede düzenlenmiş sektörde, tüm paydaşlar operasyonel tehlikeleri önlemeye ve hem kişilerin hem de malların güvenliğini artırmaya büyük önem vermektedir. Kazaların ve olayların sayısı yıllar içinde belirgin bir şekilde azalmıştır. Bu azalma, teknolojik ilerlemelerin yanı sıra insan faktörleri, organizasyonel faktörler ve devlet güvenlik programlarına yönelik politika, süreç ve düzenlemelerin etkisinden kaynaklanmaktadır. Teknik ve insan kaynaklı kazaların yıllara sâri evrimi Şekil 1.1'de gösterilmiştir (Lázaro ve diğ., 2024).

Şekil 1.1 Teknik ve İnsan Kaynaklı Kazaların Yıllara Sâri Evrimi (Lázaro ve diğ., 2024)



1959'dan 1989'a kadar olan 30 yıllık dönemde, askeri uçak ve sabotajlar hariç dünya çapındaki ticari jet filolarında meydana gelen küllü hasarlı uçak kazalarının ana nedenlerine bakıldığında, bu tür kazaların %70'inden fazlasının uçuş ekibi faaliyetlerinden kaynaklanan hatalardan kaynaklandığı görülmektedir. Bu bulgu, insan performansına ilişkin sorunların belirlenmesi, pilot hatalarını etkileyen faktörlerin anlaşılması ve bu hataların azaltılması için atılması gereken adımları belirlemeye yönelik bir dizi bağımsız sorunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Aktaş, 2014).

1.2. Simülasyon Kavramı ve Havacılıkta Kullanımı

Simülasyon; gündelik hayatımızda olan veya mevcudiyeti muhtemel olan durumların bilişim araçları ile modellenmesi anlamına gelmektedir. Simülasyonları sadece bilgisayar tabanlı değil, aynı zamanda insanların zihinlerinde oluşturdukları dinamik kurgular olarak da ele alan; simülasyonların insan zihninde canlandırılan dinamik süreçleri de kapsadığını vurgular (Landriscina, 2013). Simülasyonlarda genellikle, kullanılan simülatör parçaların, ekranda görünen üç boyutlu içeriklerin ve kullanıcı girdilerine verilen tepkimelerin olabildiğince gerçeğe benzeme beklentisi sadakat (fidelity) seviyesi ile tanımlanır. Diğer bir deyişle sadakat, simülasyon yapay dünyasının gerçek hayatı benzetme yeteneği

olarak tanımlanabilir (de Winter ve diğ., 2007). Eğitim transferi, eğitim sırasında kazanılan bilgi, beceri veya yeteneklerin gerçek duruma uygulanma sürecini ifade eder (Hochmitz ve Yuviler-Gavish, 2011). Simülasyon eğitimi hitamında kullanıcının gerçek dünyadaki performansı eğer simülasyon eğitimi almadan önceki performansından daha iyi olursa bu durum pozitif eğitim transferi olarak adlandırılırken tersine, eğitimi almadan önceki performansından daha kötü olursa negatif eğitim transferi olarak adlandırılır. (Lintern, 1991).

Eğitim transferi ve simülasyon sadakatinin sonuçlarına örnek olarak 12 Kasım 2001'de yaşanan hava aracı kazası örnek verilebilir. American Airlines Flight 587 sefer numaralı bir Airbus A300 uçağı John F. Kennedy Uluslararası Havalimanı'ndan kalkış yaptı. Kalkıştan kısa bir süre sonra uçak, önceki kalkış yapan bir uçaktan kaynaklanan wake türbülansı ile karşılaştı. Uçağın yaşadığı dengesizlik, uçağı kullanan yardımcı pilotun her iki yönde de aşırı rudder girişi yapmasına neden oldu, bu da rudder'a aşırı yüklenmesine ve rudder'ın uçağın üzerinden ayrılmasına yol açtı. Kaza sonucunda uçakta külli hasar oluşurken uçakta bulunan 260 kişi ve yerdeki beş kişi hayatını kaybetti (NTSB, 2001). Ulusal Taşımacılık Güvenliği Kurulu (NTSB)'nin 2001 yılında yayınladığı American Airlines Flight 587 kaza raporunda simülasyon eğitim transferi ve sadakati konusunda iki önemli kaza faktörüne vurgu yapmıştır. Birincisi, simülasyon eğitmenleri tarafından yanlış rudder uygulamasının öğretilmesidir. İkincisi ise, simülasyondaki rudder pedal tepkilerinin gerçek uçakta bulunandan önemli ölçüde farklı olmasıdır. Bu iki faktörün birleşimi, yardımcı pilotun aşırı rudder pedal kontrolü yapmasına neden olmuştur. Simülasyon ve gerçek uçak arasındaki rudder kontrolü farklarının nedeni olarak, simülasyondaki elastik kablo gerilmesinin gerçek uçaktakinden daha az sert olmasına yol açan bir yazılım hatası belirtilmiştir (Myers ve diğ., 2018; NTSB, 2001).

Uçuş simülasyonunun amacı, kokpit ekibi üyeleri tarafından algılanan uçuş halindeki bir hava aracının davranışını yerde yeniden üretmektir, böylece simülasyonda uçarak, gerçek hava aracını güvenli ve verimli bir şekilde kullanmak için gerekli becerileri geliştirebilir, sürdürebilir ve uçuş eğitmenlerine/kontrol pilotuna yeterliliklerini kanıtlayabilirler (Baarspul, 1990).

Havacılık sektöründe çalışanların, özellikle pilotların yaptıkları işler mükemmeliyet gerektirir. Bu mükemmeliyet ancak geniş bilgi ve deneyim kazanarak ve uçuş alışkanlıklarını ustalıkla geliştirerek ulaşılabilir. Havacılık personeli, özellikle uçuş ekipleri, intibak eğitimi ve profesyonel çalışma hayatı sürecinde sürekli olarak geliştirilmesi gereken bir dizi beceriye sahip olmalıdır. Bunların en önemlileri arasında; değişen durumlara profesyonel bir şekilde yanıt verebilme yeteneği, aktiviteleri öğrenme ve hatırlama, belirli bir anda çözülmesi gereken göreve odaklanabilme yeteneği, farklı durumlarda hızlı bir şekilde ayrıntılı algılama ve değerlendirme yeteneği, aynı anda birden fazla bilgi kaynağından gelen verileri gözlemleme, entegre etme ve zaman aralıklarını değerlendirme yeteneği, hız ve mesafe arasındaki ilişkiyi değerlendirme yeteneği, görsel-motor koordinasyon yeteneği, mekânsal yönelim, kesin bilişsel ve motor kontrol, zorluklar ve meydan okumalar karşısında olumlu tutum sayılabilir (Sasim, 2009).

2. AMAÇ VE YÖNTEM

Havacılık eğitiminde simülasyonların kullanımı, sadece pilotların bireysel performansını değil, aynı zamanda ekip çalışmasını ve iletişim becerilerini de geliştirmektedir. Günümüzde, çoklu pilotlu uçuşlar ve karmaşık hava operasyonları giderek yaygınlaşmakta ve bu durum, ekip içindeki iş birliğinin önemini artırmaktadır. Simülasyon ortamları, pilotların birlikte çalışarak senaryoları çözmelerine olanak tanıyarak, takım ruhunu güçlendirmektedir.

Simülasyon destekli öğrenmenin bir diğer önemli avantajı da farklı öğrenci profillerine göre özelleştirilmiş eğitim programları sunabilmesidir. Her pilotun öğrenme hızı ve stili farklıdır; bu nedenle, simülasyonlar, bireysel ihtiyaçlara göre uyarlanabilir. Bu sayede, pilotlar kendi hızlarında öğrenme fırsatına sahip olurken, eğitmenler de öğrenci performansını anlık olarak değerlendirme imkanına ulaşır. Simülasyonların havacılık alanına önemli bir olumlu katkısı olduğunun yanında simülasyon ile fiili uçuş performans farkı bulunması, simülasyon hastalığı gibi bir takım dezavantajları bulunmaktadır.

Bir uçuş simülasyonunda öğrenilen becerilerin gerçek uçuşa aktarılıp aktarılmadığını araştıran yalnızca birkaç çalışma bulunmakta olup simülasyon destekli öğrenmenin etkileri üzerine yapılan araştırmalar sınırlı kalmıştır (Balcerzak ve diğ.). Bu çalışmanın amacı, simülasyon destekli öğrenmenin pilotlar üzerindeki etkilerini derinlemesine incelemek ve bu yöntemin eğitim süreçlerine olan katkılarını ortaya

koymaktır. Ayrıca, bu araştırma, havacılık eğitiminde simülasyon kullanımının yaygınlaştırılması için bir temel oluşturmayı hedeflemektedir.

Kocaeli Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulunun 30 Mayıs 2024 tarih ve 601200 no'lu uygun görüşü doğrultusunda Kocaeli Üniversitesi Yönetim Kurulu tarafından 05 Haziran 2024 tarihinde 2024/25 no.lu toplantısında çalışmamız oy birliği ile uygun bulunmuştur. Araştırmamızda; Jeffries ve Rizzolo, (2006) tarafından geliştirilen, Unver ve diğ., (2017) tarafından Türkçeye uyarlanarak güvenilirliğini ve geçerliliği sağlanan “Öğrenci Memnuniyeti ve Öğrenmede Öz Güven Ölçeği”, “Simülasyon Tasarım Ölçeği” ve “Eğitim Uygulamaları Anketi” kullanılmıştır.

Örneklem büyüklüğü belirlenirken araştırmamızın nitel bir araştırma, değişkenlerin ise süreksiz olması nedeniyle power analizi yapılırken “süreksiz değişkenlerde örneklem büyüklüğü tahmini” yöntemi (Büyüköztürk ve diğ., 2017) kullanılmış ve yapılan power analizde örneklem büyüklüğü en 93 kişi olarak belirlenmiştir. Araştırmamızda kullanılan anket cevaplarının SPSS programında analizi yapılabilmesi amacıyla “ifadeye kesinlikle katılmıyorum” seçeneğine 0,2, “ifadeye katılmıyorum” seçeneğine 0,4, “kararsızım” seçeneğine 0,6, “ifadeye katılıyorum” seçeneğine 0,8, “ifadeye kesinlikle katılıyorum” seçeneğine 1,0 puanı verilmiştir. Ölçeklerde bulunan 5'li likert tipiyle değerlendirilen önem katsayılarına ise “önemli değil” seçeneğine 0,2, “kısmen önemli” seçeneğine 0,4, “kararsızım” seçeneğine 0,6, “önemli” seçeneğine 0,8, “çok önemli” seçeneğine 1,0 puanı verilmiştir. Tüm ve ana bölüm ölçek puanları, katılımcıların verdiği cevapların yine katılımcıların vermiş olduğu önem katsayısı ile çarpılarak elde edilen puanların anket soru sayısına göre aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Araştırmamızda kullandığımız öğrenmede öğrenci memnuniyeti ve özgüven ölçeği, simülasyon tasarım ölçeği eğitim uygulamaları anketi ana ve alt bölüm başlıkları altında katılımcıların kaç yıldır pilot olduğu, yaşı, intibaklı olduğu hava aracı tipi ve sahip olduğu statü parametrelerine göre incelenmiştir.

2.1. Hipotezler

Çalışmamızda istatistiksel analizini yapacağımız 23 adet hipotezimiz bulunmaktadır.

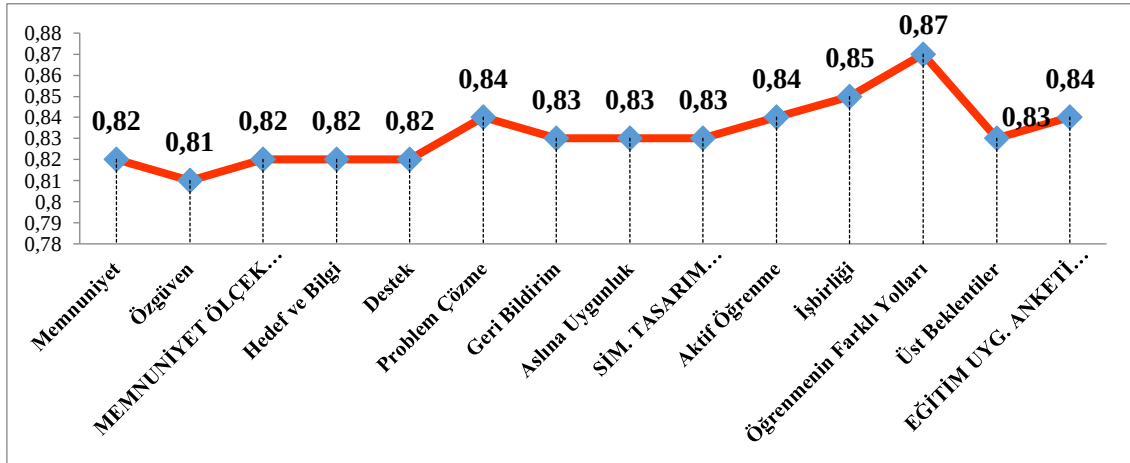
- H1: Simülasyonlar, etkili öğretim yöntemleriyle öğrencilerin öğrenme güvenliğini artırır ve becerilerini geliştirir.
- H1a: Simülasyonlar, etkili öğretim yöntemleri ve uygun materyallerle öğrencilerin öğrenme süreçlerini geliştirir ve motivasyonlarını artırır.
- H1b: Simülasyonlar, öğrencilere gerekli bilgileri kazandırarak becerilerini geliştirir ve öğrenme sorumluluğunu artırır.
- H2: Uçuş simülatörü eğitimi, pilotaj eğitiminde gerçek hayatı simüle ederek öğrencilere problem çözme becerisi kazandırmakta, yeterli geri bildirim ve rehberlik ile destek sağlayarak eğitim sürecini daha verimli hale getirmektedir.
- H2a: Simülasyonlar, açık hedefler ve yeterli bilgi ile problem çözme becerilerini geliştirir.
- H2b: Simülasyonlar, zamanında ve gerektiğinde sağlanan destekle öğrenme sürecini güçlendirir.
- H2c: Simülasyonlar, bağımsız problem çözmeyi kolaylaştırarak, öğrencileri hedef belirlemeye ve keşfe teşvik eder.
- H2ç: Simülasyonlar, zamanında geri bildirim vererek öğrencilerin gelişimini destekler.
- H2d: Simülasyon senaryoları, gerçek hayattaki durumları ve etkenleri yansıtarak öğrenme deneyimini daha gerçekçi hale getirir.
- H3: Simülasyon uygulamaları, açık hedefler, zamanında geri bildirim ve ekip çalışması ile öğrenme süreçlerini daha verimli hale getirir.
- H3a: Simülasyon tabanlı eğitim, zamanında geri bildirim ve tartışmalarla öğrencilerin öğrenme süreçlerini geliştirir.

- H3b: Simülasyon uygulamaları, öğrencilerin birlikte çalışarak CRM/ ekip çalışması becerilerini geliştirir.
- H3c: Simülasyon uygulamaları, öğrencilere konuyu öğrenme ve kendi öğrenmelerini değerlendirme için çeşitli yollar sunarak öğrenme süreçlerini destekler.
- H3ç: Simülasyon deneyimlerinde, açık ve anlaşılır hedefler ile eğitiminin belirlediği beklentiler, öğrencilerin başarıyla tamamlamalarını sağlar.
- H4a: Öğrenci memnuniyeti ve öğrenmede öz güven ölçeği ile simülasyon tasarım ölçeği arasında ilişki vardır.
- H4b: Öğrenci memnuniyeti ve öğrenmede öz güven ölçeği ile eğitim uygulamaları anketi arasında ilişki vardır.
- H4c: Simülasyon tasarım ölçeği ile eğitim uygulamaları anketi arasında ilişki vardır.
- H4ç: Uçuş simülatörü eğitimi öncesi brifing (hedef ve bilgi alt bölüm ölçeği) öğrenmede memnuniyeti artırır.
- H4d: Uçuş simülatörü eğitimi sonrası brifing (geribildirim/ rehberli yansıma alt bölüm ölçeği) öğrenmede memnuniyeti artırır.
- H4e: Simülasyon uçuşu esnasında zamanında ve gerektiğinde sağlanan destek (destek alt bölüm ölçeği) öğrenmede memnuniyeti artırır.
- H4f: Simülasyon senaryoları, gerçek hayattaki durumları ve etkenleri daha gerçekçi yansıttıkça (aslına uygunluk derecesi alt bölüm ölçeği) öğrenmede memnuniyet artar.
- H4g: Zamanında verilen geri bildirim (geribildirim/ rehberli yansıma alt bölüm ölçeği) bağımsız problem çözme (problem çözme alt bölüm ölçeği) kolaylaştırarak, hedef belirlemeye ve keşfe teşvik eder.
- H4h: Simülasyon uçuşu esnasında zamanında ve gerektiğinde sağlanan destek (destek alt bölüm ölçeği), bağımsız problem çözme (problem çözme alt bölüm ölçeği) kolaylaştırarak, hedef belirlemeye ve keşfe teşvik eder.

3. BULGULAR

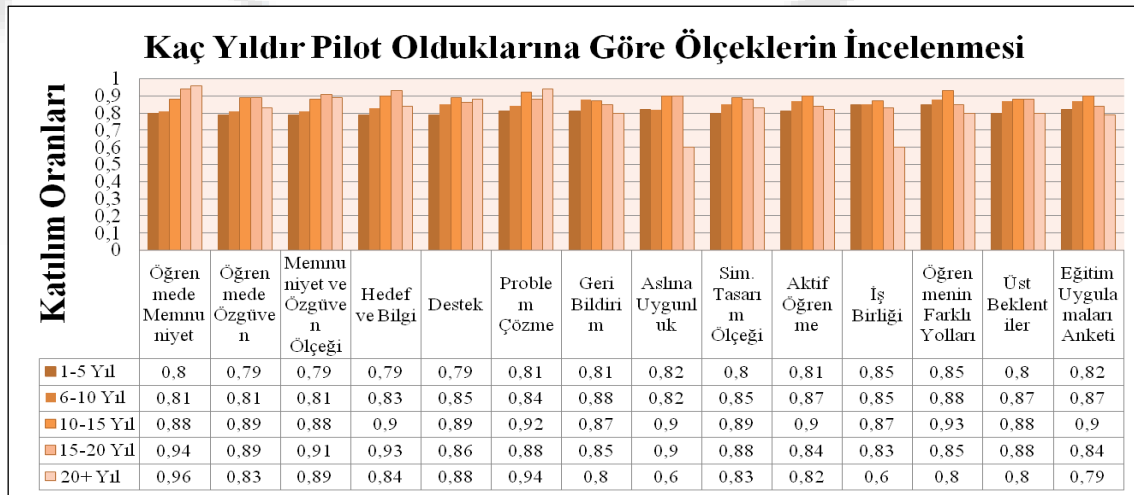
Öğrenmede öğrenci memnuniyeti ve özgüven ölçeği, simülasyon tasarım ölçeği ve eğitim uygulamaları anketlerinin ana ve alt bölüm başlıkları, 94 katılımcının vermiş olduğu cevapların genel ortalamasına göre incelenmiştir. Genel olarak bakıldığında; H1,H2,H3 ana ve alt bölüm ölçek hipotezlerine %81-%87 aralığında katıldıkları tespit edilmiştir (Şekil 3.1). Katılımcıların kaç yıldır pilot olduğuna göre incelendiğinde büyük çoğunluğunun (%61 n:57) 1-5 yıl arasında olduğu görülmüştür. %20'sinin (n:19) 6-10 yıldır pilot olduğu, %14'ünün (n:13) 11-15 yıldır pilot olduğu, %4'ünün (n:4) 15-20 yıldır pilot olduğu ve %1'inin (n:1) 20 yıl üzerinde pilot olduğu, katılımcıların yaşlarına bakıldığında; büyük çoğunluğunun (%57, n:53) 26-35 yaş arasında olduğu görülmüştür. %22'si (n: 21) 18-25 yaş aralığında, %20'i (n:19) 36-45 yaş aralığında, %1'i (n:1) 46-55 yaş aralığında olduğu, katılımcıların intibaklı olduğu hava aracı tipine bakıldığında; büyük çoğunluğunun (%53, n:50) sadece helikoptere intibaklı olduğu görülmüştür. %32'si (n: 30) sadece uçak, %15'i (n:14) hem helikopter hem de uçağa intibaklı olduğu, katılımcıların statüsüne bakıldığında; büyük çoğunluğunun (%66, n:62) I. pilot (Kaptan Pilot) olduğu görülmüştür. %26'sı (n: 24) II. pilot (Flight Officer), %8'i (n:8) pilotaj eğitimi alan öğrenci pilotlar olduğu saptanmıştır.

Şekil 3.1 H1,H2,H3 ana ve alt bölüm ölçek hipotezlerine katılım durumu

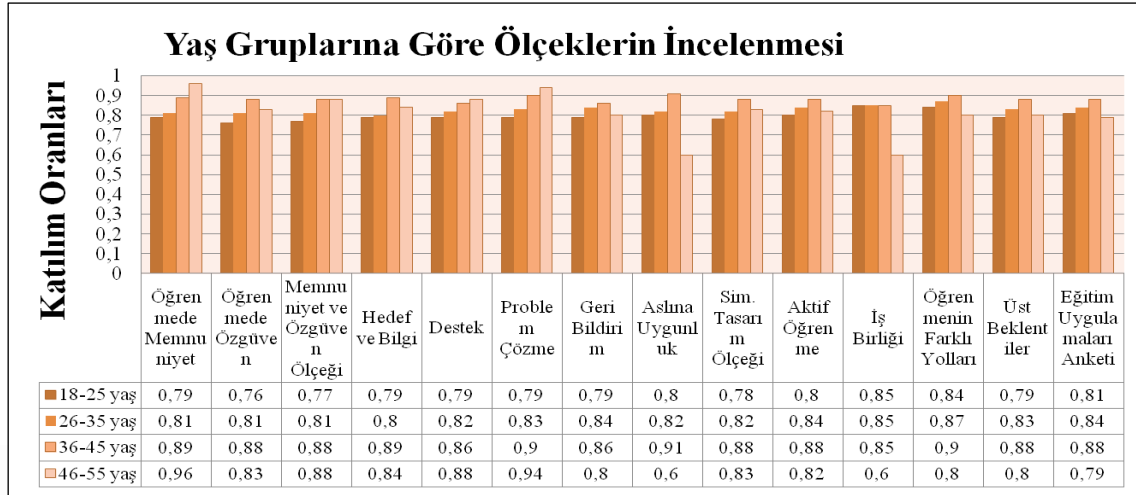


Katılımcıların kaç yıldır pilot olduğu, yaşı, intibaklı olduğu hava aracı tipi ve sahip olduğu statü parametrelerine göre H1,H2,H3 ana ve alt bölüm hipotez ölçekleri olan toplam 14 ölçek istatistiksel olarak incelenmiştir (Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5). Yapılan istatistiksel analizde; katılımcıların yaş grupları arasında karşılaştırıldığında 26-35 yaş arası ile 36-45 yaş arası kişiler arasında hedefler ve bilgi alt bölüm ölçeği ortalaması açısından, katılımcıların kaç yıldır pilot olduğuna göre karşılaştırıldığında 1-5 yıldır pilot olanlar ile 11-15 yıldır pilot olanlar arasında hedefler ve bilgi alt bölüm ölçeği ortalaması açısından, katılımcıların hangi hava aracına intibaklı olduğuna göre karşılaştırıldığında sadece helikopter intibaklı olan pilotlar ile hem helikopter hem de uçak intibaklı olan pilotlar arasında öğrenmenin farklı yolları alt bölüm ölçeği ortalaması açısından, katılımcıların statüsüne göre karşılaştırıldığında ise; öğrenmede memnuniyet ölçeği, öğrenmede öz güven ölçeği, öğrenci memnuniyeti ve öğrenmede öz güven ölçeği, hedefler ve bilgi ölçeği, problem çözme ölçeği, aslına uygunluk derecesi (gerçekçilik) ölçeği, simülasyon tasarım ölçeği arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur.

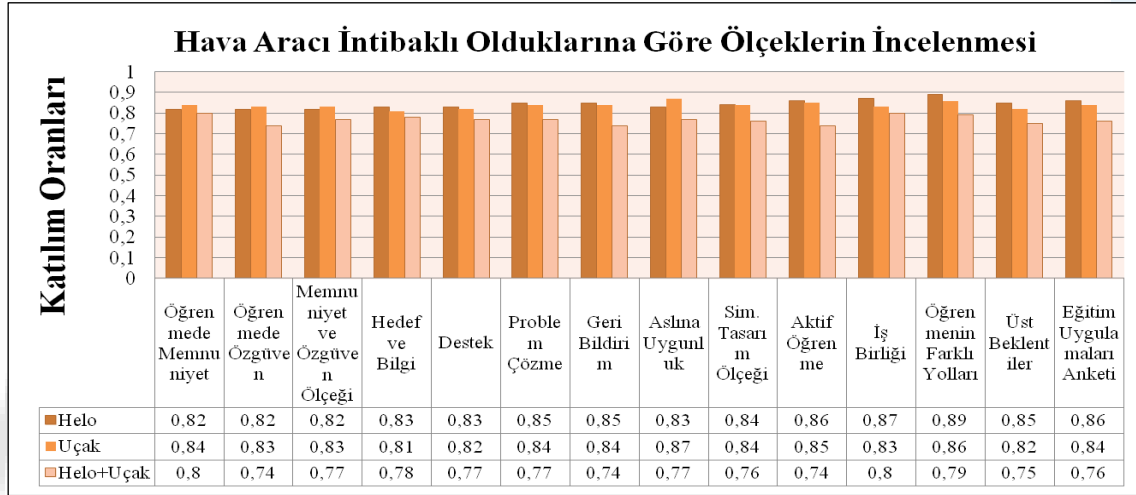
Şekil 3.2 Katılımcı verilerinin kaç yıldır pilot olduğuna göre incelenmesi



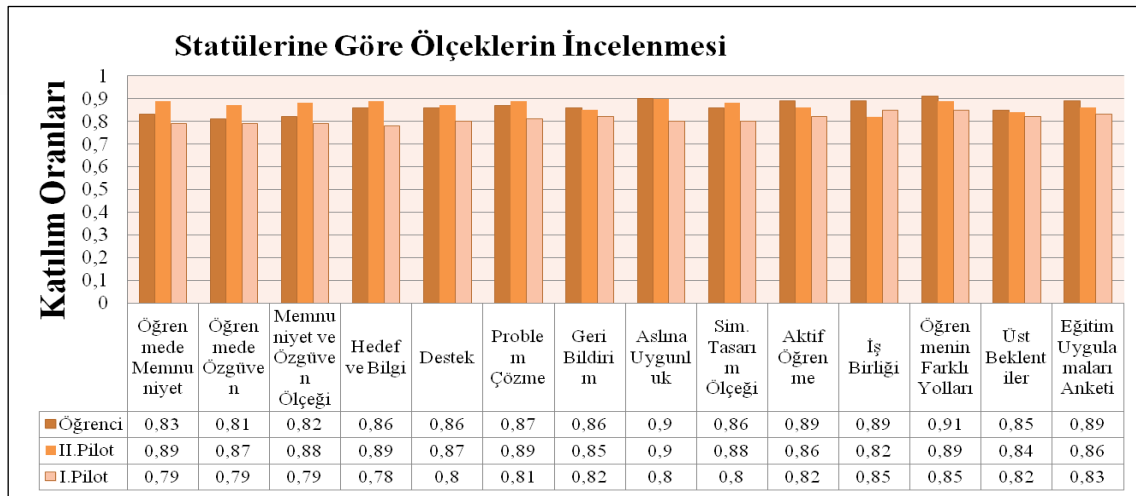
Şekil 3.3 Katılımcı verilerinin yaş gruplarına göre incelenmesi



Şekil 3.4 Katılımcı verilerinin hangi hava aracına intibaklı olduğuna göre incelenmesi



Şekil 3.5 Katılımcı verilerinin statülerine göre incelenmesi



Ayrıca H4a-H4h arasındaki hipotezlerin analizi için ölçekler arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Yapılan istatistiksel analizlerde;

- Öğrenci memnuniyeti ve öğrenmede öz güven ölçeği ile simülasyon tasarım ölçeği arasında pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu ($r:0,742$ $p:0$),
- Öğrenci memnuniyeti ve öğrenmede öz güven ölçeği ile eğitim uygulamaları anketi arasında pozitif yönde orta düzeyde ilişki olduğu ($r:0,668$ $p:0$),
- Simülasyon tasarım ölçeği ile eğitim uygulamaları anketi arasında pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu ($r:0,889$ $p:0$),
- Simülasyon tasarım ölçeği ile eğitim uygulamaları anketi arasında pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu ($r:0,889$ $p:0$), Hedef ve bilgi alt bölüm ölçeği ile öğrenmede öğrenci memnuniyeti ve öğrenmede öz güven ölçeği arasında tek yönlü pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu ($r:0,776$ $p:0$),
- Geribildirim/ rehberli yansıma alt bölüm ölçeği ile öğrenmede öğrenci memnuniyeti ve öğrenmede öz güven ölçeği arasında tek yönlü pozitif yönde orta düzeyde ilişki olduğu ($r:0,594$ $p:0$), ancak; öğrenci pilotlarda pozitif yönde "yüksek" düzeyde ilişki saptanmışken ($r:0,760$ $p:0,006$), I. pilot ve II. pilotlarda "orta" düzeyde ilişki olduğu ($r:0,561$ $p:0$),
- Destek alt bölüm ölçeği ile öğrenmede öğrenci memnuniyeti ve öğrenmede öz güven ölçeği arasında tek yönlü pozitif yönde orta düzeyde ilişki olduğu ($r:0,636$ $p:0$),
- Aslına uygunluk derecesi alt bölüm ölçeği ile öğrenmede öğrenci memnuniyeti ve öğrenmede öz güven ölçeği arasında tek yönlü pozitif yönde orta düzeyde ilişki olduğu ($r:0,479$ $p:0$),
- Geribildirim/ rehberli yansıma alt bölüm ölçeği ile problem çözme alt bölüm ölçeği arasında tek yönlü pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu ($r:0,730$ $p:0$),
- Destek alt bölüm ölçeği ile problem çözme alt bölüm ölçeği arasında tek yönlü pozitif yönde orta düzeyde ilişki olduğu saptanmıştır ($r:0,637$ $p:0$).

4. SONUÇ

Simülasyon tabanlı eğitimlerin öğrenme süreçlerine olan olumlu etkisi, yapılan araştırmaların bulgularına dayanarak oldukça net bir şekilde ortaya konmuştur. Uçuş simülatörlerinin kullanımı, pilot memnuniyetini artırmış, öğrenme süreçlerini desteklemiş ve özgüven üzerinde olumlu bir etki yaratmıştır. Simülasyonların etkili öğretim yöntemleri ve açık hedeflerle sunulması, pilotların öğrenmeye yönelik motivasyonlarını artırmış, problem çözme ve bağımsız öğrenme becerilerinin gelişimine katkı sağlamıştır. Gerçek hayattaki durumları yansıtan simülasyon senaryoları, pilotlara gerçekçi bir öğrenme deneyimi sunarken, karmaşık bilgileri anlamalarını ve özümsemelerini kolaylaştırmıştır. Ayrıca, simülasyonlarla sağlanan zamanında geri bildirim ve rehberlik, pilotların performanslarını iyileştirmiş, öğrenme sürecini daha verimli hale getirmiştir. Bunun yanı sıra, simülasyon tabanlı eğitimlerin ekip çalışması ve iş birliği becerilerini geliştirdiği, katılımcılar arasında koordinasyonu, iletişimi ve birlikte problem çözme yetkinliklerini artırdığı görülmüştür. Eğitim sürecinin daha etkili hale gelmesinde, simülasyonların açık hedefler, geri bildirim mekanizmaları ve bireysel sorumluluk kazandırıcı yapısıyla öğrencileri öğrenmeye teşvik ettiği anlaşılmıştır. Genel olarak, simülasyonların gerçekçi senaryolarla desteklenmesi, öğrenme süreçlerini zenginleştirerek pilotlara hem bireysel hem de grup dinamiklerinde etkili bir eğitim deneyimi sunduğunu göstermiştir.

Yapılan istatistiksel analizlerde 26-35 ile 36-45 yaş arası ve bu duruma paralel olarak 1-5 ile 11-15 yıldır pilot olan katılımcılar arasında hedefler ve bilgi algısı konusundaki istatistiksel farklılıkların, gruplar arasındaki eğitim beklentileri ve algılarındaki farklılıktan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Pilotluk kariyerinde yaş ve tecrübe olarak ilerlemiş bireyler, daha fazla yaşam ve iş deneyimine sahip olduklarından eğitim hedeflerinin iş hayatında nasıl uygulanacağına ve bilgiye nasıl daha somut faydalar sağlayacağına dair daha derinlemesine bir anlayış geliştirmiş olabileceği değerlendirilmektedir. Bu grup, eğitimdeki hedeflerin ve edinilen bilginin pratikte ne kadar etkili olduğu konusunda daha dikkatli bir değerlendirme yapma eğiliminde olabilir. Diğer taraftan, genç yaşta ve az tecrübeye sahip pilot katılımcılar, kariyerlerinin daha erken aşamalarında oldukları için eğitimde daha çok kişisel gelişim ve

genel bilgi edinme amacını güdebilirler. Ayrıca, bu grup daha fazla teknoloji ve yenilikçi eğitim yöntemleriyle etkileşim içinde olduğu için, hedeflere yönelik algıları daha esnek ve geniş olabileceği düşünülmektedir.

Sadece helikopter intibaklı olan pilotlar ile hem helikopter hem de uçak intibaklı olan pilotlar arasında öğrenmenin farklı yolları alt bölüm ölçeği konusundaki istatistiksel olarak anlamlı farklılık, hava aracına intibak durumunun katılımcıların öğrenme yöntemlerine yönelik algılarını etkileyebileceğini göstermektedir. Helikopter intibaklı pilotlar, daha özgül ve spesifik öğrenme yöntemleri benimserken hem helikopter hem de uçak intibaklı pilotlar en az iki farklı tip simülatörde iki farklı tip intibak eğitimi aldıklarından dolayı daha geniş bir eğitim yelpazesine sahiptirler. Dolayısıyla maruz kaldıkları öğrenme yollarında daha çeşitli ve karmaşık yaklaşımlar ile karşılaşmış olabilirler. Bu durum, her iki grubun eğitim süreçleri ve deneyimlerine dayalı olarak farklı öğrenme stratejileri geliştirdiğini ortaya koymaktadır.

Katılımcıların statüleri, eğitim süreçlerine yönelik algılarında önemli farklılıklara neden olmaktadır. I. ve II. pilotlar arasındaki anlamlı farklar özellikle öğrenme memnuniyeti, özgüven, hedefler ile bilgi, problem çözme ve gerçekçilik gibi alanlarda gözlemlenmiştir. Ölçek puanları genel olarak incelendiğinde, katılımcıların yaşlarının ve pilot olarak geçirdikleri yılların artmasıyla birlikte puanlarının da yükseldiği görülmüştür. Ancak, statü arttıkça ölçek puanlarının düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum, simülatör memnuniyeti ve tasarımı üzerinde statünün etkisini ortaya koymaktadır. Statünün yaş parametresinden ziyade uçuş tecrübesiyle daha güçlü bir bağlantı olması nedeniyle bu durumun ortaya çıktığını düşünmekteyiz.

I. pilotlar daha fazla deneyime sahip olduklarından, eğitim süreçlerine daha yüksek bir özgüvenle yaklaşabilirken, II. pilotlar daha sınırlı deneyime sahip oldukları için bazı konularda kendilerini daha az yeterli hissedebilirler. Bu nedenle bu ölçeklere I. pilotların daha eleştirel yaklaşması sebebi ile daha düşük, II. pilotların kendilerini daha az yeterli hissetmesi ve simülasyon eğitiminin daha faydalı olduğunu düşünmeleri sebebi ile daha yüksek puan verdiği öngörülmektedir. II. pilotların eğitim süreçlerinde daha fazla rehberlik ve desteğe ihtiyaç duyabilecekleri düşünülmektedir. Bu durum, onların daha bağımlı bir öğrenme süreci izlemelerine yol açtığından problem çözme konusunda yardıma ihtiyaç duymalarına neden olmaktadır. I. pilotlar, daha önceki deneyimlerinden ötürü eğitimde daha bağımsız bir şekilde problem çözme becerileri geliştirmiş olduğu düşünülmektedir. Ancak II. pilotlar için bu süreç daha fazla destek gerektirebilir. Bu durum da iki grup arasında belirgin farklılıkların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Eğitim içeriği ve simülasyon tasarımının her iki grup için farklı şekillerde algılanması, eğitimdeki gerçekçilik düzeyini de etkilemiş olabileceği düşünülmektedir. Ancak, geribildirim ve aktif öğrenme gibi konularda bu farklar daha az belirgindi ve bu durum da bazı eğitim stratejilerinin her iki grupta benzer şekilde etkili olduğunu göstermektedir. Bu farklılıklar, katılımcıların deneyim, beklenti ve yaklaşım biçimlerinden kaynaklanmaktadır.

Ölçekler arası yapılan korelasyon analizinde; tüm korelasyon hipotezlerinde orta ve yüksek düzeyde ilişki olduğu bulunmuştur. Yapılan analizler, öğrenci memnuniyeti, öğrenmede öz güven, simülasyon tasarımı ve eğitim uygulamaları arasındaki güçlü ilişkileri ortaya koymaktadır. İyi tasarlanmış simülasyonların ve etkin eğitim uygulamalarının, öğrencilerin öğrenme süreçlerinden daha fazla memnuniyet duymalarını ve özgüvenlerini artırmalarını sağladığı belirlenmiştir. Uçuş simülatörü eğitimi öncesi ve sonrası verilen brifinglerin, zamanında sağlanan desteklerin ve gerçekçi simülasyon senaryolarının, öğrenme deneyimlerine olumlu katkılar sunduğu görülmüştür. H4d hipotez analizinde görüldüğü üzere I. pilot ve II. pilotlarda "orta" düzeyde ilişki saptanmışken öğrenci pilotlarda pozitif yönde "yüksek" düzeyde ilişki saptanmıştır. Dolayısıyla zamanında verilen geri bildirimlerin, özellikle öğrenci pilotların bağımsız problem çözmesini çok fazlasıyla kolaylaştırdığı ve öğrenme süreçlerine aktif katılımını yüksek düzeyde teşvik ettiği anlaşılmıştır. Bu sonuçlar, simülasyon ve eğitim süreçlerinin doğru tasarım ve uygulamalarla öğrencilerin öğrenme deneyimlerini iyileştirdiğini ortaya koymaktadır.

4.1. Öneriler

Simülatörlerin teknolojik olarak modernize edilmesi ve eğitim programlarının hem tecrübeli hem de genç pilotların ihtiyaçlarına uygun şekilde uyarlanması gerekmektedir. Simülasyon destekli eğitimler, gerçek uçuş koşullarını daha iyi taklit etmeli, ekip çalışması ve bireysel becerileri geliştiren senaryolar

çermelidir. Ayrıca, öğrenci pilotların gelişimini desteklemek için geri bildirim süreçleri iyileştirilmeli ve eğitim materyalleri sürekli güncellenmelidir.

4.2. Kısıtlılıklar

Çalışmamızda karşılaşılmış olduğumuz başlıca kısıtlılıklar arasında örneklem çeşitliliği, öznellik ve yanlılık, ile veri doğruluğu yer almaktadır. Örneklem çeşitliliğinin sınırlı olması, farklı deneyim seviyelerine, uçuş tiplerine veya eğitim geçmişine sahip pilotların görüşlerinin yeterince temsil edilmemesine neden olabilmektedir. Ayrıca, katılımcıların kişisel deneyimlerine ve algılarına dayalı yanıtlar vermesi, öznellik ve yanlılık riskini artırarak sonuçların nesnellliğini sınırlayabilir. Bunun yanı sıra, pilotların anketi dikkatle doldurmamaları veya sosyal beğenirlik yanlılığı nedeniyle gerçeği tam yansıtmayan yanıtlar vermeleri, veri doğruluğunu olumsuz etkilemiş olabilir. Bu kısıtlılıklar, araştırmamızın genellenabilirliğini ve güvenilirliğini azaltan etkenlerdir.

KAYNAKÇA

- Aktaş, H. (2014). Uçak Kazalarına İlişkin Nedensel Faktörlere Küresel Bir Bakış. *Kokpit*, (30), 68.
- Baarspul, M. (1990). A review of flight simulation techniques. *Progress in Aerospace Sciences*, 27(1), 1-120. DOI: 10.1016/0376-0421(90)90006-6
- Balcerzak, T., Kostur, K., ve Eng, M. Flight Simulation in Civil Aviation Advantages and Disadvantages.
- Büyüköztürk, Ş., Kılıç Çakmak, E., Erkan Akgün, Ö., Karadeniz, Ş., ve Demirel, F. (2017). *Bilimsel araştırma yöntemleri* (23. bs). Ankara:Pegem Akademi Yayıncılık. DOI: 10.14527/9789944919289
- de Winter, J., Wieringa, P., Dankelman, J., Mulder, M., ve Van Paassen, M. M. (2007). *Driving simulator fidelity and training effectiveness*.
- Hochmitz, I., ve Yuviler-Gavish, N. (2011). Physical Fidelity Versus Cognitive Fidelity Training in Procedural Skills Acquisition. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(5), 489-501. DOI: 10.1177/0018720811412777
- Jeffries, P. R., ve Rizzolo, M. A. (2006). Designing and implementing models for the innovative use of using simulation to teach nursing care of ill adults and children : A national, multi-site, multi-method study. New York, NY: National League for Nursing.
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and Learning: A Model-Centered Approach*. New York, NY: Springer New York. DOI: 10.1007/978-1-4614-1954-9
- Lázaro, F. L., Nogueira, R. P. R., Melicio, R., Valério, D., ve Santos, L. F. F. M. (2024). Human Factors as Predictor of Fatalities in Aviation Accidents: A Neural Network Analysis. *Applied Sciences*, 14(2), 640. DOI: 10.3390/app14020640
- Lintern, G. (1991). An Informational Perspective on skill Transfer in Human-Machine Systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 33(3), 251-266. DOI: 10.1177/001872089103300302
- Myers, P., Starr, A., ve Mullins, K. (2018). Flight Simulator Fidelity, Training Transfer, and the Role of Instructors in Optimizing Learning. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*. DOI: 10.15394/ijaaa.2018.1203
- NTSB. (2001). *In-Flight Separation of Vertical Stabilizer American Airlines Flight 587 Airbus Industrie A300-605R, N14053*, Aircraft Accident Report No. NTSB/AAR-04/04, (s. 212). Washington, D.C.: National Transportation Safety Board.
- Sasim, B. (2009). *Elementy Ergonomii Kabin Samolotów Wojskowych*. Varşova: Hava Kuvvetleri Teknoloji Enstitüsü Yayınevi.
- Sığircı, M. (2022). Helikopter: Kim, Ne zaman İcat etti? *Bilim ve Teknik*.
- TMMOB. (2007). İstatistiklerle Hava Taşımacılığı Kazaları. *Mühendis ve Makina*, 48(566).

- Tok, G. (1999). Havacılığın İlkYıllarında Uçaklar: Kanatlanın Dünya. *Bilim ve Teknik*, (380), 74-77.
- Unver, V. ve diğ. (2017). The reliability and validity of three questionnaires: The Student Satisfaction and Self-Confidence in Learning Scale, Simulation Design Scale, and Educational Practices Questionnaire. *Contemporary Nurse*, 53(1), 60-74. DOI: 10.1080/10376178.2017.1282319



Makale id= 9

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0003-3576-8765

| 55

Radiation Mapping of Mersin Metropolitan Municipality**Researcher Ayşe Nur Arslan¹, Prof. Dr. Zeki Yazar¹**¹Mersin Üniversitesi

Abstract: The number of electrical devices entering our lives is increasing day by day with the development of technology. Electrical devices that make life easier which we use for our daily needs such as high, medium, and low voltage transmission lines, transformers, switchyards, microwave ovens, mobile phones, base stations are also sources of electromagnetic fields. Therefore, these sources contribute to the electromagnetic pollution that surrounds us. These devices and devices adversely affect human health. For this reason, by the Occupational Health and Safety Law, it is necessary to carry out the necessary controls, measurements, examinations, and researches to determine the working environment and the risks that employees are exposed to in this environment. In this project study, the measurement results will be compared and mapped with the standard values announced by the International Commission on Nonionizing Radiation Protection (ICNIRP) and the Information Technologies Authority (BTK) in terms of the results obtained in the measurements made for the determination of electromagnetic field intensity values in different units of Mersin Metropolitan Municipality. In this context, it is aimed to determine the working environment for the efficient working of the personnel working in Mersin Metropolitan Municipality and the risks that the employees are exposed to due to the electromagnetic field in this environment, to make the necessary measurements and to contribute to the data related to the environmental measurements that must be kept annually by the Occupational Health and Safety Law No. 6331. This study is supported by Mersin University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: 2021-2-TP-4512

Keywords: 1.Occupational Diseases 2. Mersin Metropolitan Municipality 3. Electromagnetic Field Effects 4. Electromagnetic Radiation 5. Work Health 6. Radiation Map

1. Introduction

With the integration of technology into daily life, radiation has become a common aspect of human existence, extending beyond medical applications. Various radioactive elements naturally or artificially spread in the environment. In addition to technology, heat and light from the Sun contribute to natural radiation exposure. Cosmic rays from space and the Sun interact with radioisotopes in the Earth's crust, affecting soil, building materials, water, and food. Furthermore, X-rays, microwaves, radars, gamma rays, and radio waves are different forms of radiation, present both naturally and through artificial sources such as mobile phones and base stations.

Since the 1950s, nuclear technology has expanded worldwide, increasing radiation exposure. The harmful effects of radiation on human health became evident after the establishment of the first nuclear power plants, leading to scientific research on radiation protection. Understanding the nature of radiation and its effects is crucial for radiation safety. This study includes conceptual research on radiation types, sources, safety measures, health effects, and protection methods. The methodology section presents the radiation mapping process of the Mersin Metropolitan Municipality, covering the Red and Navy Blue Office Blocks A-B, the Machinery Maintenance Facility, and the Macit Özcan Sports Complex.

2. Concept of Radiation and Types of Radiation

The fundamental structure of matter consists of atoms. An atom is formed by the combination of protons and neutrons, which create a nucleus. If the number of neutrons in the atomic nucleus is significantly higher than the number of protons, the atom becomes unstable. In such cases, the nucleus undergoes a transformation and emits a negatron (β^-). Conversely, when there are more protons than neutrons, the nucleus emits a positron (β^+). When neutrons and protons are emitted together, the unstable atomic nucleus releases gamma (γ) radiation. If the nucleus is heavy, it emits alpha (α) radiation, which consists of helium nuclei, leading to a process known as nuclear fusion. The materials undergoing these reactions are called "radioactive materials," and the emitted energy in the form of α , β , and γ radiation is known as "radiation." Another definition of radiation is the transfer or emission of energy in the form of particles or electromagnetic waves (Sarıkahya, 2014; Türkkan ve Pala, 2009).

Radiation is classified based on three parameters: energy level, type, and source. If radiation has enough energy to remove an electron from an atom, it is considered ionizing or high-energy radiation (Çimen vd., 2017). The interaction of radiation with matter is necessary for its detection and measurement. Based on its effects on matter, radiation is divided into two categories: ionizing radiation (IR) and non-ionizing radiation (NIR) (Türkmen, 2012; Dönmez, 2017; Türkkan ve Pala, 2009; Özgüven, 2008).

Ionizing radiation is radiation that creates ion pairs by removing electrons from their orbits. This includes X-rays, radioactive emissions, and cosmic rays, all of which generate ionization when interacting with matter. Ionizing radiation is invisible, odorless, tasteless, and cannot be felt by human senses. To measure it, radiation is converted into an electrical signal and detected as pulses or current. Ionizing radiation is further divided into two types: particulate (particle-based) and electromagnetic (wave-based) radiation (Lombardi, 2007; Bora, 2001).

Non-ionizing radiation includes emissions from base stations, high-voltage power lines, radio waves, mobile phones, and microwaves. This type of radiation does not have ionizing effects but may cause thermal effects, such as burns, eye injuries, and cataracts (Güler ve Çobanoğlu, 1994). Radiation sources are classified into natural and artificial sources. The Sun is the most significant natural radiation source, continuously present in the environment. Artificial radiation sources, on the other hand, include human-made radioactive materials used in medical, industrial, and commercial applications. The most well-known example of artificial radiation is X-rays (Washington State Department of Health, 2002).

3. Radiation Measurement Devices and Dose Units

Radiation cannot be detected by human senses. Therefore, special devices are used to measure the range and effect of radioactive emissions. Radiation measurement is based on the interaction between radiation and matter. Devices developed for radiation measurement are generally called radiation detectors (Özgüven, 2008:138; Dönmez, 2017).

The selection of radiation measurement devices depends on the specific area of use. Some detectors are designed to measure only one type of radiation. For example, a detector that measures only gamma rays will not provide accurate results for beta particles. Therefore, it is important to choose the right measurement device according to the intended use. According to the regulations of the Turkey Atomic Energy Authority (TAEK), radiation levels must be measured in all areas where radiation hazards exist. These regulations help guide the selection of appropriate devices (<https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyonun-olculmesi>, 5.3.2025).

Type of display (analog or digital)

Measurement range

Light alerts

Sound alerts

Battery type and lifespan

Resistance to external factors

Response time

Device efficiency

Size and weight

The main devices used for radiation measurement are detectors and dosimeters. The types of detectors are as follows (MEB, 2012):

Ion Chamber Detector

Geiger-Müller Detector

Proportional Counters

Scintillation Detector

Semiconductor Detector

Neutron Detector

Dosimeters are divided into two types: direct-reading dosimeters and dosimeters that require processing before reading.

Radiation dose units are determined by the International Committee of Radiation Units (ICRU) and are globally recognized. These units are categorized into four main groups (Özgüven, 2008; <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-olcum-birimleri-ve-donusumleri>, 7.5.2021):

Absorbed Dose Unit

Activity Unit

Equivalent Dose Unit

Exposure Dose Unit

3.1. Absorbed Dose Unit

Absorbed dose refers to the amount of radiation energy stored due to ionization. The rate at which this energy is absorbed over time is called the absorbed dose rate.

Radiation Absorbed Dose (Rad): The amount of radiation that gives 10⁻² Joules (J) of energy to 1 kg of material.

Formula: (1 Rad = 10⁻² Gy)

Gray (Gy): The amount of radiation that gives 1 Joule of energy to 1 kg of material.

Formula: (1 Gray = 100 Rad)

3.2. Activity Unit

Activity refers to the number of disintegrations of a radioactive substance per unit time.

Curie (Ci): The activity of a radioactive substance undergoing 3.7×10^{10} disintegrations per second.

Formula: (1 Ci = 3.7×10^{10} Bq)

Becquerel (Bq): The activity of a substance undergoing one disintegration per second.

Formula: (1 Bq = 2.703×10^{-11} Ci)

3.3. Equivalent Dose Unit

Equivalent dose is calculated by multiplying the absorbed dose by the quality factor of the radiation.

Radiation Equivalent Man (Rem): The amount of radiation that causes the same biological effect as 1 Roentgen of X-rays or gamma rays.

Formula: (1 Rem = Rad $\times$ Quality Factor (QF), 1 Rem = 10^{-2} Sv)

Sievert (Sv): The amount of radiation that causes the same biological effect as 1 Gy of X-rays or gamma rays.

Formula: (1 Sievert = 100 Rem)

3.4. Exposure Dose Unit

Exposure dose measures the ability of radiation to ionize atoms in a given environment. It is specifically used for electromagnetic radiation.

Roentgen (R): The amount of X-ray or gamma radiation that produces an electric charge of 2.58×10^{-4} Coulombs (C) per kg of air under standard conditions (0°C and 760 mmHg air pressure).

Formula: (1 R = 2.58×10^{-4} C)

Coulomb/kg (C/kg): The amount of X-ray or gamma radiation that produces 1 Coulomb of electric charge per kg of air.

Formula: (1 C/kg = 3.876×10^3 R) or (1 C/kg = 3876 R).

The radiation dose units discussed above are summarized in Table 1.

Table 1. Radiation Units and Conversions

Term	Unit		Conversion
	Classic System	SI Unit	
Activity Dose	Curie, Ci	Becquerel, Bq	1 Ci = 3.7×10^{10} Bq 1 Bq = 2.703×10^{-11} Ci
Exposure Dose	Roentgen, R	Coulomb/kilogram, C/kg	1 R = 2.58×10^{-4} C 1 C/kg = 3.876×10^3 R
Absorbed Dose	Radiation Dose, rad	Gray, Gy	1 Rad = 10^{-2} Gy 1 Gray = 100 Rad
Equivalent Dose	Röntgen man, rem	Sievert, Sv	1 Rem = 10^{-2} Sv 1 Sievert = 100 Rem

Source: <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-olcum-birimleri-ve-donusumleri> (7.3.2025).

4. Materials and Methods

4.1. Importance and Objective of the Study

It has been observed that no radiation map has been previously created for the units operating under Mersin Metropolitan Municipality. In this respect, this study is the first of its kind. The purpose of this study is to create a radiation map for the units affiliated with Mersin Metropolitan Municipality, which is expected to serve as a foundation for future research in this field. Upon completion of the study, it is aimed to increase awareness among both employees and administrators about the environmental impact of radiation, ensuring more careful management of radiation exposure.

| 59

4.2. Scope of the Study

The scope of this study covers the Mersin Metropolitan Municipality within the boundaries of Mersin province. The measurement areas include the Red and Navy Blue Office Blocks A-B, the Machinery Maintenance Facility, and the Macit Özcan Sports Complex. The details of the buildings examined in the study are as follows:

Red and Navy Blue Office Block A consists of 7 floors, each hosting departments responsible for municipal administrative tasks.

Red and Navy Blue Office Block B consists of 6 floors, each containing municipal administrative departments.

Machine Supply Facility includes the Public Transport Branch Directorate, Department of Construction Affairs, a fuel station, and a vehicle maintenance-repair area.

Macit Özcan Sports Complex houses the Department of Youth and Sports, Department of Disaster Affairs, Department of Women and Family Services, Department of Climate Change and Zero Waste, the Mersin Metropolitan Municipality Call Center, and the Mersin Metropolitan Municipality Guesthouse.

4.3. Methodology of the Study

The measurement method is based on the regulation titled “Determination, Control, and Inspection of Electromagnetic Field Intensity Exposure Limit Values from Electronic Communication Devices According to International Standards”, published by the Information and Communication Technologies Authority (BTK) in the Official Gazette No. 27912, dated April 21, 2011.

To reduce short-term radiation effects and obtain more accurate measurements, measurement points were determined at four corners and the center of the corridors on each floor of the buildings included in the study. Measurements were taken for at least six minutes at each point and recorded. The measurement height was set at 1.5 meters from the ground. Electromagnetic field sources in the measurement areas were first identified, and their operating frequencies were recorded. Measurements were conducted at different times during working hours (10:00-16:00).

Common electromagnetic sources in municipal units, such as IP phones, laptops/desktops, tablets, energy-saving bulbs, DECT phones (cordless phones), printers, photocopiers/scanners/fax machines, camera/alarm systems, smart boards, televisions, speaker systems, and WLAN connections (Wireless Local Area Network), were examined. The electromagnetic field intensity values at distances of 1 cm, 10 cm, 30 cm, and 1 m were recorded. The obtained data were compared with electromagnetic field intensity limit values applicable in Turkey, and the measurements were evaluated in terms of occupational health and safety. The HF-7040 Spectran Analyzer, a handheld spectrum analyzer, was used in the study.

5. Findings

5.1. Electromagnetic Field Intensity Findings

In electromagnetic field measurements, the intensity of electromagnetic waves or the combination of electric and magnetic field strength is analyzed. The radio frequency (RF) waves in the 100 kHz to 3 GHz frequency range emitted by electronic devices in buildings may pose potential health risks to

personnel. Common electromagnetic field sources include local internet connections, cordless phones, GSM mobile phones, printers, computers, radios, and televisions.

5.2. Findings from Measurements in Mersin Metropolitan Municipality Units

Measurements were taken for IP phones, laptops/desktops, tablets, energy-saving bulbs, DETC phones (cordless phones), printers, photocopiers/scanners/fax machines, camera/alarm systems, televisions, other electromagnetic field sources, and WLAN (Wireless Local Area Network) connections at distances of 1 cm, 10 cm, 30 cm, and 1 m. The HF-7040 Spectran Analyzer, a handheld spectrum analyzer, was used in the study. The obtained data were compared with international radiation limit values and presented in tabular form.

60

Table 2. Environmental Protection and Health Affairs Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0,29	0,28
1-2 GHz	5	0,76	0,77
2-3 GHz	5	0,22	0,23
3-4 GHz	5	0,16	0,17
4-5 GHz	5	0	0
Wlan 2.4 GHz	5	0,17	0,17
GSM900	5	0,46	0,44
GSM1800	5	3,12	2,95
UMTS	5	0,38	0,25
DECT	5	0,04	0,04

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 3. Department of Culture and Social Affairs: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0,37	0,35
1-2 GHz	5	0,31	0,31
2-3 GHz	5	0,40	0,41
3-4 GHz	5	0,23	0,26
4-5 GHz	5	0,01	0,01
Wlan 2.4 GHz	5	0,12	0,12
GSM900	5	0,22	0,23
GSM1800	5	0,52	0,50
UMTS	5	0,71	0,71
DECT	5	0,03	0,03

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 4. Support Services Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0,31	0,31
1-2 GHz	5	1,01	0,90
2-3 GHz	5	0,53	0,53
3-4 GHz	5	0,17	0,15
4-5 GHz	5	0,01	0,01
Wlan 2.4 GHz	5	0,27	0,27
GSM900	5	0,45	0,38
GSM1800	5	0,85	0,80
UMTS	5	0,25	0,25
DECT	5	0,10	0,10

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 5. Social Services Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0,30	0,30
1-2 GHz	5	0,70	0,71
2-3 GHz	5	0,31	0,30
3-4 GHz	5	0,15	0,11
4-5 GHz	5	0	0
Wlan 2.4 GHz	5	0,12	0,12
GSM900	5	0,43	0,44
GSM1800	5	0,24	0,24
UMTS	5	0,31	0,31
DECT	5	0,08	0,07

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 6. Parks and Gardens Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0,32	0,32
1-2 GHz	5	0,60	0,58
2-3 GHz	5	0,37	0,37
3-4 GHz	5	0,20	0,22
4-5 GHz	5	0,02	0,02
Wlan 2.4 GHz	5	0,17	0,17

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
GSM900	5	0,43	0,43
GSM1800	5	0,68	0,75
UMTS	5	0,40	0,40
DECT	5	0,07	0,07

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 7. Financial Services Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0,30	0,30
1-2 GHz	5	0,99	0,98
2-3 GHz	5	0,47	0,47
3-4 GHz	5	0,16	0,13
4-5 GHz	5	0,01	0,01
Wlan 2.4 GHz	5	0,24	0,28
GSM900	5	0,45	0,44
GSM1800	5	0,76	0,73
UMTS	5	0,25	0,25
DECT	5	0,09	0,12

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 8. Strategy Development Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0.43	0.61
1-2 GHz	5	0.57	0.73
2-3 GHz	5	0.68	0.79
3-4 GHz	5	0.52	0.63
4-5 GHz	5	0.41	0.58
Wlan 2.4 GHz	5	0.72	0.88
GSM900	5	0.62	0.83
GSM1800	5	0.54	0.74
UMTS	5	0.66	0.87
DECT	5	0.49	0.67

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 9. *Information Technology Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges*

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0.45	0.50
1-2 GHz	5	0.60	0.65
2-3 GHz	5	0.55	0.58
3-4 GHz	5	0.70	0.75
4-5 GHz	5	0.62	0.68
Wlan 2.4 GHz	5	0.80	0.85
GSM900	5	0.90	0.95
GSM1800	5	0.88	0.92
UMTS	5	0.75	0.78
DECT	5	0.60	0.63

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 10. *Real Estate and Expropriation Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges*

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0.40	0.42
1-2 GHz	5	0.58	0.62
2-3 GHz	5	0.52	0.55
3-4 GHz	5	0.65	0.68
4-5 GHz	5	0.60	0.64
Wlan 2.4 GHz	5	0.78	0.82
GSM900	5	0.85	0.90
GSM1800	5	0.83	0.87
UMTS	5	0.70	0.73
DECT	5	0.55	0.58

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 11. *Survey and Projects Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges*

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0.35	0.38
1-2 GHz	5	0.50	0.54
2-3 GHz	5	0.45	0.48
3-4 GHz	5	0.58	0.62

4-5 GHz	5	0.55	0.60
Wlan 2.4 GHz	5	0.72	0.75
GSM900	5	0.80	0.85
GSM1800	5	0.78	0.82
UMTS	5	0.65	0.68
DECT	5	0.50	0.55

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 12. Internal Audit Unit: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0.30	0.32
1-2 GHz	5	0.48	0.52
2-3 GHz	5	0.42	0.45
3-4 GHz	5	0.55	0.60
4-5 GHz	5	0.50	0.55
Wlan 2.4 GHz	5	0.70	0.74
GSM900	5	0.78	0.82
GSM1800	5	0.75	0.78
UMTS	5	0.62	0.65
DECT	5	0.48	0.50

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 13. Urban Planning and Development Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0.38	0.40
1-2 GHz	5	0.55	0.60
2-3 GHz	5	0.50	0.54
3-4 GHz	5	0.63	0.67
4-5 GHz	5	0.58	0.62
Wlan 2.4 GHz	5	0.75	0.80
GSM900	5	0.85	0.88
GSM1800	5	0.80	0.83
UMTS	5	0.68	0.72
DECT	5	0.55	0.58

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 14. *Agricultural Services Department: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges*

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0.33	0.35
1-2 GHz	5	0.50	0.55
2-3 GHz	5	0.45	0.50
3-4 GHz	5	0.58	0.62
4-5 GHz	5	0.55	0.60
Wlan 2.4 GHz	5	0.72	0.78
GSM900	5	0.80	0.85
GSM1800	5	0.75	0.78
UMTS	5	0.65	0.68
DECT	5	0.50	0.52

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 15. *Macit Özcan Sports Facility: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges*

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0.56	0.72
1-2 GHz	5	0.64	0.81
2-3 GHz	5	0.77	0.89
3-4 GHz	5	0.59	0.73
4-5 GHz	5	0.48	0.62
Wlan 2.4 GHz	5	0.81	0.97
GSM900	5	0.69	0.88
GSM1800	5	0.66	0.79
UMTS	5	0.74	0.98
DECT	5	0.58	0.72

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 16. *Machinery Maintenance Facility: Electromagnetic Power Density Measurements at Different Frequency Ranges*

Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
0-1 GHz	5	0.51	0.64
1-2 GHz	5	0.63	0.77
2-3 GHz	5	0.71	0.84
3-4 GHz	5	0.56	0.68
4-5 GHz	5	0.44	0.59
Wlan 2.4 GHz	5	0.78	0.92
GSM900	5	0.67	0.82

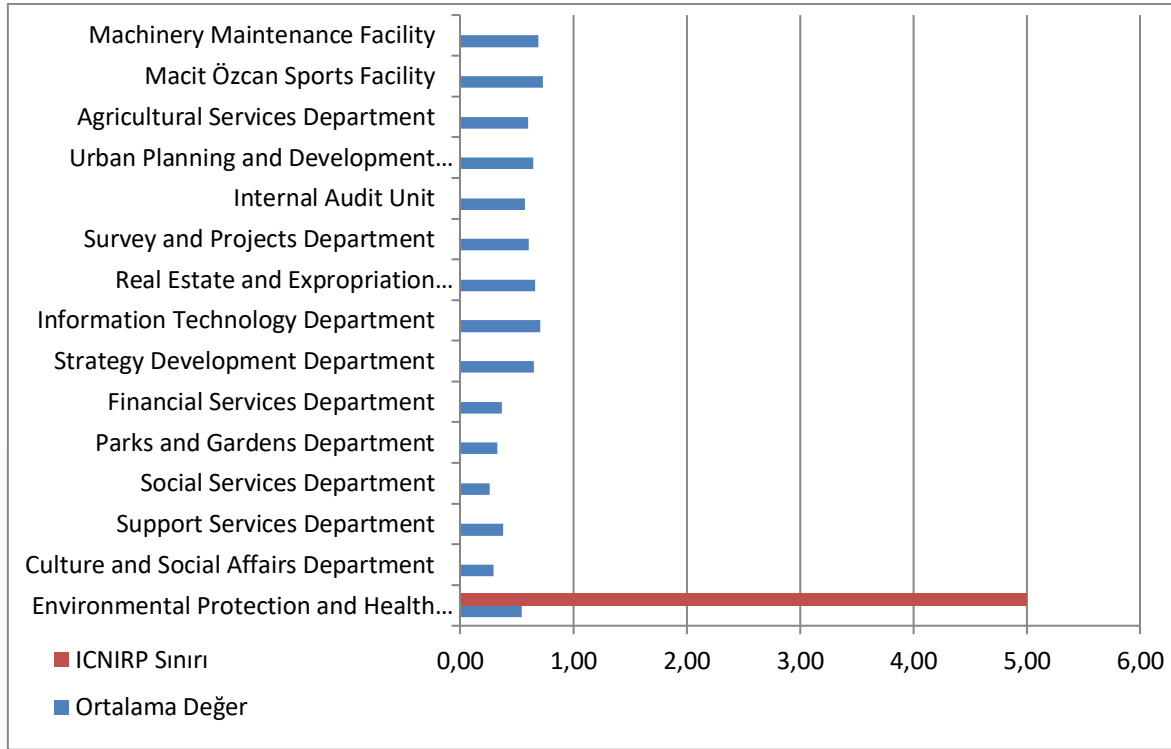
Frequency Ranges	Comparison of Measurements with ICNIRP		
	ICNRP (V/M)	Measurements Taken at 10-Minute Intervals	
		Measurements 1 (V/M)	Measurements 2 (V/M)
GSM1800	5	0.61	0.76
UMTS	5	0.73	0.94
DECT	5	0.53	0.69

*ICNIRP = International Exposure Limit

Table 17. Average Radiation Levels of Departments

Daire Başkanlığı	Ortalama Değer
Environmental Protection and Health Affairs Department	0,55
Culture and Social Affairs Department	0,30
Support Services Department	0,38
Social Services Department	0,26
Parks and Gardens Department	0,33
Financial Services Department	0,37
Strategy Development Department	0,65
Information Technology Department	0,71
Real Estate and Expropriation Department	0,66
Survey and Projects Department	0,61
Internal Audit Unit	0,58
Urban Planning and Development Department	0,65
Agricultural Services Department	0,60
Macit Özcan Sports Facility	0,73
Machinery Maintenance Facility	0,69

According to Table 17, when examining the average radiation measurements from the units of Mersin Metropolitan Municipality, the unit with the highest radiation level is Macit Özcan Sports Complex, followed by the Information Technology Department. The lowest radiation levels were detected in the Social Services Department and the Culture and Social Affairs Department.

Graph 1. ICNIRP Limits and Average Values of Departments

6. Conclusion and Recommendations

In this study, electromagnetic radiation levels were measured in units affiliated with Mersin Metropolitan Municipality and compared with the limits set by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). The obtained data indicate that the electromagnetic power density in the measured areas is generally at safe levels. However, exposure levels may vary due to the presence of intense electromagnetic field sources at certain locations.

The measurement results show that the electromagnetic field strength is largely below the threshold values set by ICNIRP. However, in certain frequency ranges—especially GSM900, GSM1800, UMTS, and Wi-Fi—locally higher levels were recorded. This finding suggests that electromagnetic radiation sources are more concentrated in specific areas and that exposure levels may vary depending on the working environment. Long-term exposure to electromagnetic radiation can lead to adverse effects on biological systems, such as cellular stress, DNA damage, immune system weakening, and neurological disorders. Individuals continuously exposed to the radio frequency spectrum may experience symptoms such as headaches, fatigue, and sleep disturbances.

From an occupational health and safety perspective, managing electromagnetic radiation exposure is of great importance. Considering that electromagnetic field levels were measured in the morning hours and at 10-minute intervals, exposure may fluctuate over specific time periods. Therefore, it is necessary to continue periodic measurements to keep exposure under control. Employees working in areas with high electromagnetic field levels should undergo regular health check-ups, have their personal exposure levels assessed, and take protective measures when necessary.

Another significant finding of the study is that electromagnetic radiation tends to accumulate in enclosed environments. It was determined that inadequate ventilation conditions could increase this accumulation. Therefore, improving ventilation systems and using shielding materials are essential to prevent the buildup of electromagnetic radiation in indoor spaces.

To reduce electromagnetic radiation levels, technical measures should be implemented. These include limiting the usage time of electromagnetic field-emitting devices, preferring wired connections whenever possible, and increasing the distance between devices and users. Additionally, updating

Turkey's occupational health and safety regulations regarding electromagnetic radiation exposure and enhancing inspection efforts is a crucial requirement.

In conclusion, this study provides an important contribution by assessing the current state of electromagnetic field exposure and evaluating potential risks in terms of occupational and human health. Future research should be conducted on a broader scale and under different spatial conditions to obtain more comprehensive data on the subject.

References

- AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı), <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyonun-olculmesi> 05.03.2025.
- AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı), <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-olcum-birimleri-ve-donusumleri> 07.03.2025.
- BORA, H. (2001). "Radyasyon Güvenliği", Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Yıllığı, 2(1): 91-98.
- DÖNMEZ, S. (2017). "Radyasyon Tespiti ve Ölçümü", Nuclear Medicine Seminars, 3(3): 172-177.
- GÜLER, Ç. ve ÇOBANOĞLU, Z. (1994). Elektromanyetik Radyasyon, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:32, Aydoğdu Ofset, Ankara.
- LOMBARDİ, M.H. (2007). Radiation Safety in Nuclear Medicine, 2. Ed., CRC Press, London.
- MEB (2012). Radyasyon Ölçümü, Milli Eğitim Bakanlığı Aile ve Tüketici Hizmetleri, Ankara.
- ÖZGÜVEN, M.A. (2008). "Radyasyon Ölçümleri ve Hasta Tiryajı", s.133-153, (Ed.) ARPACI, F. ve ARAT, M., Nükleer Kaza veya Terörist Atakta Hematopoietik Kök Hücre Transplantasyon Stratejisi, Bilimsel Tıp Yayınevi, Ankara, 133-153.
- SARIKAHYA, N.M. (2014). "Bir İşyerinde Elektromanyetik Alan Ölçümü Yapılması ve Sonuçlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi", İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TÜRKKAN, A. ve PALA, K. (2009). "Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Radyasyon ve Sağlık Etkileri", Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14(2): 11-22.
- TÜRKMEN, C. (2012). Nükleer Tıp Görüntüleme Yöntemlerinde Temel İlkeler, s.1-12, (Ed.) ADALET, I., MUDUN A., ÜNAL, S.N. ve TÜRKMEN, C., Nükleer Tıp Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF HEALTH (2002). Background Radiation Natural Versus Man-Made. Fact Sheet, 320-063.

Makale id= 6

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-2394-179X

| 69

Ankara İçin Su Tüketim Tahmin Modeli Geliştirilmesi**Dr. Ergun Uzlu¹**¹Karadeniz Teknik Üniversitesi

Özet: Gerçekçi su tüketim projeksiyonları su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılabilmesi için hayati öneme sahiptir. Gerçeğe yakın su tüketim projeksiyonları sayesinde su kıtlığı ve israfı önlenebilir. Bu çalışmada Türkiye'nin başkenti Ankara'nın ileri yıllardaki su tüketim değerlerini tahmin etmek için bir model geliştirilmeye çalışılmıştır. Su talebi tahmin modelinin geliştirilmesi için yapay sinir ağları (YSA) yöntemi seçilmiştir. YSA ağırlıklarının eğitilmesinde Jaya algoritması kullanılmıştır. Jaya algoritması popülasyon tabanlı ve optimizasyon yeteneği oldukça yüksek bir yapay zeka algoritmasıdır. Tahmin modeli gayri safi milli hasıla (GSYİH) ve nüfus verilerine dayalı olarak geliştirilmiştir. Modelde kullanılan veriler 2004-2021 yıllarını kapsamaktadır. 2000-2017 yılları arasındaki veriler su talep modellerinin oluşturulmasında. 2018-2021 yılları arasındaki veriler ise geliştirilen modellerin test edilmesinde kullanılmıştır. Önerilen model için eğitim seti verileri dikkate alınarak hesaplanan ortalama karesel hata değeri 182.843 m⁶'dır. Test seti için hesaplanan ortalama rölatif hata değeri ise %1.475'dir. Hem eğitim hem de test seti için hesaplanan hatalar dikkate alındığında YSA-Jaya modeli Ankara için su tüketimini başarılı bir şekilde modellemiştir. Önerilen model kullanılarak oluşturulan su tüketim projeksiyonlarının, su kaynaklarının yönetimi konusunda karar vericilere faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Su Tüketim Tahmini, Yapay Sinir Ağları, Jaya Algoritması, Ankara

Development of Water Consumption Prediction Model for Ankara

Abstract: Realistic water consumption projections are of vital importance for efficient use of water resources. Water scarcity and waste can be prevented thanks to realistic water consumption projections. In this study, a model was developed to estimate water consumption values of Ankara, the capital of Turkey, in the coming years. Artificial neural networks (ANN) method was selected for the development of the water demand estimation model. Jaya algorithm was used in training ANN weights. Jaya algorithm is a population-based artificial intelligence algorithm with high optimization capability. The estimation model was developed based on gross national product (GDP) and population data. The data used in the model covers the years 2004-2021. Data between the years 2000-2017 were used in developing water demand models. Data between the years 2018-2021 were used in testing the developed models. The mean square error value calculated by considering the training set data for the proposed model is 182.843 m⁶. The average relative error value calculated for the test set is 1.475%. Considering the errors calculated for both training and test sets, the ANN-Jaya model successfully modeled water consumption for Ankara. It was concluded that the water consumption projections created using the proposed model will be useful for decision makers in the management of water resources.

Keywords: Water Consumption Forecasting, Artificial Neural Networks, Jaya Algorithm, Ankara

1.GİRİŞ

Su tüketim projeksiyonları su dağıtım ve alt yapı sistemlerinin planlanmasında dikkate alınan en önemli faktörlerden biridir. Dünyada içilebilir suya erişimin zorlaştığı göz önüne alındığında, gerçekçi su tüketim projeksiyonları kısıtlı su kaynaklarının verimli ve etkin kullanılması açısından hayati öneme sahiptir. Su kaynaklarının verimli kullanılmaması ve nüfusun artması, dünya çapında birçok şehirde su ihtiyacının karşılanamaması tehlikesini ortaya çıkarmıştır (Shuang ve Zhao, 2021). Bu sorun özellikle ekonomik aktivitenin yüksek, iş bulma fırsatının daha fazla, eğitim ve sağlık hizmetlerine ulaşımın daha

kolay olduğu çok göç alan metropollerde daha sık yaşanmaktadır. Bu şehirlerden biride Türkiye'nin başkenti Ankara'dır. Ankara Türkiye'nin en çok göç alan ikinci şehridir (TURKSTAT, 2024a). Ankara yoğun göç aldığı için hızla büyümektedir. Hızla büyüyen şehirlerdeki su talebinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi su tesislerinin ve içme suyu dağıtım şebekesinin planlanması açısından kritik öneme sahiptir.

Önceki çalışmalar (Firat vd., 2010; Lee ve Derrible, 2020) yapay zeka yöntemlerinin istatistiksel yöntemlere göre su tüketiminin modellenmesinde daha başarılı olduğunu göstermiştir. Bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki lineer olmayan ilişkiyi temsil etme yeteneklerinin yüksek olmasından dolayı zaman serilerine dayalı olarak yapılan modelleme çalışmalarında en çok kullanılan yapay zeka yöntemlerinden biri yapay sinir ağları (YSA) tekniğidir. Aşağıda hem dünyada hem de ülkemizde YSA tekniğini kullanarak su tüketimini modellemeye çalışan çalışmalardan bazıları sunulmuştur. Zhao ve Chen (2014) Çin'in Pekin şehrindeki su talebini tahmin etmek için sosyo-ekonomik ve demografik faktörlere dayalı olarak bir YSA modeli geliştirmiştir. Geliştirdikleri modelin su tüketimini başarılı bir şekilde tahmin ettiğini belirtmişlerdir. Tang vd., (2012) ve Tian ve Xue (2017) sırasıyla Çin'in Guangdong ve Hubei illerindeki su ihtiyacını tahmin etmek için YSA modelleri geliştirmişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri modellerin tahmin gücünün yüksek olduğunu ve farklı bölgeler içinde uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Firat vd. (2010) YSA ve regresyon tekniklerini kullanarak İzmir'in su ihtiyacını modellemeye çalışmışlardır. Sonuçlar YSA yönteminin regresyon yönteminden daha başarılı olduğunu göstermiştir. Altunkaynak ve Nigussie (2017) YSA yöntemini kullanarak İstanbul'un su tüketimini modellemiştir. Uzlu (2024) İstanbul'un su ihtiyacını tahmin etmek için YSA ve regresyon modelleri geliştirmiştir. Modellerde bağımsız değişken olarak gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) ve nüfus verilerini kullanmıştır. YSA modelleri regresyon modelinden daha gerçekçi tahminler yapmıştır.

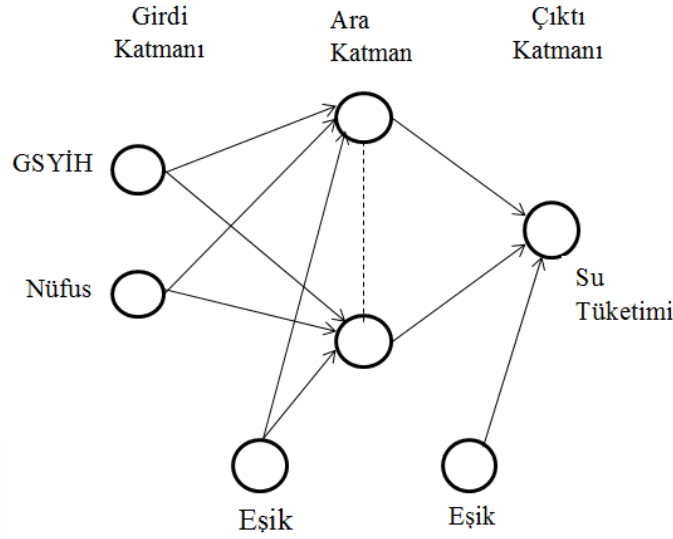
Bu çalışmada Türkiye'nin başkenti Ankara'nın gelecekteki su ihtiyacını tahmin etmek için nüfus ve GSYİH verilerine dayalı olarak YSA ve Jaya algoritmasından oluşan hibrit bir model sunulmuştur. YSA-Jaya tekniği yeni bir yöntem olmasına rağmen daha önce enerji (Uzlu, 2019; Uzlu, 2021) alanında kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmayı gerçekleştirme motivasyonun altında yatan ana sebep daha önce Ankara şehrinin su ihtiyacı ile ilgili yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanamamasıdır. Çalışmanın gerçekleştirilmesindeki diğer bir itici güç ise YSA-Jaya tekniğinin su talebini modelleme yeteneğinin daha önce hiç test edilmemiş olmasıdır. Bu çalışmada sunulan modeller kullanılarak oluşturulacak su talebi projeksiyonları, mevcut su kaynaklarının daha verimli yönetilebilmesi açısından karar vericilere faydalı olacaktır.

2.MATERYAL VE METOT

2.1. Su Talebi Tahmin Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada Ankara Şehrinin su tüketimini modellemek için YSA yöntemi kullanılmıştır. Şekil 1 de sunulduğu gibi girdi, ara ve çıktı katmanlarından oluşan üç katmanlı ve ileri beslemeli bir ağ seçilmiştir. Ara katmandaki nöron sayıları 5, 10, 15 ve 20 olarak seçilmiştir. Ara ve çıktı katmanlarında sırasıyla hiperbolik tanjant sigmoid ve lineer fonksiyonlar aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Toplama fonksiyonu olarak ağırlıklı toplam seçilmiştir. GSYİH ve nüfus verileri modelin girdilerini, su tüketimi verileri ise modelin çıktısını oluşturmaktadır.

Şekil 1. Su Tüketimi İçin Önerilen YSA Modeli



Bilginin saklı olduğu YSA ağırlıklarının optimizasyonu için Jaya algoritması kullanılmıştır. YSA modellerinin eğitimi sırasında amaç fonksiyonu olarak ortalama karesel hata (OKH) seçilmiştir. Jaya algoritması optimizasyon süresince OKH değerini minimuma indirmeye çalışır. Eğitilen ağı performansı değerlendirmek için hata kriteri olarak aşağıda sunulan ortalama rölatif hata (ORH), karesel hataların karekökü (KHKK) ve ortalama mutlak hata (OMH) seçilmiştir.

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - o_k)^2 \quad (1)$$

$$ORH = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_k - o_k}{y_k} \right)}{n} \times 100 \quad (2)$$

$$KHKK = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_k - o_k)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_k - o_k| \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemlerde o_k ve y_k sırasıyla tahmin edilen ve gözlenen değerleri gösterir. n ise toplam veri sayısını gösterir. YSA modelleri geliştirilirken koşma sayısı, maksimum iterasyon sayısı ve amaç fonksiyonu değerleri sırasıyla 10, 500, 8×10^{-8} olarak seçilmiştir. Jaya için popülasyon büyüklüğü 50 olarak ayarlanmıştır. YSA ağırlıklarının optimize edileceği aralık $[-1, 1]$ olarak seçilmiştir.

2.2. Jaya Algoritması

Jaya kelimesi Sanskrit dilinde zafer anlamına gelmektedir. Algoritma isminden anlaşılacağı üzere en iyi bireyin hayatta kalması ve bu sayede optimum çözümün bulunması ilkesini çalışma prensibi olarak

benimsemiştir. Jaya algoritmasının çalışma prosedürü şu şekilde özetlenebilir. Algoritmanın kontrol parametrelerinin değerleri belirlendikten sonra algoritma tarafından rastgele bir popülasyon oluşturulur. Popülasyondaki her birey bir aday çözümdür. Her birey için amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Algoritmanın amacı amaç fonksiyonun değerini optimizasyon sürecinde minimum yada maksimum yapmaktır. Amaç fonksiyonu bir hata değeri ise minimum yapılmaya, fitness değeri ise maksimum yapılmaya çalışılacaktır. Amaç fonksiyonun değerine göre popülasyondaki en iyi ve en kötü bireyler belirlenir. Yeni bireyler en iyi ve en kötü bireyler dikkate alınarak Denklem 5 aracılığıyla rastgele geliştirilir (Yu vd., 2019). Yeni bireyin amaç fonksiyonu değeri mevcut en iyi bireyin amaç fonksiyonu değeri ile karşılaştırılır. Yeni bireyin amaç fonksiyonu değeri mevcut en iyi bireyin amaç fonksiyonu değerinden daha iyi ise yeni birey mevcut en iyi bireyin yerine geçer. Aksi takdirde yeni birey dikkate alınmaz mevcut birey en iyi birey olarak kalır. Bu süreç maksimum iterasyon sayısına yada amaç fonksiyonu için önceden belirlenen bir değere ulaşıncaya kadar devam eder.

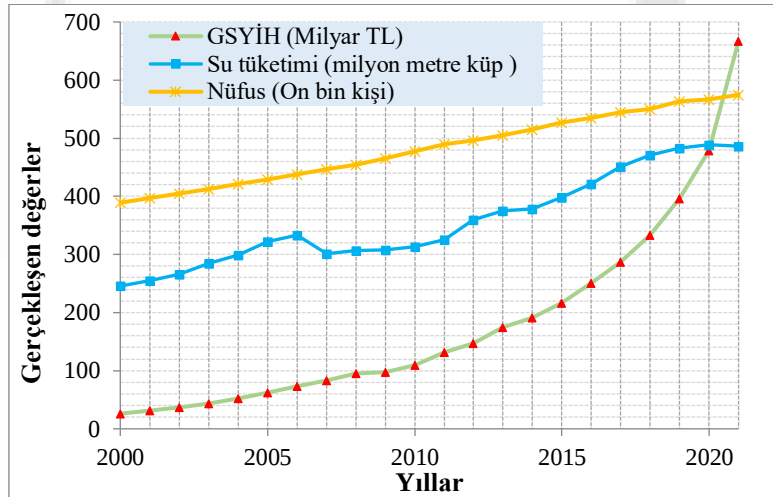
$$X'_{j,k,i} = X_{j,k,i} + r_{1,j,i} (X_{j,best,i} - |X_{j,k,i}|) - r_{2,j,i} (X_{j,worst,i} - |X_{j,k,i}|) \quad (5)$$

Bu denklemde “X” mevcut çözümü, “X” ise aday çözümü gösterir. “X_{best}” and “X_{worst}” sırasıyla popülasyondaki en iyi ve en kötü bireyleri gösterir (Zhang vd., 2021). r_1 ve r_2 ise 0 ile 1 arasında değişen kasayıdır. i iterasyon sayısını, j tasarım değişkenini, k ise aday çözümü gösterir (Uzlu, 2019).

2.3. Veriler

Bu çalışmada Ankara ilinin gelecekteki su talebini modellemek için GSYİH ve nüfus verileri bağımsız değişken olarak seçilmiştir. GSYİH ve nüfus verileri Türkiye İstatistik Kurumu’ndan temin edilmiştir (TURKSTAT, 2024b; TURKSTAT, 2024c). Su tüketim verileri ise Ankara Büyükşehir Belediyesi’nden temin edilmiştir (ASKI, 2024a; ASKI 2024b). Veriler 2000-2021 yılları arasında kapsamaktadır. 2000-2017 yılları arasındaki veriler modellerin oluşturulmasında. 2018-2021 yılları arasındaki veriler ise geliştirilen modellerin test edilmesinde kullanılmıştır.

Şekil 2. Ankara İçin Bağımlı Ve Bağımsız Değişkenlerin Yıllar İtibariyle Değişimi (TURKSTAT, 2024b; TURKSAT, 2024c; ASKI, 2024a; ASKI, 2024b).

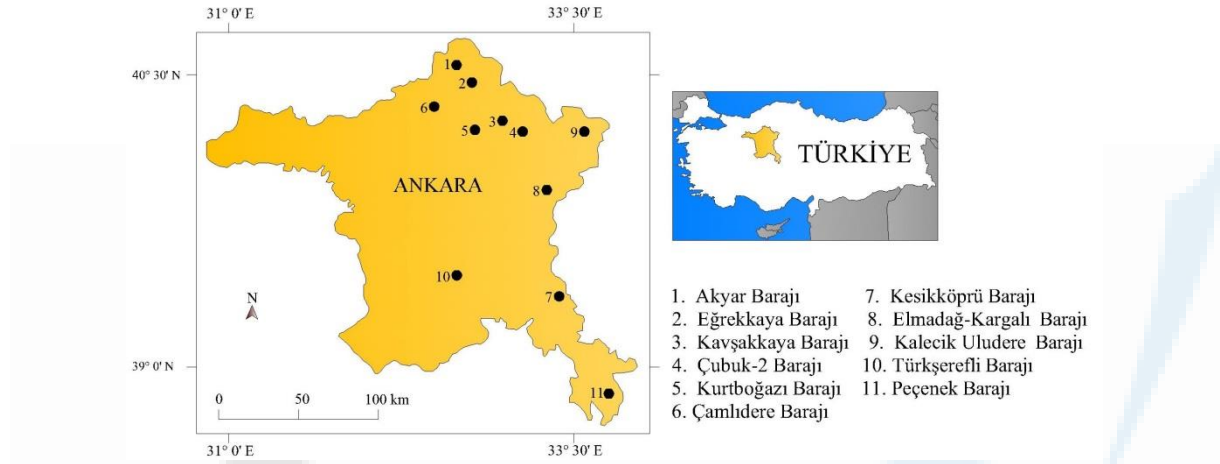


2.3. Çalışma Alanı

Türkiye’nin başkenti olan Ankara İç Anadolu Bölgesinin kuzey batısında 39.57 kuzey enlemi ve 32.53 doğu boylamı koordinatında bulunur. Türkiye’de ortalama nüfus yoğunluğu 107 kişi/km², Ankara da 220 kişi/km²’dir (TURKSAT, 2024c). Ankara en büyük 300 metropol sıralamasında 131. sıradadır ve

Türkiye için stratejik bir öneme sahiptir (ASKI, 2024c). Ankara'nın su ihtiyacı, Şekil 3'te gösterildiği gibi bünyesinde barındırdığı 11 adet baraj ve kuyulardan temin edilen su ile karşılanmaktadır. 11 barajın toplam kapasitesi 1,761,8785,00 m³'tür (ASKI, 2024d). 11 barajda bulunan toplam su miktarının toplam kapasiteye oranı (toplam doluluk oranı) 2022 ve 2023 yıllarında sırasıyla 32.54% ve 41.87%'dir (ASKI, 2024a). 2013 ve 2023 yılları arasında barajlara gelen ve şehre verilen toplam su miktarları incelendiğinde, 2015, 2019, 2020, 2022 ve 2023 yılları hariç geri kalan yıllarda şehre verilen su miktarı barajlara gelen su miktarından fazladır.

Şekil 3. Ankara ve Su Kaynaklarının Konumu



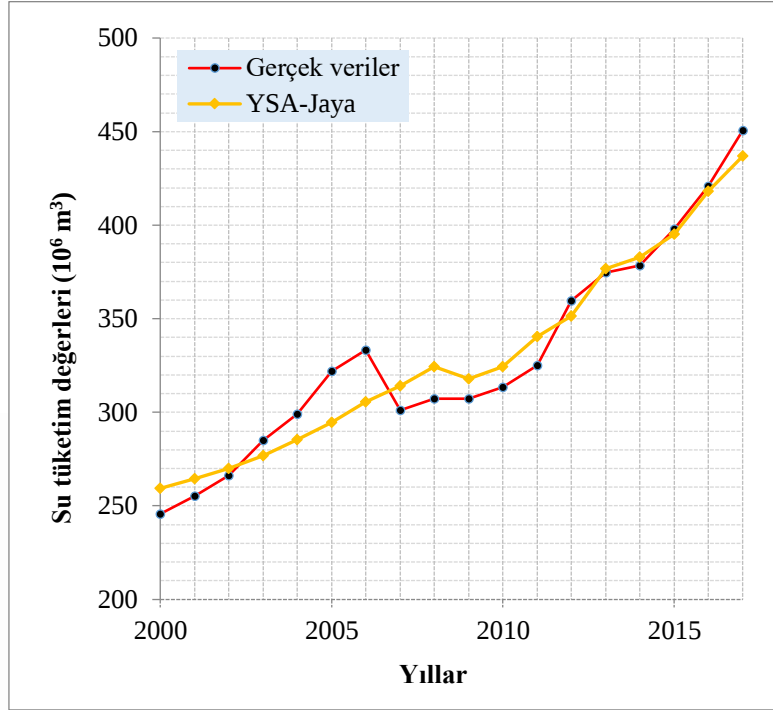
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Şekil. 1'de gösterildiği gibi girdi, ara ve çıktı katmanlarından oluşan bir YSA mimarisi seçilmiştir. Girdi katmanındaki iki nöron GSYİH ve nüfus verilerini temsil etmektedir. Çıktı katmanındaki nöron ise su tüketimini temsil etmektedir. YSA ağırlıklarının optimizasyonu için Jaya algoritması tercih edilmiştir. Ara katmanda nöron sayıları önceki çalışmalardan (Uzlu, 2019; Uzlu 2024) edinilen tecrübeler dikkate alınarak 5, 10, 15 ve 20 olarak seçilmiştir. Geliştirilen modeller için elde edilen eğitim ve test seti hata değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Ayrıca eğitim ve test setleri için en iyi modelin tahmin ettiği değerlerin gerçek verilerle karşılaştırılması sırasıyla Şekil 4 ve 5'te sunulmuştur.

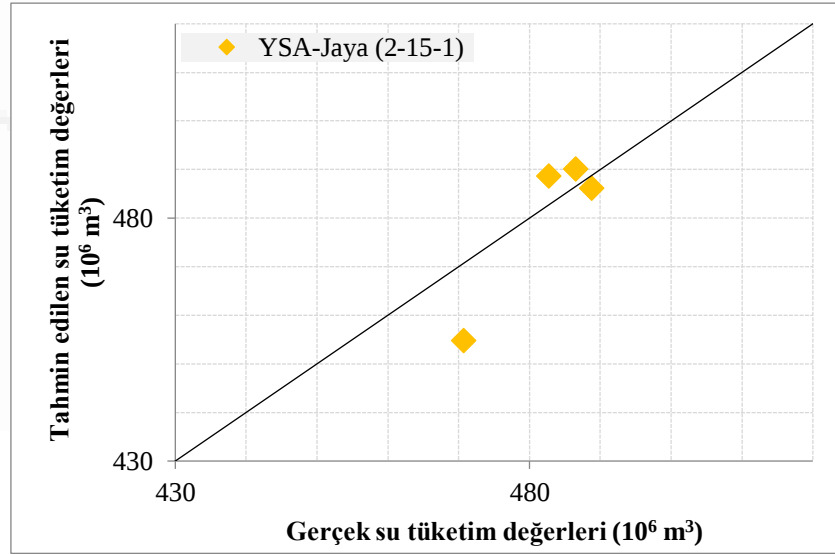
Tablo 1. YSA Modelleri İçin Eğitim ve Test Seti Hata Değerleri

YSA mimarisi	Eğitim seti	Test seti		
	OKH (m ⁶)	KHKK (m ³)	OMH (m ³)	ORH (%)
2-5-1	192.035	8.975	7.268	1.590
2-10-1	190.020	8.912	7.216	1.552
2-15-1	182.843	8.787	7.036	1.475
2-20-1	193.752	8.990	7.340	1.612

Şekil 4. Eğitim Seti İçin YSA-Jaya (2-15-1) Modelinden Elde Edilen Tahminlerin Gerçek Verilerle Karşılaştırılması



Şekil 5. Test seti için YSA-Jaya (2-15-1) modelinden elde edilen tahminlerin gerçek verilerle karşılaştırılması



Tablo 1'deki hata değerlerine göre en iyi model ara katmanda 15 nöron bulunan YSA-Jaya (2-15-1) modelidir. YSA-Jaya (2-15-1) modelinin eğitim seti için OKH değeri 182.843 m⁶, test seti için KHKK, OMH ve ORH değerleri sırasıyla 8.787 m³, 7.036 m³ ve 1.475%'dir. Uzlu (2024) İstanbul'un su tüketimini tahmin etmek için geliştirdiği YSA modelinde test eti için KHKK, OMH ve ORH değerlerini sırasıyla 17.649 m³, 14.197 m³ ve 1.715% olarak hesaplamıştır. Bu çalışmada elde edilen hata değerleri Uzlu (2024) tarafından elde edilen hata değerlerinden daha düşüktür. Bu nedenle bu çalışmada önerilen modelin hata değerleri kabul edilebilir seviyededir.

4. SONUÇ

Ankara için su tüketimi tahmin modellerinin geliştirilmesi su yönetimi altyapısı yatırımlarının verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yapılabilmesi için son derece önemlidir. Bu çalışmada GSYİH ve nüfus verilerine dayalı olarak geliştirilen YSA-Jaya modeli Ankara'nın su tüketimini başarılı bir şekilde modellemiştir. Önerilen modelin test seti için ORH değeri 1.475% olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, YSA-Jaya tekniği kullanılarak oluşturulan su talebi tahmin modelinin doğruluğu kabul edilebilir seviyededir. Bu nedenle önerilen model kullanılarak Ankara için geleceğe yönelik su ihtiyacı tahminleri yapılabilir. Bu çalışmada önerilen model kullanılarak oluşturulacak su talebi projeksiyonlarının, mevcut su kaynaklarının daha verimli yönetilebilmesi açısından karar vericilere faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

1. Altunkaynak, A., ve Nigussie, T.A. (2017). "Monthly water consumption prediction using season algorithm and wavelet transform-based models", Journal of Water Resources Planning and Management, 2017, 143(6):04017011.
2. Ankara Metropolitan Municipality Water Works and Canalization Administration (ASKI). (2024a). "2023 Activity report",
<https://www.aski.gov.tr/Yukle/Dosya/faaliyetperformans/Aski%202023%20Faaliyet%20Raporu.pdf>, 01.11.2024.
3. Ankara Metropolitan Municipality Water Works and Canalization Administration (ASKI). (2024b). "2015-2019 Strategic plan",
<https://www.aski.gov.tr/Yukle/Dosya/faaliyetPerformans/2015-2019stratejikplan.pdf>, 01.11.2024.
4. Ankara Metropolitan Municipality Water Works and Canalization Administration (ASKI). (2024c). "Ankara province drinking water, wastewater and rainwater management master plan",
https://www.aski.gov.tr/yukle/dosya/538681-TSSY-MP-004-S%3%87D-TR-01-R1_12.01.2023.pdf, 01.11.2024.
5. Ankara Metropolitan Municipality Water Works and Canalization Administration (ASKI). (2024d).
<https://www.aski.gov.tr/TR/ICERIK/Su-Kaynaklarimiz/32>, 01.11.2024.
6. Firat, M., Turan, M.E., ve Yurdusev, M.A. (2010). "Comparative analysis of neural network techniques for predicting water consumption time series", Journal of hydrology, 2010, 384: 46–51.
7. Lee, D., ve Derrible, S. (2020). "Predicting residential water demand with machine-based statistical learning", Journal of Water Resources Planning and Management, 2020, 146(1): 04019067.
8. Shuang, Q., ve Zhao, R.T. (2021). "Water demand prediction using machine learning methods: a case study of the Beijing–Tianjin–Hebei Region in China", Water, 2021, 13(3):310.
9. Tang, Z.Q., Liu, G., Xu, W.N., Xia, Z.Y., ve Xiao, H. (2012). "Water demand forecasting in Hubei province with BP neural network model", Advanced Materials Research, 2012, 599: 701–704.
10. Tian, T., ve Xue, H. (2017). "Prediction of annual water consumption in Guangdong Province based on Bayesian neural network" In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 69:012032.
11. Turkish Statistical Institute (TURKSTAT). (2024a). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Ic-Goc-Istatistikleri-2022-49727>, 01.11.2024.
12. Turkish Statistical Institute (TURKSTAT). (2024b) <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Gross-Domestic-Product-by-Provinces-2021-45619&dil=2>, 01.11.2024.
13. Turkish Statistical Institute (TURKSTAT). (2024c). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=The-Results-of-Address-Based-Population-Registration-System-2021-45500&dil=2>, 01.11.2024.

14. Uzlu, E. (2019). "Application of Jaya algorithm-trained artificial neural networks for prediction of energy use in the nation of Turkey", *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 2019, 14(5):183–200.
15. Uzlu, E. (2021). "Estimates of hydroelectric energy generation in Turkey with Jaya algorithm-optimized artificial neural networks", *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 2021, 9(3):446–462.
16. Uzlu, E. (2024). "Modeling and forecasting of water demand in the city of İstanbul using artificial neural networks optimized with rao algorithms", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2024, 49(10):13477–13490.
17. Yu, K., Qu, B., Yue, C., Ge, S., Chen, X., ve Liang, J. (2019). "A performance-guided JAYA algorithm for parameters identification of photovoltaic cell and module", *Applied Energy*, 2019, 237:241–257.
18. Zhao, Y., ve Chen, X.J. (2014). "Prediction model on urban residential water based on resilient bp learning algorithm", *Applied Mechanics and Materials*, 2014, 543:4086–4089.
19. Zhang, Y., Chi, A., ve Mirjalili, S. (2021). "Enhanced Jaya algorithm: A simple but efficient optimization method for constrained engineering design problems", *Knowledge-Based Systems*, 2021, 233:107555.

Makale id= 49

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-5357-6201

| 77

Atık Lastik ile Modifiye Edilmiş Asfalt Karışımların Performans Analizi**Araştırmacı Sevda Herdem¹, Dr. Öğretim Üyesi Şevket Aslan², Prof.Dr. Hatice Çıtakoğlu³**¹Kentsel Dönüşüm Başkanlığı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Kahramanmaraş; Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri; Erciyes Ulaşım Arge Merkezi Ltd. Şti., Kayseri, Türkiye.³Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

*Corresponding author: Sevda Herdem

Özet: Günümüzde hızla artan motorlu taşıt sayısı ile birlikte her yıl milyonlarca lastik kullanılamaz hale gelmekte ve büyük bir çevresel problem oluşturmaktadır. Bu nedenle, birçok araştırmacı atık lastikleri uygun bir şekilde değerlendirme, geri dönüştürme ve sürdürülebilir bir çözüm sunma üzerine kapsamlı çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmada, atık lastiklerin taş mastik asfalt (TMA) içerisinde kullanım potansiyeli araştırılmış ve asfalt karışımların performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, bitüm malzemesi %0, %8, %10 ve %12 oranlarında atık lastik ile modifiye edilerek modifiye bitüm elde edilmiştir. Modifikasyon işleminin bitüm üzerindeki etkisini incelemek amacıyla penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri yapılmıştır. Modifiye bitüm ile marshall briketleri üretilmiş ve bu briketlerin yoğunluk (Dp), boşluk (Va), agregalar arası boşluk (VMA) ve asfalt ile dolu boşluk (Vf) parametreleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, atık lastik malzemesinin asfalt karışımların performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde %10 oranında atık lastik ilavesinin hem performans hem de çevresel etki bakımından en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir. Atık lastiklerin asfalt kaplamalarda kullanımı hem asfalt kaplamaların servis ömrünü uzatmakta hem de atık lastiklerin geri dönüştürülerek çevresel etkilerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, atık lastiklerin taş mastik asfalt kaplamalarda kullanımı, sürdürülebilir bir yol altyapısı oluşturmak için çevresel ve ekonomik açıdan önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Asfalt, Bitüm, Taş Mastik, Atık Lastik**Performance Analysis of Asphalt Mixtures Containing Waste Tire Rubber**

Abstract: Today, with the rapidly increasing number of motor vehicles, millions of tires become unusable yearly and constitute a major environmental problem. For this reason, many researchers are conducting comprehensive studies on appropriate evaluation, recycling, and sustainable solutions for waste tires. This study investigated the potential of using waste tires in stone mastic asphalt (SMA) and their effects on the performance of asphalt mixtures. Within the scope of the study, bitumen material was modified with waste tire rubber at the rates of 0%, 8%, 10% and 12% to obtain modified bitumen. Penetration and softening point tests were conducted to examine the effect of the modification process on bitumen. Marshall briquettes were produced with modified bitumen, and the density (Dp), void (Va), voids in mineral aggregates (VMA) and voids filled with asphalt (Vf) parameters of these briquettes were examined in detail. The results showed that waste tire material significantly affects the performance of asphalt mixtures. As a result of the evaluations, it was determined that the addition of 10% waste tires gave the best results in terms of both performance and environmental impact. Using waste tires in asphalt pavements extends the service life of asphalt pavements and contributes to reducing environmental impacts by recycling waste tires. As a result, waste tires in stone mastic asphalt pavements emerge as an important alternative in terms of environmental and economic aspects to create a sustainable pavement infrastructure.

Keywords: Asphalt, Bitumen, Stone Mastic, Waste Tire Rubber

1. Giriş

Günümüzde motorlu taşıtların kullanımının artması, her yıl milyonlarca araç lastiğinin kullanım ömrünü tamamlamasına ve atık malzeme haline gelmesine neden olmaktadır. Bu atık lastikler, doğada uzun yıllar boyunca bozulmadan kalabildikleri için çevresel sorunlara yol açabilmektedir. Atık lastiklerin hızla artarak birikmesi, bu malzemelerin yok edilmesinin ve çevreye olan zararlarının ortadan kaldırılmasının yönetilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu sebeple, geri dönüşüm veya yeniden kullanım yöntemlerinin geliştirilmesi, kullanım ömrünü tamamlamış atık lastiklerin farklı alanlarda değerlendirilmesi açısından önemli bir gereklilik olmuştur. Özellikle inşaat, yol yapımı ve enerji üretimi gibi alanlarda bu malzemelerin çeşitli şekillerde kullanılması hem sürdürülebilir kaynak yönetiminin sağlanması hem de çevresel etkilerinin kontrol altına alınması yönünden büyük bir öneme sahiptir (Sugözü ve Mutlu, 2009).

Bu nedenle, son yıllarda birçok araştırmacı atık lastiklerin yol inşaatında kullanılabilirliğinin araştırılmasına yönelik çalışmalar yapmaktadır. Atık lastiklerin yol kaplamalarında kullanılabilme potansiyeli, bu malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurularak araştırılmakta ve çeşitli yöntemler kullanılarak incelenmektedir.

Karacasu ve Bilgiç (2009), atık lastiklerin bitüm üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla Marshall deneyi ve sünme performans test yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada, B50/70 ve B70/100 sınıfa sahip bitüm malzemeleri için farklı şekil ve tane boyutlarındaki atık lastikler, agreganın belirli oranlarında eklenmiştir. Elde edilen sonuçlar, atık malzeme kullanılarak üretilen asfalt betonunun, standart koşullarda üretilen asfalt betonu ile benzer performans özellikleri gösterdiğini ortaya koymuştur.

Çelik (2001), atık otomobil lastiği kullanılarak modifiye edilen bitüm malzemesinin yorulma davranışı üzerindeki etkisini sabit basınç test yöntemini kullanarak incelemiştir. Çalışmada, ayrıca kırıntı numuneleri üretilmiş ve kırıntı numunelerinin yorulma süreleri karşılaştırılmıştır. %5 oranında atık lastik katkısı eklenen B50 penetrasyonlu bitümün yorulma süresinin iki kat arttığı bulunmuştur. Bununla birlikte, B100 penetrasyonlu bitümde yapılan modifiye işleminin yorulma süresini yirmi üç kat artırdığı gözlemlenmiştir.

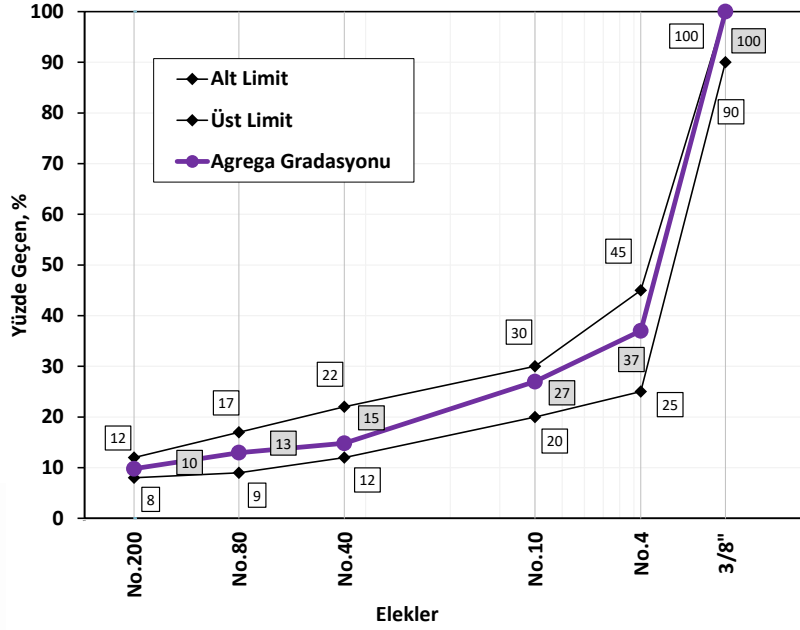
Tortum ve arkadaşları (2005) gerçekleştirdikleri çalışmada, aşınma Tip-2 asfalt betonunda katkı malzemesi olarak kullanılan farklı oranlardaki atık otomobil lastiğinin etkisini belirlemek amacıyla deneysel tasarım yöntemlerinden Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Deney sonuçları, en uygun koşulların; atık lastik gradasyonunun #40 numaralı elek, karışım sıcaklığının 155°C, agrega gradasyonunun Aşınma Tip-2 sınıfı, atık lastik katkı oranının %10, bitüm oranının %5,5, sıkıştırma sıcaklığının 135°C ve karıştırma süresinin 15 dakika olması gerektiğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, atık lastiklerin taş mastik asfalt (TMA) karışımlarında kullanım potansiyeli ve asfalt karışımlarının performansı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu kapsamda, bitüm malzemesi %0, %8, %10 ve %12 oranlarında atık lastik ile modifiye edilmiştir. Modifikasyon işleminin bitüm özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, modifiye bitüm ile üretilen Marshall briketlerinin yoğunluk (D_p), hava boşluğu (V_a), agregalar arası boşluk (VMA) ve asfalt ile dolu boşluk (V_f) parametreleri analiz edilmiş ve detaylı bir karşılaştırma yapılmıştır.

2. Yöntem

Bu çalışmada Marshall Tasarım Yöntemi kullanılmıştır. Aşağıda belirtilen adımlar izlenerek numuneler hazırlanmış ve ilgili deneyler yapılmıştır.

İlk olarak, agrega gruplarının elek analizi yapılmış ve dizayna uygun agrega gradasyonu belirlenmiştir. Ardından, belirlenen agrega gradasyonuna uygun olarak, agrega karışım oranları hesaplanmıştır. Agrega gradasyonu Karayolları Genel Müdürlüğü 2023 Teknik Şartnamesi'ne göre taş mastik asfalt aşınma tip-2 olacak şekilde ayarlanmıştır. Agrega gradasyonu ve şartname limitleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Agregat Gradasyonu

Ayrıca, bitüm yüzdesi her bir karışım için %7,5 olarak seçilmiştir. Kullanılan bitüm malzemesi çeşitli oranlarda atık lastik ile modifiye edilmiştir. Bu oranlar %0, %8, %10 ve %12 olarak seçilmiştir. Modifikasyon işlemi laboratuvar ortamında yüksek devirde ve 160 °C sıcaklıkta çalışan elektromekanik bir karıştırıcı ile yapılmıştır.

Modifiye bitümün özelliklerini incelemek amacıyla penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri yapılmıştır. Penetrasyon testi, bitüm malzemesinin yumuşaklık ve sertlik derecesini belirleyen temel bir ölçüm yöntemidir. Bu deneyde, 25 °C sıcaklıkta, 100 gram ağırlığına sahip bir iğnenin 5 saniye süre boyunca bitüm içerisine batma miktarı ölçülür. Düşük penetrasyon değeri, sertleşmiş bitümü ifade eder ve daha yüksek seviyelerdeki yüklere karşı direncin yüksek olduğunu gösterir (Kıcı & Saltan, 2020; Gökalp, Özinal, & Uz, 2018; Aluç & Ahıskalı, 2023; Güngör, Sağlık, Orhan, & Arıkan Öztürk, 2009; Yılmaz, Kök, & Yamaç, 2015). Yumuşama noktası deneyi ise bitüm malzemesinin belirli bir sıcaklığa ısıtıldığında yumuşamaya başladığı noktadaki sıcaklık değeridir. Bu deneyde, yüzük içerisine daha önceden dökülen bitüm malzemesi üzerine konulan bir bilyenin 2,5 cm'lik mesafeye düştüğü anda belirlenen sıcaklık değeri yumuşama noktası olarak adlandırılır (Habib, Kamaruddin, Napiah, & Tan, 2011; Mashaan & Karim, 2013; Król, Kowalski, Radziszewski, & Sarnowski, 2015; Daniel et al., 2019; Remišová & Holý, 2017).

Modifiye bitüm ile marshall briketleri üretilmiş ve bu briketlerin yoğunluk (Dp), boşluk (Va), agregalar arası boşluk (VMA) ve asfalt ile dolu boşluk (Vf) parametreleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Hava boşluğu parametresi (Va) asfalt karışımlarının performansını değerlendirmede önemli bir parametredir. Va değeri, asfaltın kaplamaların kullanım ömrünü ve tekerlek izi oluşumuna karşı dayanıklılığını doğrudan etkileyen bir faktördür. Buna ek olarak, agregalar arası boşluk oranı (VMA) ile asfalt ile dolu boşluk oranı (Vf), asfalt kaplamaların uzun vadedeki dayanıklılığını belirleyen temel göstergelerdendir. Ayrıca, Marshall numunelerinin hacimsel özgül ağırlığı (Dp) da incelenmiştir. Yoğunluk parametresi karışımı oluşturan malzemelerin bir araya gelme derecesini belirleyen bir parametredir. Başka bir ifadeyle, sıkıştırılan asfalt karışımların sıkıştırma enerjisine karşı gösterdiği tepkidir. Asfalt kaplamaların mekanik dayanıklılık, tekerlek izi oluşumuna karşı direnç, stabilite ve uzun ömürlülük gibi genel performans kriterlerini etkileyen önemli parametreler incelenmiştir (Maupin, 2003; Katicha & Flintsch, 2016; Xiao, Amirkhanian, & Juang, 2007; Seo, El-Haggan, King, Lee, & Kim, 2007; Golalipour, Jamshidi, Niazi, Afsharikia, & Khadem, 2012).

3. Materyal

3.1. Agregalor

Bu çalışmada kullanılan bazalt agregaları, Kayseri ilinden bulunan Tuzhisar Taş Ocağı'ndan temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan agregalor fraksiyonları 0/5 mm ve 5/13 mm boyutlarındadır. Uygun agregalor gradasyonuna ulaşmak için fraksiyonlar eleme işleminden geçirilmiş ve tartım için hazır hale getirilmiştir. Kullanılan agregalar, Kayseri ve çevresinde yol inşaatında sürekli olarak kullanılan malzemeler olup KGM 2023 teknik şartnamesinde belirtilen tüm şartname değerlerini sağlamaktadır. Kullanılan agregalor özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Deney	Şartname	Filler	İnce	Kaba	Standart
Los Angeles Aşınma Test (%)	≤25			13,48	ASTM C 131
Na ₂ SO ₄ Deneyi (%)	≤14			0,02	ASTM C – 88
Hacim Özgöl Ağırlık (g/cm ³)		2,750	2,640	2,720	ASTM D 854
Yassılık İndeksi (%)	<35			13,7	ASTM D 4791

Tablo 1. Agregalor Özellikleri

3.2. Bitüm

Bu çalışmada kullanılan bitüm malzemesi, yüksek kaliteli petrol ürünleriyle bilinen Tüpraş Kırıkkale Rafinerisi'nden temin edilmiştir. Taş mastik asfalt karışımlarının üretiminde yaygın olarak kullanılan bir malzeme olan B50/70 sınıfındaki bitüm tercih edilmiştir.

3.3. Atık Lastik

Bu çalışmada kullanılan atık lastik malzemesi otomobil lastiklerinin oda sıcaklığında mekanik yöntemle öğütülmesiyle elde edilmiştir. Öğütme işlemi sonucunda açığa çıkan atık lastik malzemesi No:40 – No:100 elek aralıklarında olan bir dağılımdadır. Şekil 2'de atık lastik malzemesinin genel görünümü verilmiştir.

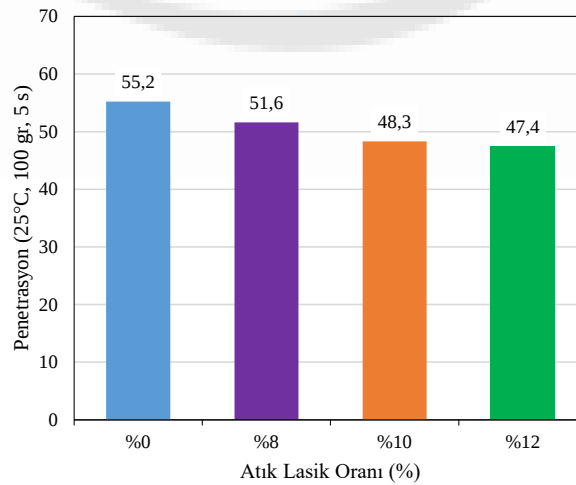


Şekil 2. Öğütülmüş Atık Lastik

4. Araştırma Bulguları

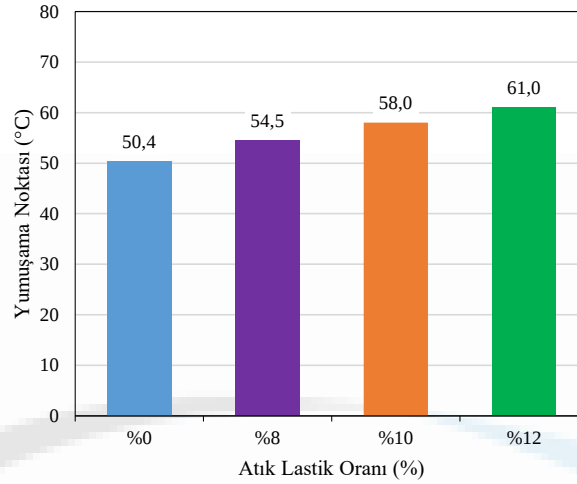
Saf ve modifiye bitüm malzemelerinin fiziksel özelliklerini incelemek amacıyla penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, farklı oranlarda atık lastik içeren bitüm ile taş mastik asfalt karışımları üretilmiş ve üretilen bu numunelerin Marshall parametreleri (Va, Yoğunluk, VMA, Vf) incelenmiştir.

Şekil 3’de görüldüğü gibi atık lastik oranı arttıkça penetrasyon değerlerinde azalma görülmektedir. %0 katkı oranındaki saf bitüm 55,2 ile en yüksek değerine sahipken %12 oranında atık lastik içeren karışım 47,4 ile en düşük değere sahiptir. Penetrasyon değerlerindeki bu azalma atık lastik ilavesinin bitümü sertleştirdiğini ve viskozitesini artırdığını göstermektedir.



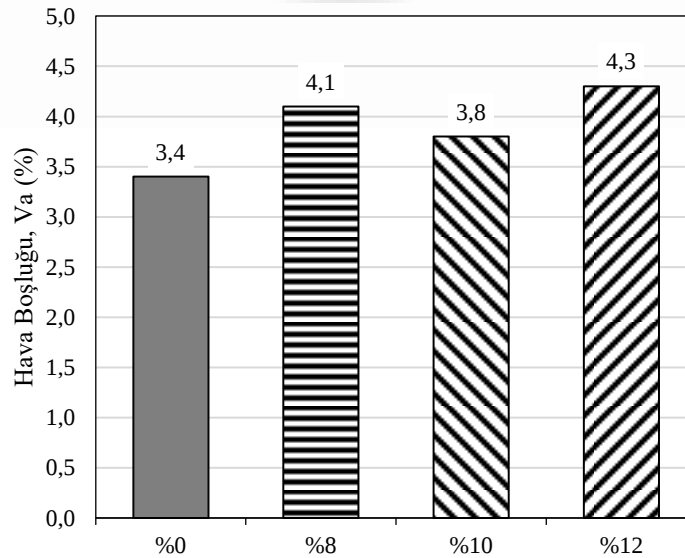
Şekil 3. Penetrasyon Deneyi Sonuçları

Yumuşama noktası sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Çeşitli kombinasyonların yumuşama noktası değerleri incelendiğinde atık lastik oranı arttıkça yumuşama noktası değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Saf bitüm (%0) 50,4 °C ile en yüksek değere sahiptir. Atık lastik oranının %8 olması durumunda bu değer 54,5 °C'ye çıkmaktadır. %10 olan atık lastik oranında bitümün yumuşama noktası artarak 58,0 °C seviyesine çıkmaktadır. Son olarak, %14 oranında atık lastik içeren modifiye bitümün yumuşama noktası değeri en yüksek değer olan 61,0 °C seviyesine çıkmaktadır. Bu artış, bitümün modifiye edilmesiyle ısıya karşı daha dayanıklı hale geldiğini ve yüksek sıcaklıklarda daha az deformasyona uğradığını göstermektedir.



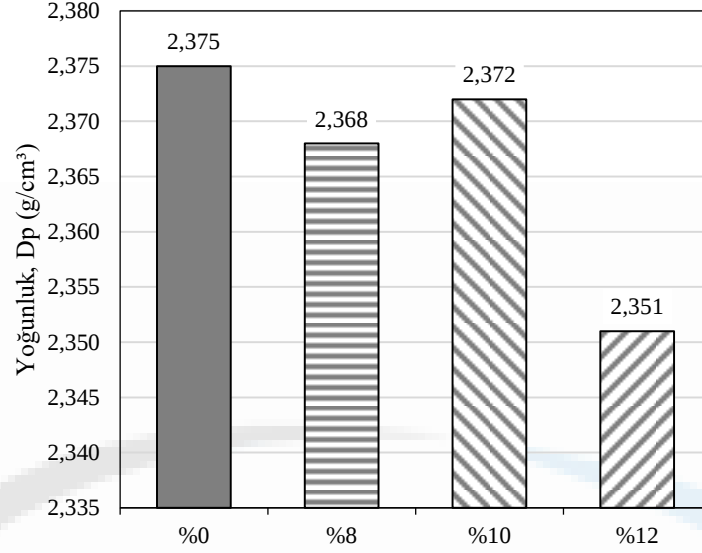
Şekil 4. Yumuşama Noktası Deneyi Sonuçları

Hava boşluğu sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. %0 atık lastik oranındaki kontrol numunesinin hava boşluğu değeri %3,4 iken bu değer %8 atık lastik oranındaki karışımlarda %4,1 seviyesine çıkmaktadır. Atık lastik oranının %10 olduğu karışımda ise bu oran %3,8 olmaktadır. Son olarak, %12 atık lastik oranındaki karışımın hava boşluğu değeri %4,3 olmaktadır. Genel eğilim atık lastik oranının artmasıyla hava boşluğu değerinin arttığı yönündedir. Karayolları Teknik Şartnamesi'ne göre taş mastik asfalt karışımların hava boşluğu değeri en az %2 ve en fazla %4 olmalıdır. Buna göre, modifiye bitüm ile üretilen karışımlardan sadece %10 oranı şartname değerini sağlamaktadır.



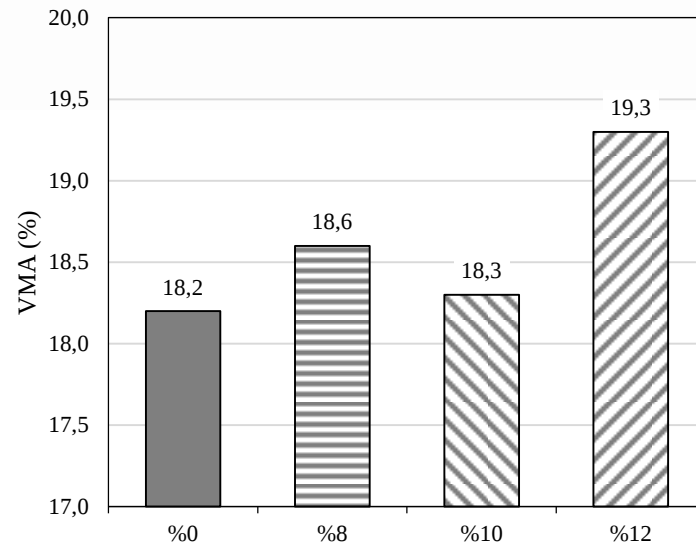
Şekil 5. Hava Boşluğu Sonuçları

Yoğunluk sonuçları Şekil 6’da verilmiştir. Atık lastik oranı arttıkça genellikle yoğunluk değerlerinde azalış görülmektedir. %0 atık lastik oranına sahip kontrol karışımı 2,375 g/cm³ yoğunluk değerine sahipken %8 oranında bu değer 2,368 g/cm³ değerine düşmektedir. %10 oranında atık lastik içeren karışımlarda ise yoğunluk değeri 2,372 g/cm³ değerine ulaşmıştır. En düşük değer olan 2,351 g/cm³ değeri en fazla atık lastik içeren %12 oranındaki karışımlarda görülmüştür. Genel olarak, atık lastik ilavesinin yoğunluğu azaltma eğiliminde olduğu ve yüksek atık lastik içeren karışımların daha hafif bir yapıda olduğu görülmektedir.



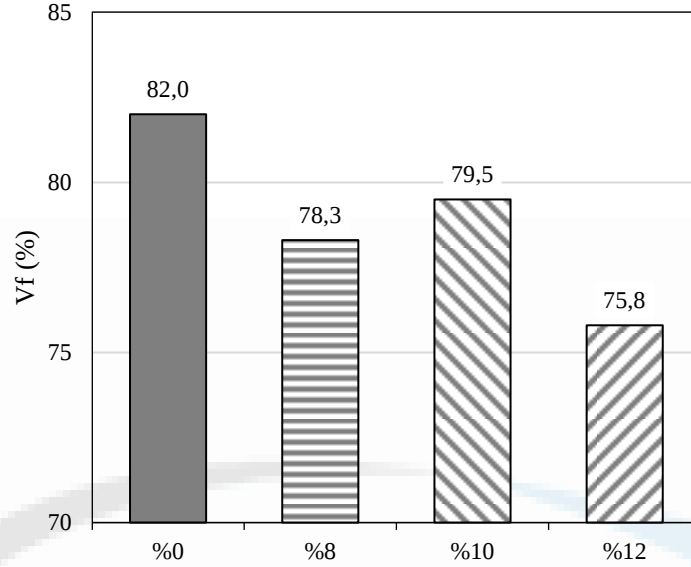
Şekil 6. Yoğunluk Sonuçları

VMA (Agregalar arası boşluk) sonuçları Şekil 7’de verilmiştir. Farklı oranlardaki atık lastik modifiyeli bitüm ile oluşturulan karışımların VMA değerlerinde çeşitlilik ortaya çıkardığı görülmektedir. Saf bitüm ile üretilen karışımlarda VMA değeri %18,2 iken bu değer %8 modifiyeli karışımlarda %18,6 değerine yükselmiş, ancak %10 modifiyeli karışımlarda %18,3 ile hafif bir düşüş göstermiştir. %12 modifiyeli karışımlarda ise belirgin bir artış ile %19,3 seviyesine ulaşmıştır. Karayolları Teknik Şartnamesi’ne göre taş mastik asfalt karışımlarının VMA değeri minimum %17 olmalıdır. Sonuç olarak, VMA parametrelerinden elde edilen veriler doğrultusunda tüm karışımların istenen şartname kriterlerini karşıladığı ve performans açısından uygunluk gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 7. VMA Sonuçları

Asfalt ile dolu boşluk (Vf) değerleri incelendiğinde (Şekil 8), atık lastik modifikasyon işleminin Vf üzerinde genel olarak azalış eğiliminde olduğu görülmüştür. Atık lastik modifiyesi içermeyen karışımlarda Vf değeri %82 iken, %8 atık lastik modifiyeli karışımlarda bu değer %78,3'e düşmüştür. %10 modifiyeli karışımlarda %79,5 seviyesine çıkmış ve %12 modifiyeli karışımlarda ise %75,8 seviyesine düşmüştür. Sonuç olarak, kontrol numunesi ile kıyaslandığında modifiye bitüm içeren karışımların Vf değerlerinde azalma görülmüştür.



Şekil 8. Vf Sonuçları

5. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, atık lastiklerin taş mastik asfalt (TMA) karışımlarında kullanılmasının asfalt karışımlarının performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, atık lastiklerin bitüm üzerinde önemli farklılıklar ortaya çıkardığı ve asfalt karışımlarının özelliklerini belirgin şekilde etkilediğini göstermiştir.

Penetrasyon testi sonuçları, bitüm modifikasyonunda atık lastik oranının artmasıyla bitümün sertleştiğini ve viskozitesinin arttığını ortaya koymuştur. Atık lastik ilavesinin modifiye bitümün yumuşama noktasını yükselttiği ve bu sayede yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklı hale geldiği tespit edilmiştir.

Saf ve modifiye bitüm (%8, %10 ve %12) ile Marshall briketleri üretilmiş ve bu briketlere çeşitli deneyler yapılmıştır. Marshall numunelerinin hava boşluğu (Va), agregalar arası boşluk (VMA) ve asfalt ile dolu boşluk (Vf) ve yoğunluk (Dp) parametrelerinde değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu parametrelerdeki değişiklikler, atık lastik ilavesinin asfalt karışımlarının mekanik özelliklerini ve uzun ömürlülüğünü etkilediğini göstermektedir. Özellikle %10 oranında atık lastik ilavesinin performans açısından en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, atık lastiklerin bitüm modifikasyon işleminde kullanılarak taş mastik asfalt karışımlarına ilave edilmesi asfalt kaplamaların dayanıklılığını artırmakta ve servis ömrünü uzatmaktadır. Bu sonuçlar, atık lastiklerin sürdürülebilir bir yol altyapısı oluşturulmasında kullanılabilirliğinin önemli bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

6. Teşekkür

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından desteklenmiştir. (Proje No: FBA-2023-13104)

7. Kaynakça

- Aluç, S., & Ahıskalı, A. (2023). Application of Mastic Asphalt Using Rubber Added Modified Bitumen. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları Ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 6(1), 95-107. <https://doi.org/10.51764/smutgd.1049296>
- Celik, O. N. (2001). The fatigue behaviour of asphaltic concrete made with waste shredded tire rubber modified bitumen [Ogutulmuş Atık Otomobil Lastiğiyle Modifiye Edilmiş Bitümler ile Yapılan Asfalt Betonunun Yorulma Davranışı]. *TURK. J. ENG. ENVIRON. SCI.*, 25(5), 487-495.
- Daniel, N. H., Hassan, N. A., Idham, M. K., Jaya, R. P., Hainin, M. R., Ismail, C. R., ... & Azahar, N. M. (2019, May). Properties of bitumen modified with latex. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 527, No. 1, p. 012063). IOP Publishing.
- Golalipour, A., Jamshidi, E., Niazi, Y., Afsharikia, Z., & Khadem, M. (2012). Effect of aggregate gradation on rutting of asphalt pavements. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 53, 440-449.
- Gökalp, İ., Özinal, Y., & Uz, V. E. (2018). ATIK BİTKİSEL YEMEKLİK YAĞLARIN SAF BİTÜM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(4), 570-578.
- Güngör, G., Sağlık, A., Orhan, F., & Arıkan Öztürk, E. B. R. U. (2009). Polimer Modifiye Bitümlerin Superpave Performans Sınıflarının Belirlenmesi.
- Habib, N. Z., Kamaruddin, I., Napiah, M., & Tan, I. M. (2011). Rheological properties of polyethylene and polypropylene modified bitumen. *International Journal Civil and Environmental Engineering*, 3(2), 96-100.
- Karacasu, M., & Bilgiç, Ş. (2009). Atık lastik katkısının sıcak asfalt özelliklerine etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 45-64.
- Katicha, S. W., & Flintsch, G. W. (2016). *Improving Mixture Durability Through Design Gradations, Air Voids, and Binder Content* (No. VTRC 16-R17). Virginia Transportation Research Council.
- Kıcı, G. Ö., & Saltan, M. (2020). PİRİNANIN BİTÜM MODİFİKASYONUNDA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 12(1), 1-9.
- Król, J. B., Kowalski, K. J., Radziszewski, P., & Sarnowski, M. (2015). Rheological behaviour of n-alkane modified bitumen in aspect of Warm Mix Asphalt technology. *Construction and Building Materials*, 93, 703-710.
- Mashaan, N. S., & Karim, M. R. (2013). Investigating the rheological properties of crumb rubber modified bitumen and its correlation with temperature susceptibility. *Materials Research*, 16, 116-127.
- Maupin, G. W. (2003). Additional Asphalt to Increase the Durability of Virginia's Superpave Surface Mixes, Report No. FHWA/VTRC, 03-R15.
- Remišová, E., & Holý, M. (2017, October). Changes of properties of bitumen binders by additives application. In *IOP conference series: Materials science and engineering* (Vol. 245, No. 3, p. 032003). IOP Publishing.
- Seo, Y., El-Haggan, O., King, M., Joon Lee, S., & Richard Kim, Y. (2007). Air void models for the dynamic modulus, fatigue cracking, and rutting of asphalt concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(10), 874-883.
- Sugözü, İ., & Mutlu, İ. (2009). Atık taşıt lastikleri ve değerlendirme yöntemleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1), 35-46.
- Tortum, A., Çelik, C., & Aydın, A. C. (2005). Determination of the optimum conditions for tire rubber in asphalt concrete. *Building and Environment*, 40(11), 1492-1504.

- Xiao, F., Amirkhanian, S., & Juang, C. H. (2007). Rutting resistance of rubberized asphalt concrete pavements containing reclaimed asphalt pavement mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(6), 475-483.
- Yılmaz, M., Kök, B. V., & Yamaç, Ö. E. (2015). Determination of rheological properties of polymer and natural asphalts modified binders after storage stability test. *SIGMA Journal of Engineering and Natural Sciences*, 33(2), 157-165.



Makale id= 22

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0008-2651-0136

| 87

Borsa Analizi ve Tahmini İçin Derin Öğrenme Ağları**Araştırmacı Murat Ergurum¹, Doç. Dr. Erhan Çene²**¹Yıldız Teknik Üniversitesi²Yıldız Teknik Üniversitesi/İstatistik Bölümü

Özet: Borsa, bir ülkenin ekonomik sağlığının önemli bir göstergesi olarak kabul edilir ve yatırımcılara, finansal araçlara ve şirketlere yatırım yapabilmeleri için tarafsız bir platform sunar. Yüksek kazanç potansiyeli sebebiyle, insanlar geleneksel bankacılık yöntemlerine kıyasla borsada yatırım yapmayı tercih etme eğilimindedir. Ancak, döviz kurlarındaki büyük değişiklikler nedeniyle, borsaya yatırım yapmak önemli riskler taşır. Bu yüzden, etkili bir borsa tahmin aracı geliştirmek, yatırımcıların daha bilinçli ve doğru kararlar almasına yardımcı olabilir. Bu çalışmada, Python dilini kullanarak yapay zeka teknikleriyle borsa hisse senedi tahmini üzerine bir proje gerçekleştireceğiz. Özellikle derin öğrenme yöntemleri ve makine öğrenme algoritmalarını kullanarak hisse senedi fiyatlarını öngörmeye yönelik kapsamlı bir yaklaşım geliştireceğiz. Bu rehber, veri bilimi öğrencilerinin, yapay zekanın finansal piyasalardaki rolünü kavrayıp, kendi projelerinde nasıl uygulayabileceklerini adım adım öğrenmeleri için bir yol haritası sunmayı hedeflemektedir. Gelişmiş veri analizi ve makine öğrenimi teknikleri sayesinde, hisse senedi tahminleri yapmak daha ulaşılabilir ve verimli bir hale gelmiştir. Python'un sunduğu geniş araç ve kütüphane seçenekleriyle bu projeyi hayata geçirmek, hem pratik becerilerinizi geliştirmenize hem de teorik bilgilerinizi uygulamaya dökmenize olanak tanıyacaktır. Bu proje boyunca, veri setlerinin hazırlanması, model seçim süreçleri, eğitim ve test aşamalarının ayrıntılı bir şekilde ele alınarak, yatırımcılara piyasa dinamiklerini tahmin etme konusunda sağlam bir temel sunmayı hedefleyeceğiz. İncelenen yöntemler arasında Yapay Sinir Ağı (YSA), k-En Yakın Komşular (KNN), Oto-Regresif Entegre Hareketli Ortalamalar (Auto ARIMA) ve Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) bulunmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, geçmiş hisse senedi fiyat verilerine bakarak gelecekteki değerler hakkında bir tahmin yapmaktır.

Anahtar Kelimeler: Mühendislik, Borsa, Python, Hisse Senedi, Yapay Zeka

Deep Learning Networks For Stock Market Analysis And Prediction

Abstract: The stock market is considered a significant indicator of a country's economic condition and provides a neutral platform for brokers and companies to invest. Due to the potential for high returns, people tend to prefer investing in stocks over traditional banks. However, investing in the stock market carries significant risks due to the large fluctuations in exchange rates. Therefore, developing a robust stock market prediction system can assist investors in making more informed decisions. Stock market prediction is a highly interesting research area for dealing with variable market conditions. Several research studies have been conducted in this field, proposing various methods. The success of artificial intelligence (AI) and machine learning techniques has demonstrated their effectiveness in stock market prediction. This thesis explores a deep learning-based approach to predict future market values using the most popular three machine learning algorithms used in stock price prediction and historical stock data. The examined methods include Artificial Neural Network (ANN), k-Nearest Neighbors (KNN), Auto-Regressive Integrated Moving Averages (Auto ARIMA), and Long Short-Term Memory (LSTM). The main objective of this study is to make predictions about future values by examining past stock price data.

Keywords: Stock market prediction, LSTM, machine learning, deep learning, artificial neural network

1. SERMAYE PİYASALARI NEDİR?

Sermaye piyasaları, uzun vadeli fonların arz ve talebinin bulunduğu finansal piyasalardır. Şirketler ve devletler, büyüme ve yatırımlarını finanse etmek için sermaye piyasalarından fon toplarken, yatırımcılar

da tasarruflarını değerlendirme imkânı bulur. Sermaye piyasaları, düzenleyici kurumlar tarafından denetlenerek güvenli ve şeffaf bir yatırım ortamı sunar. Sermaye piyasaları iki ana bileşenden oluşur: Birincil ve ikincil piyasa. Birincil Piyasa şirketlerin ilk kez halka arz yoluyla yatırımcılara hisse satması anlamına gelirken ikincil piyasa halka arz edilmiş menkul kıymetlerin yatırımcılar arasında alınıp satıldığı piyasa olarak nitelendirilir. Türkiye'de sermaye piyasaları Sermaye Piyasası Kurulu (SPK) tarafından düzenlenir ve denetlenir. Borsa İstanbul (BIST), Türkiye'deki en önemli sermaye piyasası kurumlarından biridir.

1.1.Hisse Senedi Nedir?

Hisse senedi, bir şirketin ortaklık hakkını temsil eden ve yatırımcılara belirli haklar tanıyan menkul kıymettir. Hisse senedi sahipleri, şirketin kârından temettü alabilir ve hisse senetlerini borsada alıp satabilirler. Hisse senetleri, çeşitli kategorilere ayrılabilir. Bunlardan en geneli adi ve imtiyazlı hisselerdir. Adi hisseler tüm sahiplerine eşit oy hakkı ve temettü imkânı sunarken imtiyazlı hisseler sahiplerine öncelikli oy veya temettü hakkı tanır. Hisse senetleri, arz ve talebe bağlı olarak fiyat değişimleri gösterir. Yatırımcılar, teknik ve temel analiz yöntemleriyle hisse senedi fiyat hareketlerini tahmin etmeye çalışırlar. Sonuç olarak, sermaye piyasaları ve hisse senetleri, yatırımcılar ve şirketler için önemli bir finansal araç olup ekonomik büyüme ve sermaye dağılımında kritik bir rol oynar.

1.2.Sermaye Piyasaları ve Borsasının Amacı ve Önemi

Sermaye piyasaları ve borsalar, finansal sistemin temel taşlarından biri olarak, ekonominin sağlıklı işlemesi ve sürdürülebilir büyümesine önemli katkılar sağlar. Şirketler ve devletler, uzun vadeli finansman ihtiyaçlarını karşılamak için sermaye piyasalarından yararlanırken, yatırımcılar da bu piyasalar aracılığıyla birikimlerini değerlendirme ve portföylerini çeşitlendirme fırsatı bulur. Sermaye piyasalarının etkin işleyişi, şirketlerin büyümesine, projelerini hayata geçirmesine ve yeni yatırımlar yapmasına olanak tanıyarak ekonomik kalkınmayı destekler. Aynı zamanda girişimcilerin sermaye bulmalarını kolaylaştırarak yenilikçi iş fikirlerinin hayata geçirilmesini teşvik eder. Bireyler ve kurumlar için sermaye piyasaları, servet yönetimi açısından da kritik bir rol oynar.

2. BORSA TAHMİNİNDE KULLANILAN İSTATİSTİKSEL MODELLER

Borsa endeksleri, finansal piyasalardaki genel performansı ölçen ve ekonominin sağlığını yansıtan önemli göstergelerdir. Yatırımcılar, borsa endekslerinin gelecekteki değerlerini tahmin ederek doğru yatırım stratejileri oluşturabilirler. Bu noktada, istatistiksel modeller, geçmiş verileri analiz ederek borsa endeksi tahminlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

2.1.Oto-Regressif Entegre Hareketli Ortalamalar (Auto ARIMA)

Auto ARIMA, zaman serilerindeki trendleri ve döngüleri tahmin etmek için kullanılan etkili bir istatistiksel modeldir. ARIMA modeli, geçmiş verilere dayanarak gelecekteki değerleri tahmin etmek için otoregresyon, entegrasyon ve hareketli ortalama bileşenlerini birleştirir. Bu model, borsa endekslerinin zaman içindeki değişimlerini anlamak ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmek için kullanılır.

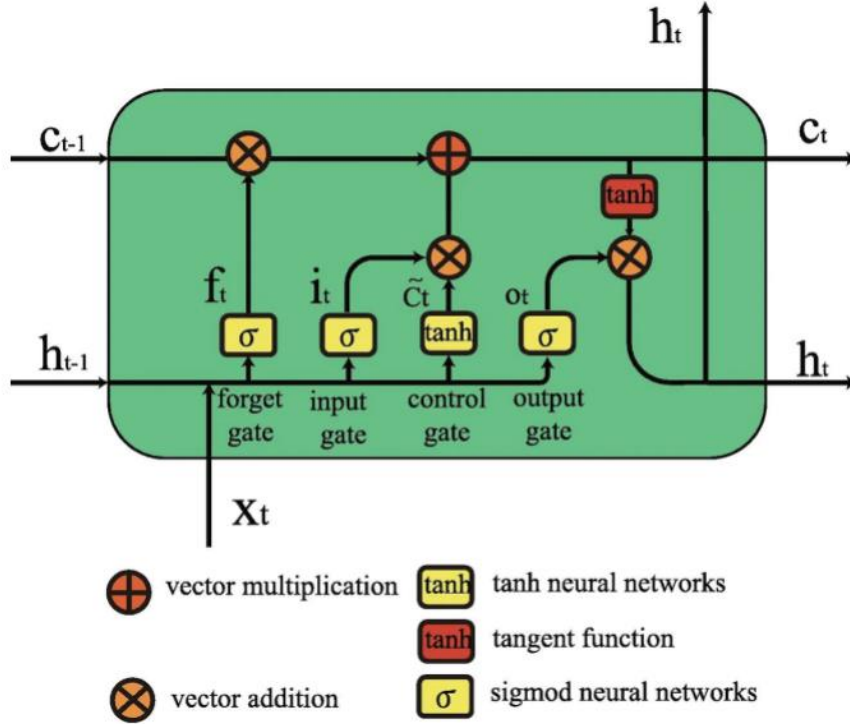
2.2.Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları, biyolojik sinir sistemlerini taklit eden matematiksel modellerdir. Bu modeller, geniş veri setlerini analiz ederek karmaşık ilişkileri ortaya çıkarabilir. YSA'lar, borsa endeks tahminlerinde kullanılarak non-lineer ilişkileri anlamak ve gelecekteki piyasa hareketlerini tahmin etmek için güçlü bir araçtır.

2.3.Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM)

LSTM, derin öğrenme algoritmalarından biridir ve özellikle zaman serileri analizinde etkilidir. Bu model, uzun vadeli bağımlılıkları ve geçmiş dönemlerdeki desenleri yakalayabilir. LSTM modelleri, borsa endekslerinin karmaşıklığını ele almak ve değişken piyasa koşullarına uyum sağlamak için kullanılır.

Şekil 1. LSTM Yapı Modeli



Karmaşık problemlerde, genellikle daha fazla katmanın kullanılması önerilir. Ancak, çok katmanlı yapılar bazen beklenmedik sonuçlara yol açabilir. Modelin ilk katmanlarını öğrenmek zaman alırken, sonraki katmanlar daha hızlı öğrenme eğilimindedir.

2.4. Monte Carlo Simülasyonları

Monte Carlo simülasyonları, belirsizlik içeren finansal modellerin analizinde kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu simülasyonlar, rastgele değerler üreterek borsa endekslerinin gelecekteki olası senaryolarını tahmin etmeye yardımcı olur. Sonuç olarak, borsa endeksi tahmininde kullanılan istatistiksel modeller, yatırımcılara gelecekteki piyasa hareketleri hakkında önemli bilgiler sağlar. Ancak, her modelin avantajları ve sınırlamaları vardır ve borsa, bir dizi etkenden etkilendiği için tahminler her zaman kesin olmayabilir. Bu nedenle, birden çok modelin bir arada kullanılması ve piyasa koşullarının dikkate alınması genellikle daha sağlıklı tahminlere yol açabilir.

3. YAPAY SİNİR AĞLARININ ÖĞRENİLMESİ

Öğrenme, Yapay Sinir Ağları içindeki nöronlar arasındaki bağlantıların ağırlıklarının ayarlanması sürecini ifade eder. Temel amaç, eğitim verilerindeki hatayı en aza indirmektir. Yapay Sinir Ağları öğrenme süreci genellikle denetimli ve denetimsiz öğrenme olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Denetimli öğrenme sürecinde, ağ bir dizi veri çifti kullanarak eğitilir, bu çiftler giriş değerlerini ve istenen çıkış veya hedef değerleri içerir. Her eğitimde ağ, verilen giriş setini kullanarak hedef çıktıyı tahmin etmeye çalışır, ardından hesaplanan çıktı ile gerçek hedef değeri arasındaki fark hatayı belirler. Ağ, bu hatayı en aza indirmek için bağlantı ağırlıklarını sürekli olarak ayarlayarak öğrenmeye devam eder. Denetimli öğrenme algoritmalarının birçok türü bulunsa da, delta kuralı ve genellikle geri yayılım algoritması olarak adlandırılan delta kuralının genelleştirilmiş versiyonu en yaygın kullanılanlardır. Denetimsiz öğrenme sürecinde ise belirli hedef değerleri bulunmaz; ağırlık ayarlamaları parametrelere ve ağırlık değişimlik boyutlarına bağlı olarak gerçekleştirilir.

4. YAPAY SİNİR AĞLARI VE SERMAYE PİYASASI İLİŞKİSİ

İktisadi analizlerde, yapay sinir ağları genellikle ekonomik ajanların sınıflandırılması ve zaman serisi tahminleri için kullanılmaktadır. İflas tahmininde Yapay Sinir Ağları sıkça tercih edilirken, finansal krizlere odaklanan uygulamalar nadirdir. Yapay Sinir Ağları, doğrusal regresyon, ikili probit modeli ve benzeri birçok modeli kapsayabilmesi için aktivasyon fonksiyonları ve ağ mimarisini düzenleyebilir. Ayrıca, öngörü, sınıflandırma ve kümeleme gibi çeşitli veri analizi görevlerinde güçlü bir genel amaçlı araç olarak kullanılabilir. Finansal verileri açıklamak için basit doğrusal yapısal modeller genellikle dalgalanma veya rastgele yürüyüşleri yeterince tanımlayamazlar (Temiz, 2024). Geleneksel zaman serileri analizi, durağan süreçlere dayanır ve finansal zaman serilerinde her zaman tatmin edici bir performans sergilemez. Regresyon yöntemleri ve Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modelleri, bazı finansal serilerin dalgalanma kalıpları, fat tails ve doğrusal olmayanlık gibi nedenlerle doğru bir şekilde tahmin edilememektedir. Yapay sinir ağları, finans alanında bilimsel yaklaşımlarla güvenilir karar alma süreçleri elde etmek amacıyla geniş bir şekilde kullanılmıştır. Portföy yönetimi, kredi derecelendirme, iflas öngörüsü, döviz kuru tahminleri, hisse senedi değerlerinin tahmin edilmesi, enflasyon ve nakit tahminleri gibi alanlarda, yapay sinir ağları veri odaklı öğrenme yetenekleri ve genelleme potansiyeli sayesinde etkili sonuçlar sağlamıştır. Özellikle, yapay sinir ağlarının, daha önce görülmemiş veri girdileri için kabul edilebilir çıktılar üretebilen öğrenme kapasitesi vurgulanabilir. Finansal tahminlerde yapay sinir ağlarının umut verici sonuçlar sunduğu gözlemlenmiştir. Girdi verilerindeki doğrusal olmayan ilişkileri keşfetme yeteneği, yapay sinir ağlarını borsa ve döviz piyasası gibi doğrusal olmayan dinamik sistemlerin modellemesi için ideal kılmaktadır (Gül, 2023). Yapay Sinir Ağları, istatistiksel varsayımlardan muaf bir şekilde çalışabilir ve teorik olarak verilerdeki herhangi bir karmaşık doğrusal olmayan modeli tespit edebilir ve çoğaltabilir. Aynı zamanda eksik ve yanlış verilere karşı daha dayanıklıdır.

Yapay sinir ağlarının önemli bir avantajı, istenen doğruluk derecesine yaklaşabilmesine rağmen sınırlı sayıda gizli sinir ağına sahip olmalarıdır. Bu, sorunla ilgili önceden varsayımlar gerektirmeyen, parametrik olmayan regresyon modellerini oluşturabilme yetenekleri ile öne çıkar. Yapay Sinir Ağları, tahmin doğruluğu açısından genellikle köklü bir doğrusal regresyon modelinden daha iyidir. Yapay sinir ağları, biyolojik sinir sistemlerinin özelliklerini taklit eden ve biyolojik uyarlamalı öğrenme ve analogiyle tasarlanmış matematiksel modellerin bir koleksiyonu olarak tanımlanabilir. Özellikle seri tahmini ve veri madenciliği gibi adım adım ifade edilemeyen sorunları çözmek için kullanışlıdır. Yapay Sinir Ağları, geniş bir uygulama yelpazesıyla birlikte, çeşitli disiplinlerde karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Sinir ağları, geniş miktarda veri, bilgi ve deneysel bilgi olduğunda en etkili seçenek olabilir; zira diğer algoritmalar bu büyük veri setlerini işleme konusunda yeterince hızlı ve doğru olamayabilirler. İstatistiksel yöntemler bakımından, basit fonksiyonlar tarihi ekonomik verilere dayanarak ekonomi alanındaki karmaşık süreçleri öngörmek için iyi bir ilk yaklaşım sağlayabilir. Ayrıca, istatistiksel kamu verileri gibi güvenilir veri kaynaklarıyla desteklenen bu yöntemler, ekonomik değerlendirmelerde kullanılabilir (Tavukçu, 2023).

5. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BORSA ENDEKSİ TAHMİNİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

5.1. Proje Amacı

Projenin temel amacı, geçmiş hisse senedi verilerini kullanarak gelecekteki Kapanış fiyatlarını tahmin eden bir model geliştirmektir. Bu tahminler, yatırımcılara piyasa hareketlerini öngörme konusunda yardımcı olabilir ve yatırım kararlarını daha bilinçli bir şekilde almalarına katkıda bulunabilir.

5.2. Veri kümesi ve Veri Ön İşleme

Veri toplama aşamasında, yfinance kütüphanesi kullanılarak hisse senedi verileri indirilir. `download_data` fonksiyonu, belirli bir hisse senedi sembolü (op), başlangıç tarihi (start_date) ve bitiş tarihi (end_date) belirlenerek borsa verilerini çeker. Bu veriler, `yf.download` fonksiyonu aracılığıyla indirilir ve bir DataFrame olarak döndürülür. Veri ön işleme sürecinde, önce kapanış fiyatları (Close) alınarak data DataFrame'inde df adında yeni bir DataFrame oluşturulur. Bu DataFrame üzerinde tahmin gün sayısına (num) göre kapanış fiyatları kaydırılır.

Şekil 2. Veri Ön İşlemesi Yapan Kod Parçası

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3 import pandas as pd
4 from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
5 from sklearn.metrics import mean_squared_error, r2_score
6 from sklearn.model_selection import TimeSeriesSplit
7 import tensorflow as tf
8 from tensorflow.keras.models import Sequential
9 from tensorflow.keras.layers import Dense, LSTM, Dropout
10 from tensorflow.keras.callbacks import EarlyStopping
11 import keras_tuner as kt
12 import yfinance as yf
13 import warnings
14
15 # Tüpraş hissesini çekelim
16 ticker = 'TUPRS.IS'
17 df = yf.download(ticker, start='2010-02-01', end='2025-02-01')
18 # Sadece "Close" sütununu alalım
19 data = df[['Close']].dropna()
20 warnings.filterwarnings("ignore")
21 |
22 # Veriyi ölçeklendirme
23 scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
24 scaled_data = scaler.fit_transform(data)

```

| 91

5.2.1. Zaman Serisi Veri Seti Oluşturma

Şekil 3. Zaman Serisi Oluşturan Kod Parçası

```

# Zaman serisi veri setini oluşturma fonksiyonu
def create_dataset(data, time_step=1):
    X, y = [], []
    for i in range(len(data)-time_step-1):
        X.append(data[i:(i+time_step)])
        y.append(data[i + time_step, 0])
    return np.array(X), np.array(y)

time_step = 90
X, y = create_dataset(scaled_data, time_step)
X = X.reshape(X.shape[0], X.shape[1], 1)

```

Create_dataset fonksiyonu, data dizisinden belirli bir time_step (örneğin 90) uzunluğunda geçmiş değerleri alarak giriş (X) ve hedef (y) dizileri oluşturur. Her X örneği, önceki 90 günün verisini içerirken, ilgili y değeri 91. günün fiyatı olur. Bu fonksiyon, LSTM modelinin geçmiş fiyatları kullanarak gelecekteki fiyatları tahmin edebilmesi için veriyi uygun formata sokar. X, zaman serisi verisini 3D şekline getirerek (num_samples, time_step, features) LSTM ağına uygun hale getirir.

Şekil 4. Çapraz Doğrulama Kod Parçası

```

39 # Time Series Cross Validation
40 tscv = TimeSeriesSplit(n_splits=3)

```

TimeSeriesSplit(n_splits=3) Veriyi 3 parçaya bölerek eğitim ve test kümeleri oluşturur. Klasik çapraz doğrulamanın aksine, gelecek veriyi geçmiş veriyle test etmez, yalnızca geçmişten geleceğe doğru bölme yapar. Bu kod parçacığının kullanım Amacı Modelin zaman içindeki performansını değerlendirmek için kullanılır. Overfitting'i azaltmaya ve modelin genelleme gücünü test etmeye yardımcı olur.

5.2.2. Model Seçimi(LSTM) ve Eğitim

Bu fonksiyon, hiperparametre ayarlı bir LSTM-GRU modelini oluşturmak için Keras Tuner kullanarak optimize edilecek çeşitli hiperparametreleri içerir. İlk ve üçüncü katmanlar LSTM, ikinci katman ise GRU olarak tasarlanmış olup, return_sequences=True ayarıyla ara katmanlarda zaman serisi bilgisinin korunmasını sağlar. Her katmandaki nöron sayısı (units_1, units_2, units_3) hiperparametre olarak seçilir. L2 düzenleştirmesi (kernel_regularizer=l2(8)) ağırlıkların aşırı büyük olmasını engellerken, dropout (dropout_1, dropout_2, dropout_3) aşırı öğrenmeyi (overfitting) önler. Tam bağlantılı katman, ReLU aktivasyonu ile oluşturulmuş ve çıkış katmanında bir nöron bulunarak gelecekteki fiyat tahminini üretir. Modelde, AdamW optimizasyonu kullanılarak öğrenme hızı (learning_rate) hiperparametre olarak optimize edilir. Bu model, Borsa İstanbul'daki (BIST) Tüpraş hissesi gibi zaman serisi verileriyle çalışarak tahminler yapmak amacıyla tasarlanmıştır ve Keras Tuner ile LSTM, GRU, dropout oranı, dense nöron sayısı ve öğrenme hızını optimize ederek en iyi modeli seçmeyi hedefler.

Şekil 5.LSTM Modelİ Oluşturan Kod Parçacığı

```
# Modeli oluşturma fonksiyonu
def build_model(hp):
    model = Sequential()

    # 1. LSTM Katmanı
    model.add(LSTM(units=hp.Int('units_1', min_value=50, max_value=200, step=50),
                    return_sequences=True, input_shape=(time_step, 1),
                    kernel_regularizer=l2(8))) # Daha düşük L2
    model.add(Dropout(hp.Float('dropout_1', 0.05, 0.2, step=0.05))) # Daha düşük dropout

    # 2. GRU Katmanı (LSTM ile birlikte kullanılacak)
    model.add(GRU(units=hp.Int('units_2', min_value=50, max_value=200, step=50), return_sequences=True))
    model.add(Dropout(hp.Float('dropout_2', 0.05, 0.2, step=0.05)))

    # 3. LSTM Katmanı
    model.add(LSTM(units=hp.Int('units_3', min_value=50, max_value=200, step=50)))
    model.add(Dropout(hp.Float('dropout_3', 0.05, 0.2, step=0.05)))

    # Fully Connected Katman
    model.add(Dense(units=hp.Int('dense_units', min_value=20, max_value=100, step=10), activation='relu'))
    model.add(Dense(1))

    # Optimize Edilmiş AdamW ve Öğrenme Hızı
    optimizer = AdamW(learning_rate=hp.Float('learning_rate', 0.0001, 0.0005, step=0.0001))
    model.compile(optimizer=optimizer, loss='mean_squared_error')

    return model
```

5.2.3. Hiperparametre Optimizasyonu ve En İyi Hiperparametreleri Seçme

Şekil 6. Hiperparametre Optimizasyonu Yapan Kod Parçası

```
# Hiperparametre optimizasyonu
tuner = kt.RandomSearch(
    build_model,
    objective='val_loss',
    max_trials=15, # Deneme sayısını artır
    executions_per_trial=1,
    directory='lstm_tuning',
    project_name='tuning_tupras'
)
tuner.search(
    X, y,
    epochs=100, # Epoch sayısını artır (önceki 75'ti)
    batch_size=32,
    validation_split=0.2,
    callbacks=[EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=12, restore_best_weights=True)]
)
```

LSTM modelinin en iyi hiperparametrelerini belirlemek için kt.RandomSearch yöntemi kullanılarak rastgele arama (Random Search) uygulanmıştır. Modelin optimizasyon hedefi val_loss (doğrulama kaybı) olarak belirlenmiş ve toplamda 15 farklı model denenmiştir (max_trials=15). Her model yalnızca 1 kez çalıştırılmış (executions_per_trial=1) ve elde edilen sonuçlar lstm_tuning dizinine kaydedilmiştir. Proje adı ise 'tuning_tupras' olarak belirlenmiştir. Model eğitimi Tuner.search() fonksiyonu çağrılarak başlatılmış ve 100 epoch boyunca sürdürülmüştür. Batch size 64 olarak belirlenirken, verinin %20'si doğrulama için ayrılmıştır (validation split=0.2). Eğitim sürecinde EarlyStopping Callback kullanılarak, eğer doğrulama kaybı (val_loss) 12 epoch boyunca iyileşmezse eğitim erken durdurulmuştur. Bu yöntem, modelin doğrulama kaybını minimize eden en iyi hiperparametre kombinasyonunu bulmayı hedefler. Hiperparametre optimizasyonu, modelin aşırı öğrenmesini (overfitting) önlemek ve genelleme performansını artırmak açısından kritik bir adımdır. Random Search, belirlenen hiperparametre aralıklarından rastgele kombinasyonlar seçerek performansı değerlendirir ve Grid Search yöntemine kıyasla yüksek boyutlu hiperparametre uzayında daha hızlı ve verimli olabilir. Örnek hiperparametreler arasında LSTM katman sayısı, dropout oranı, öğrenme oranı ve aktivasyon fonksiyonları gibi bileşenler yer alır.

5.2.4. Final Model Eğitimi

Şekil 7. Final Model Eğitimi Yapan Kod Parçası

```
94 # Final model eğitimi
95 history = best_model.fit(
96     X, y,
97     epochs=100,
98     batch_size=best_batch_size,
99     validation_split=0.2,
100     callbacks=[EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=12, restore_best_weights=True)]
101 )
```

En iyi model 100 epoch boyunca eğitilir. Batch size hiperparametre olarak atanmıştır (best_batch_size). Verinin %20'si doğrulama için ayrılmıştır (validation_split=0.2). EarlyStopping callback'i ile val_loss 10 epoch boyunca iyileşmezse eğitim durdurulur ve en iyi ağırlıklar geri yüklenir.

5.3.Gelecek Tahmini Yapma

Şekil 8.Gelecek Tahmini Yapan Kod Parçası

```
102 # Gelecek tahminleri yapma
103 last_240_days = data.values[-240:].reshape(-1, 1)
104 last_240_days_scaled = scaler.transform(last_240_days)
105 X_input = last_240_days_scaled.reshape((1, last_240_days_scaled.shape[0], 1))
106 future_days = 10
107 future_predictions = []
108 for _ in range(future_days):
109     future_price = best_model.predict(X_input)
110     future_predictions.append(future_price[0][0])
111     X_input = np.append(X_input[:, 1:, :], future_price.reshape(1, 1, 1), axis=1)
112
113 future_predictions = scaler.inverse_transform(np.array(future_predictions).reshape(-1, 1))
114 future_dates = pd.date_range(data.index[-1], periods=future_days + 1, freq='B')[1:]
```

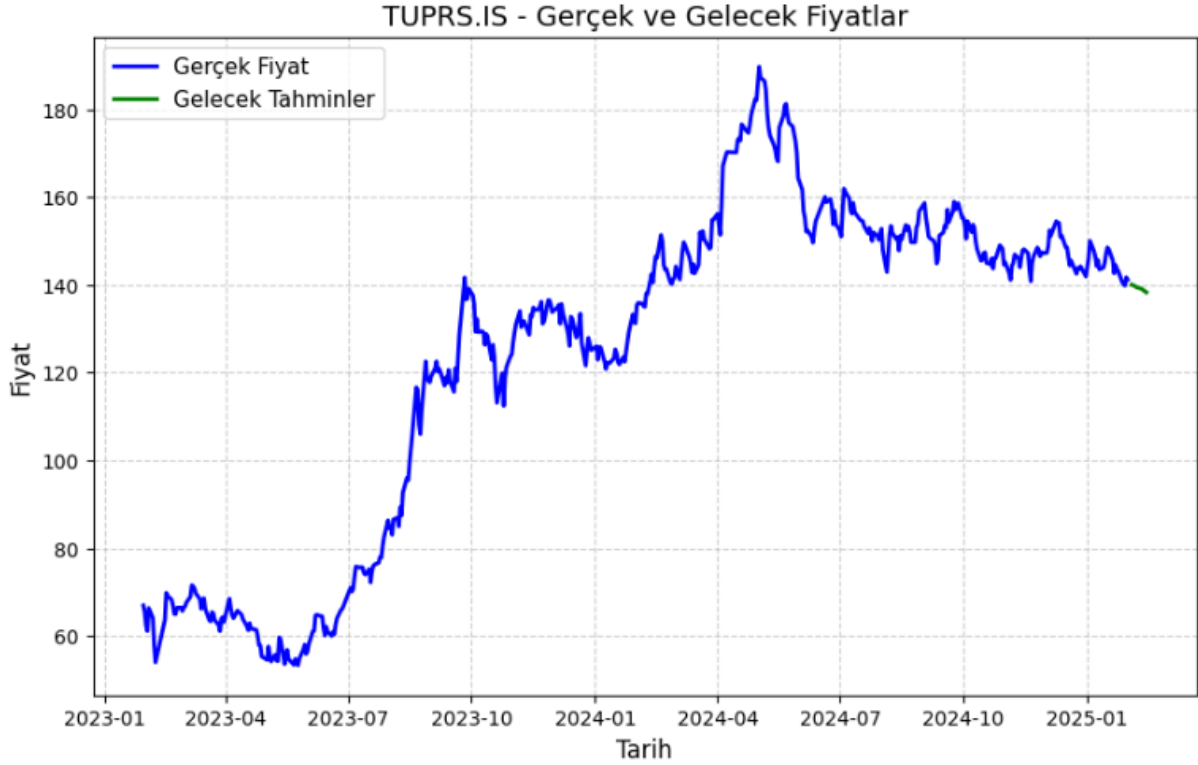
Son 240 günün verisi alınarak ölçeklendirilir. Bu veriler modele giriş olarak verilerek gelecekteki fiyat tahminleri üretilir. 10 gün boyunca tahminler yapılır ve her tahmin giriş verisine eklenerek model güncellenir. Ölçeklendirilmiş tahminler ters çevrilerek gerçek fiyatlara dönüştürülür. Tahmin edilen fiyatlar, gelecek iş günlerine göre tarih aralığında görselleştirilir.

5.3.1. Sonuçları Görselleştirme ve Tabloya Aktarma

Şekil.9 Tabloyu görselleştiren Kod Parçası

```
116 # Sonuçları görselleştirme
117 plt.figure(figsize=(10, 6))
118 plt.plot(data.index[-500:], data['Close'].values[-500:], color='blue', label='Gerçek Fiyat', linewidth=2)
119 plt.plot(future_dates, future_predictions, color='green', linewidth=2, label='Gelecek Tahminler')
120 plt.title(f'{ticker} - Gerçek ve Gelecek Fiyatlar', fontsize=14)
121 plt.xlabel('Tarih', fontsize=12)
122 plt.ylabel('Fiyat', fontsize=12)
123 plt.legend(loc='upper left', fontsize=11)
124 plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
125 plt.show()
```

Şekil 10. Tüpraş Ait Geçmiş ve Gelecek Tahmini Fiyat Grafiği



| 95

Şekil 11. Gelecek Tahminlerini Ekrana Yazdıran Kod Parçası

```

127 # Future predictions dataframe
128 df_future_predictions = pd.DataFrame({'Date': future_dates,
129                                     'Predicted Price': future_predictions.flatten()})
130 print(df_future_predictions)

```

	Date	Predicted Price
0	2025-02-03	140.018326
1	2025-02-04	139.922119
2	2025-02-05	139.772186
3	2025-02-06	139.582230
4	2025-02-07	139.372787
5	2025-02-10	139.156082
6	2025-02-11	138.937332
7	2025-02-12	138.718109
8	2025-02-13	138.498962
9	2025-02-14	138.280075

Eğitim sürecinin ardından model, tahmin gün sayısına göre gelecekteki kapanış fiyatlarını tahmin eder ve sonuçlar ekrana yazdırılır. Model, belirli bir gün sayısı (örneğin, 10 gün) için gelecekteki kapanış fiyatlarını tahmin etmiştir. Bu tahminler, belirli bir dönem için hisse senedi fiyatlarının öngörülmesine yardımcı olur. Burada modelimiz ilk gün 140.018326 değerini alacağını 10. günün sonunda bu değer 138.280075'e düşeceğini öngörmektedir. Gerçek ve tahmin edilen fiyatlar çizgi grafiği ile görselleştirilir. Son 500 günün kapanış fiyatları mavi renkte gösterilir. Tahmin edilen fiyatlar yeşil

5.3.2. Modelin Performans Ölçütleri

Şekil 12. Modelin Performansını Veren Kod Parçacığı

[illegible]

119/119 ————— 5s 37ms/step
Mean Squared Error (MSE): 21.6192
R² Score: 0.9877

R² Score = 0.9988

R^2 (R-kare), modelin veriyle ne kadar iyi uyum sağladığını gösterir. 1'e ne kadar yakınsa, model gerçek fiyatları o kadar iyi tahmin ediyor demektir. 0.9988 gibi neredeyse mükemmel bir R^2 skoru, modelin fiyat hareketlerini çok iyi yakaladığını gösteriyor.

Yorum: 0.9988 değeri, modelinin %99.88 doğrulukla fiyatları açıklayabildiği anlamına gelir. Model, veri setindeki trendleri ve kalıpları çok iyi öğrenmiş gibi görünüyor. Ancak, aşırı öğrenme (overfitting) riskine dikkat edilmesi gerekir.

6.SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, Tüpraş (TUPRS.IS) hissesinin gelecekteki fiyatlarını tahmin etmek amacıyla LSTM (Long Short-Term Memory) ve GRU (Gated Recurrent Units) modellerini içeren bir derin öğrenme ağı kullanıldı. Zaman serisi verisi olarak 2010'dan 2025'e kadar olan kapanış fiyatları alındı ve model, son 240 günlük veriyi kullanarak gelecekteki 10 iş günü için tahminlerde bulundu.

6.1. Model Performansi

Modelin doğruluğu, eğitim sürecinde kullanılan erken durdurma (early stopping) ve validation split yöntemleriyle optimize edilmiştir. Eğitimde kullanılan hiperparametreler, Keras Tuner ile optimize edilerek en iyi modelin bulunması sağlanmıştır. Eğitim süreci boyunca doğrulama kaybı ve eğitim kaybı izlenmiş, modelin aşırı öğrenme (overfitting) yapması engellenmiştir. Eğitilen model, son 240 günün verisi kullanılarak gelecekteki fiyatların tahminini başarmıştır.

6.2.Tahmin Sonuçları

Modelin yaptığı 10 günlük fiyat tahminleri, belirli bir güven aralığında yapılan çıkarsamalara dayanarak, gelecek 10 iş günü için Tüpraş hissesinin fiyat hareketlerini öngörmüştür. Bu tahminler, hisse senedinin potansiyel fiyat dalgalanmalarını anlamak için kullanılabilir, ancak her zaman dışsal faktörler (örneğin, piyasa haberleri, ekonomik göstergeler) tahminlerin doğruluğunu etkileyebilir.

6.3. Değerlendirme ve Sonuçlar

Sonuçlar, modelin geçmiş fiyat hareketlerini kullanarak anlamlı bir tahmin başarısı gösterdiğini belirtmektedir. Ancak, finansal piyasalardaki belirsizlikler ve volatilité göz önüne alındığında, bu tür tahminlerin yalnızca yön göstermek amacıyla kullanılmasının daha doğru olacağı söylenebilir. Model, zaman serisi verileri üzerinde iyi bir performans sergilese de, her zaman dışsal değişkenlerin etkisiyle tahminlerin doğruluğu sınırlı olabilir. Sonuç olarak LSTM ve GRU tabanlı modeller, hisse senedi fiyatlarının tahmini konusunda güçlü bir performans sergilemiştir. Bu modelin başarısı, sadece geçmiş verilere dayalıdır. Piyasa şokları, haberler ve diğer dışsal faktörler tahminlerin doğruluğunu etkileyebilir. Bu modelin, güncel piyasa verileri ve ekonomik göstergeler ile desteklenmesi, daha güçlü ve güvenilir tahminler elde edilmesine yardımcı olabilir.

Sonuç olarak, bu model hisse senedi tahminleri için potansiyel bir araç sunmaktadır, ancak yatırım kararları alırken dikkatli ve kapsamlı bir analiz yapılması önemlidir.

KAYNAKÇA

- [1] Erden, C. (2023). Derin Öğrenme ve ARIMA Yöntemlerinin Tahmin Performanslarının Kıyaslanması: Bir Borsa İstanbul Hissesi Örneği. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 30(3), 419-438.
- [2] Albayrak, E., & Saran, N. (2023). İstatistiksel ve derin öğrenme modellerini kullanarak hisse senedi fiyat tahmini. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 16(2), 161-169.
- [3] Şişmanoğlu, G., Koçer, F., Önde, M. A., & Sahingoz, O. K. (2020). Derin öğrenme yöntemleri ile borsada fiyat tahmini. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 434-445.
- [4] İlkçar, M. (2023). Turkish Airlines BIST share price prediction with deep artificial neural network considering trading volume and seasonal values. *International Journal of Informatics Technologies*, 16(1), 43-53.
- [5] Tokmak, M. (2022). Stock price prediction using Long-Short-term memory network. *Mehmet Akif Ersoy University Journal of Applied Sciences*, 6(2), 309-322.
- [6] Çınaroğlu, E., Avcı, T. (2020). Prediction of THY stock value with artificial neural networks. *Atatürk University Journal of Economics and Administrative Sciences*, 34(1), 1-19.
- [7] Kanakam, R, Ramesh, D, Mohmmad, S, Shabana, S, Prakash, TC. (2022, May). Stock price prediction using multiple linear regression and support vector machine (regression). In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2418, No. 1). AIP Publishing.
- [8] Tavukcu, S.(2023), “Borsa Kurumlarında Yapay Zeka ve Python ile Satış ve Kar Arttırma Stratejileri”, <https://medium.com/@serdartaavukcu/borsa-kurumlar%C4%B1nda-yapay-zeka-ve-python-ile-sat%C4%B1%C5%9F-ve-kar-artt%C4%B1rma-stratejileri-1390a2c60c11>.
- [9] Temiz, H. (2024). Yapay Zeka ile Hisse Senedi Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [10] Gül, U. (2023). “Python ile Portföy Yönetimi Dersleri” , <https://github.com/urazakgul/python-portfoy-yonetimi-dersleri>.
- [11] Erol, H.(2023), “Finansal Veri Analizi ve Tahmin Projesi”, <https://github.com/HuseyinErol24/finansal-analiz-hisse-tahmini>

Makale id= 18

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0007-5041-2328

98

Ribavirin'in Elektrokimyasal Davranışının Poli(Metilen Mavisi) Modifiye Camı Karbon Elektrot ile İncelenmesi**Araştırmacı İbrahim Sarper Karaman¹, Prof.Dr. Saim Topçu², Prof.Dr. Necati Menek¹**¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi²Giresun Üniversitesi

*Corresponding author: İbrahim Sarper Karaman

Özet: Ribavirin pek çok viral hastalığın tedavisinde kullanılan anti-viral bir ilaç etken maddesidir. Ribavirin RNA sentezini durduran bir nükleotit inhibitörüdür. Hepatit C'nin tedavisinde peginterferon alfa 2a veya 2b ile beraber yaygın olarak kullanılmaktadır. HIV ve Kırım-Kongo kanamalı ateşi gibi hastalıklarda da kullanıldığı bildirilmiştir. Ribavirin'in IUPAC adı 1-[(2R,3R,4S,5R)-3,4-dihidroksi-5-(hidroksimetil) oksolan-2-yl]-1H-1,2,4-triazol-3-karboksamit'tir. Metilen mavisi ve türevleri sulu ortamda tersinmez olarak okside olur ve elektrot üzerinde polimerik film oluşturur. Bu azin türevlerinin düşük çözünürlükleri ve yüksek oksidasyon potansiyellerinden dolayı polianilin ve polipirol gibi iletken polimerlere göre polimerizasyonda akım verimi çok düşüktür. Bu çalışmada metilen mavisinin elektropolimerizasyonu Autolab 128N model potansiyostat ve galvanostat cihazı kullanılarak oluşturuldu. Araştırmada 3 mm çaplı camı karbon elektrot (BASi MF-2012), karşıt elektrot olarak platin tel ve referans elektrodu olarak Ag/AgCl (3M KCl) elektrodu kullanıldı. Potansiyel ölçümleri tasarlanan ve bilgisayar programı ile desteklenmiş çok kanallı potansiyometre cihazıyla gerçekleştirildi. Referans elektrot olarak Basi-MF-2079-RE-5B marka Ag/AgCl elektrot kullanıldı. Bu çalışmada, camı karbon elektrot metilen mavisinin elektropolimerizasyonu ile modifiye edilmiştir. Optimum şartlar belirlemek amacıyla farklı tampon ve farklı döngü sayıları çalışıldı ve optimum pH ve döngü sayısı sırasıyla 8,1 ve 25 olarak belirlendi. Elektropolimerizasyon sonucu iletken polimer film içerisinde ribavirin molekülünün moleküler baskılanması yapılmıştır. Poli(Metilen mavisi) ve ribavirin baskılanmış poli(Metilen mavisi) modifiye elektrotların elektrokimyasal özellikleri dönüşümlü voltametri ve potansiyometri teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda modifiye elektrodun ribavirine karşı potansiyometrik cevabı doğrusal olup sensör olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektropolimerizasyon, Modifiye Elektrot, Ribavirin, Voltametri, Potansiyometri**1.GİRİŞ**

Biyosensörler; biyolojik tepkimelerde ve buna benzer çeşitli ortamlarda hedef analitleri denetlemek, kalitatif ve kantitatif tayin yapabilmek için kullanılan küçük algılayıcı cihazlardır. Biyokimyasal ve elektrokimyasal iki yapıdan meydana gelmiştir. Biyokimyasal kısım analiz edilecek maddeyle etkileşerek onu tanı ve elektrokimyasal kısım ise bu tanıma olayını ölçülebilir bir sayısal değere çevirir (Öztek, 2008; Yao vd., 2005:372).

Biyosensör yapımında elektrokimyasal olarak sentezlenen polimerler, hem biyosensörlerin hızını, duyarlılığını ve seçiciliğini geliştirdikleri hem de enzimlerin immobilizasyonu için uygun matris ortamı oldukları için sıklıkla kullanılmaktadırlar. Tayinleri klinik, çevre, tarım ve biyoteknolojik açıdan önemli olan analitleri ölçmek için iletken polimer temelli pek çok biyosensör geliştirilmiştir (Quin vd., 2011:127)

Moleküler baskılama yöntemi önemli avantajlara sahiptir ve bunlardan yararlanılabilir. Moleküler baskılı polimerin en önemli avantajları hazırlama kolaylığı, kararlılığı ve düşük maliyetidir. Ayrıca

seçici elektrotların algılama bileşeni olan doğal reseptörlerin yerine kullanılabilir. MIPS, baskılanacak moleküllerin varlığında yüksek çapraz bağlı moleküllerin sentezlenmesiyle yapılır. Baskılanan moleküllerin ayrılmasından sonra polimer, baskılanan molekül ya da benzer bileşikler için seçici bir bağlayıcı madde olarak kullanılabilir. MIPS'ın tamamlayıcı bölgeleri çeşitli konfigürasyonlarda hazırlanabilir ve hedef moleküllerin yapısına göre uyarlanabilir. Son 20 yılda baskılı polimerlerin analit tayininde kullanımının arttığı görülmüştür (Li ve Wei, 2009:663).

Fenazin, Fenoksiazin ve Fenotiazin gibi azin türevleri elektrokatalitik özelliklerinden dolayı son zamanlarda büyük ilgi görmektedir. Bu boyaların suda çözünmesi, metal üzerine absorbe olması ve anyonik polimerlerin içine katılabilmelerinden dolayı biyomedikal, çevresel ve biyoteknolojik analiz alanlarında sıklıkla kullanılır. Tiyonin, toluidin mavisi, metilen mavisi, azur ve nötral kırmızısı gibi amino gruplu azin türevleri sulu ortamda tersinmez olarak okside olur ve elektrot üzerinde polimerik film oluşturur. Bu azin türevlerinin düşük çözünürlükleri ve yüksek oksidasyon potansiyellerinden dolayı polianilin ve polipirol gibi iletken polimerlere göre polimerizasyonda akım verimi çok düşüktür (Hepel ve Janusz, 2000:3785; Ganesan ve Ramarai, 2000:54; Kalyoncu ve Alanyalı, 2011:133; Inzelt, 2008; Xiao vd., 2011:10055).

Ribavirin pek çok viral hastalığın tedavisinde kullanılan anti-viral bir ilaç etken maddesidir. Ribavirin RNA sentezini durduran bir nükleotit inhibitörüdür. Ticari isimlerine örnek olarak Copegus, Rebetol, Ribasphere, Vilona ve Virazole verilebilir. Hepatit C'nin tedavisinde peginterferon alfa 2a veya 2b ile beraber yaygın olarak kullanılmaktadır. HIV ve Kırım-Kongo kanamalı ateşi gibi hastalıklarda da kullanıldığı bildirilmiştir (Crotty vd., 2002:86; Ergönül vd., 2004:284; Ascioğlu vd., 2011:1215; Sidwell vd., 1972:705).

Bu çalışmada bir ilaç etken maddesi olan Ribavirin ile baskılanmış poli(Metilen mavisi) modifiye GCE kullanılarak farklı çözelti ortamlarında ve farklı konsantrasyonlarda ribavirinin elektrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2.DENEYSEL KISIM

Elektrokimyasal ölçümler ve metilen mavisinin elektropolimerizasyonu Autolab 128N model potansiyostat ve galvanostat cihazı kullanılmıştır. 3 elektrotlu çalışma hücresinde çalışma elektrodu olarak 3 mm çaplı camsı karbon elektrot (BASi MF-2012), yardımcı elektrot olarak platin tel ve referans elektrodu olarak Ag/AgCl (3M KCl) elektrodu kullanılmıştır.

Potansiyel ölçümleri, çok kanallı potansiyometre cihazıyla gerçekleştirildi. Referans elektrot olarak Basi-MF-2079-RE-5B marka Ag/AgCl elektrot kullanıldı.

Elektrokimyasal ölçümlere başlamadan önce camsı karbon elektrodun yüzeyi 50 nm'lik alümina tozu süspansiyonu ile düz bir zemin üzerinde parlatıldı. Bu işlem için BASi PK-4 polishing kit kullanıldı. Elektrot saf sudan geçirildikten sonra 30 saniyelik sonikasyon işlemine tabi tutuldu. Uygulanan bu işlemlerle elektrot yüzeyindeki organik ve inorganik kirlilikler uzaklaştırılarak temiz ve parlak bir yüzey elde edildi. Kullanılan hücre, karşıt elektrot ve referans elektrot 3 kez ultra saf sudan geçirildikten sonra elektrotlar hücreye yerleştirildi.

Elektropolimerizasyonda pH' sı 8,1 olan 0,1 M fosfat tamponu içeren 9,5 mL çözeltiye 2.10^{-2} M sulu metilen mavisi çözeltisinden 0,5 mL ilave edilerek hazırlanan deposizyon çözeltisi kullanılmıştır. -0,4 ile +1,2 V sınır değerlerinde 25 döngülük 100 mVs^{-1} tarama hızında döngüsel voltamogramları alınarak monomerlerin camsı karbon elektrot yüzeyinde elektrokimyasal polimerizasyonu sağlandı. Aynı çözelti ortamına 0,01 M olacak şekilde ribavirin ilave edilerek moleküler baskılama için elektropolimerizasyon gerçekleştirildi ve ribavirinin poli(Metilen mavisi) içine doplanması sağlandı.

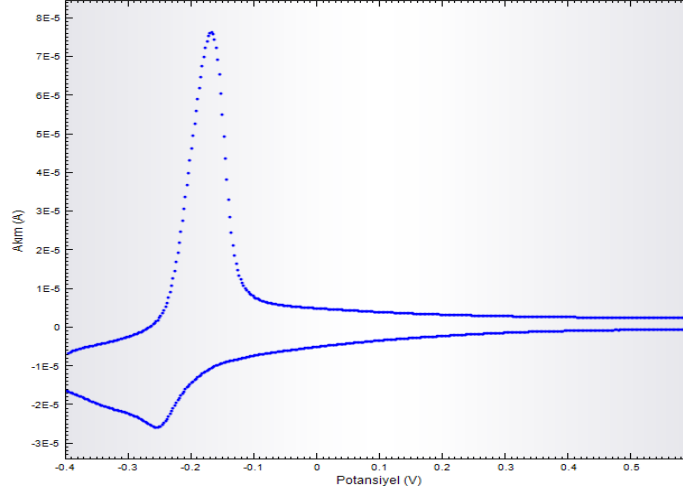
Elde edilen ribavirinli poli(Metilen mavisi) içinde uygun boşluklar oluşturarak hapsolmuş (doplanmış) ribavirin moleküllerini polimerik yapı dışına çıkarmak için 0,5 M H_2SO_4 'le 1 gün muamale edilmiş ve daha sonra 1 saat ultra saf suda bekletilerek yıkanmıştır.

3.SONUÇ VE TARTIŞMA

Metilen mavisinin camsı karbon elektrot üzerindeki elektrokimyasal davranışını incelemek üzere 10 ml 0,1 M fosfat tamponunda 1.10^{-5} M metilen mavisi olacak şekilde hazırlanan çözeltide -400, +600 mV

aralığında dönüşümlü voltamogramı alınmıştır (Şekil 1). Bu çalışmada tarama hızı 100 mVs^{-1} olarak sabit tutulmuştur.

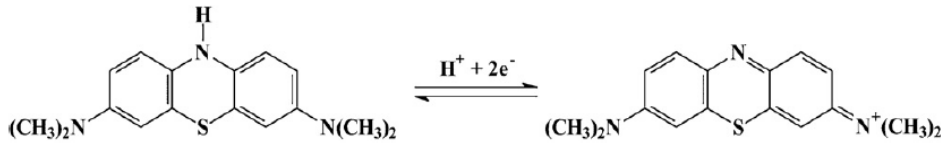
Şekil 1. 1.10^{-5} M metilen mavisinin $-400, +600 \text{ mV}$ aralığındaki CV'si



| 100

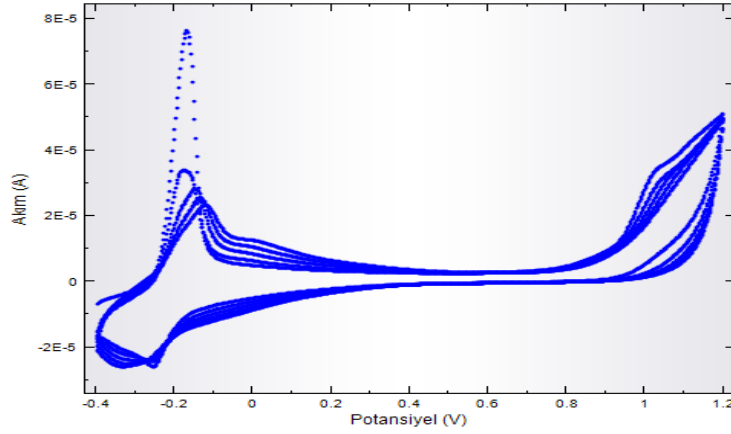
Metilen mavisinin elektrot yüzeyinde gerçekleştirdiği reaksiyon literatürde Şekil 2' de verildiği gibi katyonik halin 2 elektron ve 1 proton alarak leuco-metilen mavisine dönüştüğü şeklinde belirtilmiştir (Matsuda vd., 2003:313).

Şekil 2. Metilen mavisinin redoks reaksiyonu

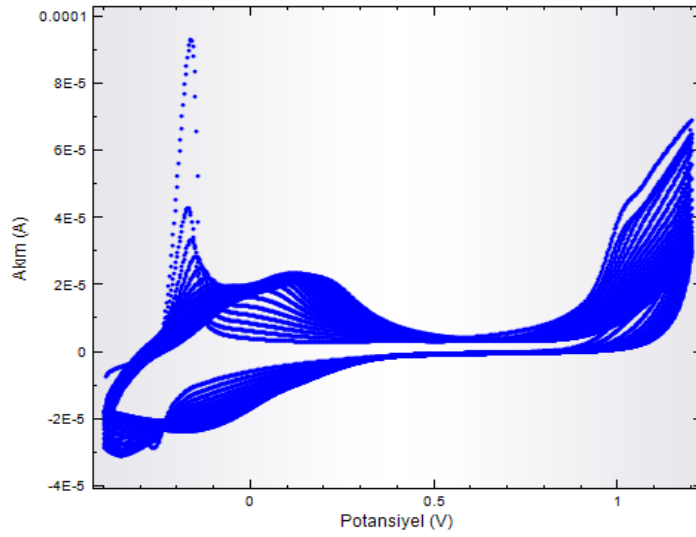


Elektropolimerizasyonda pH' sı 8,1 olan 0,1 M fosfat tamponu içeren 9,5 ml çözeltiye 2.10^{-2} M sulu metilen mavisini çözeltisinden 0,5 ml ilave edilerek hazırlanan deposizyon çözeltisi kullanılmıştır. $-0,4$ ile $+1,2 \text{ V}$ sınır değerlerinde 25 döngülük 100 mVs^{-1} tarama hızında döngüsel voltamogramları alınarak monomerlerin camı karbon elektrot yüzeyinde elektrokimyasal polimerizasyonu sağlandı. 5, 10, 15, 20, 25 döngülük değerlerde elektropolimerizasyona ait CV voltamogramları uygun polimerizasyonu belirlemek için tercih edilmiştir. 5 ve 25 döngülük elektropolimerizasyona ait voltamogramlar sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir.

Şekil 3. Poli(Metilen mavisi) sentezi (5 döngü)

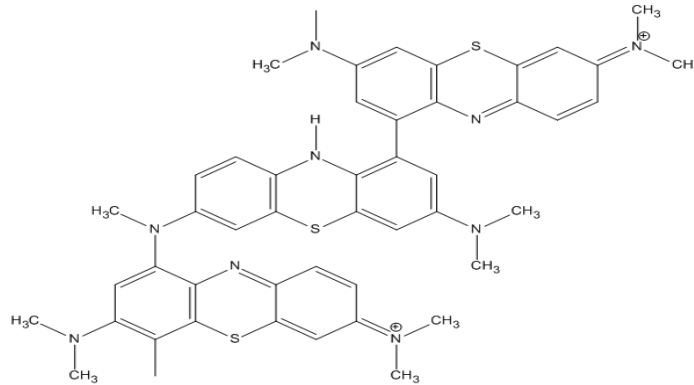


Şekil 4. Poli(Metilen mavisi) sentezi (25 döngü)



Literatürde metilen mavisinin elektropolimerizasyonu sonucunda oluşan poli(Metilen mavisi) yapısı Şekil 5’ de gösterilen yapıda verilmiştir(Karyakin vd., 1993:289).

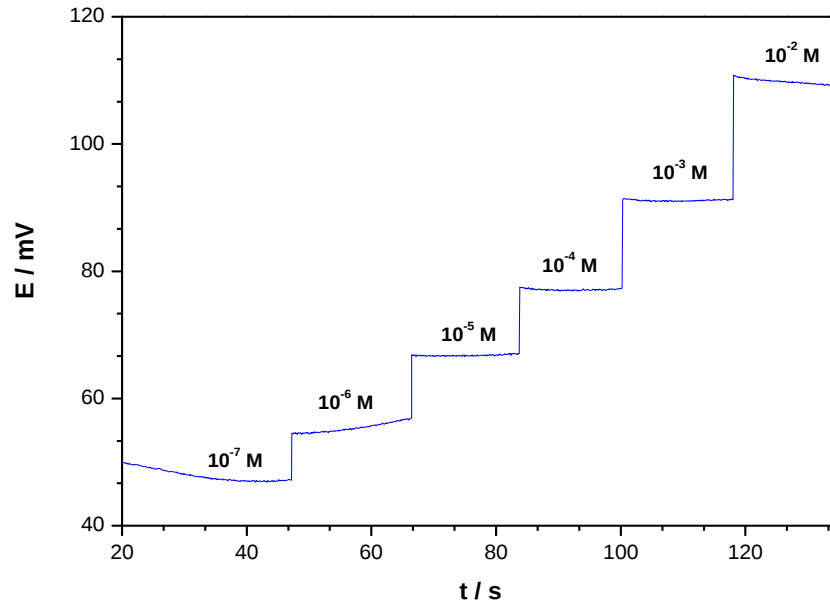
Şekil 5. Poli(Metilen mavisi)



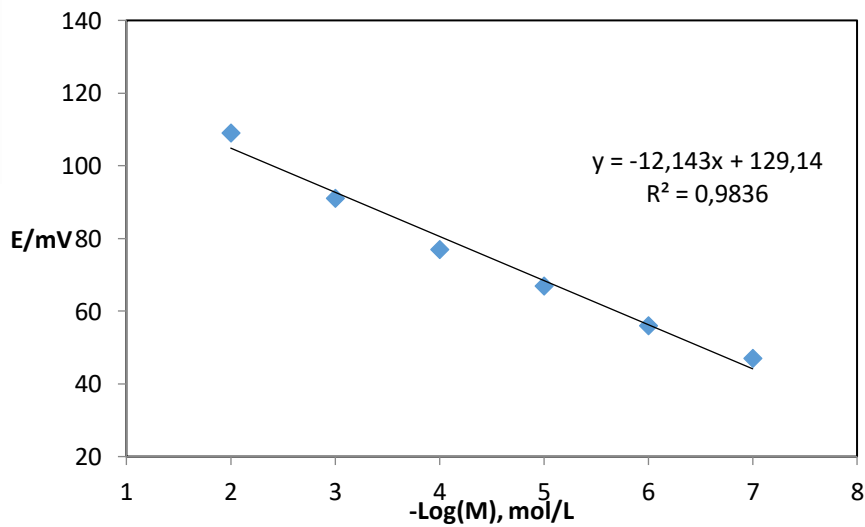
Modifiye elektrodun ribavirine karşı potansiyometrik sensör davranışını incelemek üzere farklı ortamlarda ribavirin varlığında göstermiş olduğu potansiyeller Ag/AgCl (3M KCl) elektroduna karşı ölçülmüştür. Farklı çözelti ortamları olarak saf su, fosfat tamponu, üç farklı konsantrasyonda NaNO₃ (0,01; 0,05; 0,1 M) ve pH'sı 2, 3, 4, 5, 6 olan asetat tampon çözeltileri (0,05 M) seçilmiştir. Ribavirin varlığında değişen hücre potansiyelleri $1 \cdot 10^{-7}$, $1 \cdot 10^{-6}$, $1 \cdot 10^{-5}$, $1 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-2}$ M ribavirin derişimleri için belirlenerek potansiyel-konsantrasyon grafikleri oluşturulmuştur.

Ribavirinli poli(Metilen mavisi)'nin sulu ortamda farklı konsantrasyonlarda ribavirin içeren çözeltilerde alınan potansiyometrik ölçümleri ve oluşturulan kalibrasyon grafiği sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 6. Rib-PMM'nin saf sudaki potansiyometrik sinyalleri ($1 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-2}$ M Ribavirin)

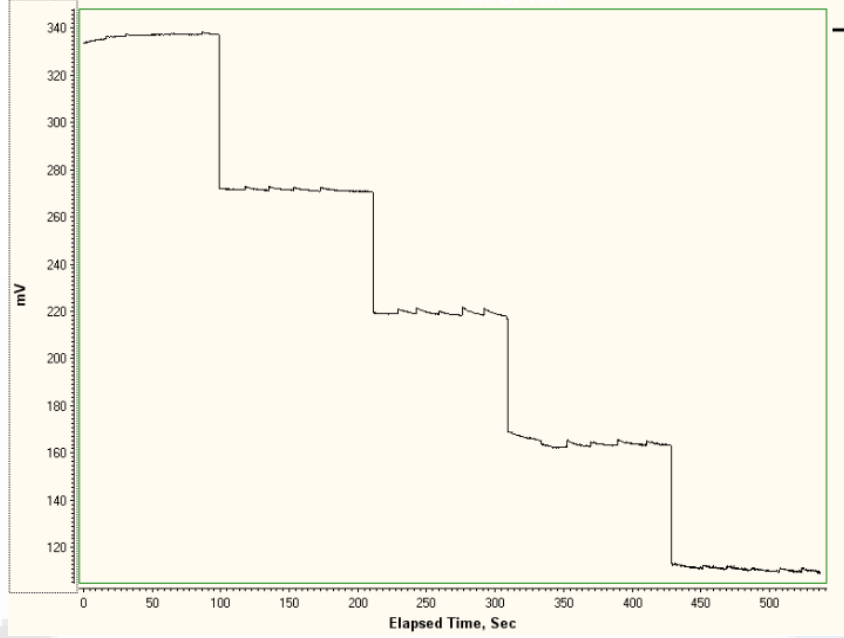


Şekil 7. Rib-PMM'nin kalibrasyon grafiği (Saf su)



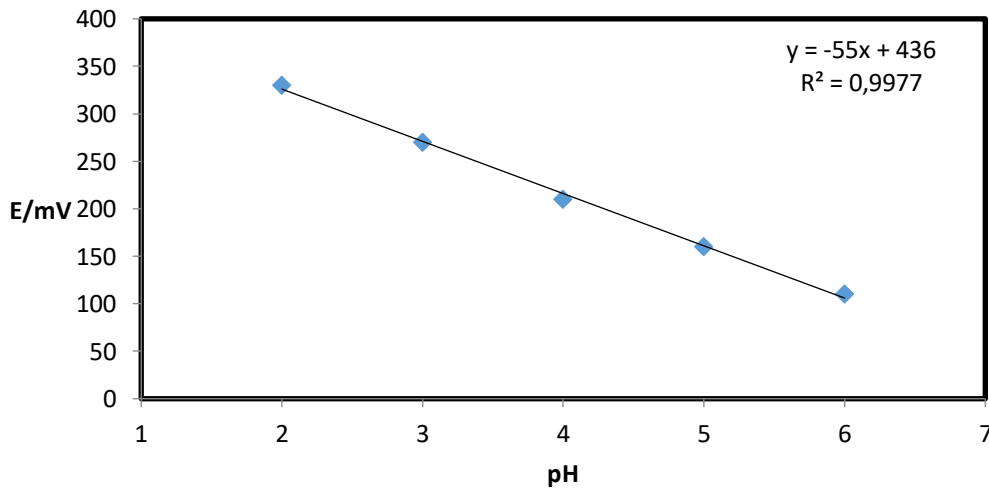
Modifiye elektrodun farklı pH'larda asetat tamponundaki sinyalleri toplu bir arada gösterildiğinde pH'a karşı olan duyarlılığı Şekil 8'de gösterilmiş ve basamak potansiyellerinin pH'a karşı olan grafiği ise Şekil 9'da verilmiştir.

Şekil 8. Rib-PMM'nin potansiyometrik sinyalleri (Asetat Tamponu, pH=2, 3, 4, 5 ve 6)



| 103

Şekil 9. Potansiyel(mV)/pH grafiği



Rib-PMM elektrodun saf su ortamında ribavirin konsantrasyonuna bağlı olarak potansiyometrik tayinlerde 60 mV'luk potansiyel değişimi meydana getirebildiği ve ribavirine duyarlı bir elektrot yapılabildiği anlaşılmıştır. Rib-PMM elektrodun ribavirin varlığında bile potansiyometrik pH sensörü olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Moleküler baskılama yapılmamış PMM elektrodun her iki duyarlılıktan da yoksun olduğu belirlenmiştir. Rib-PMM elektrodun hem proton konsantrasyonuna hem de ribavirin konsantrasyonuna duyarlı olduğu potansiyometrik yöntem ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde ortaya çıkmaktadır.

Yapılan araştırmada ilaç etken maddesi ribavirin ile baskılanmış bir iletken polimer olan poli(Metilen mavisi)'nin potansiyometrik olarak ribavirinin analiz yönteminde uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

4.KAYNAKLAR

- A.A. Karyakin, A.K. Strakhova, E.E. Karyakina, S.D. Varfolomeyev, A.K. Yatsimirsky (1993). "The Electrochemical Polymerization of Methylene Blue and Bioelectrochemical Activity of the Resulting Film", *Synthetic Metals* 60, 289-292.
- Emrah Kalyoncu, Murat Alanyalı (2011). "Chronoamperometric and morphological investigation of nucleation and growth mechanism of poly(azure A) thin films", *Journal of Electroanalytical Chemistry* 660, 133-139.
- Ergönül O., Celikbaş A., Dokuzoguz B., Eren S., Baykam N., Esener H. (2004). "Characteristics of Patients with Crimean-Congo Hemorrhagic Fever in a Outbreak in Turkey and Impact of Oral Ribavirin Therapy", *Clinical Infectious Diseases* 39, 284-287.
- György Inzelt (2008). "Conducting Polymers. Springer", Germany.
- Haixia Qin, Jiyang Liu, Chaogui Chen, JiaHai Wang, Erkang Wang (2011). "An Electrochemical Aptasensor for Chiral Peptide Detection Using Layer-by-layer Assembly of Polyelectrolyte-Methylene Blue/Polyelectrolyte-Graphene Multilayer", *Analytica Chimica Acta* 712, 127-131.
- Hui Yao, Nan Li, Shu Xu, Jin-Zhong Xu, Jun-Jie Zhu, Hong-Yuan Chen (2005). "Electrochemical study of a new methylene blue/silicon oxide nanocomposition mediator and its application for stable biosensor of hydrogen peroxide", *Biosensors and Bioelectronics* 21, 372-377.
- Jianping Li, Jun Zhao, Xiaoping Wei (2009). "A Sensitive and Selective Sensor for Dopamine Determination Based on a Molecularly Imprinted Electropolymer of o-aminophenol", *Sensors and Actuators B* 140, 663-669.
- Maria Hepel, Wladyslaw Janusz (2000). "Study of Leuco-Methylene Blue Film Growth and Its Reoxidation on Sulphur-Modified Au-EQCN Electrode", *Electrochimica Acta* 45, 3785-3799.
- Naoki Matsuda, Jose H. Santos, Akiko Takatsu, Kenji Kato (2003). "In situ observation of absorption spectra and adsorbed species of methylene blue on indium-71 tin-oxide electrode by slab optical waveguide spectroscopy", *Thin Solid Films* 445, 313-316.
- Robert W. Sidwell, John H. Huffman, G. P. Khare, Lois, B. Allen, J. T. Witkowski, Roland, K. Robins (1972). "Broad-Spectrum Antiviral Activity of Virazole: 1-f8-D-Ribofuranosyl- 1,2,4-triazole-3-carboxamide", *Science* 25 177, 705-706.
- Shane Crotty, Craig Cameron, Raul Andino (2002). "Ribavirin's Antiviral Mechanism of Action: Lethal Mutagenesis", *Journal of Molecular Medicine* 80, 86-95.
- Sibel Ascioglu, Hakan Leblecioglu, Haluk Vahaboglu and K. Arnold Chan (2011). "Ribavirin for Patients with Crimean-Congo Hemorrhagic Fever: a Systematic Review and Meta-Analysis", *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 66, 1215-1222.
- V. Ganesan, R. Ramaraj (2000). "In Situ Spectroelectrochemical Studies of Phenothiazine Dyes at Clay Coated Electrodes", *Journal of Electroanalytical Chemistry* 490, 54-61.
- Xiuli Xiao, Bei Zhou, Liang Tan, Hao Tang, Youyu Zhang, Qingji Xie, Shouzhao Yao (2011). "Poly(methylene blue) doped silica nanocomposites with crosslinked cage structure: Electropolymerization, characterization and catalytic activity for reduction of dissolved oxygen", *Electrochimica Acta* 56, 10055-10063.
- Yasemin Öztekin (2008). "Camsı Karbon Elektrot Yüzeyine Çeşitli Fenantrolin Türevlerinin Modifikasyonu, Yüzey Karakterizasyonu, Elektrokimyasal ve Spektroskopik Özelliklerinin İncelenmesi", Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, pp. 164, Konya.

Makale id= 19

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0000-4255-0746

| 105

Metronidazol'ün Modifiye Edilmiş Elektrot Kullanılarak Elektrokimyasal Davranışının İncelenmesi**Araştırmacı Russul Ahmet Albadri¹, Araştırmacı İbrahim Sarper Karaman¹, Araştırmacı Gaukhar Sherimbetova¹, Prof.Dr. Yeliz Karaman², Prof.Dr. Necati Menek¹**¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi²Sinop Üniversitesi

*Corresponding author: Russul Ahmet Albadri

Özet: Son yıllarda elektrot yüzeylerinin modifikasyonu elektrokimyada önemli bir araştırma alanıdır. Özellikle organik ve inorganik maddeleri tespit etmek için yüzeyi ince bir polimerik tabakayla kaplanmış modifiye elektrotlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla ilaç etken maddelerinin farklı elektrotlarda elektrokimyasal davranışları üzerine bir çok araştırma yapıldığı görülmüştür. Metronidazol 5-nitroimidazoller grubunda yer alan bir ilaç etken maddesidir. Bu maddeler anaerobik bakteriler ve protozoaryum için toksik etki gösterir. Metronidazol, 1-(2-hidroksietil)-2-metil-5-nitroimidazol, antimikrobiyal özellikleriyle ön plana çıkan sitostatik ilaçlardan biridir. *Trichomonas*, *vincent's* organizmaları, anaerobik bakteriler, giardiasis ve amoebiasis'e karşı etkilidir. Deneyisel çalışmalar Metrohm marka 757 VA Computrace Model Voltametrik Analiz Cihazı ile yapıldı. Çalışma elektrodu olarak camı karbon elektrot ve modifiye edilmiş camı karbon elektrot, referans ve ikincil (karşıt) elektrot olarak, sırayla Ag/AgCl elektrodu (3 M KCl) ve platin tel kullanıldı. pH ölçümlerinde Jenway 3040 model pH metre ile çalışıldı. Camı karbon elektrodun modifikasyonu sülfanilik asit kullanılarak gerçekleştirildi. Her ölçümden önce çözelti ortamından 300 saniye inert gaz geçirildi. Çalışmalarda kare dalga(SWV), diferansiyel puls(DPV) ve dönüşümlü voltametri(CV) teknikleri kullanılarak Metronidazol'ün elektrokimyasal davranışları incelendi. Metronidazol'ün elektrokimyasal davranışları asetat tamponu, fosfat tamponu ve Britton-Robinson tamponu ortamlarında çalışıldı. Metronidazol ile yapılacak olan çalışmanın optimum şartlarını belirlemek için verilen bu farklı tampon çözeltilerinde voltametrik teknikler kullanılarak pik akımının ve potansiyelinin pH ile değişimi incelendi. Elde edilen sonuçlar ışığında akım değerindeki yükseklik ve keskin pik vermesinden dolayı çalışma ortamı olarak fosfat tamponu (pH=7) seçildi. Metronidazol'ün modifiye edilmiş GCE' de DPV tekniği kullanılarak fosfat tamponunda (pH=7) farklı konsantrasyonlarda voltamogramları alınarak elde edilen veriler ile kalibrasyon grafiği çizildi. Konsantrasyona bağlı olarak elde edilen pik akımlarının doğrusallık gösterdiği görüldü.

Anahtar Kelimeler: Modifiye Elektrot, Metronidazol, Voltametri, Elektropolimerizasyon**1.GİRİŞ**

Bir ilacın etki alanının, etki gücünün, dozunun, kullanım süresinin, yan etkilerinin, diğer ilaçlarla etkileşiminin ve toksik etkilerinin tedavinin başarısı açısından oldukça önemi vardır. İlaç geliştirme faaliyetlerinde genel olarak ilaç formülasyonundaki etken maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri saflık derecesi, miktarı, kararlılığı, metabolizması, fizyolojik ve biyokimyasal sistemlere etkileri, yan etkileri ve etkileşimleri vardır. Bu noktada düşük maliyetli, hassas ve hızlı ilaç analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. İletken bir polimerle modifiye edilmiş elektrot yardımıyla ilaç etken maddelerinin elektrokimyasal davranışının araştırılması büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle voltametrik teknikler kullanılarak elektropolimerizasyon yöntemiyle modifiye edilmiş elektrotlarla bazı ilaç etken maddelerinin elektrokimyasal davranışları incelenmiştir (Cosnier vd., 2000:83; Demirtaş vd., 2015:1883; Maria vd., 2020:261).

Son yıllarda elektrot yüzeylerinin modifikasyonu elektrokimya da önemli bir araştırma alanıdır. Özellikle organik ve inorganik maddeleri tespit etmek için yüzeyi ince bir polimerik tabakayla kaplanmış modifiye elektrotlar yaygın olarak kullanılmaktadır (Deinhammer vd., 1994:1306). Fang ve çalışma arkadaşları, 9-aminoakridini camsı karbon elektrot yüzeyine yerleştirerek poli(9-aminoakridin) modifiye elektrot hazırlamışlardır (Fang vd., 2007:3864). Jin ve çalışma arkadaşları poli(p-amino benzen sülfonik asit) modifiye camsı karbon elektrot ile dopamin ve askorbik asidin eş zamanlı analizini yapmışlardır. Modifiye elektrot dopamin ve askorbik asidin yükseltgenmesi için elektrokatalitik aktivite gösterdiğini belirtmişlerdir (Jin vd., 2005:528).

Bu çalışmada p(ABSA) ile modifiye edilmiş GCE ile ilaç etken maddesi olan Metronidazol'un farklı çözelti ortamlarında elektrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi için farklı voltametrik teknikler kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

2.DENEYSEL KISIM

Çalışmalarda Metrohm marka 757 VA Computrace model voltametrik analiz cihazı kullanılmıştır. Bilgisayar tarafından kontrol edilen cihazın elektrokimyasal analiz hücresi üç elektrotlu bir sistem olup çalışma elektrodu olarak GCE ve p(ABSA) ile modifiye edilmiş GCE, referans elektrodu olarak Ag/AgCl elektrodu, yardımcı elektrot olarak platin kullanılmıştır. Her ölçümden önce çözelti ortamından 300 saniye inert gaz geçirilmiştir. Voltametrik teknikler olarak, dönüşümlü voltametri, kare dalga voltametrisi ve diferansiyel puls voltametrisi kullanılmıştır.

Modifikasyon işleminden önce camsı karbon elektrodun yüzeyi temizlendi. Bunun için ilk olarak elektrodun alümina süspansiyonu ve özel temizleme pedleri (BASi PK-4 polishing kit) kullanılarak yüzey temizliği yapıldı. Ardından ultra saf sudan geçirilerek yaklaşık 30 saniye ultra saf su içeren ultrasonik banyoda bekletildi.

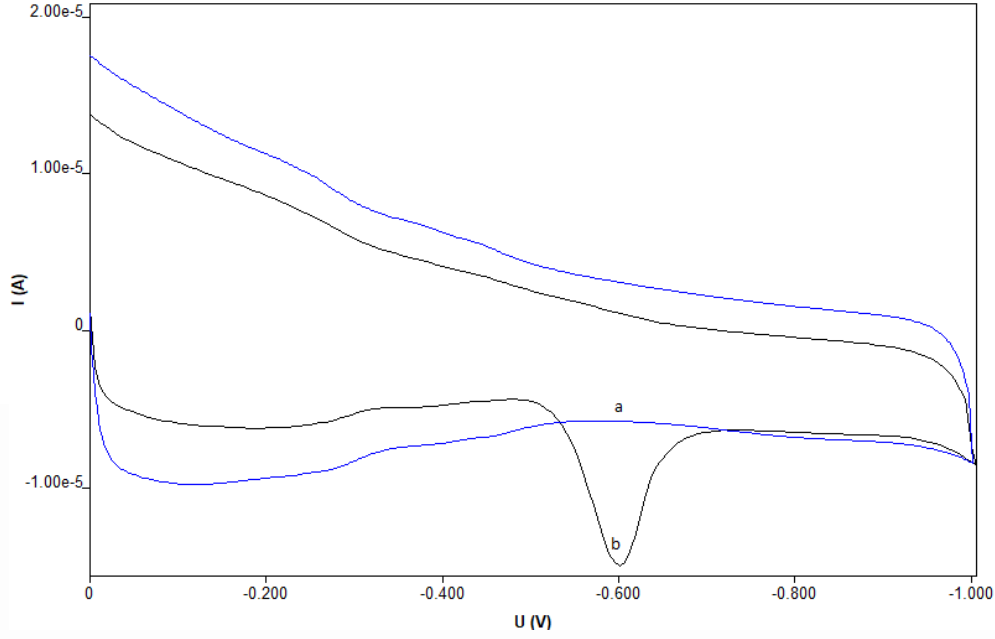
Elektrodun yüzeyi literatürde belirtilen yöntemler kullanılarak kaplandı. Camsı karbon elektrot 2×10^{-3} M para amino benzen sülfonik asit içeren 0,1 M fosfat tamponunda (pH=7) elektropolimerizasyon tekniği ile -1,5 V ve +2,5 V potansiyel aralığında 100 mVs^{-1} tarama hızında 6 döngü alınarak kaplandı. Kaplama işleminden sonra fosfat tamponunda (pH=7) -1,0 V ve +1,0 V aralığında 3 döngü alınarak dönüşümlü voltametri tekniği ile aktive edildi. Bu işlemten sonra etken madde analizi yapıldı.

Deney ortamı olarak fosfat tamponu, Britton-Robinson tamponu ve asetat tamponu seçilmiştir. Ölçümler hem modifiye edilmemiş elektrotta hem de modifiye edilmiş elektrotta aynı koşullarda olacak şekilde alınmıştır. Çözelti ortamı 10 mL tampon çözelti olacak şekilde oluşturulmuştur.

3.SONUÇ VE TARTIŞMA

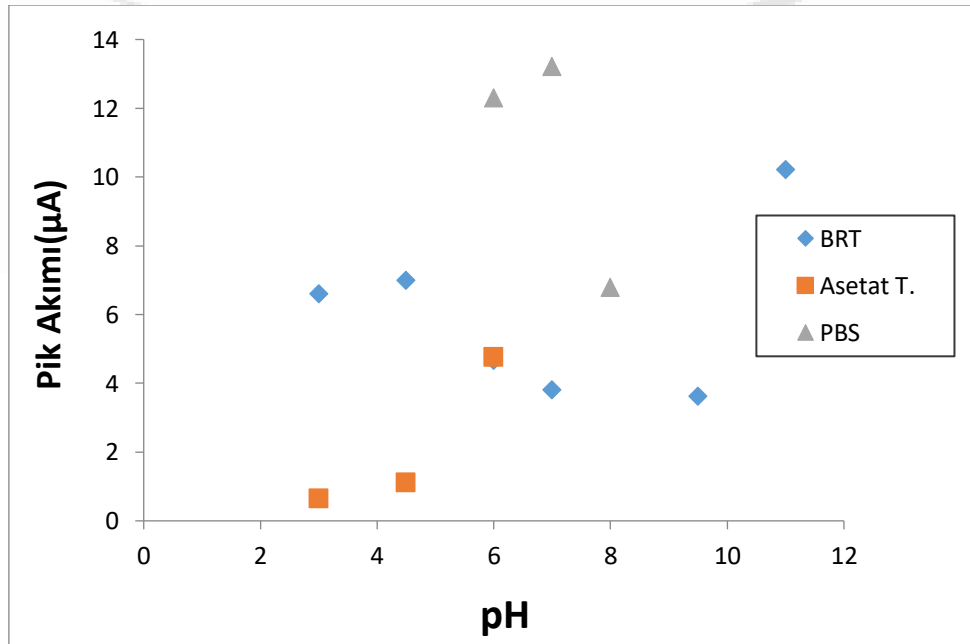
Metronidazol ile yapılan çalışmalar fosfat tamponu, Britton-Robinson tamponu ve asetat tamponu ortamlarında yapılmıştır. Yüksek pH değerlerinde voltamogramlarda elde edilen pikler deforme olduğu ve analitik olarak değerlendirilebilecek ortamlar sağlanamadığı için bu pH değerlerinde çalışılmamıştır. Şekil 1'de fosfat tamponu ortamında modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş GCE kullanılarak çözelti ortamında 10^{-4} M metronidazol içeren CV voltamogramları verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere tek bir pik elde edilmiştir. Benzer sonuçlar asetat ve Britton- Robinson tamponu kullanılan ortamlarda da elde edilmiştir. Voltamogramlar incelendiğinde modifiye GCE elektrot kullanılması durumunda, pik akım şiddetinin arttığı ve voltamogramlar analiz edildiğinde modifiye elektrodun fosfat tamponu ortamında daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Şekil 1. Metronidazol'un fosfat tamponunda (pH=7) CV'si (10^{-4} M); a) GCE b) Modifiye edilmiş GCE

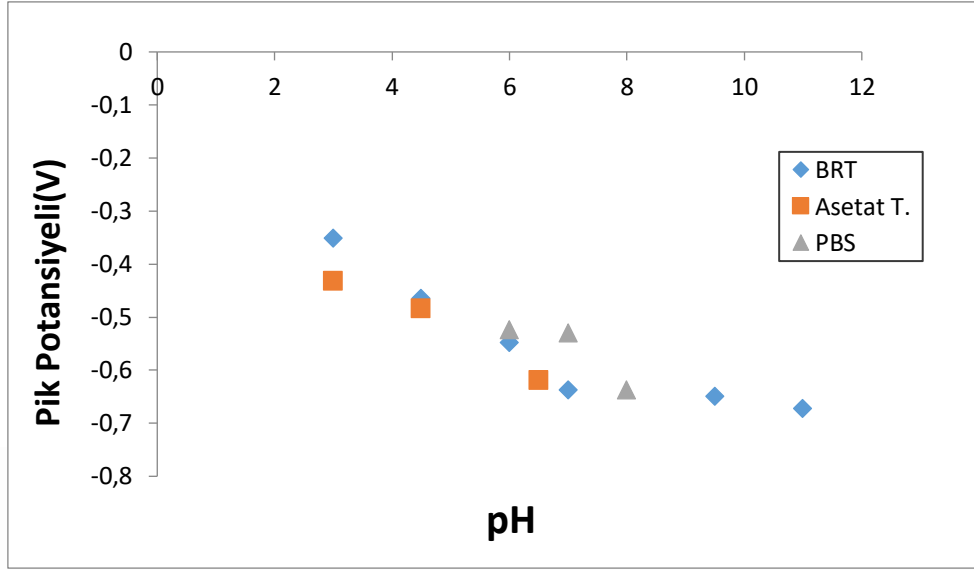


Metronidazol ile yapılan voltametrik çalışmaların farklı pH ve tampon ortamlarında pik akımlarının değişimleri incelendi. Optimum şartlarını belirlemek için farklı tampon çözeltilerde DPV tekniği kullanılarak elde edilen pik akımının ve potansiyelinin pH ile değişimi sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3' de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak Şekil 2'de görüldüğü gibi akım değerinde ki yükseklik ve voltamogramlarda keskin pik vermesinden dolayı çalışma ortamı olarak fosfat tamponu (pH=7) belirlendi.

Şekil 2. 10^{-4} M Metronidazol'un modifiye elektrotta farklı çözeltilerde pik akımına pH'n etkisi

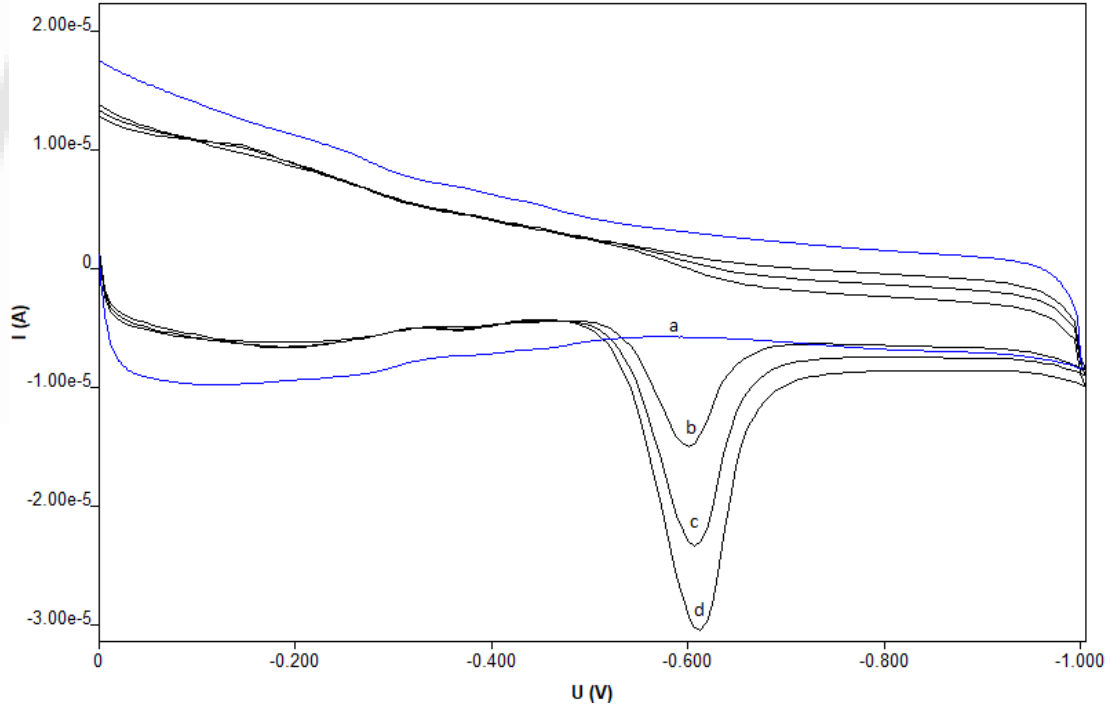


Şekil 3. 10^{-4} M Metronidazol'un modifiye elektrotta farklı çözeltilerde pik potansiyeline pH'ın etkisi



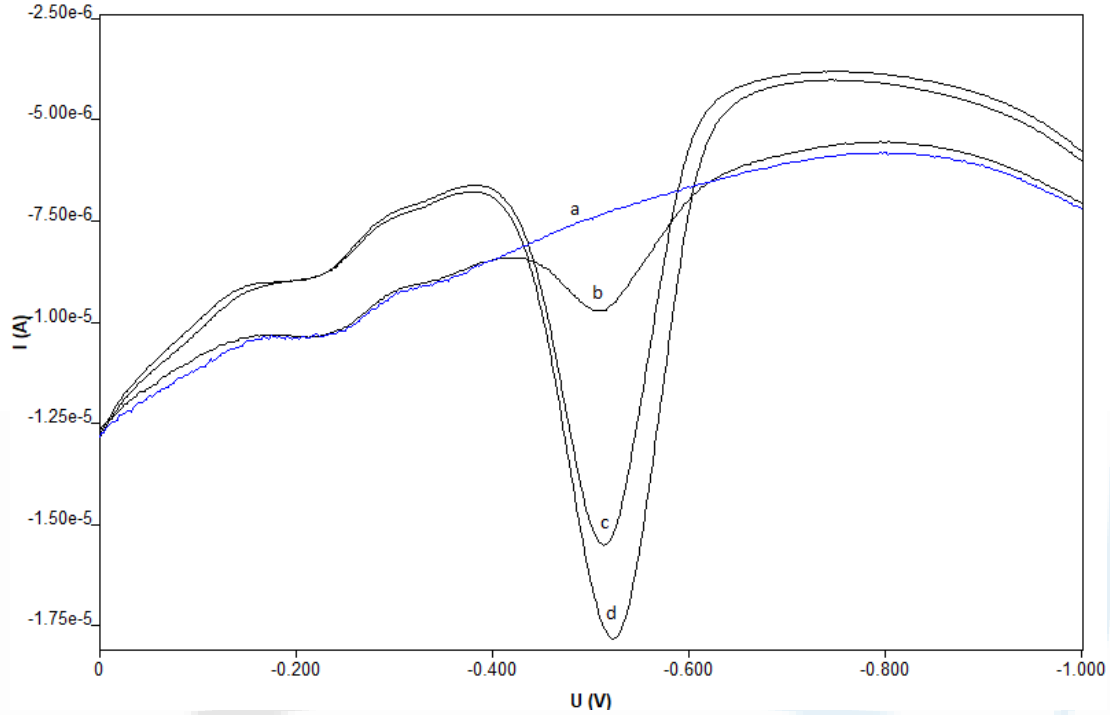
Modifiye GCE kullanılarak fosfat tamponunda farklı konsantrasyonlarda Metronidazol'un CV voltamogramları alındı. Şekil 4 incelendiğinde konsantrasyon artışıyla birlikte pik akımında da doğrusal bir artış olduğu görülmektedir.

Şekil 4. Metronidazol'un fosfat tamponunda (pH=7) dönüşümlü voltamogramı (100mV/s) a) blank b) 10^{-4} M c) 2×10^{-4} M d) 3×10^{-4} M

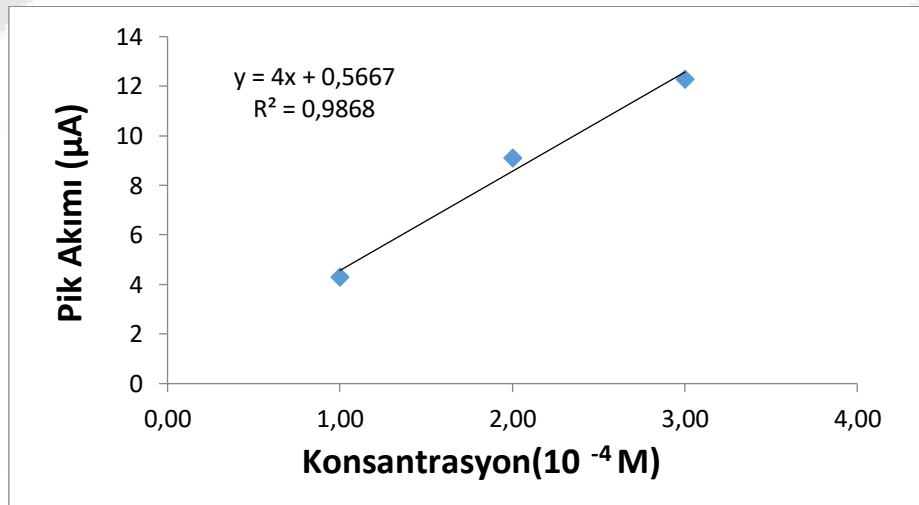


Metronidazol'un modifiye edilmiş GCE' de DPV tekniği kullanılarak fosfat tamponunda (pH=7) farklı konsantrasyonlarda alınan voltamogramları ve elde edilen veriler ile çizilen kalibrasyon grafiği sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmiştir. Konsantrasyona bağlı olarak elde edilen pik akımlarının doğrusal değişimin olduğu belirlendi.

Şekil 5. Metronidazol'un fosfat tamponunda (pH=7) DP voltamogramı (100mV/s); a) blank b) 10^{-4} M c) 2×10^{-4} M d) 3×10^{-4} M



Şekil 6. Metronidazol'un modifiye elektrot kullanılarak 0,1 M pH=7 fosfat tamponunda c- i_p grafiği



Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Metronidazol'un farklı pH ve tampon ortamlarındaki verileri bir bütünlük içerisinde değerlendirildiğinde, normal GCE pik çok küçük değere sahip olması modifiye GCE' de pik akım şiddetinin çok yüksek olması ve elde edilen kalibrasyon eğrisinin doğrusal değişimi kullanılan yöntemin analitik uygulamalar için uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sinop Üniversitesi bilimsel araştırma projeleri koordinatörlüğü tarafından FEF-1901-23-005 proje numarası ile desteklenmiştir.

4.KAYNAKLAR

- Ann Maria, C. G., Akshaya, K., Sherin, R., Varghesea, A., Georgea, L. (2020). Molecularly imprinted PEDOT on carbon fiber paper electrode for the electrochemical determination of 2,4-dichlorophenol. *Synthetic metals*. 261.
- Cosnier, S., Gondran, C., Wessel, R., Montforts, F. P., Wedel, M. (2000). Poly(pyrrole-metallodeutero porphyrin) electrodes: towards electrochemical biomimetic devices. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 488. 83-91.
- Deinhammer, R. S., Ho, M., Andereg, J. W., Porter, M. D. (1994). Electrochemical oxidation of amine-containing compounds - a route to the surface modification of glassy-carbon electrodes. *Langmuir*. 10. 1306-1313.
- Demirtas, C., Yilmaz, S., Saglikoglu, G., Sadikoglu, M. (2015). Electrochemical determination of phenazopyridine hydrochloride using poly(p-aminobenzene sulfonic acid) film modified glassy carbon electrode. *Int. J. Electrochem. Sci.* 10. 1883-1892.
- Huang, F., Jin, G., Liu, Y., Kong, J. (2008). Sensitive determination of phenylephrine and chlorprothixene at poly(4-aminobenzene sulfonic acid)-modified glassy carbon electrode. *Talanta*. 1435-1441.
- Jin, G., Zhang, Y. and Cheng, W. (2005). Poly(p-aminobenzene sulfonic acid)-modified glassy carbon electrode for simultaneous of dopamine and ascorbic Acid. *Sensors and Actuators B*. 107.528-534.
- Fang, B., Liu, H., Wang, G., Zhou, Y., Li, M., Yu, Y., Zhang, W., Jiao S., Gao X. (2007). Preparation of poly(9-aminoacridine)-modified electrode and its application in the determination of dopamine and ascorbic acid simultaneously. *Journal of Applied Polymer Science*. 104. 3864 3870.

Makale id= 15

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-1972-2700

| 111

Jacobsthal, Fibonacci ve Lucas Dizileri Arasındaki İlişki ve Matrisler Üzerinde UygulamalarAraştırmacı Barış Can Çakır¹¹Gazi Üniversitesi

Özet: Sayı dizileri ve matrisler, eski zamanlardan beri matematikçilerin ilgi odağı olmuştur. Bu çalışmada Jacobsthal sayı dizileri Fibonacci ve Lucas sayı dizileri yardımıyla incelenmiştir. Bu çalışma, Jacobsthal, Lucas, Jacobsthal - Lucas ve Fibonacci sayı dizilerinin iterasyon korelasyonları ve Binet formülleri ile başlamıştır. Daha sonra Jacobsthal sayı dizilerinin açılımları üzerine çeşitli uygulamalar yapılmış ve bu uygulamalar sonucunda Jacobsthal, Lucas ve Fibonacci sayıları arasında bir ilişki keşfedilerek genelleştirilmiştir. Aynı uygulamalar Jacobsthal-Lucas sayı dizileri için de yapıldı ve benzer şekilde Jacobsthal - Lucas, Lucas ve Fibonacci sayıları arasında bir ilişki bulundu. Son olarak, söz konusu sayı dizilerinin üreteç matrisleri üzerinde bu ilişkilerin belirtilmesi üzerinde çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fibonacci, Lucas, Sayı Dizisi, Jacobsthal, Üreteç Matrisi, Matris.

The Relation of Jacobsthal, Fibonacci and Lucas Number Sequences and Applications On Matrices

Abstract: Number sequences and matrices have been the focus of attention of mathematicians since ancient times. In this paper, Jacobsthal number sequences were studied with the help of Fibonacci and Lucas number sequences. This study started with the iteration correlations and Binet formulas of Jacobsthal, Lucas, Jacobsthal - Lucas and Fibonacci number sequences. Then, various applications were made on the expansions of Jacobsthal number sequences, and as a result of these applications, a relationship between Jacobsthal, Lucas and Fibonacci numbers was discovered and generalized. The same applications were made for the Jacobsthal - Lucas number sequences, and similarly, a relationship was found between the Jacobsthal, Lucas, and Fibonacci numbers. Finally, it was worked on specifying these relationships on the generator matrices of the mentioned number sequences.

Keywords: Fibonacci, Lucas, Number Sequence, Jacobsthal, Generator Matrice, Matrice.

1. INTRODUCTION**1.1 Fibonacci and Lucas Number Sequences**

Definition 1.1.1 $\{F_n\}_{n=0}^{\infty}$ is Fibonacci number sequence with $F_{n+1} = F_n + F_{n-1}$ recurrence relation for $F_0 = 0$ and $F_1 = 1$.

Binet formula for Fibonacci sequence is

$$F_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta}$$

for

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}, \quad \beta = \frac{1 - \sqrt{5}}{2}.$$

so

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{F_{n+1}}{F_n} = \alpha$$

can be seen easily. α is golden ratio.

Genetating function is

$$g(x) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n x^n = \frac{x}{1-x-x^2}$$

| 112

and the Simpson formula is defined with

$$F_{n+1}F_{n-1} - F_n^2 = (-1)^n.$$

Then the partial summ is

$$\sum_{k=1}^n F_k = F_{n+2} - 1$$

(Koshy, 2001:70).

Definition 1.1.2 $\{L_n\}_{n=0}^{\infty}$ is Lucas number sequence with $L_{n+1} = L_n + L_{n-1}$ recurrence relation for $L_0 = 2$ and $L_1 = 1$.

Binet formula for Lucas sequence is

$$L_n = \alpha^n + \beta^n$$

for

$$\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}, \quad \beta = \frac{1-\sqrt{5}}{2}.$$

So

$$g(x) = \sum_{n=1}^{\infty} L_n x^n = \frac{2x^2 + x}{1-x-x^2}$$

is the generating function for Lucas sequence and the Simpson formula is

$$L_{n+1}L_{n-1} - L_n^2 = 5(-1)^n.$$

then the partial summ is defined with

$$\sum_{n=1}^{\infty} L_k = L_{n+2}$$

(Koshy, 2001:70).

1.2 Jacobsthal and Jacobsthal Lucas Numbes Sequences

Definition 1.2.1 $\{J_n\}_{n=0}^{\infty}$ is Jacobsthal number sequence with $J_{n+1} = J_n + 2J_{n-1}$ recurrence relation for $J_0 = 0$ and $J_1 = 1$.

Binet formula for Jacobsthal sequence is

$$J_n = \frac{x_1^n - x_2^n}{x_1 - x_2} = \frac{2^n - (-1)^n}{3}$$

for x_1, x_2 which are the roots of

$$x^2 - x - 2 = 0.$$

So

$$g(x) = \sum_{k=0}^{\infty} J_k x^k = \frac{x}{1-x-2x^2}$$

is the generating function for Jacobsthal sequence (Horadam, 1996:40).

Definition 1.2.2 $\{j_n\}_{n=0}^{\infty}$ is Jacobsthal Lucas number sequence with $j_{n+1} = j_n + 2j_{n-1}$ recurrence relation for $j_0 = 2$ and $j_1 = 1$.

| 113

Binet formula for Jacobsthal Lucas sequence is

$$j_n = x_1^n + x_2^n = 2^n + (-1)^n$$

for x_1, x_2 which are the roots of

$$x^2 - x - 2 = 0.$$

So

$$g(x) = \sum_{k=0}^{\infty} j_k x^k = \frac{2-x}{1-x-2x^2}$$

is the generating function for Jacobsthal Lucas sequence (Horadam, 1996:40).

2. RELATIONS OF JACOBSTHAL, JACOBSTHAL LUCAS, FIBONACCI AND LUCAS SEQUENCES

There are the elements of this number sequences:

Table 2.1 The Elements of the Sequences

n	0	1	2	3	4	5	6	7	...
F_n	0	1	1	2	3	5	8	13	...
L_n	2	1	3	4	7	11	18	29	...
J_n	0	1	1	3	5	11	21	43	...
j_n	2	1	5	7	17	31	65	126	...

Then;

$$\begin{aligned}
 J_{n+1} &= J_n + 2J_{n-1} \\
 &= (J_{n-1} + 2J_{n-2}) + 2J_{n-1} \\
 &= 3J_{n-1} + 2J_{n-2} \\
 &= 0J_n + 3J_{n-1} + 2J_{n-2} \\
 &\quad (= F_0J_n + L_2J_{n-1} + 2F_2J_{n-2})
 \end{aligned}$$

equality is reached. As noted above in parentheses, the coefficients of the terms on the right side of this equation could be written as terms of the Fibonacci and Lucas number sequences. The next step to be taken is; Writing the Lucas number multiplier term on the right side of the equation as the sum of two terms, so that the multiplier of one of these two terms is the Fibonacci number after the Fibonacci number multiplier of the previous term:

$$= 0J_n + J_{n-1} + 2J_{n-1} + 2J_{n-2}$$

and when the other of these two terms is opened according to the Jacobsthal number sequence and the equation is arranged

$$= 0J_n + J_{n-1} + 2(J_{n-2} + 2J_{n-3}) + 2J_{n-2}$$

$$\begin{aligned}
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 4J_{n-2} + 4J_{n-3} \\
&\quad (= F_0J_n + F_1J_{n-1} + L_3J_{n-2} + 2F_3J_{n-3})
\end{aligned}$$

is found. If the above process pattern is repeated and applied on the equality;

$$\begin{aligned}
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 1J_{n-2} + 3(J_{n-3} + 2J_{n-4}) + 4J_{n-3} \\
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 1J_{n-2} + 7J_{n-3} + 6J_{n-4} \\
&\quad (= F_0J_n + F_1J_{n-1} + F_2J_{n-2} + L_4J_{n-3} + 2F_4J_{n-4}) \\
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 1J_{n-2} + 2J_{n-3} + 5(J_{n-4} + 2J_{n-5}) + 6J_{n-4} \\
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 1J_{n-2} + 2J_{n-3} + 11J_{n-4} + 10J_{n-5} \\
&\quad (= F_0J_n + F_1J_{n-1} + F_2J_{n-2} + F_3J_{n-3} + L_5J_{n-4} + 2F_5J_{n-5}) \\
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 1J_{n-2} + 2J_{n-3} + 3J_{n-4} + 8(J_{n-5} + 2J_{n-6}) + 10J_{n-5} \\
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 1J_{n-2} + 2J_{n-3} + 3J_{n-4} + 18J_{n-5} + 16J_{n-6} \\
&\quad (= F_0J_n + F_1J_{n-1} + F_2J_{n-2} + F_3J_{n-3} + F_4J_{n-4} + L_6J_{n-5} + 2F_6J_{n-6}) \\
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 1J_{n-2} + 2J_{n-3} + 3J_{n-4} + 5J_{n-5} + 13(J_{n-6} + 2J_{n-7}) + 16J_{n-6} \\
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 1J_{n-2} + 2J_{n-3} + 3J_{n-4} + 5J_{n-5} + 29J_{n-6} + 26J_{n-7} \\
&\quad (= F_0J_n + F_1J_{n-1} + F_2J_{n-2} + F_3J_{n-3} + F_4J_{n-4} + F_5J_{n-5} + L_7J_{n-6} + 2F_7J_{n-7}) \\
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 1J_{n-2} + 2J_{n-3} + 3J_{n-4} + 5J_{n-5} + 8J_{n-6} + 21(J_{n-7} + 2J_{n-8}) + 26J_{n-7} \\
&= 0J_n + 1J_{n-1} + 1J_{n-2} + 2J_{n-3} + 3J_{n-4} + 5J_{n-5} + 8J_{n-6} + 47J_{n-7} + 42J_{n-8} \\
&\quad (= F_0J_n + F_1J_{n-1} + F_2J_{n-2} + F_3J_{n-3} + F_4J_{n-4} + F_5J_{n-5} + F_6J_{n-6} + L_8J_{n-7} + 2F_8J_{n-8}) \\
&\vdots
\end{aligned}$$

format, which is a relationship between three sequences of numbers

$$J_{n+1} = \sum_{i=0}^{k-2} (F_i J_{n-i+2} + L_k J_{n-k+1} + 2F_k J_{n-k}) \quad (1)$$

is achieved.

Also the equation to be obtained by applying the same operations to the terms of the Jacobsthal Lucas, Lucas and Fibonacci number sequences is

$$j_{n+1} = \sum_{i=0}^{k-2} (F_i j_{n-i+2} + L_k j_{n-k+1} + 2F_k j_{n-k}) \quad (2)$$

3. GENERATING MATRICES OF JACOBSTHAL, JACOBSTHAL LUCAS, FIBONACCI AND LUCAS SEQUENCES

Theorem 3.1 2×2 sized F matrix is generating matrix for Jacobsthal sequence that

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_2 & 2J_1 \\ J_1 & 2J_0 \end{bmatrix}$$

and

$$F^n = \begin{bmatrix} J_{n+1} & 2J_n \\ J_n & 2J_{n-1} \end{bmatrix}$$

(Uygun, 2013:29). Similarly, 2×2 sized E matrix is generating matrix for Jacobsthal Lucas sequence that

$$E = \begin{bmatrix} 5 & 2 \\ 1 & 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j_2 & 2j_1 \\ j_1 & 2j_0 \end{bmatrix}$$

and

$$E^n = \begin{cases} 3^{n-1} \begin{bmatrix} j_{n+1} & 2j_n \\ j_n & 2j_{n-1} \end{bmatrix}, & n \text{ is odd} \\ 3^n \begin{bmatrix} j_{n+1} & 2j_n \\ j_n & 2j_{n-1} \end{bmatrix}, & n \text{ is even} \end{cases}$$

| 115

(Köken & Bozkurt, 2008:1629).

Theorem 3.2 2x2 sized Q matrix is generating matrix for Fibonacci sequence that

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_2 & F_1 \\ F_1 & F_0 \end{bmatrix}$$

and

$$Q^n = \begin{bmatrix} F_{n+1} & F_n \\ F_n & F_{n-1} \end{bmatrix}$$

(Kumar & Sahani, 2024:71). Similarly, 2x2 sized C matrix is generating matrix for Lucas sequence that

$$C = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_2 & C_1 \\ C_1 & C_0 \end{bmatrix}$$

and

$$C^n = \begin{cases} 5^{\frac{n-1}{2}} \begin{bmatrix} L_{n+1} & L_n \\ L_n & L_{n-1} \end{bmatrix}, & n \text{ is odd} \\ 5^{\frac{n}{2}} \begin{bmatrix} F_{n+1} & F_n \\ F_n & F_{n-1} \end{bmatrix}, & n \text{ is even} \end{cases}$$

(Köken & Bozkurt, 2010:471).

4. AN APPLICATION WITH THE GENERATING MATRICES OF JACOBSTHAL, JACOBSTHAL LUCAS, FIBONACCI AND LUCAS SEQUENCES

The equality (1) can be used in n 'th powers of generating matrix of Jacobsthal sequence. So

$$\begin{aligned} F^n &= \begin{bmatrix} J_{n+1} & 2J_n \\ J_n & 2J_{n-1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^{k-2} (F_i J_{n-i+2} + L_k J_{n-k+1} + 2F_k J_{n-k}) & 2 \sum_{i=0}^{k-2} (F_i J_{n-i+1} + L_k J_{n-k} + 2F_k J_{n-k-1}) \\ \sum_{i=0}^{k-2} (F_i J_{n-i+1} + L_k J_{n-k} + 2F_k J_{n-k-1}) & 2 \sum_{i=0}^{k-2} (F_i J_{n-i} + L_k J_{n-k-1} + 2F_k J_{n-k-2}) \end{bmatrix} \\ &= \sum_{i=0}^{k-2} \begin{bmatrix} F_i J_{n-i+2} + L_k J_{n-k+1} + 2F_k J_{n-k} & 2(F_i J_{n-i+1} + L_k J_{n-k} + 2F_k J_{n-k-1}) \\ F_i J_{n-i+1} + L_k J_{n-k} + 2F_k J_{n-k-1} & 2(F_i J_{n-i} + L_k J_{n-k-1} + 2F_k J_{n-k-2}) \end{bmatrix} \\ &= \sum_{i=0}^{k-2} \left\{ \begin{bmatrix} F_i J_{n-i+2} & 2F_i J_{n-i+1} \\ F_i J_{n-i+1} & 2F_i J_{n-i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_k J_{n-k+1} & 2L_k J_{n-k} \\ L_k J_{n-k} & 2L_k J_{n-k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2F_k J_{n-k} & 4F_k J_{n-k-1} \\ 2F_k J_{n-k-1} & 4F_k J_{n-k-2} \end{bmatrix} \right\} \\ &= \sum_{i=0}^{k-2} \left\{ F_i \begin{bmatrix} J_{n-i+2} & 2J_{n-i+1} \\ J_{n-i+1} & 2J_{n-i} \end{bmatrix} + L_k \begin{bmatrix} J_{n-k+1} & 2J_{n-k} \\ J_{n-k} & 2J_{n-k-1} \end{bmatrix} + 2F_k \begin{bmatrix} J_{n-k} & 2J_{n-k-1} \\ J_{n-k-1} & 2J_{n-k-2} \end{bmatrix} \right\} \end{aligned}$$

$$= \sum_{i=0}^{k-2} \{F_i F^{n-i+1} + L_k F^{n-k} + 2F_k F^{n-k+1}\}$$

is found. Equality (2) can be used with the same way on the generating matrix of Jacobsthal Lucas sequence. So

$$E^n = \begin{cases} 3^{n-1} \sum_{i=0}^{k-2} \{F_i E^{n-i+1} + L_k E^{n-k} + 2F_k E^{n-k+1}\}, & n \text{ is odd} \\ 3^{n-1} \sum_{i=0}^{k-2} \{F_i F^{n-i+1} + L_k F^{n-k} + 2F_k F^{n-k+1}\}, & n \text{ is even} \end{cases}$$

| 116

is achieved.

5. CONCLUSION AND DISCUSSION

At the end of this study, one of the relationships between the Fibonacci, Lucas and Jacobsthal (also Jacobsthal Lucas) number sequences was seen. In future studies, it can be investigated whether the generalized versions of these number sequences have a similar relationship. Similar to the findings of this study, different results can be found with different sequences of numbers. Considering the importance of number sequences for science and their effectiveness in applications, every finding obtained is intriguing.

6. REFERENCES

- Horadam, A. F. (1996). Jacobsthal Representation Numbers. *Fibonacci Quarterly*, 40-54.
- Koshy, T. (2001). *Fibonacci and Lucas Numbers with Applications*. John Wiley & Sons.
- Köken, F., & Bozkurt, D. (2008). On the Jacobsthal-Lucas Numbers by Matrix Method. *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences* 3(13), s. 1629-1633.
- Köken, F., & Bozkurt, D. (2010). On Lucas Numbers By The Matrix Method. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics* 39(4), s. 471-475.
- Kumar, N. K., & Sahani, S. K. (2024, 12 19). MATRICES OF FIBONACCI NUMBERS. *Mikailalsys Journal of Mathematics and Statistics*, s. 71-80.
- Uygun, Ş. (2013, 04 10). *Jacobsthal Matris Dizisi ve Özellikleri*. 02 15, 2020 tarihinde Selçuk Üniversitesi Dijital Arşiv Sistemi: <http://acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr> adresinden alındı

Makale id= 20

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0007-5895-3268

| 117

Telekomünikasyon Merkezi Şebekelerinde LSTM Model ile Anomali Tespiti, Tahminlemesi ve Bazı Denetimsiz Öğrenme Metotları ile Kıyaslanması**Araştırmacı Samed Çalık¹, Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Ali Ergün¹**¹İstanbul Teknik Üniversitesi

*Corresponding author: Samed Çalık

Özet: Bu çalışmanın amacı, telekomünikasyon merkezi şebekelerinde ses ve multimedya servislerinin yönetildiği IMS (IP Multimedia Subsystem) altyapısında meydana gelen anomalileri, tekrarlayan sinir ağı (RNN) modellerinden biri olan LSTM modelini kullanarak tespit ve tahmin etmek ve bu yöntemi bazı denetimsiz öğrenme teknikleriyle karşılaştırmaktır. IMS altyapısı, 4G ve 5G şebekelerinde ses ve diğer multimedya hizmetlerini (görüntülü arama, SMS gibi) sağlayan teknolojinin adıdır. Bu ağda meydana gelebilecek anomaliler aboneleri önemli ölçüde etkileyerek kritik hizmet kesintilerine ve yoğun şikayetlere neden olabilir. Anomalilerin erken tespiti, etkileri büyümeden önlem almak için kritik önem taşımaktadır. Zaman serisi olarak takip ettiğimiz sayaçlar ve anahtar performans göstergeleri (KPI) ile oluşan verilerin anomali tespitinde kullanıldığı durumda LSTM model ön plana çıkmaktadır. Bunun yanı sıra anomalilerin seyrek görülmesi, modelin mevcut verilerle eğitilmesini zorlaştıracağından, alternatif olarak denetimsiz öğrenme tekniklerinin kullanılması da uygun görünmektedir. Bu bağlamda amaç, öncelikle LSTM modeli ile anomalileri tespit ve tahmin etmek, ardından modelin başarısını Graph-Based, LOF ve DBSCAN gibi denetimsiz öğrenme teknikleri ile karşılaştırmaktır.

Anahtar Kelimeler: Anomali Tespiti, IMS, LSTM, Graph-Based, DBSCAN, LOF

Anomaly Detection and Prediction in Core Networks With the Lstm Model and Comparing Various Unsupervised Learning Methods

Abstract: The aim of this study is to detect and predict anomalies occurring in the IMS (IP Multimedia Subsystem) infrastructure, where the voice network is managed in the core networks of telecommunication services, using the LSTM model, one of the recurrent neural network (RNN) models, and to compare this method with some unsupervised learning techniques. IMS is the name of the technology that provides voice and other multimedia services (such as video calling, SMS) in 4G and 5G networks. Anomalies in this network can significantly affect subscribers, causing critical service interruptions and massive complaints. Early detection of anomalies is critical to take action before their impact grows. The LSTM model comes to the forefront when the data generated by the counters and key performance indicators (KPIs) that we track as time series are used for anomaly detection. In addition, since the infrequent occurrence of anomalies makes it difficult to train the model with the available data, it seems appropriate to use unsupervised learning techniques as an alternative. In this context, the aim is to first detect and predict anomalies with the LSTM model, and then compare the success of the model with unsupervised learning techniques such as Graph-Based, LOF and DBSCAN.

Keywords: Anomaly Detection, IMS, LSTM, Graph-Based, DBSCAN, LOF

1 INTRODUCTION

In today's telecommunications organisations, ensuring network reliability and performance is critical to maintaining communications services and providing a seamless experience for subscribers. Developments in mobile technologies are bringing exceptional new services to subscribers. At the same time, they are creating complex networks for network administrators. Every new generation brings new

function to manage (Figure 1). And also with network virtualisation, conteanirisation and microservice architecture, these administrators need to manage hundreds or thousands of virtual machines and services.



Figure 1. Mobile Core Network Functions

IMS (IP Multimedia Subsystem) is a key technology in 4G and 5G networks, enabling voice and other multimedia services such as video calling and rich communication services (RCS). The delivery of critical services such as VoLTE (Voice Over LTE) makes this network technology extremely important. A leak in this part of the network can cause critical service interruptions, negatively impacting subscribers and causing widespread complaints. Early detection of the anomalies that cause these network leaks is critical for proactive maintenance and minimising service interruptions.

Network anomaly detection goals to detect data patterns that do not match the expected normal behaviour on the network. Traditional threshold-based or rule-based anomaly detection is insufficient due to the diverse and dynamic behaviour of networks. There is a need for advanced machine learning (ML)-based techniques to improve reliability.

There are three types of ML techniques, including supervised, semi-supervised and unsupervised. The concept of supervised learning is to train the detection model using labelled data for normal and anomalous events. Few anomalies occur in core networks, so finding labelled data to train the model is almost impossible. For this reason, supervised learning cannot be of much use. Two options remain: semi-supervised and unsupervised.

Semi-supervised learning uses normal data to train model and to learn the normal pattern of network events. Then, the data containing both normal and abnormal events is tested using the trained model. In this study, we used the Long Short-Term Memory (LSTM) model to detect anomalies. It is a type of Recurrent Neural Networks (RNN) model and highly recommended for time series data.

Unlike the other two methods, unsupervised learning does not require labelled data for training. Most unsupervised methods aim to organise the data into separate clusters. This is done by grouping the data based on similarities within each cluster (Elsayed, et al., 2020). The main challenge with this type of method is that it always requires expertise to interpret and label the classes, and the performance of these methods is highly dependent on the metrics. In this study, we also used some unsupervised learning methods to compare the success of the LSTM model on some performance metrics.

2 LITERATURE REVIEW

As mentioned above, there are many different techniques that can be used to detect network anomalies. Some of them are traditional techniques and not suitable for today's technology. For example, Akbar (2008) studied anomaly detection in IMS. They use adaptive threshold, cumulative sum and Hellinger distance algorithms for SIP flooding attacks. This work is so valuable, but today the algorithms seem old-fashioned and could not detect all anomalies. Moreover, security attacks are not the only concern in

IMS. Most of the time, the reason for a network leakage can be an application bug or a hardware problem.

Elsayed (2020) also studied security attacks leading to network anomalies. The good thing in this study is to use LSTM model and it seems to perform well. The study shows that hybrid model with OCSVM provide better performance than separate OCSVM model. In our work, we differ, some other unsupervised learning models (etc, DBSCAN, LOF) are given more realistic results when compared with OCSVM.

| 119

In very recent studies, Gopikrishnan (2023) and Vinh (2024) use LSTM model with good reasons for 5G core network anomaly detection. I have inspired them to use this model for IMS. The other difference between us is that they use CPU memory values and error codes in their work, while I use some voice call KPIs like call attempt and simultaneous call session.

3 MATERIAL AND METHODS

3.1 Dataset

A time series dataset is used in this study. The dataset contains busy hour call attempt (BHCA) values for different network elements in the interval of 5 minutes. The dataset used in the study has the following characteristics (Figure 2). A different dataset was also used for training at LSTM.

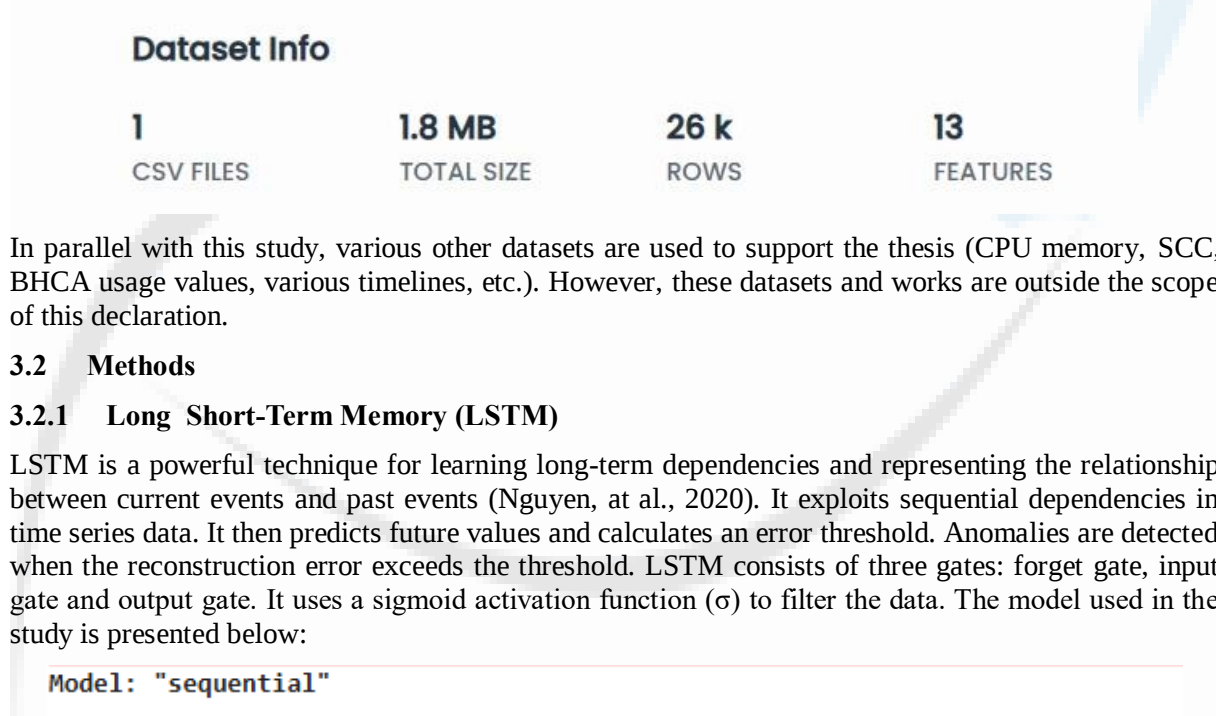


Figure 2. LSTM Model

3.2.2 Unsupervised Learning Methods

Some unsupervised learning methods and a short description of them are given below. They were used in this study for comparison with the LSTM model.

- DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise): This is a density-based clustering approach for anomaly detection.
- LOF (Local Outlier Factor): It identifies anomalies using local density variations.
- Graph-Based Anomaly Detection: It detects communities to identify network anomalies.

| 120

4 EVALUATION AND RESULTS

The performance of the models is evaluated in two ways. The first one is using some metrics including precision, recall, F1 score and accuracy. The second one is practical results.

The mathematical representation of these metrics are calculated according to the confusion matrix as follows:

$$Precision = \frac{TP}{(TP+FP)}, Recall = \frac{TP}{(TP+FN)}$$

$$F1\ Score = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall}, Accuracy = \frac{TP+TN}{(TP+TN+FP+FN)}$$

The results have been received on the study:

Model Comparison:

Model	Precision	Recall	F1	Accuracy
LSTM	0.76	0.93	0.83	1.00
Graph	0.58	0.79	0.67	1.00
DBSCAN	0.79	0.90	0.84	1.00
LOF	0.85	0.38	0.52	1.00

Table 1. Model Comparison with Metrics

According to these results, the LSTM model is powerful and provides good results for network anomaly detection. On the other hand, some unsupervised learning methods, especially DBSCAN, seem to be as powerful as the LSTM model.

In practical terms, if all results are carefully examined, LSTM models can find more complex patterns and anomalies. And show at least one anomaly for an anomaly time slot. Practically, using the LSTM model seems to give more confidence when operating a network.

The table below shows the advantages and disadvantages of the models when compared across all aspects.

Model Comparison	Advantage	Disadvantage
LSTM	Learns complex temporal patterns well Learns long-term dependencies in time-series data	Requires training. Computationally expensive
Graph-Based	Detects structural anomalies Reveal relationships between anomalies	Performance depends on metric choice Computationally expensive
DBSCAN	Works well for detecting anomalies in clustering-based data.	Sensitive to hyperparameters
LOF	Easy to implement and run	Performance depends on the number of neighbors
Z-Score, IF	Good for basic anomalies Easy to implement and run	Bad at complex anomalies and extreme values Not much suitable for time series data

Table 2. Model Comparison with Adv.&Disadv.

5 CONCLUSION

As a result, both semi-supervised and unsupervised learning methods can be used for network anomaly detection. Although it requires training and is computationally expensive, the LSTM model seems to give better results when we compare unsupervised learning methods, especially for complex patterns. Some of the unsupervised models (DBSCAN, Graph-based, LOF) performed well on complex anomalies but required fine tuning. Some of them (Z-score, IF) performed well only on simple anomalies. They are not good for complex anomalies.

As a feature work, hybrid models can be tried by combining deep learning and clustering techniques.

6 REFERENCES

- AKBAR, M.A. & TARIQ, Z. & FAROOQ, M. (2008). "A Comparative Study of Anomaly Detection Algorithms for Detection of SIP Flooding in IMS", Islamabad, Pakistan.
- ELSAYED, M.S. & LE-KHAC, N. & DEV, S. & JURCUT, A.D. (2020). "Network Anomaly Detection Using LSTM Based Autoencoder", Alicante, Spain.
- GOPIKRISHNAN, A. & PRAKASH, A. & HEIN, C. & MOßNER, K. & CORICI, M. & MAGEDANZ, T. & FOKUS, F. (2023). "Anomaly Detection using a Semi-Supervised Deep Learning Model on Open 5G Core Metrics during User-Equipment Registration", Berlin, Germany
- NGUYEN, H. & TRAN, K.P. & THOMASSEY, S. & HAMAD, M. (2020). "Forecasting and Anomaly Detection approaches using LSTM and LSTM Autoencoder techniques with the applications in Supply Chain Management", International Journal of Information Management, France.
- VINH, T.Q. & QUAN, D.V. & THANH, D.N. & TRUNG, L.Q. & HOUNG, T.T. (2024). "An Efficient Lightweight Anomaly Detection for 5G Core Network", Hanoi, Vietnam.

Makale id= 23

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-2164-6129

| 122

Elektrik Araçlar ve Otomotiv Sektörüne Yönelik Karbon Fiber Takviyeli Polimer Matrisli Kompozit Malzeme Uygulamaları**Doç.Dr. Hediye Aydın¹**

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, hediye.aydin@dpu.edu.tr

Özet: Otomotiv sektörü, gerek tüketicileri gerek iklimi etkileyen kritik zorlukları ele almak amacıyla önemli bir dönüşüm içindedir. Bu dönüşümün en zorlu görevlerinden biri, enerji tüketimini en aza indirmek için araç ağırlığını azaltmaktır. Araç ağırlığında %10'luk bir azalma, enerji tüketiminde %6 ila %8 arasında bir düşüş sağlayacağı öngörülmektedir. Bu anlamda mukavemet/ağırlık oranı daha yüksek olan kompozit malzemeler en iyi seçeneklerden biridir. Otomotiv sektöründe kompozit malzemelerin kullanımı, elektrikli araçların ağırlığını azaltmanın yanı sıra aerodinamik özelliklerini de etkilemektedir. Bu sayede yakıt tüketimi azalırken zararlı emisyonlar ve partikül madde miktarı da düşürülebilir. Son on yılda, otomotiv kuruluşları ve araştırmacılar tarafından bu tür teknolojiler üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle cam ve karbon fiber esaslı fiber takviyeli polimerler, yüksek performansları ve düşük ağırlıkları nedeniyle otomotiv sektörünün dikkatini çekmiştir. Bu çalışmada, karbon fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerin elektrikli araçlar ve otomobillerdeki uygulamaları detaylı literatür verileriyle ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Polimer matrisli kompozitler, Elektrikli araçlar, Uygulama alanları, Otomotiv sanayi

Carbon Fibre Reinforced Polymer Matrix Composite Material Applications for Electric Vehicles and Automotive Industry

Abstract: The automotive industry is transforming significantly to address critical challenges affecting consumers and the climate. One of the most challenging tasks of this transformation is to reduce vehicle weight to minimize energy consumption. An estimated ten percent reduction in vehicle weight will lead to a six to eight percent reduction in energy consumption. In this sense, composite materials with a higher strength-to-weight ratio are among the best options. The use of composite materials in the automotive sector affects the aerodynamic properties of electric vehicles and reduces their weight. This way, fuel consumption, emissions, and particulate matter can be reduced. In the last decade, automotive organizations and academic researchers have conducted many studies on such technologies. Glass and carbon fiber based fiber reinforced polymers have attracted the attention of the automotive industry mainly due to their high performance and low weight. This study discusses carbon fibre reinforced polymer matrix composites' applications in electric vehicles and automobiles with detailed literature data.

Keywords: Polymer Matrix Composites, Electric Vehicles, Application Areas, Automotive Industry

1. Giriş

Kompozit malzemeler, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olan iki veya daha fazla bileşen malzemenin bir araya getirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Bu bileşenler genellikle metal, seramik veya polimerik yapılar olup, temel malzeme olarak işlev görmektedir. Kompozit malzemeler, geliştirilmiş mekanik özelliklere sahip ürünler olarak tanımlanmaktadır ve genellikle birden fazla malzemenin birleşimiyle elde edilmektedir (Kumar ve ark., 2013). Bu kombinasyon, kompozitlerin tek tek bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip olmasına olanak tanımaktadır. Kompozitler, yoğunlukla geleneksel malzemelerle kıyaslandığında daha yüksek özgül mukavemete, daha düşük ağırlığa ve

korozyona karşı daha yüksek direnç gibi üstün özellikler sunacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu malzemelerin yüksek mukavemeti, yüksek yorulma direnci, gelişmiş fiziksel özellikler, azaltılmış kütle ve üstün yüzey hassasiyeti gibi avantajları bulunmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde, kompozit malzemeler genellikle geleneksel metallerden daha hafif olmalarıyla dikkat çekmektedir. Özellikle karbon fiber takviyeli polimer esaslı kompozit malzemeler, otomotiv, havacılık, savunma sanayi ve spor ürünleri gibi çeşitli alanlarda en yüksek performansa sahip kompozitler arasında yer almaktadır (Singh ve ark., 2021). Geleneksel otomobillerde, metaller genellikle aracın temel yapısını oluştururken, bazı iç bileşenler kompozit malzemelerden imal edilmektedir. Ancak son yıllarda, karbon fiber takviyeli kompozitler, maliyetleri yüksek olmasına rağmen, araçların ağırlığını azaltmak amacıyla geleneksel metallerin yerine kullanılabilen en uygun malzeme olarak kabul edilmektedir (Abdallah ve ark., 2013; Bajpai ve ark., 2014).

Karbon fiber, çoğunlukla karbon atomlarından oluşur ve yaklaşık 5 ila 10 mm çapındadır. Karbon fiberin başlıca avantajları arasında yüksek çekme dayanımı, düşük ağırlık, yüksek sertlik, yüksek kimyasal direnç, düşük termal genleşme ve yüksek sıcaklık toleransı bulunmaktadır. Bu özellikleri sayesinde karbon fiber, inşaat mühendisliği, havacılık, motor sporları, savunma sanayii ve çeşitli spor ekipmanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, karbon fiber plastik fiber veya cam fiber gibi diğer liflere kıyasla nispeten daha pahalıdır. Aynı zamanda, karbon fiberler "grafit lifler" olarak da bilinmektedir (Fuchs ve ark., 2008).

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, mikroyapısı ve yüzey morfolojisi, alüminyum alaşımlarına kıyasla daha fazla iyileştirilebilir (Miracle, 2005). Genel olarak, otomotiv sektöründeki uygulamalar için kompozit malzemeler istisnai bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Divagar ve ark., 2016). Elektrikli araçlarda, çelik ve dökme demir gibi malzemeler genellikle aracın toplam ağırlığının yaklaşık yarısını oluştururken, alüminyum alaşımları toplamın yaklaşık % 9'unu, plastikler % 11'ini ve kauçuk malzemeler ise % 3'ünü oluşturmaktadır (Ahmad ve ark., 2020). Bugün, endüstriler yenilenebilir kaynakların kullanımına ve çevre dostu, geri dönüştürülebilir ve daha az zararlı küresel etkisi olan malzemelerin kullanımına odaklanmaktadır (Fantuzzi ve ark., 2021). Emisyonların ve yakıt tüketiminin azaltılması, otomotiv sektörünün karşılaştığı başlıca zorluklardan bazılarıdır.

1.1. Elektrikli Araçlar

Fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi, çevreye büyük miktarda sera gazı salınımına yol açmakta, bu da çevresel etkileri azaltma amacıyla elektrikli araçlara olan talebin giderek arttığı bir durumu tetiklemektedir. Bu talep, enerji tüketimindeki artışla paralel olarak sürekli bir yükseliş göstermektedir. Yüksek yakıt fiyatları ve çevresel kaygılar, tüketicileri elektrikli araçlara yönlendiren başlıca faktörlerdir. Bu durum, küresel çapta elektrikli araç kullanımına olan talebin artmasına yol açmaktadır. Elektrikli araçlar, hibrit şarj imkânı sunan lityum-iyon bataryalarla çalışmaları ve daha düşük ağırlıklara sahip olmaları nedeniyle fosil yakıtlı araçlara karşı sürdürülebilir bir alternatif oluşturmaktadır.

Birçok araç kiralama şirketi, içten yanmalı motorlu araçları elektrikli araçlarla değiştirme yönünde adımlar atmaktadır. Enerji verimliliği sorunlarına çözüm sağlamak amacıyla yapılan araştırmalarda, araç bileşenlerinin değiştirilmesi önerilmektedir. Bu değişiklikler, alternatif hafif malzemelerin kullanımıyla aracın ağırlığının azaltılmasını ve dolayısıyla yakıt ekonomisinin iyileştirilmesini hedeflemektedir (White, 2013; Frost ve Sullivan, 2009; Jasinski ve ark., 2015; Ghassemieh, 2011). Araç ağırlığındaki her 10 kg'lık azalma, 1 g/km'lik bir karbon emisyonu düşüşü ve bunun sonucunda yakıt tüketiminde bir azalma sağlamaktadır. Bu nedenle, hafifletme stratejileri, yakıt talebini azaltmak ve emisyonları düşürmek amacıyla etkin bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Hafifletme, aracın boyutunu koruyarak, tüketici ihtiyaçlarını güvence altına alırken, bileşenlerin yeniden tasarımı ve malzeme ikamesi yoluyla aracın kütlesinin azaltılmasını hedeflemektedir (Volkswagen, 2008; Mercedes-Benz, 2022; Finkbeiner ve Hoffmann, 2006; Delogu ve ark., 2015). Bu, elektrikli araçlar ile hafif tasarımın bir arada kullanılarak çevresel etkilerin azaltılmasındaki potansiyeli yansıtmaktadır. Ayrıca, hafif malzemelerin kullanımının maliyet açısından faydalı olabileceği öngörülmektedir, çünkü kütle azaltımı ile performans artışları sağlanabilir; örneğin, sürüş mesafesi artırılabilen ve batarya boyutu küçültülebilmektedir (Del Pero ve ark., 2017; Bein ve ark., 2016).

Bu nedenle, kompozit malzemeler, geliştirilmiş mekanik özellikleri sayesinde hafif bileşenlerin üretimi için potansiyel malzeme olarak seçilmektedir. Araç ağırlığını azaltma ve üretim maliyetlerini düşürme

yönündeki çabalar sürekli olarak ilerlemektedir. Bu çabalar, karbon fiber gibi hafif malzemelerin üretimi için sürekli fiber takviyeli polimer matrisli kompozit (CFRP) gibi malzemelerin kullanımıyla desteklenmektedir. Karbon fiber bileşenleri, geleneksel malzemelere kıyasla daha yüksek mukavemet, düşük ağırlık, titreşime karşı üstün direnç, daha yüksek sertlik ve artan yorulma ile korozyon direnci gibi önemli avantajlar sunmaktadır (Bhatt ve Goe., 2022).

Son birkaç yıl içinde, Çin, karbon elyaf ve kompozit malzemeler üzerine yapılan araştırmalarını önemli ölçüde artırmıştır (Wazeer ve ark., 2023). Ancak, otomotiv sektöründe bu malzemelerin kullanımı, hâlâ havacılık ve uzay sektörlerinin gerisinde kalmaktadır. Genel olarak, bu alandaki çalışmalar sınırlı sayıda olup, elektrikli araçlara yönelik artan talebi karşılamak amacıyla daha fazla gelişmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Egede, 2017). Elektrikli araçlar ve otomobil sektörüyle ilgili istatistikler incelendiğinde, 2020 yılında uluslararası binek elektrikli araç pazarının yaklaşık 120,81 milyar ABD doları değerinde olduğu tahmin edilmektedir. 2021-2028 döneminde bu pazarın yıllık yaklaşık %32,5'lik bir bileşik büyüme oranıyla genişlemesi beklenmektedir. Ancak, COVID-19'un etkisiyle 2020'nin ilk yarısında küresel binek otomobil satışlarında önemli bir düşüş yaşanmış olup, sektör, karantina önlemlerinin ardından toparlanmaya başlamıştır. Bununla birlikte, 2020 yılı itibarıyla pazar, 2019'a kıyasla yaklaşık %40 artarak yaklaşık 3,0 milyon adede ulaşmış ve önemli bir büyüme kaydetmiştir. Çin, 2020 yılında dünya çapında elektrikli otomobil satışlarının yaklaşık %30'unu gerçekleştirmiştir. Ayrıca, müşteri talebindeki öngörülebilir artış ve büyüyen kamu elektrikli araç şarj ağlarının desteğiyle sektörün hızla ivme kazanması beklenmektedir.

Bataryalı elektrikli araçlar, 2020'de gelirlerin %60'ından fazlasını oluşturarak en büyük pazar payına sahip olmuş ve bu liderliğini öngörülen dönemde de sürdüreceği tahmin edilmektedir. ABD'de 2021 itibarıyla 15'ten fazla farklı bataryalı elektrikli araç modeli sunulmaktadır. Söz konusu araçların menzil kaygısı nedeniyle plug-in hibrit elektrikli araçlara (PHEV'ler) göre daha hızlı büyümesi beklenmektedir. Bataryalı elektrikli araç segmentinde, Tesla Model S gibi geniş bir çeşitlilik sunan araçlar yaygınken, kilometre başına daha düşük maliyetle öne çıkan Model 3 en verimli seçenek olarak öne çıkmaktadır. 2020 yılında bataryalı elektrikli araç (BEV) segmentindeki satışların %70'inden fazlasını gerçekleştiren Tesla, sektördeki liderliğini korumaktadır. PHEV sektörü ise öngörülen dönemde gelirden %32'nin üzerinde maksimum büyümeyi hedeflemektedir. Bu ilerleme, hükümetlerin elektrikli araç kullanımını teşvik etme çabalarıyla doğrudan ilişkilidir. PHEV'ler, batarya ile elektrik motoruna güç sağlarken, alternatif yakıt ile içten yanmalı motorları çalıştırarak enerji üretmektedir. Volkswagen Grup gibi firmalar, plug-in elektrikli araçların satışlarını artırmak amacıyla çaba göstermektedir. Ocak 2020'de şirket, 2018 yılına kıyasla plug-in elektrikli otomobil satışlarında %60'lık bir artış yaşandığını açıklamıştır (Kim ve Wallington, 2013).

2. Elektrikli araçlar ve otomobiller için karbon fiber takviyeli polimer kompozitler

Polimerlerin geliştirilmesi sürecinde, takviye malzemeleri ikinci en önemli bileşen konumuna gelmiştir (Thongsoon ve ark., 2021). Matris malzemesinin boyutsal kararlılık, mekanik özellikler ve termal direnç gibi performanslarını artırmak amacıyla çeşitli takviyeler üzerine araştırmalar yapılmıştır (Zhu ve ark., 2021). Genel olarak, takviye malzemeleri pul, partikül ve fiber formunda bulunur. Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan çeşitli fiberler arasında karbon fiber en umut verici olarak kabul edilmektedir. Fiber takviyeli polimer matrisli (FRP) kompozit, fiberler ve matristen oluşan bir diğer kompozit türüdür (Clyne ve Hull, 2019). Yüksek mukavemetli ve rijit fiberlerin, hafif matrisle birleşimi, yüksek kırılma tokluğuna sahip yeni bir kompozit malzeme ortaya çıkarmaktadır. Kompozitler, mühendislik sektöründe otomobil, uçak, bina inşaatı ve denizcilik gibi yük taşıyan yapılar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Otomotiv ve demiryolu sektörleri açısından, kompozitler, araç gövdelerinin üretiminde öncelikli tercih olarak görülmektedir. Bu sayede araçların karmaşık profilleri kolaylıkla üretilebilmektedir. Japonya'daki Ulusal Kompozitler Merkezi'nde (NCC), kompozitler üzerine yürütülen bir proje kapsamında, alüminyum alaşımlarından üretilen bir aracın şasisinin tüm bileşenlerini değiştirmek için CFRP (karbon fiber takviyeli polimer) kompozit teknolojisi kullanılmaktadır (Ward ve ark., 2011). Kompozitler çarpışma yönetim yapıları (Thornton ve Jeryan, 1988), kompozit ray çerçeveleri (Mamalis ve ark., 1997) ve süspansiyon mekanizmaları (Yu ve Kim, 1988) gibi daha fazla dayanım gerektiren hassas bölgelerde de uygulanmaktadır. Aslında, kompozitler, araç gövde yapıları, tavan yapıları ve tamponlar gibi çeşitli metal bileşenler için kritik bir avantaj sağlayan alternatif olabilir (Adam, 1997).

Fiber takviyeli polimer kompozitlerin bir diğer önemli avantajı ise, karmaşık şekillerin üretiminde kolay imal edilebilirliğidir.

Son yıllarda birçok otomobil üreticisi, karbon fiber takviyeli kompozitleri araç tavanları, zemin panelleri, kompozit yolcu hücreleri, kabin çerçeveleri, şanzıman tünelleri, tavan sütunları, ön ve arka tamponlar ile arka zeminlerin üretiminde kullanmaktadır. Yapılan incelemeler, CFRP'nin (karbon fiber takviyeli polimer) çelik gövde yapısına potansiyel bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Ancak, jantlar, tampon destekleri, araç tavanları, kapı modülleri, hava emiş manifold sistemleri ve bagaj kapakları gibi bileşenler için mekanik özellikler ve maliyet açısından en uygun seçenek olarak GFRP (cam fiber takviyeli polimer) tercih edilmektedir. Bununla birlikte, enerji verimliliği ve yüksek hızlı üretim eksikliği, yetersiz tasarım araçları, yüksek malzeme maliyetleri ile geri dönüştürülebilirlik ve onarım konularındaki sorunlar, otomotiv sektöründe bu malzemelerin kullanımını büyük ölçüde sınırlamaktadır (Strong, 2008).

P. Kumar tarafından yapılan bir araştırmada, üç farklı tampon tasarımı (çelik tampon, köpük eklenmiş tampon ve petek yapılı tampon) karşılaştırılmış ve çeliğe kıyasla daha üstün bir ağırlık-mukavemet oranına sahip olduğu belirlenmiştir (Kumar ve ark., 2014). Tampon üretiminin yanı sıra, kompozit malzemeler süspansiyon sistemleri, gövde panelleri, fren sistemleri ve direksiyon mekanizması gibi birçok otomotiv bileşeni için geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Bambach, yaptığı çalışmada, araç tavan yapısının güçlendirilmesi için çelik yüzeyine karbon fiber bağlanmasını öneren yeni bir yöntem geliştirmiştir. Yolcu araçlarının tavanına bağlanan karbon fiberlerin, ağırlık-mukavemet oranını iki katına çıkardığı tespit edilmiştir (Bambach, 2014). Günümüzde, yüksek performanslı spor araçları, yıllık yaklaşık 500 adet üretilen büyük miktarda CFRP bileşen içermektedir. CFRP, karmaşık herhangi bir formda şekillendirilebilme özelliğine sahiptir. Esnekliği sayesinde araç dış yüzeyinde estetik ve şık bir görünüm elde edilmesine olanak tanımaktadır (Othman ve ark., 2018). Hyoungh ve ekibi tarafından yapılan bir çalışmada, kompozitten üretilen otomotiv alt salıncığının, geleneksel çelik versiyonuna kıyasla iki kat daha fazla rijitlik ve burkulma dayanımı sağladığı ve ayrıca %50 ağırlık azalttığı belirlenmiştir (Kim ve ark., 2014).

Wang ve ekibi, 2018 yılında, yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan CFRP (karbon fiber takviyeli polimer) kompozit sandviç yapılarını incelemiştir. Çalışmada, takviye malzeme olarak alüminyum petek yapılar kullanılmış ve takviye kalınlığı ile yoğunluğunun kompozit sandviç yapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Malzeme mukavemeti, takviye kalınlığı veya yoğunluğunun artırılmasıyla iyileştirilebilmektedir. Bununla birlikte, optimum yoğunluk veya kalınlık değerleri, eğilme rijitliğini artırmaktadır. Kalınlık veya yoğunluk değişimine bağlı olarak rijitlikteki artışın mukavemet artışından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. 101 kg/m³ yoğunluğa ve 20 mm kalınlığa sahip alüminyum petek çekirdek, daha düşük kütleyle daha yüksek mukavemet ve rijitlik sağlamıştır. Ayrıca, çekirdek malzeme ile panel yüzeyi arasındaki ara yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi, panelin soyulma dayanımını artırmıştır (Wang ve ark., 2018).

2014 yılında Kim ve diğer araştırmacılar, karbon-epoksi kompozit kullanarak bir otomobil bileşeni olan alt salıncak kolunu tasarlamıştır. Elde edilen sonuçlarda, burkulma dayanımı ve rijitliğin geleneksel metale kıyasla iki kat daha yüksek olduğu, buna karşın alt salıncak kolunun ağırlığının yarı yarıya azaldığı tespit edilmiştir (Kim ve ark., 2014).

3. Sonuçlar

Literatür taraması sonucunda kompozit malzemelerin otomobil alanında hayati bir role sahip olduğu görülmektedir. Otomotiv sektöründe kompozit malzemelerin kullanımı, elektrikli araçların ağırlığını azaltmanın yanı sıra aerodinamik özellikleri iyileştirerek yakıt tüketimini düşürmektedir. Daha yüksek mukavemet, daha uzun yorulma ömrü ve hafif bileşenlere olan ihtiyacı karşılamak amacıyla, otomotiv endüstrisi kompozit bazlı otomobil parçalarına yönelik araştırmalara odaklanmaktadır.

Bu çalışmada elektrikli araçlar ve otomobillerde karbon fiber takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanımı ele alınmıştır. Önceki yıllara ve günümüze ait inceleme bulguları, otomotiv endüstrisinde otomobil bileşenlerinin üretimi için söz konusu kompozit malzemelerin yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Kapsamlı veriler, yakıt tasarruflu araçlara ve elektrikli araçlara olan talebin özellikle son beş yılda önemli ölçüde arttığını ortaya koymaktadır. Bu özelliklere bağlı olarak, elektrikli araçlar ve otomobillerde kompozit malzemelerin incelenmesi güncel ve önemli

bir konu olarak öne çıkmaktadır. Günümüzde çoğu otomobil üreticisi, işlerini sürdürebilmek ve mevcut pazar trendlerine uyum sağlamak amacıyla geleneksel çelik bileşenlerden hafif malzemelere geçmeyi tercih etmektedir. Şu anda kompozit sektörü, metallerle uygulamalarında yenilikçi özelliklerini sergilemeye ihtiyaç duymaktadır.

Hafif otomobillere yönelik gelişen eğilimler doğrultusunda, çeşitli sınıflardaki hafif araçların mühendisliğinde fiber bazlı kompozitler kullanılmaktadır. Karbon fiber bazlı kompozit malzemelerin geri dönüşüm yöntemleriyle daha düşük maliyetle elde edilebileceği ve gelecekte hafif hibrit kompozit malzemelerin geliştirilmesi için makul bir yön sunabileceği öngörülmektedir. Karbon fiber takviyeli plastik malzemenin uygulanması, hafiflik kavramlarını gerçekleştirmek için en yüksek potansiyeli sunar. Karbon fiber takviyeli plastik, yaygın olarak kullanılan metallerle karşılaştırıldığında olağanüstü özgül mukavemet, yorulma dayanımı ve sertlik sergiler. Otomotiv sektöründe, karbon fiber takviyeli plastiğin avantajları arasında ağırlık azaltmanın yanı sıra, parça entegrasyonu ve parça sayısının azaltılması, dayanıklılık, çarpışma güvenliği, tokluk ve göz alıcı estetik yer almaktadır.

Bu malzemelerin kapsamını ve sınırlamalarını keşfetmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, araştırmalar düşük maliyetli ve üretim potansiyeline sahip kompozitlerin yapı ve özellik dengesiyle geliştirilmesine odaklanmalıdır.

4. Kaynaklar

1. Abdallah, L., & El-Shennawy, T. (2013). Reducing carbon dioxide emissions from electricity sector using smart electric grid applications. *Journal of Engineering*, 2013(1), 845051.
2. Ahmad, H., Markina, A. A., Porotnikov, M. V., & Ahmad, F. (2020, November). A review of carbon fiber materials in automotive industry. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 971, No. 3, p. 032011). IOP Publishing.
3. Adam, H. (1997). Carbon fibre in automotive applications. *Materials & design*, 18(4-6), 349-355.
4. Bajpai, R. P., Chandrasekhar, U., & Arankalle, A. R. (Eds.). (2014). *Innovative design, analysis and development practices in aerospace and automotive engineering: I-DAD 2014, February 22-24, 2014*. Springer India.
5. Bambach, M. R. (2014). Fibre composite strengthening of thin steel passenger vehicle roof structures. *Thin-Walled Structures*, 74, 1-11.
6. Bein, T., Mayer, D., Hagebeucker, L., Bachinger, A., Bassan, D., Pluymers, B., & Delogu, M. (2016). Enhanced lightweight design—first results of the FP7 project ENLIGHT. *Transportation Research Procedia*, 14, 1031-1040.
7. Bhatt, P., & Goe, A. (2017). Carbon fibres: production, properties and potential use. *Mater. Sci. Res. India*, 14(1), 52-57.
8. Clyne, T. W., & Hull, D. (2019). *An introduction to composite materials*. Cambridge university press.
9. Delogu, M., Del Pero, F., Romoli, F., & Pierini, M. (2015). Life cycle assessment of a plastic air intake manifold. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 1429-1443.
10. Del Pero, F., Delogu, M., & Pierini, M. (2017). The effect of lightweighting in automotive LCA perspective: Estimation of mass-induced fuel consumption reduction for gasoline turbocharged vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 154, 566-577.
11. Divagar, S., Vigneshwar, M., & Selvamani, S. T. (2016). Impacts of nano particles on fatigue strength of aluminum based metal matrix composites for aerospace. *Materials Today: Proceedings*, 3(10), 3734-3739.
12. Egede, P., (2017). Concept for the environmental assessment of lightweight electric vehicles. *Environmental Assessment of Lightweight Electric Vehicles*, 59-91.
13. Fantuzzi, N., Baccocchi, M., Benedetti, D., & Agnelli, J. (2021). The use of sustainable composites for the manufacturing of electric cars. *Composites Part C: Open Access*, 4, 100096.

14. Finkbeiner, M., & Hoffmann, R. (2006). Application of life cycle assessment for the environmental certificate of the Mercedes-Benz S-Class (7 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11, 240-246.
15. Frost, S., & Sullivan, A. (2009). Global analysis of weight reduction strategies of major OEMs. *Market Engineering Research*.
16. Fuchs, E. R., Field, F. R., Roth, R., & Kirchain, R. E. (2008). Strategic materials selection in the automobile body: Economic opportunities for polymer composite design. *Composites science and technology*, 68(9), 1989-2002.
17. Ghassemieh, E. (2011). Materials in automotive application, state of the art and prospects. *New trends and developments in automotive industry*, 20, 365-394.
18. Jasinski, D., Meredith, J., & Kirwan, K. (2015). A comprehensive review of full cost accounting methods and their applicability to the automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1123-1139.
19. Kim, D. H., Choi, D. H., & Kim, H. S. (2014). Design optimization of a carbon fiber reinforced composite automotive lower arm. *Composites Part B: Engineering*, 58, 400-407.
20. Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2013). Life cycle assessment of vehicle lightweighting: a physics-based model of mass-induced fuel consumption. *Environmental science & technology*, 47(24), 14358-14366.
21. Kumar, P. A., & Belagali, S. Bhaskar (2014) Comparative study of automotive bumper with different material for passenger and pedestrian safety. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(4), 60-64.
22. Kumar, A., Lal, S., & Kumar, S. (2013). Fabrication and characterization of A359/Al₂O₃ metal matrix composite using electromagnetic stir casting method. *Journal of Materials Research and Technology*, 2(3), 250-254.
23. Mamalis, A. G., Manolacos, D. E., Demosthenous, G. A., & Ioannidis, M. B. (1997). The static and dynamic axial crumbling of thin-walled fibreglass composite square tubes. *Composites Part B: Engineering*, 28(4), 439-451.
24. Mercedes-Benz, Environmental certificate mercedes-benz S-class, <https://group.mercedes-benz.com/sustainability/environmental-certificates/s-class.html>; Accessed on July 2022.
25. Miracle, D. B. (2005). Metal matrix composites—from science to technological significance. *Composites science and technology*, 65(15-16), 2526-2540.
26. Othman R, Ismail NI, Pahmi AH, Basri HM, Sharudin H, Hemdi AR. (2018) Application of carbon fiber reinforced plastics in automotive industry. *A Rev J Mech Manufacturing*, 1, 144–54.
27. Singh, H., Brar, G. S., Kumar, H., & Aggarwal, V. (2021). A review on metal matrix composite for automobile applications. *Materials Today: Proceedings*, 43, 320-325.
28. Strong, A. B. (2008). *Fundamentals of composites manufacturing: materials, methods and applications*. Society of manufacturing engineers.
29. Thongsoon, D., Abeykoon, C., Vera-Marun, I. J., Potluri, P., Polrut, W., & Boonliang, B. (2021, August). Comparison of mechanical properties of carbon fibre and kaolin reinforced polypropylene composites. In *7th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*.
30. Thornton, P. H., & Jeryan, R. A. (1988). Crash energy management in composite automotive structures. *International Journal of Impact Engineering*, 7(2), 167-180.
31. Volkswagen, A. G. (2008). The Golf–Environmental commendation–Background report.
32. Wang, J., Shi, C., Yang, N., Sun, H., Liu, Y., & Song, B. (2018). Strength, stiffness, and panel peeling strength of carbon fiber-reinforced composite sandwich structures with aluminum honeycomb cores for vehicle body. *Composite Structures*, 184, 1189-1196.

33. Ward, C., Hazra, K., & Potter, K. (2011). Development of the manufacture of complex composite panels. *International Journal of Materials and Product Technology*, 42(3-4), 131-155.
34. Wazeer, A., Das, A., Abeykoon, C., Sinha, A., & Karmakar, A. (2023). Composites for electric vehicles and automotive sector: A review. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 2(1), 100043.
35. White, M. (2013, April). Showcasing Successful High Volume Application of Aluminium into Body in White Demonstrating Weight Saving Opportunities Using Aluminium. In *Global Automotive Lightweight Materials Conference, London, UK* (pp. 24-25).
36. Yu, W. J., & Kim, H. C. (1988). Double tapered FRP beam for automotive suspension leaf spring. *Composite structures*, 9(4), 279-300.
37. Zhu, J., Abeykoon, C., & Karim, N. (2021). Investigation into the effects of fillers in polymer processing. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 4(3), 370-382.



Makale id= 32

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-1945-4304

| 129

**Okullarda Kritik Başarı Faktörlerinin Belirlenmesi ve Okul Performansının Ölçümü:
Liseler Üzerine Bir Uygulama****Araştırmacı İhsan Hekimoğlu¹**¹Yıldız Teknik Üniversitesi

Özet: Bir okulun başarılı olmasını sağlayan faktörlerin neler olduğu, farklı görüşlerin olduğu ve tartışmalı bir konudur. Bu belirsizlik, okulların önceliklerini belirlemesini ve kaynaklarını önemli alanlara yönlendirmesini zorlaştırmaktadır. Bu araştırmanın amacı, okul paydaşlarının görüşlerini dikkate alarak, okullarda başarıyı etkileyen faktörleri ortaya koymak ve bu başarıyı ölçebilmektir. Okullarda başarı kriterlerini belirlemek için bulanık bilişsel haritalama, okulların mevcut durumunu analiz etmek için SWOT analizi, okulun başarısı ve performansını ölçmek için Balanced Scorecard yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan bulanık bilişsel haritaların analizi sonucunda, iyi ders anlatımı ve soru çözümü, tecrübeli öğretmen kadrosu, nitelikli ve kaliteli öğrencileri çekmek; SWOT analizi sonucunda tecrübeli öğretmen kadrosu ve sınıf mevcutlarının istenilen düzeyde olması en önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Eğitim Balanced Scorecard'ı, okulların başarısını en fazla etkileyen faktörleri öne çıkarması ve bunları ölçerek, ulaşılan başarıyı sürdürülebilir kılması bakımından önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Kritik Başarı Faktörleri, Bulanık Bilişsel Haritalama, Swot Analizi, Performans Ölçümü, Okul

Identifying Critical Success Factors in Schools and Measuring School Performance: An Application On High Schools

Abstract: What factors make a school successful is a controversial topic with differing views. This uncertainty makes it difficult for schools to set priorities and direct their resources to important areas. The aim of this study is to identify the factors that affect success in schools and to measure this success by taking into account the views of school stakeholders. Fuzzy cognitive mapping was used to identify success criteria in schools, SWOT analysis was used to analyze the current situation of schools, and Balanced Scorecard method was used to measure the success and performance of schools. As a result of the analysis of the fuzzy cognitive maps created, good lecturing and question solving, experienced teaching staff, attracting qualified and high quality students were identified as the most important factors; and as a result of the SWOT analysis, experienced teaching staff and class size at the desired level were identified as the most important factors. Education Balanced Scorecard is important in terms of highlighting the factors that affect the success of schools the most and making the success achieved sustainable by measuring them.

Keywords: Critical Success Factors, fuzzy Cognitive Mapping, swot Analysis, Performance Measurement, School

GİRİŞ

Başarının ne olduğu ve nasıl ölçülebileceği ile ilgili sorulara net bir cevap vermek, başarının pek çok boyuta sahip olması sebebiyle zordur (Multan ve diğ., 2023). Okullarda başarı kavramı ve performans göstergeleri hala belirsizdir. Bu durum paydaşların başarı beklentilerindeki farklılıklardan kaynaklanabilir. Bu nedenle paydaşların başarı anlayışındaki farklılıkları dikkate alan ve başarıyı etkileyen tüm faktörlerin araştırılması konusunda bir literatür boşluğu bulunmaktadır (Rockart, 1979), kritik başarı faktörlerini bir hedefe ulaşmak için gerekli unsurlar olarak tanımlamış, yöneticilerin bu faktörlerle özel olarak ilgilenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Kritik Başarı Faktörleri (KBF)'nin belirlenmesi okulların iş ve stratejik faaliyetlerindeki başarısızlık riskini azaltır, girişimin başarılı

şekilde hayata geçirilmesi için gerekli olanın ne olduğu konusundaki yönetim anlatışını ilerletir, daha fazla çalışanın programa katılımını sağlar ve faaliyetlerin sürekli iyileştirilmesini kolaylaştırır (Hoell, 2009). Eğitim kurumları başarıya ulaşmaları durumunda, bu kazanımı korumak ve sürekliliğini de sağlamak durumundadır Okul performansı, eğitim sistemini takip edebilmek ve izlemek için önemlidir, ancak değişkenlerin çeşitliliği nedeniyle kriterleri ifade etmek, karar vermek ve belirtmek çok zordur (Kökçam, 2015). Bu nedenle Balanced Scorecard (BSC)'yi hedefleyen kurumlara uygun hale getirmek ve basitleştirmek için okullara özel olarak uyarlamak gerekebilir (Pereira 2012).

| 130

Ancak özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler PISA sonuçlarına göre OECD ortalamasının altında kalmaktadır (Euronews,2023; Öztürk, F., 2023). Türkiye'de yapılacak olan bu çalışma, OECD raporuna göre Türkiye'ye benzeyen ve en fazla öğrenciye sahip olan ABD, Meksika, Endonezya, Filipinler'deki okullar için de yaygınlaştırılabilmesi nedeniyle önemlidir (TCMEB, 2023). Tüm gençlerin daha iyi eğitim ve öğretim alması sayesinde, daha fazla ve daha iyi beceriler elde edilmesi gerektiği Birleşmiş Milletler'in 2030 stratejisinin temel amaçlarından biridir (Nunes, 2022). Birleşmiş Milletler'in 2030 gündemi, sürdürülebilirliğe geçiş için küresel bir referans noktası olarak hizmet eden 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi (SKH) ve 169 alt hedeften oluşmaktadır (Weiland ve diğ., 2021). Yapılan bu çalışmanın, belirlenen hedeflerden 4 hedefe olumlu katkı sağlanması beklenmektedir. Bu hedefler Nitelikli Eğitim (4), Barış Adalet ve Güçlü Kurumlar (16), Eşitsizliklerin Azaltılması (10) ve Yoksulluğa Son (1) maddeleridir (United Nations, 2024). Çalışma kapsamında aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranacaktır.

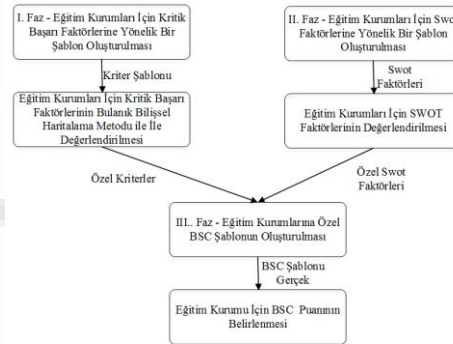
AS1: Okullar için kritik başarı faktörleri ve anahtar performans göstergeleri nelerdir?

AS2: Okullar için SWOT (Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler) faktörleri nelerdir?

AS3: Okullara özel bir BSC geliştirebilir ve uygulanabilir mi?

YÖNTEM

Araştırma 3 aşamadan oluşmaktadır. Araştırma sürecinin ana akış şeması için şekil 1'e bakınız.



Şekil 1. Araştırma Süreci Ana Akış Şeması

Evren ve Örneklem

Bu çalışma nicel bir araştırmadır ve 3 aşamadan oluşur: (1) bulanık bilişsel haritalama yöntemi ile okullar için kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi, (2) okullar için SWOT (güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler) faktörlerinin belirlenmesi, (3) 2 yöntem sonucu ulaşılan faktörler esas alınarak performans ölçüm yöntemi olan BSC'ın okullar için geliştirilmesi.

3 yöntem için de araştırmanın evreni olarak İstanbul ili olarak seçilmiştir. BBH Araştırmasında İstanbul ilinin farklı sosyo-ekonomik düzeydeki 3 farklı ilçesi seçilmiştir. TÜİK veri tabanından elde edilen gelir, öğrenim düzeyi, okuma-yazma oranı gibi sosyo-ekonomik değişkenlerin dağılımı göz önünde bulundurularak yüksek sosyo-ekonomik düzey için "Bakırköy", orta sosyo-ekonomik düzey için "Beylikdüzü", düşük sosyo-ekonomik düzey için "Fatih" ilçesi seçilmiştir. BBH için kolay ulaşılabilir (convenience sampling) örnekleme yöntemi ve S.W.O.T analizi için tabakalı rastgele örnekleme

(stratified random sampling) yöntemi kullanılmıştır. Literatür incelendiğinde bilişsel haritalama yöntemini kullanan araştırmaların örneklem büyüklükleri farklılık göstermektedir. Örneklem sayısını, Xiang ve Formica (2007) 15, Johnson ve Lipp (2006) 16, Ambrosini ve Bowman (2005) 7, Tegarden ve Sheetz (2003) 3 kişi olarak belirlemiştir. Çalışmamız için örneklem sayısı 21 olarak belirlenmiştir. Bu araştırmaya, kolayda örnekleme yöntemiyle İstanbul ilindeki liselerde öğrenim gören öğrenci, görevli idareci ve veli katılımcı gruplarından 7'şer kişilik homojen çalışma grupları oluşturulmuş ve çalışma bu gruptan elde edilen veriler ile gerçekleştirilmiştir. SWOT Analizi çalışması için örneklem büyüklüğünü belirlemek için literatür, tablolar ve formüller kullanılabilir (Saruhan ve Özdemirci (2011). Formüllerde gerekli olan örnek sayısı aşağıda verilmiştir.

$$n = N * t^2 * p * q / \alpha^2 * (N-1) + t^2 * p * q$$

$$n = N * t^2 * p * q / \alpha^2 * (N-1) + t^2 * p * q$$

n: Örneklem Büyüklüğü

N: Evren

p and q : Evrenin homojenlik düzeyi Araştırmada evren orta düzey homojen kabul edilmiş p=0,75 q=0,25 olarak kabul edilmiştir.

T: Araştırmada seçilen anlamlılık düzeyine göre T tablosunda elde edilen değerdir. Bu araştırma için $\alpha=0,05$ hata payı kabulü için t:1,96 alınmaktadır.

α : araştırmacı tarafından kabul edilebilir hata payı (Bu araştırmada $\alpha=0,05$ alınmıştır)

$$N=2064 \quad t=1,96 \quad p=0,72 \quad q=0,25 \quad \alpha=0,05$$

$$n = 2064 * (1,96)^2 * 0,75 * 0,25 / (0,05)^2 * 2.063 + (1,96)^2 * 0,75 * 0,25 = 252,93$$

Nihayetinde evrenin homojen kabul edildiği ve % 95 güvenilirlik seviyesi kabulü için gerekli örneklem sayısının en az 253 kişi olması gerektiği hesaplanmıştır. Verilerin hazırlanması sürecinde yaşanabilecek olası kayıplar göz önüne alınarak 300 kişiden veri toplanması planlanmıştır. Her lisede bulunan her katılımcı grubundan 5'er kişi olmak üzere, toplamda her liseden 15 kişiden veri toplanacaktır. Veri toplanacak lise sayısı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

Veri Toplanacak Lise Sayısı: Toplanması Gereken Veri Sayısı / Her Veri Toplama Biriminden Toplanacak Veri Sayısı

Veri Toplanacak Lise Sayısı: 300 / 15 = 20 adet liseden veri toplanması planlanmıştır.

Araştırma amacımız okullarda kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi ve okul performans ve başarısının ölçümü olduğundan, tüm aşamalarda başarı kriteri esas alınmıştır. İlçe seçiminde populasyon içindeki evren veya elemanlarının araştırma amacına uygun olarak seçilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca evrenin soruna en uygun bir kesimini gözlem konusu yapılması da önemlidir. Bu nedenle çalışmada Karar Örnekleme (Judgement Sampling) yöntemi esas alınmıştır (Andac, 2021). Bu amaçla evrenimizi oluşturan İstanbul ili için, şehir coğrafi olarak Yüksek Seçim Kurulu'nun seçim bölgesi olarak belirlediği 3 ayrı bölgeye ayrılmıştır (YSK, 2015). İlçe başarı oranı doğrultusunda her bölgeden en başarılı 2 ilçe seçilmiştir.

İlçe başarı Oranı = En Başarılı % 5'lik Dilimden Öğrenci Alan Lise Sayısı / Toplam Lise Sayısı

Okul Seçimi

1.Okul Derecesi Seçimi

Araştırma kapsamındaki okul türlerini belirlerken ülkelerin öğrencileri başarılarını araştıran uluslararası bir araştırma olan PISA 2022 (TCMEB, 2022) uygulamasının Türkiye için yaptığı çalışma incelenmiş, Türkiye'den elde edilen verilerin toplandığı örneklem grubuna ait okul kademesi ve okul türlerine ait oranları örnek alınmıştır. Araştırmanın % 99,8 i liseler üzerine olduğu için okul kademesi olarak lise belirlenmiştir. Örneklem seçiminde çeşitlilik gösteren durumlar arasında problemin farklı boyutlarını ortaya koymayı sağlayan (Yıldırım ve Şimşek, 2006) ve örnekleme ilişkin her durum kendine özgü boyutlarıyla derinlemesine tanımlama imkanı sunan (Patton, 1987), maksimum çeşitlilik örnekleme (maximum variation sampling) esas alınmıştır

2.Lise Türü Seçimi

PİSA 2022 (TCMEB, 2022) araştırması için belirlenen 7 farklı lise türünün dahil olduğu bir lise örneklem havuzu belirlenmiştir. Her lise türü, temsil oranı ölçüsünde örnekleme dahil edilmiştir. Lise seçimi ilçedeki lise giriş sınavı (LGS) puanları esas alınmış ve en yüksek puanlı liseler örnekleme dahil edilmiştir.

3. Lise Seçimi Belirlenen ilçelerdeki en yüksek LGS Sınav puanı ile öğrenci alan liseler tercih edilmiştir. Katılımcıların özelliklerine ilişkin bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

| 132

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özellikleri

Değişkenler	Gruplar	s	%
Cinsiyet	Kadın	185	59,87
	Erkek	124	40,13
Yaş	18 Yaş ve Altı	94	30,42
	19 Yaş ve Üzeri	215	69,58
Katılımcı Türü	İdareci	96	31,07
	Öğrenci	100	32,36
	Veli	113	36,57

Veri Toplama Araçları

Bu araştırma kapsamında katılımcılardan veri toplamak amacıyla 3 ölçme aracı kullanılmıştır. Katılımcıların bilişsel haritalarını oluşturmak amacıyla Cropper (1990) ve Kosko (1986) tarafından geliştirilen “Bulanık Bilişsel haritalama” (FCM) yöntemi kullanılmıştır. Eğitim Kurumlarının Mevcut ve gelecekteki durumunu analiz etmek için ölçmek için stratejik planlama aracı olan SWOT analizi kullanılmıştır. Okulların performansını ölçmek için ise Kaplan ve Norton (1992) tarafından geliştirilen Balanced Scorecard yöntemi kullanılmıştır.

Bağımlı Değişken

Kritik Başarı Faktörleri Kriter Şablonu: Öncelikle bir okulu başarılı olmasını sağlayacak kriterler ve performans ölçütleri literatür taraması ile belirlenmiştir. Belirlenen maddeler BSC şablonuna yerleştirmiş ve 4 boyut altında düzenlenmiştir. Katılımcılara aşağıdaki sorular sorulmuştur.

1. Bulunduğunuz okulun başarısına etki eden en önemli ve kritik başarı faktörleri hangileridir?
2. Bu faktörlerden hangisindeki bir iyileşme, Belirlenen diğer amaç ya da kritik başarı faktörüne direkt etki eder?
3. Bu ilişkinin yönü ve etki gücünü tanımlayınız.

Üç farklı katılımcı grubundan alının cevaplar biraraya getirilerek grup modelin Bilişsel Haritası Oluşturulmuştur.

SWOT Kriterleri Şablonu: Öncelikle bir okulu başarılı olmasını sağlayacak SWOT faktörleri literatür taraması ile belirlenmiştir. Belirlenen Maddeler SWOT şablonuna yerleştirmiş ve 4 boyut altında düzenlenmiştir. Katılımcılara Aşağıdaki Sorular Sorulmuştur.

BSC Şablonu: BSC Boyutları eğitim sektörüne yani okullara uyarlanarak 4 farklı yeni boyut belirlenmiştir. Daha sonra BBH ve SWOT analizleri sonucu ortaya çıkan faktörler Okul BSC Boyutları altına yerleştirilmiştir. 2 okulda pilota çalışma yapılmıştır. Katılımcılara aşağıdaki sorular sorulmuştur.

Sosyo-ekonomik Özellikler: Araştırma kapsamında, katılımcıları cinsiyet, yaş, okuldaki statüsü gibi sosyo-ekonomik özellikleri hakkında bilgi toplanmıştır.

Veri Toplama Araçlarının Uygulanması

Verilerinin toplanabilmesi için öncelikle Yıldız Teknik Üniversitesi etik kurulundan gerekli izin alınmıştır. Daha sonra, idareci, öğrenci ve veliler kendi okullarında ziyaret edilerek araştırmanın amacı ve önemi konusunda bilgi sunulmuş, gönüllü katılım formu dağıtılmıştır.

Verilerin Analizi

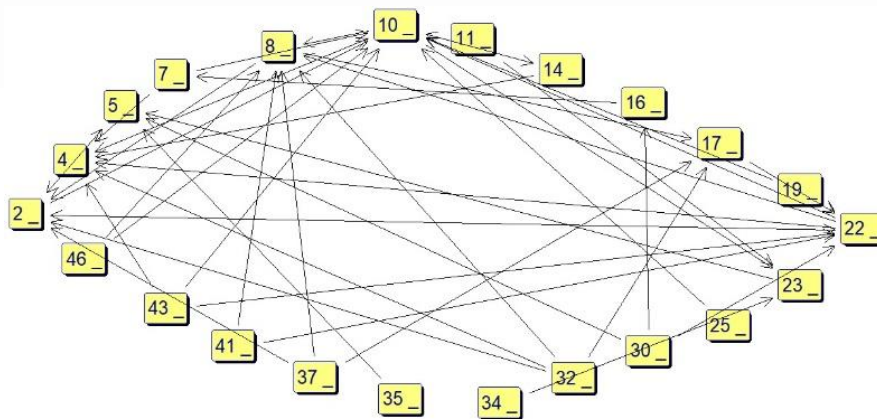
Çalışmanın 1. bölümünün 1. fazı olan bilişsel haritalama için Desicion Explorer (Banxia, 2024) yazılımı kullanılmıştır. Her bir katılımcı grubunun ayrı ayrı ve katılımcıların birleşimi ile elde edilen grup modele ait bilişsel haritalardaki doğrudan alan (domain analysis) ve merkeziet analizleri (central anaysis) yapılmıştır. Doğrudan alan analizi her kavrama doğrudan giren ve doğrudan çıkan kaç kavram olduğunu hesaplar (Banxia, 2024). Bu analiz domain analizi olarak adlandırılır. Bu analiz katılımcının bilişsel haritasındaki en önemli kavramları ortaya çıkarmayı sağlar (Eden, 2004:682-683). Merkeziet analizi doğrudan alan analizi ile aynı anlamı taşımakla beraber, sadece doğrudan ilişkili kavramları değil, bu kavramların ilişki alanlarını da hesaba katar, bu sayede kavramın modelin tamamı içindeki merkeziet belirleme imkanı sağlar (Eden, 2004). Bu iki analiz sonucu en önemli KBF ve APG'ne ait endeks değerlerine ulaşılmıştır. Her bir kriter için 2 farklı analiz sonucu belirlenen değerler toplanarak her bir kritere ait 'bilişsel haritalama analiz değerleri toplamı' hesaplanmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünün ikinci fazı olan BBH sonucu elde edilen veriler FC Mapper (FCMapper, 2024) programı ile analiz edilmiştir. Grup modelinin bulanık bilişsel haritasının indeks değerleri "Calculate indicies" komutu aracılığıyla hesaplanmıştır. Grup modelindeki en önemli değişkenler kritik başarı faktörleri ve anahtar performans göstergeleri(APG), en yüksek merkeziet derecesine sahip olanlardır ve bu merkeziet indeksi (Centrality Index) analizi sonucu elde edilmiştir. Grup modelindeki diğer değişkenler tarafından yüksek ölçüde etkilenen değişkenleri belirlemek için, alıcılık indeksi (Indegree Index) analizi yapılmıştır. Grup modelindeki diğer değişkenleri yüksek düzeyde etkileyen değişkenleri belirlemek için vericilik indeksi (Outdegree Index) analizi yapılmıştır. Bu 3 analizde de belli bir sayısal değer elde etmiş olan değişkenler geliştirilmesi amaçlanan okul BSC'nin başlangıç değişkenleri olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümde katılımcılardan toplanan SWOT verilerin frekans analizleri ve üçüncü bölümü, Okul BSC geliştirme bölümünde Kurumsal Karne Puanı hesaplamaları amacıyla MS Excel yazılımı kullanılmıştır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

1.aşama bilişsel haritalama aşamasıdır KBF'nin belirlenmesi için katılımcıların bilişsel haritaları birleştirilerek müşterek bir grup model bilişsel haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan bulanık bilişsel harita görseli için Şekil 2'ye bakınız.



Şekil 2. Grup Modelin Bulanık Bilişsel Haritası

Bilişsel haritalama sonucu gerçekleştirilen doğrudan alan ve merkeziet analizleri gerçekleştirilmiştir. Ancak daha bulanık bilişsel haritalama analizleri ile büyük ölçüde örtüştüğü için burada detaylı yer verilemeyecektir.

BBH sonucu katılımcıların haritalarının birleşimi ile oluşan grup modeli için yapılan merkeziet, alıcılık ve vericilik endeksi analizleri sonucu en önemli KBF ve APG'lerine ait endeks değerleri oluşmuştur. Her bir kriter için 3 farklı analiz sonucu oluşan bu endeks değerleri toplanarak her bir kritere ait toplam endeks değeri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Bulanık Bilişsel Haritalama Endeks Analiz Değerleri Toplamı Tablosu

Kritik Başarı Faktörleri ve Anahtar Performans Göstergeleri	Analiz Değerleri Toplamı	Kaynak
1.İyi Ders Anlatımı ve Soru Çözümü (10)	8,39	Çığır (2006)
2.Nitelikli ve Tecrübeli Öğretmen Kadrosu (22)	6,28	Özan ve diğ.,(2015)
3.Nitelikli ve Kaliteli Öğrencileri Çekmek (2)	4,67	Pineno, (2007); O'Neil ve diğ.(1999)
4.Mevcut Öğrencileri Kaybetmemek (8)	4,34	Schobel & Scholey (2012)
5.Öğrencilerin Ders Anlatımından Memnuniyeti (4)	4,01	Pineno (2007)
6.Memnun Öğrenci Yüzdesi (32)	2,45	Schobel & Scholey (2012)
7.YKS'de Başarılı Sonuçlar (5)	2,39	Çığır (2006); Özmentar (2011)
8.Öğrencinin Rehberlikten Memnuniyeti (7)	2,22	Karathanos & Karathanos (2005)
9.Karlılık (17)	2,11	Gürsoy (2013)
10.Stajer Öğretmen Yüzdesi (43)	1,84	Brown ve diğ., (2009)
11.Başarılı Öğretmenlerin Yedeklenme Yüzdesi (46)	1,72	Pereira ve diğ. (2012)
12.Öğretimin Etkinliğini Arttırmak (23)	1,67	O'Neil ve diğ. (1999)
13.Öğrencilerin Hedefledikleri Başarı ve Netlere Ulaşma Yüzdesi (37)	1,61	Pereira ve diğ. (2012)
14.Tüm Öğrencilere Eşit Fırsatlar Sağlamak (14)	1,61	Pereira ve diğ., (2012)
15.Finansal Varlıkların Yükümlülüklere Oranı (41)	1,11	Brown ve diğ., (2009)
16.YKS ve Deneme Sınav Sonuçları (30)	1,11	Pineno (2007); Tanoba (2019)
17.Kayıt Olan Öğrenci Kalitesi-LGS Yüzdelik Dilimi (25)	0,50	Bailey ve diğ.(1999)
18.YKS Deneme Sınavı Tatbikatları (35)	0,33	Tanoba (2019)
19.YKS Benzeri Soru Çözümleri (34)	0,33	Tanoba (2019)

Yapılan S.W.O.T analiz çalışması sonucundan katılımcıların en fazla tercih ettikleri ve en yüksek frekansa sahip kritik başarı faktörleri aşağıda tablo 3'te verilmiştir.

SWOT Analizi sonucu katılımcılar tarafından en yüksek oranda tercih edilerek faktörler Tablo 3'te gösterilmiştir. Bunlardan en yüksek frekanslı 8 tanesi BSC şablonu geliştirme aşamasına dahil edilecektir.

Tablo 3. En Önemli SWOT Faktörleri

Güçlü Yanlar [Ağaoğlu ve diğ., 2006; Li ve Zhang, 2020; Özcan ve diğ., 2015; O'neil ve diğ.,1999; Pineno ve Boxx, 2007; Yelken ve diğ., 2012;]	Frekans	Zayıf Yanlar [Ağaoğlu ve diğ., 2006]	Frekans
1.Tecrübeli Öğretmen Kadrosu (51)	208	1.Sosyal ve Sportif Etkinliklerin Yetersiz Olması (61)	103
2.Öğretmenlerle İletişim (58)	143		
3.İyi Eğitimli ve Nitelikli Öğrenciler (52)	138		
4.Okul Başarısının Yüksek Olması (53)	131		
5.Lokasyon-Konum (55)	109		
Fırsatlar [Özan ve diğ., 2015,Karaman, 2011;Pucciarelli ve diğ. 2016; Yelken ve diğ., 2012]		Tehditler [Ağaoğlu ve diğ.,2006]	
1.Sınıf Mevcutlarının İstenilen Düzeyde Olması (68)	152	1.Yanlış İnternet Kullanımı (76)	95
2.Okulun İl-İlçe Merkezinde Olması (71)	146		
3.Üniversiteye Artan Talep (64)	112		
4.Artan ve Değişen Öğrenci Kitlesi (65)	105		
5.Bir Üniversite Mezunu Olmanın Sağladığı Prestij (66)	101		

BBH sonucu yapılan analizlerle elde edilen en etkili APG'leri belirlenmiştir. BSC için APG endeks değerleri toplanmış ve endeks değerleri toplamına bölünerek ağırlıklandırılmıştır. APG ağırlıkları Tablo 4. 'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Anahtar Performans Göstergeleri Ağırlık Hesaplama Tablosu

Anahtar Performans Göstergeleri	BBH Endeks Değerleri Toplamı	Anahtar Performans Gösterge Ağırlıkları (Yüzde)
1.Kayıt Olan Öğrenci Kalitesi (LGS Yüzdelik Dilimi) (25)	0,5	4,54
2. YKS ve Deneme Sınavı Sonuçları (30)	1,11	10,1
3.Memnun Öğrenci Oranı (32)	2,45	22,22
4.YKS Benzeri Soru Çözümleri (34)	0,33	3,03

Anahtar Performans Göstergeleri	BBH Endeks Değerleri Toplamı	Anahtar Performans Gösterge Ağırlıkları (Yüzde)
5.YKS Deneme Sınavı Tatbikatları (35)	0,33	3,03
6.Öğrencilerin Hedefledikleri Başarı ve Seviyesine Ulaşma Oranı (37)	1,61	14,64
7.Finansal Varlıkların Yükümlülöklere Oranı (41)	1,11	10,1
8.Yeni Mezun veya Stajer Öğretmen Oranı (43)	1,84	16,68
9.Başarılı Öğretmenlerin Yedeklenme Oranı (46)	1,72	15,64
	11,01	100

Seçilen 2 lisede yapılan ağırlıklı BSC puanı ölçümü ve hesaplamaları sonrası oluşan anahtar performans gösterge puanları Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Liseler bsc tablosu

Kritik Başarı Faktörleri	Anahtar Performans Göstergeleri	Ağırlıklı BSC Puanı	Ağırlıklı BSC Puanı
		Beşiktaş Anadolu Lisesi	Cağaloğlu Anadolu Lisesi
Öğrenci ve Veli			
1.1.İyi Eğitimli ve Nitelikli Öğrenciler (2,52)	1.1.Memnun Öğrenci Oranı (32)	17,78	22,22
1.2.Mevcut Öğrencileri Kaybetmemek (8)			
1.3.Öğrencilerin Ders Anlatımından Memnuniyeti (4)			
1.4.YKS'de Başarılı Sonuçlar (5)	1.2.YKS ve Deneme Sınavları Sonuçları (30)	10,10	10,10
1.5.Etkili Rehberlik ve Danışmanlık (7)			
1.6.Sınıf Mevcutlarının İstenilen Düzeyde Olması (68)			
1.7.Öğretmenlerle İyi İletişim (58)	1.3.Kayıt Olan Öğrenci Kalitesi-LGS Yüzdelik Dilimi (25)	4,54	4,54
1.8.Sosyal ve Sportif Etkinlikler (61)			
1.9.İnternetin Doğru Kullanımı (76)			

Kritik Başarı Faktörleri	Anahtar Performans Göstergeleri	Ağırlıklı BSC Puanı	Ağırlıklı BSC Puanı
		Beşiktaş Anadolu Lisesi	Cağaloğlu Anadolu Lisesi
Öğretim			
2.1.İyi Ders Anlatımı ve Soru Çözümü (10)	2.1.Öğrencilerin Hedefledikleri Başarı Seviyesine Ulaşma Oranı (37)	11,72	14,64
2.2.Öğretimin Etkinliğini Arttırmak (23)			
2.3.Tüm Öğrencilere Eşit Fırsatlar Sağlamak (14)	2.2.YKS Benzeri Soru Çözümleri (34)	1,82	1,82
2.4.Okul Başarısının Yüksek Olması (53)	2.3.YKS Deneme Sınavı Tatbikatları (35)	3,03	3,03
Okul Yönetimi			
3.1.Karlılık (17)	3.1.Finansal Varlıkların Yükümlülüklerle Oranı (41)	6,06	10,10
3.2.Okulun İl-İlçe Merkezinde Olması (71)			
İnsan Kaynakları			
4.1.Tecrübeli Öğretmen Kadrosu (22,51)	4.1.Yeni Mezun ve Stajer Öğretmen Oranı (43)	16,68	16,68
	4.2.Başarılı Öğretmenlerin Yedeklenme Oranı (46)	9,39	9,39
	Lise Ağırlıklı BSC Puanı	81,12	92,52

TARTIŞMA VE SONUÇ

Araştırma sorumuz okullar için kritik başarı faktörleri ile anahtar performans göstergelerinin neler olduğu idi ve bu amaca ulaşmak için BBH analizleri gerçekleştirildi. 2. araştırma sorumuz okullar için SWOT faktörlerinin neler olduğunu bulmaktı ve bu analiz sonuçlarına ulaşıldı. 3. araştırma sorumuz okullara özel bir BSC geliştirilerek ve uygulanabilirliği üzerineydi. Bu iki araştırma sonucu elde edilen bulgular kullanılarak okullar için bu başarının ölçümünü sağlayan BSC yöntemi okullara uyarlandı ve iki lisede pilot çalışma uygulandı. BBH sonucu yapılan analizlerde en önemli kritik başarı faktörleri iyi ders anlatımı ve soru çözümü (8.39) ile nitelikli ve tecrübeli öğretmen kadrosu (6.28)) iken, SWOT analizlerinde (tecrübeli öğretmen kadrosu (208)) en önemli kritik başarı faktörleri olmuştur ve bunların öğretmenler ile ilgili olduğu görülmektedir. Sonuçlar geçiş çalışma sonuçları ile örtüşmektedir (Sayın (2014; Barber ve Mourshed, 2007).

BBH analizleri sonucu nitelikli ve kaliteli öğrencileri çekmek (4.67), mevcut öğrencileri kaybetmemek (4.34) ve öğrencilerin ders anlatımından memnuniyeti (4.01) faktörleri sonraki 3 önemli faktör olmuştur. SWOT analizleri sonucu en yüksek frekansa sahip maddeler arasındaki iyi eğitilmiş ve nitelikli öğrenciler (138), okul başarısının yüksek olması (131) üniversiteye artan talep (112), artan ve değişen öğrenci kitlesi (105) bir üniversite mezunu olmanın sağladığı prestij (101) gibi faktörler öğrencinin önemini vurgulamaktadır. Literatüre bakıldığında bulgularımızı destekleyen çalışmalar olduğu görülmektedir

(Nunes (2022). Nitelikli öğrenciler, daha yüksek düzeyde ders katılımına sahip olma eğilimindedir, ders çalışırken çok fazla çaba gösterirler, bu da öğrencileri başarılı kılar (Galyon ve diğ., 2012) ve bu da okulun başarısına dönüşür.

Okulun fiziksel yapısı ile ilgili faktörler BBH analizlerinde ortaya çıkmamasına rağmen SWOT analizi sonucu en yüksek frekanslı 2 ve 3. faktör olmuştur. Bu durum çalışmanın SWOT analizi ile güçlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. En yüksek frekanslı faktörlerden sınıf mevcutlarının istenilen düzeyde olması (152), okulun il-ilçe merkezinde olması (146), lokasyon-konum (109) faktörleri okulun başarısında fiziksel yapının önemini göstermektedir. Literatür sonuçları araştırma sonuçlarımızı desteklemektedir (Özan, 2015; Özkul, 2023) Bu çalışma okullarda başarıyı etkileyen faktörleri ortaya koymayı ve okul performansını ölçmeyi amaçlamış ve hedefine ulaşmıştır. Okul performansının ölçümü ile, yetersiz ölçütlerin iyileştirilebileceğini göstermiştir. Bu da başarının sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Andac Guzel, T. (2021). A Research on Entrance Decoration in Houses and Design Preferences of Users. *Online Journal of Art & Design*, 9(1).
- Ağaoğlu, E., Şimşek, Y., & Altinkurt, Y. (2006). Endüstri Meslek Liselerinde Stratejik Planlama Öncesi SWOT Analizi Uygulaması. *Eğitim ve Bilim*, 31(140).
- Bailey, A. R., Chow, C. W., & Haddad, K. M. (1999). Continuous Improvement In Business Education: Insights From The For-Profit Sector And Business School Deans. *Journal Of Education For Business*, 74(3), 165-180.
- Ambrosini, V., & Bowman, C. (2005). Reducing causal ambiguity to facilitate strategic learning. *Management Learning*, 36(4), 493-512.
- Brown, R. S., Wohlstetter, P., & Liu, S. Developing An Indicator System For Schools Of Choice: A Balanced Scorecard Approach. *Journal of School Choice*. (2009);2(4), 392-414.
- Banxia Software. Decision Explorer® Users Guide. Date of Access: 28.11.2024 <https://banxia.com/pdf/de/DEGuide.pdf>
- Barber, M., Mourshed, M., & Whelan, F. (2007). Improving education in the Gulf. *The McKinsey Quarterly*, 3947, 101-116.
- Çığır, T. (2006). *Performance Appraising Systems Application in Education Sector* (Doctoral dissertation, Marmara University. Institute For Graduate Studies. İstanbul.
- Cropper, S., Eden, C., & Ackermann, F. (1990). Keeping sense of accounts using computer-based cognitive maps. *Social Science Computer Review*, 8(3), 345-366.
- Eden, C. (2004). Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. *European Journal of Operational Research*, 159(3), 673-686.
- Euronews. (2013). PISA Raporu: Türkiye’de öğrenciler matematik fen ve okuma becerisi alanında ne durumda? [tr.euronews.com](https://tr.euronews.com/2023/12/05/pisa-raporu-turkiyede-ogrenciler-matematik-fen-ve-okuma-becerisi-alaninda-ne-durumda). [Çevrim-içi: <https://tr.euronews.com/2023/12/05/pisa-raporu-turkiyede-ogrenciler-matematik-fen-ve-okuma-becerisi-alaninda-ne-durumda>], Erişim Tarihi: 05 Aralık 2023
- FCMappers, “ Fuzzy Cognitive Mapping & Modelling Software”, Date of Access: 22.10.2024, <http://www.fcmapppers.net/joomla>
- Galyon, C.E.; Blondin, C.A.; Yaw, J.S.; Nalls, M.L.; Williams, R.L. The Relationship of Academic Self-Efficacy to Class Participation and Exam Performance. *Soc. Psychol. Educ.* 2012, 15, 233–249.
- Gürsoy, E.C. (2013). Müşteri İlişkileri Yönetimi Teknolojilerine Yatırım Kararının Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Geliştirilmesi ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul

- Howell, M. T. (2009). Critical Success Factors Simplified: Implementing the Powerful Drivers of Dramatic Business Improvement. United Kingdom: CRC Press.
- Johnson, R. D., & Lipp, A. (2007). Cognitive mapping: a process to support strategic planning in an academic department. *Group Decision and Negotiation*, 16, 43-60.
- Kaplan, R.S.; Norton, D.P. The strategy-focused organization. *Strat. Leadersh.* **2001**, 29, 29.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.
- Karaman, A. (2011). Üniversitelerin Stratejik Planlarındaki Swot Analizleri. Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü. Malatya
- Karathanos, D., & Karathanos, P. Applying the balanced scorecard to education. *Journal of education for Business*. (2005);80(4), 222-230.
- Keser Özmantar, Z. (2011). *Balanced Scorecard'ın Okullarda Stratejik Performans Yönetim Aracı Olarak Kullanılması* (Yayın No. 302784) [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. Gaziantep Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gaziantep.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.
- Kökçam, A. H., & Kubat, C. (2015). A Model for Measuring School Performance. In *3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES 2015)*, Valencia, SPAIN, 465-471.
- Li, H. D., & Zhang, L. (2020, November). Research on the Transformation and Development Strategy of Guangdong Independent College Based on SWOT-AHP. In *2020 16th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS)* (pp. 164-168). IEEE.
- Multan, E., Wójcik-Augustyniak, M., Sobotka, B., & Bis, J. (2023). Application of performance and efficiency indicators in measuring the level of success of public universities in Poland. *Sustainability*, 15(18), 13673.
- Nunes, C., Oliveira, T., Santini, F. D. O., Castelli, M., & Cruz-Jesus, F. (2022). A weight and meta-analysis on the academic achievement of high school students. *Education Sciences*, 12(5), 287.
- O'Neil Jr, H. F., Bensimon, E. M., Diamond, M. A., & Moore, M. R. Designing and implementing an academic scorecard. *Change: the magazine of higher learning*.(1999); 31(6), 32-40.
- Özan, M. B., Polat, H., Gündüzalp, S., & Yaraş, Z. (2015). Eğitim kurumlarında SWOT Analizi. *Turkish Journal of Educational Studies*, 2(1), 1-28.
- Özkul, R., Demirtaş, H., & Üstüner, M. (2023). Perceptions of School Principals Regarding Their Schools (A Study of a Swot Analysis).... *E-International Journal of Educational Research*, 14(2).
- Öztürk, F. (2023.12.06). What do the results of the PISA test in Turkey tell us? BBC Turkish.
- Patton, M. Q. (1987). How to use qualitative methods in evaluation. *Saint Paul*.
- Pereira, M.M. and Filipe Melão, N. (2012), "The implementation of the balanced scorecard in a school district : Lessons learned from an action research study", *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 61 No. 8, pp. 919-939.
- Pineno, C. J. The Business School Strategy: Continuous Improvement By Implementing The Balanced Scorecard. *Research In Higher Education Journal*. (2007); 1(68), 77.
- Pucciarelli, F., & Kaplan, A. (2016). Competition And Strategy In Higher Education: Managing Complexity And Uncertainty. *Business Horizons*, 59(3), 311-320.
- Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı (2022). PISA 2022 Türkiye Raporu. [Çevrim-içi: <https://www.meb.gov.tr/pisa-results-show-that-turkiye-has-consistently-increased-its-success-in-the-20-year-period/haber/31839/tr>], Erişim Tarihi: 28 Kasım 2024

- Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı (2023). 2023-2024 Eğitim-Öğretim-İstatistikleri Açıklandı. [Çevrim-içi: <https://www.meb.gov.tr/2023-2024-egitim-ogretim-istatistikleri-aciklandi/haber/34977/tr>], Erişim Tarihi: 19 Aralık 2024
- Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı (2023). Geçmişten Günümüze Sayılarla Eğitim (1923-2023). [Çevrim-içi: <https://yuzuncuyilgalerisi.eba.gov.tr/galeriler/gecmisten-gunumuze-sayilarla-egitim-1923-2023-50>], Erişim Tarihi: 19 Aralık 2024
- Rockart, J.F.; Chief executives define their own data needs, *Harvard Business Review* 57 (2) (1979) 81.
- Saruhan, Ş. C., & Özdemirci, A. (2011). *Bilim, Felsefe ve Metodoloji* (3. Baskı). İstanbul: Beta Press
- Sayın, A., & Gelbal, S. (2014). Scaling the Importance Levels of Factors Affecting Success Using the Successive Intervals Method. *Amasya University Journal of the Faculty of Education*, 3(1), 1-26.
- Schobel, K., & Scholey, C. Balanced Scorecards in education: focusing on financial strategies. *Measuring Business Excellence*. (2012);16(3), 17-28.
- Tanoba, Taner (2019). *Resmi Ortaokullarda Balanced Scorecard Geliştirilmesi Ve Bir Model Önerisi* (Yayın No. 548661) Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Tegarden, David P., Sheetz, Steven D. (2003). "Group Cognitive Mapping: A Methodology And System For Capturing And Evaluating Managerial And Organizational Cognition", *Omega*,31. 113-125. IGI Global.
- United Nations Sustainable Development Goals (2020). SDG Indicators. [Çevrim-içi:<https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>], Erişim Tarihi 09 Haziran 2024
- Xiang, Zheng ve Formica Sandro (2007). "Mapping Environmental Change In Tourism: A Study Of The Incentive Travel Industry", *Tourism Management*,28(5), 1193-1202.
- Weiland, S., Hickmann, T., Lederer, M., Marquardt, J., & Schwindenhammer, S. (2021). The 2030 agenda for sustainable development: transformative change through the sustainable development goals?. *Politics and Governance*, 9(1), 90-95.
- Yelken, T. Y., Kılıc, F., & Ozdemir, C. (2012). The Strategic Planning (SWOT) Analysis Outcomes And Suggestions According To The Students And The Lecturers Within The Distance Education System. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 13(2), 267-276.
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2006). *Qualitative Research Methods in Social Sciences* (6.nd ed.). Ankara: Seckin.
- Yüksek Seçim Kurulu (YSK) (2015). Milletvekili Seçim Çevreleri. [Çevrim-içi:<https://www.ysk.gov.tr/doc/dosyalar/docs/Milletvekili/7Haziran2015/2015MV-SecimCevreleri.pdf>], Erişim Tarihi:12 Ekim 2024

Makale id= 33

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0004-0139-4571

| 141

Mikrohücrel Köpük Enjeksiyon Kalıplama İşlemi**Araştırmacı Ender Kumral¹, Araştırmacı Başar Utaş¹, Araştırmacı Aysu Kızıl¹**¹Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.

*Corresponding author: Ender Kumral

Özet: Bu çalışma, mikro hücrel köpük enjeksiyon teknolojisini kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Bu yenilikçi teknoloji, plastik tüketimini azaltarak maliyet tasarrufu sağlamak, ürünlerin ağırlığını düşürmek ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla geliştirilmiştir. Geleneksel enjeksiyon kalıplama yöntemlerine kıyasla daha hafif ve mekanik özellikleri korunmuş ürünler üretmeyi mümkün kılar. Mikro hücrel köpük enjeksiyon süreci, polimer eriyiğine süperkritik sıvıların (SCF) fiziksel üfleme maddesi olarak enjekte edilmesiyle gerçekleştirilir. Bu yöntemle, polimer matrisinde kontrollü şekilde mikro boyutlu gaz kabarcıkları oluşturulur. En yaygın kullanılan üfleme ajanları karbondioksit (CO₂) ve azot (N₂) olup, bu gazlar belirli sıcaklık ve basınç koşullarında polimer içinde çözünerek kabarcık oluşum sürecini başlatır. Süreç genel olarak üç ana evreden oluşur: Hücre Oluşumu (Nükleasyon), Kabarcık Gelişimi ve Ürün Katılaşması. Bu yöntemin sunduğu avantajlar arasında malzeme tasarrufu, daha düşük polimer viskozitesi sayesinde kalıplama sürecinin kolaylaşması, döngü süresinin kısalması ve mekanik özelliklerin belirli bir seviyeye kadar korunabilmesi yer almaktadır. Özellikle otomotiv, havacılık ve ambalaj sanayii gibi sektörlerde hafif yapıların giderek önem kazanmasıyla birlikte, bu teknoloji sürdürülebilir üretim hedeflerine katkı sağlamaktadır. Ancak, mikro hücrel köpük enjeksiyon yönteminin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yüzey kusurları, özellikle girdap izleri, gümüş çizgiler ve parlaklık kaybı gibi estetik sorunlar, bu yöntemin en büyük zorlukları arasındadır. Bu tür yüzey problemlerini minimize etmek için Gaz Karşı Basıncı (GKP) ve Hızlı Isıtma-Dondurma Kalıplama gibi gelişmiş teknikler uygulanmaktadır. Sonuç olarak, mikro hücrel köpük enjeksiyon teknolojisi, plastik parçaların hafifletilmesi ve üretim süreçlerinde verimliliğin artırılması açısından önemli bir yenilik olarak değerlendirilmektedir. Gelecekteki gelişmeler, bu yöntemin daha geniş bir endüstriyel alanda uygulanabilirliğini artırabilir ve daha estetik, dayanıklı ürünlerin üretilmesini sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Anahtar Kelimeler: Süperkritik Sıvı Scf, Nükleasyon, Gaz Kabarcığı Oluşumu, Malzeme Tasarrufu, Gaz Karşı Basıncı, Hızlı Isıtma-Dondurma Kalıplama

Microcellular Foam Injection Molding Process

Abstract: This study comprehensively examines microcellular foam injection technology. This innovative technology has been developed to reduce plastic consumption, achieve cost savings, decrease product weight, and support environmental sustainability. Compared to traditional injection molding methods, it enables the production of lighter products while maintaining their mechanical properties. The microcellular foam injection process is carried out by injecting supercritical fluids (SCF) as physical blowing agents into the polymer melt. This method allows for the controlled formation of micro-sized gas bubbles within the polymer matrix. The most commonly used blowing agents are carbon dioxide (CO₂) and nitrogen (N₂), which dissolve in the polymer under specific temperature and pressure conditions, initiating the bubble formation process. The process generally consists of three main stages: Nucleation (Cell Formation), Bubble Growth, and Product Solidification. The advantages of this method include material savings, easier molding due to lower polymer viscosity, reduced cycle time, and the ability to preserve mechanical properties to a certain extent. As lightweight structures become increasingly important in industries such as automotive, aerospace, and packaging, this technology contributes to sustainable production goals. However, there are also some disadvantages associated with the microcellular foam injection method. Surface defects, particularly swirl marks, silver streaks, and loss of gloss, are among the biggest challenges of this process. To minimize such surface issues, advanced techniques such as Gas Counter Pressure

(GCP) and Rapid Heating-Cooling Molding are applied. In conclusion, microcellular foam injection technology is considered a significant innovation for reducing the weight of plastic parts and improving efficiency in manufacturing processes. Future developments may expand its applicability across a wider range of industries, enabling the production of more aesthetic and durable products.

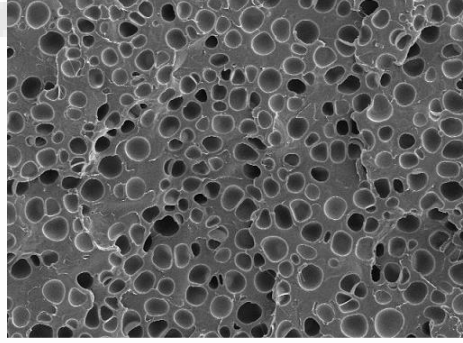
Keywords: Keywords: Supercritical Fluid – Scf, Nucleation, Bubble Formation, Material Savings, Gas Counter Pressure – Gcp, Rapid Heating-Cooling Molding - Rhcm

1. GİRİŞ

Mikro hücresel köpük teknolojisi MIT tarafından 1980'lerin başında icat edilmiştir. 0,25 mm'den daha büyük kabarcıklar üreten geleneksel köpürtme işlemleri, aşırı mukavemet kaybı nedeniyle uygulanabilir değildir. Böylece hem plastikten tasarruf edecek hem de makul bir dayanıklılığa sahip mikro hücresel köpük oluşturma fikri doğdu.

Genellikle, mikro hücresel köpük işlemi fiziksel üfleme maddesi olarak süperkritik sıvıdan (SCF) yararlanır. Ajan olarak çoğunlukla CO₂ ve N₂ kullanılır. Mikro hücresel köpük parçaları, 1 ila 100 mikronluk düzgün hücre çaplarına ve santimetre küp başına 109 ila 1015 hücrelik hücre yoğunluğuna sahiptir. Şekil 1-1, mikro hücresel polistiren örneğinin taramalı elektron mikrografilerini göstermektedir.

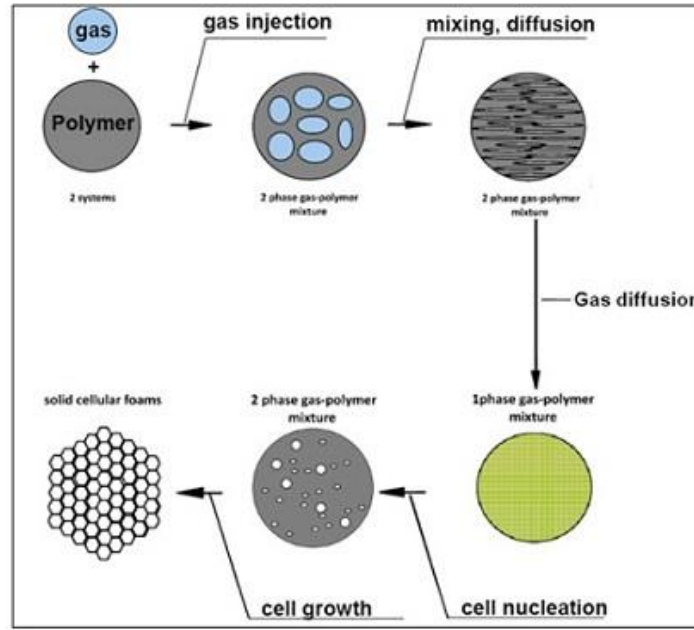
Şekil 1.1. Mikrohücresel polistiren tarama örneğinin elektron mikrografileri [1].



2. MİKROHÜCRESEL KÖPÜK ENJEKSİYON PROSES PRENSİPLERİ

Mikrohücresel köpük enjeksiyon işlemi sırasında, SCF polimer eriyiğine enjekte edilir. Ve polimer-SCF karışık çözeltisinin tek fazı belirli bir sıcaklık ve basınç altında elde edilir. Mikser kalıba enjekte edildiğinde, tek fazlı çözeltinin basıncı mikrohücresel işlem basıncından (MPP) atmosfer basıncına düşürülür. Çekirdeklenme olayı, mikserden ayrılan gaz nedeniyle meydana gelir. Daha sonra bu çekirdekler sonunda kararlı kabarcıklara dönüşür. Şekil 2.1, mikrohücresel köpük enjeksiyon işlemini gösterir. Ve genel olarak mikrohücresel köpük enjeksiyon işlemi aşağıdaki dört adımı takip edecek şekilde tanımlanır.

Şekil 2.1. Mikrohücrel polimer köpürtme işleminin gösterimi [2].



2.1. Polimer-SCF tek fazlı üretim

Mikro hücrel köpük enjeksiyon işlemi sırasında, süperkritik nitrojen (N₂) veya karbondioksit (CO₂) plastik enjeksiyon makinesinin namlusuna enjekte edilir ve polimer eriyiğinde çözülür. Daha sonra belirli sıcaklık ve basınç altında tek fazlı bir polimer-SCF çözeltisi üretilir. Bu aşamada, SCF konsantrasyonunun doygunluğu mikro hücrel işlem basıncı (MPP) ve karıştırıcı sıcaklığı ile belirlenir. Bu parametreler ayrıca son kabarcık boyutunu önemli ölçüde etkiler.

2.2. Homojen çekirdeklenme

Teorik olarak, yalnızca polimer-SCF karıştırıcı termodinamik dengede olduğunda ve aynı anda milyonlarca çekirdek üretildiğinde, homojen çekirdeklenme mümkün olacaktır. Polimer-SCF tek fazlı karıştırıcı kalıp boşluğuna enjekte edildiğinde, karıştırıcı basıncı MPP'den atmosfer basıncına değişir. Böylece hızlı bir basınç boşaltma meydana gelir. Daha sonra, SCF tek fazlı karıştırıcıdan ayrılır ve çok sayıda çekirdek üretilir. Çekirdek büyüdükçe, karıştırıcının serbest enerjisi de artar. Ancak çekirdek boyutu kritik boyuttan büyük olduğunda çekirdek kararlı olacaktır. Ve kabarcık büyümesi mümkün olabilir. Bu nedenle, karıştırıcı sıcaklığı, MPP ve SCF konsantrasyonu çekirdek sürecini ve son çekirdek yoğunluğunu etkiler.

2.3. Kabarcık büyümesi

Milyonlarca çekirdek üretildiğinde ve çekirdek kararlı olduğunda, kabarcık büyümesi başlar. Mikserin SCF konsantrasyonu, kabarcıkların içindeki SCF konsantrasyonundan daha yüksektir. Konsantrasyon farkından dolayı mikserdeki SCF kabarcıklara girer. Ve gaz kabarcıkları büyür. Kabarcıkların içindeki SCF konsantrasyonu dışarıdakine eşitlenene veya eriyik donana kadar, gaz kabarcıkları büyümeye devam edecektir. Böylece, son kabarcık morfolojisi SCF konsantrasyonu ve enjeksiyon işlemi parametreleri tarafından belirlenir.

2.4. Ürün tipleme

Kalıp soğumasıyla birlikte, eriyik sıcaklığı azalır ve eriyik donar. Kabarcıklar büyümeyi durdurur ve parçanın şekli sabitlenir. Yukarıdaki mikro hücrel köpük enjeksiyon işleminden, mikro hücrel köpük enjeksiyon parçalarının özellikleri, parça şekli, polimer türü, kalıp yapısı, işlem parametreleri gibi geleneksel enjeksiyon işlemi koşullarının yanı sıra çekirdeklenme işlemi ve son kabarcık morfolojisi tarafından belirlenir. Bu nedenle, mikro hücrel köpük enjeksiyon işlemi, geleneksel plastik enjeksiyona kıyasla farklı karakterlere sahiptir.

2.5. Mikrohücrel köpük enjeksiyon işlemi karakteristikleri

SCF'nin polimer eriyiğine enjekte edilmesi nedeniyle, polimer eriyiğinin viskozitesi, enjeksiyon işlem döngüsü, parça ağırlığı, mekanik özellikler ve yüzey kalitesi vb. üzerinde büyük etkisi vardır.

2.5.1. Eriyik viskozitesi

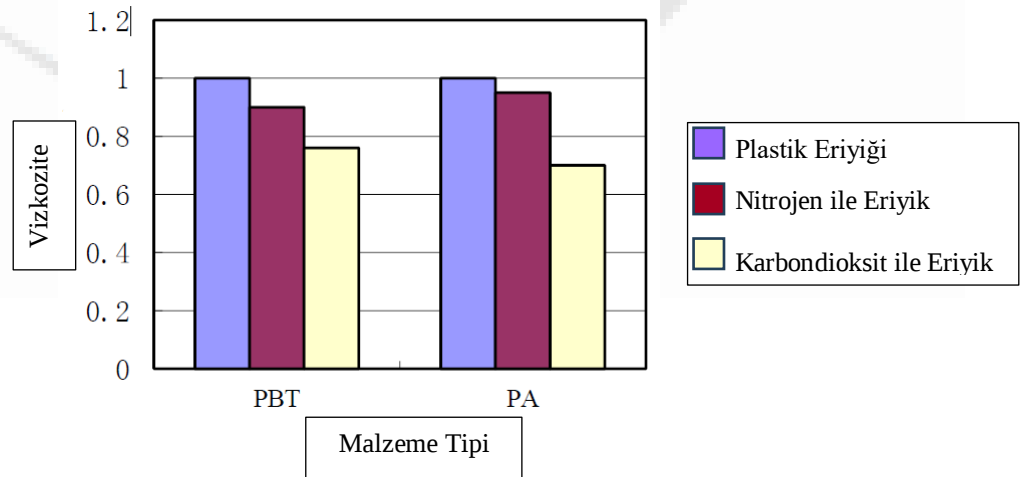
Polimer eriyiği içinde çözünen SCF nedeniyle polimer eriyiğinin camsı geçiş sıcaklığı düşer. Böylece polimer viskozitesi azalır ve eriyik akışkanlığı daha iyi hale gelir. Bu nedenle gerekli enjeksiyon basıncı geleneksel enjeksiyona göre daha düşüktür ve enjeksiyon makinesi özelliklerine duyulan ihtiyaç daha azdır. Şekil 2-2, SCF'nin PA, PBT eriyik viskozitesi üzerindeki etkisini göstermektedir. Sonuçlar, SCF eklendikten sonra viskozitenin azaldığını göstermektedir. SCF'nin polimer viskozitesi üzerindeki etkisinin polimer türü ve dolgu maddesi tarafından belirlendiğine dikkat edilmelidir. SCF dolgu maddesinde çözünemediği için dolgu maddesi viskozitesini etkilemeyecektir. Bu nedenle, saf polimere kıyasla, SCF'nin dolgu maddesi içeren polimerin viskozitesi üzerindeki etkisi daha azdır.

2.5.2. Enjeksiyon çevrim süresi

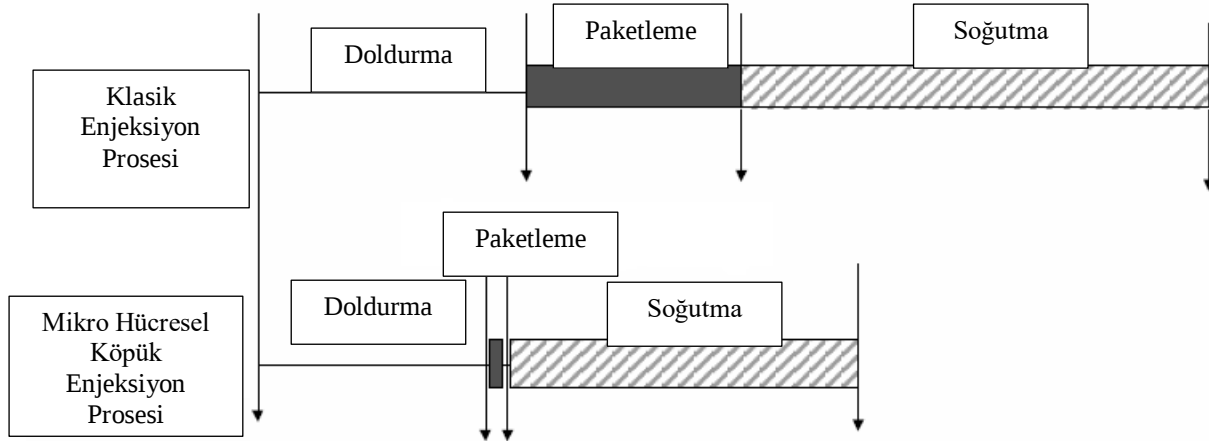
Mikro hücrel köpük enjeksiyon teknolojisi çevrim süresini azaltabilir. Bunun başlıca nedenleri şunlardır:

- Kabarcıklardaki gaz paketleme basıncını sağlayabildiğinden, paketleme ve tutma aşaması ortadan kaldırılabilir.
- Üretilen milyonlarca çekirdek ve büyüyen kabarcıkların hepsi endotermik reaksiyondur. Bu şekilde soğutma süresinden tasarruf edilir.
- Parçadaki kabarcıklar nedeniyle parça ağırlığı azalır. Soğutma süresinden de tasarruf edilir.
- Daha düşük viskozite daha yüksek doldurma hızı anlamına gelir. Böylece dolum süresi kısılır. Genellikle mikro hücrel köpük enjeksiyon ile %20~%50 çevrim süresinden tasarruf edilebilir. Şekil 2-3, mikro hücrel köpük enjeksiyon işlemi çevrimi ile geleneksel enjeksiyon arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir.

Şekil 2.2. SCF'nin eriyik viskozitesi üzerindeki etkisi [3].



Şekil 2.3. Mikrohücrel köpük enjeksiyon proses döngüsü ile geleneksel enjeksiyon prosesi arasındaki karşılaştırma.



2.5.3. Parça ağırlığı

Parçadaki kabarcıklar nedeniyle, polimer açıkça tasarruf edilebilir. Genellikle parça ağırlığı, mikrohücrel köpük enjeksiyon kalıplama işlemiyle 0,5 mm kalınlık ağırlığına kadar azaltılabilir. Mikrohücrel köpük enjeksiyon kalıplama işleminin ağırlık azaltımı üzerindeki etkisi Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Mikrohücrel köpük işleminin ağırlık azaltımına etkisi [4]

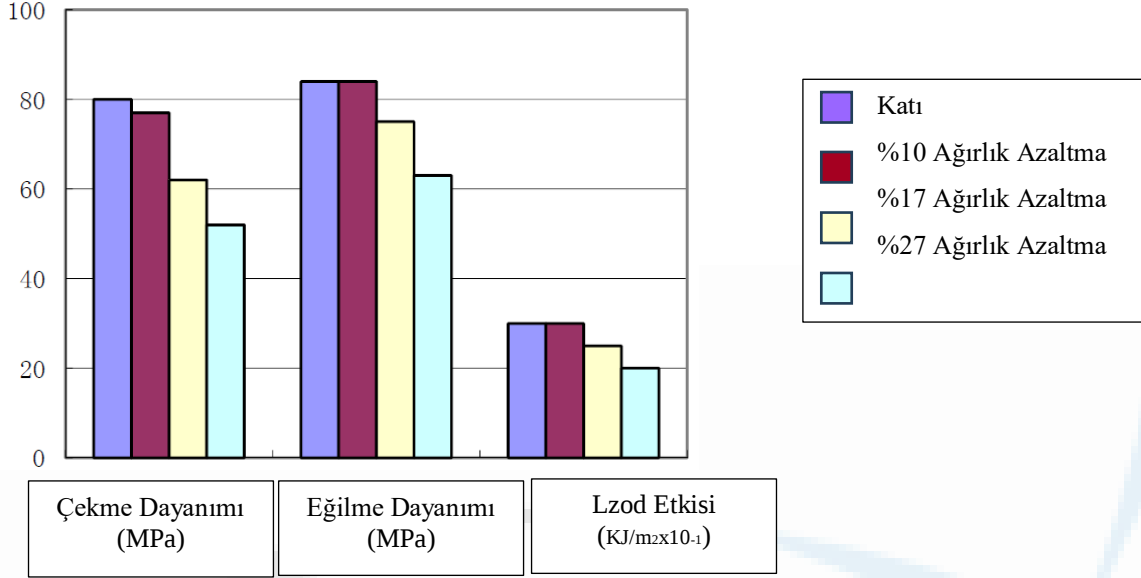
Polimer	Parça Kalınlığı (mm)	Ağırlık Azaltma (%)
Polyphenylsulfone	5	50
PS	1.5	30
Acetal	1.5	15
PET	5	30
TPE	1.5	20
PP (30% Talc)	2.1	25
HDPE	5	60
PC/ABS	2.1	23
PA	1.2	9
PA(40% Filler)	2	15
PC	7.2	45

2.5.4. Parça mekanik özellikleri

Önceki araştırmalar, mikrohücrel köpük polimerinin parça bükülme mukavemetinin katı polimerle hemen hemen aynı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, mikrohücrel köpük teknolojisi iç yapı parçasını üretmek için kullanılabilir. Ancak, parça çekme mukavemeti için durum oldukça farklıdır. Çekme özelliği verileri, mikrohücrel köpüklerin çekme mukavemetinin köpük yoğunluğuyla orantılı olarak azaldığını göstermektedir. Bu, %50 bağıl yoğunluklu bir köpüğün katı polimerin mukavemetinin %50'sine sahip olmasının beklenebileceği anlamına gelir. Parça darbe mukavemeti, polimerden polimere değişime daha duyarlıdır ve sonuçlar genelleştirilemez. Ancak PVC köpüğünün Gardner darbe mukavemeti deneyi sonuçları, darbe mukavemetinin köpük yoğunluğuyla doğrusal olarak azaldığını göstermektedir. Polimer eklenmiş dolgunun darbe mukavemetinin, dolgu olmadan bire bir azaldığı belirtilmelidir. Bunun başlıca nedeni, dolgu özelliklerinin ve içerik yüzdesinin parça darbe mukavemetini büyük ölçüde etkilemesidir. Ve SCF'nin dolgular üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Şekil 2-

4, katı polimer üzerindeki PBT'nin (30% GF) bükülme mukavemetini, çekme mukavemetini ve darbe mukavemetini ve farklı ağırlık azaltma oranını göstermektedir. Sonuçlar yukarıdakilerle hemen hemen aynı kuralları sunmaktadır.

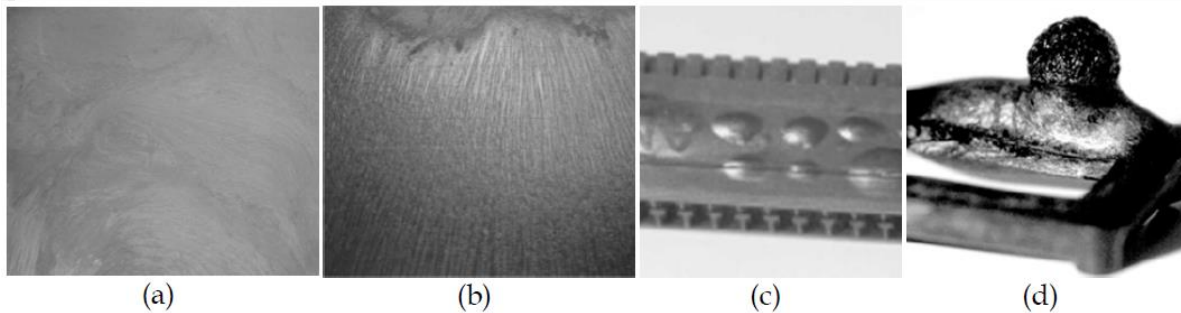
Şekil 2.4. Farklı ağırlık azaltma oranlarında PBT mekanik özellikleri [4].



2.5.5. Yüzey kalitesi

Yukarıda da belirtildiği gibi, mikro hücreli köpük enjeksiyon işlemi iyi şekillendirilebilirlik ve birçok avantaj sunar. Ancak yine de SCF nedeniyle, parça yüzey kalitesi geleneksel işleminden daha kötüdür. Tipik yüzey kusurları girdap izleri, hare, yüzey kabarması, üfleme sonrası ve büyük yüzey pürüzlülüğüdür. Bu kusurlar mikro hücreli köpük enjeksiyon işleminin uygulama kapsamını ciddi şekilde sınırlar. Şekil 2.5, mikro hücreli köpük enjeksiyon kalıplama parçalarının ana yüzey kusurlarını göstermektedir.

Şekil 2.5. Mikrohücreli köpük enjeksiyon kalıplama parçalarının yüzey kusurları (a) girdap izi; (b) hare; (c) yüzey kabarması; (d) üfleme [5]



2.5.5.1. Girdap izi

Parça yüzeyindeki oluklar, polimer-SCF karıştırıcı katılaşmaya başladığında kalıp yüzeyinde sıkışan gazdan kaynaklanır. Bu olukların şekli akış yönü boyunca incedir ve olukların en boy oranı, polimer-SCF karıştırıcının kalıp boşluğunda doldurma davranışından kaynaklanan kesme mukavemetinin boyutunu gösterir. Girdap izleri, şekilleri kıvrılmış olan bu oluklardır. Cam geçiş sıcaklığı (amorf

polimer için) veya eriyik sıcaklığı (kristalin polimer için), girdap izi oluşumu üzerindeki önemli etki faktörlerinden biridir. Polimer-SCF karıştırıcı kalıp boşluğuna enjekte edilirken, farklı kalıp boşluğu alanlarındaki birçok parametre değişir. Genellikle yolluğun yakınında sıcaklık daha yüksektir, polimer-SCF'nin viskozitesi daha küçüktür ve eriyik mukavemeti daha düşüktür. Bu nedenle yolluğun yakınındaki gazın karıştırıcı yüzeyine yayılması kolaydır ve yüzey yakınındaki kabarcıklar kolayca parçalanır.

2.5.5.2. Hare

Hare, güneş ışığında gümüş parlaklığı gösteren bir kusurdur. Mikrohücrel köpük enjeksiyon parçalarının gümüş çizgisi iki farklı görünüm gösterir. Sınırı bir ipliğe benzediği için gümüş iplik olarak da adlandırılır. Bu kusur, eriyik yüzeyindeki kırık kabarcıklardan kaynaklanır. Diğer, akış yönüne paralel bir şerit gibi görüldüğü için gümüş şerit olarak adlandırılır. Yüzeye yakın olan kabarcıkların kayma deformasyonudur. Farklı kabarcık boyutları nedeniyle, gümüş ipliklerin derinliği farklıdır ve ardından parçaların yüzey pürüzlülüğü farklıdır. Girdap izleriyle karşılaştırıldığında, gümüş iplikler daha büyük yüzey pürüzlülüğüne neden olur.

2.5.5.3. Yüzey kabarcığı

Birçok küçük kabarcık parçanın ince duvar yerinde birleştiğinde, ana parça gövdesinden ayrı ince bir polimer tabakası oluşturur. Bu olguya yüzey kabarcığı denir. Yüzey kabarcığı büyük olasılıkla POM gibi dolgu maddesi içermeyen kristalin polimerden yapılmış parçalarda görülür. Yüzey kabarcığı, mikrohücrel köpük enjeksiyon proses parametrelerini ayarlayarak ve kalıp tasarımını iyileştirerek ortadan kaldırılabilir.

2.5.5.4. Üfleme

Üfleme iç kabarmaya benzer ve daima sıcak noktaların olduğu yerde ortaya çıkar. Darbe sonrası kusur, aşağıdaki iki faktörden kaynaklanır. Birincisi, sıcak noktalarda soğutmanın yeterli olmamasıdır; diğeri, yüksek SCF konsantrasyonu nedeniyle bazı belirli kabarcıklara çok fazla gaz girmesi ve bazı büyük boyutlu kabarcıklar oluşturmalarıdır. Kabarcıkların içindeki basınç dışarıdakinden daha yüksek olduğunda, darbe sonrası meydana gelir. Bu nedenle, bu kusuru ortadan kaldırmanın yöntemi, sıcak noktalardaki soğutmayı artırmak ve SCF konsantrasyonunu ayarlamak.

2.5.5.5. Yüzey pürüzlülüğü

Yukarıdaki ciddi kusurlara ek olarak, yüzey pürüzlülüğü, mikro hücrel köpük enjeksiyon kalıplama işleminin uygulama kapsamını sınırlayan başka bir sorundur. Kabarcıklar büyürken, yüzeye yakın bazı küçük kabarcıklar parçalanır ve polimer-SCF karıştırıcı katılaşmaya başladığında gaz kalıp yüzeyinde hapsolür. Bu nedenle, mikro hücrel köpük enjeksiyon parçalarının yüzey pürüzlülüğü, geleneksel enjeksiyon parçalarından daha yüksektir.

3. SONUÇ

Bu bölümde, mikrohücrel köpük enjeksiyon işlemi tanıtılmaktadır. Mikrohücrel köpük enjeksiyon işleminin karakterlerinin analizine dayanarak, çekirdeklenme teorisi ve kabarcık büyüme modeli açıklanmaktadır. Daha sonra, işlem parametrelerinin hücre morfolojisi üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak incelenmektedir. Son olarak, mikrohücrel köpük enjeksiyon kalıplama işleminin parça yüzey kusurları tanıtılmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] University of Washington, Microcellular Plastics Lab, <http://faculty.washington.edu/vkumar/microcel/>
- [2] SIRADE, Microcellular Foaming, <https://sirade.com/services/microcellular-foaming>
- [3] HYDE LJ (2003), Kishbaugh LA. The MuCell® Injection Molding Process: A Strategic Cost Savings Technology for Electronic Connectors[C]. Trexel Inc, IICIT Annual symposium, USA
- [4] GUANG-HONG HU (2012), Microcellular Foam Injection Molding Process, Shanghai Jiao Tong University, 2-8 <https://www.researchgate.net/publication/221927085>

- [5] CHEN SHIACHUNG, LI HAIMEI, HWANG SHYHSHIN (2008), et al. Passive mold temperature control by a hybrid filming-microcellular injection molding processing [J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 35: 822–827



Makale id= 35

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0006-8604-2704

| 149

Kanlıca Mantarının Mikrodalga Kurutma Yöntemiyle Kuruma Kinetiğinin Değerlendirilmesi**Researcher Elif Yaren Öztürk¹, Prof.Dr. Elçin Demirhan¹**¹Yıldız Teknik Üniversitesi

*Corresponding author: Elif Yaren Öztürk

Özet: Keşfedilen tüm türlerin %1'inden azını oluşturan yenilebilir mantarlar, proteinler, karbohidratlar, lif, doymamış yağ asitleri, vitaminler ve mineraller de dahil olmak üzere zengin besin içerikleriyle değerlidir. Türkiye'nin çeşitli mantar florası, Karabük, Bolu, Sinop ve Bursa gibi ormanlık bölgelerde iğne yapraklı ağaçların altında yaygın olarak bulunan, asidik ve kireçli topraklarda gelişen Kanlıca mantarlarını içerir. Hasattan sonra mantarlar morfolojik ve renk değişikliklerine uğrar, soğuk depolama yaygın ancak yüksek enerji tüketimi nedeniyle maliyetli bir muhafaza yöntemidir. Bu nedenle, uzun raf ömrü ile düşük enerji maliyetlerini dengeleyen verimli depolama tekniklerinin seçilmesi çok önemlidir. Mikrodalga kurutma, doğrudan su moleküllerini hedefleyerek modern bir alternatif sunar ve kaliteyi korurken kurutma süresini önemli ölçüde azaltır. Bu çalışmada, mikrodalga çıkış güçlerinin (180, 360, 540, 720 ve 900 W) farklı kalınlıktaki (0,5 cm ve 1 cm) mantar örneklerinin nem içeriği, nem oranı ve kuruma süresi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kurutma deneyleri için ev tipi bir mikrodalga fırın kullanılmıştır. Başlangıç nem içeriğini belirlemek için, örnekler 24 saat boyunca fırında kurutulmuş ve 11,90 g su/g kuru baz başlangıç nem içeriği elde edilmiştir. Kurutma işleminin ardından, numunelerin nem içeriği, nem oranı, zamana karşı kuruma oranı mikrodalga çıkış güçlerine karşı belirlenmiştir. Ayrıca, proses koşullarına bağlı olarak matematiksel modeller de geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kanlıca Mantarı, Mikrodalga Kurutma, Kurutma Kinetiği, Nem İçeriği**Evaluation of Drying Kinetics of Kanlıca Mushroom by Microwave Drying Method**

Abstract: Edible mushrooms, comprising less than 1% of all discovered species, are valued for their rich nutritional content, including proteins, carbohydrates, fiber, unsaturated fatty acids, vitamins, and minerals. Turkey's diverse mushroom flora includes Kanlıca mushrooms, which thrive in acidic and calcareous soils, commonly found under coniferous trees in forested regions such as Karabuk, Bolu, Sinop, and Bursa. After harvesting, mushrooms undergo morphological and color changes, with cold storage being a common but costly preservation method due to high energy consumption. Therefore, selecting efficient storage techniques that balance extended shelf life with reduced energy costs is essential. Microwave drying offers a modern alternative by directly targeting water molecules, significantly reducing drying time while preserving quality. In the present study, the effects of microwave output powers (180, 360, 540, 720, and 900 W) on moisture content, moisture ratio and drying time of mushroom samples at different thickness (0.5 cm and 1 cm) were investigated. A domestic microwave oven was used for the drying experiments. To determine initial moisture content, samples were oven-dried for 24 hours, yielding an initial moisture content of 11.90 g water/g dry base. Following the drying process, the moisture content of the samples, moisture ratio, drying rate against time were determined versus microwave output powers. Moreover, the mathematical models depending on process conditions were also developed.

Keywords: Kanlıca Mushroom, Microwave Drying, Drying Kinetics, Moisture Content

Edible mushrooms, comprising less than 1% of all discovered species, are valued for their rich nutritional content, including proteins, carbohydrates, fiber, unsaturated fatty acids, vitamins, and minerals [1]. Turkey's diverse mushroom flora includes Kanlıca mushrooms, which thrive in acidic and

calcareous soils, commonly found under coniferous trees in forested regions such as Karabük, Bolu, Sinop, and Bursa [2]. After harvesting, mushrooms undergo morphological and color changes, with cold storage being a common but costly preservation method due to high energy consumption. Therefore, selecting efficient storage techniques that balance extended shelf life with reduced energy costs is essential [3]. Microwave drying offers a modern alternative by directly targeting water molecules, significantly reducing drying time while preserving quality.

In the present study, the effects of microwave output powers (180, 360, 540, 720, and 900 W) on moisture content, moisture ratio and drying time of mushroom samples at different thickness (0.5 cm and 1 cm) were investigated. A domestic microwave oven was used for the drying experiments. To determine initial moisture content, samples were oven-dried for 24 hours, yielding an initial moisture content of 11.90 g water/g dry base. Following the drying process, the moisture content of the samples, moisture ratio, drying rate against time were determined versus microwave output powers. Moreover, the mathematical models depending on process conditions were also developed.

Keywords: Kanlıca mushroom, microwave drying, drying kinetics, moisture content

REFERENCES

- [1] S. K. Sinha, T. K. Upadhyay, and S. K. Sharma, "Nutritional-medicinal profile and quality categorization of fresh white button mushroom," *Biointerface Res Appl Chem*, vol. 11, no. 2, pp. 8669–8685, Jan. 2021, doi: 10.33263/BRIAC112.86698685.
- [2] G. Kayataş Ongun, M. Aktaş, B. Acar, and M. Özkaymak, "Drying Of Kanlıca Mushroom By The Hot Air Drying Method And The Investigations Of Its Effects On Its Quality," *Politeknik Dergisi*, vol. 27, no. 5, pp. 1733–1742, Oct. 2024, doi: 10.2339/politeknik.1302976.
- [3] A. Omari, N. Behrooz-Khazaei, and F. Sharifian, "Drying kinetic and artificial neural network modeling of mushroom drying process in microwave-hot air dryer," *J Food Process Eng*, vol. 41, no. 7, Nov. 2018, doi: 10.1111/jfpe.12849.

Makale id= 37

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-5733-2047

| 151

Ticari Hücrelerden Oluşan Bir Lityum-Iyon Batarya Modülü İçin Hava Soğutmalı Termal Yönetim Sisteminin Tasarımı ve Analizi**Dr. Öğretim Üyesi Erdi Tosun¹, Dr. Öğretim Üyesi Sinan Keyinci¹**
¹Çukurova Üniversitesi

*Corresponding author: Erdi Tosun

Özet: Son yıllarda, elektrikli araçların (EA'lar) sayısı dünya çapında önemli ölçüde artmıştır. Bu büyüme, bu araçlar için birincil enerji kaynağını oluşturan batarya teknolojilerindeki ilerlemeleri hızlandırmıştır. Lityum-iyon bataryalar (LiB'ler), yüksek enerji yoğunluğu, uzun çevrim ömrü ve hızlı şarj kapasitesi nedeniyle EA'larda tercih edilmektedir. Bu avantajlara rağmen, LiB'ler sıcaklığa karşı oldukça hassastır. Bu nedenle, etkili bir batarya termal yönetim sistemi (BTYS), performansın optimize edilmesinin yanı sıra güvenliğin sağlanması için de gereklidir. Bu çalışma, hava soğutmalı bir BTYS kullanarak 3S2P batarya modülünü optimum sıcaklık aralığında tutmayı amaçlamaktadır ve farklı deşarj hızlarında yapılan testlerle değerlendirilmiştir. Modül, LG Chem INR18650 ticari hücrelerden oluşturulmuştur. Batarya modülü, pleksiglas malzemeden yapılmış bir kabine yerleştirilmiş ve 1C ve 2C deşarj koşullarında hava ile soğutulmaya çalışılmıştır. Bataryaların yerleştirildiği kabin, 90 x 90 x 300 mm dış boyutlarına sahip dikdörtgen şekilli ve 3 mm duvar kalınlığında bir yapıya sahiptir. Kabinin giriş ve çıkış kısımlarına, aynı eksende yerleştirilmiş ve aynı yöne bakan iki aynı fan takılmıştır, bu da batarya tarafından deşarj sırasında üretilen ısıyı verimli bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Yapılan testler sonucunda, en yüksek hücre sıcaklığı 1C deşarj hızında 38.616 °C, 2C deşarj hızında ise 51.177 °C olmuştur. Soğutma sistemi devreye alındığında, 1C'de en yüksek hücre sıcaklığı değerlerinde %17.31, 2C'de ise %23.45'lik bir azalma sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araçlar, Lityum-Iyon Batarya, Batarya Termal Yönetim Sistemi**Design and Analysis of An Air-Cooled Thermal Management System for a Lithium-Ion Battery Module Using Commercial Cells**

Abstract: In recent years, the number of electric vehicles (EVs) has increased significantly worldwide. This growth has accelerated advancements in battery technologies since they serve as the primary energy source for these vehicles. Lithium-ion batteries (LiBs) are preferred in EVs due to their high energy density, long cycle life, and fast charging capability. Despite these advantages, LiBs are highly sensitive to temperature. Therefore, effective battery thermal management system (BTMS) is essential not only for optimizing performance but also for ensuring safety. This study aims to maintain a 3S2P battery module within the optimal temperature range using an air-cooled BTMS, with tests conducted at different discharge rates. Module is built with LG Chem INR18650 commercial cells. The battery module has been placed inside a cabin made of plexiglas and has been attempted to be cooled with air under 1C and 2C discharge conditions. The cabin, in which the batteries are placed, has external dimensions of 90 x 90 x 300 mm with a rectangular shape and a wall thickness of 3 mm. Two identical fans are installed at the inlet and outlet of the cabin along the same axis, facing the same direction to enhance the efficient removal of heat generated by the battery during discharge. As a result of the tests, the highest cell temperature was 38.616 °C at 1C discharge rate, and 51.177 °C at 2C discharge rate. With the activation of the cooling system, a reduction of 17.31% at 1C and 23.45% at 2C in the highest cell temperature values has been achieved.

Keywords: Electric Vehicle, Lithium-Ion Battery, Battery Thermal Management System

1. INTRODUCTION

Vehicle electrification in transportation has recently accelerated due to the requirement for sustainable development. The primary reasons for the decreasing interest in internal combustion engines (ICEs) powered by conventional fuels are environmental concerns and the imminent threat of fossil fuel depletion in the near future. Electric vehicles (EVs) have the immense potential to replace ICEs in addressing environmental impacts and long-term human health issues. They are considered zero-emission vehicles, contributing to a sustainable and clean future (Dong et al., 2019).

| 152

Certainly, the most important component of EVs is the batteries, which store the energy required to move the vehicle. The distinguishing features such as high energy capacity, long lifespan, low self-discharge rate, fast charging characteristics, and high reliability place lithium-ion batteries (LiBs) a step ahead compared to other batteries (Laadjal and Cardoso, 2021; Hua et al., 2021). With their outstanding properties, LiBs have become a vital component, especially for portable electronics and EVs as secondary battery technology. In recent years, demand for LiBs has significantly been boosted parallel to the increasing interest in EVs and hybrid EVs.

The efficient functioning, longevity, and safety of a LiB are greatly affected by the storage and operating temperature as well as environmental conditions. Optimal working temperature range of LiBs is stated as 15-35 °C (Sun et al., 2023). LiBs generate heat due to chemical reactions that take place during the working period and there is a performance limitation for LiBs due to internal heat generation. Heat generation may not only create performance but also safety-related problems if an efficient battery thermal management system (BTMS) is not used (Wang et al., 2019; Tete et al., 2021). Therefore, utilization of a suitable BTMS to prevent unfavorable aforementioned problems is crucial.

In this study, an air-cooled BTMS was designed to keep a 3S2P LiB module within the optimal temperature range under different discharge rates. The module, built with LG Chem INR18650 cells, was placed inside a Plexiglas cabin and tested under 1C and 2C discharge conditions. Two axial fans were used to enhance heat dissipation.

2. MATERIALS AND METHODS

The technical details of the battery cells used are provided in Table 1. As shown in the following Figure 1, the cells were placed into a battery holder produced using a 3D printer and spot-welded to form a module in a 3S2P configuration.

Table 1. Specification of LG Chem INR18650 Cell

Nominal capacity :		2,850 mAh	
Nominal voltage :		3.67V	
Nominal energy :		10.5 Wh	
Charging	:	<i>Method</i>	: CC-CV
	:	<i>Charging voltage</i>	: 4.2V
	:	<i>Charging current</i>	: 0.5C (1,375 mA)
	:	<i>Cut-off current</i>	: 50 mA
Discharging	:	<i>Method</i>	: CC
	:	<i>Discharging current</i>	: 0.2C (550mA)
	:	<i>Cut-off voltage</i>	: 2.5V
Max. Discharge Current	:	6,000 mA (for continuous discharge)	
	:	10,000mA (not for continuous discharge)	
Operating Temperature, Discharge		-30 ~ 60 °C (Cut-off Temp. 70°C)	
Weight :		45 g	

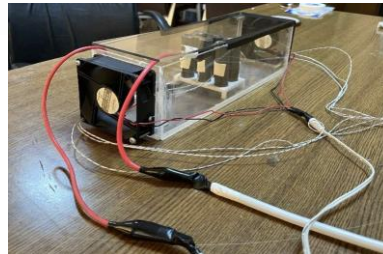
Figure 1. 3S2P Battery Module

The battery module was enclosed in a Plexiglas cabin and subjected to air cooling under 1C and 2C discharge conditions. The cabin housing the batteries has a rectangular shape with external dimensions of $90 \times 90 \times 300$ mm and a wall thickness of 3 mm. Two identical fans are positioned at the inlet and outlet of the cabin along the same axis. Technical details of fans are supplied in Table 2.

Table 2. Specifications of Fans

Brand	:	Marxlow
Operating voltage	:	12V DC
Current	:	0.15A
RPM	:	3000 rpm
Airflow	:	37.5 CFM
Dimensions	:	92 x 92 x 25 mm

Fans face the same direction to enhance the efficient dissipation of heat generated by the battery during discharge conditions. The module has been placed in the center of the cabin, and the positive and negative terminal connections have been made as illustrated in Figure 2.

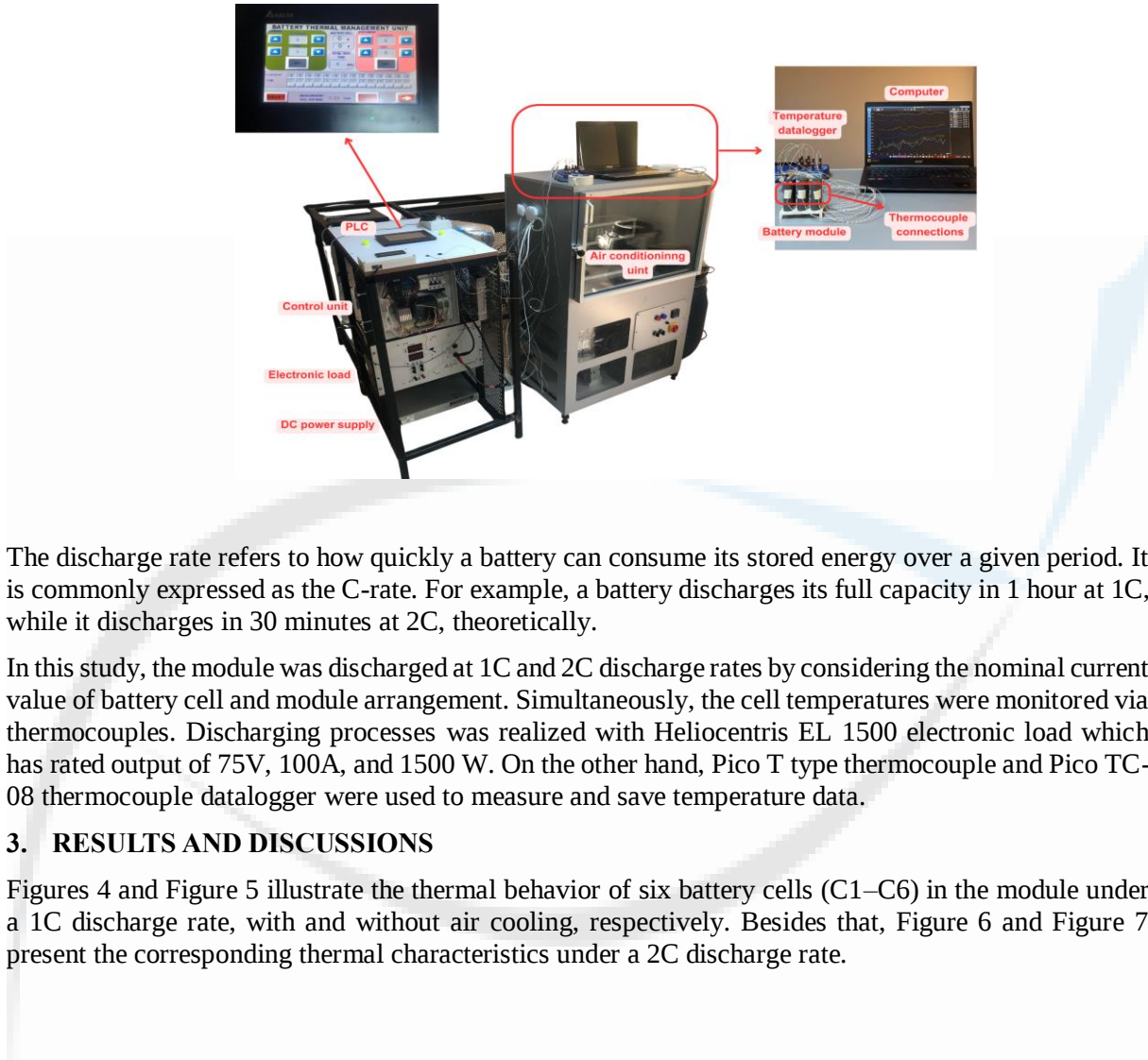
Figure 2. Module Located Cabin

Tests were performed in the experimental test rig shown in Figure 3. The charging and discharging devices are integrated into the system and controlled via PLC. After entering the module configuration information, the desired charging and discharging currents are set with the use of the screen, and the currents are cut off automatically when the charging and discharging voltages are reached.

The charging process was carried out at the charging current recommended in the battery datasheet, taking into account the module configuration with GW Instek PSU 100-15 programmable DC power supply (rated output of 100V, 15A, and 1500 W). This process is performed before each discharge tests to ensure that the module reaches the charging voltage.

Figure 3. Experimental Test Rig

| 154

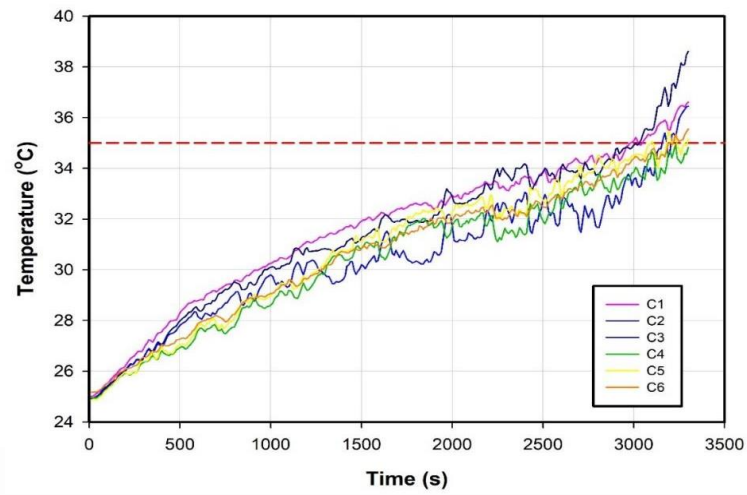


The discharge rate refers to how quickly a battery can consume its stored energy over a given period. It is commonly expressed as the C-rate. For example, a battery discharges its full capacity in 1 hour at 1C, while it discharges in 30 minutes at 2C, theoretically.

In this study, the module was discharged at 1C and 2C discharge rates by considering the nominal current value of battery cell and module arrangement. Simultaneously, the cell temperatures were monitored via thermocouples. Discharging processes was realized with Heliocentris EL 1500 electronic load which has rated output of 75V, 100A, and 1500 W. On the other hand, Pico T type thermocouple and Pico TC-08 thermocouple datalogger were used to measure and save temperature data.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Figures 4 and Figure 5 illustrate the thermal behavior of six battery cells (C1–C6) in the module under a 1C discharge rate, with and without air cooling, respectively. Besides that, Figure 6 and Figure 7 present the corresponding thermal characteristics under a 2C discharge rate.

Figure 4. Thermal Characteristic Under 1C Discharge Rate

| 155

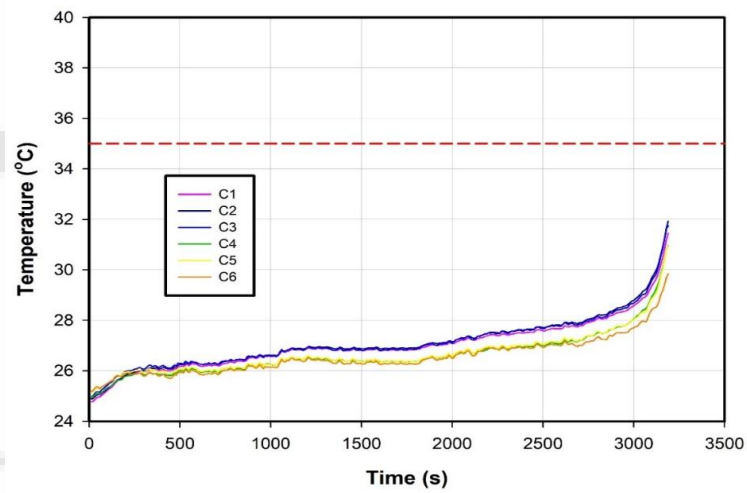
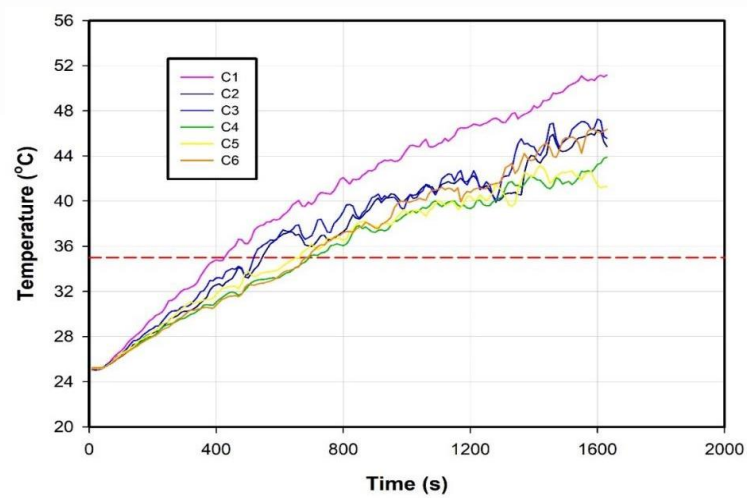
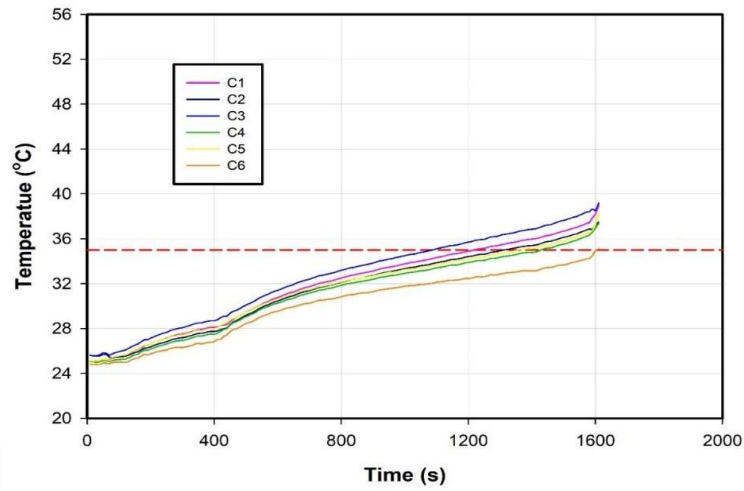
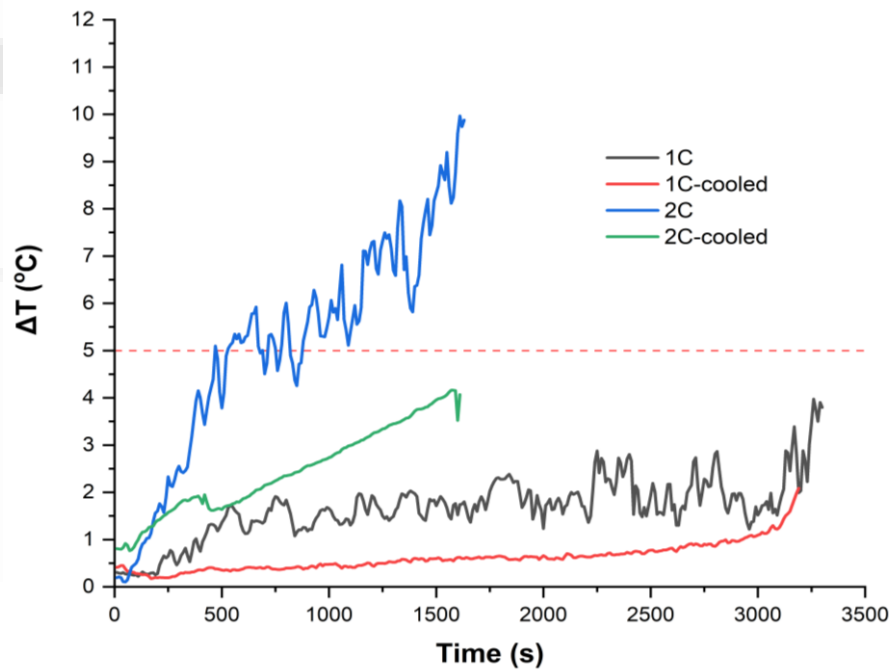
Figure 5. Thermal Characteristic Under 1C Discharge Rate with Air Cooling**Figure 6.** Thermal Characteristic Under 2C Discharge Rate

Figure 7. Thermal Characteristic Under 2C Discharge Rate with Air Cooling

| 156

Figure 8 clearly demonstrates that activating the air-cooling system significantly reduced temperature differences among the battery cells, indicating improved thermal homogenization within the module.

Figure 8. Variation of Maximum ΔT Variations During Tests

The numerical results demonstrate a clear effectiveness of 1C-cooled and 2C-cooled conditions in reducing both the $T_{\max}$ and the ΔT . Each condition resulted in a notable decrease in both metrics when compared to their respective baselines. Specifically, 2C-cooled exhibited a more substantial reduction, achieving a 23.45% decrease in $T_{\max}$ and a 58.25% decrease in ΔT , compared to 1C-cooled's 17.31% and 47.48% reductions. This confirms the efficiency of both cooling methods in thermal management.

Table 3. Test Results

Condition	T _{max} (°C)	Decrement (%)	ΔT (°C)	Decrement (%)
1C	38.616		3.972	
1C-cooled	31.933	17.31	2.086	47.48
2C	51.177		9.965	
2C-cooled	39.177	23.45	4.16	58.25

4. CONCLUSIONS

In this study, it has been observed that the BTMS successfully performs its function by both reducing the maximum temperature values and keeping the cell-to-cell variations within the optimal range. However, due to the low heat transfer coefficient of air cooling, it may not be sufficient for high-power battery applications, and temperature distribution must be well controlled. In systems operating at high temperatures, efficiency can be improved with additional fans or optimized air channels.

REFERENCES

- Dong, G., Ma, J., Wei, R., and Haycox, J. (2019). "Electric vehicle charging point placement optimisation by exploiting spatial statistics and maximal coverage location models", *Transportation Research Part D*, 67:77-88.
- Laadjal, K., and Cardoso, A.J.C. (2021). "Estimation of lithium-ion batteries state-condition in electric vehicle applications: issues and state of the art", *Electronics*, 10(13):1588.
- Hua, Y., Liu, X., Zhou, S., Huang, Y., Ling, H., and Yang, S. (2021). "Toward sustainable reuse of retired lithium-ion batteries from electric vehicles", *Resources, Conservation & Recycling*, 168:105249.
- Sun, B., Qi, X., Song, D., and Ruan, H. (2023). "Review of low-temperature performance, modeling and heating for lithium-ion batteries", *Energies*, 16(20):7142.
- Wang, Y., Jiang, J., Chung, Y., Chen, W., and Shu, C. (2019). "Forced-air cooling system for large-scale lithium-ion battery modules during charge and discharge processes", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135:2891-2901.
- Tete, P.R., Gupta, M.M., and Joshi, S.S. (2021). "Developments in battery thermal management systems for electric vehicles: A technical review", *Journal of Energy Storage*, 35:102255.

Makale id= 39

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0004-8879-8500

| 158

EPDM Kauçuklarda Koajan ve Pişirici Sistemlerinin Yaşlanma Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi**Araştırmacı Büşra Ağaçgözü¹, Araştırmacı Sıdika Kavuş², Araştırmacı Seda Balaban³,
Prof. Dr. Hande Güler Özgül⁴**^{1,4}Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü,
^{1,3}TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ²Angst Pfister Advanced Technical Solutions A.Ş.¹busra.tezcan@tofas.com.tr²sidika.kavus@angst-pfister.com³seda.balaban@tofas.com.tr⁴handeguler@uludag.edu.tr

*Corresponding author: Büşra Ağaçgözü

Özet: Kauçuk polimerlerine dolgu ve katkı malzemeleri eklendikten sonra karışım vulkanize edilerek polimer zincirleri arasında çapraz bağlar oluşturulur. Böylece malzeme istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri kazanır. EPDM kauçuk, yüksek dolgu alma kapasitesine sahip olup, ozon, oksidasyon, ısı ve hava koşullarına karşı mükemmel direnci sayesinde açık hava ve yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmektedir. EPDM' in vulkanizasyonunda genellikle peroksit veya kükürt kullanılır. Ancak bis (α , α -dimetilbenzil) peroksit, "Çok Yüksek Önem Arz Eden Maddeler" (SVHC) aday listesine eklendiğinden, bu çalışmada peroksit alternatif olarak kükürt-koajan bileşimiyle vulkanize edilen EPDM karışımların mekanik özellikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında; peroksit, kükürt ve kükürt-koajan içeren üç farklı EPDM reçetesi hazırlanmıştır. Hepsinde reometre, sertlik, çekme mukavemeti, kopma uzaması, yırtılma mukavemeti ve farklı sıcaklıklarda yaşlandırma testleri gerçekleştirilmiştir. Reometre sonuçları, kükürt ve kükürt-koajan bileşimlerinin benzer pişme süresi gösterse de bu karışımın en yüksek MH (Maksimum tork) değerine ulaşarak çapraz bağ yoğunluğunun arttığını ve bu durumun mekanik özellikleri iyileştirdiğini göstermiştir. Mekanik test sonuçlarına göre kükürt-koajan karışımı kopma uzamasında en yüksek değeri göstermiş, diğer mekanik özelliklerde ise belirgin bir üstünlük göstermeyip dengeli bir performans sergilemiştir. Yaşlandırma testleri sonucunda, kükürt-koajan karışımının 120°C ve 150°C'de peroksit kadar dayanıklı olmadığı ancak kükürt ile karşılaştırıldığında 120°C'de mekanik özelliklerde daha az değişme gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Koajanlar, Pişirici Sistemler, Epdm Kauçuk, Mekanik Özellikler**Analysing the Effect of Co-Agents and Curing Systems On the Aging Performance of EPDM Rubbers**

Abstract: After adding fillers and additives to rubber polymers, the mixture is vulcanised and cross-links are formed between polymer chains. Thus, the material gains the desired mechanical and physical properties. EPDM rubber has a high filling capacity and is preferred in outdoor and high temperature applications due to its excellent resistance to ozone, oxidation, heat and weather conditions. Peroxide or sulphur is generally used in the vulcanisation of EPDM. However, since bis (α , α -dimethylbenzyl) peroxide has been added to the candidate list of 'Substances of Very High Concern' (SVHC), this study investigated the mechanical properties and high temperature resistance of EPDM compounds vulcanised with sulphur-coagulant composition as an alternative to peroxide. Within the scope of the study; three different EPDM recipes containing peroxide, sulphur and sulphur-coagulant were prepared. Rheometer, hardness, tensile strength, elongation at break, tear strength and ageing tests at different temperatures were carried out on all of them. The rheometer results showed that although sulfur and sulfur-coagulant compositions showed similar curing time, this mixture reached the highest MH (Maximum torque) value and increased the crosslink density, which improved the mechanical properties. According to the

mechanical test results, the sulphur-coagane compound showed the highest value in elongation at break, while it did not show a significant superiority in other mechanical properties and exhibited a balanced performance. As a result of the ageing tests, it was determined that the sulphur-coagane compound was not as durable as peroxide at 120°C and 150°C, but showed less change in mechanical properties at 120°C compared to sulphur.

Keywords: Co-Agents, Curing Systems, Epdm Rubber, Mechanical Properties

1.GİRİŞ

Kauçuk, günümüz endüstrisinde oldukça geniş bir yelpazeye sahip olup temelde iki grupta ele alınmaktadır. Doğal kauçuk, hevea brasiliensis ağacının özsuyunun (lateks) pıhtılaştırılması ile elde edilirken; suni kauçuk, petrol ya da diğer minerallerin sentezlenmesi ile üretilmektedir. Kauçuk malzemenin sahip olduğu yüksek esnekliği en önemli özelliği olup bunun dışında; su geçirmezliği, kimyasal dayanımı ve yalıtımına ek olarak farklı yöntemler ile elde edilen yağ ve yüksek sıcaklık dayanımı sayesinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunları başta otomotiv sanayi olmak üzere, ayakkabılar, endüstriyel ürünler, tüketim malları, elektrik ve elektronik ürünleri, medikal ürünleri, yapı veya inşaat malzemeleri ve tüketici ürünleri olarak sınıflandırabiliriz (Vahapoğlu, 2013).

Büyük bir deformasyon sonrası saf halde şeklini koruyamayan bu elastomerler, yüksek plastik özellik sergiler. Fiziksel, kimyasal, mekanik ve termal açıdan yetersiz olan özelliklerini iyileştirip ticari olarak kullanılabilir hale getirmek için öncelikle karışım hamuru hazırlanır. Bu hamur, temel girdi olan polimere dolgu maddeleri, yumuşatıcılar, aktivatörler, hızlandırıcılar, proses yardımcıları ve yaşlanma önleyiciler eklenerek elde edilir.

Ticari olarak reçete diye de adlandırılan hamur formülasyonları belirli sıcaklık, basınç ve süre altında kükürt, peroksit veya diğer vulkanizasyon ajanları vasıtasıyla vulkanizasyon işlemine tabii tutulur. Bunun sonucunda oluşan çapraz bağ yapısı, kauçuğun geri dönüşümü mümkün olmayan, yüksek elastikiyet ve dayanıklılık özellikleri kazanmasını sağlar. Bu yapı, kauçuğun daha güçlü, esnek ve uzun ömürlü olmasına yardımcı olurken, aynı zamanda mukavemetini artırır ve aşınma direncini önemli ölçüde iyileştirir. Böylece vulkanize kauçuk hem fiziksel hem de mekanik açıdan üstün özellikler sergileyerek, zorlu koşullarda bile uzun süreli kullanım sağlama kapasitesine ulaşır. Bu sebeple kauçuk ürünlerde vulkanizasyon oldukça kritik bir prosestir (Dengiz Oral, 2014).

EPDM (Etilen Propilen Dien Monomer) kauçuğu, sentetik kauçuklar arasında önemli bir yer tutar. Özellikle yüksek elastikiyeti, mükemmel ozon, hava, ısı ve kimyasal dayanıklılığı ile bilinir. Bu özellikler, onu zorlu hava koşullarına ve çevresel etkilere maruz kalan uygulamalarda ideal bir malzeme haline getirir. Orta ve yüksek voltajlı kablo kılıfları, otomotiv radyatör hortumları, çatı kaplamaları, contalar, gölet astarları, bahçe ve ev aletleri hortumu ve lastik yan duvarlarında ozon karşı daha fazla direnç sağlamak amacıyla doğal kauçuk (NR) ile karıştırılarak kullanılmaktadır (Ketikis vd., 2023). EPDM'nin bir diğer avantajı, oldukça düşük sıcaklıklarda bile esnekliğini kaybetmemesidir, bu da onu soğuk iklim koşullarında tercih edilen bir malzeme yapar. Vulkanizasyon işlemi sonrasında kazandığı çapraz bağ yapısı sayesinde, yüksek elastikiyet ve dayanıklılığını korur. Bu nedenle, uzun süreli dayanıklılık ve performans gerektiren uygulamalarda sıklıkla kullanılır (Popa, 2011).

Peroksit vulkanizasyonun oluşturulan çapraz bağlardaki karbon-karbon bağları, kükürt vulkanizasyonunda oluşan karbon-kükürt-karbon bağlarından daha kararlıdır. Bu nedenle, peroksit ile yapılan kürleme işlemleri genellikle kauçuk ürünlere kükürt kürlenmeye kıyasla üstün yaşlanma özellikleri kazandırır (Bakiler, 2012). Bunun yanı sıra, ısıya dayanıklılığı iyileştirilir, böylece üst sıcaklık limitleri biraz daha yukarı çekilebilir veya ömrü uzatılabilir. Buna bağlı olarak daha yüksek ısıya dayanıklı yaşlanma direnci sağlanır (Ciesielski, 1999). Bu sebeple EPDM'nin yüksek sıcaklıklara karşı dayanımını artırmak için peroksit vulkanizasyonu sıklıkla tercih edilir.

Bu çalışmada, peroksit vulkanizasyonuna alternatif olarak tasarlanan kükürt ve koajan bileşiğinin, EPDM kauçuğun mekanik özellikleri ve yaşlandırma sonrasındaki etkileri incelenecektir. Bu konuya ilişkin gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda çeşitli çalışmalara ulaşılmıştır.

(Abtahi vd., 2006) çalışmasında, TAC'ın (triallil siyanürat) silika dolgu EPDM kauçuğunun kürleme özellikleri ve mekanik performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Silika, scorch zamanını artırırken optimum kür zamanını düşürmüştür. TAC eklenmesiyle scorch zamanı denetlenip işlem güvenliği

sağlanmış, kürleme verimliliği artırılmıştır. TAC, daha etkili çapraz bağ yapıları oluşturmuş ve mekanik özelliklerde iyileşme sağlamıştır. TAC içeren formülasyonlarda, TAC miktarının artışıyla çekme dayanımı, çapraz bağ yoğunluğu, sertlik ve aşınma direnci artarken kopma uzaması azalmıştır. En iyi performans, 1.8 phr TAC içeren formülasyonda elde edilmiştir.

(Çavdar vd., 2009) çalışmasında, dört farklı tipte EPDM kauçuğunun peroksitler (dimetilbenzilperoksit (DMBPHa) ve benzilbenzenperoksit (BBPIB)) ve koajanlarla (trimetilolpropantrimetakrilat (TMPTMA) ve triallyl siyanürat/Sülfür (TAC/S)) kombinasyonları altında mekanik, vulkametrik ve termal özellikleri incelenmiştir. BBPIB ve TAC/S ile vulkanize edilen EPDM' nin ön kürleme süresi daha kısa, ancak kürleme süresi daha uzun bulunmuştur. Çapraz bağ yoğunluğu peroksit içeriği arttıkça artmış, ENB (etiliden norbornen) içeriği %7,5 olduğunda mekanik özelliklerde maksimum iyileşme sağlanmış ve kopma dayanımı en iyi sonuçları vermiştir. Ancak, peroksit miktarının artışı kopma uzamasını azaltmıştır. Aromatik peroksit (BBPIB) ve TAC/S koaktif kullanımı, termal stabiliteyi artırmış ve kütle kaybını azaltmıştır. %7,5 ENB içeriği ile BBPIB ve TAC/S kombinasyonu hem mekanik hem de termal performans açısından en uygun sonuçları vermiştir.

(Oral, 2019) çalışmasında, ligninin NBR kauçuğunda koajan olarak kullanımının reolojik ve dinamik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Lignin, vulkanizasyon hızını değiştirmeden pişme derecesini artırmış ve çapraz bağ yoğunluğunu önemli ölçüde yükseltmiştir. Düşük konsantrasyonlarda (0,5 ve 1 phr) lignin, en etkili sonuçları vermiştir; ancak 1 phr'nin üzerindeki lignin ilavesi, aktivasyon enerjisini düşürmüştür. Ayrıca, lignin varlığında monosülfidik ve disülfidik bağlar oluşmuş, bu da malzemenin ısıl yaşlanma direncini artırmıştır. Sonuç olarak, lignin, NBR vulkanizasyonunda mekanik ve termal özellikleri iyileştiren etkili bir koajan olarak öne çıkmıştır.

(F. Güler, 2019) çalışmasında, polietilen (PE)' nin düşük erime noktasının olumsuz etkilerini iyileştirmek ve çapraz bağlanma verimliliğini artırmak için üç farklı koajan (triklorosilanlı Akrilat (TAIC), trimetilolpropantrimetakrilat (TMPTMA), ve benzilperoksit akrilat dimetil (BPADM)) kullanılmıştır. Reometre testlerinde, TAIC ve TMPTMA koajanları, PE karışımlarında çapraz bağlanma yoğunluğunu artırarak elastikliği geliştirmiştir. Termal testlerde ise TAIC, daha yüksek termal dayanım sağlamıştır. TAIC, PE zincirleri arasında rijit köprüler kurarak mekanik özellikleri en çok iyileştiren koajan olmuştur. Çekme testlerinde, TAIC ve TMPTMA dayanımı artırırken, BPADM içeren karışımlarda dayanım düşmüştür. SEM analizleri, TAIC ve TMPTMA' nın karışımında homojen dağıldığını, ancak BPADM' nin uyumsuzluk oluşturduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, TAIC ve TMPTMA' nın BPADM' ye göre çapraz bağlanmayı daha etkili geliştirdiği belirlenmiştir.

(Zou vd., 2020) çalışmasında, peroksit kürleme sistemine kükürdün yardımcı ajan olarak eklenmesinin EPDM kauçuğunun mekanik, dinamik ve yorulma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler, 175°C sıcaklıkta ve 2 mm kalınlığında numunelerle yapılmıştır. Sonuçlar, kükürt kullanılmayan numunelerde peroksit miktarının artışıyla kürleme süresinin ve yanma süresinin azaldığını, ancak kükürt kullanıldığında peroksit kürleme hızının yavaşladığını göstermiştir. Kükürt, çapraz bağlanma yoğunluğunu azaltarak polikükürt bağları oluşturmuş ve EPDM' nin ağ yapısını daha karmaşık hale getirmiştir. Yüksek sıcaklıklarda (150°C) kükürt, çekme dayanımını azaltırken kopma dayanımını artırmış, çünkü uzun ve esnek polikükürt bağları segment hareketliliğini artırmıştır. Dinamik yorgunluk dayanımı ise kayıp faktöründeki değişimle analiz edilmiştir ve yorulma davranışının peroksit dozajına bağlı olduğu görülmüştür. Bu çalışma, kükürdün yalnızca yardımcı bir ajan değil, aynı zamanda EPDM' nin yüksek sıcaklık performansını iyileştiren bir malzeme olduğunu ortaya koymuş, özellikle otomotiv endüstrisi için daha geniş kullanım alanları sağlamıştır.

Peroksit vulkanizasyonu ile üretilen vulkanizatların mekanik özellikleri, genellikle kükürt esaslı sistemlerle pişirilen vulkanizatlara kıyasla daha düşüktür. Polimerlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek, çapraz bağlanma sürecinin verimliliğini artırmak ve daha dayanıklı ürünler elde etmek, kullanılan peroksit tipi ve miktarının yanı sıra, çapraz bağlanmayı destekleyip güçlendirerek polimer ağlarının yapısal bütünlüğünü artıran ilave koajan kullanımı ile mümkündür (Akdeniz, 2003). Bu sebeple gerçekleştirilen literatür taramalarında çoğunlukla peroksit ve koajan bileşimi kullanıp koajan miktarı ya da türünün kauçuk malzeme üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ancak bu çalışmada, peroksit yerine kükürt ve koajan bileşimi kullanılarak EPDM kauçuk üzerindeki pişirmenin ve koajanın etkileri incelenmiş. Reometre ve fizikomekanik testler yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında deneysel çalışmalarda kullanılacak 3 farklı kauçuk reçetesine ait malzemeler, Angst+Pfister Gelişmiş Teknik Çözümler A.Ş.'nin uzman kadrosu ve teknik altyapısı tarafından belirlenmiş ve bu süreçte uygun formülasyon kriterleri esas alınmıştır. Gerekli malzemeler belirlendikten sonra, tedarikçi firmalar araştırılarak malzemelerin temini sağlanmıştır. EPDM 1' den EPDM 3' e kadar toplamda 3 farklı içeriğe sahip EPDM kauçuk içeren hamurların reçeteleri phr (parts per hundred rubber) olarak detaylı bir şekilde Çizelge 2.1' de gösterilmiştir. Geleneksel formülasyonlar esas alınarak kükürt içeren EPDM 2 ve peroksit ile koajan içeren EPDM 3 reçeteleri hazırlanmıştır. EPDM 1 ise, kauçuk matrisinde koajanın kükürt ile birleşiminin oluşturduğu etkileri daha iyi analiz edebilmek ve EPDM 2 ile EPDM 3 reçeteleriyle karşılaştırmalı değerlendirmeler yapabilmek amacıyla özel olarak tasarlanmıştır.

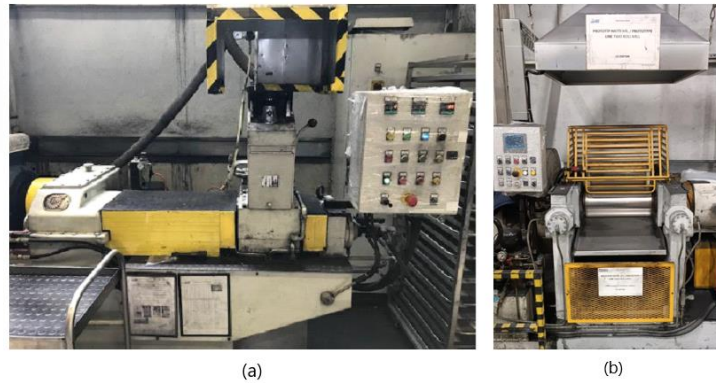
161

Çizelge 2.1: Hazırlanan EPDM kauçuk formülleri

Malzeme Genel Tanımı	Çalışmada Kullanılan Malzemeler	EPDM kauçuk karışım formülasyonları (phr)		
		EPDM1	EPDM2	EPDM3
Kauçuk	EPDM 3110M	100	100	100
Karbon Siyahı	FEF N 550	50	50	50
Aktivatör	CINKO OKSİT	4	4	4
	STEARİK ASİT	1	1	1
Antioksidan	VULKANOX ZMB2/C-5	3	3	3
	ALCHME MBPA(NAUGARD 445)	2	2	2
Hızlandırıcı	TMTD-80	1	-	1
	ZDBC-80	3	-	3
	DTDM-80	2	-	2
Kükürt	S-80	1	-	1
Koajan	TAC 50	1,5	1,5	-
Peroksit	PERKADOX 14-40	-	3	-

EPDM karışımları, test plakaları ve butonların üretim süreçleri ise Angst+Pfister Gelişmiş Teknik Çözümler A.Ş.'nin üretim tesislerinde tamamlanmıştır. Karışımlar iki aşamada oluşturulmuş olup ilk olarak Şekil 2.1a' da gösterilen laboratuvar tipi dahili mikserde (Banbury) karıştırılmış, ardından homojenizasyon için Şekil 2.2b' deki açık mil kullanılmıştır.

Şekil 2.1. (a) 2,8 L kapasiteli Werner & Pfleiderer Banbury karıştırıcı, (b) Two roll Mill C2 250X500



Banbury karıştırıcıya reçetede belirlenen EPDM kauçuğu ekleyip kauçuğun daha homojen bir şekilde karışmasını ve optimal özelliklere ulaşmasını sağlamak için 1 dakika mastikasyon yapılmış ardından dolgular 70-80°C'de eklenerek 1 dk daha karıştırılmıştır. Akabinde banbury sıcaklığı 135 °C'ye ulaştığında banbury kapağı açılarak hamur ikinci aşamaya geçmek için bir kaba alınmıştır.

Banbury karıştırıcıdan alınan kauçuk hamurlar daha sonra açık mile yerleştirilmiştir. İlk olarak 2 dk boyunca karıştırılan hamura, sonrasında hızlandırıcıların ve pişiricilerin ilavesi ile 3 dk daha aynı hızla karıştırılmaya devam edilmiştir. Son aşamada ise kauçuk hamuru açık mikserde bıçakla kesilerek; malzemenin daha iyi katlanması, karıştırma verimliliğinin artması ve bileşenlerin homojen şekilde dağılması sağlanarak istenilen işlenebilirliğe ulaşılmıştır.

Bu aşamadan sonra, üç farklı karışım için gerçekleştirilen gerilim gevşemesi hariç tüm testlerde Angst+Pfister Gelişmiş Teknik Çözümler A.Ş., gerilim gevşemesinde ise TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. bünyesindeki ekipmanlar kullanılmıştır.

İlk olarak karışımların reolojik özelliklerini belirlemek amacıyla vulkanizasyon öncesinde bu deneysel çalışmada Gibitre marka reometre kullanılarak 175 °C’de 30 dk süre ile ASTM D 5289 standardına göre reometre testleri gerçekleştirilmiş. Çıkan eğriler doğrultusunda, Şekil 2.2’ deki test plaka ve butonlarının hazırlanabilmesi için ihtiyaç duyulan vulkanizasyon süreleri hesaplanmıştır. Akabinde hidrolik preste EPDM1 ve EPDM2 hamurları 175°C’de 20 dk; EPDM3 ise 175°C’de 10 dk boyunca vulkanize edilmiştir.

Şekil 2.2. Test plaka ve butonları



Üretilen test butonları ve plakalarının tümünde, malzeme özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla fizikomekanik testler gerçekleştirilmiş olup, bu testler Gibitre , Nuve ve Elastocon marka cihazlar kullanılarak uygulanmıştır. Kauçuğun performansını ve uzun vadeli dayanıklılığını belirlemek için kritik öneme sahip olan sertlik, çekme mukavemeti, kopma uzaması, yırtılma mukavemeti, havada yaşlandırma ve gerilim gevşemesi testlerinin yapıldığı bu süreçte detaylı olarak testler prosedürlerine değinecek olursak; sertlik testi ASTM D 2240 standardına göre yapılmış ve sonuçları shore A skalasında rapor edilmiştir. Kauçuğun maksimum dayanım kapasitesi belirlemek için yapılan çekme mukavemeti ve kopma uzaması çekme cihazı ile ASTM D 412 standardına göre DIE C numune ölçüleri kullanılarak yapılmıştır. Malzemenin çatlak ilerlemesine karşı gösterdiği direnci ortaya koymak adına yırtılma mukavemeti testi ASTM D 624 standardına uygun olacak şekilde, DIE B çentikli bıçağı kullanılarak çekme testinin yapıldığı cihazda gerçekleştirilmiştir. Kauçuk numunelerin ısı yaşlanma sonrası fizikomekanik özelliklerindeki değişim, ISO 188 standardına uygun olarak değerlendirilmiştir. Test kapsamında numuneler, Nuve marka hava sirkülasyonlu etüvde 120°C’ de 72 saat ve 150°C’ de 72 saat bekletilerek iki farklı sıcaklık koşulunda incelenmiştir. Kauçuk malzemelerde sabit bir deformasyon altında zamanla gerilimin nasıl azaldığını belirlemek amacıyla Elastocon marka cihazda SAE J2979 standardına bağlı kalarak test butonları ile gerilim gevşemesi testi 120°C’ de 72 saat ve 150°C’ de 72 saat olacak şekilde yapılmıştır.

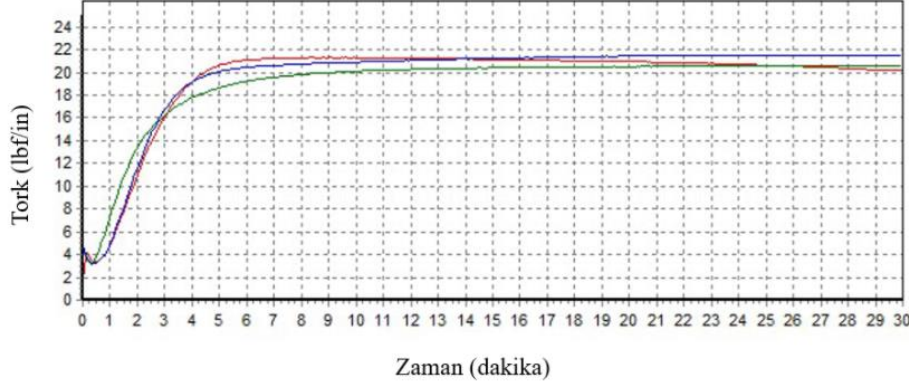
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, vulkanizasyon işlemi öncesi ve sonrasında gerçekleştirilen testlerin sonuçları sunulacak, elde edilen verilerin kapsamlı bir analizi yapılmıştır. Vulkanizasyon öncesinde gerçekleştirilen reometre testi ile kauçuk bileşiğinin homojenliği, işlenebilirliği ve pişme özellikleri değerlendirilmiş. Vulkanizasyon sonrasında ise, sertlik, çekme mukavemeti, kopma uzaması, yırtılma mukavemeti, havada yaşlandırma sonrasındaki değişimler ve gerilim gevşemesinin test edilmesiyle kauçuğun mekanik ve fiziksel özellikleri hakkında kapsamlı veriler elde edilmiştir.

Her bir EPDM deneme karışımı için yapılan reometre testinde minimum tork (M_L), maksimum tork (M_H), scorch süresi (t_{s2}) ve optimum vulkanizasyon süresi (t_{90}) gibi vulkanizasyon parametreleri analiz edilmiştir.

Deneme için hazırlanan EPDM1, EPDM2, EPDM3 karışımlarının kolaylıkla kıyaslanabilmesi adına her birine ait vulkanizasyon eğrisi Şekil 3.1’ deki gibi tek grafik üzerine eklenmiştir.

Şekil 3.1: Reometre test cihazından elde edilen vulkanizasyon eğrisi



EPDM karışımlarının reometre test sonuçları Çizelge 3.1'de sunulmuş ve bu doğrultuda yorumlanmıştır. Minimum tork değerinin belirlendiği M_L , çapraz bağlanmanın başlangıcı olarak kabul edilip karışımın sadece hamur halinin gözlemlendiği kısımdır. Bu yüzden bu nokta karışımın sadece yoğunluğu, sertlik seviyesini ve işlenebilirlik gibi fiziksel özelliklerini yansıtır. Değerlendirme sonucunda, tüm karışımların benzer M_L değerleri gösterdiği, ancak az farkla da olsa EPDM 2 karışımının 3,57 dNm ile en düşük viskoziteyi sergilediği ve EPDM 1’ de yer alan TAC50’ nin karışımın viskozitesini azaltarak işlenebilirliği EPDM 2’ ye kıyasla arttırdığı belirlenmiştir.

Vulkanizasyonun başlangıcını ifade eden ve scorch süresi olarak bilinen t_{s2} parametresi için EPDM 2’deki çapraz bağlanma reaksiyonunun 0,71 dk/sn ile EPDM 1’ de 1,07 dk/sn ve EPDM 3’ te ki 1,11 dk/ sn’ ye kıyasla çok daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre kükürte koajan eklenmesinin vulkanizasyon sürecini t_{s2} değerlerinden de anlaşıldığı gibi güvenli tarafta tuttuğu gözlemlenmiştir.

Optimum vulkanizasyon süresini belirten t_{90} ’ da EPDM 2’ nin 5,33 dk/sn ile EPDM 1 ve EPDM 3’ e göre uzun sürede tamamlandığı görülmüştür. Ancak, koajanlı karışım (EPDM 1) tıpkı EPDM 3 gibi t_{90} değerini düşürerek daha hızlı vulkanizasyon sağlaması ile vulkanizasyon prosesinde de verimli olabileceğini göstermiştir. t_{s2} ve t_{90} parametrelerini beraber değerlendirdiğimizde ise koajanın kükürte kıyasla erken vulkanize olmayı sağladığı ancak peroksit gibi total vulkanizasyon süresini arttırdığı sonucu çıkmaktadır.

M_H , kürlenmenin tamamlandığı ve çapraz bağların oluştuğu en yüksek tork değeri olup malzemenin sertlik ve dayanıklılığını belirler. Buna bağlı olarak koajanlı karışımda (EPDM 1) mekanik değerlerin kükürt vulkanizasyonuna (EPDM 3) göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.1: EPDM deneme karışımları reometre parametreleri

EPDM Karışımları Reometre Test Sonuçları (175 °C de 30 dakika)				
EPDM Numuneleri	ML (dNm)	MH (dNm)	t_{s2} (dk/sn)	t_{90} (dk/sn)
EPDM 1	3,65	24,34	1,07	4,46
EPDM 2	3,57	23,32	0,71	5,33
EPDM 3	3,77	24,10	1,11	4,17

Üç farklı EPDM hamuru için vulkanizasyon sonrasında yapılan ve Çizelge 3.2 'de yer alan fizikomekanik test sonuçlarına göre vulkanizasyon türü ve koajanın malzeme özellikleri üzerindeki etkileri şu şekilde özetlenebilir:

Sertlik açısından EPDM 1 ve EPDM 3 sırasıyla 69,7 Sh A ve 70,2 Sh A olarak benzer değerlere sahip olup; TAC50 koajanının sertlik üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı söylenebilir. EPDM 2 ise 67,3 Sh A ile az da olsa daha düşük sertliği göstermektedir. Bu durum, peroksit sisteminin kükürt sistemine göre daha güçlü, ancak daha esnek bağlar oluşturmamasından ve EPDM' deki doymamış bağların peroksit ile sınırlı reaksiyona girmesinden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak sertlik değerleri beklendiği gibi birbirine çok yakın değerler sunmuştur. Çekme mukavemeti açısından EPDM 2, 20,4 MPa değeri ile en yüksek seviyede kalmıştır. EPDM 1' deki 18,2 MPa ve EPDM 3' teki 16,3 MPa değeri kıyaslandığında, TAC50 koajanının kükürt sisteminin düşük çekme performansını %12' lik bir artışla iyileştirdiği görülmektedir. Kopma uzamasında ise TAC50, çapraz bağların düzenini artırarak EPDM 1'e %506' lık değer ile en iyi uzama performansını sağlamıştır. Son olarak yırtılma mukavemetine bakıldığında TAC50'nin belirgin bir avantaj sağlamadığı, en yüksek değer homojen çapraz bağ yapısı sayesinde çatlak ilerlemesini engellediği için EPDM 2'de 51,1 N/mm² olarak elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 3.2: EPDM deneme karışımlarının yaşlandırma öncesi test sonuçları

EPDM Karışımları Fizikomekanik Test Sonuçları				
EPDM Numuneleri	Isıl Yaşlandırma Öncesi			
	Sertlik (Sh A)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Yırtılma Mukavemeti (N/m ²)
EPDM 1	69,7	18,2	506	47
EPDM 2	67,3	20,4	386	51,1
EPDM 3	70,2	16,3	395	47

Isıl kararlılık, elastomer malzemelerin uzun süreli performansını değerlendirmek açısından kritik bir parametredir. Bu sebeple EPDM karışımları kullanım koşullarını dikkate alarak 120°C ve 150°C' de 72 saat boyunca yaşlandırılarak fizikomekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Bu testler, farklı vulkanizasyon sistemlerinin ve koajanın ısı dayanım üzerindeki etkisini net bir şekilde ortaya koymuştur.

Çizelge 3.3' te gösterilen 120°C' deki yaşlandırma sonucuna göre, EPDM 1 ve EPDM 3 karışımlarındaki benzer sertlik artışı (%3,9 ve %3,5) koajanın etkinliğinin olmadığını göstermektedir. EPDM 2 karışımı %1,1 ile en düşük sertlik değişimini göstererek, peroksit çapraz bağlarının daha termal kararlı yapıda olduğunu doğrulamaktadır. EPDM 2, çekme mukavemetini %1,5 değişimle büyük ölçüde korumuş, peroksit sisteminin yaşlanmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermiştir. EPDM 3, %16,6 düşüş göstermesine rağmen, EPDM 1 koajanın etkisiyle bu düşüşü %7,1' e çekerek %42 iyileşme sağlamıştır. Kopma uzaması performansında EPDM 2 %3'lük minimal bir azalma gösterirken, EPDM 3' te oluşan %32 uzama kaybı, EPDM 1 'de TAC50 koajan sayesinde %16' ya gerilemiş bu sayede %50 daha az kopma uzamasında kayıp oluşmuştur. EPDM 1' de bulunan TAC50 uzama performansını yaşlandırma sonrasında kükürt vulkanizasyonuna (EPDM 3) göre korusa da peroksit sistemi kadar etkin değildir.

Çizelge 3.3: EPDM deneme karışımlarının 120°C’ de 72 saat yaşlandırılması sonrası test sonuçları

EPDM Karışımları Fizikomekanik Test Sonuçları						
Isıl Yaşlandırma Sonrası (120 °C de 72 saat)						
EPDM Numuneleri	Sertlik (Sh A)	Sertlik değişimi (%)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti Değişimi (%)	Kopma Uzaması (%)	Kopma Uzaması Değişimi (%)
EPDM 1	72,4	3,9%	16,9	7,1%	424	16%
EPDM 2	68,0	1,1%	20,1	1,5%	376	3%
EPDM 3	72,7	3,5%	13,6	16,6%	269	32%

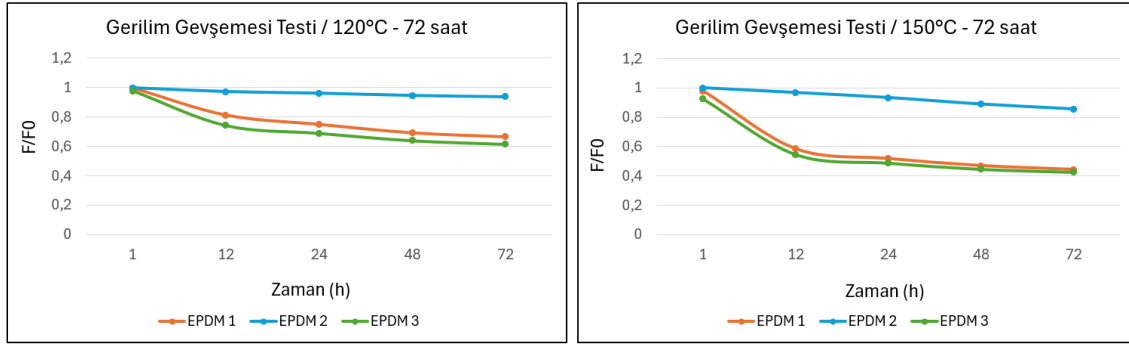
Çizelge 3.4’ teki, 150°C’ de yapılan yaşlandırma sonuçlarını da incelediğimizde tüm numunelerde sertlik artışı daha belirgin olmuştur. EPDM 1 ve EPDM 3’te tıpkı 120°C’ de olduğu gibi %5,4 ve %5,6 olacak şekilde benzer artış gözlenirken, EPDM 2; %2 ile en düşük sertlik değişimini sergilemiştir. Bu durum, peroksit sisteminin yüksek sıcaklıkta daha stabil çapraz bağ yapısına sahip olduğunu destekler niteliktedir. EPDM 2, 21,9 MPa ile yaşlandırma sonrası en yüksek çekme mukavemetini korumuş ve %7,4’lük hafif bir yükseliş göstermiştir. EPDM 1 ve EPDM 3’te sırasıyla %6,6 ve %1,8 azalma gözlenmiştir. TAC50 koajanı yüksek sıcaklıkta stabilitesini kaybetse de peroksit sisteminin üstünlüğü devam etmiştir. EPDM 1, EPDM 2 ve EPDM 3 numunelerinde kopma uzaması sırasıyla %35,8, %3,9 ve %39,2 azalmıştır. Peroksit sistemi, zincir esnekliğini en iyi koruyan yapı olarak öne çıkmıştır. Koajan ise bu parametrede de 150°C’ ye çıkıldığında etkisini kaybettiğini göstermiştir.

Çizelge 3.4: EPDM deneme karışımlarının 150°C’ de 72 saat yaşlandırılması sonrası test sonuçları

EPDM Karışımları Fizikomekanik Test Sonuçları						
Isıl Yaşlandırma Sonrası (150 °C de 72 saat)						
EPDM Numuneleri	Sertlik (Sh A)	Sertlik değişimi (%)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti Değişimi (%)	Kopma Uzaması (%)	Kopma Uzaması Değişimi (%)
EPDM 1	73,5	+5,4	17,0	-6,6	325	-35,8
EPDM 2	68,6	+2	21,9	+7,4	371	-3,9
EPDM 3	74,1	+5,6	16,0	-1,8	240	-39,2

Kauçuk malzemelerin uzun süreli yük altında yapısal bütünlüğünü ve dayanımını değerlendirmek için kritik öneme sahip olan gerilim gevşemesi testi 120°C’ de 72 saat ve 150°C’ de 72 saat olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları Şekil 3.2’ de görülmekte olup bunları detaylı olarak yorumlarsak; 120°C’ deki test sonuçlarına göre, EPDM 2 numunesi, F/F₀ oranını %90 seviyesinde koruyarak en düşük gerilim kaybını göstermiştir. EPDM 1 numunesi, başlangıçta hızlı bir gevşeme gösterip %68 seviyelerine sabitlenirken, EPDM 3 numunesi ise %60 seviyelerine kadar düşmüştür. Bu durum, peroksit çapraz bağlarının termal stabilitesinin daha güçlü olduğunu ve kükürt sistemine göre daha iyi performans sergilediğini göstermektedir. Ayrıca Koajan katkısı, kükürt sisteminin performansını bir miktar artırsa da peroksit sisteminin termal dayanımı karşısında yetersiz kalmıştır.

150°C’ deki test sonuçlarında ise tüm numunelerde daha belirgin bir gevşeme gözlenmiştir. EPDM 2, %80 seviyesinde kalırken, EPDM 1 %43, EPDM 3 ise %42 seviyelerine kadar gerilemiştir. Yüksek sıcaklık, özellikle kükürt bazlı vulkanizasyon sistemlerinin çapraz bağlarını zayıflatarak gevşemeyi hızlandırmıştır. Koajan 120°C’ de olan etkinliğini 150°C’ de kaybettiği gözlemlenmiştir.

Şekil 3.2: Gerilim gevşemesi (120°C – 150°C / 72 saat) test sonuçları

4. SONUÇ

Bu çalışma, çevresel kaygılar nedeniyle peroksit kullanımının kısıtlandığı durumlarda, EPDM kauçuk için kükürt-koajan bazlı bir alternatif vulkanizasyon sistemi geliştirmeyi amaçlamıştır. Yapılan analizler, kükürt-koajan karışımının (EPDM 1) reometre testlerinde yüksek çapraz bağ yoğunluğuna ulaştığını, bunun da malzemenin elastikiyetini ve işlenebilirliğini artırdığını ortaya koymuştur. Özellikle, kükürt-koajan karışımının (EPDM 1) maksimum tork (M_H) değerinin diğer reçetelere göre daha yüksek olması, çapraz bağ yoğunluğunun arttığını ve bu sayede malzeme yapısının mekanik açısından daha güçlü hale geldiğini göstermiştir.

Fizikomekanik testlerde, kopma uzaması açısından kükürt-koajan karışımı (EPDM 1) %506 ile en iyi performansı sergileyerek, koajan katkısının zincir yapısını esnek ve dayanıklı hale getirdiği gözlemlenmiştir. Koajan ilavesi (EPDM 1) durumunda çekme mukavemeti değeri kükürt vulkanizasyonu (EPDM 3) ve peroksit vulkanizasyonu (EPDM 2) arasında kalarak tam olarak istenilen sonuç elde edilmiştir. Yırtılma mukavemetinde ise koajanın (EPDM 1) etkinliğinin olmadığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak koajanın kükürtle birlikte çapraz bağ yoğunluğunu artırırsa da peroksit sistemi kadar kararlı bağlar oluşturmadığı düşünülmektedir.

Yaşlandırma testlerinde ise, 120°C’ de yapılan incelemeler kükürt-koajan sisteminin (EPDM 1) kükürt bazlı sisteme (EPDM 3) göre daha iyi termal dayanım sergilediğini ortaya koymuştur. Bu sıcaklıkta, sertlik, çekme mukavemeti ve kopma uzaması gibi kritik mekanik özelliklerdeki kayıpların daha sınırlı olduğu belirlenmiştir. Ancak, 150°C’ deki testlerde kükürt-koajan sisteminin (EPDM 1) performansında belirgin bir düşüş meydana gelmiş, özellikle kopma uzaması ve çekme mukavemeti değerlerinde ciddi azalmalar gözlemlenmiştir. Bu bulgu, yüksek sıcaklık koşullarında kükürt-koajan sisteminin (EPDM 1) çapraz bağ yapısının zayıfladığını ve peroksit bazlı sistemin (EPDM 2) daha stabil bir yapı sunduğunu göstermiştir.

Gerilim gevşemesi testleri de değerlendirildiğinde benzer sonuçlar vermiştir. 120°C’ de, kükürt-koajan karışımı (EPDM 1), gerilim kaybını kükürt sistemine (EPDM 3) göre daha iyi bir seviyede tutarken, peroksit bazlı sistem (EPDM 2) kadar etkili olamamıştır. 150°C’ deki gerilim gevşemesi testlerinde ise, tüm numunelerde belirgin bir gevşeme gözlenmiş ve kükürt-koajan (EPDM 1) sistemi, bu sıcaklıkta zincir yapısının stabilitesini koruyamamıştır. Buna karşın, peroksit (EPDM 2) sisteminin yüksek sıcaklık dayanımındaki üstünlüğü bu testle de doğrulanmıştır.

Sonuç olarak, geliştirilen kükürt-koajan (EPDM 1) bileşimi, düşük ve orta sıcaklık koşullarında peroksit (EPDM 2) makul bir alternatif olarak öne çıkarken, yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalar için sistemin daha fazla optimizasyona ihtiyaç duyduğu anlaşılmıştır. Bu doğrultuda, bir sonraki çalışmada koajan miktarındaki değişimin etkileri ve kalıcı deformasyon değerleri incelenecektir. Buna bağlı olarak EPDM kauçuk karışımının sıcaklık dayanımının kükürt vulkanizasyonunda koajan etkisiyle daha da iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

Abtahi, M., Bakhshandeh, G. R., & Darestani Farahani, T. (2006). Effect of TAC (triallyl cyanurate) on curing characteristics and mechanical properties of silica filled EPDM rubber. *Polymer -*

Plastics Technology and Engineering, 45(2), 183–189.
<https://doi.org/10.1080/03602550500373675>

- Akdeniz, H. (2003). Peroksitle Pişen Lastik Reçetelerinde Koajan Kullanım Prensipleri. *Kauçuk Derneği Dergisi*, 11–13.
- Bakiler, G. (2012). *Preparation of rubber blends and their composites and investigation of their properties*. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ciesielski, A. (1999). *An Introduction to Rubber Technology*. Rapra Technology Limited.
- Çavdar, S., Özdemir, T., & Usanmaz, A. (2009). Mechanical, Vulcametric, and Thermal Properties of the Different 5-ethylidene 2-norbornene Content of Ethylene-Propylene-Diene-Monomer Vulcanized with Different Types and Compositions of Peroxides. *Journal of Applied Polymer Science*, 116(5), 2658–2667. <https://doi.org/10.1002/app>
- Deniz Oral, D. (2014). *Kauçuk Malzemeler*.
- Güler, F. (2019). *Farklı polietilenlerin peroksitle çapraz bağlanmasına rijit koajanların etkisi*. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ketikis, P., Ketikis, I., & Tarantili, P. A. (2023). The effect of cross-linking system and reinforcement on the cross-linking reaction of peroxide vulcanized ethylene-propylene-diene terpolymer (EPDM) matrix. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 60(11), 801–815. <https://doi.org/10.1080/10601325.2023.2265974>
- Oral, A. (2019). *Ligninin nitril kauçuk vulkanizasyonunda koajan olarak değerlendirilmesi*. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Popa, G. A. (2011). *Rubber: Types, Properties, And Uses*. Nova Science.
- Vahapoğlu, V. (2013). Kauçuk Türü Malzemeler: Sınıflandırma. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 4, 25-34.
- Zou, H., Qiu, G., Liu, G., Soddemann, M., & Xu, J. (2020). A Novel Approach to Investigating Effect of Sulfur as a Coagent on the Quasi-Static and Cyclic–Dynamic Fatigue Properties of Peroxide Cured EPDM. *Polymer Engineering and Science*, 60(3), 455–463. <https://doi.org/10.1002/pen.25300>

Makale id= 40

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-9099-3445

| 168

Sac Metal Deformasyon Süreçlerinde Hasar Modelleri Üzerine Bir Değerlendirme**Researcher Ecenur Öztürk¹**¹TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.

Özet: Endüstride sac metallerin şekillendirilmesinde kullanılan malzemenin hasar davranışını tahmin etmek ve doğru anlamak tasarımdan üretime giden sürecin verimliliği açısından oldukça büyük öneme sahiptir. Sac metallerin deformasyon süreçleri değerlendirildiğinde yaygın olarak kullanılan Johnson-Cook, Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN) ve Generalized Incremental Stress State Dependent Damage Model (GISSMO) hasar modelleri ön plana çıkmaktadır. Bu hasar modelleri otomotivde çarpışma ve yüksek hızda darbe simülasyonlarında; metal şekillendirmede ise derin çekme, delme, sıcak şekillendirme proseslerinde ve plastik deformasyonların analizinde kullanılmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar doğrultusunda farklı yükleme koşulları altındaki malzemelerde sonlu elemanlar analizi sonuçlarıyla desteklenen hasar modellerinin doğrulukları incelenmiştir. Bu hasar modellerinin doğruluğunun test edilmesi amacıyla ise deneysel verilerle karşılaştırmalara yer verilmiştir. Bu bulgulara dayanarak belirli sınır şartları altında hangi hasar modelinin hangi durumda kullanılmasının uygun olduğu ve bu modellerin birbirlerine göre avantajları aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sac Metal Şekillendirme, Hasar Modelleri, Sonlu Elemanlar Analizi, Malzeme Deformasyonu, Gerilme

An Evaluation of Damage Models in Sheet Metal Deformation Processes

Abstract: Predicting and correctly understanding the damage behavior of the material used in the shaping of sheet metals is of great importance in terms of the efficiency of the process from design to production. When the deformation processes of sheet metals are evaluated, the widely used Johnson-Cook, Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN) and Generalized Incremental Stress State Dependent (GISSMO) damage models come to the fore. These damage models are used in collision and high-speed impact simulations in the automotive industry, and in deep drawing, drilling, hot forming processes and the analysis of plastic deformations in metal forming. In line with the studies, the accuracy of the damage models supported by the finite element analysis results in materials under different loading conditions was examined. In order to test the accuracy of these damage models, comparisons with experimental data were included. Based on these findings, which damage model is appropriate to use in which situation under certain boundary conditions and the advantages of these models compared to each other were discussed.

Keywords: Sheet Metal Forming, Damage Models, Finite Element Analysis, Material Deformation, Stress

INTRODUCTION

Nowadays, sheet metals are versatile and crucial materials in various industries. Sheet metals are preferred especially in the automotive and aviation industries due to their lots of advantageous characteristics. These are respectively formability, strength, durability, lightweight. Sheet metals consist of numerous metals such as basically steel types, aluminum, titanium alloy, copper, nickel alloys, zinc alloys. The thickness of these metals varies between 1.5 mm and 0.10 mm. It involves very different processes in terms of shaping and manufacturing methods in industry. These different methods include cutting, bending, stamping, welding and punching.

Its usage areas are mainly in the automotive and aerospace, aviation industry, not only in these but also electronics and power generation, HVAC systems, industrial applications. Analysis in the design of

sheet metals is an essential step for optimizing production processes ensuring high quality design sensitivity and optimization efficiency and cost. Finite element analysis programs include material models specific to each material. Thanks to these material models provide find more correct results design optimizing. Also, material models in finite element analysis software's provide an opportunity for advanced design techniques, tolerance and variation management, material and process optimization.

1.DAMAGE ANALYSIS METHODS

The finite element method is a very common numerical method widely used in damage analysis of sheet metal materials. The main types of finite element analysis of sheet metal materials in automotive are as follows.

1.1. Static Analysis

It examines how sheet metal parts deform under constant loads.

1.2. Dynamic Analysis

The behavior of sheet metal parts is studied when the vehicle is in motion or on impact. Factors such as vibration, vibration, acceleration and impact are considered.

1.3. Crashworthiness Analysis

Deformation of sheet metal materials is analyzed in terms of energy absorption and passenger safety.

1.4. Forming Analysis

During the forming of sheet metal, the stress and deformation profiles are analyzed when the metal is pulled or bent. This analysis is used to predict how the sheet metal will behave when forming during the production stages.

1.5. Thermal Analysis

The material behavior of sheet metal under high temperature is investigated. It examines the stresses caused by expansion and contraction during the heating and cooling of the metal.

1.6. Fatigue Analysis

Sheet metal materials are usually exposed to permanent loading. Fatigue analysis used to forecast the lifetime of materials. Fatigue life is determined according to the obtained Wohler curve.

2.MATERIAL DAMAGE MODELS

Material models play a significant role in simulation techniques and provide critical data for design. These models in analysis software are mathematical representations of the materials behavior under different loading conditions such as stress, strain, temperature.

Each material has its own material model. Johnson-Cook, Gurson and GISSMO material models are commonly used in analysis software. These models are implemented in finite element software like ANSYS, LS-DYNA, ABAQUS for understanding real material responses. Damage analysis is performed using models appropriate to the selected material to understand the damage behavior of the material in line with the mechanical loads it is exposed to. Different types of damage occur because of the loads applied to the material and the characteristic internal structural behaviors of the material. Among these damage types, the ones used for ductile methods are Johnson-Cook, Gurson-Tvergaard-Needleman and Generalized Incremental Stress-Dependent Damage Models, respectively.

Table 1. Areas of Use of Ductile Damage Models

Material Damage Model	Focal Point	All Fields of Application
Johnson-Cook (J-C)	High strain rates & temperatures	Metal cutting, impacts, ballistics, FEA
Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN)	Ductile damage with porosity	Ductile fracture, structural failure
Generalized Incremental Stress State Dependent Damage Model (GISSMO)	Damage accumulation	Sheet forming, crashworthiness

2.1 Johnson-Cook Material Model

The Johnson-Cook material and damage model characterizes the mechanical response of metallic materials and alloys under varying temperatures with peak strain rates. Some variables in the equation of the material or damage model can be created by adapting the methodology in accordance with the conditions to be studied. The model is used to define metals behavior under different loading conditions. Usually, these conditions are associated with high strain rates, high temperatures and the large range of plastic deformation. Johnson-Cook material model equation form is based on the material to be modeled. It can be used appropriately in high-speed deformations in materials that will be exposed to dynamic loads. J-C material model facilitates the understanding of the behavior of metals reaching high temperatures by considering the thermal softening effect. It allows both modeling the damage of the metal material in question and calculating the plastic yield behavior under stress. Thus, it contributes to the calculation of the fracture tendency of the material. It increases the accuracy of simulations by calibrating with the test results of the physically made material. The Johnson-Cook material model is often preferred in ballistic tests, crash simulations and machining for steel, aluminum, titanium, steel, nickel and magnesium alloy materials.

2.1.1. Johnson-Cook Hardening Model

$$\sigma = (A + B \varepsilon^n)(1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*)(1 - T^{*m}) \quad (1)$$

Johnson-Cook hardening model equation involves the stress effect of the material, the effect of strain rate on the material and the effect on the material respectively in each bracket.

2.1.2. Johnson-Cook Damage Model

$$\varepsilon f = [D_1 + D_2 \exp D_3 \eta] [1 + D_4 \ln (\varepsilon' / \varepsilon^*)] [1 - D_5 T^*] \quad (2)$$

Equivalent stress in the damage model equation relevant parameters of damage, triaxial stress, the ratio of plastic strain to reference strain, temperature.

2.2 Gurson-Tvergaard-Needleman Material Model

According to Hause et al. (2008) to determine the risk of material cracking during molding in metal forming in crash analysis, the GTN model is used for collapse and damage prediction in the automotive and aviation sectors.

GTN is a damage mechanics model that models plastic deformation by considering void formation, growth in ductile materials. The GTN material model explains plastic behavior in porous materials by relating it to stress and void ratio.

The Gurson model is used in crashworthiness simulations in the automotive industry based on the internal damage value. The estimation of the internal damage value is obtained from forming simulations.

$$\varphi = \left(\frac{\Sigma_{eq}}{\sigma_0}\right)^2 + 2 q_1 f^* \cosh\left(\frac{3}{2} q_2 \left(\frac{\Sigma_h}{\sigma_0}\right)\right) - (1 + q_3 f^{*2}) \quad (3)$$

The basic yield function of Gurson-Tvergaard-Needleman model contains equivalent stress, equivalent tensile yield stress and the hydrostatic stress. There are also model parameters.

Σ_{eq} is equivalent stress, Σ_h is hydrostatic stress. Model parameters such as q_1 , q_2 , q_3 . These model parameters determined by Tvergaard taken q_1 1.5, q_2 1, q_3 2.25 respectively.

In Gurson-Tvergaard-Needleman Material Model equation σ_0 denotes tensile yield stress. f^* is effective void ratio (effective ratio of micro voids within the material).

2.3. Generalized Incremental Stress State Dependent Damage Model Material Model

According to Sommer et al. (2020) GISSMO considers the influence of the stress state when determining incremental damage accumulation. It is a material model that attempts to explain how damage at a micro level accumulates and reaches ultimate failure at a macro level. This explains the phenomenon that results in rupture or breakage due to the expansion of material voids or the merging of these voids by changing shape. It is the optimal model that represents the accumulation of damage in plastic deformation and the rupture behavior. It provides the opportunity to model the fracture mechanisms of various metals. GISSMO is a suitable material model if it is necessary to examine the accumulation of damage after plastic deformation, especially in the collision tests carried out to shape the sheet metal to meet the safety conditions, especially in sheet metals. It is also used very effectively in metal fatigue calculations.

$$\Delta D = \frac{n}{\varepsilon_f(n)} D^{(1-\frac{1}{n})} \Delta \varepsilon_v \quad (4)$$

Parameter D is used to display damage information. n , which represents damage exponent. ε_f and $\Delta \varepsilon_v$ indicates damage initiation criterion and incremental plastic strain, respectively.

2.4. Triaxiality

In the damage analysis of the material, the stress in the ductile or brittle fracture behavior depends on the level of triaxiality. Triaxiality is a critical parameter to consider for studying damage accumulation in the GISSMO and Johnson-Cook Damage models. To calculate triaxiality, the average hydrostatic stress and the von Mises stress are needed.

$$\sigma_m = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad \sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (5)$$

σ_m is the mean hydrostatic stress or isotropic stress. σ_{eq} is equivalent stress which von Mises stress.

$$\eta = \frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}} \quad (6)$$

The ratio of the hydrostatic and equivalent von mises stresses gives the triaxiality.

3.APPLICATIONS of MATERIAL DAMAGE MODELS to the FINITE ELEMENT METHOD

First, the material damage model is selected according to the loading conditions that the material will be exposed to and its mechanical properties. Then, the damage model specific to the material to be studied must be converted into a mathematical model. The variable parameters in the mathematical model are determined. These variable parameters are calculated by considering the stress-strain, temperature, hardening and deformation rate together with the damage variables. By integrating the damage criterion into the material model, the material is introduced to the finite element software. When using damage models, deformation is done with nonlinear calculations in finite element analyses. Therefore, if we are working with a material that will be subjected to sudden loading, we need to use an explicit analysis solution. However, if the material we are working with will be subjected to slow loading, we need to make implicit analysis solutions. Calibration of the damage model parameters is completed in accordance with the results obtained from the data made through physical tests.

| 172

3.1. Determination of Johnson-Cook Model Parameters and Evaluation of Prediction Performance for 6181A-T4 Aluminum Alloy Sheet Material

Öztürk worked on the determination of Johnson-Cook model parameters of 6181A-T4 aluminum alloy sheet metal material and the evaluation of its prediction performance. Deformation analyzes were performed on the determined product geometry of 6181A-T4 aluminum alloy sheet metal material using LS-DYNA analysis software and Johnson-Cook model. 16 different numerical analysis models were established at four different drawing speeds of 25 mm/min, 125 mm/min, 500 mm/min, 1000 mm/min in four different sample shapes as standard, a notched, 4a notched, 20a notched and different experimental data were collected for each numerical analysis model for the sample and drawing speed in the study. Different notch size radii and triaxial stress values were calculated for these data. These triaxial stress values were obtained as 0.333 in the standard sample, 0.738 in the notch size a, 0.451 in the notch size 4a, 0.358 in the notch size 20a, respectively. In the study, the hardening parameters A, B, n, C belonging to the Johnson-Cook model were obtained by analytical methods, while the damage parameters D_1 , D_2 , D_3 , D_4 were determined by optimization. Based on these, the estimation performance of the Johnson-Cook model parameters was evaluated by comparing the analysis with the real results. Tests were performed with samples having various notch factors and stresses were calculated with samples in different notch groups to obtain stress values. The first parenthesis in Equation 1 indicates the stress effect of the material, the second parenthesis indicates the effect of the deformation rate on the material, and the third parenthesis indicates the effect of temperature on the material.

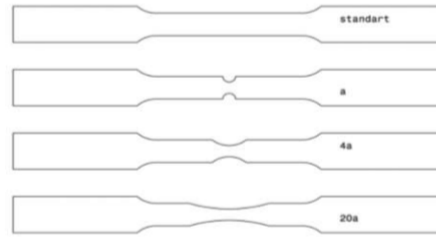
$$\sigma = (A + B \varepsilon^n)(1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*)(1 - T^{*m}) \quad (7)$$

$$\varepsilon f = [D_1 + D_2 \exp D_3 \eta] [1 + D_4 \ln (\dot{\varepsilon} / \dot{\varepsilon}^*)] [1 - D_5 T^*] \quad (8)$$

The specific values of the parameters of the damage model equation in the structure of above equation depend on the load conditions to which the material to be studied is exposed. In the parameters D_1 , D_2 , D_3 , the triaxial stress parameters of the damage model of the material are represented, while D_4 is the parameter of the deformation rate, and D_5 is the parameter of the temperature. The ratio of the average stress to the equivalent stress gives the triaxial stress.

Various tests are applied to determine the parameters of the Johnson-Cook material model. Stress values are obtained as a result of tests performed on samples with different notch factors. The use of samples with different notch values in the study also means that the following samples have different radiuses.

Figure 1. Tensile Test Specimens with Standard, a, 4a and 20a Notch Values (Öztürk, E., 2024)



| 173

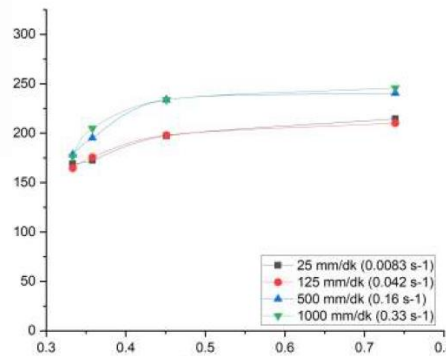
In this way, we can calculate the triaxial stress again by substituting the radius values in equation 9.

$$\eta = \frac{1}{3} + \ln \left(1 + \frac{a}{2R} \right) \quad (9)$$

Table 2. Triaxial Results of Tensile Specimens at Different Notch Sizes and Radiuses (Öztürk, E., 2024)

Notch size (a)	Radius (R)	Triaxial Stress (η)
Standard	∞	0.333
a	3.125	0.738
4a	12.5	0.451
20a	62.5	0.358

The triaxial stress values obtained from physical tests are given above. The values of the yield points at which these stresses occur are given in the graph below.

Figure 2. Triaxial Stress-Yield Point Graph (Öztürk, E., 2024)

When the triaxial stress and yield points graph obtained was examined, it was seen that the yield strength, which is a mechanical property of the material that is exposed to high stresses in a short time with a high deformation rate and absorbs energy, is higher. It is seen that two different approaches are used to obtain the parameters required for the Johnson-Cook damage and material modeling. First of all, the hardening parameters A, B, n, C in the J-C mathematical material model were determined. Parameter A refers to the yield strength. After this value is exceeded, plastic deformation is observed. The yield

point was determined from the stress and unit strain graph obtained as a result of the tensile tests and the value of the A parameter was calculated as 163.09 MPa. In the model, parameter B represents the coefficient of strength, while n represents the solidification exponential. Based on the tensile test performed at a speed of 25 mm/min as a reference, the stress and unit strain curve was obtained. By applying the formula $A + B \varepsilon^n$ between the yield and tensile points on this curve, the B and n values were calculated. Parameter B was noted as 417.961 MPa and n as 0.579. For the four different tensile speeds in the study, the C parameter was calculated as 0.00181 by simulating the line $y = mx + c$ by replacing m with C and x by replacing x with $\ln(\varepsilon^*)$ and by curve fitting method.

| 174

Figure 3. Material Constants and Parameters of Johnson-Cook Hardening and Damage Model of 6181A-T4 Aluminum Material (Öztürk, E., 2024)

A (MPa)	B (MPa)	n	C	m
163.09	417.96	0.57968	0.00181	1
D1	D2	D3	D4	D5
0.0648346	2.00176	-7.73319	-0.0532084	0

While calculating the damage parameters D_1, D_2, D_3, D_4 in the J-C material model, the tensile speed of 25mm/min is taken as a reference. Since the study was not carried out at a different temperature, D_5 zero was taken and the damage equation reached the following form.

$$\varepsilon f = [D_1 + D_2 \exp D_3 \eta] [1 + D_4 \ln(\varepsilon^*)] \quad (10)$$

The above refraction unit strain equation has again been converted to the format $y = mx + c$. Here, y is replaced by $\varepsilon f / [D_1 + D_2 + \exp(D_3 \eta)]$, m is replaced D_4 and C is replaced by 0.00181, which was determined in the previous step. Optimizations were then made in the LS-OPT software to calculate these damage parameters. Values were obtained by setting up the following optimization map for damage parameters.

Figure 4. Optimization Map (Öztürk, E., 2024)

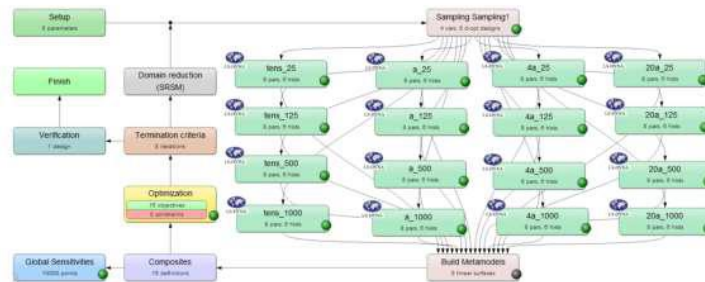
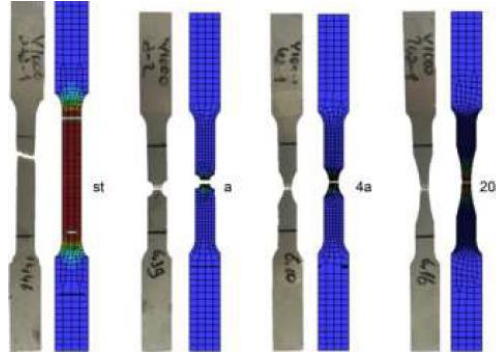


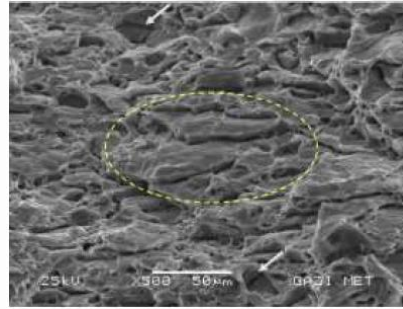
Figure 5. Experimental and Simulated Tensile Test Specimens at Different Notch Values (Öztürk, E., 2024)



When the experimental results and the tensile test results performed with finite element analysis were compared, it was stated that the values were very close and consistent with each other.

It has been reported that tests and simulations performed at four different tensile speeds have increased yield strength with increasing triaxial stress in both standard and notched specimens, and they have a consistent change.

Figure 6. Fracture Surface Morphologies of Standard Specimens at Different Magnifications Obtained After Tensile Test Performed at 25 mm/min Tensile Velocities (Öztürk, E., 2024)



When the Scanning Electron Microscope (SEM) results in the image above are examined, it is explained that the 6181A-T4 aluminum alloy sheet metal material undergoes ductile rupture in the tensile test and dimple morphologies occur during compa. Since the Johnson-Cook material and damage model is used in the deformation of ductile materials, the results of the Scanning Electron Microscope (SEM) and the experimental test results show that both the correct material model is used and the correct results are obtained.

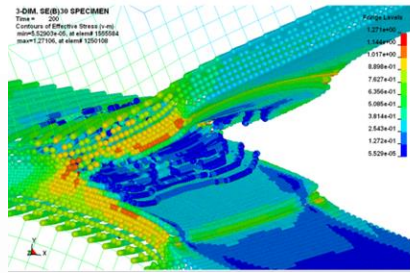
3.2. A Study on Gurson Damage Model and Numerical Simulation of Ductile Damage in LS-DYNA

Fesich, Mohan, Marzougui, and Gurson-Tvergaard-Needleman examined the ability of the materials model to predict physical damage behavior in their blood study. His main focus in his work is to be able to reproduce the stress state and the progression of the crack after damage with the Gurson-Tvergaard-Needleman damage model and the consistency of its prediction. In the sample modeling used for analysis in the simulations, they considered the examples of single edge bending and notched tensile. The reason for using this damage model is that it is a powerful model for damage estimation, especially in asymmetrical crack growth, especially the Gurson-Tvergaard-Needleman damage model.

The Gurson-Tvergaard-Needleman damage model is used to model the rupture of ductile materials based on the development and coalescence growth of microstructural voids.

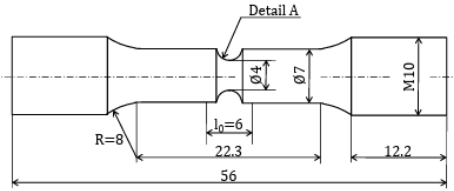
The equation of the GTN damage model extends the Von-Mises yield criterion to define a yield function that includes the effect of microvoids in the material. In their study, they used GTN model simulation including plastic elastic material properties for tensile testing with simple material models. In doing so, specimens with characteristic lengths of 0.1 mm, 0.2 mm and 0.4 mm were taken into account. And with mesh structures of different sizes, the fracture stress was simulated by aiming for maximum load. They shared that the simulation results provided consistency for the same sample and material type previously made.

Figure 7. Finite Element Analysis Using the Gurson-Tvergaard-Needleman Damage Model (Fesich, et al. (2008). A Study of the Gurson Damage Model and Numerical Simulation of Ductile Failure in LS-DYNA.



$$\varphi = \left(\frac{\Sigma_{eq}}{\sigma_0}\right)^2 + 2 q_1 f^* \cosh\left(\frac{3}{2} q_2 \left(\frac{\Sigma_h}{\sigma_0}\right)\right) - (1 + q_3 f^{*2}) \quad (11)$$

Figure 8. Sample Used in the Study (Fesich, et al. (2008). A Study of the Gurson Damage Model and Numerical Simulation of Ductile Failure in LS-DYNA

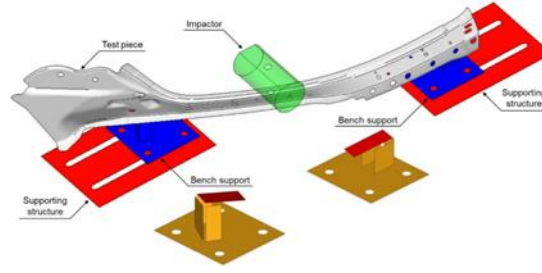


The multiaxiality parameter q in the GTN damage model equation above is obtained by proportioning the von-mises stress and the hydrostatic stress. They explained that the results of the finite element analysis (made in LS-DYNA) with the multiaxiality parameter and GTN damage model met the expected criteria with their calculations.

3.3. Numerical-Experimental Study on the Crashworthiness of the A-Pillar of a Windshield

Armentani, Perella, Cepollaaro, D'Errico and Giannella studied the numerical and experimental crashworthiness of a vehicle structural component in their work. The windshield A-pillar, made of high-strength steel, is designed to produce the impact of a vehicle side impact accident and tested in an in-house impact test apparatus.

Figure 9. CAD Model of the Impact Test Applied to the Windshield A-Pillar (Armentani, et al (2024). Numerical-experimental study on the crashworthiness of a windshield A-pillar.



| 177

They compared the results obtained from the experimental data with the numerical simulations obtained from LS-DYNA and examined their consistency and results. They used the GISSMO model to correlate experimental data with numerical simulations. The reasons for using a GISSMO model are both better predictors of impact behavior and less computational. The optimal design of passenger safety cells in vehicles is critical to reduce passenger injuries caused by vehicle breakdown or accident. In this study, numerical experimental crash resistance analysis of the windshield A-pillar, which is an important element for the passive safety of vehicles, was performed. In the event that the vehicle is in motion, they have made a test apparatus within the company in order to create a suitable situation with the real thing by reproducing the effects on the A-pillar as reliably as possible in the event of a side impact. The test was carried out at a constant impact speed by applying a displacement of 180 mm at 180 ms to the impact apparatus. The impact test material was obtained by making the mechanical properties of HSLA steel, which is in the industrial secrecy of Stellantis, applicable to vehicle structural components with a special technology.

$$EA = \int_0^d P(s)ds \quad (12)$$

In the experimental results, they calculated the crush load and displacement curves, which indicate the durability in the crash test, and the impact absorption energy in terms of energy during impact with equation above. In the equation, P is the crash force during the test, d is the displacement at the breaking point, and s is the total displacement. Numerical analyses based on the finite element method used 2 material models with the LS-DYNA analysis program to simulate the impact test. The first of these is the model with the code "MAT_081" in finite element analysis based on the elastic-plastic law (FEM), and the second is GISSMO, which is the generalized incremental stress condition-dependent damage model.

Figure 10. Change of Impact Energy with Respect to Displacement Function in Experimental and GISSMO Damage Model Finite Element Analysis (Armentani, et al (2024). Numerical-experimental study on the crashworthiness of a windshield A-pillar.

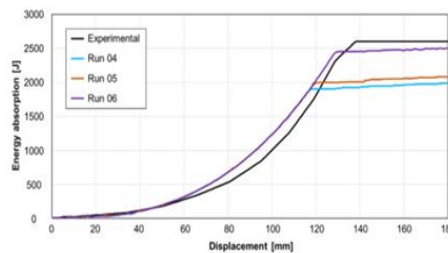
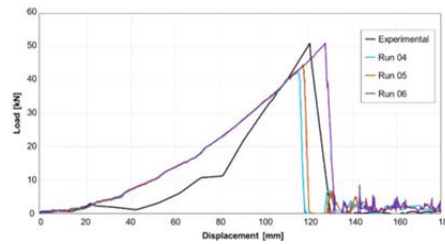


Figure 11. Variation of Load and Displacement Relationship in Experimental and GISSMO Damage Model Finite Element Analysis (Armentani, et al (2024). Numerical-experimental study on the crashworthiness of a windshield A-pillar.



In their study, they shared that the results of energy absorption-displacement, load-displacement relationships between the GISSMO damage model and the experimental test were consistent with each other.

CONCLUSION

When the results of the study titled 'Determination of Johnson-Cook Model Parameters and Evaluation of Prediction Performance for 6181A-T4 Aluminum Alloy Sheet Material' were examined, analytical and numerical calculations of 6181A-T4 aluminum alloy aging heat treated sheet material were made. When the A, B, n, C values of the hardening parameters and D1, D2, D3, D 4 values of the damage parameters are placed in the Johnson-Cook material and damage model, they give results consistent with the experimental data in the simulation. In line with the findings obtained from the study titled 'A Study on the Gurson Damage Model and Numerical Simulation of Ductile Damage in LS-DYNA'; They found that it was successful in providing consistent prediction results in asymmetrical crack growth based on the notched stress example in the GTN material model. In the study titled 'Numerical-Experimental Study on the Crash Resistance of the A-Pillar of a Windshield', they obtained that the experimental results generated highly similar data with crash test simulations based on design criteria that play an important role in the passenger safety of modern vehicles. While achieving very close results with the GISSMO material model at maximum impact strength, it has also been found suitable for the simulation of passive automotive safety tests because it requires less iteration and calculation than other analysis methods. It provides comparison opportunities.

REFERENCES

- Armentani, E., Perrella, M., Cepollaro, M., Cepollaro, F., D'Errico, G., & Giannella, V. (2024). Numerical-experimental study on the crashworthiness of a windshield A-pillar. *Forces in Mechanics*, 15, 100273. <https://doi.org/10.1016/j.finmec.2024.100273>
- Öztürk, E. (2024). *6181A-T4 alüminyum alaşım sac malzeme için Johnson-Cook model parametrelerinin belirlenmesi ve tahmin performansının değerlendirilmesi* [MA Thesis]. Gazi Üniversitesi.
- Haufe, André & Roll, Karl & Neukamm, Frieder & Feucht, Markus. (2008). A generalized Stress State dependent Damage Model for Forming and Crashworthiness Simulations.
- Tamer, M. E., Ozgultekin, A. G., & Aydin, B. (2021). GISSMO failure modelling for crashworthiness analysis using different test specimens. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 16, 31–38. <https://doi.org/10.55549/epstem.1052213>
- Sommer, D., Schauwecker, F., Middendorf, P. (2020, June). A Study on the Transfer of GISSMO Material Card Parameters from 2D- to 3D-Discretization. 16th International LS- DYNA Users Conference
- Fesich, T. M., Mohan, P., & Marzougui, D. (2008). A Study of the Gurson Damage Model and Numerical Simulation of Ductile Failure in LS-DYNA. 7. *LS-DYNA Anwenderforum, Bamberg 2008*. <https://www.dynamore.de/de/download/papers/forum08/dokumente/B-III-01.pdf>

Makale id= 42

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0005-4058-8616

| 179

İleri Tesis Planlama Kapsamında Tabu Search Yaklaşımının Kuramsal İncelemesi ve Uygulama Potansiyelleri**Araştırmacı Aşlınur Yücel¹**¹University of Turkish Aeronautical Association

Özet: Bu bildiride, Tabu Search (TS) algoritmasının ileri tesis planlama (ITP) bağlamındaki kullanımına ilişkin kuramsal bir inceleme sunulmaktadır. Öncelikle TS algoritmasının temel bileşenleri (tabu listesi, komşuluk yapıları, aspirasyon kriteri ve durma koşulları) ele alınmakta, ardından ITP çerçevesinde tesis tasarımı, depo yerleşimi, üretim hattı düzenlemesi gibi tipik problemlere nasıl uyarlanabileceği kavramsal olarak irdelenmektedir. Literatürdeki çalışmalar, TS'nin özellikle NP-zor olarak sınıflandırılan yerleşim ve konumlandırma problemlerinde etkin ve esnek çözümler ürettiğini göstermektedir. Ayrıca, kısa-orta-uzun dönem hafıza yapılarının yoğunlaştırma ve çeşitlendirme stratejileriyle birleştirilmesinin, tesisten beklenen performansı artırdığı belirtilmektedir. Son bölümde, endüstrideki uygulama potansiyellerine ve çok amaçlı optimizasyon kurgusuna değinilerek, ileri araştırma konuları ve karar vericilere yönelik öneriler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tabu Arama, İleri Tesis Planlama, Tesis Yerleşimi, Depo Yönetimi, Meta-Sezgisel Optimizasyon.

A Theoretical Examination of the Tabu Search Approach and Its Application Potentials in the Context of Advanced Facility Planning

Abstract: This paper presents a theoretical examination of the use of the Tabu Search (TS) algorithm in the context of Advanced Facility Planning (AFP). First, the fundamental components of the TS algorithm—tabu list, neighborhood structures, aspiration criteria, and stopping conditions—are discussed. Then, within the scope of AFP, its conceptual applicability to typical problems such as facility design, warehouse layout, and production line arrangement is analyzed. Studies in the literature indicate that TS provides effective and flexible solutions, particularly for layout and location problems classified as NP-hard. Moreover, the integration of short-, medium-, and long-term memory structures with intensification and diversification strategies is noted to enhance the expected performance of facilities. In the final section, the industrial application potentials and multi-objective optimization framework are addressed, followed by suggestions for future research and decision-makers.

Keywords: Tabu Search, Advanced Facility Planning, Facility Layout, Warehouse Management, Metaheuristic Optimization.

1. GİRİŞ

Advanced facility planning encompasses complex decision problems related to the design and organization of production facilities or service areas in enterprises. Sub-problems such as facility layout, warehouse layout, and production line balancing are critical planning issues that affect the long-term strategic objectives of decision-makers. These problems generally have a combinatorial structure and are extremely difficult to solve for large sizes (NP-hard). For instance, the facility layout problem can often be reduced to the Quadratic Assignment Problem (QAP) formulation, and due to its integrated structure, only small-sized instances can be solved in a reasonable time by classical methods (Adıgüzel, 2012). As a result, exact (optimal) methods fall short in large-scale facility planning problems; hence, there is a need for metaheuristic approaches capable of effectively searching the solution space to generate acceptable (near-optimal) solutions (Singh, 2009).

Tabu Search (TS), developed by Fred Glover in the late 1980s, is a powerful metaheuristic algorithm that uses memory structures to guide local search methods. Like classical local searches, it seeks improvements through neighboring solutions. However, the innovative aspect of TS is that it can accept deteriorating solutions when necessary and can impose prohibitions called “tabu” to keep the search away from previously visited solutions (Løkketangen, 1995). In this way, TS conducts a broader search by preventing the solution space from getting stuck, thus escaping local optimum traps.

In this research, the theoretical foundations of the Tabu Search algorithm and its application to advanced facility planning problems are comprehensively examined. First, the fundamental components and working principles of TS will be discussed, and then the relationship between TS and facility design and layout problems will be explained. Important studies in the literature will be compiled, the effectiveness of TS in NP-hard facility planning problems will be discussed, and TS’s memory structures along with its optimization strategies (intensification and diversification) will be examined. Finally, the industrial application potentials (e.g., multi-objective optimization, real-world examples) are evaluated, and future recommendations are presented within the scope of the findings obtained.

2. THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE TABU SEARCH ALGORITHM

Tabu Search is a local search-based metaheuristic algorithm. The local search approach attempts to improve a current solution by making small changes (neighboring solutions); however, pure local search often gets stuck in a local optimum. TS introduces two innovative principles to overcome this problem (Løkketangen, 1995):

- Acceptance of deteriorating moves: If there is no improving move, moves that temporarily reduce solution quality can also be made, thus allowing the search to continue instead of stopping at a plateau or local minimum.
- Tabu restrictions: Moves made or solutions visited in the recent past are declared tabu, preventing the search from immediately returning to the same solutions. These “prohibited” states remain in effect for a certain duration, equipping the algorithm with an adaptive memory. These basic principles give TS a non-Markovian character; decisions are made not only based on the current state but also on previous pauses and moves.

For a successful implementation of the TS algorithm, it is necessary to define its core components (Glover, 1995):

- Neighborhood Structure and Move: Neighboring solutions reachable from one solution in the search space are determined by defined moves. For example, in a facility layout problem, swapping two departments is a move and constitutes the set of neighboring solutions. In each iteration, the neighborhood set of the current solution is searched to determine the best candidate move.
- Tabu List: The tabu list, which is the short-term memory structure of tabu search, stores the last certain number of moves or solution features. If a move or solution is on the tabu list (i.e., it has already been implemented in the recent past), it is not reconsidered until its tabu period expires. The tabu list is usually maintained in a FIFO structure with a certain length; this length parameter (tabu tenure) determines how far back in memory the search looks.
- Aspiration Criterion: In some cases, performing a move that is on the tabu list can lead the search to a very good solution. The aspiration criterion is a threshold rule that overrides the tabu rule. The most common aspiration criterion is to allow a tabu move if it leads to a solution better than any found so far. Thus, good solutions that might be missed due to the tabu list are re-included in the search.
- Initial Solution and Stopping Conditions: TS usually starts with an initial solution created randomly or by a problem-specific heuristic. The search proceeds iteratively with the specified strategy until a stopping criterion is met. The stopping criterion may be a certain number of iterations, a time limit, or a number of iterations without progress. In some applications, achieving an acceptable target value is also used as a stopping criterion.

These components work together to form the mechanism of the Tabu Search algorithm. In general, the algorithm proceeds as follows: First, an initial solution is created using a random or heuristic method, and the tabu list is initialized as empty. In each iteration, the neighbors of the current solution are examined, the best neighbor solution that is not on the tabu list (or is exempt via the aspiration criterion) is found, and the current solution is updated to that neighbor. The performed move (e.g., the swapped elements) is added to the tabu list, and if necessary, old records are removed from the list. If this new solution is better than the best solution found so far, the best solution is updated. The algorithm continues in this manner until the specified stopping criterion is met. During this process, intensification is occasionally used to focus on the vicinity of the best solutions, or diversification moves are made to jump to new regions. Ultimately, the best solution obtained is the approximate optimal solution that the algorithm can find. The dynamic structure of Tabu Search provides a highly effective search tool for large-scale combinatorial problems that are often unsolvable by classical methods (Akarsu, 2024).

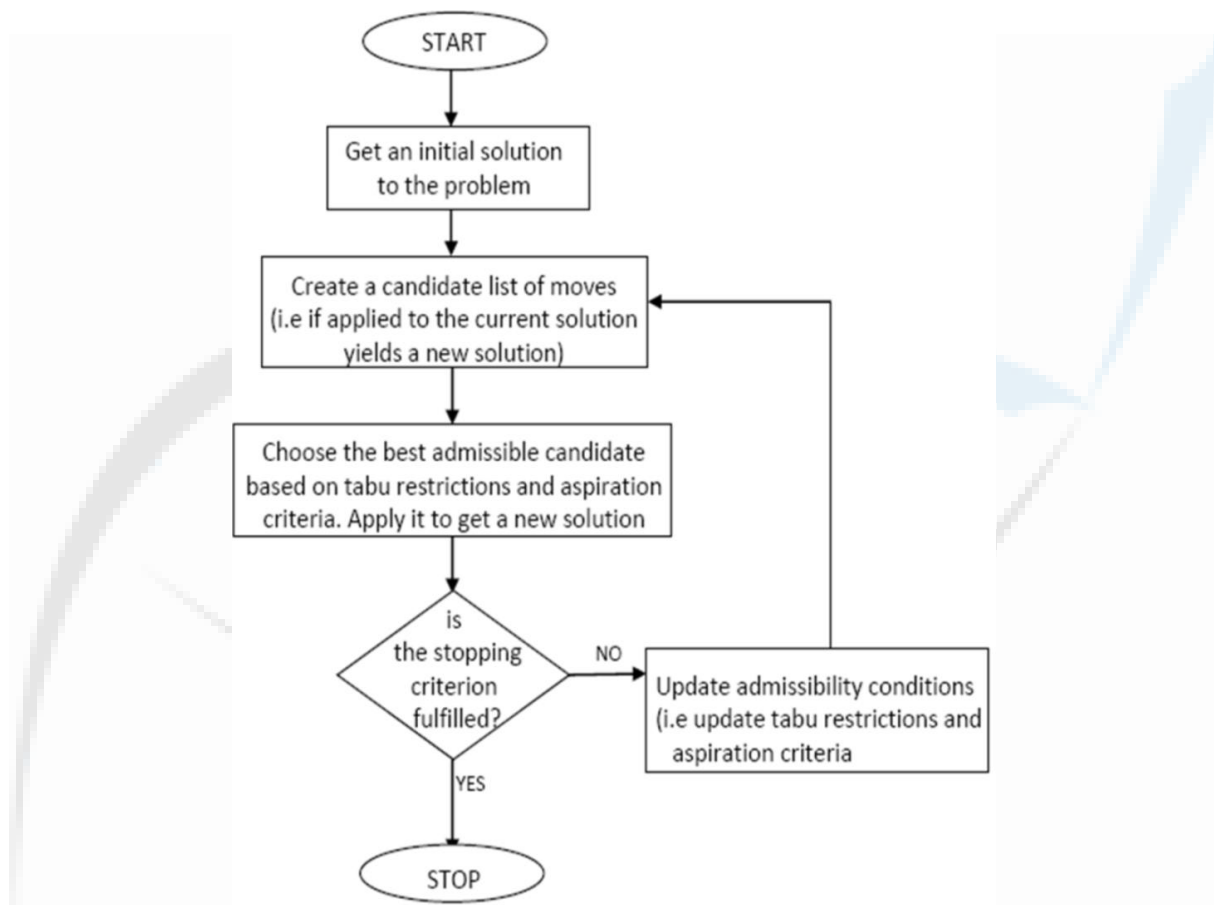


Figure 1. General flow diagram of the Tabu Search algorithm (Yange, Onyekwere & Okeke, 2020).

Thanks to the interaction of these core components, the Tabu Search algorithm prevents cyclical behavior by restricting the search (via the tabu list), while also providing flexibility (through the acceptance of deteriorating moves and aspiration) for a more extensive exploration of the solution space. Consequently, TS offers a flexible framework that performs exceedingly well in many different problems (Singh, 2009). In this context, the following subsections detail the application of TS to advanced facility planning problems and the related literature in this field.

3. USE OF TABU SEARCH IN FACILITY DESIGN

Facility design in industrial engineering covers topics such as facility layout, facility location, production line arrangements, and the planning of warehouses and distribution systems. These problems

generally fall under the NP-hard category, and exact methods are not practical for large sizes. Therefore, heuristic algorithms like Tabu Search are widely employed in the field of facility design. The following subsections discuss the major applications of Tabu Search in this area.

3.1. Facility Layout

The facility layout problem aims to arrange departments, machines, or workstations within a factory or facility in the most optimal way possible. The goal is typically to improve production flow, reduce transportation costs, and optimize space usage. This problem is often modeled as a Global Layout Problem or a Production Facility Layout Problem and is frequently reduced to Kantorovich or Quadratic Assignment Problem (QAP) formulations in the literature. Tabu Search has been widely used as a method yielding successful results for such layout problems.

For instance, Chiang and Kouvelis (1996) presented an improved algorithm developed to solve the production facility layout design problem using Tabu Search and enhanced its performance by adding different intensification/diversification strategies. With this approach, it was reported that the best-known solutions to many benchmark problems in facility layout were achieved. Similarly, Liang and Chao (2008) investigated the efficiency of Tabu Search for factory layout optimization and developed strategies that included various intensification and diversification procedures to improve the solution quality in classic layout problems (Liang & Chao, 2008). As a result, the multiple search strategies they proposed outperformed existing heuristic methods, proving more successful in well-known layout problems (Liang & Chao, 2008).

Similar studies exist in Türkiye as well. For example, in a master's thesis, Adıgüzel (2012) developed a Tabu Search-based heuristic algorithm for a facility layout arrangement problem and applied it to some test problems from the literature. The obtained results were compared with the best-known solutions for the respective problems, demonstrating the effectiveness of the Tabu Search approach (Adıgüzel, 2012). This study revealed that even in small- and medium-scale layout problems, the Tabu Search method provides superior performance compared to classical methods. The literature also includes many studies aimed at improving the solution quality and speed of layout problems by using different tabu strategies (e.g., adaptive tabu list length, partial layout improvements, etc.). The general trend indicates that Tabu Search shows highly competitive results, particularly in standard test problems known as the NUG series and in trials conducted with real factory data (in many cases, it achieves the best-known solution or results very close to it). One reason for this is that Tabu Search can perform a flexible search suitable for the discrete decision structure (e.g., swapping units) in layout problems; thanks to its memory mechanisms, the search process can be dynamically guided by learning, for example, whether having certain pairs of departments together is advantageous or disadvantageous.

3.2. Facility Location and Positioning

Facility location problems concern determining the locations of newly established facilities (factories, warehouses, distribution centers, etc.) or existing facilities. The goal is to optimize geographic location decisions according to criteria such as minimizing costs or maximizing service levels. Among facility location models are uncapacitated facility location or capacitated facility location problems, as well as single-level or multi-level location problems. In this area, Tabu Search has produced successful results in both academic studies and practical applications.

It has been demonstrated, especially in warehouse location or factory site selection problems, that Tabu Search algorithms can quickly obtain the best-known solutions. Michel and Van Hentenryck (2004) developed an extremely simple yet effective Tabu Search algorithm for the uncapacitated warehouse location problem and succeeded in finding the optimal solutions for all standard test problems in the OR-Library in very short times. This study showed how successful Tabu Search can be in terms of both solution quality and speed when strategically applied to location problems. Similarly, researchers such as Al-Sultan and Al-Fawzan (1999) and Ghosh (2003) applied Tabu Search to facility positioning problems, achieving solution qualities unreachable by classical methods. A literature review noted that "Tabu search is one of the most frequently used metaheuristic methods in the uncapacitated facility location problem" (Sun, 2006). The main reason for this is that Tabu Search can define effective neighborhood moves (e.g., closing one facility and opening another) for the decision variable "open/close a facility" in these types of problems and can keep the combinatorial explosion of these

moves under control with its memory. Moreover, Tabu Search can be easily adapted to facility location problems of different scales; it can be used in single-facility selection, multiple-facility location, or two-level (for example, factories and distribution centers together) location problems by appropriately adjusting parameters and neighborhood structures.

There are also examples in the literature of practical applications of Tabu Search in facility location. For instance, studies that simultaneously optimize the positioning of factories and warehouses in a supply chain have shown that Tabu Search and similar methods can produce quite satisfactory solutions using real-world data. In such applications, Tabu Search often appears as part of hybrid approaches (e.g., improving a solution found by Lagrangian relaxation with Tabu Search). Overall, in the face of the complexity of facility location problems, the adaptable structure of Tabu Search makes it a reliable tool in decision support systems.

3.3. Production Lines and Warehouse Arrangements

Production line balancing aims to distribute workloads among workstations on a production line and ensure efficient operation. This problem also has a complex combinatorial structure and involves assigning different tasks to stations. Tabu Search has been applied to production line balancing and similar production arrangement problems as well. In particular, Tabu Search-based algorithms developed to minimize the number of stations or to optimize cycle time in a production line have achieved successful results in the literature.

In a study by Wen-Chyuan Chiang (1996) applying the Tabu Search method to an assembly line balancing problem, various search strategies were tested, and it was reported that “except for a few exceptions, tabu search always finds the optimal solutions.” This study demonstrated how effective Tabu Search can be for production line problems. Similarly, researchers like Rubinovitz and Levitin (1995) solved highly constrained (e.g., single model, fixed sequence) assembly line problems with Tabu Search, obtaining results surpassing those of traditional methods. The success of Tabu Search here lies in special neighborhood moves (e.g., swapping tasks, moving a task from one station to another) that can be used in line balancing and the prevention of erroneous cycles through short-term memory. In fact, one study noted that Tabu Search found a better solution than all known solutions in the literature for a particular assembly line problem (Chiang & Russel, 1997).

The internal arrangement of warehouses and inventory placement problems constitute another area in which Tabu Search is applied. The warehouse layout problem aims to optimize the design of shelves, aisles, and storage areas. In a multi-story warehouse layout problem addressed by Zhang and Lai (2010), “greedy” and “dynamic neighborhood” variants were added to the standard version of Tabu Search, ultimately showing that Tabu Search-based approaches significantly reduced transportation costs. Especially for complex warehouse design problems with constraints such as storing the same product type in adjacent cells, Tabu Search enabled near-feasible solutions within reasonable times for combinations too large for classic methods (Zhang & Lai, 2010). This demonstrates the scalability of Tabu Search for large-scale industrial arrangement problems.

In general, in facility-internal optimization problems such as production lines and warehouse arrangements, it has been reported that Tabu Search’s flexibility yields good performance for both single-objective and multi-objective models. For example, in one study, an adaptive Tabu Search was used for a multi-objective assembly line balancing problem, simultaneously optimizing multiple criteria such as the number of workstations and line balancing efficiency (Baykasoğlu & Demirkol Akyol, 2014). The results showed that Tabu Search could provide a structure capable of balancing different objectives. In warehouse problems, Tabu Search has often been compared to other heuristic methods (genetic algorithms, particle swarm optimization, etc.) and has produced competitive or even superior results in most scenarios. One example is a decision support system study that used Tabu Search for the layout of a spare parts warehouse; by optimizing internal paths and shelf positions, more than a 15% increase in efficiency was achieved compared to the existing layout (particularly a significant reduction in forklift travel distances). Such applications confirm that Tabu Search can bring operational improvements in practice.

3.4. Improvement of Logistics and Distribution Systems

Logistics and distribution problems involve the optimization of material and product flows outside of facilities. Vehicle Routing Problems (VRP), the design of distribution networks, and multi-level supply chain optimization fall under this category. Tabu Search is considered one of the groundbreaking methods, especially in vehicle routing and distribution planning problems.

The Vehicle Routing Problem requires determining road plans for a certain number of vehicles to meet specific demands from multiple customers, and it has many variations (capacitated, time-windowed, multi-depot, etc.). Since the 1990s, Tabu Search has been a prominent metaheuristic used for nearly every variety of VRP. Indeed, the statement that “due to its ability to find near-optimal solutions in a short time, the tabu search algorithm is one of the most widely used methods for all variants of vehicle routing problems” is frequently emphasized in the literature (Keskitürk, Topuk & Özyeşil, 2015). In studies by Gendreau and colleagues between 1994 and 1997, Tabu Search derivatives developed for the vehicle routing problem with time windows achieved the best-known solutions in many test problems. Particularly, the adaptive memory tabu search approach proposed by Taillard et al. (1997) produced solutions with quality and speed unattainable by classic methods, through an innovative neighborhood strategy that split and recombined routes. In this method, Tabu Search stored the best routes found in a memory pool and intermittently combined parts of those routes to provide different starting points for the search; as a result, many classic test problems yielded the best results reported up to that time (Taillard, Badeau, Gendreau, Guertin & Potvin, 1997).

Studies conducted in Türkiye similarly confirm the power of Tabu Search in logistics optimization. For example, Dündar et al. (2022) applied a Tabu Search-based route optimization to improve a distribution company's daily operations, achieving a cost reduction of around 10-15% compared to the existing manually planned routes. In a comprehensive literature review, Şahin and Eroğlu (2014) noted that compared to other heuristic methods, Tabu Search generally yields better or similar solutions in shorter times for vehicle routing problems. It is especially emphasized that Tabu Search can effectively explore complex route changes, thanks to its memory mechanism, in large-scale fleets and customer networks.

Another application in logistics and distribution is distribution network design and supply chain optimization. These problems address facility location and product flow in an integrated manner across multiple levels (e.g., factory-warehouse-customer). Tabu Search has also been utilized in such integrated problems. For instance, in the two-level capacitated facility location and distribution planning problem, hybrid Tabu Search methods (together with simulated annealing or genetic algorithms) have been applied to achieve multi-objective improvements in a reasonable time, even for very large-scale problems (Nguyen, Pham, Chanta & Sangsawang, 2025). The advantage of Tabu Search here is its ability to effectively search both facility opening/closing decisions and flow decisions (e.g., which customer gets served from which warehouse) simultaneously. In multi-objective scenarios (e.g., optimizing cost and time together), algorithms based on Tabu Search have also been developed to find Pareto-optimal solutions. For example, one study used a variant of Tabu Search called Multi-Objective Tabu Search (MOTS) to simultaneously optimize total cost and maximum travel time in a logistics network design, successfully providing a range of options to the decision-maker (Nguyen, Pham, Chanta & Sangsawang, 2025). These results show that Tabu Search can also be adapted to obtain a solution frontier (trade-off solutions) instead of a single best solution.

In summary, Tabu Search has proven to be a successful method in both academic research and industrial applications for improving logistics and distribution systems. Subproblems such as real-time routing (e.g., adapting the daily plan to traffic and demand fluctuations), driver assignment and shift planning, and inventory-location coordination are also areas where Tabu Search has been applied. Many logistics software and decision support tools perform optimization using modules that incorporate Tabu Search or its variants. The underlying reason for this is that Tabu Search possesses the flexibility to handle complex constraints and large solution spaces, producing high-quality solutions within acceptable times. Modern literature notes that thanks to especially adaptive (wave-like) versions and parallel implementations, Tabu Search can even be applied to large-scale real-time logistics problems.

4. ACADEMIC STUDIES AND EXAMPLES IN THE LITERATURE

It will be useful to examine some noteworthy academic studies in the literature to highlight the importance of Tabu Search in the field of facility planning and design. In this section, examples from selected theses, articles, and books are provided, summarizing the performance of Tabu Search on different problems and the approaches used.

Thesis Center Examples: Among the studies in the YÖK Thesis Center, there are many theses related to Tabu Search. For instance, in the doctoral dissertation by Canan Hazal Akarsu (2024), a “Konteyner Yükleme Problemleri için Tabu Arama ve Pekiştirmeli Öğrenme Tabanlı Bir Hibrit Yaklaşım” was developed. In this study, classical Tabu Search was combined with a machine learning method, namely reinforcement learning, and applied to complex container loading problems, achieving stable and high-quality solutions on real datasets. It was particularly shown that the hybrid approach sometimes converged faster and produced more stable results compared to pure Tabu Search. Another study from the YÖK Thesis Center, conducted by Ayşe Nur Adıgüzel (2012) and mentioned earlier, involves a Tabu Search algorithm for a facility layout problem; in this thesis, the Nugent (NUG) test problems from the literature were solved with Tabu Search, and in many cases, optimal values or very close results were obtained. This thesis demonstrates the significance of Tabu Search as a research and educational tool in the industrial engineering departments of universities.

DergiPark and Local Academic Journals: In Turkish-language articles published on DergiPark, one can also find applications of Tabu Search. For example, in the article by Şahin and Eroğlu (2014) in the *İşletme Bilimi Dergisi*, which compared heuristic methods for vehicle routing problems, it was emphasized that Tabu Search exhibits a high level of performance, especially in large-scale distribution problems. The article notes that when Tabu Search is used in conjunction with classic improvement algorithms such as 2-opt, it provides near-optimal results even for large-scale VRP instances. Additionally, Keskinürk, Topuk, and Özyeşil (2015), in a review study examining different vehicle routing algorithms, stated that Tabu Search is one of the most commonly preferred methods in the literature. In journals such as the *Journal of Turkish Operations Management*, there have also been publications comparing Tabu Search—used in a hybrid manner with genetic algorithms or simulated annealing for logistics network optimization—with other methods. These local sources show that Tabu Search is also popular in research in Türkiye and has been tested in various problem domains.

International Academic Articles: A Google Scholar search with the keywords Tabu Search and facility planning can reveal thousands of international publications. Among these, if we mention some classic works: Glover and Laguna’s (1997) book *Tabu Search* provides an in-depth examination of the algorithm’s theoretical foundation and various applications, serving as a fundamental reference for researchers. Articles published by Hertz, Taillard, and de Werra (1991) showed adaptations of Tabu Search for different combinatorial problems such as graph coloring and assignment problems. Barnes and Chambers (1995) investigated the use of Tabu Search in production planning problems, reporting significant improvements in periodic scheduling issues. Yang, Ni & Yang (2021) applied Tabu Search to a multi-layered supply chain design problem, addressing both cost and delivery time optimization with a hybrid solution approach. The common point in these studies is that they demonstrate the versatility and adaptability of Tabu Search. Even though the problems differ (assignment, scheduling, route planning, layout, etc.), the fundamental principles of Tabu Search have yielded successful results with minor adaptations.

A Few Example Outcomes: Highlighting a few concrete results from the literature: Tabu Search held the best-known solution for many years in a 30-unit facility layout problem known as Nug30; in the classical Solomon benchmarks for the time-windowed VRP, many of the best-known solutions have been provided by Tabu Search-based algorithms; in another study, a Tabu Search algorithm applied to a rolling mill scheduling problem in the steel industry improved production plans by about 5% compared to manual planning, indicating millions of dollars in potential savings. These examples document the practical benefits of Tabu Search in the literature.

The academic studies mentioned above demonstrate how powerful Tabu Search is in both theory and practice. Especially in facility planning problems where combinatorial explosion is significant, Tabu Search generally appears in the literature as a “benchmark” method—performance is measured by

comparing any new method developed against Tabu Search. This status indicates the esteem and reliability Tabu Search holds in the field.

5. APPLICATION POTENTIALS AND FUTURE DIRECTIONS

The application potential of the Tabu Search approach within the scope of advanced facility planning is quite broad. Both successful applications to date and emerging technology trends indicate that Tabu Search will continue to be an important optimization tool in the future. In this section, drawing on real-world scenarios, the application potentials of Tabu Search, multi-objective optimization frameworks, and possible directions for future research are evaluated.

Real-World Scenarios and Industrial Use: Tabu Search has moved beyond academia and found its place in industrial decision support systems as well. For example, in a large-scale cargo company's daily distribution planning software, it was reported that a Tabu Search-based module resulted in 10% fewer vehicles being used compared to manual planning and improved delivery times. Similarly, in a production facility's job-shop scheduling problem, significant reductions in total production time were achieved by optimizing job sequences using Tabu Search. In the airline industry, Tabu Search has also been successfully applied to flight scheduling and crew planning problems; major airlines have used Tabu Search-based software to plan pilot and cabin crew rotations, minimizing operational disruptions. These examples show that, thanks to its flexible structure, Tabu Search can be adapted to optimization problems in different sectors. It is particularly preferred for problems in logistics, production, and energy sectors, where variables need to respond quickly and the solution space is enormous. In real-time applications (such as intelligent traffic management or real-time production planning), parallel and distributed versions of Tabu Search are employed to enable rapid decision-making. On modern computing systems, a Tabu Search algorithm can be distributed across different cores or machines, searching multiple solutions simultaneously. Such improvements have further expanded the use of Tabu Search in industrial applications. In short, Tabu Search is widely used in real-world scenarios, either as an independent optimization tool or as part of larger systems (e.g., a decision-making module within a simulation model).

Multi-Objective Optimization and Decision Support: In facility planning problems, there is often more than one performance criterion (for example, cost, time, flexibility, service level, environmental impact). Applying Tabu Search to multi-objective optimization problems offers a rich area for future research. Although some studies in the literature have developed Multi-Objective Tabu Search (MOTS), these methods are not as mature as their single-objective versions. From an application potential perspective, consider a decision-maker aiming to optimize both the cost and environmental impact of a facility: Tabu Search could evaluate multiple objective functions with different weights in the solution pool and present a set of Pareto-optimal solutions. This would allow the decision-maker to see different scenarios and make a choice. For example, in a distribution network optimization where a balance is sought between total cost and carbon emissions, Tabu Search could minimize these two criteria at varying balances in different solutions, creating a portfolio of options. In the future, it is expected that multi-objective versions of Tabu Search will be enriched with more intelligent aspiration criteria and memory structures, offering decision-makers an interactive optimization experience. In this way, the user can guide the search process while the algorithm is running (for example, "Increase the cost slightly, but reduce the delivery time"), which would be highly valuable in decision support systems.

Integration and Hybrid Approaches: Another future direction is to hybridize Tabu Search with other methods. Indeed, many current studies already use Tabu Search alongside genetic algorithms, simulated annealing, particle swarm optimization, or artificial neural networks. For instance, Tabu Search can be used as a local improvement step in a genetic algorithm (an approach known in the literature as a memetic algorithm). Conversely, Tabu Search can be supported by a population-based (genetic-inspired) approach to find different initial solutions. These types of hybrids aim to combine the strengths of each method. Specifically in facility planning, Tabu Search can play an important role in simulation-optimization integrations: if optimizing a complex production facility in a closed form is difficult, a simulation model can be built, and Tabu Search can be directed based on performance outputs provided by the simulation. Thus, effective searches can be conducted even in stochastic and dynamic systems. Future research will likely integrate Tabu Search more with artificial intelligence techniques. In

particular, the integration of Tabu Search with reinforcement learning is a very interesting area—Akarsu (2024) took a step in this direction in her dissertation. In the future, Tabu Search may have an artificial intelligence module capable of learning its own strategies and adapting which neighborhood move to use when, based on past experiences. This would reduce the need for manual parameter tuning for each problem, allowing the algorithm to behave as it learns from its environment. Indeed, Glover (1995) emphasized “intelligent search” principles in his work and foresaw that Tabu Search’s rule sets could be learnable. Today, with the advancement of machine learning techniques, this foresight has the potential to become a reality.

6. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this study, the theoretical framework of the Tabu Search (TS) algorithm and its applications in advanced facility planning problems have been examined in detail. The components of TS—such as the tabu list, neighborhood structure, and aspiration criterion—and its short-, medium-, and long-term memory mechanisms have been explained, illustrating how the algorithm enhances local search processes. Within the context of advanced facility planning, it has been observed that TS is a significant solution tool for NP-hard problems like facility layout, warehouse layout, and production line arrangement. A review of the literature revealed that methods supported by TS often achieve solution quality unattainable by classical methods, can operate within reasonable times for large-scale problems, and can be adapted to various requirements (e.g., multi-objective, fuzzy, hybrid approaches) through different customizations.

Recommendations for Decision-Makers:

- Managers and engineers dealing with advanced facility planning problems will greatly benefit from becoming closely acquainted with modern heuristic tools like Tabu Search. In large-scale layout, location, and scheduling problems—where reaching an optimal solution with traditional methods is difficult or impossible—TS can provide high-quality solutions in a short time, creating a competitive advantage.
- Businesses that optimize a factory layout with the help of TS can significantly reduce material handling distances and costs. Similarly, production facilities that continuously improve production schedules using TS can adapt more quickly to changing order conditions, thereby increasing operational efficiency.
- The widespread use of TS-based decision support systems in industry can offer substantial cost savings and flexibility, particularly in logistics, production, and supply chain domains.

Recommendations for Future Research:

- **Parameter Optimization and Adaptability:** Parameters such as tabu list length, number of iterations, and neighborhood structure directly affect the performance of TS. “Reactive” or “learning” tabu search approaches that can automatically or adaptively adjust these parameters may improve solution quality and computational efficiency.
- **Big Data and Real-Time Applications:** With technologies such as Industry 4.0 and the Internet of Things (IoT), data flow in optimization problems has become continuous. Adapting TS to utilize this ongoing data and make instant decisions (in real-time or near real-time) is critically important, especially in dynamic logistics and production planning scenarios.
- **New Neighborhood and Memory Structures:** Defining problem-specific special neighborhoods can enhance the effectiveness of the search. For example, in production scheduling problems, neighborhood moves designed for critical jobs or diversification strategies based on geographical clustering in logistics networks can advance the performance of Tabu Search.
- **Theoretical Analysis:** Although TS achieves successful practical results, its guarantees for reaching an optimal solution under certain conditions and its complexity analyses have yet to be fully established. Investigating and proving how parameter choices affect the search space will strengthen the theoretical foundation of the algorithm.

- Application to Different Problem Areas: TS also holds significant potential in areas where it has been relatively less explored, such as problems in continuous space, fractional optimization, or dynamic/evolutionary scenarios. Redesigning TS's neighborhood and tabu strategies for these types of problems presents new research opportunities.

In conclusion, the Tabu Search algorithm is a valuable tool for solving advanced facility planning problems due to both its theoretical robustness and practical flexibility. The findings presented in this report show that when TS is suitably adapted and utilized, it delivers highly successful results in facility design, layout, and related areas. In the future, efforts to adapt TS to new problem domains, integrate it into multi-criteria and uncertainty-based decision problems, and improve computational efficiency will further extend the capabilities of this powerful metaheuristic method. Particularly through hybrid and adaptive methods, TS is expected to continue offering flexible and high-quality solutions to decision-makers in dynamic and complex environments. In this regard, the academic accumulation of knowledge about Tabu Search and the experiences gained from industrial applications will continue to make significant contributions to advanced facility planning and, more generally, to the field of optimization.

6. REFERENCES

- Adıgüzel, A. N. (2012). *Tesis yerleşimi düzenlenmesi problemi için bir tabu arama sezgisel algoritması [A tabu search heuristic algorithm for a facility layout problem]* (Yüksek lisans tezi [Master's thesis]). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Akarsu, C. H. (2024). *Konteyner yükleme problemleri için tabu arama ve pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir hibrit yaklaşım [A hybrid approach based on tabu search and reinforcement learning for container loading problems]* (Doktora tezi [Doctoral dissertation]). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Al-Sultan, K. S., & Al-Fawzan, M. A. (1999). A tabu search approach to the uncapacitated facility location problem. *Annals of Operations Research*, 86(1), 91–103.
- Baykasoğlu, A., & Demirkol Akyol, Ş. (2014). *Ergonomik montaj hattı dengeleme [Ergonomic assembly line balancing]*. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi (Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University)*, 29(4), 785–792.
- Chambers, J. B., & Barnes, J. W. (1995). *Tabu search for the flexible-routing job shop problem*. Graduate program in Operations Research and Industrial Engineering, The University of Texas at Austin. Technical Report Series, ORP96-10.
- Chiang, W. C. (1996). Tabu Search with Target Analysis to the Assembly Line Balancing Problems—An Artificial Intelligence Approach. In *Artificial Intelligence and Manufacturing Research Planning Workshops* (pp. 30–34).
- Chiang, W. C., & Russell, R. A. (1997). A reactive tabu search metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows. *INFORMS Journal on Computing*, 9(4), 417–430.
- Gendreau, M., Hertz, A., & Laporte, G. (1994). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem. *Management Science*, 40(10), 1276–1290.
- Ghosh, D. (2003). Neighborhood search heuristics for the uncapacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 150(1), 150–162.
- Glover, F. (1995). *Tabu search fundamentals and uses (Revised and expanded)*. University of Colorado, Graduate School of Business.
- Glover, F., & Laguna, M. (1997). *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers.
- Hertz, A., Taillard, E., & De Werra, D. (1995). A tutorial on tabu search. In *Proc. of Giornate di Lavoro AIRO* (Vol. 95, pp. 13–24).
- Keskitürk, T., Topuk, N., & Özyeşil, O. (2015). *Araç rotalama problemleri ile çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması ve bir uygulama [A classification of vehicle routing problems and solution methods with an application]*. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77–107.

- Levitin, G., & Rubinovitz, J. (1995). Algorithm for tool placement in an automatic tool change magazine. *International Journal of Production Research*, 33(2), 351–360.
- Liang, L. Y., & Chao, W. C. (2008). The strategies of tabu search technique for facility layout optimization. *Automation in Construction*, 17(6), 657–669.
- Løkketangen, A. (1995). Tabu search—Using the search experience to guide the search process: An introduction with examples. *AI COM*, 8(2), 78–85.
- Michel, L., & Van Hentenryck, P. (2003). A simple tabu search for warehouse location. In F. Rossi (Ed.), *Principles and Practice of Constraint Programming – CP 2003 (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2833)* (pp. 344–358). Springer.
- Nguyen, D. N., Pham, V. N., Chanta, S., & Sangsawang, O. (2025). Tabu search for multi-objective hub location planning: A case study of the Northern Rail Line, Thailand. *E3S Web of Conferences*, 602(1), 1–5.
- Singh, S. P. (2009). Solving facility layout problem: Three-level tabu search metaheuristic approach. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(1), 73.
- Sun, M. (2006). Solving the uncapacitated facility location problem using tabu search. *Computers & Operations Research*, 33(9), 2563–2589.
- Şahin, Y., & Eroğlu, A. (2014). *Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için metasezgisel yöntemler: Bilimsel yazın taraması [Metaheuristic methods for the capacitated vehicle routing problem: A literature review]*. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19(4), 337–355.
- Taillard, É., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., & Potvin, J.-Y. (1997). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows. *Transportation Science*, 31(2), 170–186.
- Yang, M., Ni, Y., & Yang, L. (2021). A multi-objective consistent home healthcare routing and scheduling problem in an uncertain environment. *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107560.
- Yange, T. S., Onyekwere, O., & Okeke, O. B. (2020). A duty scheduler for veterinary teaching hospitals using tabu search algorithm. *Journal of Computer Sciences and Applications*, 8(1), 30–39.
- Zhang, G. Q., & Lai, K. K. (2010). Tabu search approaches for the multi-level warehouse layout problem with adjacency constraints. *Engineering Optimization*, 42(8), 775–790.

Makale id= 44

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0009-5816-6410

| 190

Taban Halısı ve Pur Üretilbilirlik Problemi ve Ergonomi Açısından İncelenmesi**Araştırmacı Burak Barışkan¹**¹Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.

Özet: Otomotiv iç mekân bileşenleri hem yolcuların konforunu artırma hem de ağırlık azaltma ve çevresel etkiyi minimize etme açısından büyük önem taşımaktadır ve araçların zemin kaplamalarında kullanılan taban halısı sistemleri, akustik ve termal yalıtım sağlamanın yanı sıra, sürücü ve yolcular için ergonomik bir kullanım sunarak güvenliği ve konforu doğrudan etkilemektedir. Taban halısı, tipik olarak nonwoven (dokusuz yüzey) tekstil esaslı bir üst katman, farklı yoğunluk ve kompozisyonda bir destek katmanı ve çeşitli bağlayıcı malzemelerden oluşan çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Üretiminde yaygın olarak polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET) ve poliamid (PA) gibi termoplastik bazlı elyaflar kullanılmakta olup, bu malzemeler hem hafiflik hem de maliyet açısından avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, taban halılarının altında yer alan destekleyici katmanlar ve ses yutucu malzemeler, otomobilin akustik performansını artırarak titreşim ve gürültüyü azaltmada kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, poliüretan köpüklerin üretim sürecinde karşılaşılan bazı teknik zorluklar ve maliyet-etkinlik problemleri, endüstride alternatif çözümler üzerine araştırmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe taban halısı üretiminde karşılaşılan üretilbilirlik problemleri ve ergonomik değerlendirmeler detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Özellikle PUR bazlı destek katmanlarının üretim süreçlerindeki teknik zorluklar, malzeme seçiminin üretim verimliliği ve araç içi konfor üzerindeki etkileri incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Taban Halısı, Ses İzolasyonu, Akustik, Üretilbilirlik

Examination of Vehicle Floor Carpet and Pur in Terms of Manufacturability Problems and Ergonomics

Abstract: Automotive interior components are of great importance in terms of both increasing passenger comfort and reducing weight and minimizing environmental impact, and the floor carpet systems used in vehicle floor coverings directly affect safety and comfort by providing acoustic and thermal insulation as well as ergonomic use for the driver and passengers. The floor carpet typically has a multi-layered structure consisting of a nonwoven textile-based upper layer, a support layer of different densities and compositions, and various binding materials. Thermoplastic-based fibers such as polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET), and polyamide (PA) are commonly used in its production, and these materials provide advantages in terms of both lightness and cost. In addition, the supporting layers and sound-absorbing materials located under the floor carpets play a critical role in reducing vibration and noise by increasing the acoustic performance of the car. However, some technical difficulties and cost-effectiveness problems encountered in the production process of polyurethane foams have led to an intensification of research on alternative solutions in the industry. In this study, the manufacturability problems and ergonomic evaluations encountered in the production of floor carpets in the automotive sector will be discussed in detail. In particular, the technical difficulties in the production processes of PUR-based support layers, the effects of material selection on production efficiency and interior comfort will be examined.

Keywords: Floor Carpet, Sound Insulation, Acoustics, Manufacturability

1. GİRİŞ

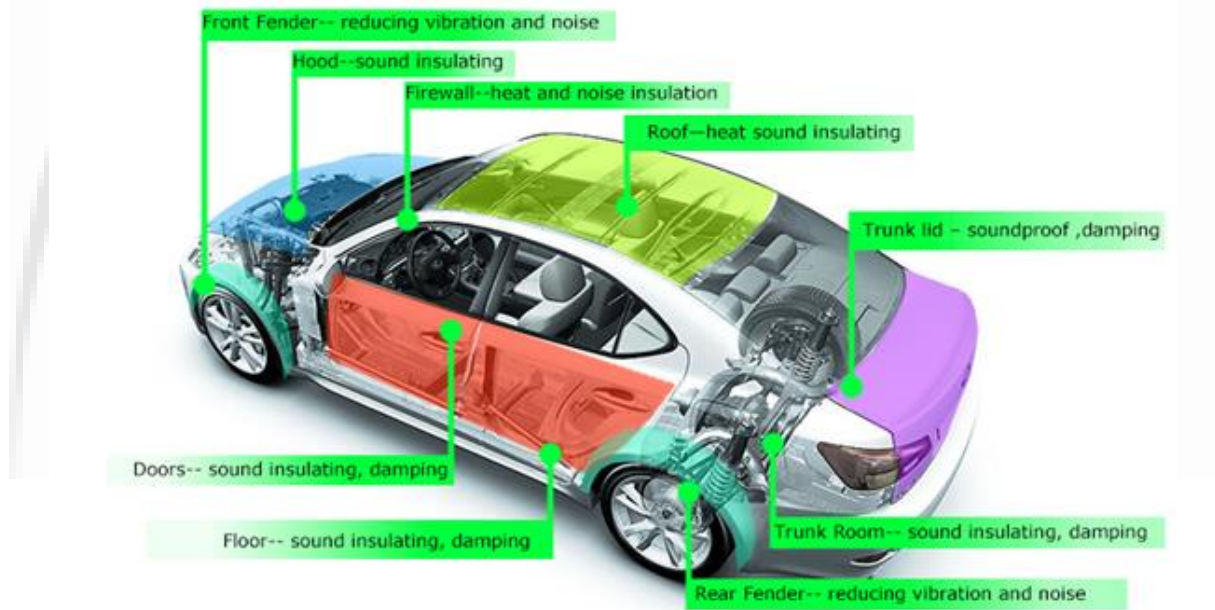
Otomotiv endüstrisi, son yıllarda hem üretim teknolojileri hem de malzeme bilimi açısından önemli gelişmeler kaydetmiş olup, bu gelişmelerin büyük bir bölümü araç içi konfor, güvenlik ve sürdürülebilirlik üzerine odaklanmaktadır. Özellikle iç mekân bileşenleri hem yolcuların konforunu artırma hem de ağırlık azaltma ve çevresel etkiyi minimize etme açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu bağlamda, araçların zemin kaplamalarında kullanılan taban halısı sistemleri, akustik ve termal yalıtım sağlamanın yanı sıra, sürücü ve yolcular için ergonomik bir kullanım sunarak güvenliği ve konforu doğrudan etkilemektedir.

Taban halısı, tipik olarak nonwoven (dokusuz yüzey) tekstil esaslı bir üst katman, farklı yoğunluk ve kompozisyonda bir destek katmanı ve çeşitli bağlayıcı malzemelerden oluşan çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Üretiminde yaygın olarak polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET) ve poliamid (PA) gibi termoplastik bazlı elyaflar kullanılmakta olup, bu malzemeler hem hafiflik hem de maliyet açısından avantaj sağlamaktadır [1]. Bunun yanı sıra, taban halılarının altında yer alan destekleyici katmanlar ve ses yutucu malzemeler, otomobilin akustik performansını artırarak titreşim ve gürültüyü azaltmada kritik bir rol oynamaktadır.

Ancak, poliüretan köpüklerin üretim sürecinde karşılaşılan bazı teknik zorluklar ve maliyet-etkinlik problemleri, endüstride alternatif çözümler üzerine araştırmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe taban halısı üretiminde karşılaşılan üretilebilirlik problemleri ve ergonomik değerlendirmeler detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Özellikle PUR bazlı destek katmanlarının üretim süreçlerindeki teknik zorluklar, malzeme seçiminin üretim verimliliği ve araç içi konfor üzerindeki etkileri incelenecektir. Taban halısı sistemlerinin üretim süreçleri, malzeme kompozisyonu ve üretim yöntemi açısından otomotiv üreticilerinin belirlediği teknik spesifikasyonlara ve regülasyonlara uygun olarak şekillenir. Halı katmanlarının bir araya getirilmesi için enjeksiyon kalıplama, termoform, sıcak presleme gibi çeşitli yöntemler kullanılırken, bağlayıcı olarak poliüretan (PUR), poliolefin bazlı yapıştırıcılar veya termoplastik elastomerler tercih edilmektedir [2]. Özellikle PUR esaslı destek katmanları, darbe emici özellikleri ve esneklikleri sayesinde ergonomik avantajlar sunmakta ve araç içerisindeki titreşimleri sönmüleme noktasında etkili olmaktadır.

Şekil 1. Araçta kullanılan izolatörler [3]



Taban halısının tasarımında bazı kriterler vardır ve bu tasarım kriterleri normlarla dokümanite edilerek değişmez kural olarak kayıt altına alınmıştır. Bu tasarım kriterleri belirlenirken çeşitli girdiler göz önünde bulundurulmaktadır. Bunlardan bazılarını; üretim teknolojisi, hammadde, güvenlik kuralları ve ergonomi değerleri olarak sıralayabiliriz.

Taban halısının alt katmanı olan poliüretan üretiminde minimum kalınlık oldukça önemlidir, bunun nedeni de poliüretan üretiminde kullanılan kimyasal formül nedeniyle belli bir noktadan enjekte edilerek parçanın tümüne nüfuz etmesi beklenmektedir. Fakat aynı zamanda poliüretan formuna karar veren yapı araç şasisidir ve şasi üzerindeki metal braketlerin girintili ve çıkıntılı yapısı nedeniyle taban halısı altında

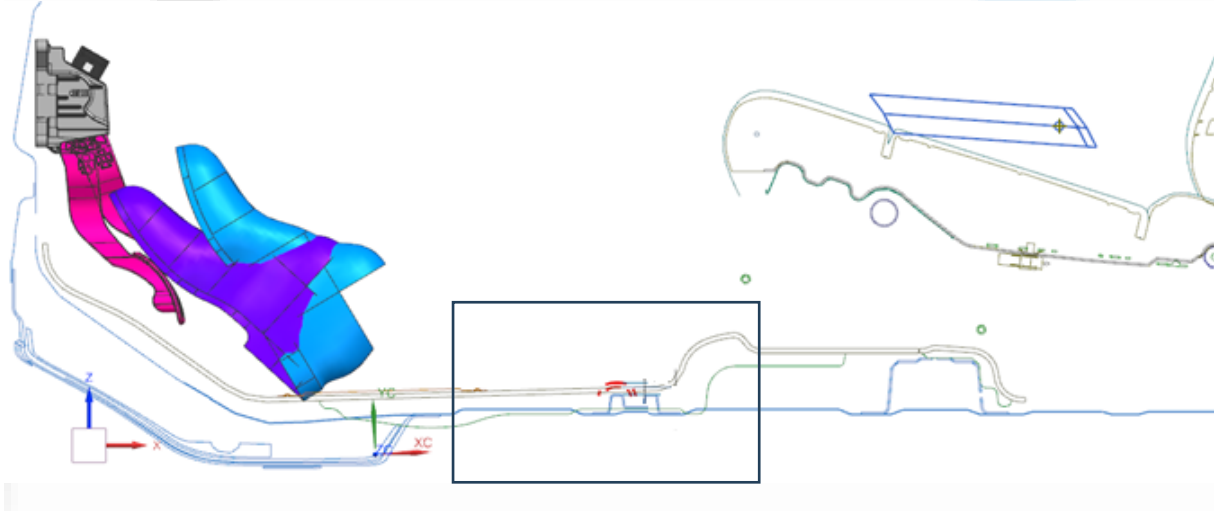
kalan poliüretan tasarımı sınırlı olabilmektedir. Diğer yandan taban halısının üst yüzeyinin sınırlarını da ergonomik değerler belirlemektedir.

Önerilen çözümler, akustik performans, maliyet etkinliği, ürün ağırlığı ve atık azaltma alanlarında rekabet avantajı sağlamalı ve çevre dostu ve sürdürülebilir üretim çözümleri önermelidir. [4]

Şekil 2. Bir aracın taban halısı [5]



Şekil 3. Taban halısı; PUR ve şasi etkileşimi



SONUÇ

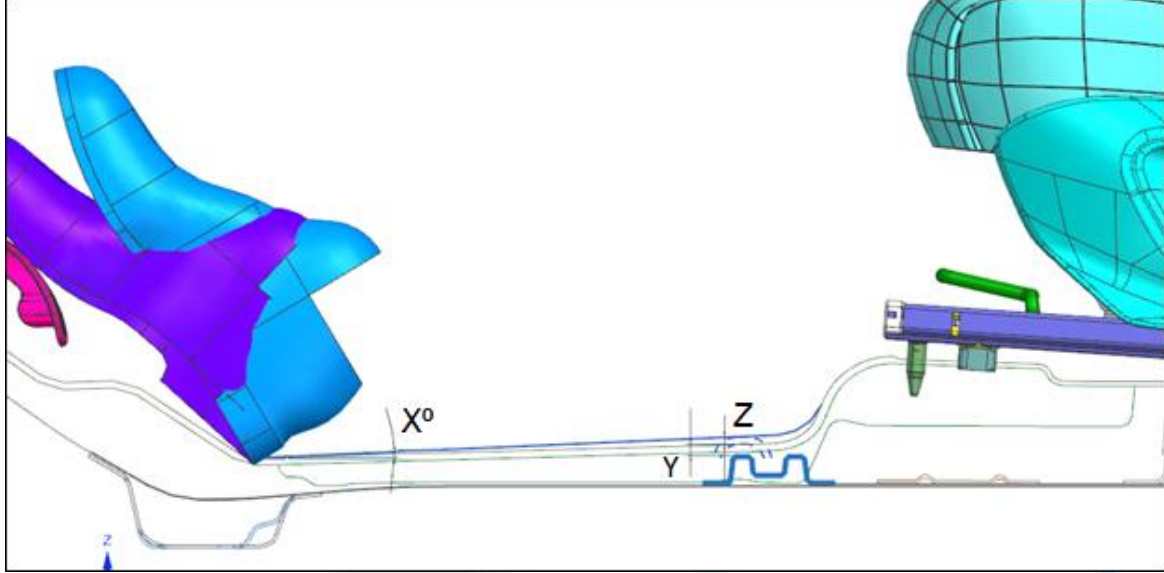
Poliüretan üretiminde beklenen minimum kalınlığa ulaşamadığı durumda, taban halısının üst kısmı olan ayak basma alanı yukarı kaldırılmalıdır fakat bu da ergonomik değerleri olumsuz etkilemektedir. Bunun çözümü olarak da ergonomik beklentiler incelenerek gerekli tasarım değişikliği uygulanmalıdır. Buradaki en önemli ergonomik girdi, manken ayakkabısı ve manken ayakkabısının topuğudur ve bu ayakkabı topuğunun halıya temas edebileceği sınırdır.

Manken ayağının taban halısına temas ettiği noktayı sabit tutarak ayak basma alanının açısı değiştirilebilir. Bu açığı X derece saat yönünün tersinde değiştirmek, ergonomik hedefleri etkileyebileceği için bu değişimi yaparken gerekli ergonomik sonuçları incelemek ve gerekliyse fiziksel denemeler yaparak en fazla ulaşılabilecek açı değerine karar vermek gerekir.

Taban halısında, manken ayağı topuk temas noktasını sabit tutarak X açısını değiştirmek, taban halısı altındaki poliüretan ile şasi braketleri arasındaki minimum mesafenin uygun değere gelmesine katkı

sağlayacaktır. Bu da poliüretanın minimum kalınlığını ve üretim metodunun gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Şekil 4. Taban halısı ayak basma alanı



2. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TOFAŞ Ar-Ge İç Tasarım Müdürlüğü bünyesinde yürütülmüş olup, FIAT-Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım.

3. KAYNAKÇA

- [1]Gama, N. V., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane foams: Past, present, and future. *Materials*, 11(10), 1841.
- [2]Patching, M., Taylor, J., & Khan, H. (2007). Carpets & Floor Surface Technologies: An Overview Considering Global Vehicle Design & Performance.
- [3] <https://www.sesyalitimmerkezi.com/arac-ses-yalitimi/> , 22.05.2025
- [4] John, T. K. (2008). Design & Analysis of Acoustically Improved Vehicle Floor Carpets
- [5] <https://web.ozis.com.tr/detay.aspx?id=1132> , 22.05.2025

Makale id= 50

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-5597-9362

| 194

Bagaj Eşik Kaplama ve Kilit Kancası Hareketli Kapağı Arası Bağlantı Tasarımı

Araştırmacı Nejdet Şen¹
¹TOFAŞ

Özet: Bildiriye konu olan çalışma, üst segment otomobillerde bagaj yükleme alanında bavulların ve kapı boşluk fitilinin zarar görmesini engelleyen bagaj eşik kaplamasında kilit kancasını ve gövdeye bağlantı cıvatalarını gizlemek için kullanılan hareketli kapak bağlantı tasarımı ile ilgilidir. Eşik kaplama üzerindeki hareketli kapak kilit kancasını gizlemek için kullanılır ve aracın müşteri kalite algısını artırır. Hareketli kapaklar aracın kalite algısını artırdığı gibi kilit ile temaslı çalıştığı için ses, çizilme, kırılma, sıkışma gibi kalite problemlerine de sebep olabilir. Bu çalışmanın amacı; Maliyet artışı getirmeden, mevcut bağlantı kulesi (maçası) kullanılarak hareketli kilit kancası kapağının bagaj eşik kaplamaya bağlantısı için turnak yapılarının yapılabilirliğini sağlamak, yenilikçi merkez turnak kilitleme sistemi sayesinde kapak merkezinde çap sabitlemesi sağlamak, çalışma açıları, kilit ve kilit kancası kapağının ilk ve son teması, yay pozisyonlarının fiziksel hesabı ile belirlenmesi, araç üzerinde kapağın nominal pozisyonundan rijit ve güvenilir bir şekilde tekrarlı çalışmalarda pozisyonunu korumasını, yerinden çıkmamasını, kilit ile kilit kancası arasında sıkışma problemini çözmesi, hareketli kapak mil kısmında kullanılan metal ek parçayı iptal ederek parça yapısını basitleştirmek ve parça maliyeti düşürerek aynı zamanda problemsiz bir kilit kancası hareketli kapağı tasarımı geliştirmek. İmalatı yapılan eşik kaplama ve kilit kancası kapağının araç üzerine montajlanarak fiziksel testlerin yapılması, parçayı seri üretimden devreye alma ve yeni projelerde referans model olarak kullanımını sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler: İç Trim, Plastik Montajı, Eşik Kaplama, Otomotiv, Kapak, Kilit Kancası

Fixing Design Between Trunk Scuff Cover and Lock Hook Movable Cover

Abstract: The study in this paper is related to the movable cover connection design used to hide the tailgate lock and the housing fixing bolts in the trunk scuff trim in upper segment automobiles. The movable lock cover on the trunk scuff is used to hide the lock and increases the customer quality perception of the vehicle. While moving caps increase the perception of quality of the vehicle, they can also cause quality problems such as noise, scratching, breakage and squeezeing since they work in contact with the lock. The purpose of this study is; to connect the movable lock cover to the trunk scuff trim using the existing doghouse without increasing the cost, to provide diameter fixation at the cover center thanks to the innovative center locking system, to ensure that the cover maintains its position rigidly and reliably from the nominal position on the vehicle in repeated operations with the physical calculation of the working angles and spring positions, to prevent displacement, to solve the problem of squeezeing between the lock and the lock hook, to simplify the part structure by canceling the metal additional part used in the movable cover shaft part and to reduce the part cost, and at the same time to develop moving hook lock cover design without problem and to ensure its use as a reference model in new projects.

Keywords: Floor Carpet, Sound İnsulation, Acoustics, Manufacturability.

GİRİŞ

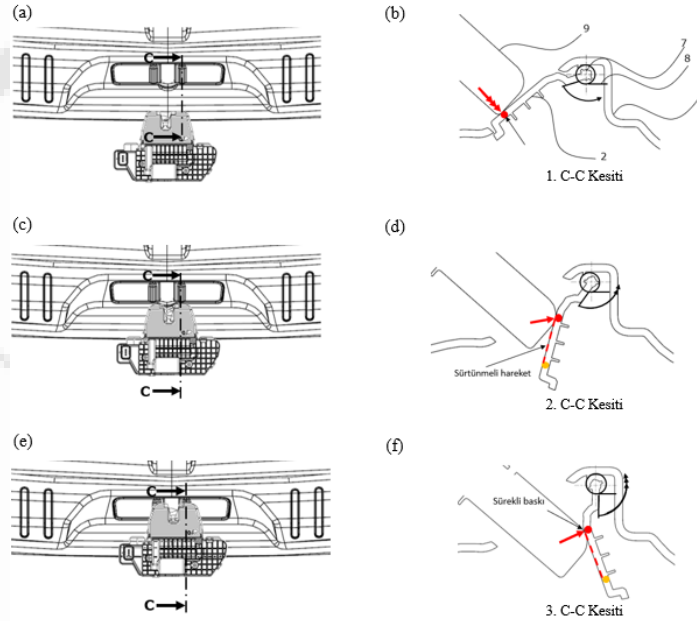
Otomobillerdeki plastik eşik kaplama; bagaj yükleme alanı alt kısımda bulunan (PP) malzemeden üretilen kaplama parçasıdır. Otomobil bagajına eşya, bavul ve benzeri yükleme ve boşaltma sırasında aracın gövdesinin, kapı boşluk fitilinin, kilit veya kilit kancasının zarar görmesini önlemek veya yüklenen, boşaltılan eşyaların deformasyonunu önlemek için kullanılan işlevsel kaplama parçasıdır. Bagaj eşik kaplama parçası üzerinde bulunan (PC ABS) malzemeden üretilen hareketli kapak; estetik olarak görünmesini istemediğimiz kilit mekanizmasını (kanca ve cıvatalar) gizlemek için kullanılan

görsel ve işlevsel olarak aracın müşteri kalite algısını arttıran bir parçadır. Önceki projelerde ve rakip araç incelemelerinde görülen benzer problemler değerlendirilerek yaptığımız yeni projede tasarım aşamasında imalat sonrası çıkabilecek hatalar öngörülmüş ve çözüm önerileri geliştirilerek imal edilecek ürünler üzerinde tasarım çözümleri uygulanmıştır. Ayrıca yenilikçi tasarım çözümleri ile hedeflenen önceki projeler ve rakip araçlara göre daha düşük yatırım (Kalıp) ve daha düşük parça başı maliyet ile hatasız, güvenilir aynı zamanda rekabetçi bir ürün elde etmektir.

Şekil 1. Bagaj eşik kaplama araç üzerinde görüntüsü



Şekil 2. (a) 1. Durum (b) 1.C-C Kesiti (c) 2. Durum (d) 2.C-C Kesiti (e) 3. Durum (f) 3.C-C Kesiti



1. Durum; kapı açık durumdan kapalı duruma geçerken kilidin, kilit kancası kapağı ile ilk teması göstermektedir; bu durumda kilit şiddetli bir şekilde kilit kancası kapağı ile çarpışır.
2. Durum; Kilit kancası kapağı dönme ekseninden dönerken kilit sürtünmeli bir şekilde kilit kancası kapağı üzerinde hareket eder.
3. Durum; Kapı kapalı pozisyonudur ve kilit, kilit kancası kapağına kapı kapalı olduğu sürece sürekli baskı yapar.

Geleneksel çözümde; bagaj eşik kaplamasında hareketli kilit kanca kapağının montajı için yapılan bağlantı tırnaklarını kalıptan çıkarmak için kalıpta ek maçalar kullanılmaktadır. Kullanılan ek maçalar kalıp yatırım maliyetinin artışına neden olmaktadır. Ayrıca hareketli kapaklarda kenarlarda ve merkezde nominal pozisyonundan kaçma, yerinden çıkma ve kilit ile kanca arasına sıkışma problemleri görülmektedir.

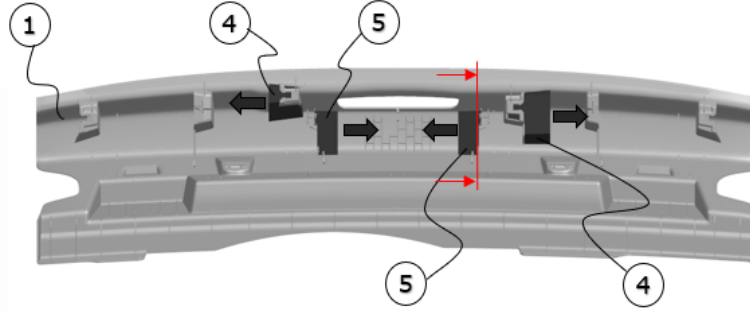
1-Bagaj Eşik Kaplama 2- Hareketli Kilit Kanca Kapağı 3- Hareketli Kilit Kanca Kapağı Montaj Tırnağı

4- Bağlantı Kulesi ve Kapak Montaj Tırnağı Maça Yönü 5- Bağlantı Kulesi ve Kapak Montaj Tırnağı

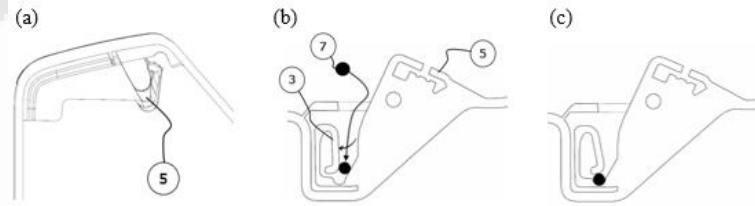
6- Hareketli Kilit Kanca Kapağı Merkez Bağlantı Tırnağı 7- Hareketli Kilit Kanca Mili 8- Hareketli Kilit Kanca Yay 9-Kilit Mekanizması

| 196

Şekil 3. Geleneksel Bagaj eşik kaplaması



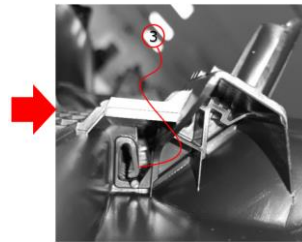
Şekil 4. Montaj Tırnağı Kesitleri



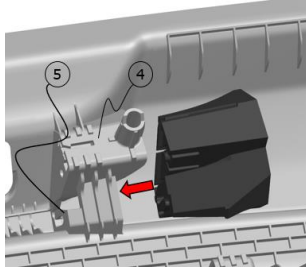
Şekil 5. Yenilikçi bagaj eşik kaplaması



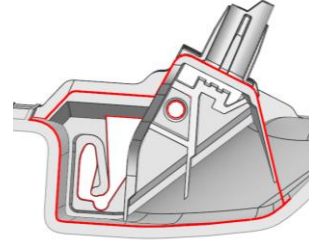
Şekil 6. Yenilikçi çözüm



Şekil 7. Yenilikçi maça Şekil



Şekil 8. Yenilikçi maça alanı

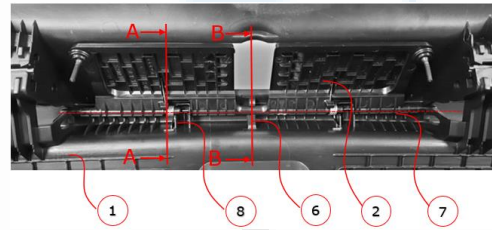


Geleneksel bağlantı kulesi (4) ile geleneksel hareketli kilit kancası kapağı montaj tırnağı (5) birleştirilerek rijit bir yapı sağlanmış ve hareketli kapak dönmesi esnasında kapağın ekseninden kurtulma ihtimali minimize edilmiştir. Geleneksel yöntemle sadece gövdeye bağlantı ve referanslama görevi bulunan bağlantı kulesi, yenilikçi çözümle hareketli kapağın daha güvenilir ve rijit bir yapıyla sabitlenmesini sağlamıştır. Şekil 8 'da kesikli. Kırmızı çizgilerle gösterilen ve kalıpta tek maçadan çıkan yapı kilit kancası hareketli kapağının kilitlenmesine, çalışma ekseninin korunmasına ve tırnağın daha sağlam bir hal almasını sağlamaktadır.

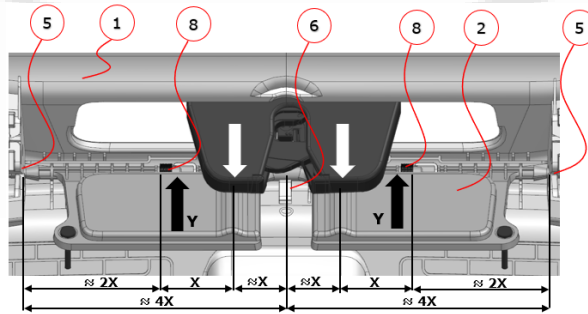
Şekil 9. Bagaj eşik kaplama



Şekil 10. Hareketli kapak detay görüntüsü

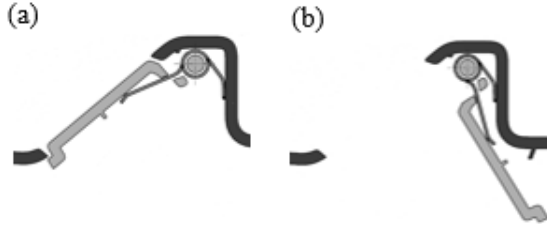


Şekil 11. Yay kilit mesafesi.

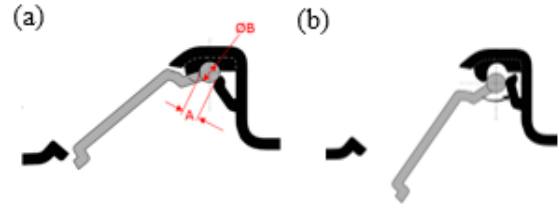


Tırnak bağlantılarına düşen yükü minimize edebilmek adına yaylar kilit mekanizmasının temas yüzeyine mümkün olduğunca yaklaştırılmış Şekil. 11' de ve tırnak, yay, temas noktaları aralıkları mümkün olduğunca eşit mesafede pozisyonlandırılmıştır bu sayede kapakta Şekil 12 (a) da burulma etkisinden kaynaklı ekseninden kaçma gibi durumların ortadan kalkmasını sağlanmıştır. Burulma etkisi genelde eksen kaymasına neden olduğu için kapağın tırnaklardan kurtulmasına neden olmaktadır. Kullanılan yay kapağı kapalı pozisyonda Şekil 12 (b) de tutacak kadar dirençli olmalı. Fakat gereğinden fazla dirençli olması durumunda da kilit ile temaslı ve sürtünmeli çalıştığı için kapak üzerinde çizilme, deformasyon, sesli çalışma gibi problemlere neden olabilir.

Şekil 12. Yay ön gergili A-A Kesiti

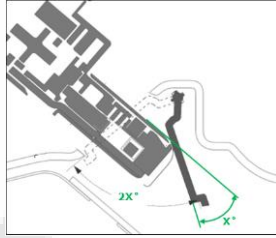


Şekil 13. Merkez bağlantı tırnağı B-B Kesiti

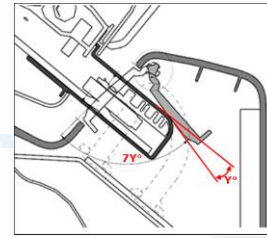


Geleneksel çözümden farklı olarak buluşta Şekil.13 (a) de gösterilen A ölçüsü B ölçüsünden küçük olacak şekilde tasarım yapılmış, bu sayede hareketli kilit kancası kapağının nominal pozisyonundan uzaklaşması engellenmiştir. Kapak montajının kolaylaştırılması için hareketli kilit kancası kapağını sıkıştıran merkez sabitleme tırnağı montaj esnasında Şekil.13 (b) de gösterilen ok doğrultusunda hareket etmekte, montaj sonrası nominal pozisyonuna geri gelmekte ve kapağı kilitlemektedir.

Şekil 14. Kilit ve kapak arasındaki kritik ölçüler.



Şekil 15. Geleneksel çözüm örnekleri.



Kilit mekanizmasının kapak dönmesine ve yay gerilimine etkisi incelendiğinde kapak dönme açısı ile yaylardaki gerilim arasında doğru orantı olduğu görülmektedir. Bu nedenle kapak dönme eksenini iyileştirilmiş ve kapağın geleneksel çözümlerden daha az dönmesi sağlanmıştır. Ayrıca kapağın açık pozisyon yüzeyi ile kilit mekanizması yüzeyi arasındaki açı paralelden uzaklaştıkça kapağın sıkışma riskini ortadan kaldırmaktadır.

SONUÇ

Merkez bölgesinde yapılan yenilikçi kilitleme sistemi sayesinde de merkezden kaçma elemine edilmiştir. Geleneksel uygulamalarda fazladan tırnak başına minimum birer adet maça kullanılmaktadır ve üretilen tırnaklar yeterli sağlamlığa sahip olmadığı için esnemekte ve kilit kanca kapak mekanizması hareketi esnasında nominal değerden uzaklaşmaktadır. Yenilikçi çözüm ile hali hazırda bağlantı kulesinde kullanılan maçadan üretilcek şekilde tırnak tasarımı yapılmış, kalıpta ek maça maliyeti ortadan kaldırılmış ve tırnak yapısı bağlantı kulesine bağlı üretildiğinden, tırnak yapısının istemsiz esnemesi, kapak mekanizmasının hareket esnasında nominalden uzaklaşması minimize edilmiştir. Yay baskı kuvveti, tırnaklar ve yay arasındaki mesafeler optimize edilerek montaj tırnağı başına düşen yük azaltılmıştır. Kapak mili dönme eksenini kapağın işlevini yerine getirebileceği en küçük açıdan pozisyonlandığı için tekrarlı fiziksel, yaşlandırma testlerinde kapak üzerinde istenmeyen kırılma, çizilme, sıkışma gibi problemler görülmemiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Mahajan, G. V. and Aher, V. S., "Composite Material: A Review over Current Development and Automotive Application," International Journal of Scientific and Research Publications, Vol. 2, No. 11, pp. 1-5, 2012.
- [2] Kastensson, A., "Developing Lightweight Concepts in the Automotive Industry: Taking on the Environmental Challenge with the Sånätt Project," Journal of Cleaner Production, Vol. 66, pp. 337-346, 2014.

- [3] Park, C. K., Kan, C. D. S., Hollowell, W. T., and Hill, S. I., "Investigation of Opportunities for Lightweight Vehicles using Advanced Plastics and Composites," National Highway Traffic Safety Administration, Document ID: DOT HS 811 692, 2012.
- [4] Stewart, R., "Automotive Composites Offer Lighter Solutions," *Reinforced Plastics*, Vol. 54, No. 2, pp. 22–28, 2010.
- [5] Park, H. S., Dang, X. P., Roderburg, A., and Nau, B., "Development of Plastic Front Side Panels for Green Cars," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 6, No. 1, pp. 44–52, 2013.
- [6] Kim, D. H., Choi, D. H., and Kim, H. S., "Design Optimization of a Carbon Fiber Reinforced Composite Automotive Lower Arm," *Composites Part B: Engineering*, Vol. 58, pp. 400–407, 2014.
- [7] Mallick, P. K., "Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles," Elsevier, pp. 208–230, 2010.
- [8] Ryu, J. B. and Lyu, M. Y., "A Study on the Mechanical Property and 3D Fiber Distribution in Injection Molded Glass Fiber Reinforced PA66," *International Polymer Processing*, Vol. 29, No. 3, pp. 389–401, 2014.
- [9] Lee, M. and Lyu, M. Y., "A Study on the Part Shrinkage in Injection Molded Annular Shaped Product for Glass Reinforced Polycarbonate," *Elastomers and Composites*, Vol. 48, No.4, pp. 300–305, 2013.
- [10] IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 834, 6th International Conference on Advances in Mechanical Engineering 2019 (ICAME 2019)14-16 August 2019, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia

Makale id= 57

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0004-8205-1596

| 200

Renk, Desen ve Gloss Özellikleri Arasındaki İlişki ve Estetik Algı Üzerindeki Etkisi**Researcher Burcu Gül¹, Researcher Gonca Ünal¹, Researcher Çağrı Çalışkan¹**¹TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.

*Corresponding author: Burcu Gül

Özet: Bu çalışma, otomotiv endüstrisinde yüzey görünümü ve performansındaki renk, desen ve gloss seviyesi arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır. Üç kavram, renkli plastik parçalarda birbirleriyle ilişkilidir. Bu üç faktör, plastik bileşenlerde kullanılan malzemelerin görsel ve fonksiyonel özelliklerini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Bu araştırma, farklı yüzey derinliklerinin gloss seviyelerini nasıl etkilediğini ve bu etkileşimlerin estetik özellikler üzerindeki etkisini incelemektedir. Deneysel analiz farklı gloss seviyeleri, renkler, dokulara sahip örnekler kullanılarak yapılmış ve sonuçlar görsel inceleme ve performans testleri ile değerlendirilmiştir. Bulgular, desen derinliğinin gloss değerini önemli ölçüde etkilediğini ve renk algısının farklı gloss seviyeleriyle nasıl değiştiğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, otomotiv endüstrisinde yüzey yapısını ve tasarım seçimlerini optimize etmek için değerli bilgiler sunmakta olup, ürünlerin hem estetik hem de fonksiyonel özelliklerini geliştirmek için yeni yaklaşımlar üzerinde tartışmalar yapmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gloss Seviyesi, Desen Derinliği, Renk, Estetik Özellikler, Görsel Değerlendirme

The Relationship Between Color, Texture and Gloss Characteristics and Their Impact On Aesthetic Perception

Abstract: This study investigates the relationship between color, texture and gloss level in surface appearance and performance in automotive industry. Three concepts are related to each other in mold in color plastic parts. These three factors play a crucial role in determining the visual and functional properties of materials used in plastic components. This research examines how different surface depths affect gloss levels and how these interactions influence aesthetic qualities. Experimental analysis was conducted using samples with varying gloss levels, colors, textures and the results were evaluated through visual inspection and performance tests. The findings reveal that texture depth significantly affects the gloss value and the perception of color changes with the varying gloss levels. These results provide valuable insights for optimizing surface structure and design choices in automotive industry, discussing new approaches to enhance both aesthetic and functional qualities of products.

Keywords: Gloss Level, Texture Depth, Color, Aesthetic Properties, Visual Evaluation

1. INTRODUCTION

Currently, customers place great importance on style and design choices in the automotive industry. Visual design, color, texture, and gloss are fundamental elements that significantly influence how customers perceive and interact with components inside an automobile. Each of these components plays a crucial role in shaping the aesthetics and emotional impact of a design. Color, with its vast spectrum, can evoke specific reactions, while texture type provides structure and rhythm, guiding the eye and creating a sense of harmony. Gloss means the level of shine on a surface and enhances the perception of colors since the angle of light reflected changes depending on the surface structure. Surface structure is a key element in this relationship, as the texture depth can increase or decrease the impact of color and perceived gloss. The effect of the surface structures is further validated through images acquired

using the optical 3D measurement device. The interaction between color, texture, and gloss is significant and essential in creating visually engaging designs. Moreover, the paper investigates the variation in gloss characteristics concerning different material types. This paper explores the fundamental interaction of these three elements to create an impressive visual experience and examines their individual properties as well as their combined influence in various style contexts.

2. MATERIAL AND METHOD

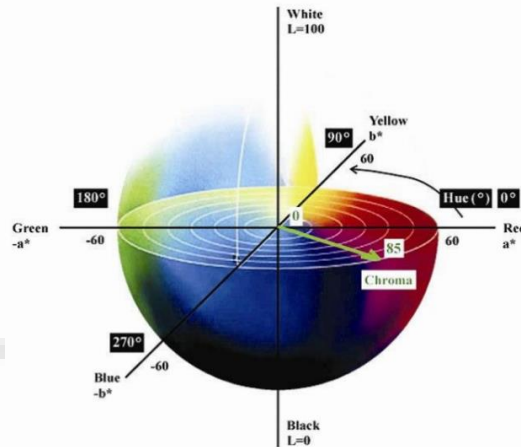
2.1. Definitions of Color, Gloss and Texture Depth

2.1.1. Definition of Color and Measurement Devices

Color refers the visual perception based on the electromagnetic spectrum. Color perception is related to an object's light absorption, reflection, and emission spectra [The University of Waikato, 2012]. Color deviations are evaluated according to the CIE (International Commission on Illumination) color system shown in Figure 1.

- Brightness (L) ranges from 0 to 100, with 0 representing black and 100 representing white.
- Red (a) and green (-a) values range from -90 to +90, with -90 indicating green and +90 indicating red.
- Yellow (b) and blue (-b) values range from -90 to +90, where -90 represents blue and +90 represents yellow [Kulcu R, 2018:246].
-

Figure 1. CIE Lab L*, a*, b* Color Space [Kulcu R, 2018:246]



The total color deviation calculation is performed to determine the color differences of two components.

- Positive ΔL means the color shine of the part is higher than the second plate. If the value is negative, it indicates that the color brightness of the product is decreased.
- Positive Δa shows the green color of the component is lower than the second one. If the value is negative, the product shows an increase in green color.
- Positive Δb means the yellow color of the part is lower than the second component. If the value is negative, the product shows a decrease in yellow color [Kulcu R, 2018:247].

Total color deviation is calculated by the following equation [Kulcu R, 2018:247];

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Δa : Red color deviation

Δb : Yellow color deviation

ΔL : Color brightness deviation

ΔE : Total color deviation

The most commonly used method in color measurement is spectrophotometry. The Konica Minolta device is widely used and numerically reveals the color difference between the two components. Initially, the measurements of the target plate are taken, and then the color measurements of the sample are taken on top of it. The difference between them appears as a delta in the system.

| 202

Figure 2. Konica Minolta Color Measurement Device [Konica Minolta, 2020]

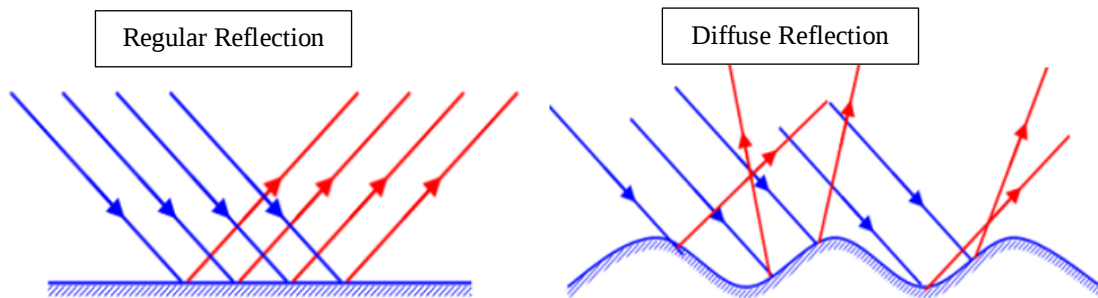


2.1.2. Definition of Gloss and Measurement Devices

Gloss refers to the ability of light reflection from the surface. It indicates how shiny or matte a surface is. A high gloss value means that the surface is more shiny, while a low gloss value indicates the surface is more matte. Texture depth and surface structure significantly affect the gloss results. This property is commonly used in color measurements, paint applications, and material surface analysis.

The key factor is a flat surface for accurate gloss measurement. The flat and smooth surface results in a higher gloss due to direct and increased light refraction. A rougher surface reduces light refraction and makes it more irregular and diffusing, negatively affecting the gloss variation. If the angles of the incoming rays are equal to their angles of reflection, rays that are parallel to each other when they hit the surface will also reflect parallel [Kaynak ve Bocaoğlu, 2025].

Figure 3. The Regular and Diffuse Reflection of Light [Kaynak ve Bocaoğlu, 2025]



The most commonly used device is the Erichsen Picogloss 560 MC, and measurements can be taken at either 20, 60, or 85 degrees. High gloss measurements are taken at 20 degrees, medium gloss at 60 degrees, and low gloss at 85 degrees as well. 60 degrees is typically used for grained plastic components.

Figure 4. Erichsen Picogloss 560 MC Gloss Measurement Device [Erichsen, 2025]



2.1.3. Definition of Texture Depth and Measurement Devices

Texture depth means the extent of how deep the pores, indentations, or protrusions on the surface are. The Optical 3D measuring device signifies the value of texture depth in microns like the Alicona device. Alicona is an effective optical 3D measuring device for simple, fast, and traceable measurement of shape and surface finish on micro-structured surfaces. Both the shape and finish of components are measured and explored with only one system. Users achieve color images with high contrast and depth of focus by measuring the dimension, shape and roughness of complex components of various materials. Alicona provides a long working distance of up to 34 mm in combination with its measurement field of 50 mm x 50 mm allowing a wide range of applications. Measurements yielding results in seconds increase usability even further [Bruker Alicona, 2025].

Figure 5. Alicona Optical 3D Measurement Device [Bruker Alicona, 2025]



2.2. The Properties of the Test Components

2.2.1. The Relationship Between Texture Structure and Gloss

Firstly, a plastic plate with constant texture depth, color, and material was selected and the effect of the surface structure on gloss was investigated. Two mold-in color black plates made of polypropylene material have been selected and the texture depth of these plates ranges between 73-76 microns.

Compared to example A, which has an irregular and dotted structure, example B with regular and geometric grain has a higher gloss value.

| 204

Table 1. Surface Structure and Images of Sample A and B

Sample	Surface Structure	Sample Images
A		
B		

Table 2. Material Type and Measurements of Texture Depth, Color and Gloss Values

Sample	Material Type	Texture Depth	L*	a*	b*	Gloss
A	PP 48.450 AFU	73 μm	25,13	-0,03	-0,62	2,5
B	PP 48.450 AFU	76 μm	25,06	0,01	-0,41	4

2.2.2. The Relationship Between Texture Depth and Gloss

The second study, the gloss measurement performance of components with the similar color and different texture depths is examined and PC+ABS is chosen as the material type. The surface structure of both plates exhibits an irregular grain. This study evaluates the effect of different texture depths on the gloss value. The gloss level is related to the refraction of light on the surface. The experimental study revealed that an increase in texture depth leads to a higher degree of light refraction on the surface, which consequently results in a reduction of the gloss value.

Table 3. Surface Structure and Images of Sample C and D

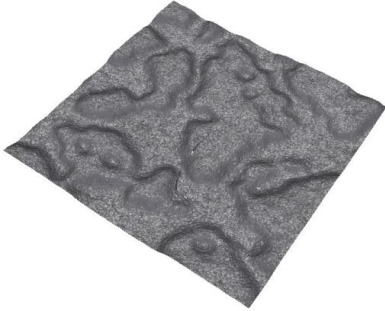
Sample	Surface Structure	Sample Images
C		
D		

Table 4. Material Type and Measurements of Texture Depth, Color and Gloss Values

Sample	Material Type	Texture Depth	L*	a*	b*	Gloss
C	PC+ABS	39 μm	27,90	-0,06	-0,92	3,5
D	PC+ABS	129 μm	26,84	-0,09	-1,01	2,0

2.2.3. The Relationship Between Material Type and Gloss

In the last study, plates with the same grain depth are chosen from various materials to investigate the impact of material type on gloss. Four different materials, each exhibiting the same texture depth, are utilized in the study.

Table 5. Material Type and Measurements of Texture Depth, Color and Gloss Values

Sample	Material Type	Texture Depth	L*	a*	b*	Gloss
E	PP 48.450 AFU	39 μm	25,39	-0,05	-0,29	2,5
F	ASA 100.300	39 μm	27,31	-0,16	-0,56	3,1
G	PC+ASA 100.400	39 μm	28,93	-0,06	-0,74	3,2
H	ABS 90.170 LOG	39 μm	27,42	-0,11	-0,59	3,5

3. CONCLUSION

As a result of the first experimental work, the component with identical texture depth, material, a uniform and geometric surface structure demonstrate a higher gloss value compared to the part with an irregular surface. It has been observed that parts with a regular surface geometry and structure reflect light more uniformly and parallel which results in a higher gloss level. A dotted and irregular grain type results in a lower gloss value due to the light reflected at various angles on the surface. Refraction of light from different angles causes diffuse reflection.

The second experiment was conducted to examine the effect of different texture depths on the gloss unit. If the grain depth of the components decreases, the angles of incoming and reflection of the light on the surface are equal. The parallel reflection of the rays causes an increase in gloss level. Surfaces with a deeper grain lead to incoming rays striking at varying depths and resulting in a more irregular and diffuse reflection, which consequently results in a lower gloss measurement.

Parts that have ABS and ASA materials yield higher gloss values compared to polypropylene. ABS and ASA have a more soft and uniform surface structure and this feature enables more effective light reflection, which leads to a higher level of brightness. Polypropylene has a rougher surface than the others and therefore reflects less light. This explains why the gloss level of polypropylene is lower compared to ABS and ASA. Materials made from these two raw materials are typically used in painted plates due to their higher gloss value.

REFERENCES

- KAYNAK, B. ve BACIOĞLU, A. (2025). “FİZ20 DALGALAR LABORATUVARI”, <https://yunus.hacettepe.edu.tr/~bacioglu/Dersler/FI%CC%87Z201/fiz201ders2b.pdf>, 27.02.2025
- BRUKER ALICONA (2025). “Optical 3D measuring device for shape & finish”, <https://www.alicon.com/en/products/infinitefocussl>, 27.02.2025
- ERICHSEN (2025). “Gloss, Colour, Brightness, Surface Testing”, <https://www.erichsen.de/en-gb/products/surface-testing/gloss-color-brightness-surface-testing>, 02.03.2025
- KONICA MINOLTA. (2020). “Color Measurement Best Practices: Sample Preparation and Presentation”, <https://www.konicaminolta.asia/asia-en>, 25.02.2025
- KULCU, R. (2018). “Determination of the Effects of Different Packaging Methods and Materials on Storage Time of Dried Apple”, Matter: International Journal of Science and Technology, 4(2): 238-255.
- THE UNIVERSITY OF WAIKATO (2012). “Colours Of Light”, <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/47-colours-of-light>, 01.03.2025

Makale id= 60

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-3723-5589

| 207

Gümüş Kaplı CuZn39 Bakır Çubukların Kararmasının Haşlanmış Yumurta Metodu ile Yeniden Ortaya Çıkarılması**Araştırmacı Merve Vatansever¹, Araştırmacı Osman Baloğlu¹, Araştırmacı Uğur Üzel¹**
¹TOFAŞ

*Corresponding author: Merve Vatansever

Özet: Gümüş kaplama yüksek iletkenlik sağlamak için yaygın olarak kullanılır ve elektrik sinyallerinin minimum dirençle doğru ölçümünü ve iletimini sağlar. Atmosferik ortamlarda iyi korozyon direncine rağmen gümüş, sülfür bileşikleri, nem ve oksijenle reaksiyona girerek kararabilir ve beyazdan mavimsi kahverengiye kadar renk değişimine yol açabilir. Bu çalışmada, gümüş kaplı CuZn39 bakır çubuklar optik mikroskop ve kimyasal analiz kullanılarak, kararmış çubuklarla karşılaştırılmıştır. Kararmış çubukların yüzeyinde bağlantıyı etkileyen pasif bir tabaka olduğu tespit edilmiştir. SEM-EDX ile analiz edilen korozyon ürünleri, yüksek sülfür ve oksijen bileşikleri olarak ortaya çıkmıştır. Sülfür dioksit (SO₂) gibi endüstriyel kirleticiler, kararmanın potansiyel nedenleri olarak tanımlanmıştır. Literatürde gümüşü oksitlemek ve kararmasını sağlamak için 4 farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar kükürt karaciğeri (potasyum sülfür, potasyum polisülfid, potasyum tiyosülfat ve potasyum bisülfid karışımı), parlaklık jeli (cila), doğal yöntemler (yüksek sülfatlı ortama maruz bırakmak) ve haşlanmış yumurtadır. Daha fazla araştırma yapmak için gümüş kaplı parçalar, yumurtanın yüksek sülfür içeriğinden (yumurta beyazında 0,195 mg/yumurta ve sarısında 0,016 mg/yumurta) yararlanılarak, yalıtımlı şeffaf bir kutuda 7-8 saat boyunca haşlanmış yumurtaya maruz bırakılmıştır. Sonuçta ortaya çıkan renk değişimi ve SEM-EDX analizi, orijinal ve kararmış ürünlerin neredeyse aynı olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, gümüş kaplamalı bakır sensörlerdeki renk değişimi ve direnç kaybının temel nedeninin bakır yüzeyindeki gümüş kararması olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gümüş Kaplama, Bakır Korozyonu, Kararma, Haşlanmış Yumurta, Sem-Edx**Tarnishing Reappear of Silver Coated CuZn39 Copper Bars With the Boiled Egg Method**

Abstract: Silver coating is commonly used to provide high conductivity, ensuring accurate measurement and transmission of electrical signals with minimal resistance. Despite its good corrosion resistance in atmospheric environments, silver can tarnish due to reactions with sulfur compounds, moisture, and oxygen, leading to discoloration from white to bluish brown. In this study, silver-coated CuZn39 copper bars were compared with tarnished bars using microscopy and chemical analysis. It was found that tarnished bars had a passive layer on the surface, affecting connectivity. Corrosion products analyzed with SEM-EDX revealed high sulfur and oxygen compounds. Industrial pollutants, such as sulfur dioxide (SO₂), were identified as potential causes of tarnishing. In the literature there are 4 different methods to oxidize silver and provide tarnishing. These are Sulphur liver (a mixture of potassium sulfide, potassium polysulfide, potassium thiosulphate and potassium bisulfide), shine gel (polish), natural methods (exposure to a high sulphate environment) and boiled eggs. To investigate further, silver-coated parts were exposed to boiled eggs in an insulated transparent box for 7-8 hours, leveraging the high sulfur content of eggs (0.195 mg/egg in egg white and 0.016 mg/egg in yolk). The resulting color change and SEM-EDX analysis were like the original tarnished products. This study demonstrates that silver tarnishing on the copper surface is the root cause of color change and resistivity loss on sensors.

Keywords: Silver Coating, Tarnishing, Boiled Egg, Sem-Edx

1. INTRODUCTION

Sensors are mechatronic devices installed directly on the battery to monitor and measure key parameters such as current, voltage, and temperature. These sensors help assess battery health, prevent breakdowns, optimize fuel efficiency, and enhance vehicle performance. They are vital for the efficiency, reliability, and overall performance of a car [1].

A silver coating is commonly used for such products to provide high conductivity and ensure that the sensors accurately measure and transmit electrical signals with minimal resistance [2]. Although silver exhibits good corrosion resistance in atmospheric environments, including exposure to water, temperature variations, and oxygen, it can still be affected by oxygen, sulfur, or moisture. This exposure leads to chemical reactions that cause discoloration, turning silver from white to bluish brown. This phenomenon is known as tarnishing in the literature [3].

Hydrogen sulfide (H₂S) present in the air—particularly in polluted areas (e.g., industrial regions) or near volcanic activity—as well as sulfur-containing sources such as rubber bands and wool, can react with silver, forming silver sulfide on silver-coated parts. The reaction between silver and hydrogen sulfide is shown below. Silver sulfide (Ag₂S) is a yellow-brown compound, which leads to color change and tarnishing.



Humidity and the concentration of sulfide ions play a crucial role in the tarnishing process. An increase in moisture levels and H₂S concentration in the air accelerates the reaction, leading to a color change from yellow to black. Although H₂ is a reaction byproduct upon contact, tarnishing is not classified as corrosion. Corrosion involves more complex reactions and typically results in material degradation through thickness reduction, whereas tarnishing is merely a surface discoloration phenomenon [4]. In the literature, four intentional oxidation techniques are commonly used to induce silver tarnishing through exposure to H₂S. The most widely employed method is liver of sulfur, a mixture containing potassium sulfide, potassium polysulfide, potassium thiosulfate, and potassium bisulfide. In this process, silver parts are typically immersed in the solution and left until the desired color change is achieved. The second most common and convenient method involves the use of luster gel, which is applied to the surface similarly to a polishing gel, ensuring a uniform color change. Another approach is direct exposure to high-sulfur environments or sulfur-containing products. Examples of such environments include hot springs, volcanic regions, and landfill sites. Additionally, solutions containing vinegar and salt have high sulfide concentrations and can induce tarnishing on silver surfaces [5,6]. A final, unconventional method, known as the boiled egg technique, utilizes boiled eggs as a source of H₂S. This method is effective because egg whites contain approximately 0.195 mg of sulfur per egg, while egg yolks contain around 0.016 mg per egg [7].

In this study, silver-coated CuZn39 copper bars were compared with tarnished bars using optical microscopy. It was observed that the tarnished bars had a passive layer on the surface, which affected electrical connectivity. Corrosion products analyzed through SEM-EDX revealed the presence of sulfur- and oxygen-rich compounds. Industrial pollutants, such as sulfur dioxide (SO₂), were identified as potential contributors to the tarnishing process. The boiled egg method was chosen to reproduce tarnishing, and the samples were exposed to this method for 7–8 hours in an insulated transparent box. The results were compared both microscopically and visually with the pre-existing tarnished samples, confirming the presence of the same passive layer and sulfide compounds.

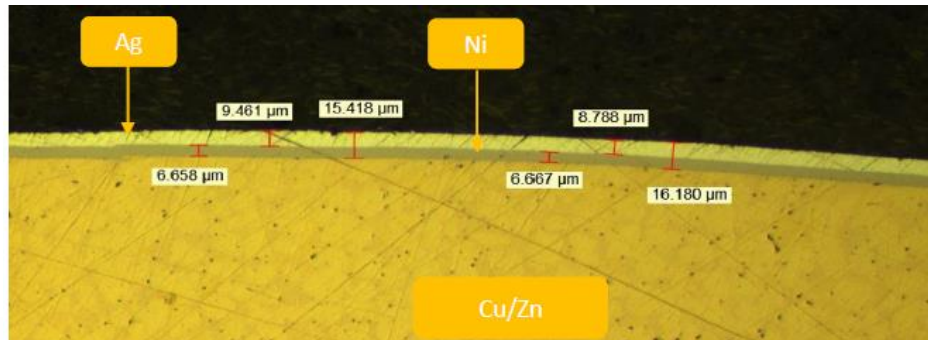
2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

2.1 Material

The material used in this study was a copper alloy with 57–59% purity, commonly referred to as CuZn39 in the industry. CuZn39 bars were coated with silver to ensure electrical connectivity for sensors, while nickel was used as an intermediate layer to enhance bonding between copper and silver. The coating

layers and their corresponding thickness are presented in Figure 1. The passive layer formation because of tarnishing is also given in Figure 2 and indicated with arrows on the optical microscopy image.

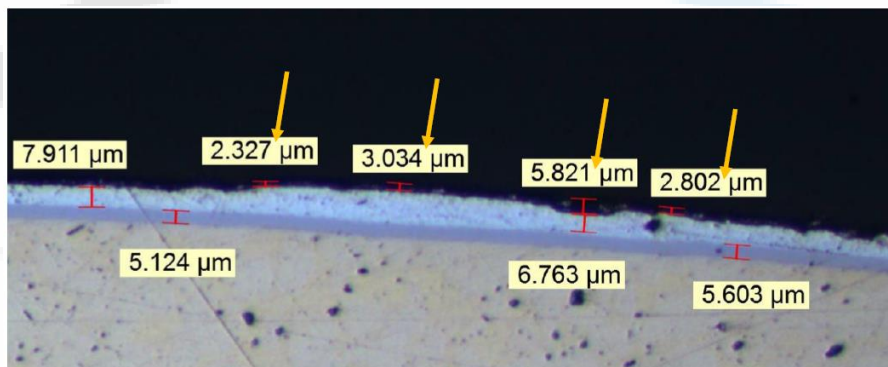
Figure 1: The Thickness Result of Silver Coated CuZn39



| 209

For the tarnishing reproduction experiments, the materials used included freshly hard-boiled eggs, a hotplate for heating, a knife for cutting the eggs, calcium carbonate, a transparent container, and tape for ensuring proper isolation.

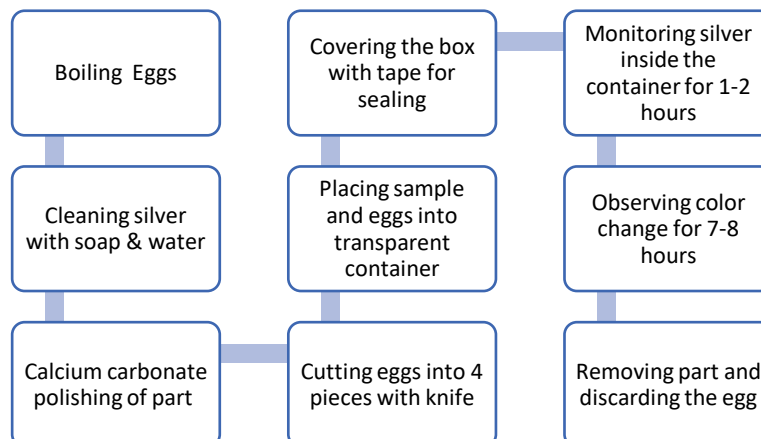
Figure 2: The Passive Layer on the Surface of Silver Coated CuZn39



2.2 Method

The boiled egg method was implemented, following all the steps outlined in Figure 3, to achieve the same color change as the previously tarnished sample.

Figure 3: Flow of Boiling Egg Methods for Silver Tarnishing Reappear



3. RESULTS & DISCUSSION

The observed tarnishing mechanism can be attributed to the reaction between silver and sulfur-containing compounds, primarily hydrogen sulfide (H_2S), which is released after the boiling of eggs. The sulfur present in the egg whites and yolks interact with silver, leading to the formation of silver sulfide (Ag_2S), which causes the characteristic color change observed in the tarnished bars. The results presented in Figure 4 confirm that the boiled egg method effectively replicates the tarnishing process observed in both natural and industrial environments. After 7-8 hours, the surface appeared nearly brown as shown in Figure 5, visually resembling the previously tarnished parts.

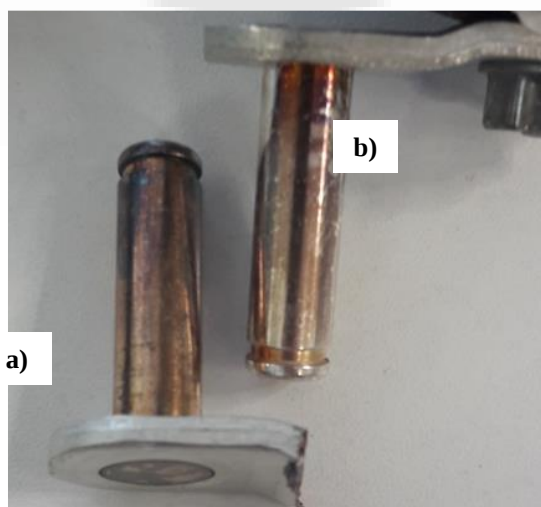
| 210

Figure 4: Color Change level after 7-8 hours boiled egg method



Furthermore, the comparative analysis using SEM-EDX given in Figure 6 and Figure 7 shows that the tarnished silver bars which is named 'Sample a)' exhibited similar composition with Sample b). The Sulfur amount was found 1.39 for Sample a) and 1.14 for Sample b). The analysis confirms the presence of sulfur and oxygen compounds, indicating the formation of silver sulfide (Ag_2S).

Figure 5: Comparison of Silver Coated Parts after Test a) Tarnished with Boiled Egg b) Previously Tarnished Parts



In academic studies, silver tarnishing is typically examined in the context of atmospheric conditions, industrial pollutants, and chemical interactions. Several studies have investigated the effects of pollutants, such as sulfur dioxide (SO₂), on silver tarnishing. However, specific academic research on the use of boiled eggs as a tarnishing method remains limited. Although one study refers to this approach as a "game-changer" in an unconventional way to test silver-coated parts for tarnishing, the authors did not employ this method in their research. Therefore, this study does not provide a direct basis for comparison with other academic studies [7].

Figure 6: EDX spectrum of the previously tarnished silver-coated CuZn39 copper bar (Sample b)

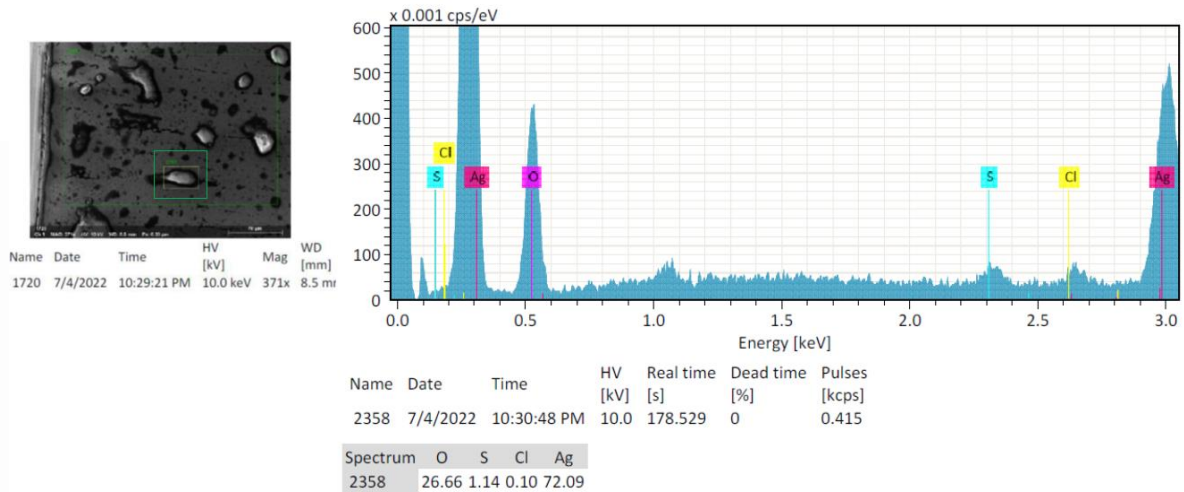
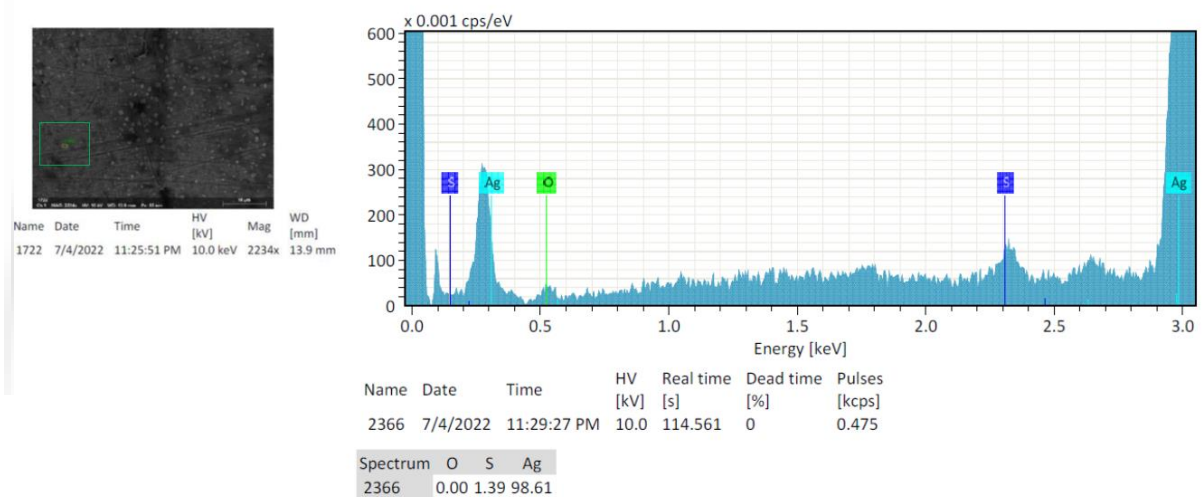


Figure 7: EDX spectrum of the tarnished part with boiled egg (Sample a)



4. CONCLUSION

This study demonstrated that silver-coated CuZn39 copper bars tarnish due to their reaction with sulfur, forming a passive layer on the surface. The boiled egg method successfully reproduced natural tarnishing, confirming the formation of silver sulfide. SEM-EDX analysis showed that the original and tarnished samples had similar compositions. This method provides an effective and non-toxic natural approach to understanding the root causes of color change in silver-coated sensors. Future studies can further explore different oxidation techniques and their long-term effects to expand knowledge in this field.

5. REFERENCES

- [1] Battery Tech Online. (2025). What is an intelligent battery sensor? Retrieved from <https://www.batterytechonline.com/materials/what-is-an-intelligent-battery-sensor->
- [2] BB Plating. (2023). Silver plating copper for enhanced performance. Retrieved from <https://www.bbplating.com/metal-finishing-news-corner/silver-plating-copper-for-enhanced-performance>
- [3] Wikipedia contributors. (18 November 2024). Tarnish. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Tarnish>
- [4] Lining Silver. (2025). Why does silver tarnish? Understanding causes and prevention tips. Retrieved from <https://liningsilver.com/how-to-oxidize-silver-simple-methods-for-a-perfect-antique-finish/>
- [5] Something Borrowed PDX. (2025). How to tarnish silver? Retrieved from <https://somethingborrowedpdx.com/how-to-tarnish-silver/>
- [6] Canadian Conservation Institute. (2025). Understanding silver tarnish. Government of Canada. Retrieved from <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/metal-objects/understanding-silver-tarnish.html>
- [7] Lohwongwatana, B., Wirot, P., Yipyintum, C., Khamkongkao, A., Puncreobutr, C., Lothongkum, G., ... & Vichaidith, T. E. (2015). Comparative Test for Identification of Silver Tarnishing. In Proceeding of the Fifth Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology.

Makale id= 61

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0001-8188-0999

| 213

Özellik Mühendisliğinin Görüntü Sınıflandırmaya Etkisinin İncelenmesi

Researcher Hussein Hadi Abbas¹, Assoc. Prof. Dr. Ümit Haluk Atasever¹
¹Erciyes University

*Corresponding author: Hussein Hadi Abbas

Özet: Bu çalışma, uzaktan algılama alanında hiperspektral görüntü sınıflandırması üzerindeki özellik mühendisliğinin etkisini incelemektedir. Veri setleri Salinas-A ve Indian Pines olup, her iki veri seti de yüksek spektral boyutluluğa sahiptir. Bu çalışma, MATLAB'deki (gencfunctions) kütüphanesini kullanarak orijinal veri setlerine 10, 50, 100 ve 200 adet ek özellik üretmektedir. Sınıflandırılmış özellikler üzerindeki etkinliklerini belirlemek amacıyla, ensemble yöntemleri, destek vektör makineleri (SVM), sinir ağları ve diğerlerini içeren bir dizi sınıflandırıcı değerlendirilmiştir. Bulgular, özellik mühendisliğinin sınıflandırma doğruluğunu artırmada kritik bir rol oynadığını göstermekte; ancak etkisinin veri setleri ve sınıflandırıcı türleri arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Salinas-A veri setinde, üretilen ek özellikler çoğu sınıflandırıcının performansını artırmış ve sinir ağları ile SVM'ler, 100 veya daha fazla yeni özellik eklendiğinde %95'in üzerinde genel doğruluk sağlamıştır. Indian Pines veri setinde ise, sadece birkaç ek özelliğin eklenmesi başlangıçta artan karmaşıklık nedeniyle sınıflandırıcı performansını düşürmüştür; ancak daha fazla özellik eklendiğinde, sinir ağları ve çekirdek yöntemleri gibi sınıflandırıcılar önemli ölçüde iyileşme göstererek yaklaşık %89 genel doğruluk elde etmiştir. Bu bulgular, çevresel izleme, tarımsal yönetim ve kaynak keşfi gibi uzaktan algılama uygulamalarında sınıflandırıcı performansını artırmak amacıyla stratejik özellik seçimi ve boyut indirgeme tekniklerinin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Özellik Mühendisliği, Hiperspektral Görüntü Sınıflandırması, Uzaktan Algılama, Sınıflandırma Doğruluğu

Investigating the Impact of Feature Engineering On Image Classification

Abstract: This study examines the impact of feature engineering on hyperspectral image classification in the remote sensing field. The datasets are Salinas-A and Indian Pines, both datasets are characterized by high spectral dimensionality. This study utilizes the (gencfunctions) library in MATLAB to generate additional features (10, 50, 100, and 200) to the original datasets. A collection of classifiers, including ensemble methods, support vector machines (SVM), neural networks, and others, is evaluated to determine their efficacy on classified features. The findings indicate that feature engineering plays a crucial role in enhancing classification accuracy, while its impact differs between datasets and classifier types. For the Salinas-A dataset, the engineered features improved performance across most classifiers, with neural networks and SVMs achieving overall accuracy (OA) values exceeding 95% when 100 or more new features were added. For the Indian Pines dataset, adding just a few extra features initially lowered classifier performance because of increased complexity. However, when more features were added, classifiers like neural networks and kernel methods improved significantly, reaching around 89% overall accuracy. These findings highlight the importance of strategic feature selection and dimensionality reduction to enhance classifier performance in remote sensing applications, including environmental monitoring, agricultural management, and resource exploration.

Keywords: Feature Engineering, Hyperspectral Image Classification, Remote Sensing, Classification Accuracy

1. Introduction

The advent of hyperspectral imaging has transformed remote sensing by acquiring data across multiple narrow spectral bands. This method offers comprehensive data for terrestrial observation and ecological surveillance. The elevated dimensionality of hyperspectral data presents challenges, including the curse of dimensionality (Pal & Foody, 2010), which complicates image classification tasks. To tackle these challenges, researchers have increasingly utilized sophisticated machine learning methodologies, emphasizing feature engineering and deep learning techniques. Recent studies (Zhao et al., 2021; Ghamisi et al., 2017; Zhang et al., 2016) have shown that the integration of spectral and spatial information through feature engineering can markedly improve classification efficacy. Nonetheless, a disparity persists concerning the impact of diverse quantities of engineered features on various classifiers. This study seeks to address the gap by examining the correlation between the quantity of engineered features and classifier efficacy, identifying classifiers that can most effectively utilize feature augmentation, and establishing an optimal feature set size for improved accuracy.

2. Methodology

Two benchmark hyperspectral datasets are employed: the SalinasA dataset obtained from a 224-band AVIRIS sensor over Salinas Valley, California, consists of an 86×83-pixel subscene that spans wavelengths from 0.4 to 2.5 μm and includes six ground-truth classes (e.g., various lettuce stages and broccoli), rendering it an exemplary testbed for feature engineering in hyperspectral image classification due to its high spectral resolution and intrinsic class imbalance (Bazeley, 2023). The Indian Pines dataset, gathered over a 145×145-pixel region in Northwestern Indiana using the same sensor, reduces the original 224 spectral bands to 200 by eliminating bands influenced by water absorption, and encompasses 16 classes—ranging from agricultural fields to forested and urban areas—posing challenges such as mixed pixels and spectral similarity.

Theoretical Framework

Feature engineering transforms raw hyperspectral data into distinctive attributes that improve model efficacy. In MATLAB, functions such as `createFeatures` and `genrfeatures` produce new features (e.g., polynomial combinations and statistical metrics) that capture critical spectral–spatial relationships. This procedure is essential for tackling the high dimensionality and spectral similarity present in the datasets (Guyon & De, 2003; Bazeley, 2023).

A range of classifiers is utilized to evaluate the influence of the engineered features, including Ensemble Methods that enhance robustness through the amalgamation of multiple models (Dietterich, 2000), Support Vector Machines (SVM) that maximize class separation by optimizing hyperplanes (Cortes et al., 1995), and Neural Networks that acquire hierarchical feature representations (Lecun et al., 2015). Additional models—including Naive Bayes, Decision Trees, K-Nearest Neighbors (KNN), and Linear Models—tackle various dimensions of the data's complexity (Murphy, 2012; Quinlan, 1986; Cover & Hart, 1952; Hastie et al., 2009).

Data preprocessing standardizes feature scales, handles missing values, and encodes categorical variables (Han et al., 2000). This uniformity is crucial for ensuring consistent model training and robust convergence.

Experimental Setup

Both datasets are stored in MATLAB (.mat) files containing:

- Image Data (img): A 3D cube [rows, columns, bands].
- Ground Truth (gt): Pixel-wise class labels.

The hyperspectral images are reshaped into 2D arrays (each row representing a pixel) and split into 70% training and 30% testing subsets, forming the training (`train_input`, `train_target`) and testing (`test_input`, `test_target`) matrices.

The feature engineering process encompasses table conversion (transforming raw spectral matrices into tables with standardized variable names), feature expansion via the `genrfeatures` function to generate polynomial features and interaction terms, and transformation consistency by constructing a

transformation model (T) on the training data and applying it to both the test data and the complete image, while maintaining spatial dimensions for visualization.

The `classifyModels` function utilizes MATLAB's `fitcauto` function, with a fixed seed (`rng(200)`) and 5-fold cross-validation, to optimize model parameters (Dietterich, 2000). Each classifier is subsequently trained on the engineered training set, and predictions are produced for both the test set and the entire image (reformatted to its original spatial configuration for visualization).

The efficacy of each classifier is assessed utilizing four principal metrics: Overall Accuracy (OA) – the proportion of accurately classified pixels to the total pixel count (Congalton, 1991); Balanced Accuracy represents the mean recall across all classes (Brodersen et al., 2010); the Kappa Coefficient quantifies the concordance between predicted and actual classifications, accounting for chance (Cohen et al., 1960); and the Mean F1 Score is the average of the F1 scores for each class (Powers & Ailab, 2020).

All projections, trained models, optimization details, and evaluation metrics are contained within a structured results variable. Classification maps utilize a jet colormap to illustrate the spatial distribution of predicted classes, enabling comparative analysis among various classifiers.

3. Results and Discussion

3.1. Salinas-A Scene

Tables 1–5 encapsulate classifier performance on the Salinas-A dataset across diverse feature engineering scenarios (0, 10, 50, 100, and 200 new features).

Table 1: Normal Classification (without Applying Feature engineering method) (Salinas-A)

Row	Ensemble	Discriminant	Kernel	KNN	Linear	Naive Bayes	SVM	Decision Tree	Neural Network
Overall Accuracy	0.9542	0.7862	0.8993	0.9480	0.8756	0.8053	0.9526	0.9287	0.9526
Balanced Accuracy	0.9592	0.8608	0.9204	0.9490	0.8951	0.8705	0.9582	0.9358	0.9576
Kappa	0.9445	0.7460	0.8785	0.9369	0.8495	0.7682	0.9426	0.9135	0.9426
F1 Score	0.9574	0.7919	0.9036	0.9517	0.8877	0.8164	0.9576	0.9347	0.9570

Table 2: Feature Engineer Classification with 10 New Features (Salinas-A)

Row	Ensemble	Discriminant	Kernel	KNN	Linear	Naive Bayes	SVM	Decision Tree	Neural Network
Overall Accuracy	0.9393	0.7457	0.8532	0.9421	0.8233	0.8301	0.8895	0.8470	0.9095
Balanced Accuracy	0.9480	0.8104	0.8758	0.9438	0.8527	0.8831	0.9062	0.8503	0.9188
Kappa	0.9265	0.6976	0.8227	0.9297	0.7870	0.7973	0.8664	0.8141	0.8904
F1 Score	0.9453	0.7483	0.8604	0.9468	0.8345	0.8368	0.8957	0.8558	0.9144

Table 3: Feature Engineer Classification with 50 New Features (Salinas-A)

Row	Ensemble	Discriminant	Kernel	KNN	Linear	Naive Bayes	SVM	Decision Tree	Neural Network
Overall Accuracy	0.9510	0.7918	0.9138	0.9480	0.8805	0.8228	0.9480	0.8909	0.9493
Balanced Accuracy	0.9560	0.8601	0.9209	0.9522	0.9008	0.8808	0.9517	0.9049	0.9540
Kappa	0.9405	0.7525	0.8955	0.9369	0.8556	0.7890	0.9369	0.8679	0.9385
F1 Score	0.9551	0.7973	0.9201	0.9521	0.8896	0.8278	0.9518	0.8998	0.9537

Table 4: Feature Engineer Classification with 100 New Features (Salinas-A)

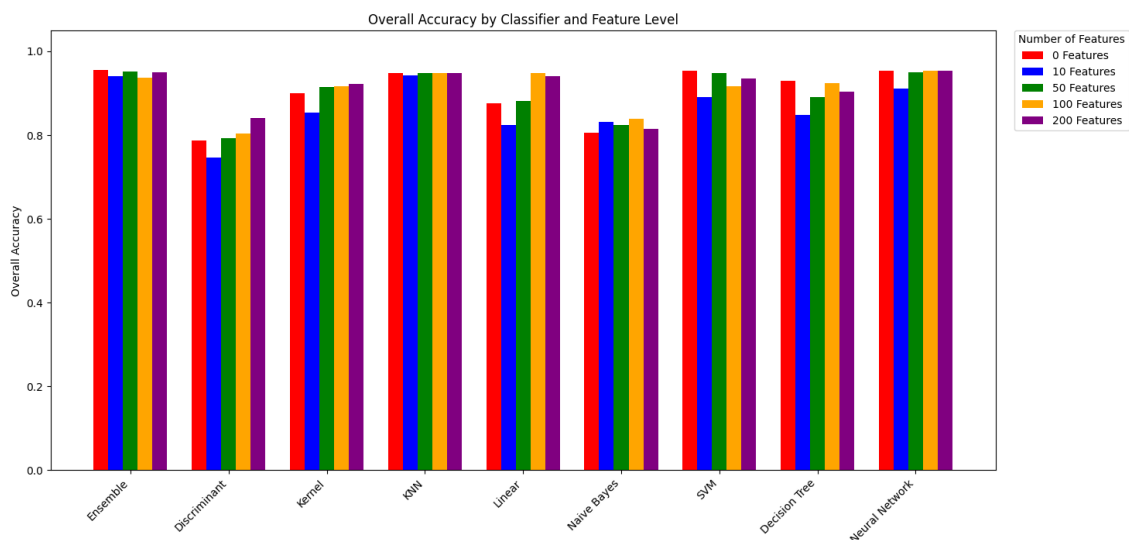
Row	Ensemble	Discriminant	Kernel	KNN	Linear	Naive Bayes	SVM	Decision Tree	Neural Network
Overall Accuracy	0.93710	0.80233	0.91580	0.94774	0.94816	0.83903	0.91678	0.92393	0.95335
Balanced Accuracy	0.94914	0.86112	0.93183	0.95134	0.95419	0.88707	0.93277	0.93129	0.95763
Kappa	0.92383	0.76433	0.89823	0.93657	0.93714	0.80741	0.89939	0.90770	0.94341
F1 Score	0.94448	0.80995	0.91971	0.95078	0.95261	0.84860	0.92213	0.93122	0.95705

Table 5: Feature Engineer Classification with 200 New Features (Salinas-A)

Row	Ensemble	Discriminant	Kernel	KNN	Linear	Naive Bayes	SVM	Decision Tree	Neural Network
Overall Accuracy	0.9493	0.8393	0.9213	0.9482	0.9396	0.8140	0.9350	0.9028	0.9528
Balanced Accuracy	0.9567	0.8880	0.9374	0.9500	0.9484	0.8807	0.9463	0.9184	0.9592
Kappa	0.9385	0.8077	0.9048	0.9371	0.9268	0.7790	0.9213	0.8822	0.9428
F1 Score	0.9539	0.8494	0.9278	0.9514	0.9454	0.8198	0.9405	0.9135	0.9564

Key observations include:

Baseline (0 Features): Classifiers including Neural Networks, Ensemble methods, and SVM attain Overall Accuracies exceeding 95%, accompanied by elevated Balanced Accuracy, Kappa, and Mean F1 Score, whereas Discriminant Analysis and Naive Bayes exhibit comparatively inferior performance. Introducing 10 new features results in a marginal performance decline for certain classifiers, particularly Naive Bayes and Discriminant Analysis, likely attributable to their sensitivity to dimensionality. An increase to 50 features typically enhances performance across the majority of classifiers. At 100 and 200 features, Ensemble methods, SVM, and Neural Networks either sustain or marginally enhance their metrics, while improvements for other classifiers reach a plateau (Figure 1).

**Figure 1:** Classifier Performance Comparison Across Overall Accuracy Metrics for Different Features.

3.2. Indian Pines Dataset

Tables 6–10 present findings for the Indian Pines dataset:

Table 6: Normal Classification (without Applying Feature engineering method) (Indian Pines)

Row	Ensemble	Discriminant	Kernel	KNN	Linear	Naive Bayes	SVM	Decision Tree	Neural Network
Overall Accuracy	0.8743	0.7365	0.9136	0.8814	0.8406	0.6072	0.8849	0.7602	0.9165
Balanced Accuracy	0.8122	0.7508	0.9157	0.8541	0.8230	0.5902	0.8764	0.7067	0.9065
Kappa	0.8561	0.6972	0.9014	0.8645	0.8176	0.5517	0.8687	0.7267	0.9048
F1 Score	0.8451	0.7513	0.9166	0.8697	0.8274	0.6253	0.8803	0.7101	0.9106

| 217

Table 7: Feature Engineer Classification with 10 New Features (Indian Pines)

Row	Ensemble	Discriminant	Kernel	KNN	Linear	Naive Bayes	SVM	Decision Tree	Neural Network
Overall Accuracy	0.7175	0.5595	0.6745	0.7346	0.6254	0.5689	0.6693	0.6049	0.6573
Balanced Accuracy	0.5899	0.5222	0.6113	0.6540	0.5557	0.5022	0.5744	0.4710	0.5283
Kappa	0.6740	0.4931	0.6231	0.6939	0.5627	0.5075	0.6174	0.5442	0.6048
F1 Score	0.6164	0.5124	0.6418	0.6962	0.5818	0.4999	0.6049	0.4837	0.5355

Table 8: Feature Engineer Classification with 50 New Features (Indian Pines)

Row	Ensemble	Discriminant	Kernel	KNN	Linear	Naive Bayes	SVM	Decision Tree	Neural Network
Overall Accuracy	0.8638	0.6514	0.8800	0.8530	0.8060	0.6266	0.8686	0.7216	0.8780
Balanced Accuracy	0.8166	0.6432	0.8582	0.8184	0.7802	0.5935	0.8083	0.6690	0.8492
Kappa	0.8439	0.6017	0.8630	0.8319	0.7774	0.5738	0.8496	0.6824	0.8609
F1 Score	0.8457	0.6129	0.8704	0.8347	0.8091	0.6184	0.8423	0.6441	0.8624

Table 9: Feature Engineer Classification with 100 New Features (Indian Pines)

Row	Ensemble	Discriminant	Kernel	KNN	Linear	Naive Bayes	SVM	Decision Tree	Neural Network
Overall Accuracy	0.8553	0.7308	0.8970	0.8702	0.8647	0.6285	0.8848	0.7691	0.8903
Balanced Accuracy	0.7862	0.7436	0.8694	0.8568	0.8423	0.6596	0.8327	0.7399	0.8771
Kappa	0.8340	0.6933	0.8824	0.8519	0.8456	0.5782	0.8683	0.7356	0.8749
F1 Score	0.8223	0.7103	0.8822	0.8672	0.8583	0.6439	0.8611	0.7482	0.8842

Table 10: Feature Engineer Classification with 200 New Features (Indian Pines)

Row	Ensemble	Discriminant	Kernel	KNN	Linear	Naive Bayes	SVM	Decision Tree	Neural Network
Overall Accuracy	0.8623	0.7767	0.8914	0.8641	0.8545	0.6839	0.8914	0.7741	0.8925
Balanced Accuracy	0.7907	0.7821	0.8563	0.8182	0.8184	0.6289	0.8364	0.7030	0.8791
Kappa	0.8422	0.7453	0.8761	0.8448	0.8336	0.6372	0.8758	0.7418	0.8773
F1 Score	0.8287	0.7676	0.8724	0.8351	0.8412	0.6716	0.8666	0.7111	0.8911

Baseline (0 Features): Neural Networks and Kernel-based classifiers reach Overall Accuracies exceeding 91%, whereas Naive Bayes underperforms. The reduction to 10 features in Feature Engineering results in a significant decline in performance for most classifiers; however, with 50, 100, and 200 features, performance rebounds and typically enhances, with Neural Networks and SVM reaching or surpassing baseline levels in Overall and Balanced Accuracy, Kappa, and Mean F1 Score (Figure 2).

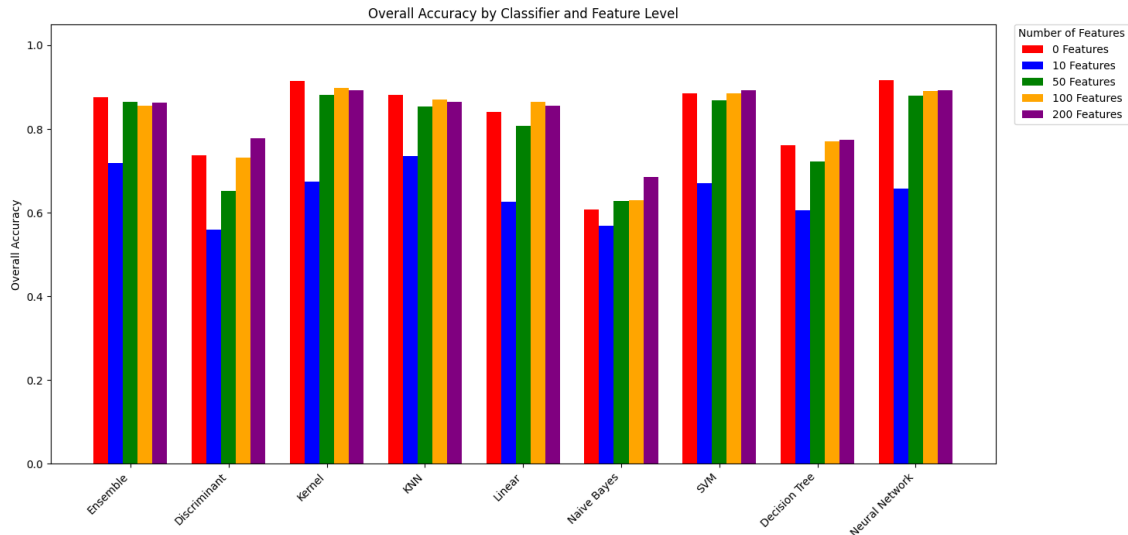


Figure 2: Classifier Performance Comparison Across Overall Accuracy Metrics for Different Features.

3.3. Comparative Analysis

Based on the bar chart, an analysis of both datasets (Figures 3 and 4) shows that feature engineering does improve classification performance in all cases, but the benefits depend on the datasets. Salinas-A benefits from its better spatial resolution and enhanced class separability, leading to consistent performance enhancements with the addition of features. Due to its varied spectral range and mixed pixels, Indian Pines is more sensitive to low-dimensional feature sets. However, using enough engineered features (50–200) can fix these problems and make the system much more effective. These results show how important it is to tailor feature engineering to fit the attributes of the dataset and the responsiveness of the classifier. They also stress how important it is to have the best set of features for improving classification accuracy. (Hughes, 1968; Nargesian et al., 2017; Dalla Mura et al., 2011; Pal & Foody, 2010; Tasci & Tasci, 2022; Zhao et al., 2021).

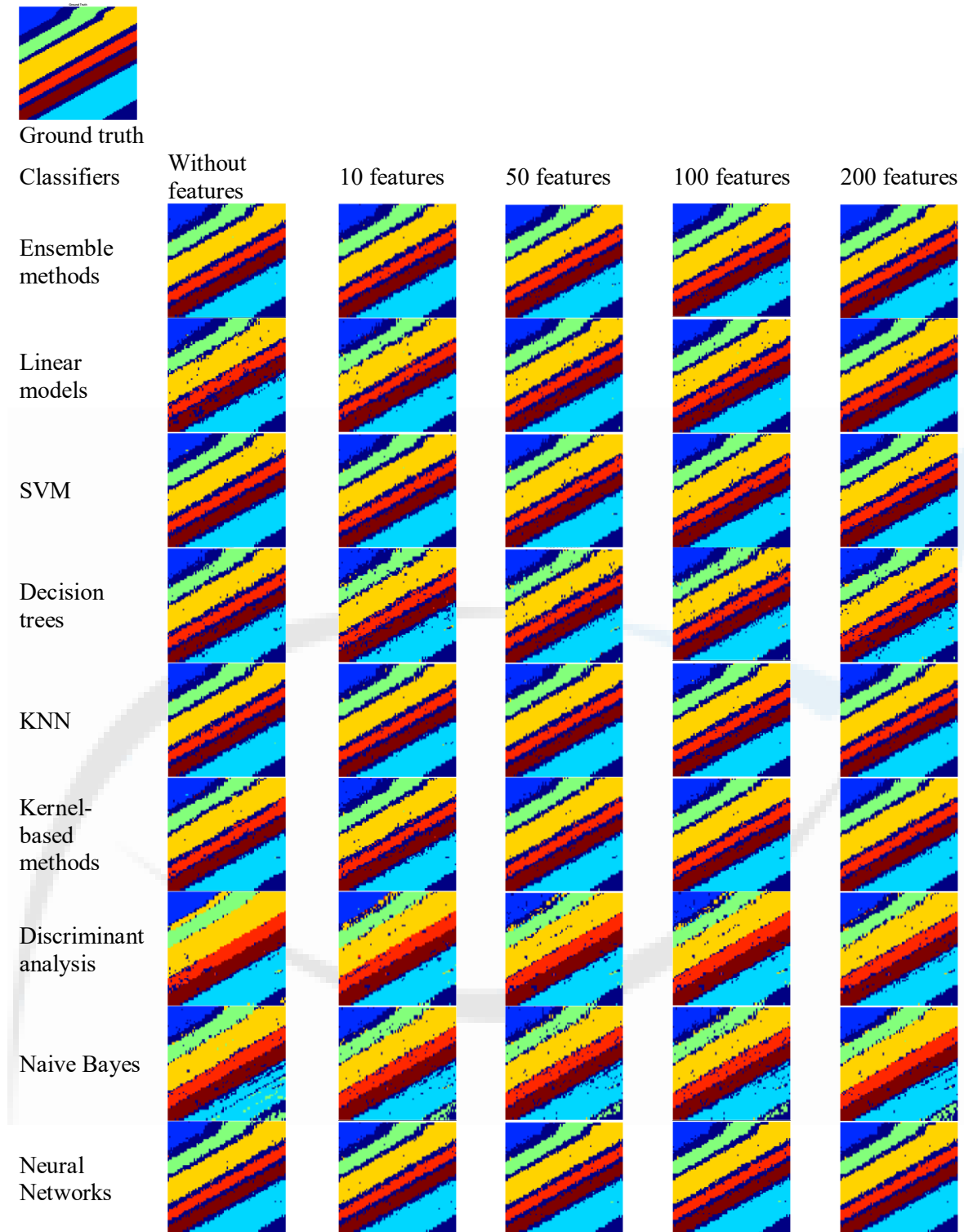
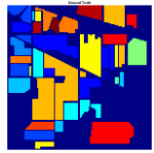


Figure 3: Comparison of classification performance across various classifiers with increasing numbers of selected features for hyperspectral image data (Salinas-A).



Ground truth

Classifiers

Without
features

10 features

50 features

100 features

200 features

| 220

Ensemble
methods

Linear models

SVM

Decision trees

KNN

Kernel-based
methodsDiscriminant
analysis

Naive Bayes

Neural
Networks

Figure 4: Comparison of classification performance across various classifiers with increasing numbers of selected features for hyperspectral image data (Indian Pines).

4. Conclusion

This research provides a comprehensive analysis of the impact of feature engineering on hyperspectral image classification employing the Salinas-A and Indian Pines datasets. It is introducing varying numbers of engineered features (0, 10, 50, 100, and 200 new features) to assess the performance of multiple classifiers. The results show that the effectiveness of feature engineering greatly depends on

dataset characteristics and classifier types. For the Salinas-A dataset, noted for its higher spatial resolution and distinct class separability, the integration of engineered features consistently led to improved classifier performance. Neural Networks and SVMs demonstrated substantial gains, achieving Overall Accuracy (OA) values exceeding 95% with the addition of 100 and 200 new features. This aligns with previous studies that highlighting the benefits of combining spectral and spatial features to enhance classification accuracy (Dalla Mura et al., 2011); (Nargesian et al., 2017). The findings confirm that classifiers capable of modeling complex nonlinear relationships can effectively leverage the enriched feature space provided by feature engineering. The Indian Pines dataset, known for its high spectral variability and presence of mixed pixels, presented more challenges. An initial decline in performance was observed when a small number of engineered features were added, presumably due to the introduction of irrelevant or redundant information exacerbating the "curse of dimensionality" (Hughes, 1968). Nonetheless, as the number of engineered features increased, classifiers such as Neural Networks, Kernel methods, and SVMs exhibited significant recovery and improvement in performance. The Neural Network classifier achieved an OA of approximately 89% with 200 engineered features, demonstrating its robustness and adaptability in handling complex, high-dimensional data (Tasci & Tasci, 2022); (Zhao et al., 2021). These results support the critical role of feature engineering and selection in hyperspectral image classification. They align with the findings of (Pal & Foody, 2010), who demonstrated that feature selection is essential for enhancing SVM performance in hyperspectral data. Additionally, the improvement observed in Neural Network performance with increased features reflects the effectiveness of deep learning models in extracting and utilizing complex feature representations, especially when dealing with complex datasets like Indian Pines.

5. References

- Brodersen, K. H., Ong, C. S., Stephan, K. E., & Buhmann, J. M. (2010). The balanced accuracy and its posterior distribution. *Proceedings – International Conference on Pattern Recognition*, 3121–3124. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2010.764>
- Cohen, J., Spohn, H., Solomon, L., & Steinman, A. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales 1.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data (Vol. 37).
- Cortes, C., Vapnik, V., & Saitta, L. (1995). Support-vector networks. In *Machine Learning* (Vol. 20). Kluwer Academic Publishers.
- Cover, T. M., & Hart, P. E. (1952). Approximate formulas for the information transmitted by a discrete communication channel. *IEEE Transactions on Information Theory*, 24(1).
- Dalla Mura, M., Villa, A., Benediktsson, J. A., Chanussot, J., & Bruzzone, L. (2011). Classification of hyperspectral images by using extended morphological attribute profiles and independent component analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(3), 542–546. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2010.2091253>
- Dietterich, T. G. (n.d.). Ensemble methods in machine learning. Retrieved from <http://www.cs.orst.edu/~tgdt>
- Ghamisi, P., Yokoya, N., Li, J., Liao, W., Liu, S., Plaza, J., Rasti, B., & Plaza, A. (2017). Advances in hyperspectral image and signal processing: A comprehensive overview of the state of the art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 37–78. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762087>
- Guyon, I., & De, A. M. (2003). An introduction to variable and feature selection. *Journal of Machine Learning Research*, 3.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (n.d.). *Data mining concepts and techniques* (3rd ed.).
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (n.d.). *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction*. Springer.

- Herath, H. C. M. (2021). Performance evaluation of machine learning classifiers for hyperspectral images. In *International Conference on Communication Technology Proceedings (ICCT)*, October 2021, 1216–1220. <https://doi.org/10.1109/ICCT52962.2021.9657977>
- Hughes, G. F. (1968). On the mean accuracy of statistical pattern recognizers. *IEEE Transactions on Information Theory*.
- Jaiswal, G., Sharma, A., & Yadav, S. K. (2021). Critical insights into modern hyperspectral image applications through deep learning. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 11(6). <https://doi.org/10.1002/widm.1426>
- Lecun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Murphy, K. P. (2012). *Machine learning: A probabilistic perspective*. MIT Press.
- Nargesian, F., Samulowitz, H., Khurana, U., Khalil, E. B., & Turaga, D. (2017). Learning feature engineering for classification. In *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2529–2535. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2017/352>
- Pal, M., & Foody, G. M. (2010). Feature selection for classification of hyperspectral data by SVM. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(5), 2297–2307. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2039484>
- Powers, D. M. W., & Ailab. (2020). *Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness & correlation*.
- Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. In *Machine Learning* (Vol. 1).
- Tasci, B., & Tasci, I. (2022). Deep feature extraction based brain image classification model using preprocessed images: PDRNet. *Biomedical Signal Processing and Control*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.103948>
- Zhao, Y., Cheung, Y. M., You, X., Peng, Q., Peng, J., Yuan, P., & Shi, Y. (2021). Hyperspectral image classification via spatial window-based multiview intact feature learning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(3), 2294–2306. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.3004858>

Makale id= 69

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-7038-8168

| 223

Arc Füzyon Reaktöründe Katı Trityum Üretici Malzemelerinin Performansının Değerlendirilmesi**Dr. Öğretim Üyesi Güven Tunç¹**
¹Gazi Üniversitesi

Özet: Trityum üretimi, sürdürülebilir ve verimli füzyon reaktör tasarımı için temel bileşenlerden biridir. Sıvı trityum üreticileri ARC'de yaygın olarak kullanılsa da, bu çalışma katı üreticilerin trityum üretim oranını (TBR) artırma potansiyelini değerlendirmektedir. Bu çalışma, ARC füzyon reaktöründe trityum üretimi için kullanılan katı trityum üretici malzemelerin performansını araştırmaktadır. Çalışmada Li₄SiO₄ (Lityum Silikat), Li₂TiO₃ (Lityum Titanat), Li₈PbO₆ (Lityum-Pb Oksit), Li₈ZrO₆ (Lityum-Zirkonyum Oksit) dahil olmak üzere çeşitli katı malzemeler incelenmiş, her bir malzemenin trityum üretim oranı (TBR) ve nötron akısı değerlendirilmiştir. Sonuçlar, katı trityum üretici malzemelerin ARC reaktöründe TBR üretimini artırmak için önemli bir potansiyele sahip olduğunu ve sıvı malzemelerle entegrasyonunun yüksek verimli trityum üretimine ulaşmak için yenilikçi bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, çalışma katı malzemeler kullanılarak ARC reaktör tasarımlarının optimize edilmesine ön açacak ve trityum üretiminde sürdürülebilirliğe önemli katkılar sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Arc Füzyon Reaktörü, Trityum Üretimi, Katı Trityum Üretici

Evaluation of Solid Tritium Breeder Materials Performance in the Arc Reactor

Abstract: Tritium breeding is one of the key components for sustainable and efficient fusion reactor design. While liquid tritium breeders are commonly used in ARC, this work evaluates the potential of solid breeders to enhance the tritium breeding ratio (TBR). This study investigates the performance of solid tritium breeder materials used for tritium production in the ARC fusion reactor. The study examined several solid materials, including Li₄SiO₄ (Lithium Silicate), Li₂TiO₃ (Lithium Titanate), Li₈PbO₆ (Lithium-Pb Oxide), Li₈ZrO₆ (Lithium-Zirconium Oxide), assessed each material's tritium breeding ratio (TBR) and neutron flux. The results implied that solid tritium breeder materials have significant potential to enhance TBR production in the ARC reactor, and their integration with liquid materials offers an innovative approach to achieving high-efficiency tritium production. In addition, the study will pave the way for optimizing ARC reactor designs using solid materials and offer substantial contributions toward sustainability in tritium production.

Keywords: Arc Fusion Reactor, Tritium Breeding, Solid Tritium Breeder

1. Introduction

Fusion energy holds great potential for clean and sustainable energy production. However, tritium breeding is critical for fusion reactors to operate efficiently. Tritium, a primary fuel that sustains fusion reactions, is typically produced using tritium breeder materials in the reactor's blanket. These materials interact with high neutron fluxes to increase the tritium breeding ratio. In compact reactor designs like the ARC (Affordable, Robust, Compact) fusion reactor, while liquid tritium breeders are commonly preferred, the potential of solid materials offers significant opportunities for enhancing tritium breeding ratios (TBR). Efficient tritium breeding in fusion reactors is vital for ensuring the sustainability of fusion reactions. The development of both solid and liquid breeder materials plays a critical role in enabling the self-sustaining tritium cycle.

In recent years, research on fusion blankets, particularly for the Affordable Robust Compact (ARC) reactor, has focused on different material configurations and neutron performance. The innovative design of the ARC reactor, which features high-temperature superconducting magnets in a compact tokamak, requires careful selection of tritium breeder materials and neutron shielding. In early studies on fusion reactor materials, solid lithium components such as Li_4SiO_4 (Lithium Silicate) and Li_2TiO_3 (Lithium Titanate) were identified as promising tritium breeders (Hernández and Pereslavl'tsev, 2018:137; Segantin et al., 2020:160). However, neutron absorption and material degradation challenges have led to the investigation of alternative materials. The development of liquid breeders, particularly lithium-based molten salts like FLiBe ($2\text{LiF}-\text{BeF}_2$), has emerged as a viable solution for tritium breeding and effective neutron moderation (Sorbom et al., 2015:100; Segantin et al., 2022:185). In reactors similar to ARC, the compact design and high magnetic fields necessitate carefully selecting blanket materials capable of fulfilling tritium breeding, neutron shielding, and heat transport functions (Meschini et al., 2021:167). Studies have shown that FLiBe is one of the most promising molten salts for this purpose and provides an optimal balance between tritium breeding ratio (TBR), compactness, and material activation (Segantin et al., 2020:160; Bocci et al., 2020:154). Additionally, research on advanced neutron shielding materials such as tungsten-based ceramics highlights their potential to protect sensitive reactor components, like superconducting magnets, from excessive radiation damage (Segantin et al., 2022:185). Furthermore, optimizing tritium breeding in ARC reactors has focused on material enrichment and blanket design modifications to increase the tritium breeding ratio (TBR). Recent analyses have explored the effects of lithium-6 enrichment and the integration of new materials, such as vanadium alloys, to reduce activation levels and enhance reactor sustainability (Segantin et al., 2020:154; Segantin et al., 2020:159).

This study investigates the performance of solid tritium breeder materials used for tritium breeding in the ARC fusion reactor. Analyses of materials such as Li_4SiO_4 (Lithium Silicate), Li_2TiO_3 (Lithium Titanate), Li_8PbO_6 (Lithium-Pb Oxide), and Li_8ZrO_6 (Lithium-Zirconium Oxide) evaluate the impact of each material on tritium breeding ratio and neutron flux. The results demonstrate that solid materials hold significant potential for high-efficiency tritium breeding in the ARC reactor, and their integration with liquid materials offers an innovative approach to achieving this goal. Additionally, this study provides valuable insights that contribute to optimizing ARC reactor designs and increasing sustainability in tritium breeding.

2. Materials and Methods

This study evaluated the performance of solid tritium breeder materials to examine the tritium breeding potential of the ARC (Affordable, Rugged, Compact) fusion reactor. The ARC is a compact tokamak design with a major radius of 3.3 meters. It aims to produce 525 MW of continuous fusion power by utilizing high magnetic fields through REBCO (Rare-Earth Barium Copper Oxide) superconducting toroidal field coils. This design provides high energy density and compactness while requiring effective management of the high-energy neutron fluxes generated by deuterium-tritium (D-T) fusion reactions. The majority of neutrons are produced as high-energy neutrons interact with the plasma and surrounding structures during fusion reactions. In this context, managing neutrons through neutron breeding layers and protective shields is critical for the efficient and safe operation of the reactor. The core of the reactor is the energy-producing region where deuterium-tritium fusion occurs, being compressed by magnetic fields and heated to high temperatures. In the reactor model, the D-shape height is set at 100 cm, which corresponds to about 1/20th of the major radius of the vacuum vessel. This height is associated with a source density of $9.3\text{E}+18$ n/s. Simulations with different D-shape heights (up to 200 cm) have yielded consistent results with the 100 cm model; therefore, the 100 cm model was selected for parameter studies as it is less time-consuming. Energy-dependent neutron cross-sections were taken from the ENDF/B-VIII library (Segantin et al., 2020:154; Conlin et al., 2018). Figure 1 shows the two-dimensional D-shape used in the neutronic calculations.

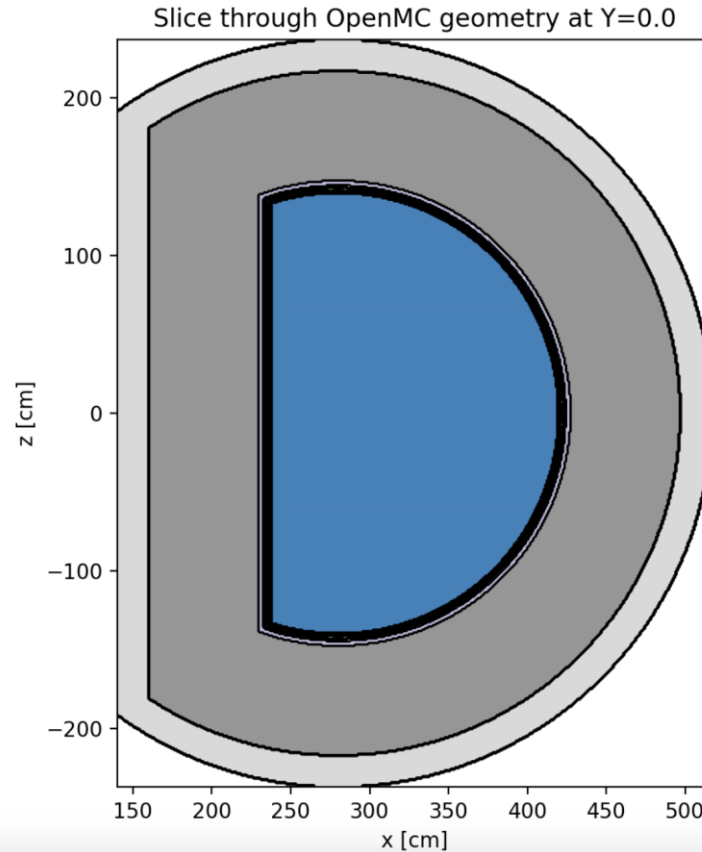


Fig.1. The 2D shape of the reactor

A portion of the fusion energy is absorbed by the first wall, protecting the structural components from high heat flux, and this wall is made of tungsten material. Tungsten is resistant to high neutron damage and is suitable for long-term use under fusion conditions. The first wall plays a critical role in both the absorption of fusion energy and the protection of structural components, as it is the first component in direct contact with the reactor's internal structure. The vacuum vessel, which surrounds the plasma and provides the necessary vacuum conditions for fusion reactions, is a crucial component made from high-temperature and neutron-damage-resistant materials such as Inconel-718. This vacuum vessel protects structural components inside the reactor while minimizing neutron leakage. The cooling system is crucial for the long-term efficient operation of the ARC reactor. By using coolant fluids such as FLiBe (2LiF-BeF_2), the system aims to maintain thermal balance and efficiently remove heat. FLiBe, as a molten salt mixture, functions as one of the core cooling components of the ARC reactor, serving both tritium breeding and cooling of reactor components. Neutron multiplier layers, typically made of materials like beryllium or tungsten, increase tritium breeding ratio by interacting with neutrons and support the sustainability of fusion reactions. In this study, beryllium is selected as the neutron multiplier. Since the goal of this study is to examine the performance of solid tritium breeder materials in the blanket region, materials like Li_4SiO_4 (Lithium Silicate), Li_2TiO_3 (Lithium Titanate), Li_8PbO_6 (Lithium-Pb Oxide), and Li_8ZrO_6 (Lithium-Zirconium Oxide) have been chosen. Detailed analyses of these materials' tritium breeding ratios (TBR), neutron flux, and power deposition have been performed. Specifically, the initial thickness of this region is 50 cm. The thickness of the tritium breeding region is then increased in steps of 10 cm up to a thickness of 120 cm, and TBR values are examined. Neutron flux and material interactions are modeled in this study using the OPENMC Monte Carlo neutron transport code. OPENMC simulates neutron transport and material interactions, providing detailed calculations of neutron flux, energy distribution, and reaction rates for each material (Romano et al., 2015:82). This code has been an essential tool for analyses focused on neutron economy and tritium breeding ratio (TBR). In addition to neutron flux, the effects of materials on temperature and energy transfer are also considered, and the power deposition value of each material has been analyzed. The

study aims to compare the performance of different solid tritium breeder materials in the ARC reactor, identifying the materials that provide the highest tritium breeding ratio. This will explore the potential use of solid tritium breeders in ARC reactor design.

3. Results and Discussions

Figure 2 shows the variation of neutron flux with energy in different regions of the Li_2TiO_3 (Lithium Titanate) material. The coolant region exhibited a higher flux density for low-energy neutrons, which decreases as the energy increases. This indicated that low-energy neutrons are more prevalent in this region. The neutron multiplier region is an area where the material properties facilitate the effective multiplication of neutrons, showing a higher neutron flux, especially at intermediate energy levels. The flux density in this region is higher compared to the coolant region. The blanket region represents the area where tritium breeding is most significant. Here, a lower neutron flux was observed. As shown in Figure 3, a similar behavior was observed in neutron slowing down. Li_4SiO_4 , particularly in the blanket region, has shown slightly better neutron slowing down, especially in the intermediate energy neutron range, compared to Li_2TiO_3 . Figure 4 showed that it provides a much better-moderated neutron flux, especially in the region with low-energy neutrons, compared to Figures 2 and 3. Similarly, it showed a good neutron flux in the intermediate and high-energy neutron regions. Figure 5 exhibited a neutron flux behavior similar to that seen in Figure 4. In this material, neutrons were effectively slowed down, leading to a positive change in neutron economy. The neutron multiplication tendency of Pb and Zr could particularly explain these changes. Similarly, these elements interact with tritium, especially in the intermediate and high-energy neutron regions. These elements work to both increase the neutron population in the environment and effectively slow down the neutrons. In Figure 6, the variation of the tritium breeding ratio (TBR) with blanket thickness is shown. As in the literature, the thickness is taken as 50 cm. Later, the thickness is increased by 10 cm, and calculations are made until the TBR value reaches a nearly constant value. In Figure 6, the TBR values of four different solid tritium breeder materials (Li_2TiO_3 , Li_4SiO_4 , Li_8PbO_6 , Li_8ZrO_6) are compared for blanket lengths ranging from 50 cm to 120 cm. For each material, the TBR value increases steadily as the blanket thickness increases. Li_2TiO_3 , having the lowest TBR ratio, initially has a lower tritium breeding ratio, and the increase in TBR remains limited as the blanket thickness increases.

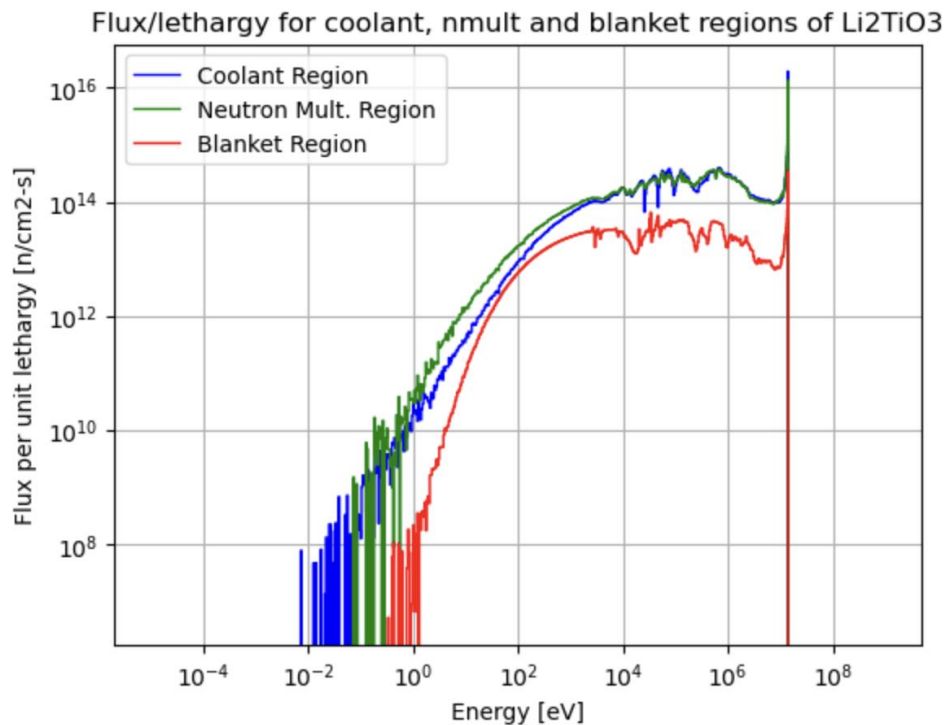


Fig.2 The relationship between neutron energy (eV) and total flux (flux per unit lethargy) for Li_2TiO_3

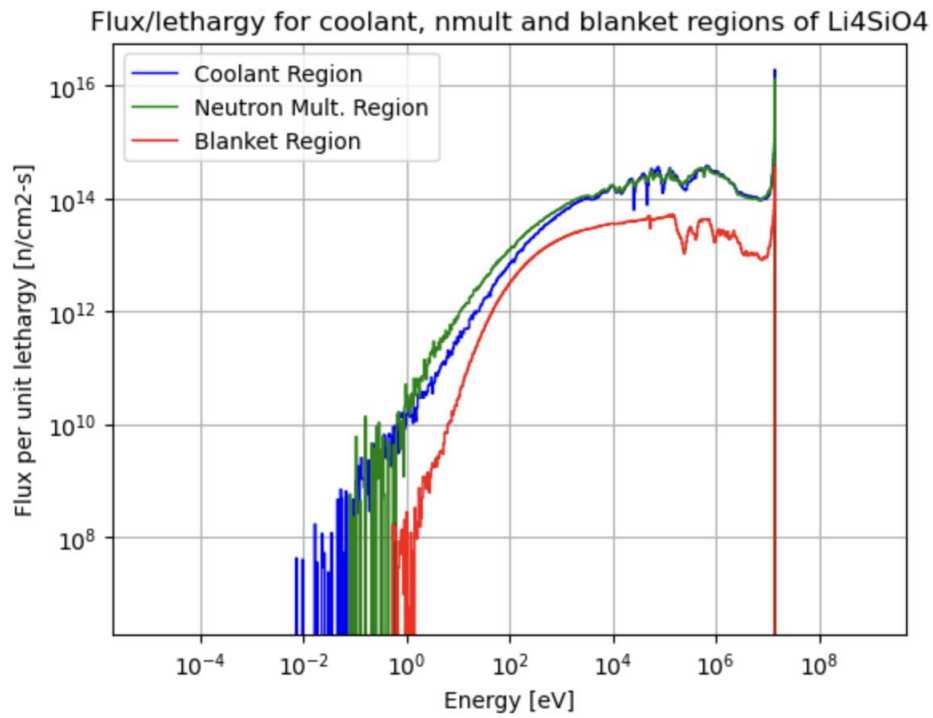


Fig.3 The relationship between neutron energy (eV) and total flux (flux per unit lethargy) for Li_4SiO_4

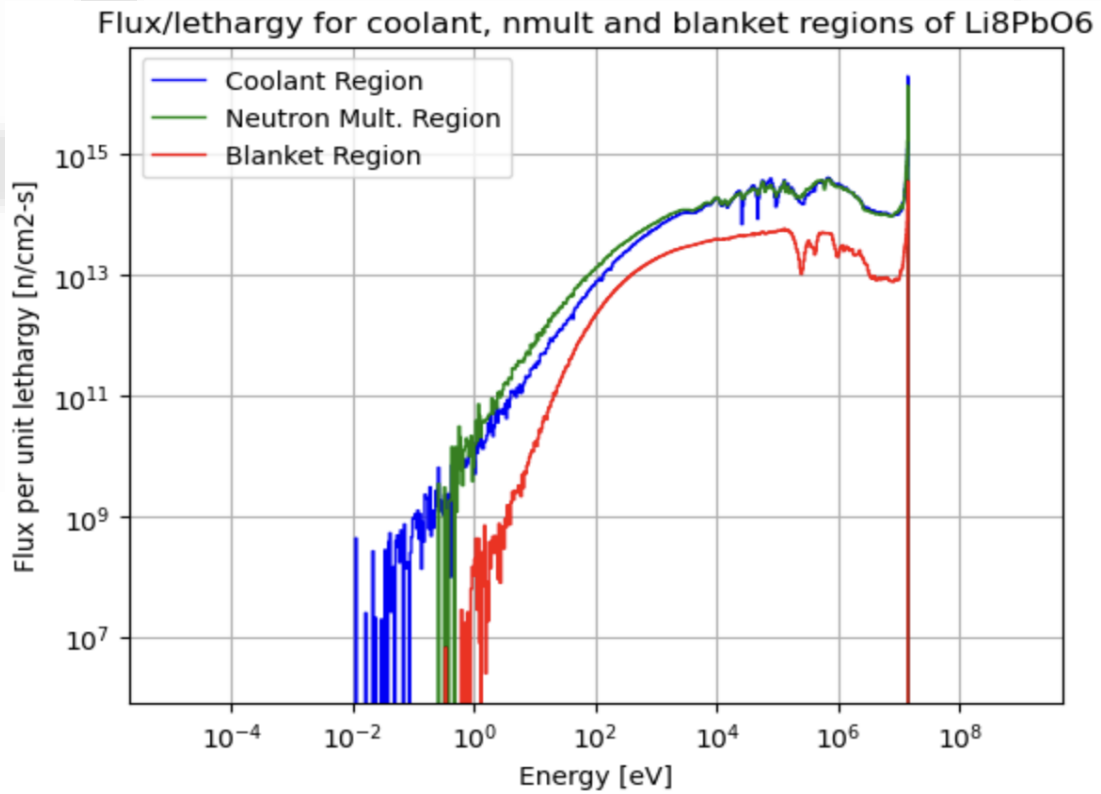


Fig.4 The relationship between neutron energy (eV) and total flux (flux per unit lethargy) for Li_8PbO_6

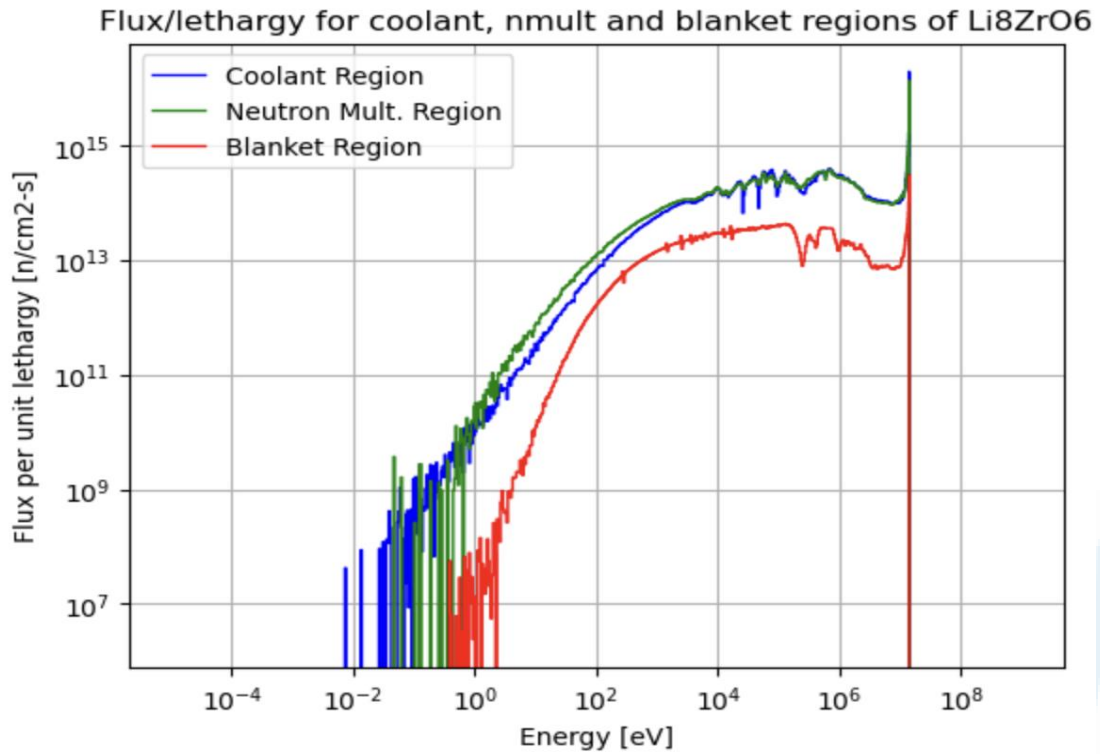


Fig.5 The relationship between neutron energy (eV) and total flux (flux per unit lethargy) for Li₈ZrO₆

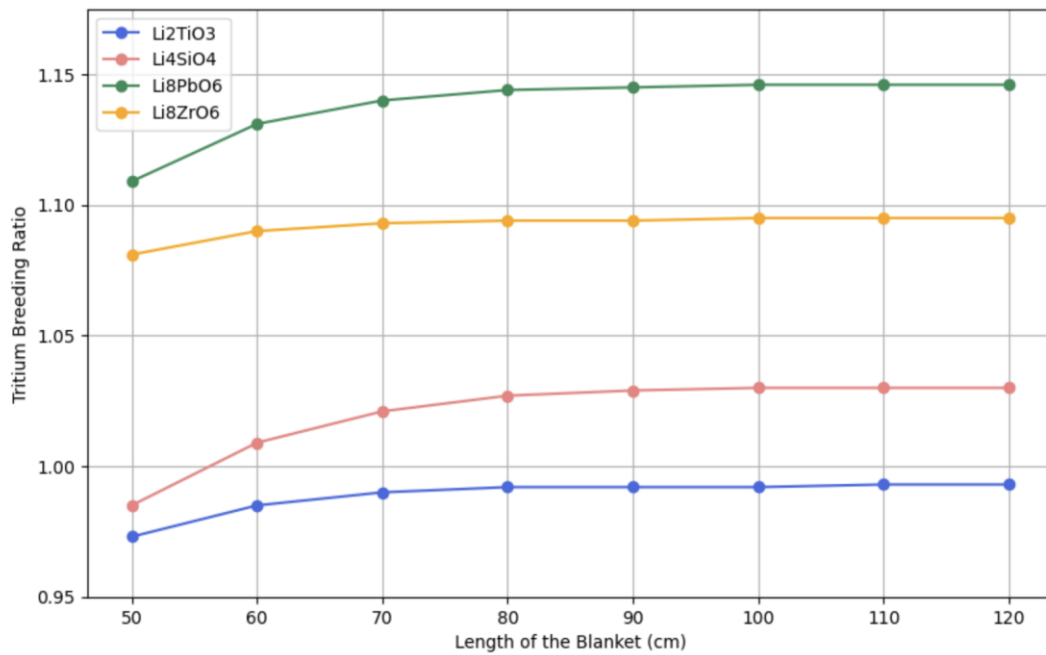


Fig.6 The change in the tritium breeding ratio with respect to length of the blanket

For the reactor to sustain the deuterium-tritium reaction, the TBR value must be greater than 1. Therefore, Li₂TiO₃ could not meet this required value at any thickness increase. Li₄SiO₄ offered a higher tritium breeding ratio compared to Li₂TiO₃, and the rise in TBR becomes more pronounced as the blanket thickness increases. Li₈PbO₆ shows a faster increase compared to the other materials, reaching higher TBR values at intermediate blanket lengths. The material with the highest TBR value, Li₈ZrO₆, provides the most effective efficiency across the entire length range, demonstrating the highest

performance in terms of tritium breeding ratio. From this, it can be concluded that the optimum blanket thickness for solid tritium breeders to achieve maximum TBR is 70 cm. Additionally, in Figure 7, the TBR values for a blanket thickness of 70 cm are shown graphically.

In addition to tritium breeding, another critical aspect is the amount of heating due to the use of different materials in the blanket region. Heating was observed in solid tritium breeders as a result of tritium breeding. Figure 8 shows the heating value of the solid tritium breeders used in this study. Li_8PbO_6 , having the highest TBR value, stands out with a heating value of approximately 1.1 W/cm. This is due to Li_8PbO_6 's high tritium breeding ratio, as the amount of heat accumulating in the material increases with the tritium breeding reactions. Li_8ZrO_6 has a heating capacity similar to Li_8PbO_6 but showed slightly lower performance in terms of tritium breeding. However, it still stood out with a heating value of 1.05 W/cm³. Li_4SiO_4 , with a heating capacity of 1.0 W/cm³, offers a lower tritium breeding ratio compared to Li_8PbO_6 and Li_8ZrO_6 . This material showed moderate performance in the tritium breeding ratio while providing a lower TBR value in proportion to its heating value. Finally, Li_2TiO_3 , with the lowest heating value of 0.95 W/cm, demonstrated the lowest performance in the tritium breeding ratio. This indicated that Li_2TiO_3 's limited heating value is directly proportional to its limited tritium breeding ratio.

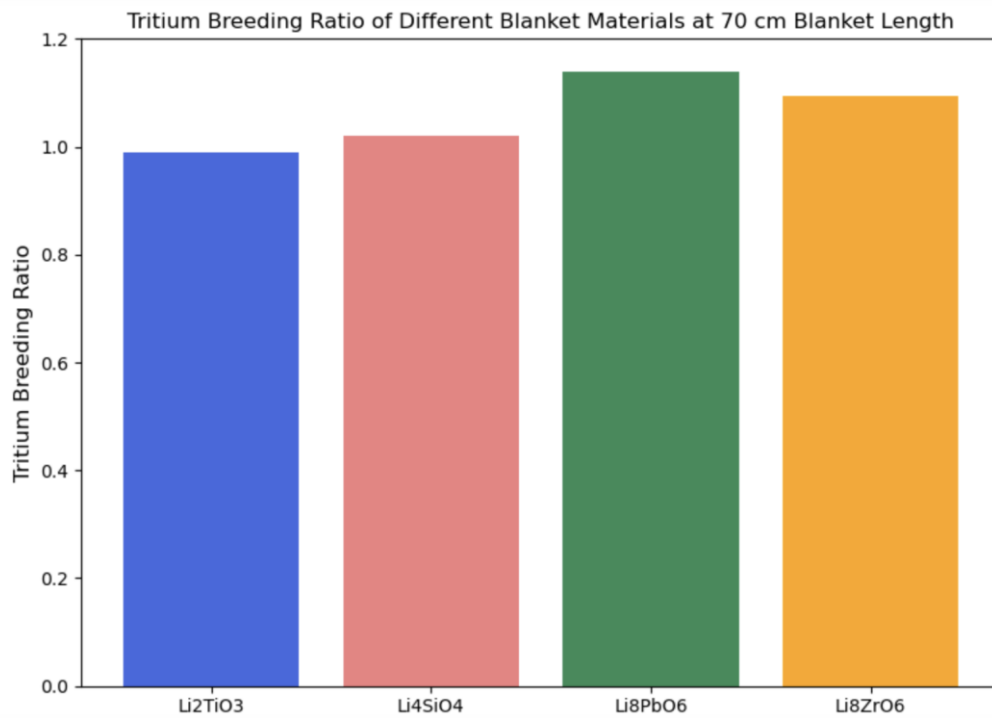


Fig.7 The tritium breeding ratio of the candidate materials at 70 cm blanket length

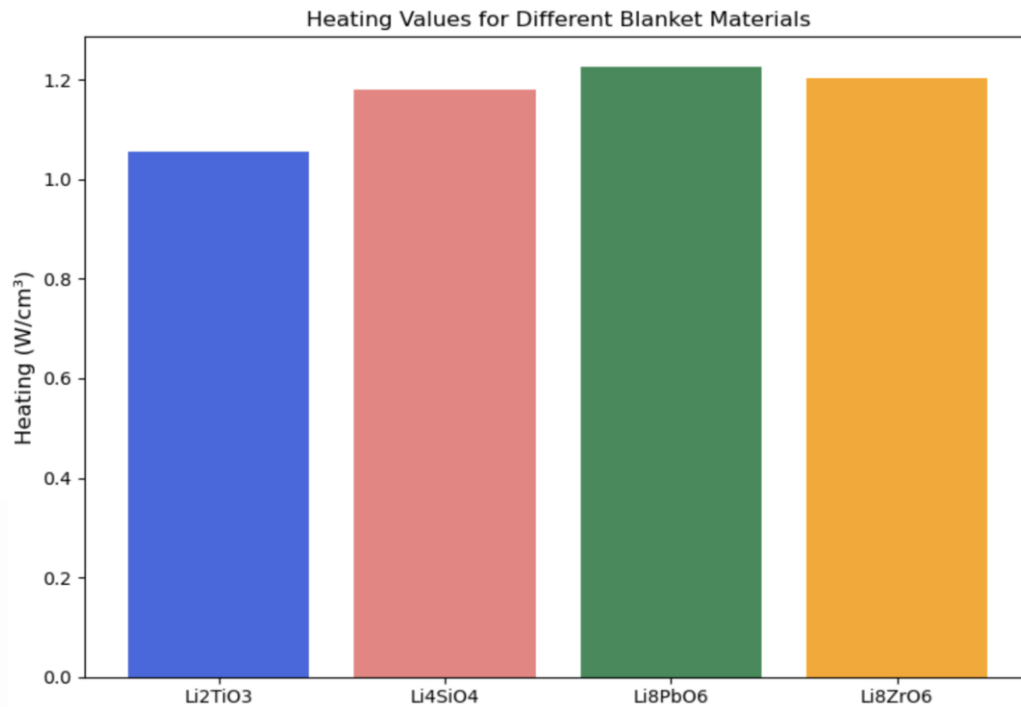


Fig.8 The heating of the candidate materials

4. Conclusion

In this study, the efficiency of four different solid tritium breeder materials (Li₈PbO₆, Li₈ZrO₆, Li₄SiO₄, Li₂TiO₃) has been compared in terms of neutron flux and tritium breeding ratio. Li₈PbO₆ was the most efficient material with the highest tritium breeding ratio (TBR) and neutron flux while storing significant heat. Li₈ZrO₆, exhibiting a performance close to that of Li₈PbO₆, offers slightly lower TBR and heating values but remains an effective option. Li₄SiO₄ and Li₂TiO₃ show lower efficiency in terms of neutron flux and tritium breeding ratio; however, it has been observed that Li₄SiO₄ offers some beneficial performance under specific conditions. Additionally, the optimum blanket thickness for using solid tritium breeder materials is 70 cm. The use of Li₂TiO₃ alone in the tritium breeding region has been found unsuitable, as this material does not provide sufficient efficiency in tritium breeding. The results indicated that Li₈PbO₆ is a solid breeder with good tritium breeding performance for the ARC fusion reactor. In addition, it needs a detailed cooling system. These results emphasize the importance of material selection and blanket thickness in reactor design and provide critical insights into optimizing tritium breeding.

References

- Bocci, B., Hartwig, Z., Segantin, S., Testoni, R., Whyte, D., & Zucchetti, M. (2020). ARC reactor materials: Activation analysis and optimization. *Fusion Engineering and Design*, 154, 111539.
- Brown, D. A., Chadwick, M. B., Capote, R., Kahler, A. C., Trkov, A., Herman, M. W., Zhu, Y. (2018). ENDF/B-VIII. 0: the 8th major release of the nuclear reaction data library with CIELO-project cross sections, new standards and thermal scattering data. *Nuclear Data Sheets*, 148, 1-142.
- Hernández, F. A., & Pereslavitsev, P. A. V. E. L. (2018). First principles review of options for tritium breeder and neutron multiplier materials for breeding blankets in fusion reactors. *Fusion Engineering and Design*, 137, 243-256.
- Meschini, S., Testoni, R., Segantin, S., & Zucchetti, M. (2021). ARC reactor: A preliminary tritium environmental impact study. *Fusion Engineering and Design*, 167, 112340.
- Romano, P. K., & Forget, B. (2013). The OpenMC monte carlo particle transport code. *Annals of Nuclear Energy*, 51, 274-281.

- Segantin, S., Meschini, S., Testoni, R., & Zucchetti, M. (2022). Preliminary investigation of neutron shielding compounds for ARC-class tokamaks. *Fusion Engineering and Design*, 185, 113335.
- Segantin, S., Testoni, R., Hartwig, Z., Whyte, D., & Zucchetti, M. (2020). Optimization of tritium breeding ratio in ARC reactor. *Fusion Engineering and Design*, 154, 111531.
- Segantin, S., Testoni, R., & Zucchetti, M. (2020). ARC reactor–Neutron irradiation analysis. *Fusion Engineering and Design*, 159, 111792.
- Segantin, S., Testoni, R., & Zucchetti, M. (2020). Neutronic comparison of liquid breeders for ARC-like reactor blankets. *Fusion Engineering and Design*, 160, 112013.
- Sorbom, B. N., Ball, J., Palmer, T. R., Mangiarotti, F. J., Sierchio, J. M., Bonoli, P., ... & Whyte, D. G. (2015). ARC: A compact, high-field, fusion nuclear science facility and demonstration power plant with demountable magnets. *Fusion Engineering and Design*, 100, 378-405.



Makale id= 8

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-9649-4495

| 232

Upgrading Urban Slums Through Sustainable Development and Community Engagement

**Researcher Mossaab El-Assad¹, Researcher Abdulmalek Dahir Sheikh¹,
Asst.Prof.Dr. Neslihan Aydın Yönet¹**
¹Bahçeşehir University

*Corresponding author: Neslihan Aydın Yönet

Upgrading Urban Slums Through Sustainable Development and Community Engagement

Abstract: Slums are an informal type of housing settlement often seen in urban areas of developing countries, substandard housing, and poor living conditions characterize these settlements, and they usually lack access to the basic essential infrastructures. In the present time, slums have become an unavoidable reality around the world, rapid urbanization coupled with other factors like inadequate basic services and unequal social systems, have turned slums into a challenging obstacle preventing the achievement of sustainable urban development. This research explores the potential of integrated urban planning and active community engagement, as key factors for tackling these challenges and fostering sustainable slum development. The research methodology is qualitative, drawing from a detailed exploration of previous successful case studies across Asia, Africa, and South America. Analyzing the cases provides valuable insight into developing strategies and approaches that can resolve the defined issues in slums using sustainable development via community engagement. Furthermore, the study emphasizes the importance of secure land tenure and legal rights in ensuring stability within slum communities. The findings underline the role of collaboration between residents and official authorities in achieving equitable, sustainable, and resilient urban development. This research concludes that customized and/or inclusive approaches that promote community participation as a powerful human capital and adapting sustainable practices across the three pillars (environment, economy, equity) of sustainability can significantly improve the living conditions of the slum dwellers, transform urban slums into resilient and livable spaces, aligned with the United Nations' Sustainable Development Goals.

Keywords: Sustainable Urban Development, Community Engagement, Slum Upgrading, Urban Resilience.

1. INTRODUCTION

Urban slums represent one of the most difficult challenges cities face in modern day. As a result of rapid urbanization, it is estimated that more than half of the world's population lives in urban areas, and this number might reach five billion by 2030¹. This could result in a detrimental effect socially, environmentally, and economically. In addition to urbanization, some of the key contributors to the formation of these slums are inadequate infrastructure, poor living conditions, poor sanitation, poor drainage systems, and limited access to basic services.

¹ United Nations Population Fund. (2025). State of World Population 2007: Unleashing the Potential of Urban Growth

As a result of this, it is evident that urban slums pose a significant challenge to the sustainable development of cities. However, with these substandard living conditions, these slums are home to millions if not billions of people who drastically contribute to the economic, social, and cultural fabric of the cities. Therefore, addressing these challenges of urban slums is fundamental to achieving equitable urban growth which aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs) set by the United Nations.

This research aims to question and explore sustainable urban development strategies through the integration of urban planning practices and active community engagement. Through successful case studies, the study highlights effective and successful methods that advocate for economic, social, and environmental resilience, equity, and long-term urban sustainability.

In line with this aim, the research poses a research question, how urban planning and community engagement can lead to sustainable and resilient urban slums?

2. LITERATURE REVIEW

The study of the development of urban slums has gained vast importance among academics and policy discourse. There is an urgent need to review the social, economic, and environmental predicaments faced by these marginalized communities in the slums.

This paper explores the role of both community engagement and urban planning in long-term sustainable slum development. It reveals slums' historical evolution from European cities to the rest of the continent and the causes for these urban slum sprawl, such as rapid urbanization, inadequate governance, and systemic inequalities among the genders. It comprehensively explains the challenges and opportunities in questioning and addressing urban slums.

2.1. Definition and evolution of slums

Among academics and planners, the term “slum” was first coined by James Hardy Vaux in 1812 in his “Vocabulary of the Flash Language”. At this time, the term was closely related and similarly used as the words “criminal trade” or “racket”². In more recent publications, the UN-Habitat defines slums as a densely populated area that is characterized by substandard housing and poor living conditions that often lack access to essential infrastructure such as clean water, drainage systems, sanitation programs, and electricity³.

Historically, the evolution of slums is closely tied to the massive industrial revolution, urban globalization, and the prevailing socio-economic inequalities. Visually, slums were first observed in the Eighteenth Century in European cities such as London, Paris, and Barcelona. This was caused and accelerated by the vast numbers of people from rural regions moving into urban areas in search of jobs and employment. With these large numbers, the demand for housing outpaced the supply, thus creating informal housing such as slum settlements⁴. In the early 19th Century, similar patterns were observed in American cities such as New York and Chicago. In line with the European cities, immigration, industrialization, and rural-to-urban migration were the main causes for the formation of these slums⁵. In the global South, slums began to spread in the early to late 20th century from South America to Asia to Africa in cities such as Rio, Caracas, Mumbai, Karachi, Lagos, and Nairobi (Table 1).

Slums are usually the resulting product of rapid and uncontrolled urbanization, where there is a high demand for affordable housing but a limited supply of it. This leaves low-income groups with little to no choice, thus forcing them to settle in unregistered lands in numbers, creating a slum⁶. Moreover, the lack of basic municipal services like sidewalks, paved roads, and street lighting is evident in this slum settlement. There is also a lack of public services such as hospitals, schools, etc., and public spaces for

² EACPM (2024). Revisiting complex conundrums of slum definition in urban policy. Economic Advisory Council to the Prime Minister.

³ UN-Habitat (2020). Indicator 11.1.1 training module: Adequate housing and slum upgrading.

⁴ Crymble, A. (2021). The decline and fall of an early modern slum. Urban History.

⁵ UN-Habitat (2020). Indicator 11.1.1 training module: Adequate housing and slum upgrading.

⁶ Purcell, R. (2012). An International Perspective on: Asset Based Development

the community⁷. This results in these communities being marginalized socially, economically, and politically.

Table 1. Historical Background of Slum

Timeline	Cities	Images	Causes	Formation of Slum
18 th Century	London, Paris & Barcelona		• Industrialization • Immigration • Rural to Urban Migration	+ Inadequate Housing = Urban Slums
19 th Century	New York & Chicago		• Industrialization • Immigration • Rural to Urban Migration	
Early 20 th Century	Rio & Caracas		• Immigration	
Mid-20 th Century	Mumbai & Karachi		• Immigration • Natural Increase in Population	
Late 20 th Century	Lagos & Nairobi		• Immigration • Natural Increase in Population	

Source: Prepared by Authors

⁷ Alliance, C. (2014). About Slum Upgrading.

2.2. The growth of slums

According to UN-Habitat (2024)⁸, almost a quarter of the world's population is estimated to dwell in slums. The number of slum dwellers has increased from 1.05 billion in 2020 to 1.12 billion in 2022. In this estimation, it is predicted that this number could rise to about five billion people in the year 2030. In Africa alone, it is estimated that more than half of urban dwellers live in slums. This accounts for about 53.6% of urban dwellers. Similarly, in Asia, it is estimated that almost 25% of the urban population also dwell in urban slums (UN-Habitat, World City Report, 2024). In conclusion, it is evident that slums have significantly grown both in size and the number of dwellers, thus posing a paramount and undeniable truth to the need for their sustainable urban planning.

2.3. The sustainable development of slums

As a result of the capacity of people these slums hold, it is paramount to transform them into sustainable and livable environments by integrating strategies emphasizing social, environmental, and community. Sustainable development of urban slums offers an opportunity to create slums that are resilient, inclusive in planning participation, and aligned with Sustainable Development Goals⁹

These sustainable strategies focus on improving the living conditions of slum dwellers without evicting them or displacing them. The research categorizes these sustainable approaches and builds on successful case studies that have implemented these strategies. The three pillars of sustainable approaches undertaken in the research are as follows (Table 2).

Table 2. Sustainable Strategies for Slum Upgrading

Sustainable Approach	Society	Environment	Economy
	Shedding light on the strength and resilience of slum communities.	Sustainable Energy Use	Advocating the importance of Legal Rights and Land Tenure for a long-term sustainable development
		Sustainable Water Use	
	Highlighting the importance of equal participation of different groups in all stages in the development process.	Sustainable Sanitation	
		Sustainable Building Materials	

Source: Prepared by Authors

3. METHODOLOGY

This research explores how slum areas can achieve sustainable urban development by analyzing a variety of real-world examples from different regions and socio-economic conditions. The study prioritizes cases that demonstrate innovative and practical solutions for upgrading slums in addition to some design proposals that have the potential to enhance and contribute to the overall wellbeing of the slum. These relatively recent projects illustrate some of the best and most successful strategies applied in different urban settings, highlighting how sustainable practices can be customized according to each slum's unique challenges. Furthermore, they emphasize effective approaches such as community engagement, environmental conservation, and securing land rights, which offers practical insights into how slums can evolve into sustainable and resilient urban developments.

3.1. Community Engagement & Participatory Planning

Here are related cases analyzed in the context of Community Engagement and Participatory Planning.

⁸ UN-Habitat (2024). World Cities Report.

⁹ UN-Habitat (2020). Indicator 11.1.1 training module: Adequate housing and slum upgrading.

3.1.1. Case study: Mīt `Uqba, Egypt

Mīt `Uqba is a popular neighborhood that, like many other neighborhoods in Egypt, lacks basic public services, specifically sanitation. The sewer system usually clogs up and floods the streets, damaging the citizens' habitat and abstracting pedestrian and vehicular flow. The people of Mīt `Uqba lacked the resources to resolve these problems independently. However, with the government continuously ignoring their demands and needs, the neighborhood's residents, especially the young ones, started a grassroots movement and decided to take the matter into their hands, which was the most important element of the initiative. The residents themselves determined their needs based on priority and conveyed the limited public resources of the Aguza district into these priorities. After consulting with several engineers, it was suggested that cement interlocking paving blocks be used instead of asphalt due to their low price and ease of maintenance. The community in Mīt `Uqba actively contributed to the street improvement project, engaging in cleaning, waste removal, paving, and tree planting¹⁰ (Figure 1). The positive results have encouraged the residents to maintain the street's cleanliness for the longest time. This success of the Popular Committee has also encouraged the community to suggest new ideas for neighborhood improvements and future challenges. The community engagement in this project fosters sustainability in three key ways: Socially, by ensuring the contribution of all the locals in the improvement process at all stages. Economically through the sustainable choice of interlocking cement, and environmentally by maintaining the material and the streets for the longest time.

| 236



Figure 1: A social sustainability lesson from Egypt: Local participatory in Mīt `Uqba, Giza, Cairo, Egypt¹¹

3.1.2. Case study: The Mukuru Special Planning Area (SPA) project, Kenya

The Makuru Special Planning Area (SPA) is a significant initiative that showcases participatory approaches aiming to upgrade the informal settlements of Mukuru Kwa Njenga, Kwa Reuben, and Viwandani in Nairobi, Kenya, by placing slum residents at the center of planning and development efforts. This project represents a collaborative effort among community members, NGOs, and various government departments which resulted in the Nairobi City County Government declaring Mukuru as a Special Planning Area. The SPA aimed to create a participatory physical development plan to address the unique challenges of Mukuru's informal settlements. Community members were organized as

¹⁰ Karamallis, A., Kimani, J., & Nyambuga, K. (2022). Citizen-led slum upgrading: The Mukuru Special Planning Area. Retrieved from <https://www.goldvi.uclg.org/en/democratizing>

¹¹ Karamallis, A., Kimani, J., & Nyambuga, K. (2022).

groups such as women-led savings groups, this not only facilitated their engagement but also helped to strengthen local capacities and foster economic growth. The project utilizes settlement profiling, which relies on conducting surveys to gather data on various aspects of life in Mukuru, such as land ownership, access to services, and health, which contributes to planning and decision-making (Figure 2). Also, the role of the community members wasn't limited to only providing the data but also contributing to the labor work (Figure 3).



Figure 2: Conducting the survey in Mukuru Kwa Reuben. (Karamallis et al., 2022); **Figure 3:** Mukuru Kwa Reuben residents and Muungano federation members from across Nairobi unblocking one of the neighborhood's drains (Karamallis et al., 2022).

3.2. Environmental sustainability and climate resilience

Here are related cases analyzed in the context of environmental sustainability and climate resilience.

3.2.1. Case study: Sustainable sanitation, Sanergy Project, Nairobi, Kenya

Sanergy, a social enterprise in Nairobi, Kenya, was co-founded by two MIT Sloan students who developed an integrated waste management model. Sanergy aims to enhance sanitation in Kenyan slums while simultaneously providing employment opportunities and generating income for slum residents. The model proposes developing a sustainable sanitation cycle that promotes positive health, social, environmental, and economic outcomes¹². The model operates in four stages: first, creating affordable sanitation centers in slums; second, franchising these centers to local entrepreneurs; third, implementing a low-cost waste collection system, and finally converting the collected waste into electricity and fertilizer, which will be then sold to the national grid and local commercial farms. Sanergy managed to achieve significant social and environmental benefits, it generated 771 jobs, including Sanergy team members and Fresh Life Operators, established a profitable business model selling energy and fertilizer, promoted local engagement and economic development, and reduced the reliance on synthetic fertilizers and non-renewable energy sources. The table below summarizes the systems-based approach to solving the sanitation crisis by Sanergy.¹³ (Figure 4).

¹² Bettex, Morgan (2010). "In the World: Turning Waste into Profit."

¹³ Elrayies, G. M. (2016). Rethinking Slums: An Approach for Slums Development towards Sustainability. Journal of Sustainable Development

The system	Illustration	The technique
1.Build		Fresh Life Toilet (FLT) is pre-fabricated at local workshop. They're made of high-quality materials that are easy to be maintained. FLT's have a small footprint that enables installing close to homes. They are cost-effective and hygienic as they include hand-washing facilities.
2.Franchise		FLT's units would be franchised to local operators to ensure the maintenance of the facilities. The roles of the Fresh Life operators are; providing FLT's, training, the daily collection services, financing, operational support, and ongoing marketing.
3.Collect		Sanergy members' staff collects the waste from the FLT's daily by wheelbarrow, handcarts, and/or truck, and then stores it in air-tight containers. After that it transported to a centralized processing center with an optimized distribution network. Members of the body that collects waste a day, whether manual or vehicles by truck, and then are stored in sealed containers, and then transferred to a central processing center through the optimal distribution network.
4.Convert		Contractors would collect the waste and convert it at a centralized facility into useful by-products such as organic fertilizer and renewable energy. Both products would be sold back to the open market for profit. That profit would be reinvested to scale the infrastructure to reach more people. 100% of the waste is safely treated.

Figure 4. Sanergy

3.2.2. Case study: Sustainable water use, the Productive End Walls, Manila, Philippines

"The Productive End Walls" project is an honor-awarded student initiative from the American Society of Landscape Architects in 2010¹⁴. The project recognizes the complex challenges of poor neighborhoods and offers a comprehensive solution for sustainable water use, economic development, and improved social conditions. The project proposes using rainwater harvesting systems on the often-neglected end walls of low-cost housing to boost the economic well-being of those living in poverty (Figure 5). The design promotes community engagement and offers a low-cost solution to improve the lives of the slum dwellers by providing food and raising their living standards. This concept is easily replicable, it is designed to be scalable and can be implemented in any slum with sufficient rainfall.



Figure 5. Rainwater Harvesting Application: The Productive End Walls (ASLA, 2010)

3.2.3. Sustainable building materials

Sustainable construction relies on building materials that are obtained locally, in addition to those that are derived from recycled or waste sources, thus, reducing transportation expenses and associated CO₂ emissions. Sustainable building materials can meet the needs of sustainability across its three pillars. Adopting these materials in construction can minimize the environmental footprint of buildings since they require less energy to produce compared to modern alternatives. Also, they are often more affordable, offer better value in the long term, and promote job and skill development within communities. Furthermore, sustainable materials encourage local engagement and contribute to better

¹⁴ ASLA (2010). Student Awards | Productive End Walls.

community health, thus, promoting social well-being.¹⁵ Sustainable building practices include using diverse materials like sandbags and techniques like earth-ship construction, along with the use of recycled or repurposed materials such as glass, plastic bottles, aluminum waste, bamboo, scraps, paper, and shipping containers. The table below shows the advantages of the eco-friendly low-cost material and their technical aspects across the three dimensions of sustainability (Table 3).

Table 3. Benefits of Sustainable Building Materials

	Environmental Benefits	Economic Benefits	Social Benefits
Common benefits	As local materials; they cut carbon emissions related to transportation.	They are low cost material, either as locally produced materials or as waste. No need for highly skilled labour (just on-site training). It is often built by the homeowners themselves.	More than employing products, these sustainable materials employ local people. As these materials don't need professionally skilled labor, it involves all community members in the construction process.
Bamboo  METI Handmade School in Rudrapur, Bangladesh	It reduces pressure on local timber forests. It grows and harvested faster with an ability to decrease soil erosion.	Bamboo Products can stimulate local economic development and create employment opportunities if workers are successfully trained.	Positive contribution among locals leads to empowering the community.
Straw-bale  A straw bale house constructed in Pakistan	No harmful hazardous produced. It reduces the pollution caused by burning. Since it has high R-value, it can reduce energy usage over the life time of the building.	With plaster as a finishing material, it will be lower cost than with concrete.	It disseminates technical competence in eco-building through the gained experience & workshops. The feeling of ownership creates greater cooperation, pride in communities, and consequently, develops the sense of belonging.
Earth-ship  Earthships built out of discarded materials such as automobile tires and aluminum cans and finished with natural adobe.	Earthship buildings have low impact on environment as they powered through wind & solar power resulting in energy efficient low carbon construction. They are off-the-grid homes, thermal mass construction, water (rainwater) self-contained, and have its own sewage.	It is low-cost construction as it is a building with 45% reused materials. It is energy efficient buildings as actively thermal buildings. It is a self-contained system based on the six design principles of the Earthship (shelter, water, energy, sewage, food and comfort)	
Sand-bag  Sandbag shelters in Brazil	It optimizes performance of HVAC, reduces demand for non-renewable energy source, and serves as flood barriers.	It is one of the most inexpensive building methods on the planet. The skills needed to building are minimal. The structure can be recycled once.	

Source: Elrayies, 2016

3.2.4. Case study: Sustainable Energy use, Cape Town-Kuyasa Settlement, South Africa

Launched in 1999 and completed by 2010 with a budget of US\$4.67 million, the Kuyasa Low-Income Energy Efficiency Housing Project in Cape Town, South Africa, is a retrofit initiative in which 2309 low-income houses were upgraded through the installation of energy-efficient technologies such as solar water heaters, ceiling insulation, and compact fluorescent lamps. The project's goal was to enhance the living conditions of the settlement residents, reduce energy costs, and decrease CO₂ emissions from fossil fuel-based sources of energy. The project was a collaborative effort between the City of Cape

¹⁵ EPA (2016). Why Build Green?

Town, the Dutch NGO South South North (SSN), and most importantly the Kuyasa residents (Figure 6). The project managed to generate significant social, environmental, health, and community benefits, it created local job opportunities, increased household income by contributing to energy saving, improved thermal comfort, which enhanced the overall indoor environmental quality, and promoted active community engagement. The project's positive results in increasing energy saving and reducing CO2 emissions respectively by (34%) and (33%), demonstrate how sustainable energy interventions can resolve various issues affecting slums around the world, it also highlights the importance of governmental support by having long-term vision, systematic planning that includes the residents in the process, and by facilitating the mobilization of adequate financial resources (Energy Sector Management Assistance Program [ESMAP], 2012)¹⁶



Figure 6: Kuyasa CDM Project¹⁹

3.3. Legal Rights and Land Tenure

Here are related cases analyzed in the context of legal rights and land tenure.

3.3.1 Case study: Baan Mankong program, Thailand.

The Baan Mankong (secure housing) initiative was launched in 2003 because of multiple unsuccessful attempts at slum upgrading and housing programs²⁰. The objective of the program was to improve housing through comprehensive community development. The Community Organization Development Institute (CODI), a quasi-governmental organization in Thailand, is the primary actor in addressing housing issues. To encourage and facilitate collaboration, CODI established a joint committee that serves as a platform, bringing together informal settlers, local governments, professionals, universities, and NGOs. CODI's established framework allowed informal communities and their networks to collectively engage in land tenure negotiations, long-term planning, and fund development for their projects. Despite being a public agency, its operations and planners are independent of government land and development control, allowing it to function freely without the obligation of generating economic profit. Although these planners possess the formal qualifications to engage with government entities, they often lack the lived experience and knowledge of the community itself. On the other hand, local settlers feel intimidated or unqualified to participate since they are unable to use the same technical language as planners and officials. For these reasons, planners played the crucial role of the intermediary between the locals and the government, facilitating communication and negotiations. In general, by facilitating self-organization, CODI enabled the communities to share their lived experience, advocate for their rights, and collectively decide their neighborhood's development future, whether through housing projects or relocation options (Figure 7)¹⁸.

¹⁶ Kuyasa CDM Project Website: <http://www.kuyasacdm.co.za/index.php>

Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) (2012). Kuyasa energy efficiency and carbon finance in low-cost housing.

²⁰ Baan Mankong Initiative," n.d



Figure 7. Residents mapping their community²⁰

3.3.2. Case study: Tanzania-Bondeni Community Land Trust, Kenya.

The Community Land Trusts (CLTs) are new property models that offer new ways to address the housing needs of low-income communities through providing secure land ownership and affordable housing (Figure 7, 8). In Kenya, the way CLTs operate is simple, they purchase and take ownership of the land, holding it in trust for a particular group, this model establishes a distinct separation between the ownership of the land and the ownership of the building it supports, in other words, the land is owned and managed collectively by the trust, while individual households keep the ownership of their dwellings. This framework ensures that the land remains affordable and accessible to future generations. Additionally, CLTs contribute to long-term housing affordability by taking land out of the market which prevents it from being affected by the inflating housing costs. The implementation of the Tanzania-Bondeni CLT was the answer of the Voi municipal council to the petition of the residents of the Tanzania-Bondeni settlement in which they demanded the legalization of their informal settlement. This grassroots movement highlighted the community's urge for secure land tenure and the desire to improve their living conditions. (Midheme & Moulaert, 2013)¹⁷



Figure 4. Persistently bad housing among very poor households in Tanzania-Bondeni. Source: (Midheme & Moulaert, 2013) **Figure 5.** An improved dwelling following settlement upgrading in Tanzania-Bondeni. Source: (Midheme & Moulaert, 2013)

4. RESULTS

The research analyzes how important the combination of community participation and urban planning is in achieving a long-term, sustainable, and resilient urban slum. On the other hand, Initiatives like Sanergy's waste management and Kuyasa's energy-efficient retrofits not only address resource limitations but also contribute to sustainable economic growth, which results in the improvement of living conditions of the slum dwellers. Furthermore, Baan Mankong and similar secure land tenure programs show that stability and long-term development can be achieved via collaboration between

¹⁷ Midheme, Emmanuel, and Frank Moulaert (2013). "Pushing Back the Frontiers of Property: Community Land Trusts and Low-income Housing in Urban Kenya.

communities and governments. Despite the research highlighting different slum settlements, it is evident that they all succeeded socially, economically, and environmentally (Table 4).

Table 4. The Findings of the Study

Sustainability	Aspect	Key Findings	Examples
Social Impact	Community engagement	In the case of Mīt 'Uqba, Egypt, residents took initiative in the improvement of their streets. It is evident that community engagement empowered the residents and fostered a sense of ownership.	Mīt 'Uqba, Egypt
Environment Impact	Improved sanitation	This is evident in the case of Sanergy, Nairobi. This helped the residents dispose of waste in an orderly and reusable manner.	Sanergy Project, Nairobi, Kenya
	Reuse of waste energy.	Similarly, in the Sanergy project, there was a successful use of waste products that were turned into energy.	Sanergy Project, Nairobi, Kenya
	Sustainable water use	As a result of the difficulty in accessing clean water, the Manila rainwater harvesting program helps with this difficulty.	The Productive End Walls, Manila, Philippines
Economic Aspect	Job opportunities	In this sustainable approach, a window of opportunity was created for the residents through the availability of jobs. Dwellers were paid in the facilitation and the management of the Fresh Life Toilets (FLT)	Sanergy Project, Nairobi, Kenya
Land tenure	Legal land security	There was a successful process for the dwellers to receive a strengthened legal security and avoid displacement. This successfully fostered long term stability.	Baan Mankong, Thailand: Collaborative Housing Upgrades. Bondeni CLT, Kenya: Secure Community land.

Source: Prepared by Authors

5. CONCLUSION

Based on the analysis of the case studies, it can be concluded that sustainable urban development in slums hinges on collaborative approaches that involve slum residents in all stages of the development processes. Slum dwellers have strong human capital; they rely massively on self-effort to independently bring changes. Also, they can coexist with various problems, and have the capability to construct their own houses with basic skills and tools. With all that taken into account, it is possible to say that community engagement is a decisive factor that can either guarantee the success or the failure of any approach suggested.

6. REFERENCES

- Alliance, C. (2014). About Slum Upgrading. [http://www.citiesalliance.org/About-slum-upgrading#Why is slum upgrading important](http://www.citiesalliance.org/About-slum-upgrading#Why%20is%20slum%20upgrading%20important)
- ASLA (2010). Student Awards, Productive End Walls. n.d. <https://www.asla.org/2010studentawards/134.html>.

- Baan Mankong Secure Housing Initiative in Bangkok, Thailand (n.d.). Critical Perspectives on International Planning. <https://sites.utexas.edu/internationalplanning/case-studies/baan-mankong-secure-housing-initiative-in-bangkok-thailand/>.
- Bettex, M. (2010). In the World: Turning Waste into Profit. MIT News, Massachusetts Institute of Technology. <https://news.mit.edu/2010/itw-sanergy-1119>.
- Crymble, A. (2021). The Decline and Fall of an Early Modern Slum, Urban History.
- EACPM. (2024). Revisiting Complex Conundrums of Slum Definition in Urban Policy. Economic Advisory Council to the Prime Minister.
- Elrayies, G. M. (2016). Rethinking Slums: An Approach for Slums Development towards Sustainability. Journal of Sustainable Development.
- Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) (2012). Kuyasa Energy Efficiency and Carbon Finance in Low-cost Housing: Final Case Study. <https://www.esmap.org/sites/default/files/esmap->
- EPA (2016). Why Build Green? <http://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/whybuild.html>
- Karamallis, A., Kimani, J., & Nyambuga, K. (2022). Citizen-led Slum Upgrading: The Mukuru Special Planning Area. <https://www.goldvi.uclg.org/en/democratizing>
- Midheme, E. and Moulart, F. (2013). Pushing Back the Frontiers of Property: Community Land Trusts and Low-income Housing in Urban Kenya. Land Use Policy 35 (June): 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.05.005>.
- Tadamun (2013). Paving the Streets of Mīt 'Uqba, June 17, 2013. https://www.tadamun.co/?post_type=initiativep=497&lang=en&lang=en.
- Purcell, R. (2012). An International Perspective on Asset Based Development: Dharavi and Slum Dwellers International. Paper presented at the FCDL Conference, Derbyshire, UK.
- TRP. (2012). The World is a Ghetto: Global Slums: Out of Sight and Out of Mind. Deterioration of the Human Condition. <https://theredphoenixapl.org/2012/03/16/the-world-is-a-ghetto-global-slums-out-of-sight-and-out-of-mind-deterioration-of-the-human-condition/>
- UN-Habitat (2020). Indicator 11.1.1 Training Module: Adequate Housing and Slum Upgrading. https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/06/indicator_11.1.1_training_module_adequate_housing_and_slum_upgrading.pdf
- UN-Habitat (2024). World Cities Report. <https://unhabitat.org/wcr/>
- United Nations Population Fund. (2025). State of World Population 2007: Unleashing the Potential of Urban Growth. <https://www.unfpa.org/urbanization>

Makale id= 13

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0001-2019-6317, 0000-0003-4103-8876

| 244

Zaman ve Frekans Farklarından Yararlanarak Hareketli Ses Kaynağı Konumu Belirleme**Arş.Gör. Derya Sevindik¹, Dr. Öğretim Üyesi Fatma Nur Akı¹**¹İstanbul Ticaret Üniversitesi

*Corresponding author: Derya Sevindik

Özet: Bu çalışmada, hareketli bir ses kaynağının konumunu belirlemek için Time Difference of Arrival (TDOA) ve Frequency Difference of Arrival (FDOA) yöntemlerini birleştirerek geliştirilmiş bir algoritma sunulmuştur. Ses kaynağından mikrofonlara ulaşan ses dalgalarının zaman ve frekans farklarını kullanarak konum tespiti yapmak hedeflenmiştir. Bu yöntemlerin birleşimi, kaynağın yerini ve hızını doğru bir şekilde izlemeyi mümkün kılmaktadır. TDOA Yöntem ile mikrofonlar arasındaki zaman farklarını kullanarak, ses kaynağı ile mikrofonlar arasındaki mesafeleri hesaplamakta ve bu mesafeler kullanılarak kaynağın konumu tahmin edilmektedir. FDOA Yöntemi ile ses kaynağının hareketinden kaynaklanan Doppler etkisi ile frekans kaymalarından yararlanarak, kaynağın hızını ve yönünü tespit etmektedir. Bu iki yöntemin birlikte kullanılması, özellikle hareketli kaynakların konum belirleme ve izleme doğruluğunu artırmaktadır. Ayrıca, optimizasyon yöntemleri (en küçük kareler yöntemi) kullanılarak kaynağın tahmin edilen konumu ile gerçek konumu arasındaki farklar minimize edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, kaynağın gerçek hareketi ile tahmin edilen hareketi arasındaki ortalama hata hesaplanmış ve konum tahmininin doğruluğu değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, TDOA ve FDOA kombinasyonunun hareketli ses kaynağının konum tespiti için etkili bir yöntem sunduğunu göstermektedir. Bu çalışma, ses kaynağı izleme ve konum tespiti sistemlerinde kullanılabilecek pratik ve güvenilir bir yaklaşım önererek, özellikle acil durumlar, güvenlik ve çevresel izleme gibi alanlarda potansiyel uygulamalar için bir temel oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ses Kaynağı Konum Belirleme, TDOA, FDOA**Determining the Position of a Moving Sound Source Using Time and Frequency Differences**

Abstract: In this study, an algorithm developed by combining Time Difference of Arrival (TDOA) and Frequency Difference of Arrival (FDOA) methods is presented to determine the position of a moving sound source. The aim is to perform position detection using time and frequency differences of the sound waves reaching the microphones from the sound source. The combination of these methods enables accurate tracking of the source's location and velocity. The TDOA method uses the time differences between microphones to calculate the distances between the sound source and the microphones, and the source's position is estimated using these distances. The FDOA method detects the velocity and direction of the source by utilizing frequency shifts caused by the Doppler effect resulting from the movement of the sound source. The combined use of these two methods improves the accuracy of position determination and tracking, particularly for moving sources. Furthermore, optimization techniques (such as the least squares method) are employed to minimize the differences between the estimated and actual positions of the source. According to simulation results, the average error between the real motion of the source and the predicted motion was calculated, and the accuracy of position estimation was evaluated. The results demonstrate that the combination of TDOA and FDOA provides an effective method for determining the position of a moving sound source. This study proposes a practical and reliable approach that can be used in sound source tracking and position detection systems, offering a foundation for potential applications in areas such as emergency situations, security, and environmental monitoring.

Keywords: Sound Source Localization, TDOA, FDOA

1. GİRİŞ

Ses kaynağı konumlandırma sistemleri, özellikle pasif akustik dinleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. **TDOA tabanlı yöntemler** üzerine yapılan çalışmalar, genellikle mikrofonlar arasındaki zaman farklarını kullanarak kaynağın konumunu belirlemeye odaklanmıştır [1, 2]. Ancak, yalnızca TDOA kullanıldığında hareketli ses kaynakları için doğruluk azalmakta ve kaynağın hızı hakkında doğrudan bilgi elde edilememektedir [3, 4].

FDOA tabanlı yöntemler ise, **Doppler etkisinden yararlanarak kaynağın hız bileşenlerini hesaplamaktadır** [5]. Özellikle radar sistemlerinde kullanılan FDOA, akustik ortamda da başarılı sonuçlar verebileceği gösterilmiştir [6, 7]. Bununla birlikte, TDOA ve FDOA'nın bir arada kullanıldığı hibrit yöntemler üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle, bu çalışmada iki yöntemin entegrasyonu ile daha doğru bir konum tahmini hedeflenmiştir.

Bu çalışma, FDOA yöntemini de dahil ederek Doppler etkisini kullanmakta ve daha hassas bir konum ve hız tahmini sunmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın temel katkıları şunlardır: i) TDOA ve FDOA yöntemlerinin birleştirildiği hibrit bir akustik konum belirleme algoritmasının sunulması. ii) Simülasyonlar ile doğruluk analizi yapılarak hata oranlarının değerlendirilmesi. iii) Farklı sayıda mikrofon dizileri kullanılarak konum tahmin algoritmasının geliştirilmesi.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, hareketli bir ses kaynağının konumunu ve hızını tahmin etmek için **Zaman Farkı (TDOA)** ve **Frekans Kayması Farkı (FDOA)** yöntemlerinin birleştirildiği bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın doğruluğunu değerlendirmek amacıyla simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve farklı senaryolar ile performans analizi yapılmıştır.

2.1. Sensör Yapılandırması ve Hareketli Ses Kaynağı Modeli

Çalışmada, sabit konumlara yerleştirilmiş **N** adet mikrofon kullanılmıştır. Mikrofonlar, iki boyutlu bir düzlem üzerinde **eşit aralıklarla** R yarıçaplı dairesel bir şekilde dağıtılmış olup, ses kaynağının hareketi boyunca sinyal verilerini toplamaktadır. (x_i, y_i) mikrofon konumları olmak üzere, mikrofon sayısı değiştikçe oluşacak konum denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$(x_i, y_i) = R \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) \end{bmatrix}, \quad \theta_i = \frac{2\pi i}{N}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

Ses kaynağı, **sabit hızla hareket eden bir nokta kaynaktır** ve belirli bir zaman aralığında farklı konumlara ulaşarak mikrofonlara ses sinyali göndermektedir. (x_0, y_0) başlangıç konumu ve V_x, V_y hız bileşenleridir. Denklem (2) ses kaynağının zamana bağlı konumudur.

$$(x_s(t), y_s(t)) = (x_0 + v_x t, y_0 + v_y t) \quad (2)$$

2.2. Zaman Farkı Hesabı

TDOA yöntemi, ses kaynağının konumunu belirlemek için mikrofonlara ulaşan sinyaller arasındaki zaman farklarını kullanmaktadır. Kaynağın belirli bir anda mikrofonlara olan gerçek mesafesi $d_i(t)$ şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$d_i(t) = \sqrt{(x_s(t) - x_i)^2 + (y_s(t) - y_i)^2} \quad (3)$$

Burada d_i , kaynağın i . mikrofona olan uzaklığıdır.

Sesin yayılma süresi

$$t_i = d_i / c \quad (4)$$

TDOA iki mikrofona gelen ses sinyalleri arasındaki zaman farkıdır:

$$\Delta t_{ij} = t_j - t_i = \frac{d_j - d_i}{c} \quad (5)$$

Denklemden c ses hızıdır.

2.3. Frekans Farkı Hesabı

Ses kaynağının hareketli olması sebebiyle, ses dalgaları birbirine yaklaşır ve algılanan ses işaretinde Doppler etkisi sebebiyle frekans kayması oluşur. İki mikrofon için FDOA değeri:

$$\Delta f_{ij} = \frac{1}{\lambda} [(v_x \cos \theta_j + v_y \sin \theta_j) - (v_x \cos \theta_i + v_y \sin \theta_i)] \quad (6)$$

İle hesaplanır. $\lambda = c/f_0$ işaretin dalga boyudur.

2.4. Konum ve Hız Tahminlerinin elde edilmesi

i) *TDOA ile Konum Tahmini*

En küçük kareler metodu ile konum tahmini hesaplanır.

$$A_{TDOA} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{b}_{TDOA} \quad (7)$$

Burada A ve b matris çarpımları ile denklem 8, 9'daki gibi elde edilir.

$$A_{TDOA} = \begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & -2c\Delta t_1 \\ 2x_2 & 2y_2 & -2c\Delta t_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 2x_N & 2y_N & -2c\Delta t_N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b}_{TDOA} = \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 - c^2\Delta t_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 - c^2\Delta t_2^2 \\ \vdots \\ x_N^2 + y_N^2 - c^2\Delta t_N^2 \end{bmatrix} \quad (8, 9)$$

x için çözüm şu şekilde elde edilir:

$$\mathbf{x} = (A_{TDOA}^T A_{TDOA})^{-1} A_{TDOA}^T \mathbf{b}_{TDOA} \quad (10)$$

ii) FDOA ile Hız Tahmini

FDOA değerleri ve küçük kareler yöntemi ile hız tahmini şu şekilde elde edilir:

$$A_{FDOA} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{b}_{FDOA} \quad (11)$$

$$A_{FDOA} = \begin{bmatrix} 2(x_s - x_1) & 2(y_s - y_1) & -2c\Delta f_1 \\ 2(x_s - x_2) & 2(y_s - y_2) & -2c\Delta f_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 2(x_s - x_N) & 2(y_s - y_N) & -2c\Delta f_N \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{b}_{FDOA} = \begin{bmatrix} (x_s - x_1)^2 + (y_s - y_1)^2 - c^2\Delta f_1^2 \\ (x_s - x_2)^2 + (y_s - y_2)^2 - c^2\Delta f_2^2 \\ \vdots \\ (x_s - x_N)^2 + (y_s - y_N)^2 - c^2\Delta f_N^2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

V vektörü için denklem (14) bulunur:

$$\mathbf{v} = (A_{FDOA}^T A_{FDOA})^{-1} A_{FDOA}^T \mathbf{b}_{FDOA} \quad (14)$$

2.5. TDOA ve FDOA yöntemlerinin dinamik ağırlıklandırması

Farklı senaryolar simülasyon üzerinde denendiğinde TDOA ve FDOA yöntemlerinin hata oranları değişmektedir. Bu sebeple hibrit yöntemde hata oranı yüksek olan yöntemin ağırlıklandırması minimum tutulacak şekilde dinamik bir ağırlıklandırma yapılmıştır. TDOA ve FDOA ağırlıkları her iterasyonda güncellenmektedir.

α ve β hata oranları denklem (15) ve (16) ile bulunmuştur.

$$\alpha = \frac{error_{FDOA}}{error_{TDOA} + error_{FDOA} + \epsilon} \quad (15)$$

$$\beta = \frac{error_{TDOA}}{error_{TDOA} + error_{FDOA} + \epsilon} \quad (16)$$

Tahmini konum şu şekilde elde edilmektedir:

$$x_{est} = \alpha x_{TDOA} + \beta (x_{prev} + v_{FDOA} \cdot t_s) \quad (17)$$

2.6. Hata Hesabı

TDOA (Time Difference of Arrival) ve FDOA (Frequency Difference of Arrival) ölçümlerine normal (Gaussian) dağılıma sahip rastgele gürültü eklenmiştir. Gerçek dünyada **sensör ölçümleri mükemmel değildir**, her zaman çeşitli **gürültüler ve hata kaynakları** içerir. Bu yüzden, algoritmaların performansını test etmek için **ölçümlere kontrollü miktarda rastgele hata eklenmiştir**.

Konum hatası denklem (18) ile hesaplanmaktadır:

$$error_{pos}(t) = \sqrt{(x_s - x_{est})^2 + (y_s - y_{est})^2} \quad (18)$$

Maksimum (19) ve ortalama hata (20) hesapları yapılmıştır. Hareketli ortalama (Moving average) filtresi ile gürültü azaltılmıştır.

Ortalama hata denklem (19) ile hesaplanmaktadır:

$$max_error = \max(error_{pos}(t)) \quad (19)$$

$$mean_error = \frac{1}{T} \sum_t error_{pos}(t) \quad (20)$$

2.7. Simülasyon ve Değerlendirme

Önerilen algoritma MATLAB ortamında simüle edilmiştir. **TDOA ve FDOA yöntemlerinin birlikte kullanıldığı durumlarda farklı senaryolar kıyaslanmıştır**.

MATLAB Simülasyonu:

Akustik kaynak lokalizasyonu için MATLAB simülasyonu tercih edilmesinin birkaç önemli nedeni vardır:

1. Matematiksel Modelleme Kolaylığı: MATLAB, matris işlemleri, optimizasyon, diferansiyel denklemler ve istatistiksel analizler için güçlü bir altyapıya sahiptir. TDOA ve FDOA gibi yöntemlerin uygulanması için gerekli olan doğrusal cebir ve optimizasyon algoritmalarını kolayca kullanmayı sağlar.

2. Hızlı Prototipleme ve Doğrulama: MATLAB, kod yazımını ve test sürecini hızlandıran geniş bir fonksiyon kütüphanesine sahiptir. Farklı mikrofon dizilimleri, gürültü seviyeleri ve hata kaynakları test edilerek algoritmalar hızlı bir şekilde optimize edilebilir.

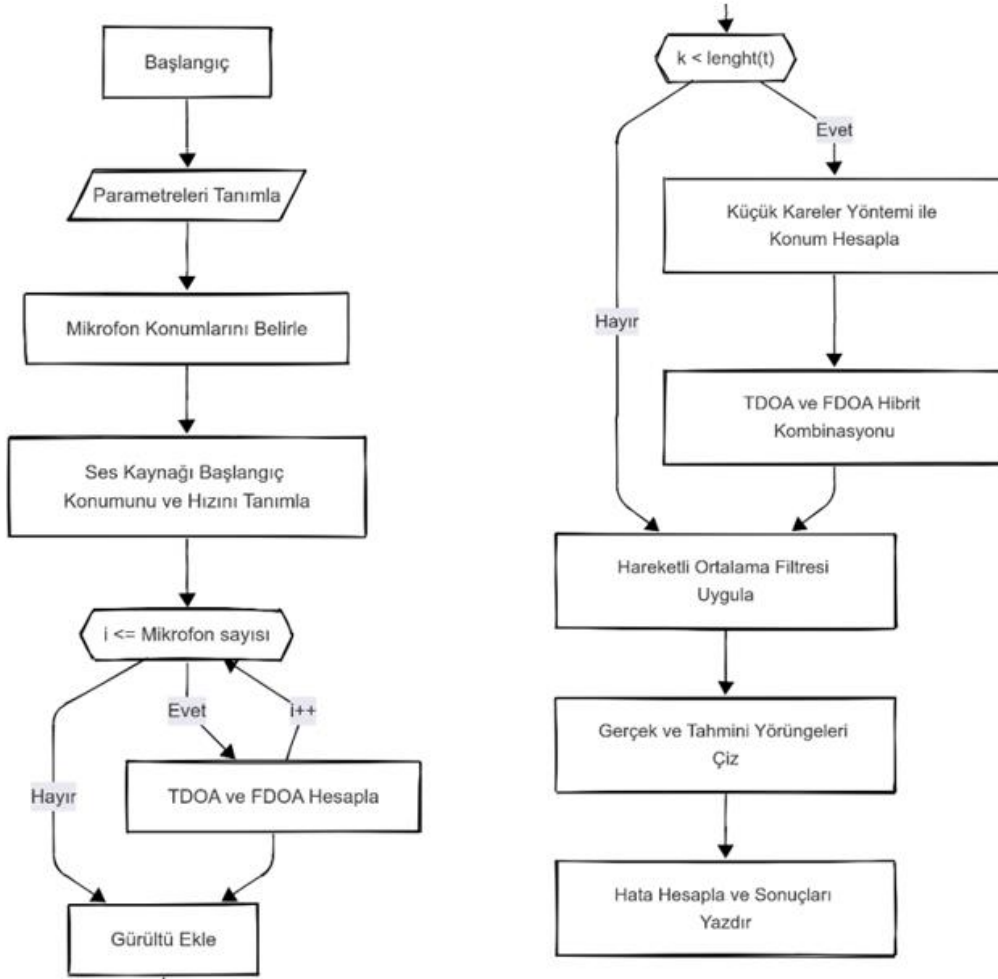
3. Görselleştirme Araçları: MATLAB'ın grafik ve animasyon araçları sayesinde: Mikrofonların yerleşimi, Ses kaynağının gerçek ve tahmini hareketi, Hata oranlarının zaman içindeki değişimi gibi sonuçlar kolayca görselleştirilebilir. Bu da algoritmanın doğruluğunu anlamayı kolaylaştırır.

4. Gerçekçi Gürültü ve Hata Modellemesi: MATLAB, Gauss gürültüsü eklemek veya çevresel faktörleri simüle etmek için güçlü rastgele süreç modelleri içerir.

5. Gerçek Veri ile Çalışma İmkânı: MATLAB, ses dosyalarından doğrudan veri alarak gerçek dünyadan kaydedilmiş sinyaller üzerinde test yapmayı destekler. Böylece, laboratuvar ortamında veya simülasyon dışında da yöntemlerin doğruluğu ölçülebilir.

6. Paralel İşleme Desteği: Büyük ölçekli simülasyonlarda MATLAB'ın paralel hesaplama desteği sayesinde işlemler hızlandırılabilir. Büyük mikrofon dizileri veya yüksek örnekleme hızlarında bile verimli analiz yapılabilir.

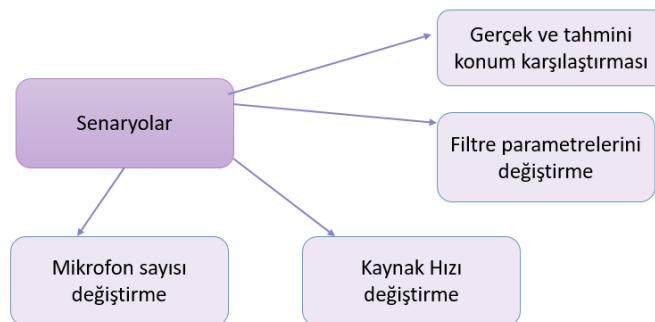
Aşağıdaki (Şekil 1) MATLAB kodu algoritmasında görüldüğü gibi, TDOA ve FDOA yöntemlerinin dinamik ağırlıklandırılması ve hibrit uygulanması ile, hareketli bir ses kaynağının konumu ve hızı için çeşitli simülasyon sonuçlarının elde edilmesini ve analiz edilmesini sağlamaktadır.



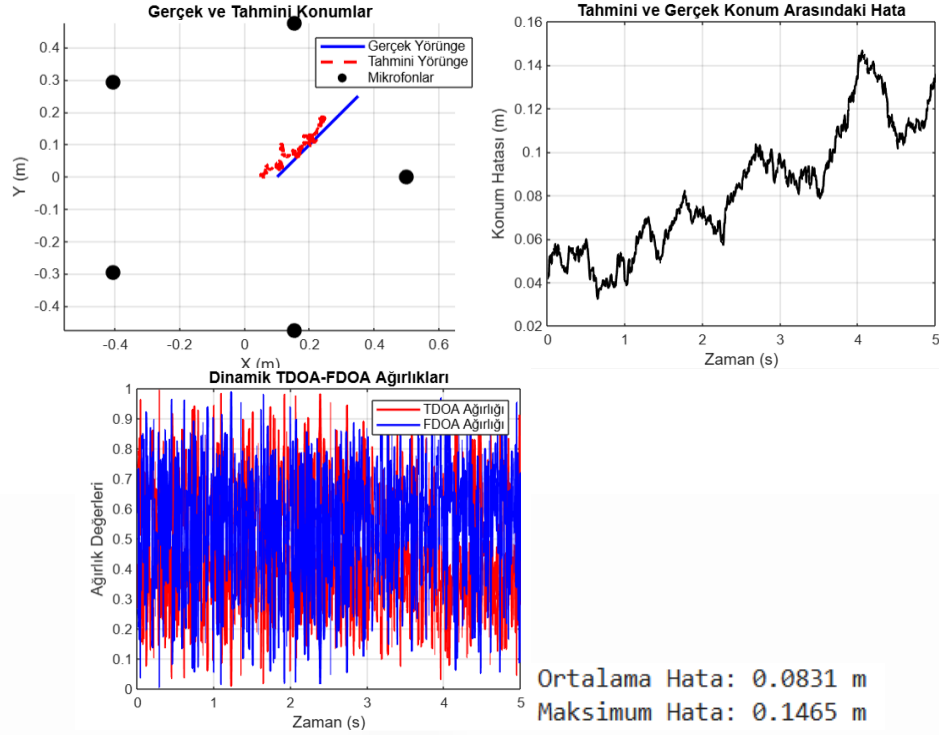
Şekil-1. Sabit-hızlı sesli kaynağın TDOA ve FDOA birleşim yöntemi ile konum ve hız tespiti MATLAB simülasyonunun algoritma akış şeması.

2. Bulgular

Şekil 2’deki gibi farklı senaryolara göre simülasyon çalıştırılarak, farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

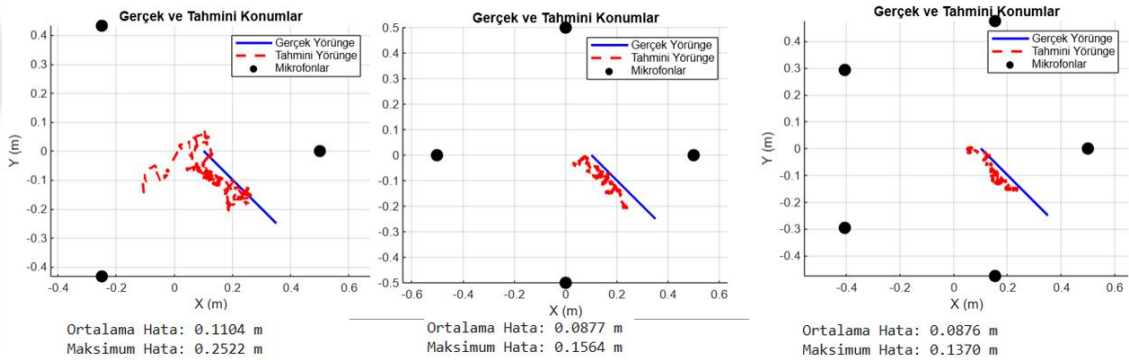


Şekil 2. Simülasyon için farklı senaryolar

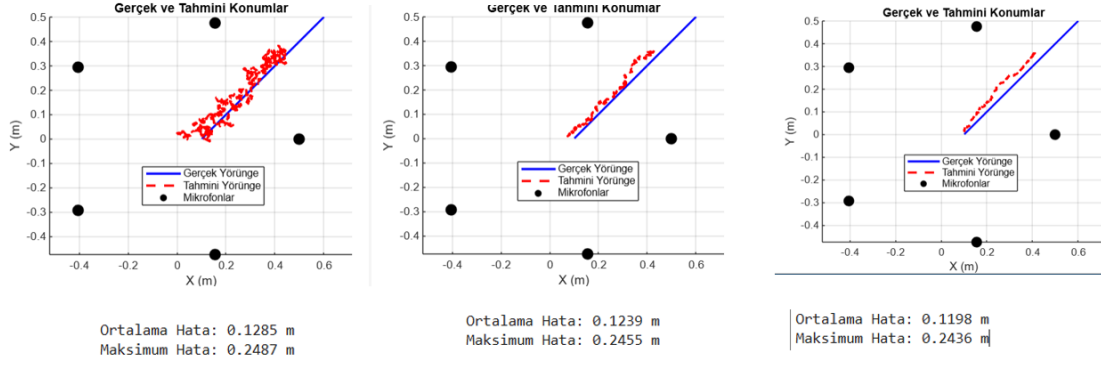


Şekil 3. “5” mikrofon, (0.05;0.05) başlangıç hızı ve (100) pencereleme sayısı ile tahmini ve gerçek yörünge simülasyonu, zamana bağlı hata değişimi ve dinamik FDOA, TDOA ağırlıkları.

Şekil 3 örnek olarak verilmiştir. Hareketli cismin ilk konumu, ilk hızı, mikrofon sayısı ve filtre parametreleri değiştirilerek yeni sonuçlar karşılaştırılabilir.



Şekil 4. Yalnızca mikrofon sayısı arttırıldığında, «3», «4» ve «5» mikrofon ile simülasyon sonuçlarında ortalama ve maksimum hata değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 5. Yalnızca filtre pencere parametresi 30; 100; 200 yapılarak elde edilen tahmini yörüngelerin pencere boyutu arttıkça daha düzgün olduğu, ortalama ve maksimum hatanın azaldığı görülmüştür.

Şekil 3, 4, 5 gibi farklı parametrelere bağlı sonuçlar elde edilebilir. Örnek olarak Tablo-1'e parametre değerleri yazılmıştır.

Tablo 1: Hibrit yöntem simülasyonunda parametre değişimleri ve hata değerleri örnekleri

Senaryo	Mikrofon Sayısı	Hareketli Başlangıç Hızı	Hareketli Ortalama Filtresi, pencereleme oranı	Örnekleme süresi, ts	Ortalama Hata, Max hata
1	3	0.05; 0.05	10	0.005	0.1489 m 0.6409 m
2	3	0.05; 0.05	100	0.005	0.1181 m 0.2691 m
3	4	0.5; 0.5	10	0.005	0.3441 m 0.9321 m
4	4	0.05; 0.09	10	0.005	0.1170 m 0.3053 m
5	5	0.05; 0.09	10	0.005	0.1122 m 0.2722 m

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, TDOA ve FDOA yöntemleri birleştirilerek hareketli ses kaynağının konumu ve hızının farklı ölçüm senaryoları için tahmin edilmesi sağlanmıştır.

Öne çıkan bulgular şunlardır:

- Farklı mikrofon dizilimleri test edilmiş, eşit aralıklarla yerleştirilen mikrofonların en iyi sonuç verdiği, mikrofon sayısı arttıkça hatanın azaldığı görülmüştür.
- Örnekleme oranı arttıkça hata oranı azalmaktadır.
- Hareketli kaynağın hızı arttıkça, hata oranı artmaktadır.
- Hareketli ortalama filtresi pencereleme boyutu arttıkça, hata oranı azalmaktadır.
- TDOA ve FDOA yöntemlerini hibrit olarak hesaplanması sırasında ağırlıklandırma oranlarının değişmesi sonuçları değiştirmektedir. Daha az hata yapan yöntemin ağırlıklandırması daha fazla tutulduğunda hata azalmaktadır.

- Bu sebeple dinamik ağırlıklandırma ile iki yöntemin avantajları optimize edilmiştir.

Gelecek çalışmalarda bu simülasyonun gerçek veriler ile desteklenmesi ve gerçek ortam durumuna göre 3-boyutlu hesaplamaların yapılabileceği şekilde güncellenmesi planlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Kraljević, L., Russo, M., Stella, M., & Sikora, M. (2020). Free-field TDOA-AOA sound source localization using three soundfield microphones. *IEEE access*, 8, 87749-87761.
- [2] Jekaterýńczuk, G., & Piotrowski, Z. (2024). A Survey of Sound Source Localization and Detection Methods and Their Applications. *Sensors*, 24(1), 68.
- [3] Dexiu, H. U., Huang, Z., Zhang, S., & Jianhua, L. U. (2018). Joint TDOA, FDOA and differential Doppler rate estimation: Method and its performance analysis. *Chinese Journal of Aeronautics*, 31(1), 137-147.
- [4] Da Silva, B., Braeken, A., & Touhafi, A. (2018). FPGA-based architectures for acoustic beamforming with microphone arrays: Trends, challenges and research opportunities. *Computers*, 7(3), 41.
- [5] Dang, X., Ma, W., Habets, E. A., & Zhu, H. (2022). TDOA-based robust sound source localization with sparse regularization in wireless acoustic sensor networks. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 30, 1108-1123.
- [6] Zhu, M., Yao, H., Wu, X., Lu, Z., Zhu, X., & Huang, Q. (2018). Gaussian filter for TDOA based sound source localization in multimedia surveillance. *Multimedia Tools and Applications*, 77, 3369-3385.
- [7] Pavlidi, D., Griffin, A., Puigt, M., & Mouchtaris, A. (2013). Real-time multiple sound source localization and counting using a circular microphone array. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 21(10), 2193-2206.

Makale id= 43

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0002-1722-023X

| 253

Ordu Üniversitesi Cumhuriyet Yerleşkesinde Peyzaj Donatı Elemanlarının İncelenmesi

**Araştırmacı Mohammed Khamis Ibrahim¹, Arş. Gör. Rabia Nurefşan Karabörk¹,
Prof.Dr. Pervin Yeşil²**

¹Ordu Üniversitesi² Ordu Üniversitesi

*Corresponding author: Rabia Nurefşan Karabörk

Özet: Üniversite kampüsleri eğitim-öğretim süresi içinde öğrencilerin günlerinin önemli bir bölümü sürdükleri alanlardır. Dolayısıyla öğrencilerin eğitim, barınma, sağlık, ulaşım, dinlenme ve sosyalleşme gibi yaşamsal ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde planlanması önem taşımaktadır. Kampüs açık mekanlarında yer alan peyzaj donatıları, öğrenciler tarafından sıklıkla kullanılan dış ortamların hem işlevselliğini hem de estetik değerini yükselten yapısal öğelerdir. Başta banklar, aydınlatma elemanları, çöp kutuları, otobüs durakları, tabelalar ve pergolalar benzeri yapısal öğeler, öğrencilerin konforunu ve sosyal etkileşimlerini desteklerken aynı zamanda kampüs imajına katkı sağlamaktadır. Bu çalışma ile Ordu Üniversitesinin Cumhuriyet Yerleşkesinde yer alan peyzaj donatı elemanlarının türleri, fiziksel ve işlevsel özelliklerini detaylı bir şekilde incelemek amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kampüste yer alan peyzaj donatı elemanlarının yoğunluğu ve dağılımı tematik haritalar aracılığıyla sunulmuştur. Mevcut donatı elemanlarının durumu analiz edilerek eksikliklerin tespiti yapılmıştır. Çalışma sonucunda, mevcut peyzaj donatı elemanlarının durumunun kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır ve öğrencilerin kullanım deneyimleri açısından güçlü ve zayıf yönler belirlenerek kampüs yaşam kalitesini artırmayı hedefleyen öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alan Yönetimi, Donatı Elemanları, Kampüs Planlaması, Peyzaj Düzeni.

Investigation of Landscape Reinforcement Elements in Republic Campus of Ordu University

Abstract: University campuses are spaces where students spend a significant part of their day during the education period. Therefore, it is important that it is planned to meet the vital needs of students such as education, housing, health, transportation, recreation and socialization. Landscape elements in the open spaces of the campus are structural elements that increase both the functionality and aesthetic value of the outdoor environments frequently used by students. Structural elements such as benches, lighting elements, garbage bins, bus stops, signboards and pergolas support the comfort and social interaction of students while contributing to the campus image. The aim of this study is to examine in detail the types, physical and functional characteristics of the landscape elements in the Cumhuriyet Campus of Ordu University. Scope of work, the density and distribution of landscape elements on the campus are presented through thematic maps. The condition of existing reinforcement elements was analyzed and deficiencies were identified. As a result of, a comprehensive assessment of the condition of the existing landscape elements was made and recommendations were developed to improve the quality of campus life by identifying strengths and weaknesses in terms of students' usage experiences.

Keywords: Area Management, Campus Planning, Educational Areas, Facility Elements, Landscape Design.

1. GİRİŞ

Üniversite kampüslerinde yer alan kamusal mekanlar, bireylerin sadece temel ihtiyaçlarını karşılamaktan öte, sosyal etkileşimi artıran, kültürel ve rekreasyonel faaliyetlere alan sağlayan önemli

mekânlardır. Bu alanların kullanımı, bireylerin yaşam kalitesini yükseltmek ve refah seviyelerini artırmak açısından kritik bir rol oynar (Aksoy & Demir, 2022).

Kent mobilyaları, kentsel alanların estetik ve işlevselliğini artıran, kamusal alan kullanımını kolaylaştıran unsurlar olarak değerlendirilmektedir (Şişman & Gültürk Doğruyol, 2016). Açık alanlar, bireylerin sosyal etkileşim kurmasını sağlayan ve kentsel yaşam deneyimini zenginleştiren önemli mekanlar olup, bu alanların düzenlenmesi şehir estetiği açısından büyük bir öneme sahiptir (Bakan & Konuk, 1987). Kentle uyumlu tasarlanmış kentsel donatı elemanları, kullanıcı taleplerine yanıt vererek, daha işlevsel ve sürdürülebilir mekanlar oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır (Bekar ve ark., 2017).

Üniversite yerleşkelerinde, yapıların kampüsle bütünleşmesinin yanı sıra, dolaşım sistemleri, rekreasyonel ihtiyaçlara cevap veren dış mekânlar ve fiziksel gelişim için ayrılan rezerv alanlar gibi çeşitli dış mekân özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bu donatılar, yerleşkelerin estetik değerlerini artırırken, aynı zamanda öğrenciler ve diğer kullanıcıların sosyo-kültürel ve fiziksel gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır (Özyurt, 2019).

Kent mobilyaları, toplumun konforunu artırmak, dinlenme, korunma, bilgi edinme, dolaşım ve sosyalleşme gibi temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır (Bakan & Konuk, 1987). Bu elemanların tasarımı, kullanıcıların öznel algıları ve kültürel yapıları göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir (Siu, 2005). Kentin kültürel yapısı; iç seviyede geleneksel inançlar ve hayaller, orta seviyede davranışlar ve dil, dış seviyede ise materyal ve nesneler üzerinden ifade edilebilir.

Bulut ve ark. (2008), Aksoy ve Demir (2022) ile Kuter ve Kaya (2019) tarafından yapılan çalışmalara göre kentsel donatı elemanları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

1. Oturma elemanları: Banklar ve grup oturma elemanları.
2. Aydınlatma ve güvenlik kamera elemanları: Yaya yolları, köprüler, bitkiler, havuzlar, cephe aydınlatmaları ve güvenlik kameraları gibi çeşitli alt kategoriler.
3. Bilgi ve yönlendirme elemanları: Bilboardlar, konum belirleyiciler ve yön tabelaları.
4. Sınırlandırıcılar: Bariyerler, çalılıklar, duvarlar ve parmaklıklar.
5. Su öğeleri: Fıskiyeler, çeşmeler, havuzlar ve hareketli su elemanları.
6. Üst örtü elemanları: Pergolalar, kameriyeler ve duraklar.
7. Sanatsal objeler: Heykeller ve diğer plastik öğeler.
8. Diğer öğeler: Çöp kutuları, telefon kulübeleri, çiçeklikler ve bayrak direkleri.

Kamusal alanlarda dinlenme, sosyalleşme ve bekleme gibi aktiviteleri desteklemek amacıyla kullanılan oturma elemanları, kentsel yaşamın ayrılmaz bir parçasıdır. Banklar, hareketli sandalyeler ve grup oturma elemanları gibi çeşitleri bulunmakta olup, bu elemanlar ergonomik ve estetik açıdan çevresiyle uyumlu olacak şekilde tasarlanmalıdır (Bulut ve ark., 2008). Aydınlatma elemanları, kent mekânlarında görsel konfor sağlamak, mekân algısını güçlendirmek ve güvenlik sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Güvenlik kameraları ile entegre edilerek, kamusal alanlarda güvenli bir ortam yaratılmasına katkı sağlamaktadır (Kuter & Kaya, 2019). Kamusal alanlarda bilgilendirme ve yönlendirme amacıyla kullanılan tabelalar, bilboardlar ve konum belirleyiciler gibi elemanlar, yaya hareketliliğini kolaylaştırmak için kritik bir rol oynamaktadır. Bu elemanlar ergonomik ve insan ölçeklerine uygun olmalıdır (Aksoy & Demir, 2022). Alanları belirlemek, insan hareketlerini yönlendirmek ve güvenliği sağlamak amacıyla kullanılan bariyerler, duvarlar, çalılıklar ve parmaklıklar gibi elemanlar, kent içinde düzeni sağlayan yapısal unsurlar arasında yer almaktadır. Bu elemanlar dayanıklı malzemelerden üretilmeli ve kentsel estetik ile uyumlu olmalıdır (Bulut ve ark., 2008). Kamusal alanlara estetik ve fonksiyonel katkı sağlayan su öğeleri, çeşme, havuz ve fıskiyeler gibi çeşitleriyle şehir peyzajını zenginleştirmektedir. Bu elemanlar, doğal ve yapay unsurlar ile bütünleşik bir tasarıma sahip olmalıdır (Kuter & Kaya, 2019). Kamusal alanlarda gölgelik sağlamak ve olumsuz hava koşullarına karşı koruma sunmak amacıyla pergola, kameriye ve durak gibi elemanlar kullanılmaktadır. Bu elemanlar genellikle ahşap, metal veya plastik malzemelerden üretilmektedir (Aksoy & Demir, 2022). Kentsel mekânların estetik ve sanatsal yönlerini vurgulayan heykeller ve plastik sanat eserleri, mekân kimliğini güçlendirmektedir. Bu objeler, kentlinin sanatsal algısını geliştirerek, mekâna anlam katmaktadır (Bulut

ve ark., 2008). Çöp kutuları, telefon kulüpleri, çiçeklikler ve bayrak direkleri gibi kent mobilyaları, kamusal alanların düzenli ve işlevsel olmasını sağlamaktadır. Bu elemanlar dayanıklı malzemelerden üretilmeli ve kent tasarımı ile uyumlu olacak şekilde konumlandırılmalıdır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2016).

Çalışmanın amacı, 17 Mart 2006 tarihinde akademik yolculuğuna başlayan ve bugün, 2024'te Yaklaşık olarak 18. yılını kutlayan Ordu Üniversitesi'nin ulusal ve uluslararası arenada güçlü bir şekilde ilerleyişini vurgulamak ve bu gelişimi en etkili şekilde desteklemektir (Ordu Üniversitesi, 2024) (Şekil 1). Bu doğrultuda, Ordu Üniversitesi kampüs yerleşkesinde bulunan mevcut kentsel donatı elemanlarının durumunu ve kullanıcı memnuniyet düzeylerini (öğrenciler olarak) değerlendirmek hedeflenmektedir. Elde edilecek bu değerlendirme sonuçları, kentsel tasarımın gelecekteki iyileştirme çalışmalarına rehberlik edecek önemli çıkarımlar sunacaktır.



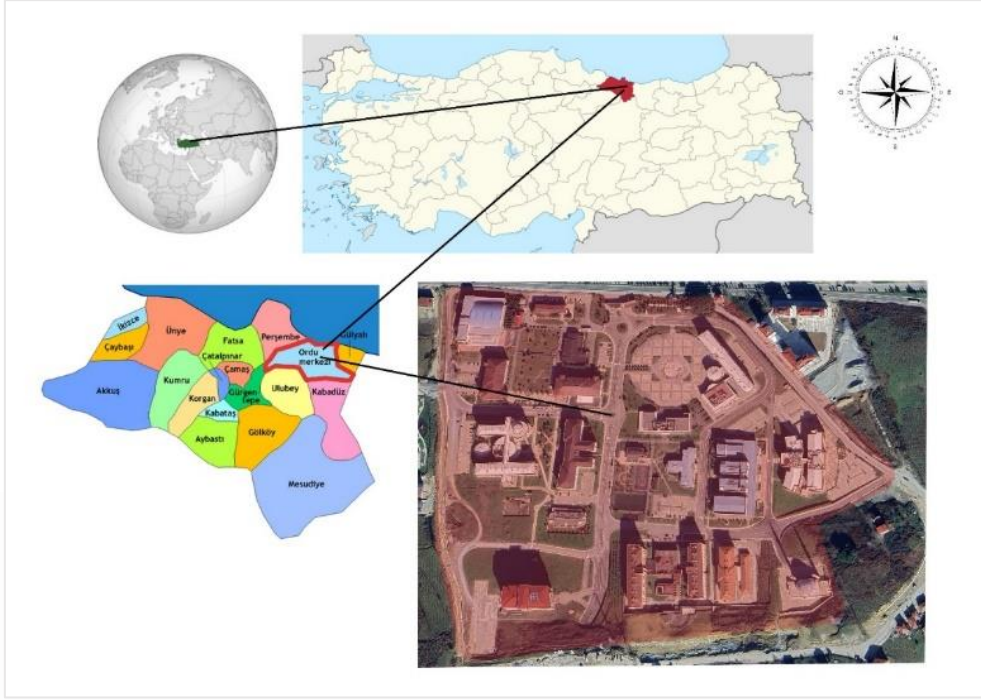
Şekil 1. Ordu Üniversitesi'nin Genel Görünümü (Ordu Üniversitesi, 2024)

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Ordu ili, Karadeniz Bölgesi'nde yer almakta olup, 2023 yılı itibariyle toplam nüfusu 775.800 kişiden oluşmaktadır. İlin yaş grubu verilerine göre, aktif nüfus olarak tanımlanan 15-65 yaş aralığında 516.764 kişi, genç bağımlı nüfus olarak tanımlanan 0-15 yaş aralığında 135.773 kişi ve yaşlı bağımlı nüfus olarak tanımlanan 65 yaş ve üzeri yaş aralığında 123.263 kişi yaşamaktadır ve km² başına düşen kişi sayısı 130 olarak hesaplanmaktadır. Toplam il nüfusunun yaklaşık %66,6'sı aktif ve çalışma çağında, katma değer üreten nüfus olarak tanımlanabilirken, geri kalan %33,4'lük kısmı ise bağımlı başka bir deyişle aktif nüfusun bakmakla yükümlü olduğu tüketici nüfus olarak sınıflandırılabilir. Bu durum, Ordu ili nüfusunun iş gücü bakımından genç ve dinamik bir kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Ordu'nun ihracat ve ithalatında en önemli sektörler arasında fındık, mobilya, kağıt, orman ürünleri, madencilik ve kimyevi maddeler yer alırken, havaalanı olarak Ordu-Giresun Havaalanı hizmet vermektedir. Ordu ili, 40°-41° kuzey paralelleri ile 37°-38° doğu meridyenleri arasında yer almaktadır (DOKA, 2024).

Ordu ilinin en büyük ilçesi Altınordu ilçesi olup; nüfusu 225.349 kişiden oluşmaktadır. İlçe, bölgenin sosyal, kültürel ve ekonomik merkezi olarak önemli bir konumda bulunmaktadır ayrıca denizle olan kıyı ilişkisi, doğayla yakınlığı gibi faktörlerle de turizm ve ticaret açısından önemli bir merkezdir (Ünye Belediyesi, 2024). Altınordu ilçesinde bulunan Ordu Üniversitesi'nin Cumhuriyet Yerleşkesi ise 2,1 km²'lik bir alana yerleşmiş olup, Karadeniz Sahil Yolu'na yakın bir konumda yer almaktadır ayrıca şehir merkezine yaklaşık olarak 8 km mesafededir. Kent merkezine ulaşım, toplu taşıma araçları ve özel araçlarla 25 dakika gibi kısa bir sürede sağlanmaktadır.

Cumhuriyet Yerleşkesi; Tıp Fakültesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ziraat Fakültesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İlahiyat Fakültesi, Rektörlük, Sağlık Bilimleri Fakültesi gibi akademik birimlerin yanı sıra Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Merkezi Kütüphane, Kapalı Spor Salonu, Öğrenci Yemekhanesi ve çeşitli sosyal ve kültürel alanlardan oluşmaktadır. Ayrıca, öğrencilerin spor ve dinlenme ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla basketbol ve voleybol sahaları, yürüyüş yolları ve açık oturma alanları yerleşke içerisinde yer almaktadır (Şekil 2) (Ordu Üniversitesi, 2024).



Şekil 2. Çalışma Alanı Sınırları

Çalışmanın yöntemi, yerleşkede yer alan donatı elemanlarının türleri, işlevsel özellikleri ve hasar durumlarını incelemek amacıyla kurgulanmıştır. Bu kapsamda alan çalışması sırasında donatı elemanları fotoğraflanarak kayıt altına alınmıştır ve koordinatlı bir şekilde mevcut durumları haritalandırılmıştır.

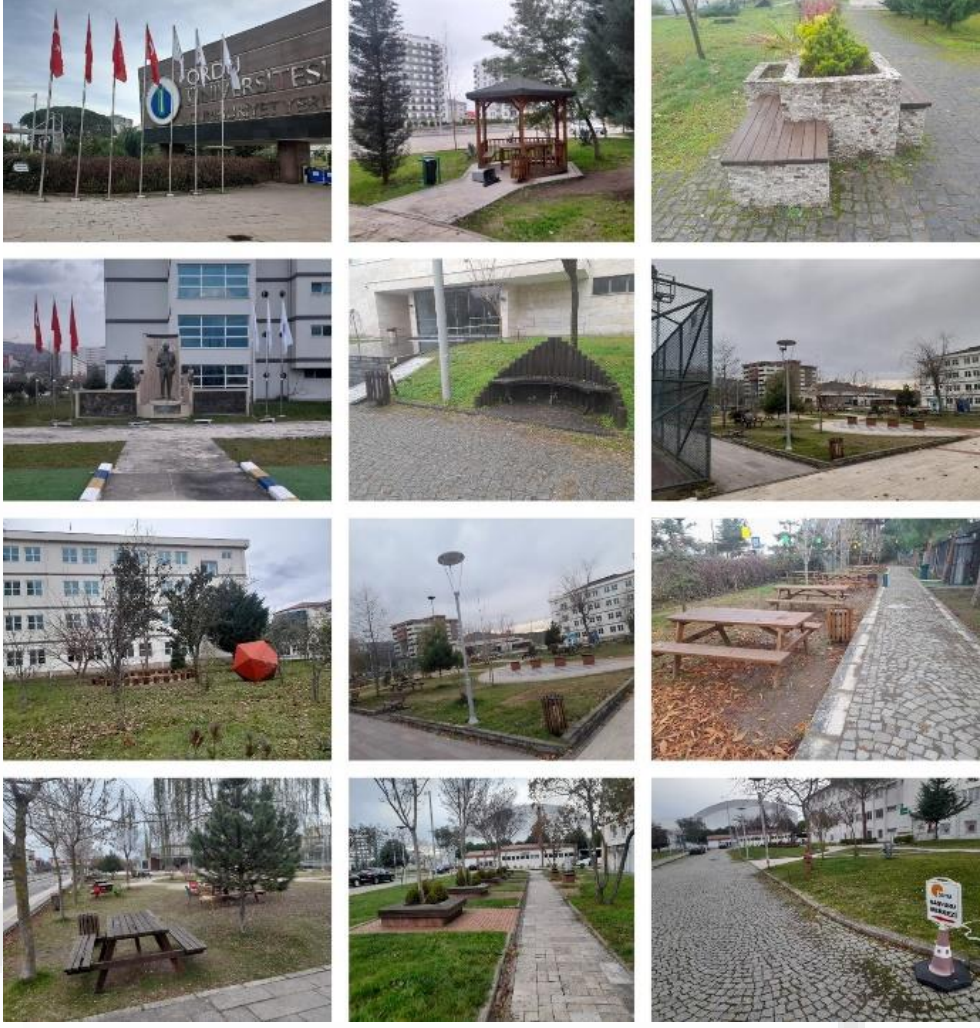
Donatı elemanlarının sınıflandırılması

- A: Oturma elemanları (banklar, ağaç altı oturma elemanları vb.)
- B: Aydınlatma ve güvenlik kamera elemanları
- C: Bilgi ve yönlendirme elemanları (yön tabelaları, billboardlar vb.)
- D: Sınırlandırıcılar (bariyerler, duvarlar, parmaklıklar vb.)
- E: Su öğeleri (süs havuzları vb.)
- F: Üst örtü elemanları (pergolalar, duraklar vb.)
- G: Sanatsal objeler (heykeller vb.)
- H: Diğer öğeler (çöp kutuları, bayrak direkleri vb.)

Çalışma haritalandırma işlemi yerinde yapılan gözlemlerin Google Earth Pro'dan alınan görüntüler ve Photoshop programı kullanılarak işlenmesiyle gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

Yerleşkede yapılan çalışma kapsamında 92 adet aydınlatma direği ve 64 adet güvenlik kamerası olmak üzere toplamda 156 adet aydınlatma ve güvenlik kamera elemanı, 68 adet sabit bank, 14 adet hareketli sandalye, 46 adet grup oturma birimi olmak üzere toplamda 114 adet oturma birimi, 82 adet çöp kutusu, 32 adet çiçeklik, 28 adet yönlendirme levhası, 12 adet bariyer, 30 adet çalılık olmak üzere toplamda 50 adet sınırlandırıcı, 12 adet bayrak direği, 3 adet havuz, 6 adet pergola, 4 adet kameriye, 1 adet durak olmak üzere toplamda 11 adet üst örtü elemanı ve 6 adet sanatsal obje belirlenmiştir. Toplamda 501 adet donatı elemanı, yerleşkenin estetik, işlevsel ve sosyal kullanımını destekleyecek şekilde düzenlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Cumhuriyet Yerleşkesinde Yer Alan Donatı Elemanları Örnekleri

Her bir donatı elemanı için oturma birimleri, aydınlatma elemanları, çöp kutuları, işaret ve bilgi levhaları vb. elemanlarından hangisi olduğunu tanımlamak üzere tür bilgisi, koordinat bilgisi, işlevsel özelliği, fiziksel özelliği, mevcut koşullar altındaki hasar durumu gibi bilgilerinin yer aldığı toplamda 648 adet donatı kimlik kartı oluşturulmuştur.

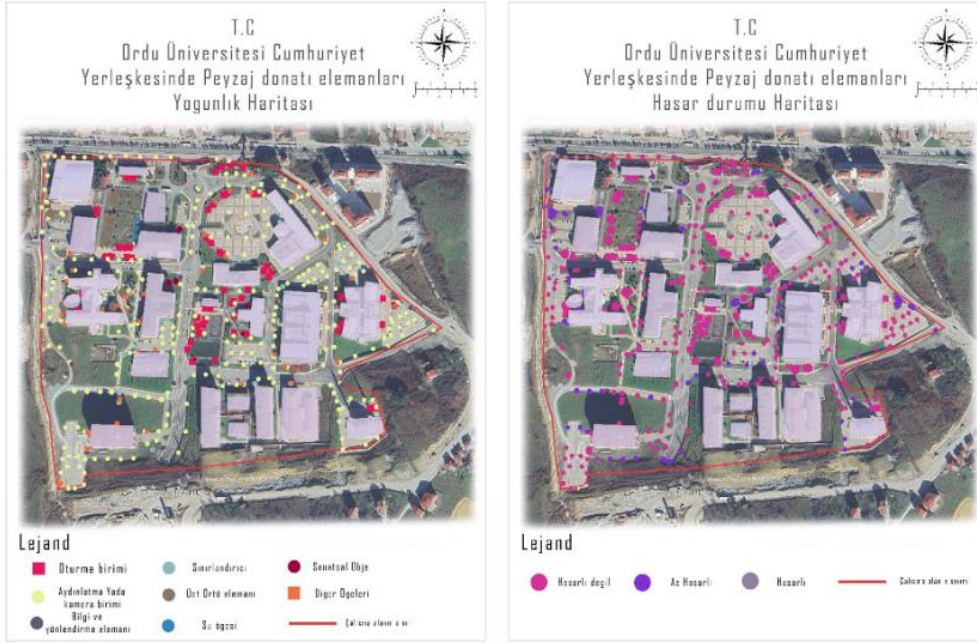
Ordu Üniversitesi yerleşkesinde yapılan incelemeler sonucunda belirlenen 156 adet aydınlatma ve güvenlik kamera elemanının 2 farklı tipte, 114 adet oturma biriminin 2 farklı tipte, 82 adet çöp kutusunun tek tipte, 32 adet çiçekliğin tek tipte, 28 adet işaret ve bilgi levhasının tek tipte, 50 adet sınırlandırıcının (bariyer ve çalılık) 3 farklı tipte, 12 adet bayrak direğinin tek tipte, 11 adet üst örtü elemanının (pergola, kamerye ve durak) 3 farklı tipte, 3 adet havuzun tek tipte, 6 adet sanatsal objenin 2 farklı tipte olduğu belirlenmiştir. Her bir donatı elemanı için kimlik kartları oluşturulmuş, tiplerine göre kodlanarak numaralandırılmıştır. Donatı elemanlarının tip özellikleri ve sayıları Tablo 1’de detaylandırılmıştır.

Tablo 1. Yerleşkede yer alan peyzaj donatı elemanlarının özellikleri ve sayıları

Donatı Elemanı Tür	Tip Numarası	Özelliği	Toplam Donatı Sayısı
A-Oturma Elemanları	A-Tip1 Banklar	Sabit, ahşap ve demir karışımı	68
	A-Tip3 Grup Oturma Alanları	Çardaklı, taş oturma alanları	46
B-Aydınlatma ve Güvenlik Kamera Elemanları	B-Tip1 Aydınlatma Direkleri	Yüksek boylu, yuvarlak tasarımlı	92
	B-Tip2 Güvenlik Kameraları	Ağaç ve yapı yanlarına sabitlenmiş	64
C-Bilgi ve Yönlendirme Elemanları	C-Tip1 Yön Tabelaları	Plastik Tabela üzerine oyma yazılar	28
D-Sınırlandırıcılar	D-Tip1 Bariyerler	Taş ve demirden yapılmış	12
	D-Tip2 Çalılıklar	Doğal sınırlandırıcı	30
	D-Tip3 Duvarlar	Alçak, taş dokulu	8
E-Su Öğeleri	E-Tip1 Havuzlar	Orta Büyüklükte, dekoratif	3
F-Üst Örtü Elemanları	F-Tip1 Pergolalar	Ahşap malzeme	6
	F-Tip2 Kameriyeler	Ahşap malzeme	4
	F-Tip3 Duraklar	Ahşap ve metal	1
G-Sanatsal Objeler	G-Tip1 Heykeller	Taş ve bronz malzeme	1
	G-Tip2 Plastik Sanatsal Öğeler	Ahşap, Plastik ve taştan Yapılmış	5
H-Diğer Öğeler	H-Tip1 Çöp Kutuları	Metal, geri dönüşüm uyumlu	82
	H-Tip2 Çiçeklikler	Doğal bitki örtüsü ile uyumlu	32
	H-Tip3 Bayrak Direkleri	Paslanmaz çelik	12

Ordu Üniversitesi yerleşkesinde yapılan incelemeler sonucunda, donatı elemanlarının yoğunluğunu ve hasar durumunu gösteren haritalar oluşturulmuştur. Bu haritalara göre; yerleşkede bina yakın çevrelerinde, otopark ve sosyal alanlarda farklı tipte donatı elemanlarının yoğun olduğu görülmüştür. Özellikle aydınlatma ve güvenlik kamera elemanlarının, bina yakın çevrelerinde yoğunlaştığı ve yerleşke genelinde en fazla bulunan elemanlar olduğu tespit edilmiştir. Seyir terasları ve spor sahalarının çevresinde ise donatı elemanlarının daha az yoğun olduğu belirlenmiştir.

Yerleşkede yapılan yoğunluk ve hasar durum analizlerine göre; toplam 156 adet aydınlatma ve güvenlik kamera elemanının dağılımında, 12 adet hasarlı, 34 adet az hasarlı ve 110 adet hasarsız olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde, 114 adet oturma biriminin yoğunluk haritasında, 8 adet hasarlı, 22 adet az hasarlı ve 84 adet hasarsız olduğu belirlenmiştir. Çöp kutuları için yapılan değerlendirmelerde, 82 adet çöp kutusunun 5 adeti hasarlı, 13 adeti az hasarlı ve 64 adeti hasarsız olarak kaydedilmiştir. Çiçekliklerin yoğunluk ve hasar durum analizinde ise 32 adet çiçeklikten 4 adet hasarlı, 8 adet az hasarlı ve 20 adet hasarsız olduğu görülmüştür. Sınırlandırıcı elemanlar için yapılan değerlendirmeler, toplam 50 adet sınırlandırıcı elemanın 3 adet hasarlı, 10 adet az hasarlı ve 37 adet hasarsız olduğunu ortaya koymuştur. Diğer donatı elemanlarının büyük çoğunluğu hasarsızdır. Bu analizler sonucunda, donatı elemanlarının yerleşim yoğunluğu ve hasar durumları, haritalar üzerinde detaylandırılarak görselleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Donatların Yoğunluk ve Hasar Durumları

Bu veriler, yerleşkenin mevcut durumunu kapsamlı bir şekilde değerlendirmek ve gelecekte yapılacak düzenleme ve iyileştirmeler için stratejik bir planlama aracı olarak kullanılabilir, Yerleşkenin daha kapsamlı bir şekilde analiz edilebilmesi için, oturma birimlerinin haritası, otopark ve sosyal alanların haritası ile aydınlatma ve güvenlik kamera elemanlarının haritası da çizilmiştir, yerleşke düzenlemeleri için daha etkili bir analiz yapma imkânı sunmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Diğer Analizler

Harita analizlere göre, bina çevreleri, otopark ve sosyal alanlarda donatı elemanlarının yoğun olduğu, özellikle aydınlatma ve güvenlik kameralarının en fazla bulunan elemanlar olduğu belirlenmiştir. Oturma birimlerinin yoğunluk haritaları da yerleşkedeki donatı elemanlarının durumunu yansıtmaktadır. Aydınlatma ve kameralar bina yakın çevrelerinde yoğunlaşırken, seyir terasları ve spor sahaları çevresinde bu elemanlar daha az yoğunlaşmıştır. Bu bulgular, yerleşkedeki düzenlemeler ve

iyileştirmeler için önemli bir temel oluşturmakta ve gelecekteki çalışmaları verimli bir şekilde yönlendirilmesini sağlayacaktır.

4. SONUÇ

Yerleşkeler, üniversite öğrencilerinin sosyal etkileşim kurmalarına, yeni arkadaşlıklar edinmelerine, zihinsel dinginlik kazanmalarına, fiziksel aktiviteler yapmalarına ve aidiyet duygusunu geliştirmelerine yardımcı olan önemli alanlardır (Siu, 2005). Bu bağlamda, yerleşke tasarımı, yapısal elemanlar ile açık ve yeşil alanlar arasında güçlü bir bağ kurulmalı; yerleşkenin kullanıcı yoğunluğu, bina işlevleri, sirkülasyon alanları, erişilebilirlik durumu, araç ve yaya yollarının genişliği, otopark alanlarının kapasitesi, spor ve rekreasyon alanlarının büyüklüğü, donatı elemanlarının türü, sayısı, boyutları ve bitkilendirme tasarımı gibi unsurlar dikkatlice planlanmalıdır (Siu, 2005). Yerleşke peyzajı içinde yer alan donatı elemanları, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak, sosyal etkileşimi teşvik edecek ve estetik açıdan özgün olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu tasarımlar, yerleşkenin kimliğiyle uyumlu olmalı ve çevresel koşullara uygun malzemeler kullanılmalıdır. bu unsurların önemini vurgulayarak, mekânın işlevine uygun ve estetik açıdan da uyumlu tasarımların gerekliliğini ortaya koymuştur.

Ordu Üniversitesi yerleşkesinde yapılan incelemeler sonucu yerleşkede mevcut olan donatı elemanlarının türleri, işlevsel ve fiziksel özellikleri ile hasar durumlarına dair veriler ortaya konulmuştur. Bu çalışma, Ordu Üniversitesi yerleşkesindeki donatı elemanlarının kullanım alanlarını belirlemek, analiz etmek ve gelecekte yapılacak düzenlemeler için stratejik öneriler geliştirmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, yerleşkede yer alan ve mekânları tanımlayan donatı elemanları kavramı incelenmiştir ve sınıflandırıldı, Yapıldı sınıflandırmaya Göre toplamda 501 adet donatı elemanı tespit edilmiştir.

Belirlenen donatı elemanlarının türleri şunlardır:

- 156 adet aydınlatma ve güvenlik kamera elemanı,
- 114 adet oturma birimi,
- 82 adet çöp kutusu,
- 32 adet çiçeklik,
- 28 adet işaret ve bilgi levhası,
- 50 adet sınırlandırıcı (bariyer ve çalılık),
- 12 adet bayrak direği,
- 11 adet üst örtü elemanı (pergola, kameriye ve durak),
- 6 adet sanatsal obje.

Toplamda 501 adet donatı elemanı, yerleşkenin estetik, işlevsel ve sosyal kullanımını destekleyecek şekilde düzenlenmiştir. Her bir donatı elemanı için kimlik kartları oluşturulmuş, tiplerine göre kodlanarak numaralandırılmıştır.

Yerleşkedeki Donatı Elemanlarının Dağılımı ve Durumu

Yerleşkedeki donatı elemanlarının yoğunluğu ve hasar durumu belirli haritalar üzerinden görselleştirilmiştir. Özellikle, bina yakın çevrelerinde, otopark ve sosyal alanlarda yoğunlaşan donatı elemanları gözlemlenmiştir. Aydınlatma ve güvenlik kamera elemanları yerleşke genelinde en fazla bulunan elemanlar olup, bina yakın çevrelerinde yoğunlaşmıştır. Seyir terasları ve spor sahalarının çevresinde ise donatı elemanlarının daha az yoğun olduğu belirlenmiştir.

Donatı elemanlarının hasar durumu şu şekildedir:

- 156 adet aydınlatma ve güvenlik kamera elemanının 12 adeti hasarlı, 34 adeti az hasarlı ve 110 adeti hasarsız olarak tespit edilmiştir.
- 114 adet oturma biriminin 8 adeti hasarlı, 22 adeti az hasarlı ve 84 adeti hasarsızdır.
- 82 adet çöp kutusunun 5 adeti hasarlı, 13 adeti az hasarlı ve 64 adeti hasarsızdır.

- 32 adet çiçeklikten 4 adeti hasarlı, 8 adeti az hasarlı ve 20 adeti hasarsızdır.
- 50 adet sınırlandırıcı elemanın 3 adeti hasarlı, 10 adeti az hasarlı ve 37 adeti hasarsızdır.

Öneriler

Çalışma sonucu elde edilen veriler ışığında, yerleşkenin mevcut durumu daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilmiş ve gelecekte yapılacak düzenleme ve iyileştirmeler için aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur:

- Yerleşkede yer alan oturma birimi, çöp kutusu, işaret ve bilgi levhası gibi kentsel donatı elemanlarının sayısı, yerleşke kullanıcı sayısı göz önünde bulundurularak artırılmalıdır.
- Farklı tipte bulunan kentsel donatı elemanları, yerleşke kimliğini oluşturacak şekilde hem işlevsel hem de estetik açıdan tek tipte tasarlanmalıdır.
- Oturma birimleri, yerleşke kullanıcılarının sosyalleşmesine olanak tanıyacak şekilde mekânlar oluşturacak şekilde yerleştirilmelidir.
- Hasarlı ve az hasarlı donatı elemanları onarılmalı ve kalite artırılmalıdır.
- Zemin kaplamaları, tüm yerleşke kullanıcılarının erişimini kolaylaştıracak, takılma riski yaratmayan malzemelerle yapılmalıdır.
- Sosyal alanların ve spor sahalarının sayısı artırılmalı, seyir teraslarının zemin kaplamaları onarılmalı ve çevresine uygun donatı elemanları eklenmelidir.
- Yerleşke kimliğini yansıtan su ögesi, heykel, sanatsal obje gibi donatı elemanları yerleşkenin ortak alanlarında kullanılmalıdır.
- Yerleşke, sadece eğitim işleviyle sınırlı kalmayıp, alışveriş, eğlence ve rekreasyon ihtiyaçlarını da karşılayacak şekilde düzenlenmelidir.

Bu öneriler, yerleşkenin daha yaşanabilir, kimlikli ve öğrencilere yönelik sosyalleşme alanlarını artıracak bir yapıya kavuşturulmasına katkı sağlayacaktır. Çalışma kapsamında elde edilen haritalar ve çözüm önerileri, yerleşkenin gelecekteki peyzaj tasarım çalışmalarına rehberlik edecek niteliktedir.

KAYNAKÇA

- Aksoy, Y., & Demir, M. (2022).** Kafkas Üniversitesi Merkez Kampüsünde Yer Alan Donatı Elemanları Üzerine Bir Araştırma. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 73-80.
- Bakan, K., & Konuk, G. (1987).** Türkiye’de Kentsel Dış Mekanların Düzenlenmesi/The Arrangement of Urban Exterior Space in Turkey. TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- Bekar, M., Acar, C., & Kaya Şahin, E. (2017).** Kent Mobilyası Tasarımlarında Kent ile Uyumun İncelenmesi ve Kullanıcı İstekleri Doğrultusunda Değerlendirilmesi. *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi (IBAD)*, 2(2), 178-185.
- Bulut, Y., Atabeyoğlu, Ö., & Yeşil, P. (2008). Erzurum kent merkezi donatı elemanlarının ergonomik özelliklerinin değerlendirilmesi üzerine bir araştırma. *Erzincan Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14(2), 1.
- Doğu Karadeniz Kalkınma Ajansı (DOKA).** (2024). Ordu ili hakkında genel bilgiler. https://www.doka.org.tr/bolgemiz_Ordu-TR.html
- Kuter, N., & Kaya, Z. (2019).** Kentsel donatı elemanlarının peyzaj mimarlığı açısından değerlendirilmesi: Çankırı örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(1), 81-96.
- Ordu, Üniversitesi, (2024). <https://www.odu.edu.tr/Haberler/2368/ordu-universitesi>.
- Özyurt, S. (2019).** Üniversite yapılarının mekânsal planlama açısından ölçütlerinin değerlendirilmesi: SDÜ İİBF ve Tıp Fakültesi Ek Binası Örneği. (Yüksek Lisans Tezi).

- Salihoğlu, T., Salihoğlu, G., Özyılmaz Küçükyağcı, P., & Yıldız, M. (2021).** The effect of campus design on the quality of student's campus life: The case of Gebze Technical University Çayırova Campus Master Plan. *Kent Akademisi*, 14(4), 975-994.
- Siu, K. W. M. (2005). *Culture Consumed: Exploring Cultural Psychology in the Context of Urban Street Furniture*. *Journal of Environmental Psychology*, 25(1), 107-122.
- Şişman, E. E., & Gültürk Doğruyol, P. (2016).** Kent Mobilyalarının Kent Estetiğine Katkısı. *International Multidisciplinary Conference (IMUCO)*, 369–377.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2016). *Kentsel Tasarım Rehberleri - Cilt 1*. https://webdosya.csb.gov.tr/db/mpgm/eduardosya/file/Kentsel%20Tasarim/Kentsel%20Tasari m%20Rehberleri/KENTSEL%20TASARIM%20REHBERLERI_Cilt1.pdf
- Ünye Belediyesi. (2024).** Ünye ve Altınordu ilçelerin nüfusu. https://www.unye.bel.tr/haberler/guncel-haberler/3-buyuk-ilceden-nufusu-artan-tek-ilce-unye/?utm_source



Makale id= 47

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0004-0139-4571

| 263

Ambiyans Aydınlatma Uygulamalarında Kullanılan Farklı Estetik Yüzeylerin, Parlaklık Seviyesinin ve Malzeme Katkısının Müşteri Üzerindeki Etkileri**Araştırmacı Serkan Altıntaş¹**
¹TOFAŞ

Özet: Sadece konfor ve şıklık sağlayan ortam aydınlatma sistemleri değil, aynı zamanda destekleyici ve işlevsel sistemler olaraktan iç aydınlatma büyük önem kazanıyor. Yükselen bir trend olarak, farklı teknoloji uygulamaları ile artık ambiyans aydınlatmayı aracın herhangi bir yerinde görebiliyoruz. Ortam aydınlatması, müşterinin istediği ışık şiddeti ve renkleri ayarlayarak yolcu kabininin hem doğrudan hem de dolaylı olarak aydınlatılmasını sağlar. Otomobilin içini daha çekici hale getirir ve tüketici kalite algısını etkiler. Direkt ve dolaylı aydınlatmaya sahip ambiyans aydınlatma parçalarının ürün geliştirmesi sırasında aydınlatma performansı ile ilgili bazı sorunlarla karşılaşmakta ve bu sorunlar müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu problemler genellikle yüzeyde homojen olmayan ışık dağılımı, düşük parlaklık seviyesi, deseni olmayan yüzeylerde parlama sorunları ve katkı maddesi olmayan malzemelerde homojenlik sorunlarıdır. Bu bildiride, premium segment bir araçta bulunan gösterge paneli, konsol ve havalandırma menfezlerinin gece modunda yansıma problemlerinin nedenleri araştırılarak sorunun nasıl çözüldüğü anlatılmaktadır. Sonuç olarak ortam aydınlatma uygulamalarında yüzeyin desen tipi, parlaklık değerinin ve malzeme katkısının müşteri tarafındaki algıyı artırmak açısından önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Direkt ve Dolaylı Ambiyans Aydınlatma, Desen, Homojenite, Parlaklık Seviyesi

Customer Impact of Usage of Different Finishing Surfaces, Gloss Level and Material Additive On Direct and Indirect Ambient Lighting Applications

Abstract: Interior lighting is gaining great importance as not only ambient lighting systems providing comfort and elegance, but also as supporting and functional systems. As an upward trend, we can now see ambient lighting anywhere in the vehicle with different applications of technology. Interior ambient lighting provides both direct and indirect illumination of the passenger compartment by setting the light intensity and colors desired by the customer. It makes the car's interior more attractive and affects consumer quality perceptions. During the product development of direct and indirect ambient lighting components, some problems related to the lighting performance are encountered and these issues can negatively affect customer satisfaction. These problems are generally inhomogeneous light distribution on the surface, low brightness level, glare issue on the surface without graining, and uniformity problems in materials without milky additive. In this paper, it is explained that the causes of reflection problems in night mode of the cluster, console and airvents that placed on a premium segment vehicle are investigated and how the problem is solved. As a conclusion, the importance of the graining type, gloss value of the surface, material additive in the ambient lighting applications is emphasized in order to increase the perception on the customer side.

Keywords: Direct and Indirect Ambient Lighting, Graining, Homogeneity, Gloss Level

1. INTRODUCTION

Interior lighting technologies in the automotive field have recently developed a great deal and have become more aesthetic and functional with new trends. Ambient lighting has been one of the most used applications among interior lighting technologies. Its importance lies in the fact that it provides a better

orientation in the car, an improved sense of spaciousness, as well as an impression of safety, value, and comfort [1-2].

Nowadays, the usage of ambient lighting increases comfort and orientation inside the vehicle during night drive, which can be almost seen as standard for premium cars. The most commonly used structure to provide ambient lighting is RGB light-emitting diodes (LEDs) [3] providing orchestrated effects and living room feeling for autonomous and robot cars including daylight performance. It delivers an emotional atmosphere, helps to perceive the surrounding space, and provides the decrease of the driver's fatigue levels [4]. Besides that, vehicle sales and profitability consequently increase.

2. THEORY OF THE REFLECTION

Some specific features are requested at the beginning of the project by the product department, before the vehicle is released to the serial life. In order to understand the importance and effect of surfaces It must be understood how the light is seen by the customer. There are 2 different types of lighting features in terms of the direction of light:

Ambient Lighting Types

Direct Lighting

- Light Source (i.e. Lens) is visible to the customer.
- Output is light coming directly out of the source without reflections from other surfaces.

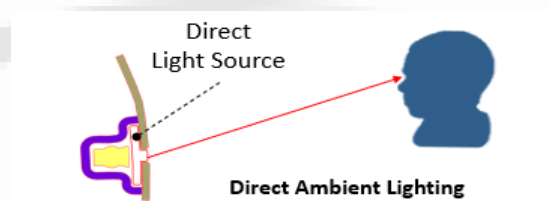


Figure 6. Direct Ambient Lighting

Indirect Lighting

- Light Source (i.e. Lens) is not visible to the customer.
- Output is light reflecting on a polished or mirrored surface.

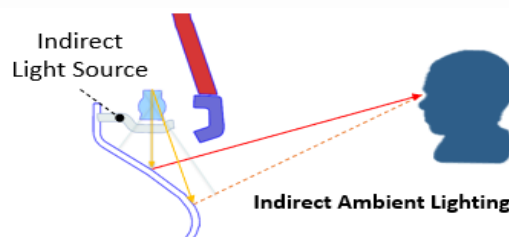


Figure 2. Indirect Ambient Lighting

Reflection Types

In the Figure 3 below, you can see regular (specular) and diffuse reflections. Waves of light are represented by arrows called rays. Rays that strike the surface are referred to as incident rays, and rays that reflect off the surface are known as reflected rays. In regular reflection, all the rays are reflected in the same direction. This explains why regular reflection forms a clear image. In diffuse reflection, the

rays are reflected in many different directions. This is why diffuse reflection forms, at best, a blurry image.

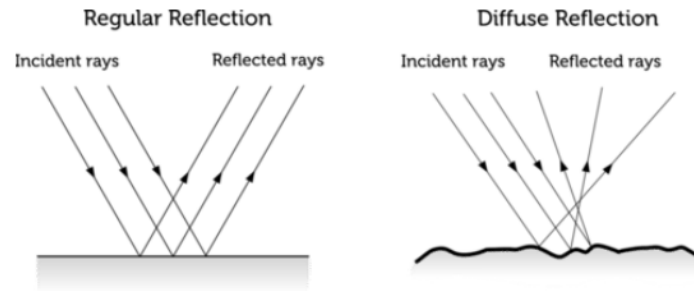


Figure 3. Reflection Types [5]

3. PERCEIVED QUALITY EVALUATIONS ON AMBIENT LIGHTING APPLICATIONS IN THE DARK ROOM

The Perceived Quality team primarily ask to understand the presence of light and ensure that the light is distributed homogeneously on the surface. In order to reach this subjective target, we generally use patterned and painted surfaces, especially in visual parts. Below tests were performed by using the prototype parts to understand the effect of the graining and painting on the surface.

Light was shined on these surfaces and how it was perceived by the customer was evaluated. Grain surface and matt black surface are diffusion reflection while high gloss paint surface is mirror reflection which has less light on it's surface . Changing high gloss paint to grain or chrome(BENZ benchmark) or adding some ribs on A surface will help to get diffusion reflection and more light. The results are shown in Figure 4 below.

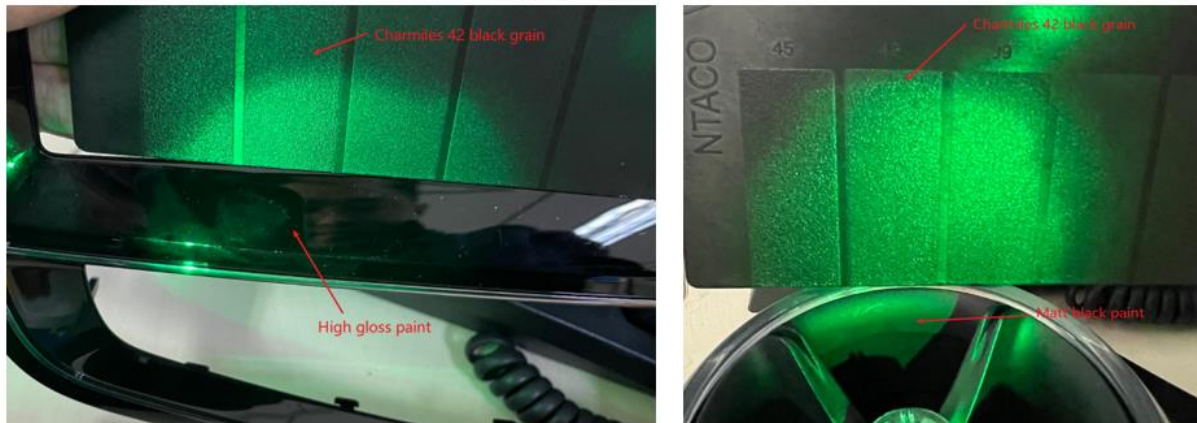


Figure 4. Light Investigation on different surfaces

4. LIGHTING PERFORMANCE ON CONSOLE AND AIRVENT

There is only indirect lighting on the console surface, and the surface on which the light falls and the gloss level of the surface have a great impact on aesthetic perception. The console mock-up you will see in Figure 5 below was prepared to evaluate these parameters. Not flux limitation applied in the LED Module of the console mock-up. No dots or bubble structure was observed in the lightguide design. Flux values that can reach up to 3.7 lumen power were used and evaluation was made with all colors. This is the first trial to understand lighting performance from the perspective of the customer during product

development. In the optical simulation, we provided an average of 8.8 lux and %30 non-homogeneity criteria. According to the PQ target, indirect lighting should meet between 3 lux and 10 lux, and the results meet with our requirements. In the console mockup, 1.5- or 2-times higher lux values were obtained on the reflection surface when we compare with optical simulation. Nevertheless, the presence of light should be obvious and there should be lighter on reflection surface of the console.



Figure 5. Light Investigation on console mockup

While the gloss level on the main bezel is expected to be maximum 2 in the project, the gloss level on the mockup is measured as 6. The gloss level has a big impact on the reflection on the ambience. In addition to the pattern on the surface, the gloss level affects the uniform distribution of light. When the gloss level is high, the absorption of light is low, and the light is reflected more to the outside. Although this may seem like a good situation, it subjectively has a negative effect on the homogeneous distribution of light on the surface. Mockup is repeated with sample which has gloss level 2 in Figure 6 below and we noticed that the light is distributed more homogeneously on the surface, and it no longer tires the eyes.



Figure 6. Changing gloss level from 6 to 2 on console mockup

There is also direct ambient lighting on the Air vent and this lighting has a logo specific to the Alfa model. This logo has a homogeneity problem, and this problem is not related to the surface pattern. In order to solve the uniformity problem, material changed from PC Clear to PC milky. This means that an amount of milky additive has been added to the PC material. After changing of the material, the homogeneity problem was solved and accepted by PQ, Color & Material and Product Side. You can see the uniformity of the snake logo status from the human vision renders in Figure 7 below.

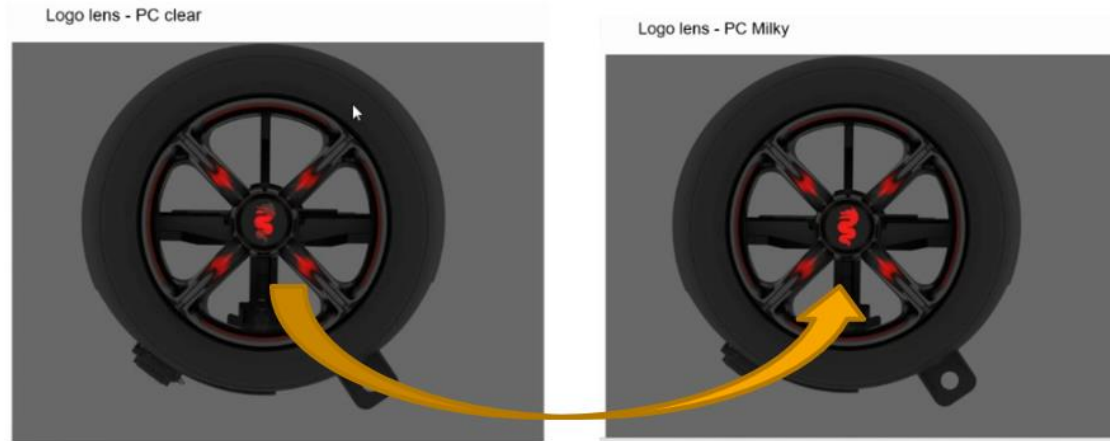


Figure 7. Air vent logo uniformity renders from simulations

Additionally, prototypes were tested in the dark room laboratory environment in Figure 8. The comparison between two samples shows that milky samples have:

- Better lighting uniformity
- Clear improvement of the white, whit chromatic coordinates close to a perfect cool white
- More uniform diffusion of light on the ribs, resulting in a sharper outline of the air vent
- Lower luminance, whit a more pleasant and less blinding result
- In conclusion, miky samples are a clear improvement over the previous transparent version.



Figure 8. Air vent logo uniformity picture from mockup

In the Air Vent component, light falls on the lateral surfaces and this creates an indirect ambient lighting. Three different mock-ups were prepared to achieve the most optimum result by considering competitor benchmarks and different surface conditions. These surfaces are shown as high gloss, silver satin and black matt in Figure 9 below.

High Glossy Surface



Silver Satin Surface



Black Matte Surface

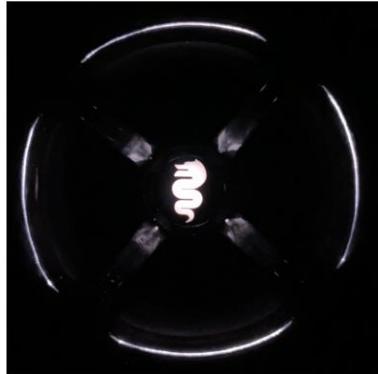
**Figure 9.** Three Different Mockup Picture of Air vents

According to the experiments carried out in different conditions in the dark room as shown Figure 10, the following results were obtained. These results were evaluated by all departments (PQ, Colour and Material, Product) Glossy surface reflects light better but has low homogeneity. It is also compatible with other glossy black surfaces and has a more premium perception.

The silver satin surface is at a more optimum level, that is, both the light is distributed homogeneously and the presence of light is good. However, the color of this surface is silver and is not compatible with the other parts of the vehicle in terms of color.

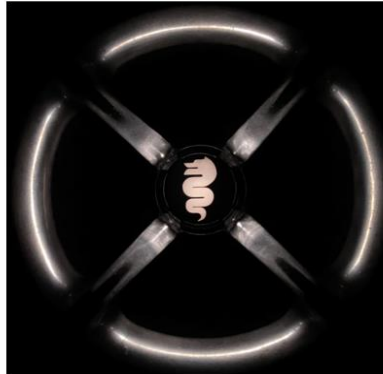
Black matt surface has absorbed light to a high degree and the reflection rate has decreased. While the surfaces where the light falls are felt better in a dark environment, the customer cannot feel the presence of light. Because the light is reflected less to the outside. In other words, when the homogeneity is good, the reflection is at a low level. The presence of the ambiance has been ineffective.

High Glossy Surface



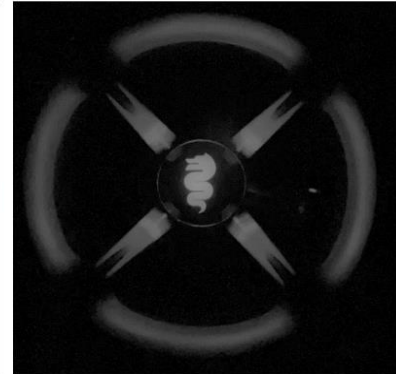
- Premium look
- Sharper light
- Low Homogeneous distribution

Silver Satin Surface



- Color Mismatch with Other Parts
- More brighter and homogeneous distribution

Black Matte Surface



- Low light intensity
- Homogeneous distribution

Figure 10. Three Different Mockup Picture of Air vents in the Darkroom Condition

5. CONCLUSION

Interior lighting has become more functional and aesthetic with the development of new technologies. Using of ambient lighting increases comfort and elegance inside the vehicle during both daytime and night drive. In order to provide good aesthetic perception on customers, some design parameters should be selected correctly during product development. These parameters for ambient lighting can be explained as the pattern or film used on the surface, milky additive rates in special materials that provide light transmittance, paint type on the surface and the gloss level of the surface. All parameters should

be evaluated in a dark room by making realistic prototypes. Prototype has been evaluated both subjectively and objectively in the darkroom by the Perceived Quality, Product and Color Material team. In order to understand the presence of light, it is important that it is patterned so that the light will spread homogeneously on the surface. When the gloss level of this pattern is high, the light is reflected more and can prevent the light from being distributed homogeneously. Therefore, the gloss level should be kept optimum according to the surface texture. In order to see a shape on the surface clearly, it may be useful to add milky additive to the material, which increases the homogeneity of the light. Milky additive increases homogeneous distribution, while it can reduce the transmitted light power. In order to choose the optimum for ambient lighting, virtual simulations should be performed first, and this aesthetic perception should be verified with realistic prototypes. During these verifications, the optimum balance should be reached with numerical data and subjective evaluations.

REFERENCES

- [1] Caberletti, L., Elfmann, K., Kummel, M., & Schierz, C. (2010). Influence of ambient lighting in a vehicle interior on the driver's perceptions. *Lighting Research & Technology*, 42(3), 297-311.
- [2] Klinger, K. D., & Lemmer, U. (2008, April). The influence of ambient light on the driver. In *Optical Sensors 2008* (Vol. 7003, pp. 651-654). SPIE.AP
- [3] Arizton. Automotive interior lighting system market—Global Outlook and Forecast 2019-2024. Report 2019. <https://www.reportbuyer.com/product/5730665/automotive-interior-lighting-system-market-global-outlook-and-forecast.html>
- [4] Interior Lighting. (n.d.). Hella lighting. <https://www.hella.com/hella-com/Interior-lighting-2517.html>
- [5] Light Guide Techniques Using LED Lamps. (n.d.). <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-middle-school-physical-science-flexbook-2.0/section/19.5/primary/lesson/law-of-reflection-ms-ps/>

Makale id= 55

Sözlü SunumORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-5109-1132>

| 270

Temizleme Yönteminin Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Kumaş ve Plastik Parçaların Renk ve Parlaklık Ölçümlerine Etkisi**Araştırmacı Taha Can Aksakal¹, Araştırmacı Gonca Ünal¹, Araştırmacı Burcu Gül¹**
¹TOFAŞ

*Corresponding author: Taha Can Aksakal

Özet: Bu çalışma, otomotiv endüstrisinde kullanılan estetik plastik ve kumaş parçaların üzerine uygulanacak farklı temizleme yöntemlerinin renk ve parlaklık özelliklerine etkisini incelemektedir. Bu malzemelerin görünümü araç tasarımında kritik bir rol oynamakta ve hem tüketici algısını hem de genel ürün kalitesini etkilemektedir. Bu araştırmada dört temizleme yöntemi uygulandı: kuru bezle silme, suyla nemlendirilmiş bezle silme, ıslak mendil ile silme ve alkol bazlı temizleme solüsyonu kullanılarak temizleme. Test için enstrüman panelleri, kapı panelleri ve koltuk kaplamaları gibi görünür otomotiv bileşenlerinde yaygın olarak kullanılan plastik ve kumaş numuneleri seçildi. Yüzey özelliklerindeki olası değişiklikleri değerlendirmek için her temizleme işleminden önce ve sonra standartlaştırılmış renk ve parlaklık ölçümleri yapıldı. Toplanan veriler, farklı temizleme tekniklerinin bu malzemelerin görsel kalitesi üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için analiz edildi. Bu çalışma, temizlik uygulamalarının estetik otomotiv bileşenlerinin optik özelliklerini nasıl etkilediğinin sistematik bir değerlendirmesini sağlayarak, malzeme bütünlüğünü ve uzun vadeli görünümü koruyan uygun bakım yöntemlerinin seçimine katkıda bulunur.

Anahtar Kelimeler: Renk, Parlaklık, Renk Ölçümü, Algılanan Kalite, Temizleme Methodu, Otomotiv

The Effect of Cleaning Methods On Color and Gloss Measurements of Plastics and Fabrics Used in the Automotive Industry

Abstract: This study examines the impact of different cleaning methods on the color and gloss properties of aesthetic plastic and fabric components used in the automotive industry. The appearance of these materials plays a critical role in vehicle design, influencing both consumer perception and overall product quality. In this research, four cleaning methods were applied: dry wiping, wiping with a water-moistened cloth, wet wipes, and an alcohol-based cleaning solution. Plastic and fabric samples commonly used in visible automotive components, such as dashboards, door panels, and seat coverings, were selected for testing. Standardized color and gloss measurements were conducted before and after each cleaning process to assess potential alterations in surface properties. The collected data were analyzed to compare the effects of different cleaning techniques on the visual quality of these materials. This study provides a systematic evaluation of how cleaning practices influence the optical characteristics of aesthetic automotive components, contributing to the selection of appropriate maintenance methods that preserve material integrity and long-term appearance.

Keywords: Color, Gloss, Color Measurement, Perceived Quality, Cleaning Method, Automotive

1. INTRODUCTION

Aesthetical design and perceptual properties of a marketing goods plays crucial role in the market where the parts are selling and give the customers an idea about the brand identity. (Shi, Huo, & Hou, 2021) Usage of these materials is excessive in the automotive design areas like interior trims; central console, floor console, instrument panel, door panel, seat covers, or in the exterior trims; bumper components, side skirts, logos, headlamps, sensor covers etc. Where their visual and perceptual properties are in great

of importance. (Matsuo, 2008) (Abedsoltan, 2023) When take in the account of their position in a car, they expose to the sun directly and their optical properties might alter depend on to the exposure time. In this situation, it would be color and gloss of aesthetical parts where the changes occur (McKeen, 2018).

There are some methods used for cleaning automotive trims and most of the methods that are being used is a basic dry cloths, microfiber cloths, wet towels, alcohol based cleaning solutions. When measuring a parts color and gloss, the surface must be free of any contaminant like grease, dust, fingerprint or any contaminant that may affect the accuracy of the measuring of the color and gloss. (Konica Minolta, 2020)

Understanding the correct cleaning method before taking a color and gloss measurement will lead a way in automotive industry, especially for perceived quality specialist who are responsible for this kind of activity in their daily routine as part of their job.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

Scope of this study is see the effect of how cleaning methods will affect the measurement and for this purpose different materials that are being widely used in automotive industry were selected. Those materials split in two category as automotive plastics and fabrics used as aesthetical components. Plastic materials are consisting of polypropylene (PP) can be seen at Figure 2 and, polycarbonate + acrylonitrilebutadiene (PC+ABS) can be seen at Figure 1.

Figure 1. Car exterior trim calandra part made out of PC+ABS material



Figure 2. Car exterior trim fog lamp housing part made out of PP material

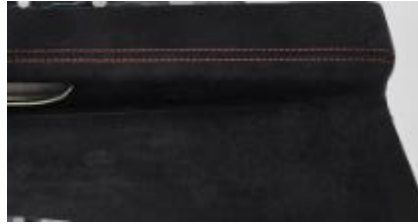


Fabrics are consisting of polyester-based automotive covering materials can be seen at Figure 3, and polyurethane + polyester material can be seen at Figure 4.

Figure 3. Car interior trim headliner part made out of polyester



Figure 4. Car interior trim door panel armrest part made out of polyester + polyurethane



2.2 Cleaning Methods

Four cleaning methods have been chosen for test to see how it affects the color and gloss measurement of the chosen samples. These methods including are, cleaning the sample visible surface with a dry microfiber cloth, cleaning the surface with water-moistured cloth, cleaning the surface with basic wet wipes, and final choose is cleaning with ethanol.

2.3 Measurement Techniques

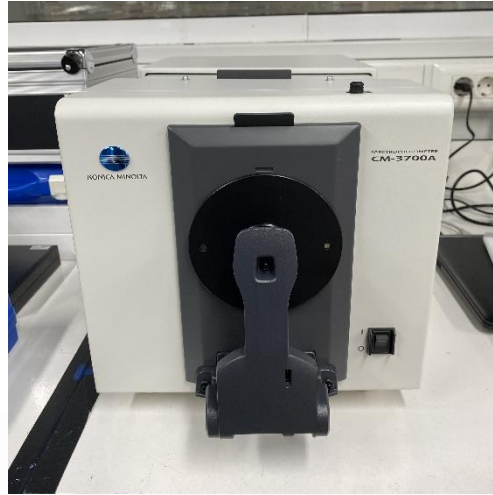
2.3.1 Color Measurement

Color changes were measured with the help of Konica Minolta® CM-3700A spectrophotometer color measurement device in Figure 1. Specular Component Included (SCI) mode have chosen for the measurement of all of the materials due to surface of these materials are grained or painted. SCI basically means it do not include the materials surface properties in the color measurement.

Measurement outputs have been recorded according to the CIELAB L*a*b* system. For better understanding basically a* means that how red or green the parts are, b* means that how parts are blue or yellow and L* means that how the parts are black or white. These three combines in a formula and it equals ΔE^* which quantifies the difference between two color. (Martin, 2015)

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Figure 5. Konica Minolta® CM-3700A spectrophotometer color measurement device that have been used for measurements



2.3.2 Gloss Measurement

For gloss measurement ERICHSEN® PICOGLOSS 560 MC gloss measurement device have been used. 60 degree have been chosen according to the ISO 2813 standart.

Gloss means that when the light beam directed to the part, the reflected light is the gloss.

Figure 6. ERICHSEN PICOGLOSS 560 MC gloss measurment device that have been used for gloss measurement of the samples



2.4 Experimental Procedures

At the begining every specimens color and gloss measurement have been taken three times for an average value before the cleaning process. In the following, different cleaning methods applied on four different sample for each material and then waited for a few seconds. After this step color and gloss measurements have been taken again three times and the new measurments recorded on the related tables, color measurements recorded on Table 1, ΔE^* results recorded on Table 2 and gloss measurements recorded on Table 3. After all of the measurments done, obtained data got compared to each other.

3. RESULTS

In this section, four cleaning methods got compared to each other that are applied on the different materials. Measurements are like the below.

3.1 Color Measurement Results

Table 1. Color measurement L* a* and b* results before and after the cleaning processes

Part	Condition	L*	a*	b*
Headliner	Before Cleaning	17,56	0,12	-0,28
	Dry Cloth	17,66	0,13	0,33
	Water-Moistured Cloth	16,03	0,16	0,12
	Wet-Wipes	16,43	0,15	0,45
	Ethanol	16,24	0,12	-0,18
Fog Lamp Housing	Before Cleaning	26,08	-0,11	-0,22
	Dry Cloth	25,80	-0,05	-0,38
	Water-Moistured Cloth	23,47	-0,05	-0,37
	Wet-Wipes	21,76	-0,03	-0,19
	Ethanol	25,64	-0,04	-0,36
Armrest	Before Cleaning	14,68	-0,18	1,20
	Dry Cloth	14,25	-0,16	1,23
	Water-Moistured Cloth	16,87	-0,08	0,05
	Wet-Wipes	15,39	-0,11	0,34
	Ethanol	14,68	-0,11	0,24
Calandra	Before Cleaning	25,63	-0,03	-0,49
	Dry Cloth	25,13	0	-0,27
	Water-Moistured Cloth	23,89	-0,02	-0,28
	Wet-Wipes	22,44	-0,02	-0,28
	Ethanol	25,40	-0,06	-0,54

Table 2. Color measurement ΔE results before and after the cleaning processes

Part	Condition	ΔE^*
Headliner	Dry Cloth	0,62
	Water-Moistured Cloth	1,59
	Wet-Wipes	1,35
	Ethanol	1,32
Fog Lamp Housing	Dry Cloth	0,33
	Water-Moistured Cloth	2,61
	Wet-Wipes	4,32
	Ethanol	0,47
Armrest	Dry Cloth	0,43
	Water-Moistured Cloth	2,48
	Wet-Wipes	1,12
	Ethanol	0,96
Calandra	Dry Cloth	0,55
	Water-Moistured Cloth	1,76
	Wet-Wipes	3,20
	Ethanol	0,24

3.2 Gloss Measurement Results

Table 3. Gloss measurements results taken by according to 60 degree before and after the cleaning processes

Part	Condition	Gloss
Headliner	Before Cleaning	0,34
	Dry Cloth	0,17
	Water-Moistured Cloth	0,34
	Wet-Wipes	0,19
	Ethanol	0,35
Fog Lamp Housing	Before Cleaning	2,36
	Dry Cloth	3,25
	Water-Moistured Cloth	2,60
	Wet-Wipes	6,98
	Ethanol	3,02
Armrest	Before Cleaning	0,05
	Dry Cloth	0,05
	Water-Moistured Cloth	0,09
	Wet-Wipes	0,19
	Ethanol	0,11
Calandra	Before Cleaning	4,40
	Dry Cloth	4,30
	Water-Moistured Cloth	4,38
	Wet-Wipes	5,19
	Ethanol	4,35

4. DISCUSSION

4.1 Impacts on the Color Measurements

Most changes on color occurred when cleaning with water moistured and wet-wipes methods applied, and least changes occurred when dry-cloth method applied. PC+ABS and PP materials have the most impact on their color values when the wet-wipes method applied and compared to the other materials according to the Table 1 and Table 2.

4.2 Impacts on the Gloss Measurements

Most changes on surface gloss values occurred when wet-wipes method applied, and least changes occurred when other methods applied. PP material has the most impact on its surface gloss values when the Wet-wipes method applied and compared to the other materials according to the Table 3.

5. CONCLUSION

In this study, the impact of the four chosen cleaning methods, which are cleaning with a dry-cloth, cleaning with water-moistured cloth, cleaning with wet-wipes, and using alcohol-based cleaning solutions, were meant to see and got compare to each other to understand which one of them is the best method for cleaning the surface of the chosen component before taking a color and gloss measurement in the automotive industry.

In the scope of color changes after cleaning the surface with the methods selected, Wet wipes method has the most impact on the color measurement. Dry-cloth and ethanol method is the best way to clean the surface of the automotive components before taking a color measurement among the other cleaning methods and chosen materials according to this study.

Considering gloss changes, the wet-wipes method has the most impact on surface gloss values and is not suitable for cleaning the surface before gloss measurement. Best method for preparing the surface for gloss measurement is all the methods except wet-wipes method.

This study gives an idea about how to prepare the materials that are generally used in automotive industry to color and gloss measurements. It can be improved in the future studies with the addition of other types of materials and other types of cleaning methods that are being applied on the material surface.

BIBLIOGRAPHY

- Abedsoltan, H. (2023). Applications of plastics in automotive industry: Current trends and future perspectives. *Polymer Engineering and Science*.
- Aliei, H., Carrera-Galisa, E., & Cayuela, D. (2024). Evaluating the Impact of Washing Conditions on the Color Changes of Naturally Colored Cotton Fabrics: A Focus on Detergents, Water Types, and Temperature. *Materials*, 17(23), 5777.
- Hekkert, P., & Leder, H. (2008). PRODUCT AESTHETICS. *Product Experience*, 259-285.
- Konica Minolta. (2020, March 9). Color Measurement Best Practices: Sample Preparation and Presentation. Konica Minolta Corporation Web site: <https://www.konicaminolta.asia/asia-en>
- Martin, A. (2015). Lab Colour Space and Delta E Measurements. W. Collins, A. Hass, K. Jeffery, A. Martin, R. Medeiros, & S. Tomljanovic içinde, *Graphic Design and Print Production Fundamentals* (s. 95-99). Victoria: BCcampus Open Education.
- Matsuo, T. (2008). Automotive Applications. *Polyesters and Polyamides*, 525-541.
- McKeen, L. W. (2018). *The Effect of UV Light and Weather on Plastics and Elastomers*. Oxford: Elsevier.
- Shi, A., Huo, F., & Hou, G. (2021). Effect of Design Aesthetics on the Perceived Value of a Product . *Frontiers in Psychology* .

Makale id= 56

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-2084-4465

| 277

Otomotiv Dış Parçaları İçin Geliştirilen Doğal Elyaf Dolgulu Polipropilen Malzeme Özellikleri**Araştırmacı Berna Yaycı¹, Araştırmacı Çağrı Çalışkan¹**
¹TOFAŞ

*Corresponding author: Berna Yaycı

Özet: Günümüz otomotiv sektöründe, Otomotiv Orijinal Ekipman Üreticileri tarafından her yıl yeşil hedefler paylaşılmaktadır. Bu hedeflerin ana kısmı düşük karbon ayak izi hedeflerine ulaşmaktır. Kullanılan sürdürülebilir kaynaklara ek olarak, düşük karbon ayak izi seçilmiş sürdürülebilir malzemeler tarafından da sağlanmaktadır. Bir malzeme geri dönüştürülmüş elyaf ve/veya polimer veya doğal/biyolojik kaynaklı elyaf ve/veya polimer içeriyorsa sürdürülebilir olarak kabul edilir. Bu raporda, sürdürülebilir malzeme tanımı polipropilen malzemeye katkı maddesi olarak eklenen doğal elyaflardan gelmektedir. Bu malzeme, dış kaplamada fosil bazlı malzemenin özelliklerini yakalamak amacıyla geliştirilmiş ve tüm karakteristik özellikleri incelenmiştir. Bu özellikler yalnızca fiziksel değerler olarak değil, aynı zamanda termal değerler olarak da ele alınmış ve yakalanması hedeflenen fosil bazlı malzeme ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Yeşil Anlaşma, Doğal Elyaf, Dış Uygulamalar, Karakterizasyon, Termal Özellikler, Fiziksel Özellikler

Propoerties of Natural Fiber Fiilled Polypropylene Material Developed for Automotive Exterior Parts

Abstract: In today's automotive sector, green targets are shared annually by Automotive Original Equipment Manufacturers. The main part of these targets is to achieve low carbon footprint targets. In addition to the sustainable resources used, low carbon footprint is also provided by selected green materials. If a material has recycled fiber and/or polymer or natural/bio sourced fiber and/or polymer, this material is considered green. In this report, the definition of green material comes from natural fibers added to polypropylene material as an additive. This material was developed with the aim of capturing the properties of fossil base material in the exterior trim, and all its characteristic features were examined. These features were considered not only as physical values but also as thermal values, and comparisons were made with the fossil base material targeted to be captured.

Keywords: Sustainability, Green Deal, Natural Fiber, Exterior Applications, Characterization, Thermal Properties, Physical Properties

1. INTRODUCTION

In today's automotive sector, as in many sectors, there are green targets. Recently, many OEMs, Automotive Original Equipment Manufacturers, have been publishing their own commitments. Based on these publications, in the sector, not only values such as production and transportation but also material values are included in the evaluation. When the subject is considered on a material basis, many sub-details come together. However, the content of the material comes to the fore. If a material contains recycled fiber and/or polymer or natural/biologically sourced fiber and/or polymer, this material is considered green. [1][2]

While the use of fossil-based, non-green materials lowers OEMs' green targets, achieving these targets is supported with green materials. In this regard, development studies aimed at catching up with fossil-

based materials continue both in interior and exterior trim materials. In this paper, natural fiber filled polypropylene material, which is intended to be used in exterior trim and as an alternative to fossil-based polypropylene reference PP material, was investigated in terms of mechanical, thermal and physical properties and compared with fossil-based material. [3] [4]

2. MEASUREMENTS and EVALUATIONS

2.1 Measurements:

All tests in this study were performed according to ISO specifications with 10% natural fiber filled polypropylene samples.

2.1.1 Specific Gravity:

To measure the specific gravity of the material, specific device - Cubis Sartorius density meter - was used. The test was conducted according to ISO 1833 at room temperature with several PP material samples which were filled with 10% natural fiber, see table 1.

TABLE 1				
Test	Condition	Standard	UNIT	Result
Specific Gravity	Room Temperature	ISO 1833	g/cm ³	0,93

2.1.2 Tensile:

Tensile tests were carried out with 50mm/min speed rate at room temperature on Zwick tensile testing device according to ISO 527. See figure 1.

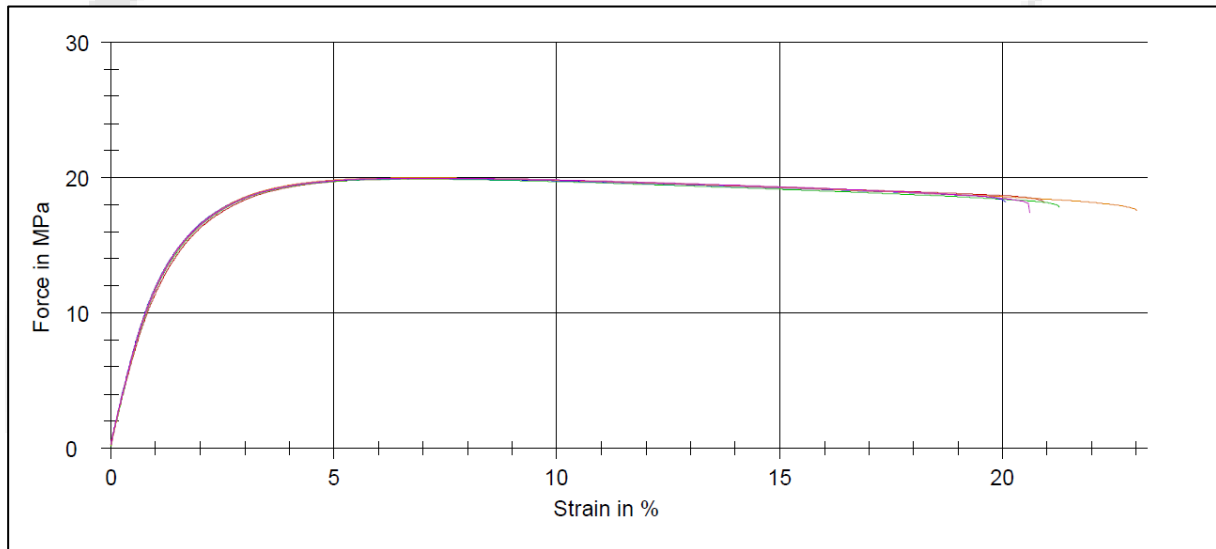


Figure 1: Tensile graph of PP with natural fiber

2.1.3 Flextural Strength

Flextural tests were carried out with 2mm/min speed rate at room and 30° C temperatures according to ISO 178. For -30° C samples were pre-conditioned at -30° C in a special temperature chamber. See figure 2.

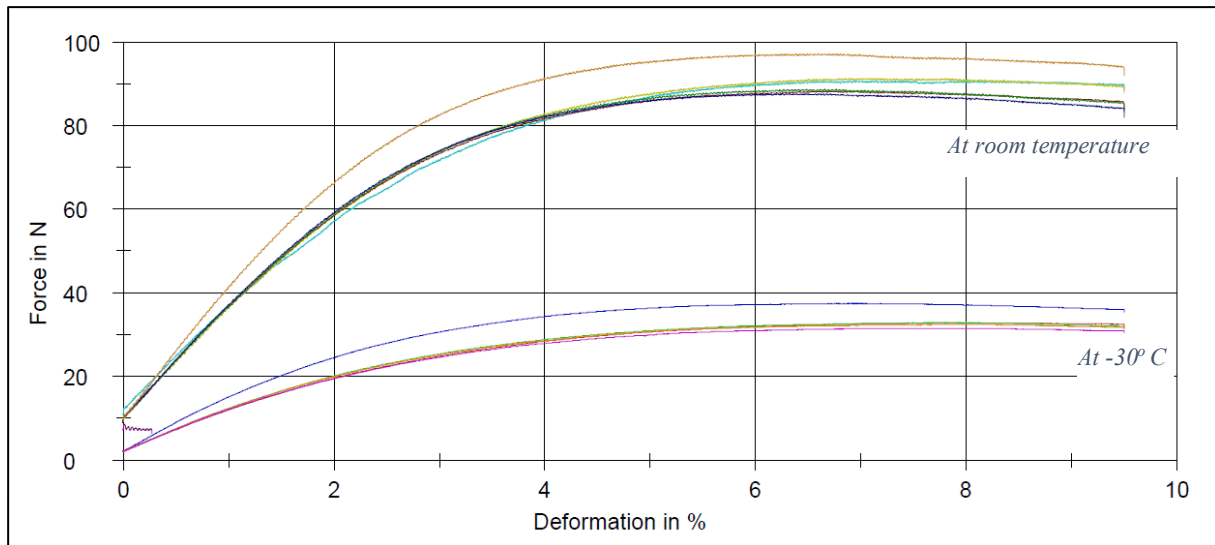


Figure 2: Flextural graph of PP with natural fiber

2.1.4 Izod Impact Strength:

Izod Impact tests were performed according to ISO 180/A, with 2mm notched samples at room and -30° C. For the -30° C testing, all notched samples pre-conditioned at -30° C in a special temperature chamber. See table 2.

TABLE 2				
Test	Condition	Standard	UNIT	Result
Izod Impact Strength	Room Temperature	ISO 180/A	kJ/m ²	20
	at -30° C			6

2.1.5 Heat Deflection (HDT) and VICAT Softening:

Heat deflection temperature tests were carried out with Zwick/Roell HDT device according to ISO75-2, with 1.80MPa and samples were placed on edgewise. Also Vicat softening test was performed with same device according to ISO306/B50 with 5daN. See table 3 and 4.

TABLE 3				
Test	Condition	Standard	UNIT	Result
HDT	1,8MPa	ISO 75-2	C	54

TABLE 4				
Test	Condition	Standard	UNIT	Result
VICAT	5daN	ISO 306/B50	C	62

2.2 Evaluations:

As can be seen from the comparison table below (see table 5), the natural fibre filled material matches the fossil-based reference material in many respects. However, the Izod impact values and tensile elongation values do not match the values of the fossil-based material and remain below. Beside these three properties, all other test results seem to reach the reference fossil base properties.

| 280

TABLE 5					
Test	Condition	Standard	UNIT	Reference*	PP with 10% natural fibre
Specific Gravity	Room Temperature	ISO 1833	g/cm ³	0,95	0,93
Tensile Strength	Room Temperature	ISO 527	MPa	16	18
Tensile Elongation at Break	Room Temperature		%	40	20
Flexural Strength	Room Temperature	ISO 178	MPa	20	32
	at -30° C			50	90
Izod Impact Strength	Room Temperature	ISO 180/A	kJ/m ²	38	20
	at -30° C			13	6
HDT	1,8MPa	ISO 75-2	C	48	54
VICAT	5daN	ISO 306/B50	C	49	62

*: 10% mineral filled fossil based PP.

3. CONCLUSION

In this paper, it was investigated whether 10% natural fibre filled material meets the thermal and physical properties of fossil-based material. Although some decreases were observed based on the results, data were obtained that natural fibre materials can meet fossil-based materials in terms of thermal and physical properties with the development studies. Further activity is targeted on developing aesthetic properties and impact values of the PP with natural fibres according to exterior aesthetic mold in colour specific parts. Developing these properties will provide advantages in terms of widespread use of the material and advancing the green targets targeted by OEMs on a part basis.

4. REFERENCES

- https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en
- <https://www.stellantis.com/content/dam/stellantis-corporate/sustainability/csr-disclosure/stellantis/2022/Stellantis-2022-CSR-Report.pdf>
- Polypropylene Compounds for Automotive Applications; "SUMITOMO KAGAKU", vol. 2010-I ; Sumitomo Chemical Co., Ltd. Petrochemicals Research Laboratory Satoru MORITOMI Tsuyoshi WATANABE Susumu KANZAKI
- Bepari, Mousumi Rani & Afrin, Atmaza & Rahman, Md & rahman, Md. (2019). Mechanical Properties of Jute Fiber Reinforced Polypropylene Composite

Makale id= 65

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-8076-6799

| 281

Altıgen Chiral Auxetic Kafes Merkez Katmanlı Sandviç Plakanın Sıcaklığa Bağlı Mekanik ve Termal Malzeme Özelliklerinin Teorik Araştırması**Dr. Öğretim Üyesi Kerim Gökhan Aktaş¹, Prof.Dr. İsmail Esen¹**¹Karabük Üniversitesi

*Corresponding author: Kerim Gökhan Aktaş

Özet: Bu çalışma, altıgen chiral auxetic kafes merkez katmanından oluşan bir sandviç plaka yapısının mekanik ve termal özelliklerinin teorik bir incelemesini rapor etmektedir. Chiral kafes katman, iki izotropik yüzey plakası arasına sandviç edilmiştir. Chiral kafes merkez plakasının ve yüzey plakalarının malzemesi nikel olarak tanımlanmıştır. Sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri, hassas simülasyon sonuçları elde etmek için çok önemlidir. Bu nedenle nikelin malzeme özelliklerinin sıcaklıkla değiştiği kabul edilmiştir. Termal etkileri ayrıntılı olarak incelemek için, sandviç plakanın üst ve alt yüzeylerinden geniş bir aralıkta sıcaklık yükü uygulanmıştır. Sandviç altıgen chiral kafes plakanın elastisite modülü, Poisson oranı, yoğunluk, termal genleşme katsayısı ve termal iletkenlik katsayısı gibi termal ve mekanik özellikleri, chiral kafes plaka yapısının geometrik parametreleri ve sıcaklık etkisi ile araştırılmıştır. Analizlerden elde edilen verilere göre sandviç yapının termal ve mekanik özelliklerinin chiral kafesin geometrik parametrelerinden ve sıcaklıktan önemli ölçüde etkilendiği, ayrıca uygulama alanına göre bu parametrelerle istenilen mekanik ve termal özelliklere sahip sandviç yapıların tasarlanabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Auxetic; Altıgen Chiral Kafes; Sandviç Plaka; Nikel; Sıcaklık Yükü

Theoretical Research of Temperature-Dependent Mechanical and Thermal Material Properties of Hexagonal Chiral Auxetic Lattice Core Layered Sandwich Plate

Abstract: This study reports a theoretical investigation of the mechanical and thermal properties of a sandwich plate structure composed of a hexagonal chiral auxetic lattice core. The chiral lattice core is sandwiched between two isotropic surface plates. The material of the chiral lattice core plate and the surface plates is identified as nickel. Temperature-dependent material properties are essential for achieving precise simulation results. Therefore, the material properties of nickel are accepted to vary with temperature. In order to examine the thermal effects in detail, a large range of temperature load is applied from the top and bottom surfaces of the sandwich plate. The thermal and mechanical properties of the sandwich hexagonal chiral lattice plate such as modulus of elasticity, Poisson's ratio, density, coefficient of thermal expansion and coefficient of thermal conductivity are investigated with the geometrical parameters of the lattice core structure and the temperature effect. According to the data obtained from the analyses, it has been determined that the thermal and mechanical properties of the sandwich structure are significantly affected by the geometric parameters of the chiral lattice and temperature, and also that sandwich structures with desired mechanical and thermal properties can be designed with these parameters according to the application area.

Keywords: Auxetic; Hexagonal Chiral Lattice; Sandwich Plate; Nickel; Temperature Load

1. INTRODUCTION

Auxetic lattice structures, known for their negative Poisson's ratio, provide unique mechanical and thermal properties that enhance their applicability across various fields, including mechanical, biomedical and aerospace engineering. The negative Poisson's ratio of auxetic materials means that these

structures expand laterally when stretched and contract laterally when compressed. This behavior contributes to improved energy absorption and enhanced impact resistance compared to traditional materials, making them particularly valuable in lightweight, high-strength applications, such as protective gear and structural components. The effectiveness of auxetic structures in energy absorption is supported by several studies. Zhang et al. demonstrated that using auxetic lattices in footwear significantly increases the contact area with the ground, thereby improving comfort and reducing plantar pressure during ambulation, which is crucial for maintaining foot health (J. Zhang et al., 2024). In addition, Chen et al. (2023) emphasized the innovative use of auxetic composites in protective helmets, which exhibit exceptional energy absorption characteristics that help mitigate the risk of traumatic brain injuries. The re-entrant lattice, a specific configuration of auxetic structures, has been shown to effectively cushion impacts, surpassing the performance of traditional protective materials (M. Zhang et al., 2024).

Further investigations reveal the remarkable mechanical behavior of auxetic lattices under various loading conditions. Albertini et al. (2019) reported anisotropic effects of auxetic structures under compressive loading, where they exhibit a high relative shear modulus compared to conventional lattice materials. This property enhances their suitability as core materials in sandwich structures designed primarily for shear loading scenarios, improving structural engineering applications (Cheng et al., 2019). The integration of auxetic materials into sandwich beams has been shown to reduce stress concentrations and improve energy dissipation under load, crucial for crashworthiness in automotive applications (Usta et al., 2019). Thermal properties are another critical aspect of auxetic structures. Bronder et al. (2022) illustrated that these materials exhibit enhanced thermal shock resistance and higher fracture toughness, largely due to their unique geometrical configurations. The intricate connectivity in auxetic lattices, specifically chiral geometries, allows for improved thermal stability while maintaining lightweight characteristics desirable in aerospace and automotive sectors (Vasiliev & Pavlov, 2020). Structures made from polymeric and composite materials demonstrate promising thermal performance metrics without sacrificing mechanical integrity, enabling their application in environments subject to extreme thermal variations.

Research into the dynamic mechanical properties of auxetic lattices further supports their versatility. Hedayati et al. (2024) highlighted that auxetic structures not only perform well under static loading but also demonstrate remarkable resilience during dynamic loading events, vital for applications in sports and protective equipment. Furthermore, Tashkinov et al. (2023) explored the incorporation of fillers and reinforcements in auxetic lattices, which can enhance mechanical robustness while maintaining unique deformation characteristics. Xue et al. (2019) have studied aluminum-based auxetic lattice structures filled with polymers, which exhibited improved compressive mechanical properties, making them suitable candidates for high-performance engineering applications. Ongoing research aims to optimize the mechanical and thermal properties of auxetic lattices through innovative design and material configurations. The use of computational modeling and machine learning techniques can expedite the identification of optimal geometrical parameters for auxetic units, enhancing performance under specific conditions (Ullah et al., 2023). Additionally, recent advancements in additive manufacturing techniques allow for the precise fabrication of complex auxetic geometries, broadening their range of applications (Joseph et al., 2021).

The study of hexagonal chiral lattice beams and plates encompasses significant interest in their thermal and mechanical properties, owing to the intrinsic characteristics that arise from their geometric and topological configurations. Chiral materials exhibit unique behaviors, especially concerning elasticity, which is fundamentally tied to their lattice structures and interactions. In examining the mechanical response of hexagonal chiral lattices, studies have reported significant structural resilience, even under extreme conditions. For example, researchers observed that hybrid polyurethane foam-filled hyperbolic chiral lattice metamaterials exhibit remarkable compressive strength without sacrificing the material's ability to deform under stress (He et al., 2023). The dynamic behaviors exhibited by these lattices underline the importance of structural design in achieving desirable mechanical outcomes. The realization that a lattice's geometric configuration influences its response under mechanical loads supports a growing interest in employing such materials in the design of protective gear, biomedical implants, and other load-bearing applications.

Auxetic structures are a subject of continuous research as they are lightweight due to their porous structure, have good strength properties, and have excellent impact damping resistance due to their negative Poisson ratio. The design of new auxetic structures is in progress to model structures with optimum properties both mechanically and thermally. Here, one of the most important parameters is the design of lightweight structures without sacrificing stiffness and impact damping capabilities. Experimental and theoretical studies are required to investigate the mechanical and thermal properties of these designs. Experimental methods are a challenging process involving design, fabrication, testing, analysis, and assessment. In addition, the development of a mathematical model by obtaining equations expressing the theoretical mechanical and thermal properties of auxetic structures containing very complex geometries is a process that requires a theoretical background. Temperature fluctuations and thermal shocks significantly affect the material behavior of especially lightweight structures. In highly engineered land, sea, air and spacecraft applications, it is important to consider each environmental parameter. In this study, the variation of the mechanical and thermal parameters of a sandwich plate with a chiral lattice core layer with the geometric variables of the chiral structure and temperature loading is investigated. Through the analysis, some results on the variation of parameters such as modulus of elasticity, density, Poisson's ratio, coefficient of thermal expansion and coefficient of thermal conductivity are presented. The study is expected to contribute to the related literature in the theoretical aspect.

2. THEORETICAL FRAMEWORK

The structure presented in the study consists of a hexagonal auxetic chiral lattice core plate sandwiched between two isotropic plates as shown in Figure 1. Here, h_y denotes the thickness of the surface plates, while h_g denotes the thickness of the core plate. The bottom surface of the sandwich plate is denoted by $-h_g/2 - h_y$ with reference to the neutral axis of the sandwich plate, while the top surface is denoted by $h_g/2 + h_y$. The material of both the core plate and the surface plates is nickel. As depicted in Figure 2, the hexagonal chiral lattice layer geometry consists of circles of radius r and tangential ribs of length L connecting these circles. The distance between two circles is denoted by R , while the angle between the line connecting the circles and the ribs is denoted by β . Furthermore, the thickness of the circles is represented by t_c and the thickness of the ribs by t_r .

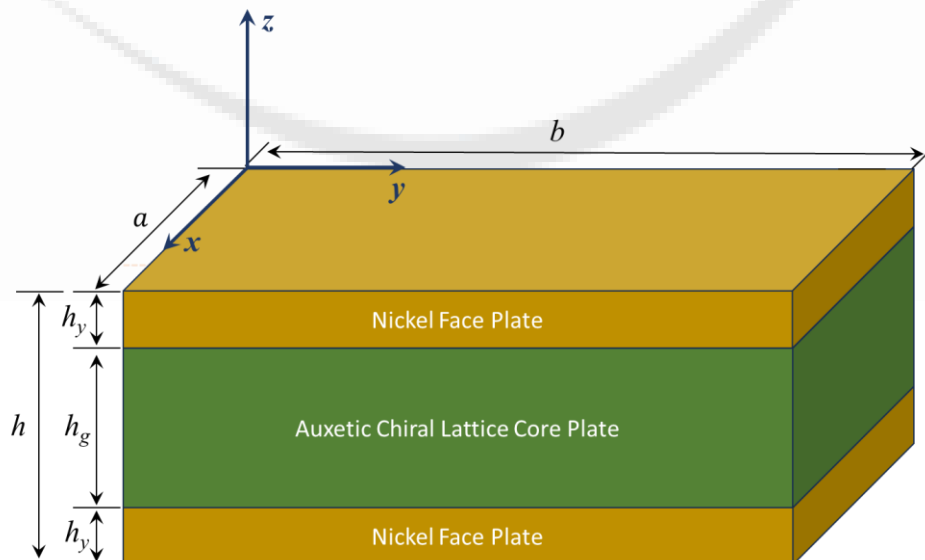


Figure 1. Illustration of a sandwich plate with a hexagonal chiral lattice core.

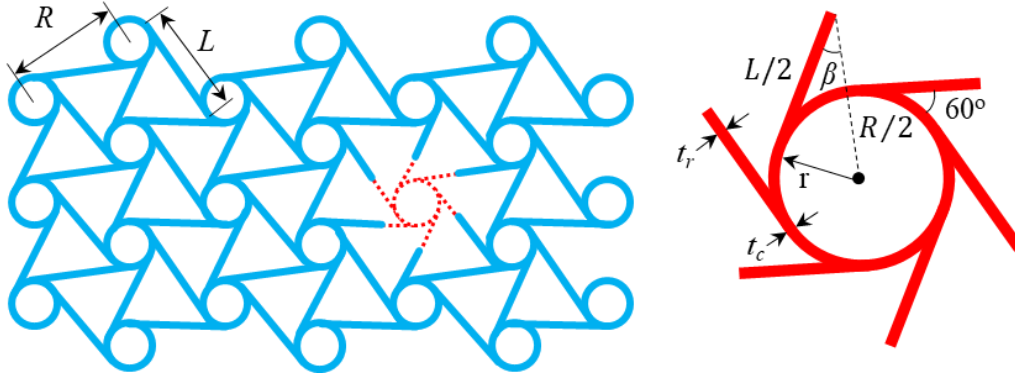


Figure 2. The structure of a hexagonal chiral lattice.

The constitutive laws of the hexagonal chiral lattice core plate can be written as follows (Spadoni & Ruzzene, 2012):

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{21} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} & D_{34} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D_{43} & D_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & D_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{23} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

The elastic constants in Equation (1) can be calculated as follows:

$$D_{11} = D_{22} = \frac{\sqrt{3}E_s t (t^4 - L^4) \cos^2 \beta + L^4 + 3L^2 t^2}{4L^3 (t^2 - L^2) \cos^2 \beta + L^2} \quad (2)$$

$$D_{12} = D_{21} = -\frac{\sqrt{3}E_s t L^4 \tan^2 \beta + t^4 - L^2 t^2 (1 + \tan^2 \beta)}{4L^3 L^2 \tan^2 \beta + t^2} \quad (3)$$

$$D_{33} = \frac{\sqrt{3}E_s t [L^4 2 \tan^2 \beta + L^2 R^2 + t^2 (2L^2 + R^2)]}{4L^3 R^2} \quad (4)$$

$$D_{34} = D_{43} = -\frac{\sqrt{3}E_s t [L^4 2 \tan^2 \beta - L^2 R^2 + t^2 (2L^2 - R^2)]}{4L^3 R^2} \quad (5)$$

$$D_{44} = \frac{\sqrt{3}E_s t [L^4 2 \tan^2 \beta + L^2 R^2 + t^2 (2L^2 + R^2)]}{4L^3 R^2} \quad (6)$$

$$D_{55} = D_{66} = \frac{\sqrt{3}E_s t}{12L} (3L^2 \tan^2 \beta + 4t^2) \quad (7)$$

Relative density of hexachiral auxetic lattice can be written as:

$$\rho_r = \frac{\rho_e}{\rho_m} = \frac{2\sqrt{3}(2\pi r t_c + 3L t_r)}{3R^2} \quad (8)$$

where ρ_e and ρ_m refer to the equivalent density of the lattice and the density of the material, respectively. The modulus of elasticity and Poisson's ratio can be determined using the assumption of plane deformations in classical elasticity as follows (Spadoni & Ruzzene, 2012):

$$E = \frac{4\sqrt{3}E_s [1 + (t/L)^2]}{[2(t/L)^4 \cos^2 \beta + 2\sin^2 \beta + 6(t/L)^2]} \left(\frac{t}{L}\right)^3 \quad (9)$$

$$v = \frac{4(t/L)^2}{(t/L)^4 \cos^2 \beta + 1 - \cos^2 \beta + 3(t/L)^2} - 1 \quad (10)$$

where $E = (D_{11}^2 - D_{12}^2)/D_{11}$ and $v_m = D_{12}/D_{11}$. Through the utilization of strain relations, it is possible to compute the thermal expansion coefficient of the hexachiral lattice in the following manner (Prall & Lakes, 1997):

$$\alpha_{11} = \frac{r}{\left(4R_0 \sqrt{1 + \left(\frac{2r}{L}\right)^2}\right)} \quad (11)$$

in which

$$R_o = \frac{L(1 + \alpha_s)}{\left(4 \arccos\left(\frac{1}{1 + \alpha_s}\right) \frac{\pi}{180}\right)} \quad (12)$$

The temperature dependent mechanical and thermal properties of FGM plate components are obtained by Equation 5 (Reddy & Chin, 1998; Touloukian, 1967).

$$P = P_0(P_{-1}T^{-1} + 1 + P_1T + P_2T^2 + P_3T^3) \quad (13)$$

Parameters relevant to the material characteristics of nickel that are dependent upon temperature include P_0 , P_{-1} , P_1 , P_2 and P_3 . The temperature of a sandwich plate, which is initially at a reference temperature

T_0 , is gradually increased until it reaches a final value T . The change in temperature is denoted by the equation $\Delta T = T - T_0$. The temperature-dependent mechanical and thermal properties of nickel are given in Table 1.

Table 1. Temperature-dependent material properties (Reddy & Chin, 1998).

Material	Properties	P_{-1}	P_0	P_1	P_2	P_3
Nickel	E (Pa)	0	223.95×10^9	-2.794×10^{-4}	3.998×10^{-9}	0
	ν	0	0.31	0	0	0
	α ($1K^{-1}$)	0	9.9209×10^{-6}	8.7050×10^{-4}	0	0
	κ (W/mK)	0	58.754	-4.614×10^{-4}	6.670×10^{-7}	-1.523×10^{-10}
	ρ (kg/m^3)	0	8908	0	0	0

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

In this section, the effect of hexagonal chiral lattice structure geometry and temperature increase on the mechanical and thermal properties of the presented sandwich plate is investigated. In the study, t/R is defined as the thickness ratio and L/R is defined as the length ratio. In addition, for convenience, the length ratio is symbolized as $\Lambda = L/R$ and the thickness ratio is symbolized as $\Omega = t/R$. The dimensions of the plate are $a=0.6$ m, $b=a$, $h=a/10$, $h_g=0.7h$, $h_y=0.15h$, distance between lattice circles $R=0.05h_g$, radius of the circles $r=3t$. In the analysis, the temperature increase (ΔT) is applied in the range of 0-1500 K. In each analysis, $\Lambda=0.7$ for Figure b and $\Omega=0.03$ for Figure c are taken as constant values.

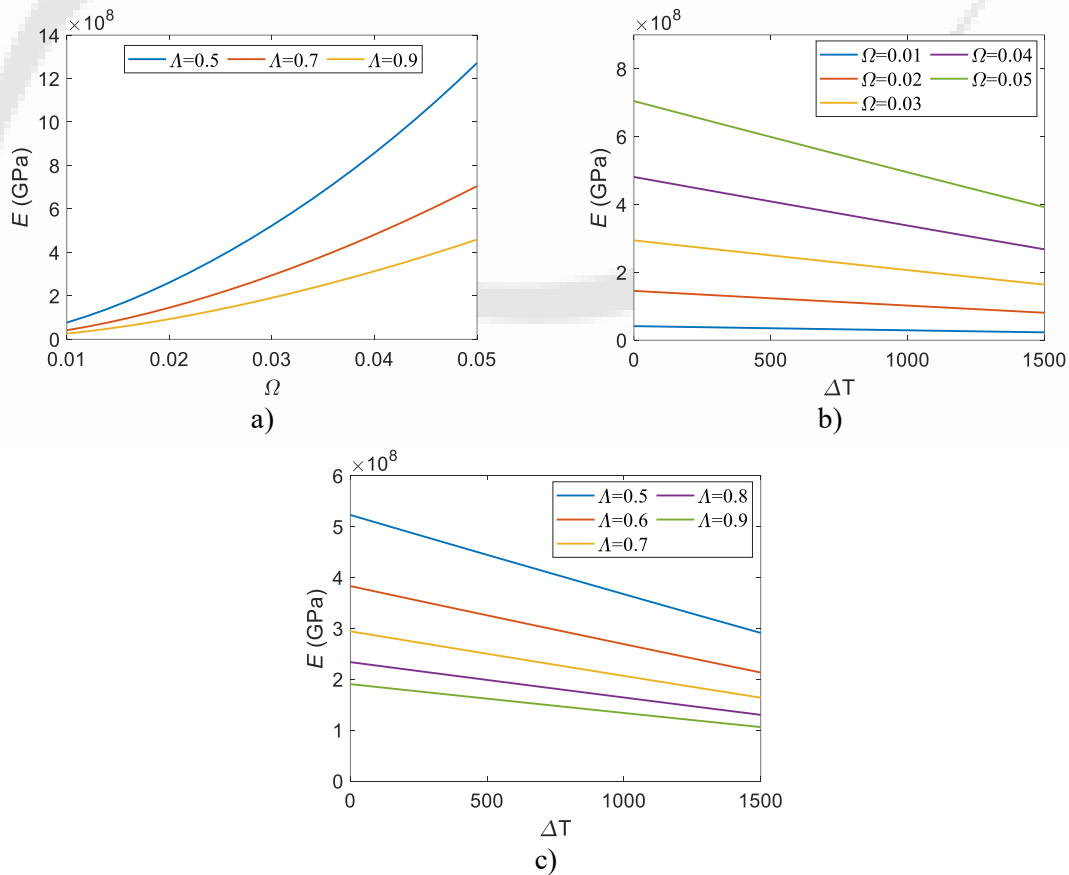


Figure 3. Variation of modulus of elasticity with respect to Λ , Ω and ΔT .

Figure 3 shows the variation of the modulus of elasticity of the chiral plate with respect to Λ , Ω and ΔT . As shown in Figure 3a, the modulus of elasticity values decrease with increasing Λ . When the modulus of elasticity values are compared from the graph for $\Omega=0.03$, it is obtained that the E value is 5.22×10^8 Pa for $\Lambda=0.5$, 2.94×10^8 Pa for $\Lambda=0.7$ and 1.90×10^8 Pa for $\Lambda=0.9$. In other words, the decrease between the highest value and the lowest value is determined to be approximately 63.60%. As shown in Figure 3b, an increase in the modulus of elasticity values is observed with increasing Ω . At $\Delta T=500$ K, the modulus of elasticity values for $\Omega=0.01$ and $\Omega=0.05$ are 3.51×10^7 Pa and 5.99×10^8 Pa, respectively. In addition, as observed from the figure, E values decrease significantly with increasing temperature. This decrease is found to be approximately 44.38% in the $\Omega=0.05$ curve in the $\Delta T=0$ K-1500 K range. The effect of Λ and ΔT on the modulus of elasticity is shown more clearly in Figure 3c. At $\Delta T=500$ K, the modulus of elasticity values for $\Lambda=0.9$ and $\Lambda=0.5$ are obtained as 1.61×10^8 Pa and 4.44×10^8 Pa, respectively. That is, there is a 63.73% increase between the highest and lowest values of Λ .

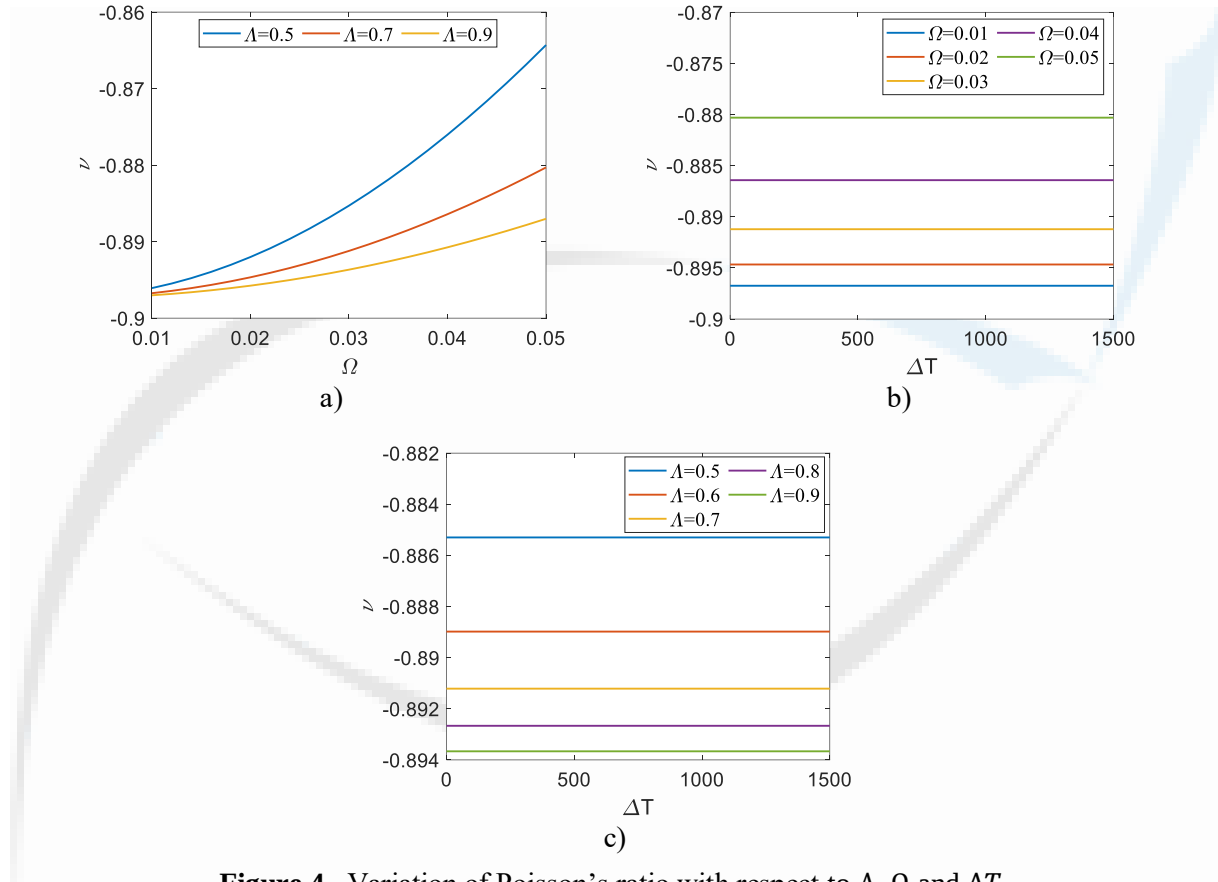


Figure 4. Variation of Poisson's ratio with respect to Λ , Ω and ΔT .

Figure 4 illustrates the variation of Poisson's ratio values of the chiral plate with respect to Λ , Ω and ΔT . As indicated in Figure 4a, Poisson's ratio values increase with increasing Λ . When the ν values are compared from the figure for $\Omega=0.03$, -0.885 value for $\Lambda=0.5$, -0.891 value for $\Lambda=0.7$ and -0.893 value for $\Lambda=0.9$ are obtained. As presented in Figure 4b, a decrease in Poisson's ratio values is observed with increasing Ω . At $\Delta T=500$ K, Poisson's ratio values for $\Omega=0.01$ and $\Omega=0.05$ are -0.896 and -0.880, respectively. In addition, as shown in the figure, there is no change in ν values with increasing temperature value. The reason for this is that Poisson's ratio values of nickel do not change with temperature for this study as given in Table 1. The effect of Λ on the Poisson's ratio is depicted more clearly in Figure 4c. At $\Delta T=500$ K, Poisson's ratio values for $\Lambda=0.9$ and $\Lambda=0.5$ are -0.893 and -0.885, respectively.

The change in the density values of the hexagonal chiral lattice plate according to Λ , Ω and ΔT is depicted in Figure 5. As demonstrated in Figure 5a, the density values of the plate increase with increasing Λ . When ρ values are evaluated from the figure for $\Omega=0.03$, density values of 636.8 kg/m³ for $\Lambda=0.5$, 821.783 kg/m³ for $\Lambda=0.7$ and 1006.77 kg/m³ for $\Lambda=0.9$ are obtained. In other words, the increase in density value for $\Lambda=0.5$ and $\Lambda=0.9$ values are found to be approximately 58.09%. As shown in Figure 5b, the density values increase significantly with increasing Ω . For $\Delta T=500$ K, the density values for $\Omega=0.01$ and $\Omega=0.05$ are 235.85 kg/m³ and 1563.35 kg/m³, respectively. For these values, an increase of approximately 562.58% is observed. In addition, as observed from the figure, there is no change in ρ values with rising temperature value. The explanation for this is that the ρ values of nickel do not change with temperature for this study as given in Table 1.

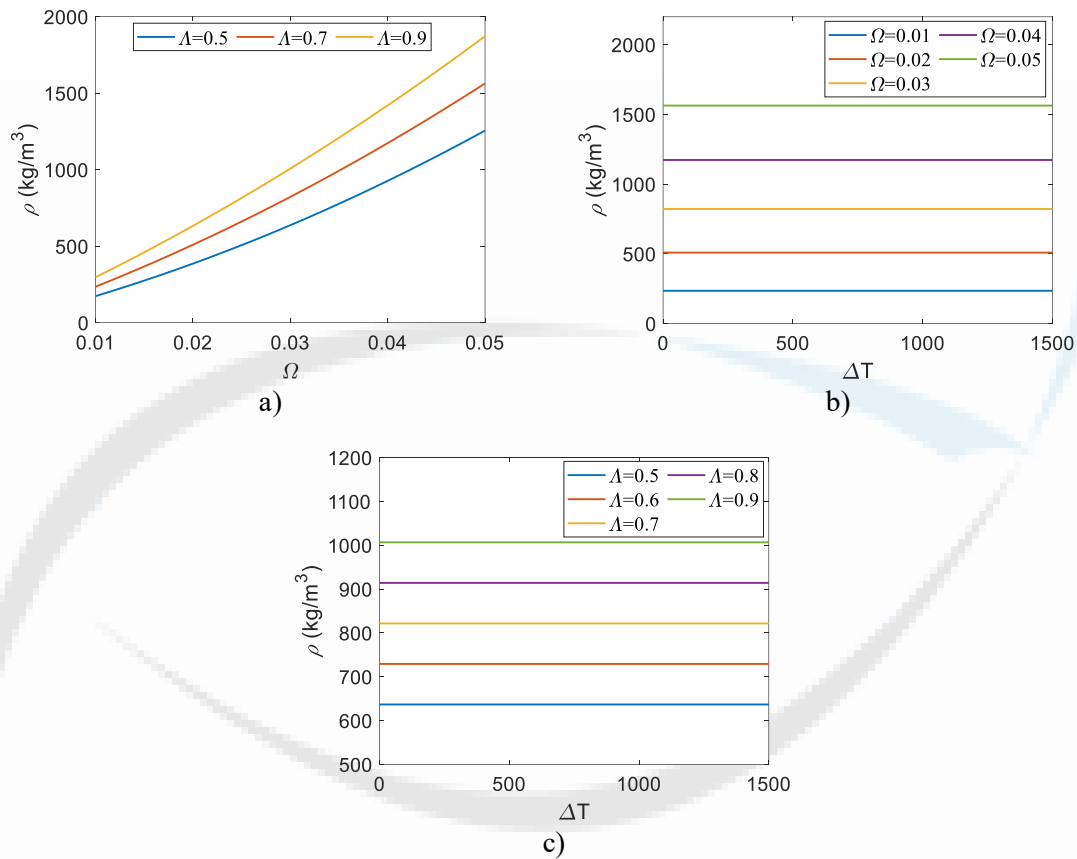


Figure 5. Variation of density with respect to Λ , Ω and ΔT .

The variation of the thermal expansion coefficient of a hexagonal chiral lattice plate according to the parameters Λ , Ω and ΔT is depicted in Figure 6. As shown in the figure, the coefficient of thermal expansion decreases with an increasing length ratio. For a constant value of thickness ratio of 0.03, the maximum and minimum values of the coefficient of thermal expansion are 8.4×10^{-4} 1/K and 4.9×10^{-4} 1/K, respectively. It is also observed that the coefficient of thermal expansion is less affected by Λ at small values of Ω but more affected at higher values of Ω . Figure 6b shows that the coefficient of thermal expansion increases with both Ω and ΔT . At constant $\Delta T=500$ K, when the thermal expansion coefficients for the maximum and minimum values of Ω are examined, it is found that the maximum value is 11.57×10^{-4} 1/K and the minimum value is 2.47×10^{-4} 1/K. When the thermal expansion coefficients for the maximum and minimum values of Ω at constant $\Delta T=500$ K are analyzed, it is found that the maximum value is 11.57×10^{-4} 1/K and the minimum value is 2.47×10^{-4} 1/K. From Figure 6c, it is determined that the maximum and minimum values of the thermal expansion coefficients at constant $\Delta T=500$ K are 9.82×10^{-4} 1/K and 5.68×10^{-4} 1/K, respectively.

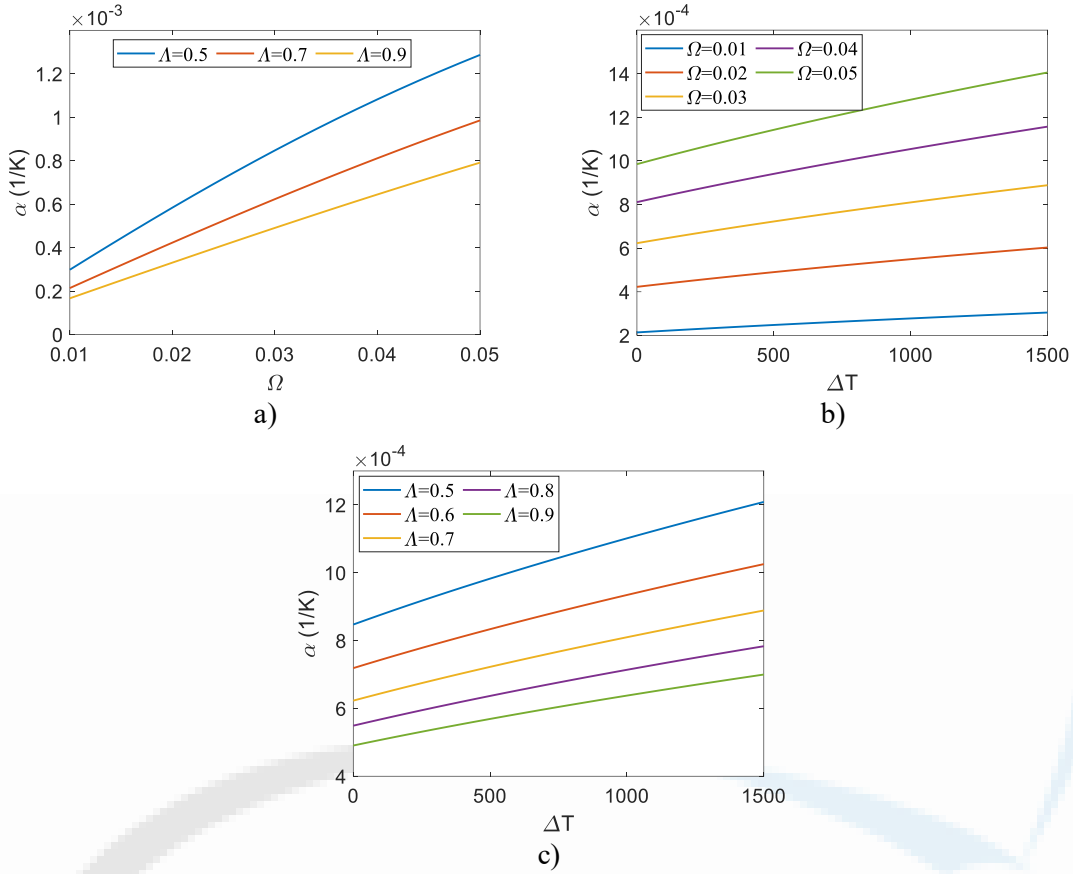
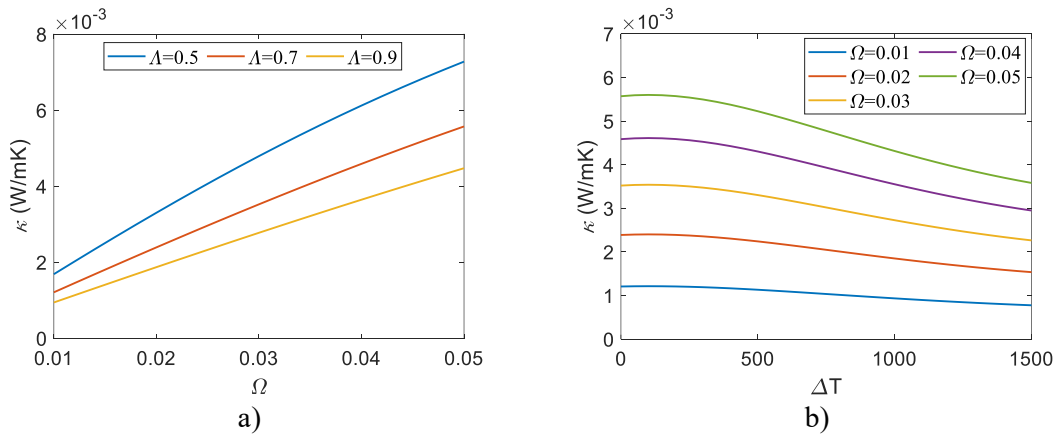


Figure 6. Variation of thermal expansion coefficient with respect to Λ , Ω and ΔT .

Figure 7 displays the behavior of the thermal conductivity coefficient of the chiral lattice plate with respect to the parameters Λ , Ω and ΔT . As plotted in Figure 7a, the thermal conductivity coefficient decreases significantly with increasing Λ . For a constant value of thickness ratio of 0.03, the maximum and minimum values of the thermal conductivity coefficient are 4.79×10^{-3} W/mK and 2.77×10^{-3} W/mK, respectively. It is also found that the thermal conductivity coefficient is less influenced by Λ at small values of Ω , but it is more influenced at large values of Ω . As shown in Figure 6b, the thermal conductivity coefficient increases with increasing Ω and decreases nonlinearly with increasing ΔT . When the thermal conductivity coefficients are analyzed for the maximum and minimum values of Ω at constant $\Delta T = 500$ K, the maximum value is 5.2×10^{-3} W/mK and the minimum value is 1.13×10^{-3} W/mK. From Figure 6c, the maximum and minimum values of the thermal expansion coefficients at constant $\Delta T = 500$ K are 4.49×10^{-3} W/mK and 2.60×10^{-3} W/mK, respectively.



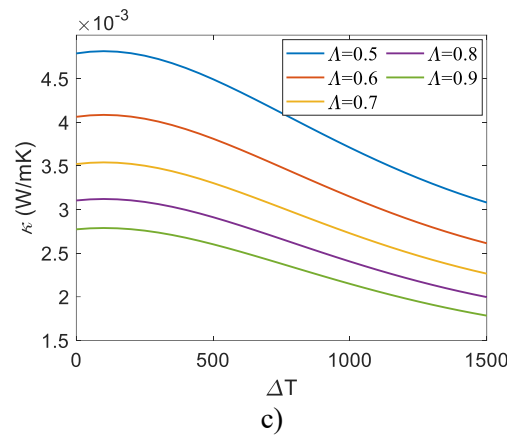


Figure 7. Variation of thermal conductivity coefficient with respect to Λ , Ω and ΔT .

4. CONCLUSIONS

The aim of this study is to establish a theoretical model in which the mechanical and thermal properties of hexagonal chiral lattice structures can be examined with parameters such as length ratio, thickness ratio and temperature increase. Since auxetic structures have a porous structure, they can be significantly affected by thermal fluctuations according to their application areas. For this reason, the temperature-dependent properties of the specified nickel material are taken into account and included in the calculations. The thermal and mechanical properties of the sandwich hexagonal chiral lattice plate such as modulus of elasticity, Poisson's ratio, density, coefficient of thermal expansion and coefficient of thermal conductivity are investigated with the geometrical parameters of the chiral lattice plate structure and temperature effect. According to the analysis, some findings are obtained. It is revealed that the modulus of elasticity decreases with increasing length ratio Λ , increases significantly with increasing thickness ratio Ω and decreases significantly with increasing ΔT . Poisson's ratio of the plate is found to increase with increasing Λ but decreases with increasing thickness ratio Ω . Density values are found to increase both with increasing Λ and with increasing Ω . The coefficient of thermal expansion of the plate increases with increasing Ω and ΔT , but decreases with increasing Λ . In addition, the thermal conductivity coefficient increases with increasing Λ and ΔT , but decreases significantly with increasing Ω . It is expected that the obtained analysis results and the method followed will contribute to the theoretical investigation of thermal and mechanical properties of auxetic structures.

REFERENCES

- Albertini, F., Dirrenberger, J., Molotnikov, A., & Sollogoub, C. (2019). Computational Investigation of the Effective Mechanical Behavior for 3D Pre-Buckled Auxetic Lattices. *Journal of Applied Mechanics*, 86(11), 111003. <https://doi.org/10.1115/1.4044542>
- Bronder, S., Herter, F., Röhrig, A., Bähre, D., & Jung, A. (2022). Design Study for Multifunctional 3D Re-entrant Auxetics. *Advanced Engineering Materials*, 24(1), 2100816. <https://doi.org/10.1002/adem.202100816>
- Chen, Z., Li, J., Wu, B., Chen, X., Ren, X., & Xie, Y. M. (2023). A novel bio-inspired helmet with auxetic lattice liners for mitigating traumatic brain injury. *Smart Materials and Structures*, 32(10), 105020. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/acf62e>
- Cheng, H. C., Scarpa, F., Panzera, T. H., Farrow, I., & Peng, H.-X. (2019). Shear Stiffness and Energy Absorption of Auxetic Open Cell Foams as Sandwich Cores. *Physica Status Solidi (B)*, 256(1), 1800411. <https://doi.org/10.1002/pssb.201800411>
- He, Q., Hou, Y., Li, X., Li, S., & Meng, L. (2023). Investigation on the Compressive Behavior of Hybrid Polyurethane (PU)-Foam-Filled Hyperbolic Chiral Lattice Metamaterial. *Polymers*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/polym15092030>

- Hedayati, R., Alavi, M., & Sadighi, M. (2024). Effect of Degradation of Polylactic Acid (PLA) on Dynamic Mechanical Response of 3D Printed Lattice Structures. *Materials*, 17(15). <https://doi.org/10.3390/ma17153674>
- Joseph, A., Mahesh, V., & Harursampath, D. (2021). On the application of additive manufacturing methods for auxetic structures: a review. *Advances in Manufacturing*, 9(3), 342–368. <https://doi.org/10.1007/s40436-021-00357-y>
- Prall, D., & Lakes, R. S. (1997). Properties of a chiral honeycomb with a Poisson's ratio of — 1. *International Journal of Mechanical Sciences*, 39(3), 305–314. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0020-7403\(96\)00025-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0020-7403(96)00025-2)
- Reddy, J. N., & Chin, C. D. (1998). Thermomechanical analysis of functionally graded cylinders and plates. *Journal of Thermal Stresses*, 21(6), 593–626. <https://doi.org/10.1080/01495739808956165>
- Spadoni, A., & Ruzzene, M. (2012). Elasto-static micropolar behavior of a chiral auxetic lattice. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 60(1), 156–171. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmps.2011.09.012>
- Tashkinov, M., Tarasova, A., Vindokurov, I., & Silberschmidt, V. V. (2023). Composites with Re-Entrant Lattice: Effect of Filler on Auxetic Behaviour. *Polymers*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/polym15204076>
- Touloukian, Y. S. (1967). Thermophysical properties of high temperature solid materials. Macmillan.
- Ullah, T., Hussain, M., Ali, M., & Umair, M. (2023). Impact of auxeticity on mechanical properties of 3D woven auxetic reinforced thermoplastic composites. *Polymer Composites*, 44(2), 897–906. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pc.27141>
- Usta, F., Ertaş, O. F., Atalp, A., Türkmen, H. S., Kazancı, Z., & Scarpa, F. (2019). Impact behavior of triggered and non-triggered crash tubes with auxetic lattices. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design*, 2(2), 119–127. <https://doi.org/10.1007/s41939-018-00040-z>
- Vasiliev, A. A., & Pavlov, I. S. (2020). Auxetic Properties of Chiral Hexagonal Cosserat Lattices Composed of Finite-Sized Particles. *Physica Status Solidi (B)*, 257(3), 1900389. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pssb.201900389>
- Xue, Y., Wang, W., & Han, F. (2019). Enhanced compressive mechanical properties of aluminum based auxetic lattice structures filled with polymers. *Composites Part B: Engineering*, 171, 183–191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.002>
- Zhang, J., Lu, S., Yang, Y., Liu, Y., Guo, Y., & Wang, H. (2024). Efficacy of auxetic lattice structured shoe sole in advancing footwear comfort—From the perspective of plantar pressure and contact area. *Frontiers in Public Health*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1412518>
- Zhang, M., Li, K., Ho, M. M. P., Etemadi, E., & Hu, H. (2024). Low-velocity impact response of 3D carbon fiber reinforced polymer auxetic lattice structures. *Polymer Composites*, 45(8), 7191–7204. <https://doi.org/10.1002/pc.28259>

Makale id= 72

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-2084-4465

| 292

Farklı Parlaklık Değerlerine Sahip Lazer Desenli Plastik Alaşımın Çizilme Performansı

Araştırmacı Berna Yayıcı¹, Araştırmacı Burcu Gül¹, Araştırmacı Gonca Ünal¹
¹TOFAŞ

*Corresponding author: Berna Yayıcı

Özet: Otomotiv sektöründe müşteri algısı sadece dokunma ile değil görsellik de yakalanır. Bu görseller parçaların renklerinden, boyalarından ve parlaklığından etkilenir. Özellikle iç trim parçalarında müşteri algısında uyum için bu görseller büyük önem taşır. Bu uyum sadece bu değerlerle değil aynı zamanda malzemelerle de yakalanmalıdır. Her malzemenin hem malzeme hem de görsellik açısından tek bir çatı altında bir araya gelmesi her zaman kolay değildir. Ancak bazı durumlarda bu hedefe özel koşullarla ulaşılabilir. Bu katı koşullar, çizilme anlamında malzeme performanslarını da sınırlayabilir. Bu çalışma, farklı parlaklık seviyelerinin otomotiv bileşenlerinin çizilme direnci üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu çalışmada, boya reddi olan bir bileşen için alternatif bir çözüm olarak lazer tanecığı değerlendirilmiştir. Aracın çok görüntür bölgelerinde kullanılacak lazer dokusunun fiziksel performansını değerlendirmek çok önemlidir. Deneyisel analiz, çizik testinden önce ve sonra ölçülen bileşenlerin değişen parlaklık seviyeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çizilme Performansı, Lazer Desen, Parlaklık, Renk, Plastik Alaşımları, Polikarbonat, Akrilonitril Bütadien Stiren, Boya Giderme,

Laser Grain Plastic Alloy With Different Gloss Values Scratch Performance

Abstract: In the automotive industry, customer perception is captured not only by touch but also by visibility. These visuals are affected by the colors, paints and gloss of the parts. Especially, these visuals are of great importance for harmonization in customer perception, especially in interior trim parts. This harmonization should be captured not only with these values but also with materials. It is not always easy for every material to come together under one roof for both material and visibility. But in some cases, this target can be achieved with special conditions. These strict conditions may also limit the material performances in meaning of scratch. This study investigates the impact of different gloss levels on the scratch resistance of automotive components. In this study, a laser grain was evaluated as an alternative solution for a component with paint rejection. It is crucial to evaluate the physical performance of the laser texture to be used in highly visible areas of the vehicle. Experimental analysis was conducted using with varying gloss levels of components were measured before and after the scratch test.

Keywords: Color and Finish, Scratch Performance, Laser Grain, Gloss, Color, Plastic Alloys, Polycarbonate, Acrylonitrile Butadiene Styrene, Paint Elimination,

1. INTRODUCTION

Design criteria, material, color, and gloss are fundamental factors that significantly influence the customers in the automotive industry. Paint rejection is preferred for many interior trim components, and textures are used instead of paint application since paint increases the cost of the parts nowadays. Therefore, grained parts play a significant role in many areas of interior trim. Especially, laser grain is a very popular choice in the style side of brands, as it gives the appearance of paint and it has crucial feature in the high traffic area chiefly in automobiles. Usage of these materials is mostly in the automotive design areas such as IP cluster, central console, instrument panel, etc. Their aesthetics and

perception impacts are of great importance in the inside area. This experiment was conducted to examine the impact of different gloss levels on the scratch resistance of automotive components.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1.1. Material Selection

Many different polymer materials are used in the automotive sector. These polymer materials can be filled, unfilled or alloyed depending on the physical, thermal and aesthetic properties that the part they will be used in must meet. The material discussed and examined in this paper is a plastic alloy. This alloy is obtained by compounding two main polymer materials together in an appropriate manner. The mentioned material can be used in painted parts as well as molded in colour. This material, designed to be used for paint elimination, is a mixture of polycarbonate and acrylonitrile butadiene styrene materials, PC/ABS.

2.1.2. Definition of Gloss Unit

Gloss means light reflection on the surface. It specifies how shiny or matte a plate surface is. If the surface is shinier, it demonstrates a high gloss value, while a low gloss value indicates that the component is more matte. Texture depth and surface structure are key factors and they affect the gloss results. Gloss level is a fundamental element due to the evaluation of colour and material surface analysis.

Flat surface is more significant for accurate gloss measurement. Texture depth and surface structure are critic agents on variances of gloss level, as the texture depth can increase or decrease the impact of colour and perceived gloss. A smooth surface increases gloss level as this feature causes light to reflect directly. If the angles of the incoming rays match the angle of reflection, rays hitting the surface parallel to each other will reflect in parallel as well. A rougher surface reduces light refraction and makes it more irregular and diffusing. It means negatively affecting the gloss variation [1].

2.1.3. Definition of Laser Engraving

Laser engraving is the process of applying textures to the materials. The laser beam enables the processing of perfect, good quality, and detailed grains. This technology can process textures much faster than chemical engraving methods. Laser texturing provides numerous features, such as multiple gloss levels, haptic touch features, the elimination of paint, and optimized scratch performance. Laser engraving is commonly used in interior design especially. The laser beam is used to engrave the grain on the specified area. The laser burns the surface of the material and applies the desired texture. This is particularly important for textures that require complex design.

2.1.4. Gloss Measurement Devices

The most commonly used device is the Erichsen Picogloss 560 MC, and measurements can be taken at either 20, 60 or 85 degrees. High gloss measurements are taken at 20 degrees, medium gloss at 60 degrees, and low gloss at 85 degrees as well. 60 degrees is typically used for grained plastic components.



Figure 1. Erichsen Picogloss 560 MC Gloss Measurement Device [2]

2.1.5. Scratch Resistance Test Device:

For the scratch resistance test, the Erichsen 430 P-I device [Figure 2] is used. Testing can be performed with this device under different loads with different apparatus. In this paper, a 5N load was used during the test.



Figure 2. Erichsen Scratch Hardness Tester 430 P [3]

3. MEASUREMENTS:

Scratch resistance test was performed to determine the scratch performance of the different glossed molded – in- colour PC/ABS Materials. For the evaluations of the results glosses of the samples measured before and after test. All scratch tests were performed with 5N load with Erichsen Scratch Hardness Tester. All measurements and evaluations were indicated in next paragraphs.

Tests were performed on 1 main sample containing 6 different gloss values. The plate was divided into 3 main regions according to gloss levels, which are, low gloss area - LG, medium gloss region – MG, and finally high gloss region - HG[Figure 3]. Gloss measurements were made for all regions before and after the test, see table 1.

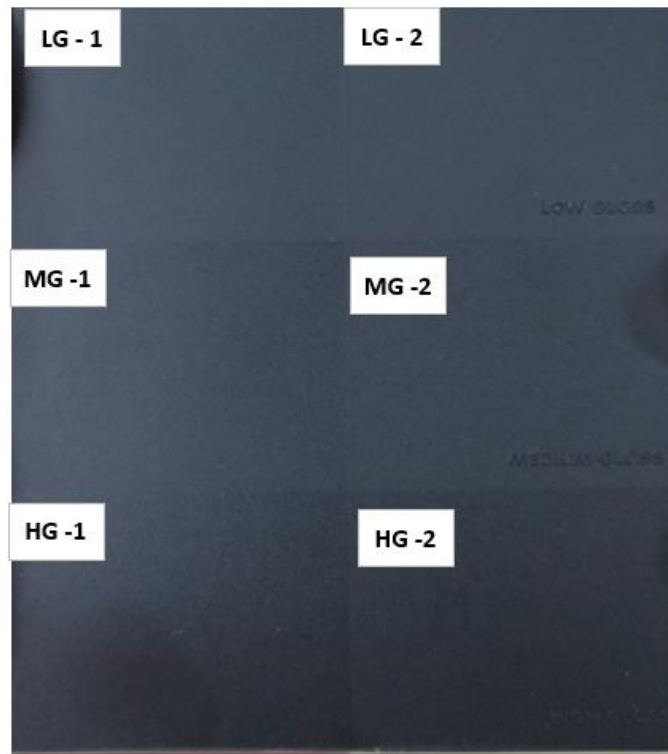


Figure 3. Main Sample with 3 different gloss zones and 6 different gloss values

Measured Gloss Values (Unit: Gloss Unit - GU)			
Regions	Before Test	After Test	Delta Gloss
LG - 1	2,65	3,49	0,84
LG - 2	1,88	3,18	1,3
MG - 1	2,93	3,63	0,7
MG - 2	2,21	3,21	1
HG - 1	2,95	3,38	0,43
HG - 2	2,52	3,49	0,97

Table 1. All regions' before and after gloss values

4. CONCLUSION

The materials to be used must have scratch resistance at the levels determined by the automotive interior aesthetic part requirements. This scratch resistance varies depending on the material itself, its additives, the main polymer colour and gloss. In this report, it was observed that the scratch resistances of PC/ABS materials with the same main polymer, but different glosses also differ. After the scratch resistance test, the obtained gloss value should be within the tolerance range of the interior trim according to the specification. Plates that provide the required values are allowed for use in the interior side of the vehicle. Laser grain is mostly used for paint elimination in interior design since laser texturing provides several gloss levels, haptic touch properties, and optimized scratch performance.

REFERENCES

- [1] Kaynak, B. ve Bacıoğlu, A. (2025 February 27). *FİZ201" DALGALAR LABORATUVARI*. Hacettepe Üniversitesi. <https://yunus.hacettepe.edu.tr/~bacioglu/Dersler/FI%CC%87Z201/fiz201ders2b.pdf>
- [2] Erichsen GmbH&Co. KG (2025 Şubat 27). *Gloss, Colour, Brightness, Surface Testing*. Erichsen. <https://www.erichsen.de/en-gb/products/surface-testing/gloss-color-brightness-surface-testing>
- [3] *Scratch hardness tester 430 p-smart*. ERICHSEN. (n.d.). <https://www.erichsen.de/en-gb/products/surface-testing/adhesion-impact-and-elasticity-testing/cross-hatch-cutting-and-adhesion-testing/cross-hatch-cutting-and-adhesion-testing-6/scratch-hardness-tester-430-p-1>

Makale id= 87

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-0860-1498

296

Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hastanelerinde İyileştirici Bahçe Tasarımlarının Önem ve Gerekliliği**Doç.Dr. Nermin Merve Yalçınkaya¹**¹Çukurova Üniversitesi

Özet: İyileştirici bahçeler, tarih boyunca farklı kültürlerde benzer örneklerine rastlanan tematik bahçelerdir. Temel tasarım ilkeleri yönünden doğa ile insanların etkileşimini ve bağıni güçlendirmeyi amaçlaması nedeniyle biyofilik tasarım anlayışına benzer bir yaklaşımdır. En temel ifadeyle, hedef bir kitlenin iyi olma halini önceleyen iyileştirici bahçeler; fiziksel, zihinsel ve/veya psikolojik gereksinimlere yönelik tasarlanabilir. Ruh sağlığına ilişkin sorunlar yaşayan kişilerin, tıbbi ve/veya psikolojik destek gerektiren bu sorunlar ile başa çıkma sürecinde fiziksel araçların etkinliği de kanıtlanan gerçekliktir. Bu hasta grubunun gereksinim duydukları motivasyon, tedavi süreçlerini ve genel yaşam kalitelerini iyileştirebilmeyi destekleyecektir. Ruhsal hastalıkların, kişinin duygusal, psikolojik ve sosyal durumu üzerinde aktör niteliği taşıması nedeniyle, bu hasta grubunun motivasyonel gereksinimleri de spesifik bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Doğa ile iç içe olma hissinin desteklenmesi, söz konusu tedavi süreçlerine yardımcı bir motivasyon aracı olarak düşünülebilir. Bahçe ortamının, doğal ışık, kirlilikten uzak kaliteli hava koşulları, bitkisel material, doğal yapı materyalleri vb. unsurlara yer vererek tasarlanması ile bu amaç sağlanabilir. Bu çalışmada, araştırma alanı olarak Adana Dr. Ekrem Tok Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hastanesi seçilmiştir. Çalışma, hastane bünyesinde yer alacak bir iyileştirici bahçe varlığının hasta, hasta yakını ya da sağlık çalışanları üzerindeki olumlu etkisinden yola çıkarak hazırlanmıştır. Hedef kitle özelinde belirlenen tasarım ölçütleri ve tasarım süreci hasta gruplarının iyileşme süreçlerinin desteklenmesi, sağlık çalışanlarının ise yaşam kalitelerinin ve çalışma veriminin artırılmasına yönelik bir araç olarak sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sağlık Merkezlerinde Biyofilik Tasarım, Ruh Sağlığı Hastaları, Rehabilitasyon Süreçleri, Türkiye

The Necessity and Importance of Healing Garden Designs in Psychiatric Hospitals

Abstract: Healing gardens are thematic gardens that have similar forms in different societies all over history. In terms of fundamental design principles, it is an approach similar to the biophilic design approach as it aims to reinforce the interaction and relationship between nature and people. Prioritising the well-being of a target group, healing gardens can be designed for physical, mental and/or psychological needs. The effectiveness of physical instruments in the process of coping with these problems, which demand medical and/or psychological support, is a proven factor for people with mental health problems. The motivation needed by this patient group will support their healing process and improve their overall quality of life. Since mental illnesses are actors on the emotional, psychological and social status of the person, the motivational needs of this patient group need to be considered with a specific approach. Supporting the feeling of being surrounded by nature can be considered as a motivational tool that supports the therapy processes in mentioned one. This purpose can be achieved by designing the garden atmosphere by including factors such as natural light, quality air conditions away from pollution, plant material, natural structural materials, etc. In this study, Adana Dr. Ekrem Tok Mental Health and Diseases Hospital was selected as the research area. The study was prepared based on the positive effect of the existence of a healing garden within the hospital on patients, their relatives or healthcare staff. The design criteria and design process determined specifically for the target groups are presented as a means to support the healing processes of patient groups and to increase the quality of life and working efficiency of healthcare staff.

Keywords: Biophilic Design in Medical Facilities, Psychiatric Patients, Rehabilitation Processes, Türkiye

GİRİŞ

İyileştirici bahçeler, bir yaklaşım olarak, farklı coğrafyalarda örnekleri görülen tematik bahçelerdir. Kültürlerin tarihsel süreçteki yönelimleri arasında bahçelerden şifa bulma eğilimine rastlanmaktadır. İyileştirici bahçe kavramının ortaya çıkışı ve ilk uygulamaların gerçekleştirilmesinde, doğa ile uyum sağlama amacı, bireylerin karşılaştığı zorlu süreçlerin yol açtığı psikolojik ve mental sorunlarla başa çıkma çabalarını etkileyen önemli bir faktör olmuştur (McDowell ve McDowell, 1998; Marcus ve Barnes, 1999; Hickman, 2013; Yalçinkaya, 2021; Yalçinkaya, 2024).

Farklı bilimsel araştırmalar göstermektedir ki; doğal çevrenin insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri çok boyutludur; bitki kompozisyonlarının farklı renk, doku, koku vb. özelliklerinin kullanıcılar üzerinde pek çok olumlu etkisi bulunmaktadır. Doğa deneyimlerinden edinilen kazanımlar sosyal, fiziksel, duygusal, entelektüel, davranışsal, bilişsel vb. olmak üzere çok boyutlu bir yapıya sahiptir (Ulrich, 1979; Uslu ve Shakouri, 2012; Yalçinkaya, 2021; Harries ve ark., 2024; Kim ve ark., 2024).

İyileştirici bahçelerle ilgili ilk profesyonel kuruluş, 1973 yılında kurulan Bitki Yetiştiriciliği ile Tedavi ve Rehabilitasyon Ulusal Konseyi'dir. Günümüzde Amerikan Bitki Yetiştiriciliği Terapisi Derneği (American Horticultural Therapy Association - AHTA) adıyla bilinen bu kuruluş, iyileştirici bahçeleri dört temel grupta incelemektedir; (i) meditasyon bahçeleri, (ii) rehabilitasyon bahçeleri, (iii) sosyal eğitim programlarına yönelik bahçeler ve (iv) hasta odaklı terapi bahçeleri (Arslan ve Ekren, 2011; Söğüt ve ark., 2016).

İyileştirici bahçelerin sınıflandırılması yanı sıra, yürütülen tasarım süreçleri de oldukça önemlidir. İyileştirici bahçelerin, temel tasarım ilkeleri yönünden doğa ile insanların etkileşimini güçlendirmeyi amaçlaması nedeniyle biyofilik tasarım anlayışına benzer bir yaklaşımdır. En temel ifadeyle, hedef bir kitlenin iyi olma halini önceleyen iyileştirici bahçeler; fiziksel, zihinsel ve/veya psikolojik gereksinimlere yönelik tasarlanabilir (Cooper-Marcus, 2005; Sherman ve ark., 2005; Ching Yang, 2010; Jiang, 2014). Bununla beraber, günümüzde, doğrudan iyileştirici bahçe olarak tanımlanmasa da birçok sağlık merkezi/hastanenin yapısal dokularına iyileştirici peyzaj tasarımlarının entegre etmeye başladığı görülmektedir (Momtaz, 2017).

Kullanıcı gereksinimlerine göre tasarlanan iyileştirici bahçeler, salt fiziksel mekanlar olmanın ötesinde, sundukları terapötik etkilerle¹ bireysel ve toplumsal yaşam kalitesine doğrudan katkıda bulunmayı hedefler. Estetik, fonksiyonel ve erişilebilir özellikleriyle bu bahçeler, kullanım alanlarına katkı sağlayarak genel iyilik hali ve memnuniyeti artırabilir (Çetinkale Demirkan, 2019).

Kamusal ya da özel kullanım alanlarında farklı hedef kitlelere yönelik geliştirilen iyileştirici bahçeler, hedef kitle ve tasarım amacı doğrultusunda geçici ya da kalıcı olarak tasarlanabilmektedir. İyileştirici bahçe uygulamaları ağırlıklı olarak sağlık kurum/kuruluşlarının, engelli rehabilitasyon merkezlerinin, yaşlı bakım hizmetleri veren merkezlerin vb. bünyesinde yer almaktadır (Yalçinkaya, 2024). Çalışma kapsamında yüz yüze yürütülen uzman görüşmelerinde, doğa ile iç içe olma hissinin dopamin, serotonin, oksitosin, kannabinoid, opioid salınımı vb. kaynaklı etkileri olabilmesi nedeniyle, sağlık merkezlerine ait birimlerde yer alan böylesi uygulamaların, hasta gruplarının fiziksel ve psikolojik iyi olma halini destekleyebileceği bilgisi edinilmiştir.

İyileştirici bahçelerin tasarım kısıtları, belirlenen hedef kitlenin sağlık durumu, sosyoekonomik yapısı, gereksinimleri, deneyimleri ve beklentileri doğrultusunda şekillenmektedir. Hedef kitleler çeşitlenebilmektedir; örneğin, sağlık amacı güderek belirli sağlık birimlerinde tedavi gören hasta grupları (ruhsal sağlık, obezite, onkoloji, geriatri vb.) ayrı olarak hedef kitle olarak tanımlanabileceği gibi, bir sağlık kurumundaki tüm hasta grupları da hedef grup olabilmektedir. Bununla beraber, hastane bünyesinde hasta grupların yanı sıra, farklı yapan sağlık personellerine yönelik de (özgün tasarım

¹ Terapötik etki, bir tedavi veya müdahalenin, bireylerin fiziksel, psikolojik ya da duygusal sağlıklarını iyileştirme ya da rahatlatma üzerindeki olumlu etkisini ifade eder. Bu kavram, ilaçlar, tedavi yöntemleri, terapiler veya çevresel faktörler (örneğin doğa, bahçeler) gibi etkenlerin insanların sağlıklarını geliştirme ve stresle başa çıkmalarına yardımcı olma potansiyelini anlatır. Terapötik etki, bir tedavi sürecinin, kişilerin hastalık, rahatsızlık veya zorluklarını hafifletme veya ortadan kaldırma gücünü belirtir (Akdoğan ve Ceyhan, 2011).

ölçütleri belirlenerek) iyileştirici bahçe tasarımı geliştirilebilir.

Sağlık merkezi bünyesinde geliştirilen iyileştirici bahçe tasarımlarında, tasarım sürecinin odak noktası, belirlenen hedef kitleye ilişkin yürütülen nitelikli analiz bulgularına dayanır. Bu kapsamda, çalışma alanlarındaki mevcut koşullar, bahçenin erişilebilirliği, kullanıcıların sağlık durumlarına ve psikolojik gereksinimlerine uygun tasarım öğelerinin öncelikli olarak dikkate alınması beklenir. Nitelikli tasarlanan sağlık merkezi bahçeleri, hasta grupları klinik ortamın yarattığı monoton ve sıkıcı ortamdaki uzaklaştırarak, sosyal etkileşime teşvik etmektedir. Bu bahçeler, stres seviyelerini azaltarak, hastaların moralini yükseltmekte ve psikolojik rahatlama hissi sağlamaktadır. Böylece, hedef grupların tedavi süreçlerinin desteklenmesi ve olumlu yönde etkilenmesi mümkündür (Keçecioğlu, 2014; Yalçinkaya, 2021).

Bu çalışma, ruh sağlığı hastalarını hedef alan iyileştirici bahçe tasarımlarına yönelik temel ölçütleri ve çalışma metodolojisini belirlemeye yönelik bir araştırmaya dayanmaktadır. Çalışmada, Adana Dr. Ekrem Tok Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hastanesinde, 2024 yılında İyileştirici Bahçe tasarımına yönelik yürütülen araştırma bulgularına dayalı olarak, ilgili süreçlerde izlenmesi önerilen süreç aktarılmıştır. Çalışmada, araştırma bulgularına dayalı olarak, ruh sağlığı hasta gruplarının bulunduğu hastaneler/sağlık merkezlerinde tasarlanan iyileştirici bahçe tasarımlarını belirleyen tasarım ölçütleri ve kısıtlarını, kullanılması önerilen doğal ve yapay materyal seçimini ve yer verilebilecek program elemanlarını içeren öneri bir yöntem sunulmuştur.

İyileştirici Bahçe Tasarım Ölçütleri ve Kısıtlayıcı Faktörler

Tüm tasarım süreçlerinde olduğu gibi, iyileştirici bahçe tasarımı da belirli bir matematiksel ve mantıksal çerçeveye dayanır. Bu çerçeve, hedef kitle ve çalışma alanının dinamiklerine göre şekillenmektedir. Bu nedenle, iyileştirici bahçe tasarımlarının metodolojisi; (i) hedef kitlenin sosyoekonomik durumu, gereksinim ve beklentileri, (ii) çalışma alanının lokasyon özellikleri (doğal ve kültürel) dayalı olarak geliştirilir. Belirlenen hedef kitle dinamikleri ve seçilen/seçilecek olan çalışma alanı özellikleri tasarımdaki kısıtlayıcı faktörlerin ve ölçütlerin net olarak ortaya konmasına yönelik envanter sunmaktadır (Yalçinkaya, 2024).

Farlı çalışmalar kapsamında geliştirilmesi gereken özgün metodolojilerde, tasarımda kullanılan matematiksel ilkeler, estetik ve işlevsel faktörler arasındaki dengeyi kurma amacıyla sürecin her aşamasında rol oynamaktadır. Mekandaki alan kullanımları ve program elemanlarının oranı ve dağılımı, mühendislik işlemlerinin takibi (drenaj, eğim, yüzey vb. hesaplamaların yapılması), ılık-gölge oranının düzenlenmesi, mekandaki yaya dolaşım sisteminin hedef kitle ve program elemanlarına göre belirlenmesi, yapay ve doğal malzemelerin matematiksel modelleme yardımıyla kullanım hacimlerinin belirlenmesi gibi konular bu kapsamda öne çıkmaktadır. Ayrıca, bitkisel tasarım başlı başına önemli bir konu olup, süreç içinde özel çalışılmalıdır. Bitki materyalini iyi tanıyarak, fizyolojik özelliklerine ve biyolojik isteklerine hakim olarak gerekir. Mekansal kullanımlar özelinde uygun türe karar verilmesi, seçilen türlerin estetik özelliklerinden en üst düzeyde yararlanılmasını ve doğru kompozisyonu kurmayı sağlayarak mekanın işlevselliğini artırıcı niteliktedir.

Çalışmada izlenen özgün metodolojiye bağlı olarak, farklı analitik araçlar ve yöntemler kullanılabilir. Tasarım stratejisinin anahtarı, geliştirilen tasarımların tasarım gereksinimlerine ve tasarım ürününe dair kurulan ilişki bütünlüğüdür. Süreç sonunda öngörülen sonuçlara ulaşabilmek tasarım stratejisinin doğru oluşturulduğunun bir göstergesidir; belirlenen gereksinimlere uygunluk açısından önemlidir. Altı çizilmesi gereken önemli bir husus olarak; iyileştirici bahçelerin, yalnızca görsel ve estetik değil, aynı zamanda sosyal ve psikolojik yönden de yüksek etkiye olması beklenir. Seçilen materyallerin ve öğelerin doğru şekilde entegrasyonu, hedef kitlenin huzurlu ve güvende hissetmesini desteklemelidir. Tablo 1’de İyileştirici bahçelerin tasarım kısıtlarını oluşturan fiziksel ve psikolojik koşullar sunulmuştur (Yalçinkaya, 2021).

Tablo 1. İyileştirici bahçelerin tasarım kısıtlarını oluşturan fiziksel ve psikolojik koşullar (Yalçinkaya, 2021)

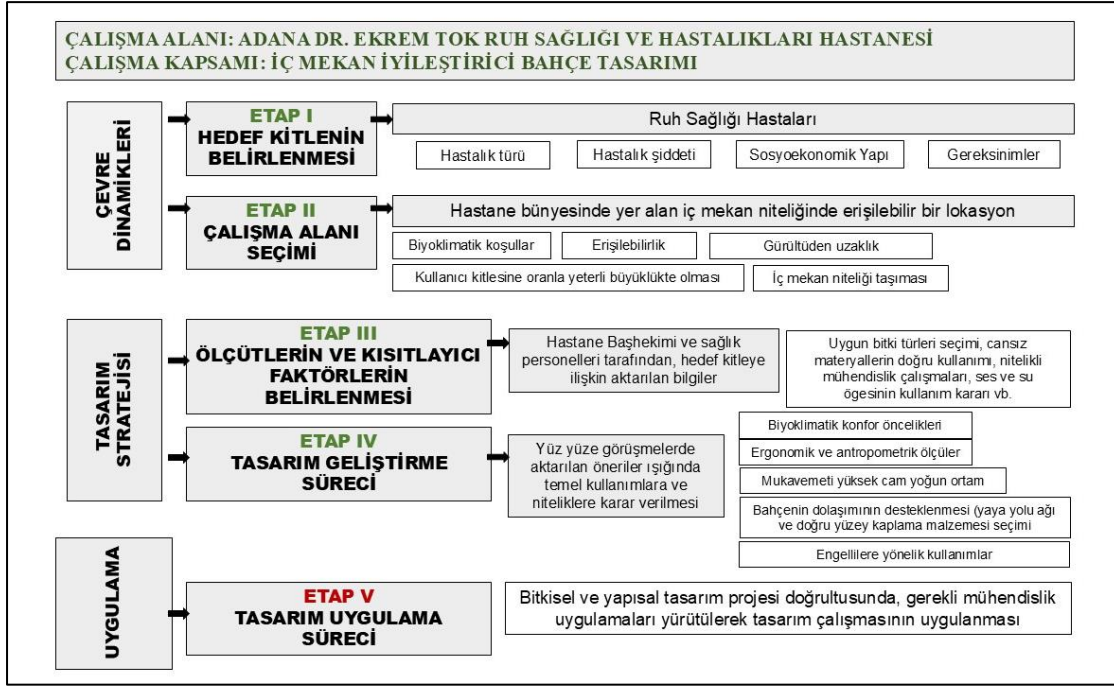
FİZİKSEL ETKİLER		PSİKOLOJİK ETKİLER	
Yaralanmaya neden olacak risk teşkil eden multitemel kullanımlar ve materyallere yer verilmemelidir.	Zehirli parçaları olan bitki türleri	Zinde ve huzurlu hissemeyi engelleme potansiyeli olan kullanımlar ve materyallere yer verilmemelidir.	Canlı ve pastel renk kullanımı (kırmızı, turuncu vb. renkli çiçekleri/meyveleri olan bitkiler)
	Sivri uçlu yapraklara sahip bitki türleri		Yaprakları çok büyük olan bitki türleri
	Arı ya da böcekleri çeken bitki türleri		Yaprakları çok parlak olan türler
	Alerjik etki oluşturabilen aromatik kokulu bitki türleri		Işık faktörünün önemi nedeniyle, seçilen alanın, kentteki farklı kullanımların etkisiyle gölge ve yarı gölge bir lokasyona sahip olmaması gerekir.
	Derinliğe sahip su ögesi		Yaz ayları gölge gereksinimi, uygun bitki türü ve cansız materyal seçimi ile sağlanabilir.
	Düz olmayan (doğal taş vb. kullanımıyla hazırlanan) sert dokulu zemin döşemesi		Trafik gürültüsünün yoğun olarak duyulduğu bulvar ve geniş caddelere yakın olmamalıdır.
	Oturma elemanlarının arkalıksız ve kolçaksız olması		
	Erişilebilir düzeydeki cam kullanımının yer verildiği tasarım elemanları		
	Biyoklimatik koşulların göz ardı edilmesi		

Ruh Sağlığı Hastalarına Yönelik İyileştirici Bahçe Tasarımı

Bu çalışmada, Adana Dr. Ekrem Tok Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hastanesi'nde 2024 yılında İyileştirici Bahçe tasarımına yönelik yürütülen araştırma bulgularına dayalı olarak, ruh sağlığı hasta gruplarının bulunduğu hastaneler/sağlık merkezlerinde tasarlanan iyileştirici bahçe tasarımlarında hangi tasarım ölçütleri ve kısıtlayıcı faktörlerine dikkat edilmesi gerektiğine ilişkin öneri bir yöntem hazırlanmıştır.

Söz konusu çalışma, toplumsal fayda temelli bir kapsamda yürütülmüştür. Ruh sağlığı hastalarının iyileştirici bahçe tasarımına yönelik gereksinimlerinden yola çıkılarak, bu konuda bireysel ve toplumsal farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır. Örnek bir uygulama niteliği taşıyan bu çalışmanın, ayrıca, ilerleyen dönemlerde farklı çalışmalara öncülük etmesi de amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın toplumsal fayda boyutunun yanı sıra, öğrenci deneyimi de hedeflenmiştir. Bir kurum bünyesinde belirli bir hedef kitleye yönelik geliştirilen iyileştirici bahçe deneyimi kazanması amacıyla, öğrencilerin çalışmanın belirli aşamalarına katılım sağlaması desteklenmiştir. Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü ve İç Mimarlık Bölümü öğrencileri, İç Mekan Bitkileri ve İç Mekanda Peyzaj dersleri kapsamında söz konusu çalışmaya veri toplama, gözlem yapma ve tasarım önerileri sunma boyutunda katılım sağlamışlardır.

Adana Dr. Ekrem Tok Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hastanesi için tasarlanan iyileştirici bahçe tasarımına dayanan bu çalışmanın hedef kitlesi, hastanenin ruh sağlığı hastaları olarak belirlenmiştir. Tasarım önerisi oluşturulması amacıyla yürütülen araştırma doğrultusunda geliştirilen özgün tasarım metodolojisi önerisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ruh sağlığı hastalarına yönelik iyileştirici bahçelerin tasarım metodolojisi önerisi

Araştırma kapsamında, çevre dinamiklerinin belirlenmesi amacıyla Etap 1 ve Etap 2 yürütülmüştür. Hedef kitle hakkında bilgi edinmek amacıyla yapılan uzman görüşmelerine bu aşamada yer verilmiştir. Hastane Başhekimliği ve sağlık personelleri ile görüşmeler yürütülerek, ruh sağlığı hastaları hakkında hastalık türüne bağlı olarak tanımlayıcı bilgiler ve öneriler alınmıştır. Bu bilgiler kapsamında, bu hastalıkların ağırlıklı olarak ömür boyu sürdüğü ve tedavi süreçleri ile desteklenerek bu hastaların topluma karışır düzeye gelmesinin hedeflendiği ifade edilebilir. Hastanede tedavi gören hasta gruplarının ağırlıklı olarak şizofreni, bipolar bozukluk, anksiyete bozukluğu, obsesif kompulsif bozukluk, paranoid kişilik bozukluğu, depresyon, psikoz, maddeye bağlı gelişen psikoz vb. nedenlerle tedavi gördükleri bilgisi edinilmiştir. Hasta gruplarına yönelik ortak/bireysel kullanım alanlarının, hastalığın türüne göre değil, şiddetine göre ayrılması nedeniyle, çalışmanın hedef kitlesi hastalığın şiddeti hafifleyen hasta grubu olarak belirlenmiştir. Bu hastalar, düzenli tedavi almış, tedaviye cevap vermiş ve hastalığın şiddeti hafif seyirde ilerlediği grup olarak, profesyonel sağlık personeli refakatinde bahçeye çıkabilmektedir.

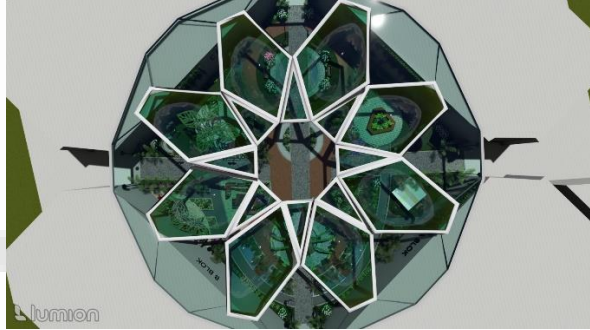
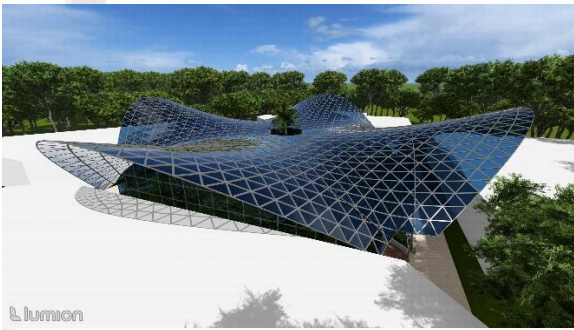
Çalışma alanı seçimi, hedef kitlede yer alan hastaların iyileşme süreçlerinin desteklenmesi ve tedavi süreçlerinde vakit geçirebilecekleri bir özel tasarım mekanının yoksunluğu gözetilerek yapılmıştır. Bu süreçte, hastane bünyesindeki açık alanların bitkisel materyalden nispeten yoksun olduğu ve tedavi süreçlerinde motivasyon kazanımını destekleyici açık mekanların, kolay erişilebilir bir konumda tasarlanması gereksinimi gözlenmiştir.

Tasarımın kullanıcı grubunun oldukça küçük bir hedef kitle olması, tasarım ölçütleri ve kısıtlayıcı faktörlerin dikkatle belirlenmesini gerektirmektedir. Tablo 1’de belirtilen temel konuların yanı sıra, hedef grubun niteliği, kullanılan tüm canlı ve cansız materyallerin, yer verilen program elemanlarının, renklerin, ses, koku veya su varlığının vb. detaylı düşünülmesi söz konusudur. Öneride yer alan tüm program elemanlarının seçiminde olası kaza, yaralanma ya da girişimlere yol açma riskleri göz önüne alınmıştır. Bununla beraber, özellikle bitki materyali seçimi de öncelikli bir aşama olarak değerlendirilmiştir. Bahçenin iç mekan koşulları ile uyumlu (tropik ve subtropik) familyalara ait türler arasından, fiziksel ve psikolojik etkileri yönünden Tablo 1’de belirtilen konulara bağlı kalarak seçim yapılmıştır. Özetle, çalışmanın tasarım stratejisi, çalışma alanı ve hedef kitle dinamiklerinin analiz bulgularına dayalı çıkarımlar yapılarak belirlenmiştir. Hedef kitlenin doğa ile iç içe olma hissini destekleyen mekan oluşturulması hedefi, kullanılan tüm materyallere hedef kitle özelinde karar

verilmesiyle izlenmiştir. Bu kapsamda Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulan görseller örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 2. Yoğun ışık alan ve bitki materyaline ağırlık verilen bahçe yapısı*



Şekil 3. Yoğun ışık alımını ve hava dolaşımını destekleyici cam yoğun çatı/duvar sistemi*



Şekil 4. Doğal yapı malzemesi seçimi*



Şekil 5. İç mekan koşulları ile uyumlu bitki türü seçimi^{2*}

Sonuç ve Öneriler

Bir hedef kitleye yönelik, hedef kitlenin sosyolojik yapısı, gereksinim ve beklentilerine göre tasarlanan iyileştirici bahçeler, sundukları terapötik etkilerle özel amaçları olan ve bireysel yaşam kalitesine doğrudan katkıda bulunan tematik bahçelerdir. Kullanıcı analizine dayalı geliştirilen tasarım süreçleri sonucunda, kullanıcıların fiziksel ve psikolojik temelli iyi olma halleri üzerinde olumlu etkiler yaratmayı önceler. Estetik, fonksiyonel ve erişilebilir özellikleriyle bu bahçeler, doğru tasarım stratejisi ile oluşturulduklarında, toplumsal motivasyonu artırıcı niteliktedir.

Bu doğrultuda, ruh sağlığı hastalarının hedef kitle olduğu sağlık merkezlerinde, tedavi süreçlerini destekleme amacıyla, seçilen hedef grubun iyi analiz edilerek, psikolojik yönden iyi olma halinin terapötik etkilerle desteklenmesi gerekmektedir. Biyoklimatik konfor koşullarının desteklendiği, doğru bitki türü ve cansız material seçimi yapılan, nitelikli mühendislik çalışmaları yürütülen bu bahçeler, kullanım amacı doğrultusunda oldukça etkili olacaktır.

Bu çalışma özelinde ifade edilebilir ki; özellikle psikolojik yönden iyi olma halini destekleyici bir araç sunmak adına, tedaviye cevap veren ve hastalığın şiddeti hafifleyen ruh sağlığı hastalarının hastane bahçesinde geçirdikleri zaman diliminde böylesi tematik bahçelerde bulunmaları; sağlıklı bireyler ve dolayısıyla sağlıklı toplumların oluşmasına katkı sağlayabilecektir.

Bu çalışmada, çalışma alanı olarak seçilen Adana Dr. Ekrem Tok Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hastanesi bünyesinde yer alan hedef grubun rekreasyonel ve dinlenme gereksinimlerini geçirebilecekleri, erişilebilir nitelikteki bir iyileştirici bahçe tasarımının, hastane bünyesinde gereksinim duyulan ve tedavi süreçlerine katkı sunabilecek bir araç niteliği taşıdığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada izlenen metodoloji kapsamındaki uzman görüşü alma, veri toplama ve gözlem aşamaları bulguları ışığında; kullanım önerilerinin ve malzeme seçimlerinin hedef kitle özelinde yapılması nedeniyle; tasarım önerisi oluşturulan iyileştirici bahçelerin Hastane bünyesindeki açık yeşil alan statüsündeki diğer mekanlara kıyasla çok daha verimli olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- A. Uslu, N. Shakouri, “Zihinsel ve fiziksel engelliler için hortikültürel terapi”, Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 12, 1, 134-143, 2012.
- B. Harries, L.S. Chalmin-Pui, B. Gatersleben, A. Griffiths, E. Ratcliffe, “Identifying features within a garden linked to emotional reactions and perceived restoration”, Cities & Health, 1-13, 2024.
- C. Cooper-Marcus, “Healing gardens in hospitals: Interdisciplinary design and research”. E. Publication, 1(1), 2005.
- C. Hickman, “Therapeutic landscapes: a history of English hospital gardens since 1800”. Manchester University Press, 2013.

² * İşaretili görseller, Çukurova Üniversitesi Mimarlık Fakültesi bünyesinde verilen İç Mekan Bitkileri ve İç Mekanda Peyzaj Dersleri kapsamında hazırlanmıştır.

- C.C. Marcus, M. Barnes, "Introduction: Historical and Cultural Perspective on Healing Gardens" in *Healing Gardens: Therapeutic Benefits and Design Recommendations*, 1999.
- F. McDowell, C. McDowell, "The Sanctuary Garden: Creating a Place of Refuge in Your Yard or Garden", Fireside, 1998.
- G. Çetinkale Demirkan, "İyileştirici bahçeler ve tasarım kriterlerinin değerlendirilmesi", *Türk Tarım Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1): 148-151., 2019.
- M. Arslan, E. Ekren, "Yaşlı Kişilerin Sağlığı Ve Etkinlikleri İçin Terapi Bahçeleri", *Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (AEÜSBED) Cilt 3, Sayı 2, Sayfa 361-373*, 2011.
- N. Gerlach-Spriggs, R.E. Kaufman, S.B. Warner, "*Restorative gardens: The healing landscape*". Yale University Press, 1998.
- N.M. Yalçinkaya, "COVID-19 Küresel salgını sürecinde sağlık personellerini hedef alan iyileştirici bahçelerin önem ve önceliği", *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(3), 733-741, 2021.
- N.M. Yalçinkaya, "6 Şubat 2023 Depremleri Ardından: Kentlerde İyileştirici Bahçe Tasarımlarının Gerekliliği Üzerine...", 4th International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies (ISSRIS'24), Proceeding Book, 2024.
- P. Keçecioglu, P "Ruh Sağlığı Kurumlarında İyileştirme Bahçelerinin İrdelenmesi ve Peyzaj Tasarım İlkelerinin Belirlenmesi". İstanbul Teknik Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Peyzaj Mimarlığı Programı, 2014.
- R. Akdoğan, E. Ceyhan, "Terapötik İlişkide İnsan Faktörü", *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar-Current Approaches in Psychiatry* 2011; 3(1):117-141 © 2011, eISSN:1309-0674 pISSN:1309-0658.
- R.I. Momtaz, "Healing gardens-A review of design guidelines", *International Journal of Current Engineering and Technology*, 7 (5): 1864-1871, 2017.
- R.S. Ulrich, "Visual landscapes and psychological well being", *Landscape Research*, 4, 1, 17-23, 1979
- S. Jiang, "Therapeutic landscapes and healing gardens: A review of Chinese literature in relation to the studies in western countries", *Frontiers of architectural Research*, 3(2), 141-153, 2014.
- S.A. Sherman, J.W. Varni, R.S. Ulrich, V.L. Malcarne, "Landscape and Urban Planning", Volume 73, Issues 2-3, 15 October 2005, Pages 167-183.
- S.H. Kim, B.Y. Ryu, J.B. Seo, "Stress Control in Elderly through Healing Garden Activities", DOI: 10.20944/preprints202401.1410.v1, 2024.
- Y. Ching Yang, "A Healing Garden for Adults With Posttraumatic Stress Disorder in Shiaolin Village", Taiwan, Master Thesis, Washington State University, 2010.
- Z. Söğüt, "İç Mekan Bitkileri Dersi Notları", Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, basılı olmayan.
- Z. Söğüt, D. Çolakkadioğlu, D.V. Kaya, "Tematik Bahçeler Kapsamında İyileştirici Bahçeler", *Peyzaj Mimarlığı VI. Kongresi "Söylem ve Eylem"* 8-11 Aralık, 2016, Antalya.

Makale id= 90

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000 0001 5139 2540; 0000 0002 7541 7965

| 304

Atıl Turizm Tesislerinin Rasyonel Kullanımına Yönelik Bir Öneri: Yaşlılar İçin Yaşam Turizmine Dönüştürülmesi**Dr. Öğretim Üyesi Güven Şener¹, Dr. Öğretim Üyesi Şirin Bayram²**¹YTÜ, Mimarlık Fakültesi²Rumeli Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi

*Corresponding author: Güven Şener

Özet: Türkiye'nin ekonomik kalkınmasında inşaat ve turizm sektörü çok önemli bir role sahiptir. Ancak, turizm sektörünün sağlıklı bir şekilde sürekliliğinin sağlanması, ülkenin sosyo-ekonomik, sosyo-politik ve istikrarlı bir demokrasinin sağlanmasını gerektirir. Diğer riskler ise küresel boyuttadır. Yaşanan pandemi ve Rusya-Ukrayna Savaşı gibi riskler turizmi derinden etkilemiş, bir kısım tesis kapanmış ya da sezonluk hizmet ile ayakta duramayan tesislerin sayısı artmıştır. Bu bildiri turizm sektörünün ekonomik anlamda darboğaza düşme riskine karşı sürdürülebilir bir kullanım önermektedir. Mevcutta atıl kalmış, ekonomik anlamda sıkıntı yaşayan tesislerinin mevsimlik kullanıma bağlı kalmaması ve sezonluk değil sürekli doluluk yaratan yabancı yaşlılara yaşam turizmine yönelik bir model önermektedir. Özellikle ülkemize gelmek isteyen ama bir nedenle güvenlik, sağlık vb. gerekçelerle ev alıp ya da kiralarak evde yaşamak istemeyen yaşlılar için, süre kısıtı olmayan alternatif bir yaşam turizmi sunulabilir. Yaşlı yaşam turizmine dönüştürülecek tesislerin turizmde mevsimlik dalgalanmalardan etkilenmemesi hedeflenmektedir. Turizmde on iki ayı verimli hale getirmek için yaşlı turizmine yönelik kullanım seçenekleri geliştirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Yaşlı Turizmi, Turizm, Mimari Tasarım***A Suggestion for the Rational Use of Idle Tourism Facilities: Transforming Them Into Life Tourism for the Elderly***

Abstract: The construction and tourism sectors have a pivot role in Turkey's economic development. Further, the sustainability of tourism depends on the country's socio-economic, socio-political, and democratic aspects as well as global stability. The pandemic and the Russia-Ukraine war have significantly affected tourism, the number of facilities that cannot survive with seasonal service has increased and many facilities have closed. This declaration proposes a sustainable use against the risk of the tourism sector falling into an economic bottleneck. In the proposed model, it is ensured that the facilities that are currently inactive and experiencing financial difficulties are not dependent on seasonal use, and it proposes a model for life tourism for foreign seniors that creates continuous occupancy, not seasonal. The proposed model offers an alternative life tourism with flexible time options, especially for the elderly who want to come to our country but do not want to buy/rent a house due to concerns such as security, health, etc. Facilities to be transformed into senior living tourism are not affected by seasonal fluctuations in tourism. Turning twelve months of the year into a productive tourism season is only possible by developing usage options for elderly tourism.

Keywords: Elderly Tourism, Tourism, Architectural Design**1.Giriş**

Türkiye'nin ekonomik kalkınmasında inşaat sektörü ve turizm sektörü çok önemli bir role sahiptir. Her iki sektör de Türkiye'nin Gayri Safi Milli Yurtiçi Hasılasındaki (GSYİH) paylarıyla ekonomik büyümeye doğrudan etki etmektedir. Bunun yanı sıra istihdam yaratılmasında vasıflı ve vasıfsız

çalışanlar iş imkanı sağlaması ile de çok önemli payı vardır. Ayrıca bölgesel ekonomik kalkınmaya da katkı sağlamaktadır.

İnşaat sektörü yurtdışı müteahhitlik hizmetlerinde ülkeye döviz kazandırırken, aynı şeyi turizm sektörü yurt içinde döviz gelirlerine önemli ölçüde katkı sağlayarak yapmaktadır. Yabancı turistlerin harcamaları ülkeye döviz girdisini artırırken, uluslararası ticaret dengesine de olumlu katkılar sağlar. Ancak, turizm sektörünün sağlıklı bir şekilde sürekliliğinin sağlanması ülkenin sosyo-ekonomik, sosyo-politik ve istikrarlı bir demokrasinin sağlanmasını gerektirir.

2. Araştırmanın Problemi

Bu sektör için yaşanan diğer riskler ise küresel boyuttadır. Son 4 yılda Dünyada yaşanan, COVID -19 salgını ile her alanda olduğu gibi turizm sektörü de benzeri görülmemiş bir küresel sağlık, sosyal ve ekonomik acil durumla karşı karşıya kalmıştır. Turizm sektörü, uçakların kalkmaması, otellerin müşteri bulamadığı için kapalı olması ve dünyanın hemen hemen tüm ülkelerinde uygulanan seyahat kısıtlamaları ile **en çok etkilenen sektörler arasında yer** aldı (UNWTO, 2023). İnşaat sektöründe de yatırımlar durma noktasına geldi. Ardından Rusya-Ukrayna savaşı bölgede yurtdışı müteahhitlik işlerini ve o bölgeden gelecek turizmi de baltalamış ve derinden etkilemiş oldu.

3. Araştırmanın Amacı

Bu çalışma turizm sektörünün ekonomik anlamda darboğaza düşme riskine karşı sürdürülebilir bir kullanım önermektedir. Mevcut koşullarda atıl kalmış, ekonomik anlamda sıkıntı yaşayan turizm tesislerinin kullanım yoğunluğunun yılın belli bir dönemine bağlı kalmaması ve sezonluk değil sürekli doluluk yaratması için özellikle yabancı yaşlılar için yaşam turizmine yönelik bir model önermektedir.

Turizm, insanların konaklama, yeme- içme ve eğlence gibi hizmetlerden dolayı yaşadıkları yerin dışında bir yere seyahat anlamına gelmektedir. Unwto (Dünya Turizm örgütü) turizmi; insanların, bir yıldan fazla olmamak kaydıyla boş zaman değerlendirme, iş ve diğer sebeplerle sürekli yaşadıkları yerlerin dışına seyahat ettikleri ve gittikleri yerde konakladıkları bir faaliyet olarak tanımlamaktadır (UNWTO, 2023). Türk Dil Kurumu ise turizmi; dinlenme, eğlenme, görme, tanıma vb. amaçlarla yapılan gezi. Bir ülkeye veya bir bölgeye turist çekmek için alınan ekonomik, kültürel, teknik önlemlerin, yapılan çalışmaların tümü olarak tanımlamıştır (TDK).

Tanımlara baktığımızda Unwto bir gezinin turizm olabilmesi için bir yıldan az olması gerektiği üzerinde durmuştur. TDK'nın tanımında ise süre kısıtı bulunmamakta tanımında bölgeye turist çekmek için yapılan ekonomik, kültürel faaliyetlere vurgu yapılmaktadır. Turizm başlangıçta konaklama, ulaşım ve yeme-içme ile tanımlanırken, refahın artması, ulaşım, haberleşme ve daha uzun hayat ile tanımlara eğitim, sağlık, spor, dinlenme, toplantı, kongre, eğlence, din ve kültürel miras etkinlikleri, doğa vb. özellikler de tanımlara girmiştir. Bu nedenle tanımlardan süre ile ilgili bir kısıtlamanın da geçerliliğinin kalmayacağını söyleyebiliriz.

Dünya genelinde sağlık alanında yaşanan gelişmeler ve yaşam standartlarının iyileştirilmesine bağlı olarak insanların yaşam sürelerinde ve yaşlı oranında hızlı artışlar yaşanmaktadır (Bayram Şener, 2023). 2020 yılında dünya nüfusunun %9,5'inin yaşlılardan oluşurken, (729 milyon 887 bin 660 kişi) (aile.gov.tr.), bu sayının 2050 yılında 2 katına ulaşacağı tahmin edilmektedir (Açıkders. ankara.edu.tr). Dünyada yaşlı nüfusun yoğunluğu ise Kuzey Amerika, Avrupa, Asya'nın kuzey ve doğu kesimlerindedir (aile.gov.tr).

Günümüzde yaşlıların beklentileri ve ihtiyaçları değişmiş bunun sonucunda yaşlı turizmi, sağlık turizmi gibi yaşlılara yönelik turizm çeşitleri ortaya çıkmıştır. Ülkeler artan yaşlı turizmini ülkelerine çekmek için rekabete girmiştir. Medikal Turizm Derneği Başkanı Dr. İbiş yaşlı turizmine ilginin arttığını, Avrupa ülkelerinin iklim, coğrafya özellikler ve insan kaynakları açısından uygun ülkelerle bu konuda iş birliğini yıllar önce yapmaya başladığını, bu ihtiyacın salgınla birlikte daha da arttığını belirtmiştir. İbiş *"Avrupa ülkeleri, pandeminin yarattığı etkiler sebebiyle, yaşlı vatandaşlarının sağlık ve bakımları için diğer ülkelerle iş birliklerine gitme konusunda olabildiğince hızlı, daha fazla adım atacak. Ulaşımı kolay ülkelerle sağlık, bakım ve yaşam hizmetlerinin önceden maliyet olarak belirlendiği anlaşmalar yapılacak. İskandinav ülkeleri başta olmak üzere, örneğin Norveç bunu yıllardır yapıyor, bugüne kadar belli dönemlerde 800 binin üzerinde yaşlısını İspanya'ya gönderdi ve göndermeye de devam edecek."* değerlendirmesinde bulunmuştur.

4. Türkiye’de Yaşlı Turizmi

Türkiye’nin de yaşlı turizmi potansiyelinden pay alması için devletin, özel sektörün, akademik ortamın ve sivil toplum kuruluşlarının el ele vererek Avrupa ülkeleri ve çevre ülkeler ile ortak çalışmalarda bulunması Türkiye ekonomisi için önemli bir kazanım sağlayacaktır. *Türkiye, yaşlı yaşam turizminde avantajlı özelliklere sahiptir. Coğrafi konumu, kısa süreli uçuşlarla kolay erişilebilirliği, yaşlılara ve emeklilere uygun iklim koşulları, zengin Türk mutfağı, eşsiz kültürel mirası, doğal bitki örtüsü, termal kaynaklar ile rehabilitasyon imkanları, genç iş gücü ve misafirperver hizmet anlayışı, Avrupa’ya göre daha ekonomik tatil seçeneği ile çok avantajlı bir konuma sahiptir. Dört mevsimin bir arada, tüm güzelliği ile yaşandığı bir coğrafyada olduğumuzu da belirtmek gerekir.* Akdeniz ve Ege Bölgesi’nde özellikle Antalya ili sınırları içinde Alanya ve çevresinde emekli olmuş yaşlı yabancıların ev alarak bundan sonraki yaşamlarını burada devam ettirmek istemeleri de bu talebi ortaya koymaktadır.

Türkiye’de yaşlılık dönemlerini evleri yerine bir kurumda geçirmek isteyen vatandaşlarımız için diğer bir alternatif olarak yaşlı bakım evleri devreye girmektedir. Türkiye’ye gelmek isteyen yabancıların ise Türkiye’de bir ev almak, kiralamak ya da kısa süreli tatil turizmi dışında onlara yönelik alternatif bir yaşam olanakları yeterince sunulmamaktadır. Bu nedenle ülkemize gelmek isteyen ama bir nedenle güvenlik, sağlık vb. gerekçelerle evde yaşamak istemeyen yaşlılar için süre kısıtı olmayan alternatif bir yaşam turizmi sunulabilir. Turizmde mevsimlik dalgalanmalardan etkilenmemek, turizmde 12 ay verimli hale getirmek için yaşlı turizmne yönelik kullanım seçeneklerinin artırılması önem kazanmaktadır. Daimî müşteri statüsü kazandıracak özellikle yabancı yaşlılar için yaşam turizmi olanaklarından yararlanmalıyız. Yaşlı yaşam turizmi ile yaşlıların tesisleri 12 ay kullanıcısı olması hedeflenirken, izleyen yıllarda sürekliliğinin sağlanması önem kazanmaktadır. Bu amaçla gelen kullanıcıların aidiyet duygusunu geliştirmek, turizm için oluşabilecek olası pandemi, savaş vb. potansiyel risklerin aşılmasında önemli katkı sağlayacaktır.

Aşağıdaki tabloda 2021-2022 Ocak-Temmuz aylarında Türkiye’de açılan ve kapanan tesislerin sayısı görülmektedir (Tablo1). Toplamda kapanan 51 turizm tesisinin neden kapandıkları ile ilgili toplu bir veri olmamakla birlikte. Toplanda 51 turizm tesisinin Ekonomik gerekçelerle hizmetlerini sürdüremedikleri söylenebilir. Son yıllarda turizm sektörü, artan inşaat maliyetleri, enflasyon, iş gücü kıtlığı ve enerji krizinin yeni otel geliştirme projelerini yavaşlamasına ya da ertelenmesine neden oldu. Bu da turizmde yeni yatırımların azaldığı dönemde atıl tesislerin dönüşümünün, tekrar turizme kazandırılmasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu makalede pandemi, savaş gibi nedenlerden dolayı darboğaza düşmüş kapanmış ya da sezonluk hizmet ile ayakta duramayan atıl turizm işletmeleri için bir model önerilmektedir. Birinci aşamada yaşlı turizmne hizmet edecek şekilde dönüştürülmesi düşünülen turizm tesisinde şu özelliklerin olması gerekmektedir.

Tablo: 1 Oteller Vb. Konaklama Yerleri Açılış/Kapanış Verileri-Ocak-Temmuz. (Turizmdatabank)

Oteller vb. konaklama yerleri açılış/kapanış verileri (Ocak-Temmuz)	2021	2022
Açılan	125	149
Kapanan	25	26
Yabancı ortaklı açılan	12	12

1.Grup kriterler

- Mevzuata Uygunluk: Tesisin güvenlik, erişilebilirlik ve sağlık hükümleri de dahil olmak üzere yaşlılara yönelik konaklamalarla ilgili yerel yönetmeliklere, standartlara uygun mu?
- Güvenlik: Deprem, sel, yangın vb. doğal afetlere karşı dayanıklı ve uygun mu?
- Erişilebilirlik ve güvenlik: Tesisin erişilebilirlik ve güvenlik özelliklerini değerlendirerek yaşlı misafirlerin ihtiyaçlarını karşılamalarını sağlayacak özelliklere sahip mi? (Tekerlekli sandalye

erişilebilirliği, korkuluklar, kaymaz yüzeyler, iyi aydınlatılmış alanlar ve acil durum müdahale sistemleri gibi sıralanabilir).

- Odalar, tekli ve eşli kalmak için yaşlı bireylerin kalması için uygun ya da dönüştürülme potansiyelini barındırıyor mu?
- Sağlık tesisleri: Tesis yaşlı konukların sağlık ihtiyaçlarını karşılayacak mekansal özelliklere sahip mi? ya da bu tür mekanlar eklenebilir mi?

2. Grup kriterler

- Ulaşım: tesis ulaşım ağlarına yakın ya da kolay bağlanıyor mu?
- Konum: tesis, doğal, tarihi (Deniz, orman, tarih, dinsel, eğlence) ya da termal kaynaklar gibi kullanıcı tarafından tercih edilebilecek bir konumda mı?
- Konum: Kültür ve Kamu yapıları vb. yakın ya da ulaşılabilir mi?
- Sağlık: Sağlık tesislerine hastane, geriatri bölümü vb. yakın mı?

Birinci grupta yer alan kriterlerin tamamını dönüştürülmesi düşünülen tesis sağlamalıdır. İkinci grupta yer alan kriterler ise zorunlu olmasa da varlığı ile tesise avantaj sağlayacaktır. İkinci aşamada yukarıdaki kriterleri sağlayan tesislerin yaşlı yaşam turizmine dönüştürülmesi için gerekli tasarım kriterler aşağıda belirtilmiştir (Bu kriterler dönüştürülecek yapılar için olduğu kadar sıfırdan tasarlanacak tesisler için de kriter oluşturmaktadır).

Yaşlılar için dönüştürülecek tesislerin “Aktif yaşlanma planlama ve tasarım kriterleri” ne göre tasarımları önem kazanmaktadır. Bu kriterler kullanıcı- hedef kitle, yapı ve kent (çevre) ilişkisi ve ihtiyaçları doğrultusunda aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Kullanıcılar için turizm tesisleri tasarlarken, konfor, erişilebilirlik, sağlık, güvenlik ve katılıma öncelik veren alanlar oluşturulmalıdır.

5. Yaşlılara Yönelik Tasarım Kriterleri

Öncelikle yaşlı yaşam turizminde yaşlıların fizyolojik, psikolojik ve sosyolojik özelliklerinin göz önüne alınarak yaşam çevrelerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu bağlamda yapılacak tasarımlar kullanıcıların aktif yaşlanmasını destekleyecek ve onların daha uzun ve daha sağlıklı, mutlu, bağımsız, üretken ve sosyal olmalarını sağlayacaktır. Dönüştürülecek yapının özelliklerine göre konsept geliştirilmelidir (blok ya da ikiz ve sıra ev vb.). Komşuluk ilişkisi kurulabilecek ortamların sağlanmasına dikkat edilmelidir. Bu ilişki her katta ortak oturma alanları ile yapı bünyesinde ya da yakın çevresinde ortak kullanılan sosyal tesisler kafe, restoran, atölye ve oyun alanları ile sağlanabilir. Bu tesislerin aktif yaşlanma ve insanların uzun süre daimî konaklayabilecekleri tesise dönüştürülebilmesi için yaşlıların kullanımına özel tasarım kriterleri de tasarımda yer almalıdır. Bu kriterler yapının girişinden itibaren başlamalıdır.

Tesis girişi; Giriş holünde yer alan danışma, merdiven ve asansör birbirine yakın konumlanmalı, yerleri kolay algılanmalı ve tabelalarla yönlendirme yapılmış olmalıdır. Girişte danışma, tuvalet, düşey ve yatay sirkülasyon ilişkisinin sağlanması, katlarda bekleme ve dinlenme alanlarının bulunması, önemlidir. Kot farkından kaçınılmalı, kot farkı olan yerlerde mutlaka rampa ve asansör bulunmalıdır.

Kapalı Mekanlar: Tesisin genelinde, görmeyi kolaylaştıracak yeterli doğal ve yapay aydınlatma, ısı ve nem yalıtımı sağlanmalıdır. Tüm mekanların akustik, iklimlendirme ihtiyaçları çözülmüş olmalıdır. Yerlerde engelsiz, kaymaz, doğal ve çevreci malzeme kullanılmalıdır.

Yaşam Odalar: Mevcut otel tesislerinin oda boyutları genel kullanıcıya göre tasarlandığı için yaşlı grubunun uzun süreli kullanımına uygun değildir. Odalar ev ortamını hissettirecek şekilde tasarlanmalıdır. Sadece yatma ve banyo değil mekan bünyesinde dinlenme, oturma, küçük bir mutfak tezgahı da barındırmalıdır. Bu tezgah çay, kahve ve basit yiyecekler hazırlamak için kullanılabilir. Bu ihtiyaçlara göre tasarım yeniden ele alınmalı eşli, eşsiz ve paylaşımlı oda alternatifleri geliştirilmelidir. Ayrıca, odalar kişiye özel esnek kullanıma yönelik tasarlanmalıdır (Özel hasta yatakları, sağlık ekipmanları, tekerlekli sandalye vb. ihtiyacı).

Odalarda yeteri kadar gün ışığından faydalanmak için geniş pencereler, yeterli yapay aydınlatma, ferah mekanlar, balkon ya da bahçe kullanımı öngörülmelidir. Oda tefrişleri imkân veriyorsa yataktan

manzarayı ya da dışarıyı görececek şekilde oda düzeninin yapılması tercih edilmelidir. Tüm alanlar tekerlekli sandalye vb. geçişine uygun ve genişlikte olmalıdır. Ayrıca, odalarda banyo ve tuvaletlerde, yatak başlarında - asansörlerde- koridor ve merdiven başlarında yardım butonları bulunmalıdır.

Tesiste Yer Alan Diğer Kapalı Alanlar: Atölyeler, toplantı salonları, yemekhane, kafeterya, yemek salonları, pastane, spor salonları, oyun salonları ve benzer mekanlar için yaşlının fizyolojik, psikolojik ve sosyolojik ihtiyaçlarına göre tasarlanmalıdır.

Yemek alanında tüm kullanıcıyı tek mekanda toplamak yerine farklı yemek salonlarında (yemekhaneler) planlanarak kullanıcıya hem butik bir görünüm sağlanmalı hem de yemek için kuyrukların oluşmasının önüne geçilmelidir. Ana yemek salonlarının dışında misafirleriyle yemek yiyebilecekleri alternatif yemek salonları ve kafeler yaratılmalıdır.

Yapı Genelinde Donatıların Özellikleri: Mobilyaların keskin veya sivri köşeleri olmamalı, dengeli ve güçlü olmalıdır. Devrilmeye karşı önlemler alınmalı ve mobilyaların etrafından güvenli bir şekilde dolaşılacak rahat hareket alanı kalmalıdır. Tüm mekanlarda, kapılar ve koridorlar tekerlekli sandalye vb. geçişine uygun genişlikte olmalıdır.

Her oda da mutlaka kullanıcısına özel banyo ve tuvalet bulunmalıdır. Banyo ve tuvaletler ve tüm donatılar yaşlılar için uygun ölçülerde olmalı, banyolarda kayma ve yaralanmalara neden olacak küvet, duşakabin ve perde bulunmamalı. Banyoda duş esnasında ihtiyaç hissedenler için sabit ya da gerektiğinde açılır oturma elemanı bulunmalıdır. Banyo ve tuvaletlere tutunma barları yerleştirilmelidir. Odalarda (allerjen ve temizlik) açısından duvardan duvara halı kullanılmamalı parke ve benzer malzemeler tercih edilmelidir. Tesis içinde katlarda dikkat çekici, okunaklı yönlendirme tabelaları, kesişme noktalarında ve geçişlerde, asansörlerin karşısında ve merdiven başlarında kat planları bulunmalıdır.

Güvenlik- acil çıkışlar ve acil durum önlemleri olarak, odalara ve yapı geneline, yangına karşı, duman detektörleri ve sprintirlar yerleştirilmelidir. Tesis genelinde kolay alev almayan ürünler tercih edilmelidir. Yangın ya da afet esnasında acil tahliye çıkışları yaşlılar ve engelliler düşünülerek yangın yönetmeliklerinde belirtilen mesafelerden daha kısa tutulmalıdır.

Düşey ve yatay sirkülasyon alanları: Kot farkı olan her yerde rampa olmalıdır. Rampa eğimi, asansör genişlikleri, kapılar ve merdiven yükseklikleri yaşlı kişiler ve tekerlekli sandalye için uygun olmalıdır. Rampa ve merdivenlerde yaşlılar için korkuluk, küpeşte yerleştirilmelidir.

Asansörlerde tüm yüzeyler, düzgün, kaymaz ve gerekli yerlerde dokulu zemin kullanılmalı ve kullanıcının oturabilmesi için gerektiğinde açılabilir oturma elemanları yerleştirilmelidir. Asansörlerde, merdiven girişi ve çıkışlarında yaşlılar ve engelliler için işitsel uyarılar bulunmalıdır.

Merdiven, asansör, koridor vb. kullanılan trabzanlar (küpeşte) sağlam, tutmayı kolaylaştırıcı ve kaymaz olmalı. Merdivenler yaşlılar için sahanlıklı ve uygun rıhta yapılmalıdır. Tesislerde akustik tedbirler alınmış, ısı ve su yalıtımı yapılmış, iklimlendirme, güneş kırıcı vb. mevcut olmalıdır.

Açık Alanlar: Tesis girişinden yapı girişlerine kadar olan mesafede yaşlılar rüzgâr, yağmur, güneş vb. hava koşullarından korumak için pasif iklimlendirme yapılmalıdır (Saçak, ağaçlandırma, bitkilendirme vb.). Sıcak aylarda kullanılabilecek açık yüzme havuzu hem keyifli vakit geçirmelerini hem de sağlık sebebiyle spor yapmalarını ve güneşten faydalanmalarını destekleyecektir. Oto parklar açık ya da yarı açık olarak tasarlanabilir. Park alanları normların dışında kullanıcının aracını rahat park edebileceği, rahat manevra yapabileceği genişlik ve ölçülerde tasarlanmalıdır. Yapı çevresinde yaşlının dinlenebileceği yürüyüş yapabilecekleri yürüyüş yolları ve parklar düşünülebilir.

Yollar engelsiz düz ve kaymaz zeminden oluşmalı kot farkı olan yerlerde rampalar yapılmalıdır. Açık alanlarda peyzaj düzenlemeleri yapılmalıdır. Ayrıca yansıma havuzları ve benzer düzenlemeler kullanıcı için rahatlatıcı unsurlar yaratacaktır. Kot farkı ya da basamak olan her yerde rampa olmalı

Donatılar: Açık alanlarda; yapı girişleri, yakın çevre, yürüme alanları, sokak, tüm duraklar, bahçeler kullanıcının dinlenmesi, çevreyi seyretmesi ve sosyalleşebilmesi için gerekli yerlerde banklar yerleştirilmeli. Banklar dikkat çekici renk ve tasarımlarda sağlam ve kullanıcının ergonomisine uygun olmalı kullanıcıyı hava şartlarından korumak için saçak, ağaç vb. bir unsur bulunmalı.

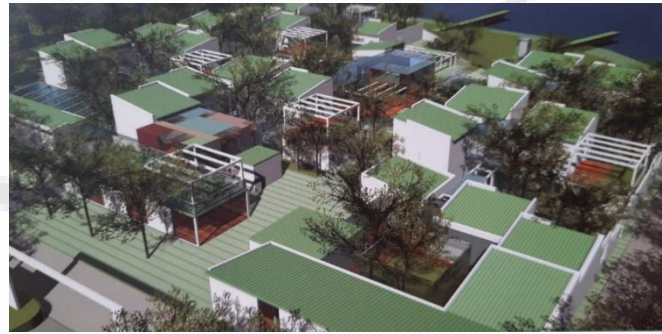
Bilgilendirme tabelaları yeterli miktarda, okunaklı ve dikkat çekici olmalıdır. Ayrıca kilit noktalara, alanın haritası ve bulunulan nokta işaretlenmiş olmalı. Merdivenler yaşlılar için sahanlıklı ve uygun rıhta , Yapı girişleri, tesis çevresi, otopark, park, sokak ve tüm duraklar, geceleri iyi aydınlatılmış olmalıdır. Gerekli yerlerde harekete duyarlı sensörlü aydınlatmalar kullanılmalıdır. Yapı bünyesinde ve girişlerde güvenlik sağlanmış olmalıdır.

Güvenlik-Acil Çıkışlar ve Acil Durum Önlemleri: Acil durumlarda, gerek itfaiye aracının gelebilmesi gerek ambulansın gelebilmesi için giriş ve çıkışların bu durum düşünülerek tasarlanmalı ve gerekli yerlerde itfaiye muslukları daha sık konmalı. Asansörlerde, koridorlarda farklı noktalarda ve merdiven başlarında yardım butonları yerleştirilmelidir.

Ulaşım: Tesislerin önünden ya da çok yakınından toplu ulaşımına ulaşılabilir olmalı ve sefer sayıları sık olmalıdır. Duraklar yaşlıların şartlarına uygun hava şartlarından koruyacak şekilde tasarlanmalı ve yeterli şekilde gece aydınlatılmalıdır. Personel Eğitimi ve Hizmetleri: Kurum bünyesinde çalışan tüm personeli yaşlılarla ilgili olarak iletişim teknikleri, hizmet, bakım ve destek sağlamada ve yaşlı misafirlerin ihtiyaçlarını anlamaları için özel olarak eğitim almış olmaları ya da eğitimlerden geçmeleri önemlidir.

Önerdiğimiz yaşlı yaşam turizmi için örnek göstermek zor olsa da yaşlılar için tasarlanmış iki proje olumlu örnek olarak gösterebiliriz. Birinci proje Selim Velioğlu ve ekibinin tasarladığı Nemetschek Academy'nin düzenlediği uluslararası” Senior Residence Mimari Proje Yarışması”nda birincilik ödülü almıştır. Proje, açık, yarı açık/yarı kapalı ve kapalı mekanlardan oluşuyor. Kullanıcının bireysel ve sosyal gereksinimlerini karşılamaya yönelik kurgu az katlı parçacıl yerleşim için olumlu bir örneği oluşturmaktadır (Şekil 1 – Şekil 2).

Şekil 1-2 Nemetschek Academy, 2004. Uluslararası Mimari Fikir Yarışması Yaşlılar Evi (Senior Residence) 1. Ödülü. Tasarlayan: Selim Velioğlu ve ekibi (Ed. Yılmaz,B., 2013).



İkinci proje ise GRND82 mimarlık ekibinin İspanya Barselona’da “85 Yaşlılar İçin Korumalı Konut Üniteleri Ve Kamu tesisleri Projesi” kent içi yoğun yerleşime olumlu bir projesidir. Çok katlı blok düzende tasarlanan proje, L formunda barınma bloğu ve tek katlı alana yayılmış kamu tesislerinden oluşmaktadır. Mimar yapı içindeki teraslı odaları şöyle tanımlıyor. “Teraslar içindeki dairenin ölçeğini aşılıyor ve binanın geri kalanıyla olduğu kadar şehirle de doğrudan diyalog kuruyor.” Oturma, yatma, mutfak ve banyo mekanlarından oluşan odalar, bir terasla dışarıya açılıyor. Yaşlı bireylerin kullanımı özel olarak düşünülmüş odalarda, oda geçişlerinde ve mutfakta kapı bulunmuyor, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 (D-PLAN DERGİSİ).

Şekil 3. Yaşlılar İçin Korumalı Konut Üniteleri Ve Kamu tesisleri Projesi. GRND82 Mimarlık Ofisi. İspanya Barselon. (Leonardi M., Dall'occa Dell'orso G., Re, G. edt. 2010) Photographs:Adrià Goula, Jordi Castellano



| 310

Şekil 4: Bodrum ve Giriş Kat Planı. Yaşlılar İçin Korumalı Konut Üniteleri Ve Kamu tesisleri Projesi. GRND82 Mimarlık Ofisi. İspanya Barselon. (Leonardi M., Dall'occa Dell'orso G., Re, G. edt.2010)



Şekil 5. Yaşlılar İçin Korumalı Konut Üniteleri Ve Kamu tesisleri Projesi. GRND82 Mimarlık Ofisi. İspanya Barselon (Archdaily. Photographs:Adrià Goula, Jordi Castellano) Photographs:Adrià Goula, Jordi Castellano



6. Sonuç ve Tartışma

Atıl durumdaki turizm tesislerinin yaşlı turizmi için dönüştürülmesi, fiziksel alanın, olanakların, hizmetlerin ve yaşlı kullanıcıların deneyiminin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir. Tesislerin; bahsedilen kriterleri taşıması, erişilebilir, işlevsel, dayanıklı, estetik, konforlu ve güvenli olması ve özel hizmetlere öncelik vermesi tesisin yaşlı misafirler için başarılı bir şekilde yeniden tasarlanmasının anahtarıdır. Tesisin yaşlı misafirler için rahat bir ortam sağladığından emin olunmalı, uygun aydınlatma, dinlenmek için sessiz alanlar ve güvenlik sağlanmalıdır. Tesis sürekli olarak iyileştirmek ve ihtiyaçlarını ve tercihlerini daha iyi karşılayacak şekilde uyarlamak için yaşlı misafirleri temsil eden bir oluşumun kurulması ve sürekli geri bildirimlerin alınması da çok önemlidir.

Belli sürelerde boş ve atıl kalan ya da çeşitli sebeplerle kullanılamayan tesislerin yeniden elden geçirilmesi, tadilatları ve yaşlı kullanıcıya uygun hale dönüştürülmesi için devlet desteği de gerekebilir. Bu tesisler eğer bir zincir markanın tesisleri içinde yaşlıların tesis değiştirmesine olanak verecek bir yapıya sahip olursa yaşlılar tarafından tercih edilmesinde önemli bir ölçüt olabilir. Atıl durumdaki tesislerin yaşlı yaşam turizmine dönüştürülmesiyle, mevsimlik turizmin tesislerinin bir kısmının 12 ay ve üstü kullanımı ile pandemi ve savaş gibi küresel krizlerden etkilenme sorunu yaşamayacağı ve Türkiye ekonomisine çok önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Engelli Ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü. (2020). 2020 Yılı Yaşlı Nüfus İstatistikleri Bülteni. https://www.aile.gov.tr/media/89041/yasli_nufus_istatistik_bulteni.pdf (Erişim Tarihi: 6 Ekim 2024)
- Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri. 3. Yaş Turizmi, 5. slayt. <https://acikders.ankara.edu.tr/resource/view>. (Erişim Tarihi: 26 Kasım 2023)
- Arkitera Mimarlık Merkezi AŞ. 1. Ödül: Uluslararası Mimari Fikir Yarışması - Yaşlılar Evi (Senior Residence). Arkiv. <https://www.arkiv.com.tr/proje/1-odul-uluslararasi-mimari-fikir-yarismasi-yasli-lar-evi-senior-residence/4918?lang=en> (Erişim Tarihi: 26 Ekim 2024)
- Göçümlü, B. Ç., (2021). Türkiye için yaşlı bakım turizminde 'fırsat kapısı' aralanabilir. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/turkiye-icin-yasli-bakim-turizminde-firsat-kapisi-aralanabilir/2189877> (Erişim Tarihi: 26.10.2023)
- GRND82. 85 Sheltered Housing Units for Senior and Public Facilities. Arcdaily. https://www.archdaily.com/786055/85-sheltered-housing-units-for-senior-and-public-facilities-grnd82/57193f2be58ece284c000021-85-sheltered-housing-units-for-senior-and-public-facilities-grnd82-photo?next_project=no (Erişim Tarihi: 26.10.2023)
- Leonardi, M., Dall'occa Dell'orso, G., Re, G. (2010). The Plan: Architecture & Technologies in Detail. Guidacci/ Mexican emerging architects/ Kuma /Navarro/MArte.Marte/Serrat Egea Garefa/Piano. Sayı: 042, Mayıs, Milano, İtalya.
- Slayt.3. Yaşlılığın Demografisi [PDF dosyası]. Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri. [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/149097/mod_resource/content/0/Ya%C5%9F%C4%B1%C4%B1%C4%B1n%20Demografisi.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/149097/mod_resource/content/0/Ya%C5%9F%C4%B1%C4%B1%C4%B1%C4%B1n%20Demografisi.pdf) (Erişim Tarihi: 26.10.2023)
- Şener, Ş. B. (2023). Aktif Yaşlanmada Yapı Ve Kent İlişkisi, İlkeler Ve Kriterler, Doktora tezi, Trakya Üniversitesi, Mimarlık Bölümü.
- Turizm Databank.(2022). <https://www.turizmdatabank.com/turizm-istatistikleri/2022de-kac-otel-sirketi-kapandi/> (Erişim Tarihi: 26.11.2023).
- Turizm News Sektörel Haber Portalı. (2022, 17 Eylül). 2022'de kaç otel kapandı! <https://www.turizmnews.com/2022-de-kac-otel-kapandi/27438/> (Erişim Tarihi: 26.10.2023).
- UNWTO. (2023). Glossary of tourism terms. <https://www.unwto.org/tourism-data/international-tourism-and-covid-19> (Erişim Tarihi: 2 Kasım 2023).

Yılmaz, B. (Ed.). (2013). Bir Açılış Olarak Yapı: Selim Velioğlu. Yapı - Endüstri Merkezi Yem Yayınları, 225, İstanbul.



Makale id= 91

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0004-8097-2797

| 313

Sürdürülebilir Yapımda Minimalist Tasarım Yaklaşımının Değerlendirilmesi**Araştırmacı Duygu Yıldız¹, Dr. Öğretim Üyesi Güven Şener¹**¹Yıldız Teknik Üniversitesi

*Corresponding author: Duygu Yıldız

Özet: Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmadan, mevcut ihtiyaçlarımızı karşılamak için kaynakları sorumlu bir şekilde kullanmayı ifade eder. Sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunması, çevresel denge, ekonomik istikrar, sosyal adalet, gelecek nesillerin hakları ve küresel sorunlar ile mücadele için önemlidir. Çevre sorunlarına neden olan sektörler, faaliyetleri sırasında doğal kaynakların aşırı kullanımı, atık üretimi, kirlilik ve ekosistemlerin bozulması gibi etkiler yaratmaktadır. Çevre sorunlarına yol açan sektörlerin başında enerji sektörü, sanayi sektörü, tarım sektörü ve hayvancılık önemli yer tutarken inşaat sektörü, yüksek enerji tüketimi ve doğal kaynak kullanımı nedeniyle sürdürülebilir kalkınma için büyük bir risk oluşturmaktadır. Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI) tarafından yapılan araştırmaya göre, inşaat sektörü küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %39'undan sorumludur. İnşaat sektörü, küresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında çok önemli bir role sahiptir. Bu bildiri; inşaat sektöründe minimalist tasarım yaklaşım prensiplerinin sürdürülebilir yapının, tasarım, üretim ve yok etme aşamalarındaki önemini vurgulanmaktadır. Minimalist yaklaşım (Minimalizm), malzeme kullanımının azaltılmasını ve enerji verimliliğini teşvik ederek inşaat sektöründe sürdürülebilir yapıyı desteklemekte önemli yer tutacaktır. Bu bağlamda minimalist tasarım yaklaşımı, gereksiz kaynak israfını azaltan ve çevresel ayak izini en aza indiren önemli bir strateji olarak öne çıkabilir. Sürdürülebilir yapı için minimalist tasarım yaklaşımı "en az malzemeyle, en yalın, en ekonomik ve en işlevsel sonuca gitme" prensipleri ile sadeliğe, kaynak verimliliğine ve gereksiz malzeme kullanımını azaltmaya vurgu yapmaktadır. Bu nedenle Sürdürülebilirlik ve minimalizm ortak bir zemini paylaşması ile, inşaat sektöründe sürdürülebilir yapı için minimalist yaklaşım önemli bir tasarım kriteri oluşturabilir.

Anahtar Kelimeler: Minimalizm, Sürdürülebilirlik, Yalın Üretim, Ekonomik Tasarım**Evaluation of the Minimalist Design Approach in Sustainable Construction**

Abstract: Sustainability refers to using resources responsibly to meet our current needs without jeopardizing the ability of future generations to meet their needs. Sustainability is important for the conservation of natural resources, environmental balance, economic stability, social justice, the rights of future generations and tackling global challenges. Sectors that cause environmental problems create impacts such as overuse of natural resources, waste production, pollution and degradation of ecosystems during their activities. While the energy sector, industry, agriculture and livestock breeding are the leading sectors that cause environmental problems, the construction sector poses a major risk to sustainable development due to its high energy consumption and use of natural resources. According to research conducted by the World Resources Institute (WRI), the construction sector is responsible for approximately 39% of global carbon emissions. The construction sector has a crucial role in ensuring global sustainability. This declaration emphasizes the importance of the principles of minimalist design approach in the construction sector in the design, production and disposal phases of sustainable construction. The minimalist approach (Minimalism) will play an important role in promoting sustainable construction in the construction sector by promoting material use reduction and energy efficiency. In this context, the minimalist design approach can stand out as an important strategy that reduces unnecessary waste of resources and minimizes the environmental footprint. The minimalist design approach for sustainable construction emphasizes simplicity, resource efficiency and reducing the use of unnecessary materials with the principles of "going for the simplest, most economical and functional result with the least material". Therefore, with

sustainability and minimalism sharing a common ground, the minimalist approach for sustainable construction in the construction sector can constitute an important design criterion.

Keywords: Minimalism, Sustainability, Lean Production, Economic Design

1.GİRİŞ

“Sadelik; En yüksek gelişmişlik düzeyidir.” (Leonardo Da Vinci)

Tarih boyunca insanlar barınma ihtiyaçlarını karşılamak için farklı yapılar inşa etmiş, bu süreçte çeşitli tasarım felsefeleri benimsemişlerdir. Özellikle erken dönemlerde inşaat, basit ve minimalist bir yaklaşım doğrultusunda gereksiz unsurlardan kaçınarak yerel olarak mevcut malzemelerin verimli bir şekilde kullanılmasıyla karakterize edilmiştir. Bu bağlamda, Leonardo Da Vinci'nin “Sadelik en yüksek gelişmişlik düzeyidir” sözü, minimalist tasarımın hem sanat hem de mimarlık alanındaki değerinin altını çizmektedir. Farklı tarihsel dönemlerde gözlemlenen minimalist eğilimler sadece estetik bir tercihi temsil etmekle kalmamış, aynı zamanda işlevsellik, sürdürülebilirlik ve ekonomik kaynak kullanımı açısından da önemli bir strateji oluşturmuştur (Grajčević, V., 2024). Günümüzde minimalist tasarım, sürdürülebilir mimarlık çerçevesinde yeniden önem kazanmış ve tarihsel örneklerden ilham alan modern bir tasarım yaklaşımı sunmuştur.

Çevre sorunlarına yol açan sektörlerin başında enerji sektörü, sanayi sektörü, tarım sektörü ve hayvancılık önemli yer tutarken inşaat sektörü, yüksek enerji tüketimi ve doğal kaynak kullanımı nedeniyle sürdürülebilir kalkınma için büyük bir risk oluşturmaktadır. Dünya genelinde enerji tüketimi sıralamasında en üst sıralarda yer alan inşaat sektörü, hem inşaat süreci hem de binaların kullanımı sırasında salınan sera gazları nedeniyle kaynakların tükenmesine ve çevre kirliliğine önemli ölçüde etki etmektedir. Küresel enerji tüketiminin ve buna bağlı emisyonların büyük bir kısmından sorumlu olan bu sektörün çevre üzerinde etkisi çok büyüktür (Erdoğan S.,2020: 277-303).

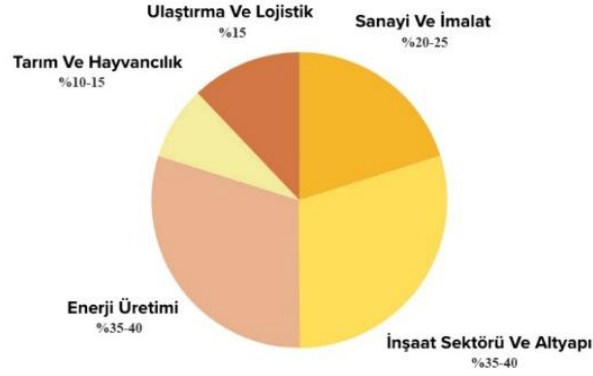
İnşaat sektörünün bu etkileri sebebi ile de yapı üretiminde sürdürülebilir yapılaşmanın önemi gün geçtikçe artmaktadır. 2023 yılında, yeşil binalar küresel enerji kaynaklı emisyonların yaklaşık %37'sini oluşturmaktadır ve bu da yeşil binaları iklim krizinin ele alınmasında çok önemli bir sektör haline getirmektedir (Plan Be Eco.,2025). Bu bağlamda minimalist tasarım yaklaşımı, kaynak kullanımını azaltan ve çevresel ayak izini en aza indiren önemli bir strateji olarak kabul edilmektedir. Sürdürülebilir mimari ve minimalist tasarım, sadeliğe, kaynak verimliliğine ve gereksiz malzeme kullanımını azaltmaya yaptıkları vurguyla ortak bir zemini paylaşmaktadır. Her iki yaklaşım da gereksiz bileşenleri ortadan kaldırarak işlevsel ve verimli bir alan yaratmayı amaçlamaktadır. Bu da hem işlevsel hem de estetik açıdan modernize edilmiş mekânların yaratılmasıyla sonuçlanır (Kamal & Nasir, 2022: 277-300).

Bu makalede, minimalist tasarımın inşaat sektörünün yarattığı çevresel sorunların ele alınmasındaki rolü ve potansiyeli incelenecektir. Minimalist tasarımın kaynak verimliliği, enerji tasarrufu ve atık yönetimi gibi alanlar üzerindeki etkisi araştırılacak ve bu yaklaşımın sürdürülebilir bir gelecek için nasıl bir araç olarak kullanılabileceği tartışılacaktır. Ayrıca, sektördeki mevcut uygulamalara ve gelecek projeksiyonlarına dayanarak, minimalist tasarımın yaygın olarak benimsenmesini teşvik etmek için öneriler sunulacaktır.

2. İNŞAAT SEKTÖRÜNÜN ÇEVRE ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Tarih boyunca insanlar doğa ile sürekli bir mücadele içinde olmuştur. Başlangıçta doğanın sağladığı kaynaklarla yetinen insanlar, zamanla çevrelerini şekillendirme ve değiştirme çabası içine girmişlerdir. İnşaat faaliyetleri, insan uygarlığının gelişimine paralel olarak başlamıştır (Ceylan, H. ve Yavuz, B.,2022: 423-428).

Çevre sorunlarına yol açan sektörlerin başında enerji sektörü, sanayi sektörü, tarım sektörü ve hayvancılık önemli yer tutarken inşaat sektörü, yüksek enerji tüketimi ve doğal kaynak kullanımı nedeniyle sürdürülebilir kalkınma için büyük bir risk oluşturmaktadır.



Şekil 2.1 Sektörlere Göre Çevresel Etki Yüzdeleri (Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI))

İnşaat sektörü, küresel çevre sorunlarına etki eden en önemli sektörlerden biridir. Bu sektör, doğal kaynakların yoğun kullanımı, enerji tüketimi ve atık üretimi de dahil olmak üzere çeşitli çevresel etkileriyle dikkat çekmektedir. Özellikle, inşaat malzemelerinin üretimi ve nakliyesi sırasında ortaya çıkan karbon emisyonları, küresel ısınmanın şiddetlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, yapılan bazı araştırmalar çimento üretiminin tek başına küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %8'ini oluşturduğunu göstermektedir (Andrew, 2018: 195-217). Ayrıca, inşaat ve yıkım atıkları katı atık depolama sahalarının önemli bir bölümünü işgal ederek toprak kirliliğine ve ekosistemin bozulmasına yol açmaktadır (Adams vd., 2020). İnşaat faaliyetleri sırasında aşırı su kullanımı ve hava kirliliği de önemli çevresel sorunlar arasındadır (Zhang ve Wang, 2019: 356-366). Bu etkiler, inşaat sektöründeki sürdürülebilir olmayan uygulamaların çevre üzerindeki olumsuz sonuçlarını açıkça göstermektedir. İnşaat faaliyetlerinin çevresel etkileri hem üretim aşaması, yapıların kullanım aşaması ve yok etme boyunca devam eder. Bu problemler doğru tasarım yaklaşımları ile azaltılabilecekken yanlış tasarım yaklaşımları ile de problemler daha da artış göstermesine neden olan etkenlerdendir.

2.1. Kaynak Tüketimi ve Doğal Çevre Üzerindeki Etkileri

İnşaat sektörü, doğal kaynakların yoğun bir şekilde kullanılmasını gerektiren sektörlerden birisidir. Beton, çelik, cam ve kereste gibi malzemelerin üretimi önemli miktarda hammadde ve enerji tüketimine yol açmaktadır. Özellikle beton üretimi, küresel su kullanımının önemli bir kısmını oluştururken, çimento üretimi sırasında salınan karbondioksit (CO₂) emisyonları küresel iklim değişikliğine önemli ölçüde katkıda bulunur (Worrell vd., 2001: 303-329). Ayrıca, inşaat malzemelerinin çıkarılması ve taşınması doğal yaşam alanlarının tahrip olmasına, toprak erozyonunun artmasına ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olabilir. Neden olan etkenlerdendir.

2.2. Enerji Kullanımı ve Karbon Ayak İzi

İnşaat sektörü, küresel enerji tüketiminin yaklaşık %36'sını ve dünya genelinde enerjiyle ilişkili CO₂ emisyonlarının %39'unu oluşturmaktadır (Global Alliance for Buildings and Construction, 2020). Binaların inşası, ısıtılması, soğutulması ve aydınlatılması sırasında fosil yakıtların yoğun kullanımı, sera gazı emisyonlarının artmasına katkıda bulunmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, hızlı kentleşme ve nüfus artışı enerji taleplerini daha da artırmakta ve çevresel sürdürülebilirlik için bir tehdit oluşturmaktadır.

İnşaat sektöründeki büyüme nedeniyle de karbon ayak izi de yıllar içinde artış göstermektedir. İnşaat sektöründeki Kapsam 2 ve 3 karbon emisyonları (dolaylı emisyonlar), sektörün toplam emisyonlarının ortalama %80'ini oluşturmaktadır. Sektörün emisyonlarını azaltmak için tedarik zincirinin sektörle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.3. Atık Üretimi ve Geri Dönüşüm Sorunları

İnşaat ve yıkım atıkları, katı atık üretiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Avrupa Birliği'nde inşaat ve yıkım atıkları toplam atıkların yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır (Eurostat, 2020). Bu atıkların büyük bir kısmı geri dönüştürülmeden düzenli depolama alanlarına gönderilmekte, bu da toprak ve su kirliliğine yol açmaktadır. Ayrıca, inşaat malzemelerinin düşük geri dönüşüm oranları doğal kaynakların daha hızlı tükenmesine neden olmaktadır.

2.4. Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Üzerindeki Etkiler

İnşaat sektörü, arazi kullanımı değişiklikleri ve doğal yaşam alanlarının tahrip edilmesi yoluyla biyoçeşitliliği ve ekosistemleri önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle, doğal alanların inşaat faaliyetleri için dönüştürülmesi, flora ve fauna türlerinin yaşam alanlarını kaybetmesine neden olarak ekosistem dengesini bozmaktadır. Ayrıca, inşaat süreçlerinde kullanılan beton ve çelik gibi malzemelerin üretimi yüksek enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları içermekte, iklim değişikliğine katkıda bulunmakta ve ekosistemleri olumsuz etkilemektedir (İZKA,2021). Bu durum ekosistem hizmetlerinin azalmasına yol açarak insan refahını tehlikeye atmaktadır (AÇA,2020).İnşaat sektöründe sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesi ve biyomalzemelerin kullanılması, biyoçeşitliliğin korunması ve ekosistemlerin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, inşaat sektörünün çevresel etkilerinin en aza indirilmesi sadece çevresel sürdürülebilirlik için değil, ekonomik ve sosyal refah için de büyük önem taşımaktadır. Gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakmak için inşaat sektörünün her alanında sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesi ve teşvik edilmesi gerekmektedir.

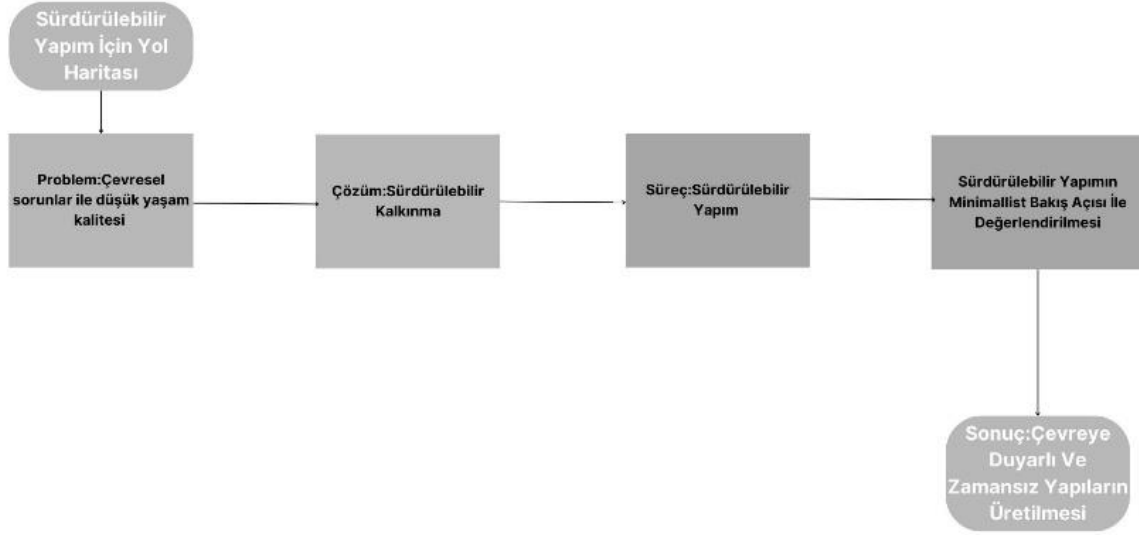
3. MİMARİ TASARIMDA MİNİMALİST YAKLAŞIMIN SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI ÜRETİMİNE SAĞLAYACAĞI KATKILAR

Minimalizm, bir şey için gerekli olan en az miktar olarak tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu, 2021). Minimalizm kelimesi Fransızca 'minimum' teriminden gelmektedir (Ertürk,2011). Birçok kuramcının ilgisini çeken bu kavram, ilk olarak Richard Wollheim tarafından sanatın temel unsurlarına indirgenmesini tanımlamak için kullanılmıştır (Tüysüz, G. E., 2011). Minimalizm, sadeliğe ve fazlalıkların ortadan kaldırılmasına odaklanan bir yaşam tarzı felsefesi ve tasarım yaklaşımıdır. Minimalizm, mimari tasarımlarda en az malzemeyle en yalın,en işlevsel ve en ekonomik yapıyı tasarlamayı amaçlar. Bu kavram; sanat, tasarım, mimari gibi çeşitli alanlarda kendini gösteren önemli bir tavidir.

Minimalizm, sadece modern bir akım olarak değil, tarih boyunca çeşitli biçimlerde benimsenmiş bir kavram olarak, bir yaşam ve tasarım ilkesi olarak varlığını sürdürmüştür. Maksim Gorki'nin “Bir insan ne kadar az şeyle idare ederse o kadar mutlu olur; istekler ve ihtiyaçlar arttıkça özgürlükler azalır” sözü minimalizmin sadece estetik olmadığını, doğrudan özgürlüğü ve mutluluğu kolaylaştırdığını vurgulamaktadır. Benzer şekilde Leonardo Da Vinci'nin “Sadelik en yüksek gelişmişlik düzeyidir” sözü de minimalist tasarımın bir ilerlemenin göstergesi olduğuna işaret eder. Bu anlayış mimaride de önemli bir yer tutmakta, modernist mimarinin öncülerinden Mies Van Der Rohe'nin “Az çoktur” ilkesi, yapılarda gereksiz detayları ortadan kaldırarak hem işlevselliği hem de estetiği korumaya devam etmektedir. Tarihsel süreçte minimalizm, özellikle geleneksel mimaride ve erken dönem yapı tasarımlarında temel bir ilke olarak görülmektedir. Ancak sanayi devrimi ve tüketim toplumunun alışkanlıkları ile birlikte karmaşık ve gösterişli ilişkiler ön plana çıkmış, minimalist kavramlar geri plana itilmiştir. Günümüzde ise sürdürülebilirlik, ekonomik kaynak kullanımı ve refahın ön plana çıkmasıyla minimalizm bir tasarım kriteri olarak yeniden önem verilmesi ve çağdaş mimarlık anlayışında öneminin tekrardan fark edilmesi sürdürülebilirlik açısından çok önemlidir.

Mimarlık, insan yaşamını şekillendiren ve çevreyle etkileşimimizi belirleyen önemli bir disiplindir. Sürdürülebilirliğin küresel bir öncelik haline geldiği son yıllarda, mimaride minimalist yaklaşımların önemi daha da ortaya çıkmaktadır. Minimalizm, basitlik, işlevsellik ve gereksiz unsurların ortadan kaldırılması ilkelerine dayanır. Bu yaklaşım, sadece estetik bir tercih olmanın ötesine geçerek, verimli kaynak kullanımı, enerji tasarrufu ve çevresel etkilerin azaltılması gibi sürdürülebilirlik hedeflerine hizmet etmektedir.

Son zamanlarda sürdürülebilirlik kavramı ‘yeşil, iklim ve çevre dostu, sıfır enerji, ekolojik’ gibi kavramlarla ön plana çıkarak daha iyi bir yaşamı hedefleyen bir kavram olarak ortaya çıkmıştır (Vural vd.,2013). Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmadan, mevcut ihtiyaçlarımızı karşılamak için kaynakları sorumlu bir şekilde kullanmayı ifade eder. Sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunması, çevresel denge, ekonomik istikrar, sosyal adalet, gelecek nesillerin hakları ve küresel sorunlar ile mücadele için önemlidir.



Şekil 3.1 Sürdürülebilir Yapım İçin Basitleştirilmiş Yol Haritası

Minimalist mimari, sürdürülebilir yapıya çeşitli şekillerde katkıda bulunur. Öncelikle, bu yaklaşım malzeme kullanımını en aza indirerek doğal kaynakları korur. Minimalist tasarımlar tipik olarak malzeme tüketiminin azaltılmasını teşvik eder, bu da hammadde kullanımını azaltır. Örneğin, minimalist bir bina tasarımında, gereksiz detaylar ve süslemeler yerine işlevsel ve dayanıklı malzemeler tercih edilir. Bu yaklaşım, inşaat sürecinde atık oluşumunu önemli ölçüde azaltır. Minimalist tasarım, her bir malzeme unsurunun amacına hizmet etmesini ve uzun vadeli sürdürülebilirliği korumasını sağlamayı amaçlar. Bu yaklaşım, daha az malzeme kullanarak inşaat sırasında önemli maliyet düşüşlerine yol açmaktadır (Kaplan ve Demir, 2020: 134-147). Ayrıca, minimalist tasarımlar genellikle inşaat sürecini hızlandıran ve işçilik maliyetlerini azaltan modüler yapıları tercih etmektedir. Prefabrik yapı sistemleri inşaat süresini kısaltarak hem zamansal hem de işçilik giderlerini azaltır (Pala, 2022: 455-470). Bu yapılar, düşük maliyetli ve sürdürülebilir evlerin üretimini kolaylaştırarak uygun fiyatlı konut projelerinde popüler bir tercih haline gelmektedir.

Las Americas projesi, dünya çapında konutlarda sürdürülebilirliği ve satın alınabilirliği teşvik etmeyi amaçlayan bir girişimdir. SO-IL mimarlık firması tarafından tasarlanan bu sosyal konut girişimi, Meksika'nın Leon kentinde artan konut talebine yanıt vermiştir. Altı katlı yapı, kentsel sosyal yaşamı bütünleştirirken sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir çözüm sağlamayı amaçlıyor. Bu proje, yüksek yoğunluklu, uygun fiyatlı konut ihtiyacını karşılamakta ve topluluk etkileşimini teşvik etmektedir (Karakoç, N. (2021))



Görsel 1. Las Americas Projesi Sokaktan Görüntü (Arkitera.com)

Görsel 2. Las Americas Projesi İç Avludan Bakış (Arkitera.com)

Konut birimlerinin modüler tasarımı, çeşitli aile yapılarını barındıracak esneklik sunmaktadır. Uyarlanabilir iç mekan çözümleri uzun vadeli kullanılabilirlik sağlayarak yapının uzun ömürlü olması amaçlanmaktadır. Binanın yapısal sistemi, dayanıklılık ve ekonomik verimlilik için betonarme ve çeliği bir araya getiriyor. Montaj içinde özel inşaat ve ağır makineler kullanmak yerine, Meksika’da bir işçinin taşıyabileceği maksimum ağırlık olan tam 17 kg ağırlığındaki temel bir beton blok oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, inşaat bütçesinin daha fazla sayıda bireye fayda sağlamasını mümkün kılmıştır(Karakoç,N. (2021))



Görsel 3. Las Americas Projesinde Kullanılan Beton Bloklar (Arkitera.com)

Cephe tasarımı, doğal ışığı ve hava sirkülasyonunu en üst düzeye çıkarmak için geniş açıklıklar ve yarı geçirgen yüzeyler içermekte ve pasif tasarım stratejileri ile enerji tüketimini en aza indirmektedir. Çatı ve teraslardaki yeşil alanlar ve ortak kullanım alanları sosyal etkileşimi teşvik ederken ısı azaltma stratejisi olarak da hizmet veriyor. Bu proje sadece ekonomik ve sürdürülebilir konut çözümleri sunmakla kalmıyor, aynı zamanda sosyal konutlara gelişmiş bir minimalist yaklaşım sunuyor. Düşük gelirli gruplar için kentsel çevrelerde erişilebilir, toplum odaklı bir yaşam modeli oluşturmakta ve hem satın alınabilirliği hem de sosyal entegrasyonu vurgulamaktadır.

Minimalist mimari enerji verimliliğini artırmaya yönelik stratejilerle uyumludur. Minimalist yapılar tipik olarak ısıtma, soğutma ve aydınlatma için enerji gereksinimlerini azaltan daha küçük ölçekli ve kompakt tasarımlara sahiptir. Ayrıca, bu tasarımlar doğal ışık ve havalandırmanın etkin kullanımını teşvik ederek enerji tüketiminin azalmasına ve binalar için daha küçük bir çevresel ayak izine yol açmaktadır. Bu yapılarda tipik olarak sınırlı sayıda yapı malzemesi kullanılır. Bu yaklaşım, işçilerin çeşitli malzemeler için özel beceriler edinmesine gerek olmadığından işgücü verimliliğini artırır. Örneğin, çelik strüktürlü minimalist konut projelerinde, tüm taşıyıcı sistem tek bir malzeme kullanılarak çözülmekte, bu da inşaat sürecini hızlandırmaktadır (Kumar ve Silva, 2019). Bazı açılarından bu örnek minimalist tasarım yaklaşımının üretim ve kullanım aşamaları için olumlu bir örnek sayılabilir.

4.SONUÇ

Bu çalışma, minimalist tasarım ilkelerinin sürdürülebilir inşaat süreçlerindeki rolünü incelemekte ve katkılarını çevresel, ekonomik ve estetik açılardan değerlendirmektedir. Bulgular, minimalist tasarımın, yapı malzemelerinin daha verimli kullanılması ve enerji tüketiminin azaltılması gibi sürdürülebilirlik ilkeleriyle önemli ölçüde uyumlu olduğunu göstermektedir. Minimalist tasarım, gereksiz dekoratif unsurları ve aşırı kaynak kullanımını ortadan kaldırarak hem karbon ayak izinin azaltılmasına hem de uzun ömürlü yapılar inşa edilmesine katkıda bulunmaktadır.

319

Literatürdeki önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında, minimalist yaklaşımla inşa edilen binaların enerji verimliliği, atıkların azaltılması ve doğal ışık kullanımının artırılması açısından sürdürülebilir mimariye olumlu katkılar sağladığı görülmektedir. Ancak bazı araştırmalar minimalist tasarımın başlangıçta maliyetli olabileceğini ve kullanıcı konforu açısından yeterli kişiselleştirme imkânı sunmayabileceğini öne sürmektedir. Bu çalışmada elde edilen veriler, tasarım sürecinin optimizasyonu yoluyla bu sınırlamaların büyük ölçüde aşılabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, minimalist tasarım anlayışının sürdürülebilir mimariye olan katkılarının yalnızca özellikleri ve ekonomik boyutlarla sınırlı olmadığı, aynı zamanda mekansal kalitenin bakış açısına ve önemli avantajlar sunduğuna ulaşılmaktadır.

İnşaat sektörü, küresel çevre sorunlarına önemli ölçüde etki eden bir sektör olarak öne çıkmaktadır. Sektörün sürdürülebilir olmayan uygulamaları kaynakların tükenmesine, aşırı enerji tüketimine, atık oluşumuna ve ekosistemin bozulmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, minimalist tasarım yaklaşımı bu sorunları gidermek için etkili bir strateji sunmaktadır. Minimalist tasarım yaklaşım prensipleri sürdürülebilir yapının, tasarım, üretim ve yok etme aşamalarındaki önemli rol oynayacağı düşünülmektedir. Bu prensipler;

- Sadelik (Simplicity)
- İşlevsellik
- Boşluk ve Negatif Alan
- Doğal Malzemeler
- Renk Paleti
- Doğal Işık
- Açık Plan
- Az Malzeme ile Çok İşlev
- Düzen ve Organizasyon
- Çevre Dostu Tasarım
- Simetri ve Denge
- Zamansız Tasarım'dır.

Gereksiz süslemelerden kaçınarak ve basit, işlevsel alanlar yaratarak minimalist tasarım, enerji tüketimini ve atık üretimini azaltmaya yardımcı olur. Ayrıca, sürdürülebilir yapı malzemelerinin kullanımı çevresel etkileri en aza indirir, enerji verimliliğini artırır ve doğal kaynakları korur. Minimalist mimari, uzun ömürlü ve uyarlanabilir tasarımlar sunarak bina ömürlerini uzatır ve sık sık yenileme veya yıkım ihtiyacını ortadan kaldırır. Bu da kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar ve inşaat sektörünün çevresel ayak izini azaltır. Ayrıca minimalist tasarımlar, insanların yaşam kalitesini artırarak sürdürülebilirliğin sosyal yönünü de desteklemektedir. Sade ve düzenli alanlar stresi azaltır ve daha huzurlu bir yaşam ortamı sağlar.

Bu çalışma, minimalist tasarım anlayışının sürdürülebilir yapı süreçleri üzerindeki etkisini değerlendirerek, gereksiz tüketimi önleyen, enerji verimliliğini artıran ve doğal kaynak kullanımını optimize eden bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaya çalışmaktadır. Bulgular, minimalist tasarımın sürdürülebilir yapı sektöründe önemli bir strateji olarak benimsenebileceğini ve karbon salınımını azaltma hedefleriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, minimalist tasarım sürdürülebilir

yapım teknikleriyle birleştğinde, hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli avantajlar sunacaktır. Ancak, tasarım süreçlerinde kullanıcı ihtiyaçlarının dikkate alınması, fonksiyonelliğin ön planda tutulması ve sürdürülebilir malzeme seçimlerinin daha fazla teşvik edilmesi gerekmektedir. Bu prensipler nicelikte sadeleşme sağlarken niteliği ön plana çıkaracaktır. Gelecekteki çalışmalar, farklı malzeme türlerinin ve yapı teknolojilerinin minimalist tasarım prensipleri ile nasıl daha etkin entegre edilebileceğini araştırarak, bu alandaki bilgi birikimini artırabilir.

KAYNAKÇA

- 1) Adams, R., Thornton, B., & Smith, T. (2020). *Environmental impacts of construction and demolition waste management*. Journal of Cleaner Production, 245, 118710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118710>
- 2) Avrupa Çevre Ajansı. (2020). *Biyolojik Çeşitlilik - Ekosistemler*. <https://www.eea.europa.eu/tr/themes/biodiversity/intro>
- 3) Andrew, R. M. (2018). Global CO2 emissions from cement production. *Earth System Science Data*, 10(1), 195-217 *Environmental impacts of construction and demolition waste management*.
- 4) Aşan, D. (2023). *Sürdürülebilir Malzemeler ve Kullanım Alanları*. <https://www.dilekasan.com/surdurulebilir-malzemeler-ve-kullanim-alanlari/>
- 5) Ceylan, H., & Yavuz, B. (2022). Türkiye’de Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamalarında İnşaat Sektörü Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 423-428.
- 6) Erdoğan, S. (2020). Enerji, çevre ve sera gazları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 277-303.
- 7) Ertürk, M. (2011). *Minimalizmin doğuşu ve mimaride biçim açısından Minimalizm değerlendirmesi* (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- 8) Global Alliance for Buildings and Construction. (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction.
- 9) Grajčevci, V. (2024). *Sürdürülebilir mimari yaratmak: Sınırlı kaynaklar ve düzenlemelerle zorlayıcı ortamlar için bir kılavuz* (Master's thesis, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- 10) İzmir Kalkınma Ajansı. (2021). *İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Yeşil Bina*. <https://izka.org.tr/wp-content/uploads/2021/06/Insaat-Sektorunde-Surdurulebilirlik-ve-Yesil-Bina-.pdf>
- 11) Kamal, M. A., & Nasir, O. (2022). Minimalism in architecture: a basis for resource conservation and sustainable development. *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, 277-300.
- 12) Karakoç, N. (2021). Meksika’nın León Şehrinde Uygun Fiyatlı Konut Projesi. [Arkitera.com](http://arkitera.com)
- 13) Kaplan, S., & Demir, M. (2020). Minimalist konut tasarımının enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik bağlamında incelenmesi. *Yapı Bilimleri Dergisi*, 6(2), 134-147. <https://doi.org/10.1000/ybj.2020.002>
- 14) Kumar, P., & Silva, C. (2019). Passive design strategies in minimalist housing: A sustainable approach. *International Journal of Architecture and Design*, 12(1), 45-60.
- 15) Pala, Y. (2022). Modern mimarinin Doğu Berlin’de prefabrik yapılara sosyal konutta yansıması. *Hars Akademi*, 5(2), 455-470. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2518033>
- 16) Papanek, VJ (1995). Yeşil zorunluluk: Gerçek dünya için doğal tasarım.
- 17) Plan Be Eco (2025). <https://planbe.eco>.
- 18) Türk Dil Kurumu. 2021. Minimalizm. <https://tdk.gov.tr/>

- 19) Tüysüz, G. E. (2011). *Kavramsal sanatın gelişimi* (Master's thesis, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- 20) Vural, N., Engin, N., & Vural, S. Sürdürülebilirlik Bağlamında Türkiye'deki Toplu Konut Örnekleri
- 21) Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., & Meida, L. O. (2001). Carbon dioxide emissions from the global cement industry. *Annual Review of Energy and the Environment*, 26(1), 303-329.
- 22) Zhang, X., & Wang, F. (2019). Life cycle assessment of the environmental impacts of building construction. *Sustainable Cities and Society*, 44, 356-366. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.019>



Makale id= 59

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-0226-1664

| 322

Pinus Sylvestris L.var. Compacta (Tosun) Ü.Akkemik Aşılı Tohum Bahçesinde Dişi Çiçek ve Kozalak Sayılarının Klonal Varyasyonu**Doç.Dr. Murat Alan¹**¹Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi

Özet: Yeni ormanlar kurma (ağaçlandırma) veya doğal ormanların gençleştirilmesi için nitelikli tohum kaynaklarına gereksinim duyulmaktadır. Türkiye’de tohum kaynakları olarak, tohum toplama sahası, tohum meşçeresi ve tohum bahçesi kullanılmaktadır. Büyüme ve kalite özelliklerine göre seçilen bu kaynaklarda, tohum bahçeleri en tercih edilenidir. Bu kapsamda tohum bahçeleri sürekli tohum kaynakları olarak nitelendirilmektedir. Tohum bahçeleri genetik ağaç ıslahı çalışmalarının bir çıktısıdır ve üretim (çoğaltma) popülasyonu olarak da nitelendirilmektedir. Bunun yanında tohum bahçeleri ilgili ağaç türünün kaynağı dışında (ex situ) koruması için kullanılmaktadır. Hem ex situ koruma hem de türün yayılış alanının genişletilmesi için kullanılabilecek bir ebe sarıçamı (*Pinus sylvestris* L.var. *compacta* (Tosun) Ü.Akkemik) aşılı tohum bahçesi Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından 2004 yılında Karabük-Eflani’de kurulmuştur. Tohum bahçesinde eşleşme sisteminin tahmini için, beş yinelemeli rastlantı parselleri deneme deseni kullanılarak İki yıl dişi çiçek ve kozalaklar denemeye konu klonlarda sayılmıştır. Birinci yıl ve ikinci yıl dişi çiçek sayısı klon ortalamaları sırasıyla 0-39,2 ve 0-318,8 arasında, kozalak sayıları ise aynı sırayla 0-81,8 ve 0-103,8 arasında değişmiştir. Yapılan varyans analizinde birinci yıl yalnızca kozalak, ikinci yıl dişi çiçek ve kozalak açısından istatistik farklılık görülmüştür. İkinci yıl dişi çiçek, birinci ve ikinci yıl kozalak sayıları için klonal kalıtım dereceleri (tekrarlanma dereceleri) sırasıyla 0,48, 0,49 ve 0,74 tahmin edilmiştir. İki yıllık toplu değerlendirmede ise yıllar ve klonlar istatistik açıdan farklı olurken yıl ile klon etkileşimi istatistik olarak farksız bulunmuştur. Özel formlu bireyler içeren ebe sarıçamı tohum bahçesi, ex situ koruma, peyzaj ve dar bir alanda yayılış gösteren tür için ağaçlandırmalar yapmak için tohum kaynağı olarak kullanılabilecek durumdadır. Elde edilen bulgular öngörülen üç kullanım için 26 klonlu yaklaşık 500 bireyden oluşan tohum bahçesinin etkin bir şekilde yönetimi açısından kullanılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Tohum Kaynağı, Ağaçlandırma, Klonal Kalıtım Derecesi, Tohum Bahçesi Yönetimi

Clonal Variation in Female Flower and Cone Numbers in a *Pinus Sylvestris* L.var. *Compacta* (Tosun) Ü.Akkemik Clonal Seed Orchard

Abstract: Qualified seed sources are needed to establish plantations or to regenerate natural forests. In Turkey, seed collection areas, seed stands, and seed orchards are used as seed sources, and they are selected according to trees' growth and quality characteristics. Seed orchards are the most preferred seed sources. In this context, seed orchards are considered as continuous seed sources. Seed orchards are an output of genetic tree breeding and are also considered multiplication populations. Seed orchards are also used to conserve as ex-situ. A spheroid scots pine clonal seed orchard that can be used for ex-situ protection and plantation was established in Karabük-Eflani in 2004 by the Forest Tree Seeds and Tree Breeding Research Institute Directorate. A completely randomized design with five replications was used to estimate the seed orchard's mating system, and female flowers and cones were counted entirely in the clones for two consecutive years. The clone means of female flowers in the first and second years varied between 0-39.2 and 0-318.8, respectively, while the means of cones varied between 0-81.8 and 0-103.8, respectively. Cones in the first year and female flowers and cones in the second year were statistically significant. Clonal heritability for the female flowers in the second year and cones in the first and second years were estimated as 0.48, 0.49 and 0.74, respectively. In the two-year pooling data, while years and clones were statistically significant, the interaction between year and clone was insignificant. The spheroid Scots pine seed orchard containing special-form individuals can be used for landscaping and as a seed source for

plantation and ex-situ conservation. The findings obtained can be evaluated for the effective management of the seed orchard consisting of approximately 500 individuals with 26 clones to achieve the foreseen three uses.

Keywords: Seed Source, Plantation, Clonal Heritability, Seed Orchard Management

Giriş

Yeni ormanlar (ağaçlandırma) kurulurken nitelikli, kaynaklardan tohum kullanılması tercih edilmektedir. Türkiye’de nitelikli tohum kaynakları tohum toplama sahası, tohum meşceresi ve tohum bahçesidir. Bunlardan en çok tercih edileni ise tohum bahçeleridir. Bu bakımdan nihai hedef tohum bahçeleri kurulmasıdır. Dolayısıyla tohum bahçeleri “sürekli tohum kaynağı” olarak düşünülebilir. Yalnızca odun hammaddesi açısından bakıldığında yapılan ağaçlandırmalar, öncekilerden birim alanda daha fazla artım yanında kalite (gövde düzgünlüğü, dolgunluk, ince dallılık) açısından da daha iyi olacaktır. Böylece birim alandan nicelik ve nitelik olarak daha çok odun hammaddesi üretilebilecektir. Bu durum yapılan genetik ıslah çalışmaları ile her ıslah döngüsü sonunda tohum bahçesi kurulması ile mümkün olmaktadır (White ve ark. 2007; Ruotsalainen 2014). Bu anlamda tohum bahçelerinden yüksek genetik değerde çok miktarda tohum sağlaması beklenmektedir (Burczyk ve Chalupka 1997)

Türkiye’de orman ağaçları ıslahı 1960’lı yıllarda başlamıştır. Bu yıllardan 1990’lı yıllara kadar fenotipik özelliklere bakılarak tohum meşcereleri seçilmiş, tohum meşcerelerinden üstün ağaçlar seçilmiş, üstün ağaçlardan aşı kalemleri alınarak aşılı tohum bahçeleri kurulmuştur. Bu kapsamda ekonomik önemi olan türlerden birisi olan sarıçam (*Pinus sylvestris*) için de bu çalışmalar yapılmış ve tohum bahçeleri kurulmuştur. Burada amaç bu tohum bahçelerinden üretilen tohumlarla daha çok artım sağlayan ve kalitesi yüksek yeni ormanlar (ağaçlandırma) kurmaktır (OATIAM 2025). Daha sonra Milli Ağaç Islahı ve Tohum Üretim Programı (1994-2003) uygulanmaya konulmuş ve Programa göre Türkiye’de ilk kez döl denemeleri (genetik test) kurulması ve gen koruma ormanlarının belirlenmesi gündeme gelmiştir (Koski ve Antola 1993; OATIAM 2025). Programda sarıçam beş hedef türden birisidir. Gelineen noktada sarıçam fenotipik tohum bahçeleri, sarıçamın yıllık ağaçlandırma ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır (Alan 2018).

Tohum bahçesi genellikle ağaçlandırmaların tohum gereksinimini karşılamak için kurulmakla birlikte *ex situ* koruma da sağlamaktadır (Alan 2019b). Hatta özel formu, uç yayılım sınırında olan ve yok olma tehlikesi içeren tür/ırklar için hem koruma hem de türün yayılımını genişletme amaçlı tohum bahçeleri kurulabilmektedir. Türkiye’de de bu şekilde kurulan tohum bahçesi örnekleri vardır (Alan 2019b; OATIAM 2025). Bu çerçevede, sarıçam’ın mutanlığı olduğu düşünülen ebe sarıçamının Bolu’da yayılımı saptanmış (Tosun 1988) ve bu mutantın *ex situ* korunması amaçlı Karabük-Eflani’de üstün (örneklenmiş) ağaçlardan alınan aşı kalemleri ile üretilen aşılı fidanlar kullanılarak, 2004 yılında Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından bir aşılı (klonal) tohum bahçesi kurulmuştur (OATIAM, 2025). Bu tohum bahçesinin amacı *ex situ* koruma sağlamak ve tohum kaynağı işlevini yerine getirmektir. Diğer yandan özel formu dolayısıyla peyzaj amaçlı da kullanılabilir (Tosun 2012).

Tohum bahçelerinin öngörülen amaçlarının yerine getirilebilmesi için etkin bir tohum bahçesi yönetimine gereksinim duyulmaktadır. Etkin tohum bahçesi yönetimi ise bilgi üretilmesi bu bilgilerden yararlanmayı içermektedir. Ebe sarıçamı konusunda daha önce bir yıllık dişi çiçek üretimi (Alan 2017), iki yıllık tohum ve kozalak özellikleri (2018) ve iki yıllık erkek çiçek üretimi (Alan 2019a), konularında çalışmalar yapılmıştır. Tohum bahçelerinin çıktısı tohumların üretilmesi için dişi çiçekler gelişmeli, gelişen dişi çiçeklerin döllenmesi ile kozalaklar oluşmalıdır. Bu bakımdan dişi çiçek ile kozalağın birlikte eşleşme ve klonal varyasyon açısından incelenmesi önem kazanmaktadır. Tüm klonlarda iki yıllık dişi çiçek ve kozalak üretiminin (sayı) incelendiği bu çalışma ile dişi çiçek ve kozalak açısından tohum bahçesinin eşleşme sisteminin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, dişi çiçek ve kozalak üretiminde görülen klonal varyasyonlar, kalıtım dereceleri ve iki yıllık dişi çiçek ve kozalak üretiminin kendi içinde ve birbirleri ile korelasyonları bulunmuştur. Bu bilgilerin kullanılması ile tohum bahçesinde *ex situ* koruma, tohum kaynağı olma ve peyzaj amaçlı kullanma açısından etkin bir tohum bahçesi yönetimi gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

Materyal ve Metot

Karabük-Eflani’de Nisan 2004’te kurulan Bolu-Çakmaklar orijinli ebe sarıçamı tohum bahçesinin, Ulusal kayıt numarası (UKN) 177’dir. Tohum bahçesinin 41° 23’ 45” kuzey enlemi, 32° 49’ 07” doğu boylamında ve 890 m yükseltidedir. Toplam 26 klon ve 813 rametle¹ (kurumalar olması nedeniyle ramet sayısı 503’e düşmüştür) kurulmuş tohum bahçesinde kullanılan aralık mesafe 5x5 m’dir. Klon başına ramet dağılımı 3-30 arasında değişmektedir (Alan 2018). Beş yinelemeli tesadüf parseli dememe desenine göre 127 klon araştırmada kullanılmıştır.

Klonlardaki dişi çiçek ve kozalakların tamamı birbirini izleyen iki yıl sayılmıştır. Elde edilen verilere ön değerlendirmelerden sonra normal dağılım için logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Dönüşümden sonra, iki yıllık toplu değerlendirmeler için aşağıdaki istatistik model kullanılmıştır.

$$y_{ijk} = \mu + c_i + t_j + ct_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

Eşitlikte; y_{ijk} i. clonda, t. yılda, k. bireyi; c_i i. klonu, $i= 1, 2, 3 \dots 26$; t_j j. yılı $j= 1, 2$; ct_{ij} klon yıl etkileşimini ve e_{ijk} deneysel hatayı göstermektedir.

Her yıla ait değerlendirmeler için ise yıl etkisi modelden çıkarılmıştır. Yıl etkisi çıkarılan model kullanılarak, klonal kalıtım veya klonal tekrarlanma dereceleri ve standart hatalar (Dieters ve ark. 1995) için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$H^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_c^2 + (\sigma_e^2/n)} \quad (2)$$

$$SE(H^2) = \frac{SE(\sigma_c^2)}{\sigma_c^2 + (\sigma_e^2/n)} \quad (3)$$

Bulgular ve Tartışma

Ebe sarıçamı aşılı tohum bahçesinde iki yıllık dişi çiçek ve kozalak sayımlarından elde edilen verilere ilişkin tanıtıcı istatistikler Çizelge 1’de verilmiştir. Bazı klonlarda dişi çiçek ve kozalağa rastlanmazken, bazı klonlarda ise yüksek sayıda olduğu saptanmıştır. Çizelge olarak verilmemekle birlikte birinci yıl ve ikinci yıl dişi çiçek klon ortalamaları sırasıyla 0-39,2 ve 0-318,8 arasında, kozalak klon ortalamaları ise aynı sırayla 0-81,8 ve 0-103,8 arasında değişmiştir. Birinci yıl kozalak ortalaması yüksek olurken ikinci yıl dişi çiçek ortalaması kozalak ortalamasından daha yüksek olmuştur (Çizelge 1). Dişi çiçek ortalamalarında 2. yıl, 1. yılın 6 katını aşan bir ortalamaya ulaşmıştır. Sarıçam’da 2 yılda bir bol tohum yılı olmaktadır. 2. yılda dişi çiçek sayısının yüksek olmasından, 4. yılda bol kozalak dolayısıyla bol tohum üretimi beklenebileceği görülmektedir. Kozalak açısından baktığımızda 1. ve 2. yılın ortalamalar birbirlerine yakındır. Bu ortalamalardan kozalak sayılarına göre bol tohum yılı hakkında bir şey söylenemeyeceği düşünülmektedir. Diğer birçok klon da dişi çiçek ve kozalak görülmemesi henüz tohum bahçesi üretimi açısından genel bir eğilimin (bol tohum yılı) ortaya çıkmadığını düşündürmektedir.

Çizelge 1. Dişi çiçek ve kozalakların tanıtıcı istatistikleri

Yıllar	Birinci yıl			İkinci yıl		
Özellikler	Ortalama	En düşük	En yüksek	Ortalama	En düşük	En yüksek
Dişi çiçek	7,2	0	155	46,0	0	805
Kozalak	46,8	0	267	30,5	0	217

¹ Aynı klona ait olan bireyler

Gözlemlerin yapıldığı yıllarda tohum bahçesi 12 (1. yıl) ve 13 (2. yıl) yaşına girmiştir. Sarıçamın normal tohum bahçelerinde tohum verme yaşı 10 yıl olmaktadır (Koski ve Antola 2004). Bu bakımdan tohum bahçesi “üretim geçme aşamasının başlangıcında” diye düşünülebilir. Genel olarak bakıldığında ise Ebe sarıçamı tohum bahçesindeki kozalak boyutlarının (en, boy ve dip çap) ve 1000 dane ağırlığının normal sarıçamlardan daha düşük olduğu görülmektedir (Eliçin 1971; Alan 2018).

Dişi çiçek varyans analizi Çizelge 2’de verilmiştir. Birinci yıl klonlar arası farklılık anlamsız ikinci yıl ise istatistik olarak anlamlı bulunmuştur. Serbestlik derecelerine bakıldığında ilk yıl çiçek veren klon sayılarının az olması nedeni ile farklılığın ortaya çıkmadığı düşünülmektedir.

Çizelge 2. Dişi çiçek birinci ve ikinci yıl varyans analizleri

Birinci yıl					İkinci yıl				
Varyasyon Kaynağı	Sd	Kareler ortalaması	F Değeri	Pr > F	Varyasyon Kaynağı	Sd	Kareler ortalaması	F Değeri	Pr > F
Klon	21	1,361	0,8	0,705	Klon	24	2,698	2,01	0,023
Hata	33	1,711			Hata	43	1,344		

Kozalak varyans analizi Çizelge 3’te verilmiştir. Her iki yıl da klonlar arası farklılık istatistik olarak anlamlıdır. Yani kozalak üretimi açısından klonlar önemli oranda varyasyon göstermişlerdir. Genelde tohum bahçelerinde rastlanan bir durum ortaya çıkmıştır (Prescher ve ark. 2007; Yuan ve ark. 2014).

Çizelge 3. Kozalak birinci ve ikinci yıl varyans analizleri

Birinci yıl					İkinci yıl				
Varyasyon Kaynağı	Sd	Kareler ortalaması	F Value	Pr > F	Varyasyon Kaynağı	Sd	Kareler ortalaması	F Value	Pr > F
Klon	24	3,147	1.94	0,016	Klon	23	3,040	3,65	<.0001
Hata	76	1,622			Hata	68	0,832		

Tek yıllık değerlendirmeler için klonal kalıtım dereceleri (tekrarlanma derecesi) bulunmuştur. Birinci yıl dişi çiçek sayıları klonlara göre farklı olmadığı için kalıtım derecesi tahmin edilmemiştir. Dişi çiçek ikinci yıl, kozalak birinci ve ikinci yıl kalıtım dereceleri sırasıyla $0,48 \pm 0,32$, $0,49 \pm 0,30$ ve $0,74 \pm 0,33$ olmuştur. İkinci yıl dişi çiçek ve birinci yıl kozalak sayıları klonal kalıtım dereceleri düşük düzeyde iken ikinci yıl kozalak sayısı için yüksek kalıtım derecesi bulunmuştur. Kalıtım derecelerinin çevresel etkenler dolayısı ile değişmesi beklenen bir gelişmedir. Ancak asıl etkenin tohum bahçesindeki klonların tamamında çiçek veriminin başlamaması, dolayısıyla klonların genetik farklılığın tamamen ortaya çıkamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer yandan Preschere ark. (2007) 15 yılın üzerindeki olgun (tohum verme yaşında) 10 sarıçam tohum bahçesinde, geniş anlamli kalıtım derecesini dişi çiçek için 0,31, kozalak için 0,24-0,78 arasında bulmuşlardır. Prescher ve ark. (2007) kalıtım derecelerini farklı yöntemle (ramet düzeyinde) tahmin etmişlerdir. O nedenle ebe sarıçamında kullanılan yöntemde kalıtım derecelerinin yöntemden (klonal, tekrarlanma derecesi) kaynaklı bir miktar yüksek olması beklenir. Ancak Prescher ve ark. (2007)’nin hem olgun olan tohum bahçelerinde hem de sarıçam türünde (varyete değil) çalıştıklarını göz önünde bulundurmak, ebe sarıçamı ile sarıçam arasındaki kalıtım dereceleri farklılıklarının daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir.

İki yıllık dişi çiçek ve kozalak sayılarının varyans analizleri Çizelge 4’te verilmiştir. Dişi çiçeğin birinci yılında yıllar arası farklılık önemli çıkmakla birlikte dişi çiçek ve kozalak sayılarında klonlar ile yılların etkileşimi istatistik olarak anlamsız çıkmıştır. Dolayısıyla iki yıllık değerlendirme sonucunda birinci yıl ile ikinci yıl klonların dişi çiçek sayıları ve kozalak sayıları klonlara göre değişmemiştir. Bir diğer ifadeyle birinci yıl dişi çiçek ve kozalak sayıları fazla olan klonlar, ikinci yılda da aynı şekilde fazla, az

olanlar ise her iki yılda az sayıda dişi çiçek ve kozalak üretmişlerdir. Ebe sarıçamına göre daha yaşlı (17-19 yıllık) sarıçam tohum bahçelerinde iki yıllık araştırma yürüten Burczyk ve Chalupka (1997) yıllar ve yıl klon arasındaki etkileşimleri istatistik olarak anlamlı bulmuşlar ve klonların yıllara göre farklı kozalak ürettiğini ortaya koymuşlardır. Bu farklılıkların, Ebe sarıçamı ile sarıçamın yıllara göre farklı üretim göstermeleri yanı sıra, Ebe sarıçamının daha genç (tohum üretimin başında) olması ve ebe sarıçamının, sarıçamın bir mutanı (varyetesi) olmasından kaynaklanabileceği düşünülebilir.

Çizelge 4. İki yıllık dişi çiçek ve kozalak varyans analizi

Dişi çiçek					Kozalak				
Varyasyon Kaynağı	Sd	Kareler ortalaması	F Value	Pr > F	Varyasyon Kaynağı	Sd	Kareler ortalaması	F Value	Pr > F
Klon	25	2,771	1,94	0,0114	Klon	24	4,472	2,62	0,012
Yıl	1	68,32	61,45	<,0001	Yıl	1	1,001	0,6	0,446
Klon*Yıl	20	1,048	0,7	0,8171	Klon*Yıl	23	1,708	1,37	0,137
Hata	76	1,503			Hata	144	1,249		

Dişi çiçek ve kozalakların yıllara göre korelasyonu bulunmuştur (Çizelge 5). Dişi çiçekte birinci yıl ile ikinci yıl arasında en yüksek korelasyona ulaşılırken, dişi çiçek ikinci yıl ile kozalak ikinci yıl arasında en düşük korelasyon (0) bulunmuştur. Birinci yıl kozalak ile ikinci yıl kozalak üretimi arasında görülen korelasyon da zayıf (0,50) düzeyde bir korelasyondur.

Çizelge 5. Özellikler arasında bulunan korelasyonlar

Özellikler	Kozalak1	Kozalak2	Dişi çiçek1	Dişi çiçek2
Kozalak1	1			
Kozalak2	0,50*	1		
Dişi çiçek1	0,59**	0,36	1	
Dişi çiçek2	0,48*	0	0,71	1

* 0,5; **0,01 düzeyinde istatistik olarak anlamlılık göstermektedir

Tohum bahçesi yönetim içinde, çiçeklenme dengesinin korunması, çiçek uyarımı (artırımı), yer seçimi, tozlaşmaya yardımcı olma, uygun tohum toplama, klonlar ve klonal karışımlar, vejetatif üretim, üretim yöntemleri ve teknikleri, temel klonal materyallerin seçimi ve zararlı yönetimi konuları sayılmaktadır (EUFORGEN 2024). Bu yönetim konularının uygulanabilmesi için tohum bahçesinde eşleşme sisteminin bilinmesi önem taşımaktadır. Tohum bahçesinde eşleşme sisteminin anlaşılabilmesi klonların erkek ve dişi çiçek üretimlerinin bilinmesi ile mümkün olabilmektedir. Üretim miktarları tamamıyla döllenme anlamına gelmemekle birlikte eşleşme sistemi hakkında bilgi verebilmektedir. İki yıl arka arkaya yapılan sayım, genç yaşta olan ebe sarıçamı tohum bahçesinde dişi çiçek üretimi yanında, dişi çiçek ve dişi çiçeğin döllenmesi sonucunda oluşan ve tohum üretimini sağlayan kozalak üretimi açısından da klonal varyasyonu, kalıtım derecelerini ve bu özellikler arasında korelasyonları ortaya koymuştur. Ebe sarıçamı tohum bahçesi sarıçamın bir mutanı olan özel formlu klonlardan oluşan bir tohum bahçesidir. Bu kapsamda Tosun (2012) yayılış alanlarında (orman) form olarak küremsi, yarı küremsi ve şemsiyemsi formlara sahip ebe sarıçamı bireyleri olduğunu belirtmiştir. Bu özel formlar dikkate alındığında ara formlar da olabileceği düşünülmelidir. Bu açıdan ebe sarıçamı peyzaj düzenlemelerinde kullanılabilecek bir potansiyel taşımaktadır. Aşılı olarak kurulmuş olan Ebe sarıçamı

tohum bahçesinden aşı kalemi alınarak, klonlarda görülen farklı formların çoğaltımı yapılabilir ve istenen formlar peyzaj amaçlı kullanılabilir.

Yıllar içindeki çevresel etkenler, klonların farklı üretim yetenekleri (genetik varyasyonlar), çevresel etkenler ile klonların üretim yeteneği arasındaki etkileşimler tohum (döl) aracılığıyla tohum bahçesinin genetik yapısını, genetik çeşitliliğini ve ağaçlandırmaların yapısını etkileyecektir (Yuan ve ark. 2010). O bakımdan dişi çiçek, dişi çiçeğin döllenmesi sonucu tohum bahçesinin çıktısı olan tohumu verecek olan kozalak üretimine ilişkin bilgiler, tohum bahçesinin etkin yönetimine hizmet edebilecektir. Bu bakımdan bu bilgilerin belirli dönemler için elde edilmesinde yarar bulunmaktadır. Dolayısıyla eşleşme sistemini anlamaya yönelik dişi çiçek ve kozalak üretimini belirlemeye yönelik araştırmalar tekrarlandığında tohum bahçesi yönetimi için ek bilgiler sağlanabilecektir.

Sonuç

Ebe sarıçamı tohum bahçesinde dişi çiçek ve kozalak verimleri zerine birbirini izleyen iki yıl boyunca yürütülen çalışma ile tohum bahçesi yönetiminde kullanılabilecek bilgiler üretilmiştir. Sarıçam tohum bahçelerinin tohum verme yaşının 10. yıl olduğu gözü önüne alındığında ebe sarıçamı tohum bahçesi araştırmanın yapıldığı sırada genç bir sarıçam bahçesi olarak görülebilir. Birinci yıl yalnızca kozalak, ikinci yıl hem dişi çiçek hem de kozalak açısından klonlar arasında varyasyon görülmüştür. Dişi çiçekte ikinci yıl orta, kozalakta birinci yıl orta ve ikinci yıl ve yüksek kalıtım dereceleri bulunmuştur. İki yıllık değerlendirmelerde dişi çiçekte yıl etkisi istatistik olarak anlamlı, yıl ve klon arasında etkileşim anlamsız, kozalakta ise hem yıl hem de yıl ve klon arasındaki etkileşim anlamsız bulunmuştur. Yıl ve klon arasındaki etkileşimin anlamsız olması, klonların hem dişi çiçek hem de kozalak açısından aynı eğilimi gösterdiği, diğer bir anlatımla birinci yıl verimi iyi olan klonların ikinci yılda da iyi birinci yıl verimi düşük olanlarınsa veriminin düşük olduğu anlamına gelmektedir. Ebe sarıçamında dişi çiçek ve kozalakların iki yıl tamamının sayıldığı çalışmanın sonucunda ebe sarıçamının etkin yönetimi (ex situ koruma, ağaçlandırma ve peyzaj kullanımı) için kullanılabilecek bilgiler ortaya konulmuştur. İlerleyen yaşlarda benzer çalışmalar etkin yönetim için ek bilgiler üretebilecektir.

Açıklama

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen bir projeden geliştirilmiştir. Proje numarası: KBÜ-BAP-14/2- DS-049'dur. KBÜ BAP Biriminin desteği şükranla karşılanmıştır. Orman Genel Müdürlüğü adına tohum bahçelerinden sorumlu kuruluş olan Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne teşekkürler.

Kaynaklar

- Alan, M., 2017. Female fertility in *Pinus sylvestris* L var. *compacta* (TOSUN) clonal seed orchard. Kastamonu Univ., Journal of Forestry Faculty, 17 (3): 474-478.
- Alan, M. 2018. Ebe sarıçamı klonal tohum bahçesi kozalak ve tohum özelliklerinde genetik parametrelerin tahmini. Turkish Journal of Forestry, 19(3), 240-245.
- Alan, M. 2019a. Male fertility in clonal seed orchard of Spheroid scots pine. Proceedings of the Biennial International Symposium "Forest and Sustainable Development" 8th Edition, 25th-27th of October 2018, Braşov, Romania
- Alan, M. 2019b. Türkiye'de ex situ koruma amaçlı tohum bahçeleri. Ulusal Botanik Bahçeleri, Arboretumlar, Herbaryumlar ve Botanik Müzeleri Çalıştayı 18 – 21 Nisan 2019, Düzce / Türkiye, 73 (poster sunum öz)
- Burczyk, J., Chalupka, W. 1997. Flowering and cone production variability and its effect on parental balance in a Scots pine clonal seed orchard. Annales des sciences forestières, 54 (2)129-144.
- Dieters, M.J., White, T.L., Littell, R.C., Hodge, G.R., 1995. Application of approximate variances of components and their ratios in genetic test. Theoretical and Applied Genetics, 91: 15-24.
- Eliçin, G. 1971. Türkiye sarıçamlarında morfojenetik araştırmalar, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1662/180, İstanbul.

- EUFORGEN. 2024. Seed orchards: Key considerations in establishing and using clonal and seed orchards for forest reproductive materials. Focus on Forest Genetic Diversity, Theme 3. European Forest Institute.
- Koski, V., Antola, J., 1993. Turkish National Tree Breeding and Seed Production Program for Turkey (1994-2003), Prepared in Cooperation with ENSO Forest Development Inc and Forest Tree Seeds and Tree Breeding Institute, Ankara.
- Koski, V., Antola, J., 1994. Turkish National Tree Breeding and Seed Production Program for Turkey (1994-2003), Volume 2: Technical Instructions. Prepared in Cooperation with ENSO Forest Development Inc and Forest Tree Seeds and Tree Breeding Institute, Ankara.
- Prescher, F., Lindgren, D., Almqvist, C., Kroon, J., Lestander, T. A., Mullin, T. J. 2007. Female fertility variation in mature *Pinus sylvestris* clonal seed orchards. Scandinavian Journal of Forest Research, 22(4), 280-289.
- Ruotsalainen, S. (2014). Increased forest production through forest tree breeding. Scandinavian Journal of Forest Research, 29(4), 333–344.
- Tosun, S., 1988. Sarıçamın ülkemizdeki yeni varyetesi: *Pinus sylvestris* L. subsp. *hamata* (Steven) Fomin var. *compacta* Tosun var. *nova*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergi Serisi yayınları No: 34/1 (67):23-31.
- Tosun, S., 2012. Bolu'nun Ebe Çamları. ISBN:978-605- 86469-0-2, Türkiye Tabiatını Koruma Deneği, Bolu Şubesi Yayını (Türkçe ve İngilizce).
- Yuan, H. W., Li, Z. X., Fang, P., Li, W., Li, Y. 2014. Variation and stability in female strobili production of a first-generation clonal seed orchard of Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis*). Silvae Genet, 63(1-2), 41-47.
- White, T. L., Adams, W. T., Neale, D. B. (2007). Forest Genetics. CABI, p.702.

Makale id= 88

Poster Sunum

ORCID ID: 0000-0003-3480-6013

| 329

İskenderun Güvercinlerinin (Columba livia domestica) Beslenmesi**Dr. Öğretim Üyesi Hakan Yıldırım¹**¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bl.

Özet: İskenderun güvercini, Orta Doğu orijinli ve ülkemizde de Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yaygın olarak hobi amaçlı yetiştiriciliği yapılan bir genotiptir. İyi uçuş özelliği sergilemektedir. Bagdat olarak adlandırılan genotipler içinde filo tipi güvercinlere en iyi örnektir. Almanya'da Nurnberg, Erlangen, Fuhrt ve Michelav bölgelerinde yetiştiriciliği yapıldığı bilinmektedir. Buna ek olarak Alman İskenderun Güvercin Cemiyeti 1895 yılında kurulmuş ve National Show'da sergilenmiştir. Ülkemizde Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin yanında özellikle Hatay Bölgesi'nde hobi amaçlı olarak yetiştiriciliği yapılmaktadır. İskenderun güvercinlerinin yetiştirilmesi, bakım ve beslenmeleri hakkında yeterli bilimsel bir çalışmaya rastlanmamıştır. Fakat gaga yapısının kavıslı olması dolayısıyla yavrularını özellikle ilk birkaç hafta besleyemedikleri ile ilgili olarak ifadeler rastlanmaktadır. Bu ifadenin bilimsel anlamda hiç bir tutarlı ve tatmin edici yanı yoktur. Bu iddianın geçerli bir savunmasının olabilmesi için somut gözlemlerin ortaya konulması şarttır. İskenderun güvercininin yavrularını yeterince besleyebildikleri HMKÜ Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü'nde yapılan gözlemler sonucu tespit edilmiştir. Kanatlılarda türlere göre beslemede öznel (miktar, doz, oran vb..) farklılıklar olsa da genel anlamda yetiştiricilik ve bakım-besleme konularında uygulanması gereken ana ilkeler aynıdır. Yaşamlarının ilk birkaç haftasında, enerji gereksinimi yanında daha yüksek oranda kaliteli protein almaları gerekmektedir. Özellikle kükürtlü amino asitlerden cysteine and methionine organların hızlı gelişiminde ve tüy oluşumunda esansiyeldir. Bununla birlikte vücut ısılarını dengelemekte başarısız olduklarından özellikle ilk 0-4 hafta içinde ortam sıcaklığının uygun derecelerde tutulmasına özen göstermek gerekir. Güvercinler, bu temel bakım-besleme ilkelerine göre beslenmelidir. Bunun yanında güvercinlerde ilk hafta kursak sütü oluşumu gerçekleşmektedir. Yapılan bu derleme ile İskenderun güvercini yavrularının bakım ve beslenme özelliklerinin tespiti yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İskenderun Güvercini, İskenderun Güvercini Yavrusu, Besleme

Feeding of Scandaroon Pigeons (Columbia Livia Dometica)

Abstract: Scandaroon pigeon is a genotype originating from the Middle East and widely bred for hobby purposes in the Southeastern Anatolia Region of our country. It exhibits good flight characteristics. It is the best example of fleet type pigeons among the genotypes called Baghdad. It is known to be bred in the Nurnberg, Erlangen, Fuhrt and Michelav regions of Germany. In addition, the German Scandaroon Pigeon Society was established in 1895 and exhibited at the National Show. In our country, it is bred for hobby purposes especially in the Hatay Region as well as the Southeastern Anatolia Region. No sufficient scientific study has been found on the breeding, care and feeding of Scandaroon pigeons. However, there are statements that they cannot feed their young especially in the first few weeks due to their curved beak structure. This statement has no consistent and satisfactory aspect in the scientific sense. In order for this claim to have a valid defense, concrete observations must be presented. It has been determined as a result of observations made in the Animal Science Department of HMKU Faculty of Agriculture that Scandaroon pigeons can feed their young sufficiently. Although there are subjective differences (amount, dose, ratio etc.) in feeding according to species in poultry, the main principles that should be applied in terms of breeding and care-feeding are generally the same. In the first few weeks of their lives, they need to take in higher quality protein in addition to their energy needs. Especially the sulfur amino acids cysteine and methionine are essential in the rapid development of organs and feather formation. However, since they fail to balance their body temperature, it is necessary to take care to keep the ambient temperature at appropriate levels, especially in the first 0-4 weeks. Pigeons should be fed according to these basic care-feeding principles. In addition, crop milk formation occurs in pigeons in the first week. With this compilation, the care and feeding characteristics of Scandaroon pigeon chicks were determined.

Keywords: Scandaroon Pigeon, Scandaroon Pigeon Chick, Feeding

1. GİRİŞ

İskenderun güvercini (*Columba livia domestica*), genel olarak Orta Doğu merkezli bir genotip olup, ülkemizde Güneydoğu Anadolu ve Hatay Bölgesi'nde yaygın yetiştiriciliği yapılan güvercin ırkıdır (Yıldırım ve ark., 2018). Uçuş özelliği ile öne çıkan bu genotip filo güvercinlerine örnek gösterilebilen niteliğe sahiptir (İşcen, 2025). İskenderun Bağdat ırkları içinde saf olarak yetiştirilen İskenderun güvercinine, yurt dışında ve özellikle Almanya'da "Nurnberg Bagdette", "Pagadette", "Pavdotte", "Bagotten", "Pagadotten taube", ve "Hocker taube" olarak adlandırılmıştır. Fransızlar da "Pigeon bagadaïs a grande morille" olarak isimlendirmiştir (Anonim, 2025). Ülkemizde bağdadi olarak da anılmaktadır.

Güvercin yetiştiriciliğinin, diğer evcil kanatlı türleri ile benzer çevre ve iklim koşulları (sıcaklık, nem, rüzgar hızı, hava kalitesi, vb.) gereksinimleri olsa da, beslenmeleri, daha çok tam tahıl ve türevleri ile (mısır, buğday, arpa, sorgum, bezelye, mercimek vb.) sağlanmaktadır (Janssens ve ark, 2000a; Janssens ve ark, 2000b; Xie ve ark. 2016). Bununla birlikte tavuk, ördek ve diğer kuş türleri ile karşılaştırıldığında besin sindirilebilirlik değerlerinde önemli farklılıklar gözlemlendiği bildirilmiştir (Hullar ve ark., 1999; Biedermann ve ark., 2012). Güvercinlerin yetiştirildiği farklı aşama ve zaman dilimlerinde de besin madde gereksinimleri farklılaşacağından yaşa uygun yem formülasyonları geliştirilmelidir (Jin ve ark., 2023). Farklı araştırmacılar, güvercinlere özgü besin maddesi gereksinim seviyesi ve de besleme süresi için sonsuz tercihler olduğunu bildirmektedir (Adawy ve Abdel-Wareth 2023).

Bununla birlikte her güvercin yavrusu gibi İskenderun güvercin yavruları da bakıma muhtaçtır. Yaşamlarının ilk haftalarında her iki ebeveynin (ana-baba) kursaklarında ürettikleri kursak sütü ile beslenmeleri gerekir (Gillespie ve ark, 2012; Ding ve ark, 2020). İlerleyen günlerde ebeveynler kursaklarında bulunan yemlerle birlikte karışık olarak kursak sütünü 4-5 hafta daha yavrularına verirler ve bu besleme ileri aşamada sadece tahıla döner (Vandeputte-Poma, 1980).

Bu çalışmada, İskenderun güvercini ile birlikte genel anlamda güvercin yavrularının ve yetişkin güvercinlerin beslenmesine ilişkin bilgiler paylaşılmıştır.

2. GÜVERCİN KURSAK SÜTÜ ve GÜVERCİN YAVRULARININ BESLENMESİ

Güvercin yavruları kuluçkanın 17. gününde yumurtadan çıktıklarında korunmaya muhtaçtırlar. Yaşamlarının ilk günlerinde Şekil 1.'de görüldüğü üzere vücutlarında yeterli tüy oluşumu gerçekleşmemiştir. Bir güvercin yavrusunun cinsel olgunluğa ulaşması genellikle 5-6 aydır (Wang ve ark., 2023).



Şekil1. İskenderun Güvercini Yavrusu

Beslenmeleri, yaşamlarının ilk 3-4 haftasında her iki ebeveyninin kursaklarında ürettiği kursak sütü ile sağlanır. Bu süt, yüksek oranda protein ve lipid konsantrasyonlarına sahiptir (Wang ve ark., 2023). Bileşiminde bakteri de olmakla birlikte, ortalama %60 protein, %32-36 yağ, %1-3 karbonhidrat ve mineral maddeler (Ca, K, Na, P) bulunur (Gillespie ve ark., 2012). Kursak sütünde probiyotik, Bifidobacterium ve Lactobacillus'a da yapılan çalışmalar sonucunda rastlanmıştır (Ding ve ark, 2020). Yapısında bulunan bol miktardaki mikroorganizmanın mikrobiyota oluşumu ve metabolizmasını düzenlemesi ve yavruarda bağışıklık sisteminin desteklenmesi bakımından olumlu etkiye sahip olduğu da ifade edilmiştir (Ding ve ark, 2020; Jorgensen ve ark., 2021; Notarbartolo ve ark., 2022)

Kursak sütü sentezi, güvercinlerin kursağında prolaktin ve insülin hormonlarının aktivasyonu ile kontrol edilmektedir. Bu sentez, kursağın germinal hücre tabakasının prolaktin varlığında hızla çoğalması ile başlamaktadır. Mukozal epitel bazal hücrelerinin bölünerek gittikçe artması hücrelerin yukarı yönlü hareketine neden olur. Bu da mükoza zarının kalınlaşmasını sağlar (Gillespie ve ark., 2012; Gillespie ve ark., 2013). Sonrasında kılcak damarlar epitel hücrelerin çoğalmasıyla artar ve besin birikimi için zengin kan kaynağı sağlar. Yüzeydeki düz hücrelerde lipidlerin sentezi ve birikimi gerçekleşir. Bu lipid dolu hücrelerin düşmesi sonunda da kursak sütü meydana gelmiş olur. Bu oluşum aslında epitel hücrelerin dejenerasyonu sürecidir (Weber, 1962; Dumont, 1965).

Güvercinlerin farklı yaşam evrelerinde ve oluşturulan farklı yem kombinasyonları ile kursak sütü bileşiminde farklılıkların ortaya çıkabileceği belirtilmektedir (Jin ve ark., 2023; Desmeth, 1980; Sales ve ark.,2003; Zeng ve ark., 2003; Chen ve ark., 2020). Ayrıca, yavru güvercinlerin, kursak sütünün besinsel bir ikamesi ile beslemesi durumunda bağışıklık sisteminde sorunlarla karşılaşacakları ihtimali yanında, yeterli düzeyde gelişim sağlayamadıkları ya da öldükleri bildirilmiştir. (Gillespie ve ark., 2012). Tavuklar üzerinde yapılan araştırmalarda da güvercin kursak sütü ile beslenen hayvanların daha yüksek büyüme oranına eriştiği saptanmıştır (Pace ve ark., 1952; Hegde, 1973).

İskenderun güvercininin gaga yapısının kavisli olması nedeniyle, yavrularını kursak sütü ile beslemede zorluk yaşadığına ilişkin söylemlerin gerçeği yansıtmadığı, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü'ne ait Özel Kanatlı Hayvan Yetiştirme Ünitesinde barındırılan İskenderun Güvercinleri üzerinde yapılan gözlemler sonucunda belirlenmiştir. Şekil 2.'de, 4. hafta yaştaki yavrusunu kursak sütü ile besleyen ebeveyn gösterilmiştir.



Şekil 2. İskenderun Güvercininin Yavrusunu Kursak Sütü ile Beslemesi

Yavruların beslenmesinde ebeveynlerin rolü çok önemlidir. Yapılan çalışmalar sonucunda, her iki ebeveyn tarafından beslenen yavru gelişiminin ve davranışsal gelişiminin tek ebeveyn tarafından beslenen yavrulara kıyasla daha iyi olduğu belirlenmiştir (Fattah ve ark., 2019).

3. ERGİN GÜVERCİNLERİN BESLENMESİ

Genel olarak güvercinler hobi (spor ve süs) amaçlı ya da et üretimi amacıyla yetiştirilmektedir (Fekete ve ark., 1999; Adawy ve Abdel-Wareth, 2023). Farklı amaçlarla yetiştirilen güvercinlerin besin madde istekleri ve seviyelerinde çok fazla alternatiflerin olduğu da bilinmektedir (Adawy ve Abdel-Wareth, 2023).

Yetiştiriciler genellikle güvercinleri tahıl ve destekleyici mineral maddelerle beslerler. Oluşturulan yemlerin içeriğinde %15-16 ham proteinin olmasına dikkat edilir. Yetişkin bir güvercin günde 35-50 g tam tahıl tüketir. Mısır, yavru besleyen yetişkin güvercinler için iyi bir tercih olmasına karşın, protein gereksiniminin dengelenmiş tavuk yemlerinden karşılanabilmesi mümkündür (Adawy ve Abdel-Wareth, 2023).

Güvercinler tam tahıllarla (mısır, buğday, arpa, sorgum, soya vb.) beslenebildiği gibi, etlik güvercinler için piliç yemleri de verilebilir. Etlik güvercinler dışında hobi amaçlı yetiştirilen güvercinlerin fazla yağlanmamasına özen gösterilmelidir. Bununla birlikte yaz ve kış diyetleri de hayvanların günlük yeterli besin madde ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde ayarlanabilir. Bu amaçla sıcaklık stresi ile karşılaşılacak zamanlarda yem tüketiminde azalma olacağından, birim miktar yemdeki besin madde konsantrasyonunun artırılması gerekmektedir.

Genel olarak yetişkin güvercinlerin karma yemlerinde %12-18 ham protein ve 12 MJ/kgME ihtiyacı olduğu ifade edilmektedir (Adawy ve Abdel-Wareth, 2023).

4. SONUÇ

Güvercinlerin beslenmesinde genel anlamda iki aşamanın olduğunu belirtmek gerekir. Birincisi yavru büyütme, ikinci olarak ergin güvercinlerin beslenmesidir. Ergin güvercinler de yetiştiricilik amacına uygun (etlik, spor, süs) beslenme rejimlerine tabi tutulmaktadır.

Yavru büyütmede kursak sütünün önemi büyüktür. İlk 27-28 gün, kursak sütüyle yoğun besleme, her iki ebeveyn tarafından gerçekleştirilir. Bununla birlikte, 0-7 günlük yavruların 15,38 MJ/kgME ve %53,3 ham protein içeren karma yemlerle beslendiğinde büyüme performansının en iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir (Yang ve Vohra, 1987). Kursak sütü, içerdiği yoğun besin maddeleri nedeniyle güvercin yavrularının gelişim ve büyümesinde son derece etkili olmakla kalmaz aynı zamanda bağışıklık sisteminin güçlenmesine de katkıda bulunmaktadır. Aynı zamanda kanatlı beslemede öneme sahip amino asitlerden yüksek seviyede glutamik asit, aspartik asit, ve lösin yanında düşük seviyelerde metiyonin, triptofan, histidin, sistein olmak üzere 17 amino asit içermektedir (Hegde, 1972.). Amino asitlerin yaklaşık %57,7-59,97 si 12 amino asitten oluşan ilk 14 günlük kursak sütünde tespit edilmiştir (Zhang ve ark., 2017).

KAYNAKLAR

1. Adawy, A.M.G., A.A.A. Abdel-Wareth. 2023. Productive performance and Nutritional of domesticated pigeons. Present status and future concerns SVU-International Journal of Agricultural Sciences Volume 5 Issue (2) pp.: 160-167, 2023 Print ISSN 2636-3801 | Online ISSN 2636-381X
2. Anonim, 2025. https://www.guvercin.info/irklar_iskenderun.php 11.03.2025 Saat:11.05
3. Biedermann, T., D. Garlick, and A. P. Blaisdell. 2012. Food choice in the laboratory pigeon. Behav. Processes 91:129-132.

4. Chen, M. J., N. X. Pan, X. Q. Wang, H.C. Yan, C. Q. Gao. 2020. Methionine promotes crop milk protein synthesis through the JAK2-STAT5 signaling during lactation of domestic pigeons (*Columba livia*). *Food Funct.* 11:10786–10798.
5. Desmeth, M. 1980. Lipid composition of pigeon crop milk-II. Fatty acids. *Comp. Biochem. Physiol.* 66:135–138.
6. Ding J, Liao N, Zheng Y, Yang L, Zhou H, Xu K, Han C, Luo H, Qin C, Tang C, Wei L and Meng H (2020). The Composition and Function of Pigeon Milk Microbiota Transmitted From Parent Pigeons to Squabs. *Front. Microbiol.* 11:1789. doi: [10.3389/fmicb.2020.01789](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01789)
7. Dumont, J. N. 1965. Prolactin-induced cytologic changes in the mucosa of the pigeon crop during crop- "milk" formation. *Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat.* 68:755–782.
8. Fattah, A.F.A., Roushdy, El-S.M., Tukur, H.A., Islam M. Saadeldin, I.M., Asmaa T. Y. Kishawy, A.T.Y., 2019 Comparing the Effect of Different Management and Rearing Systems on Pigeon Squab Welfare and Performance after the Loss of One or Both Parents
9. Gillespie, M. J., Stanley, D., Chen, H., Donald, J. A., Nicholas, K. R., Moore, R. J., (2012). Functional similarities between pigeon 'milk' and mammalian milk: induction of immune gene expression and modification of the microbiota. *PLoS One* 7:e48363. doi: [10.1371/journal.pone.0048363](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048363)
10. Gillespie, M.J., Crowley, T.M., Haring, V.R., Wilson, S.L., Harper, J.A., Payne, J.S., Green, D., Monaghan, P., Donald, J.A., Nicholas, K.R., More, R.J. 2013. Transcriptome analysis of pigeon milk production – role of cornification and triglyceride synthesis genes. *BMC Genomics* 2013, 14:169 <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/14/169>
11. Hegde, S.N. 1972. The amino-acid composition of pigeon milk. *Curr. Sci. India.* 1972, 41, 23–24.
12. Hegde SN (1973) Composition of pigeon milk and its effect on growth in chicks. *Indian J Exp Biol* 11: 238–239.
13. Hullar, I., I. Meleg, S. Fekete, and R. Romvari. 1999. Studies on the energy content of pigeon feeds I. Determination of digestibility and metabolizable energy content. *Poult. Sci.* 78:1757–1762.
14. İşcen, Y, 2017. <http://evcilguvercin.blogspot.com.tr/p/guvercin-yetistiriciligi-1.html> 11 Mart 2025. Saat 10:44
15. Janssens, G. P., M. Hesta, V. Debal, J. Debraekeleer, and R. O. de Wilde. 2000a. L-carnitine supplementation in breeding pigeons: impact on zootechnical performance and carnitine metabolism. *Reprod. Nutr. Dev.* 40:535–548.
16. Janssens, G. P. J., M. Hesta, V. Debal, and R. O. M. de Wilde. 2000b. The effect of feed enzymes on nutrient and energy retention in young racing pigeons. *Ann. Zootech.* 49:151–156.
17. Jin, C., He, Y., Jiang, S., Wang, X., Yan, H., Tan, H., Gao, C. 2023. Chemical composition of pigeon crop milk and factors affecting its production: a review. *Poultry Science* 102:102681 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102681>
18. Jorgensen, J. M., R. Young, P. Ashorn, U. Ashorn, D. Chaima, J. C. C. Davis, E. Goonatilleke, C. Kumwenda, C. B. Lebrilla, K. Maleta, J. Sadalaki, S. M. Totten, L. D. Wu, A. M. Zivkovic, and K. G. Dewey. 2021. Associations of human milk oligosaccharides and bioactive proteins with infant morbidity and inflammation in malawian mother-infant dyads. *Curr. Dev. Nutr.* 5 nzab072.
19. Notarbartolo, V., M. Giuffre, C. Montante, G. Corsello, and M. Carta. 2022. Composition of human breast milk microbiota and its role in children's health. *Pediatr. Gastroenterol Hepatol. Nutr.* 25:194–210.
20. Pace DM, Landolt PA, Mussehl FE (1952) The effect of pigeon crop-milk on growth in chickens. *Growth* 16: 279–285.

21. Sales, J., G. P. Janssens. 2003. Methods to determine metabolizable energy and digestibility of feed ingredients in the domestic pigeon (*Columba livia domestica*). *Poult. Sci.* 82:1457–1461.
22. Wang, L, Zhu, J., Xie, P., Gong, D. 2023 Pigeon during the Breeding Cycle: Behaviors, Composition and Formation of Crop Milk, and Physiological Adaptation. *Life* 2023, 13, 1866.
23. Weber, W. 1962. On the histology and cytology of crop milk formation in the pigeon. *J. Cell Res. Microsc. Anatom.* 56:247–276.
24. Xie, P., X. Y. Jiang, Z. Bu, S. Y. Fu, S. Y. Zhang, and Q. P. Tang. 2016. Free choice feeding of whole grains in meat-type pigeons: 1. Effect on performance, carcass traits and organ development. *Br. Poult. Sci.* 57:699–706.
25. Vandeputte-Poma, J. (1980). Feeding, growth and metabolism of the pigeon, *Columba livia domestica*: duration and role of crop milk feeding. *J. Comp. Physiol. B.* 135, 97–99. doi: 10.1007/BF00691198
26. Yang, M.C., Vohra, P., 1987. Protein and metabolizable energy requirements of hand-fed squabs from hatching to 28 days of age. *Poult. Sci.* 1987, 66, 2017–2023.
27. Yıldırım, H., Doğan, U., Çimrin., T. 2018. Determination of the Morphological Characteristics of Scandaroon Pigeon Growth in Hatay Province (*Columba livia domestica*). *The Eurasia Proceedings of Science Engineering and Mathematics (EPSTEM)*. Volume: 2, Page:368-375. ISSN:2602-3199
28. Zeng, Q. F., B. Zhang, and Z. W. Zhang. 2003. Study on crop milk (in Chinese). *China Poult.* 21:1–3.
29. Zhang, X.Y., Zhang, N.N., Wan, X.P., Li, L.L., Zou, X.T., 2017. Gene expression of amino acid transporter in pigeon (*Columbia livia*) intestine during post-hatch development and its correlation with amino acid in pigeon milk. *Poult. Sci.* 2017, 96, 1120–1131.

Makale id= 3

Poster Sunum

ORCID ID: 0000-0002-5021-5865; 0009-0009-5756-883X

| 335

Ortalama Pitot Tüp Tasarımında Etkili Parametreler**Dr. Öğretim Üyesi Muharrem Erdem Boğoçlu¹, Araştırmacı Durmuş Ali Akıl²**¹Yıldız Teknik Üniversitesi²Lonca Makina Sanayi A.Ş

*Corresponding author: Durmuş Ali Akıl

Özet: Bu çalışma, Pitot tüplerin performansını artırmak için önemli tasarım parametrelerine ışık tutmak ve yapılacak optimal tasarımlarla endüstriyel uygulamalarda doğruluğu artırmayı amaçlamaktadır. Pitot tüpleri, akışkanların hız ve debi ölçümlerinde yaygın olarak kullanılan temel cihazlardır. Giriş bölümünde, Pitot tüplerinin tanımı, tarihçesi, kullanım alanları ve türleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Ortalama Pitot tüpleri, özellikle endüstriyel uygulamalarda daha yüksek hassasiyet sundukları için tercih edilmektedir. Çalışmada, tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve optimizasyonu için literatür taraması, FMEA analizi, CFD analizleri, test tasarımları ve regresyon analizleri gibi adımlar gerçekleştirilmiştir. Fark basınç transmitterlerinin doğruluğunu etkileyen delik çapı, gövde kesiti, delik sayısı ve konumu gibi parametrelerin akış koşullarındaki etkileri incelenmiştir. Testlerde elde edilen sonuçlar, fark basıncının hızın karesiyle orantılı olarak değiştiğini ve gövde üzerindeki delik sayısının akış hızı algılama doğruluğunu artırdığını göstermiştir. Ancak, delik sayısının artması basınç düşüşlerine yol açabileceğinden, optimum bir denge sağlanması gerektiği anlaşılmıştır. Sonuç olarak, en verimli Pitot tüp tasarımı için elmas kesitli bir gövde yapısı ve 2-2-2 konfigürasyonunda 7 mm delik çapına sahip bir tasarım önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pitot Tüp**Effective Parameters in Averaging Pitot Tube Design**

Abstract: This study aims to highlight key design parameters to enhance the performance of Pitot tubes and improve accuracy in industrial applications through optimal designs. Pitot tubes are fundamental devices widely used for measuring fluid velocity and flow rate. The introduction provides an overview of Pitot tubes, including their definition, history, applications, and types. Averaging Pitot tubes are particularly preferred in industrial applications due to their higher precision. The study involved several steps, including a literature review, FMEA analysis, CFD simulations, test designs, and regression analyses to determine and optimize design parameters. The effects of parameters such as hole diameter, body cross-section, hole number, and position on differential pressure transmitters' accuracy under different flow conditions were examined. The results indicated that differential pressure varies proportionally with the square of velocity and that increasing the number of holes improves flow velocity detection accuracy. However, an excessive number of holes can lead to pressure losses, requiring an optimal balance. As a result, the most efficient Pitot tube design was determined to have a diamond-shaped body with a 2-2-2 configuration and 7 mm hole diameter.

Keywords: Pitot tube, differential pressure transmitter, CFD flow analysis method, test design, regression analysis.

GİRİŞ

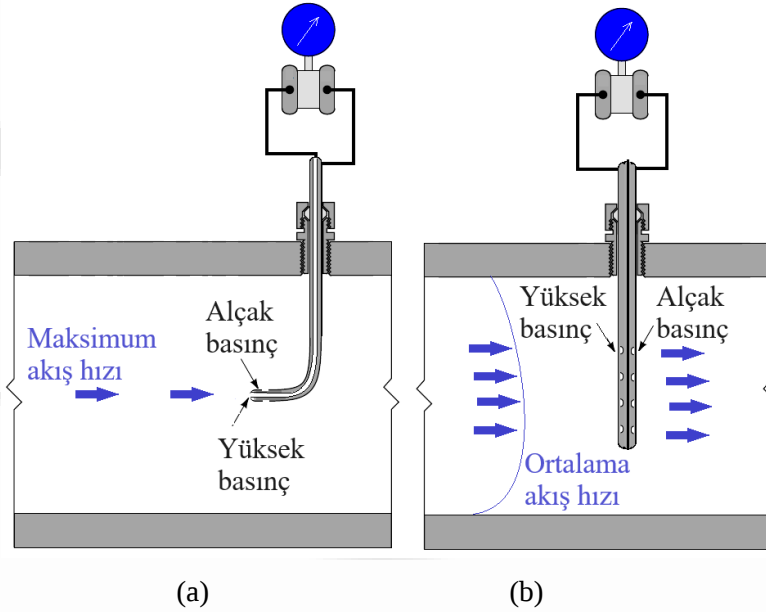
Pitot tüpleri, akışkanların hız ve debi ölçümlerinde kullanılan temel cihazlar arasında yer alır ve endüstriden çevre mühendisliğine kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Fransız mühendis Henri

Pitot tarafından 18. yüzyılda geliştirilen bu tüpler, akışkanların dinamik ve statik basınçlarını ölçerek hız belirlemede önemli bir role sahiptir.

İlk başta nehirlerde ve laboratuvar uygulamalarında kullanılan Pitot tüpleri, günümüzde hem sıvı hem gaz akışlarının kontrol edilmesinde çeşitli şekillerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Basit yapısı ve yüksek hassasiyeti sayesinde tanklar, kanallar, toprak altı su akışları, havalandırma sistemleri ve hatta uçakların hız ölçüm sistemleri gibi birçok ortamda yer alır.

Ortalama Pitot tüpleri, standart Pitot tüplere kıyasla daha fazla hassasiyet sunar, çünkü akışkanın tüm kesiti boyunca ortalama bir hız ölçümü yaparak, akış karakteristiklerini daha doğru bir şekilde temsil ederler. Bu nedenle, modern endüstriyel uygulamalarda, özellikle enerji santralleri, petrokimya tesisleri, su ve atık su yönetimi gibi alanlarda sıklıkla tercih edilmektedirler.

Pitot tüpleri temel olarak standart, akışkanın statik ve dinamik basınçlarının ayrı noktalardan ölçüldüğü ve bu iki basınç arasındaki farkın, akış hızını belirlemek için kullanıldığı diferansiyel tip ve belirli bir ölçüm aralığında sürekli veri sağlamaya yönelik tasarlanmış, kendi içinde entegre ölçüm ve hesaplama devrelerine sahip olan entegre sistemli tüp olarak ayrılabilir. Her bir tüp tipi, belirli uygulama alanlarında en uygun çözümü sağlamak üzere geliştirilmiştir. Ortalama Pitot tüpü, diferansiyel tüpler sınıfına girer. Genellikle akışkanın farklı noktalarındaki basınçları birleştirerek akış profilinin genel ortalamasını sağlar.



Şekil 1. Geleneksel Pitot tüpü (a) ve ortalama Pitot tüpü (b).

Ortalama pitot tüpü, geleneksel Pitot tüpünden daha güvenilir ve hassastır. Bu nedenle, endüstride sıvıların, gazların ve buharların akışını ölçmek için daha çok tercih edilir.

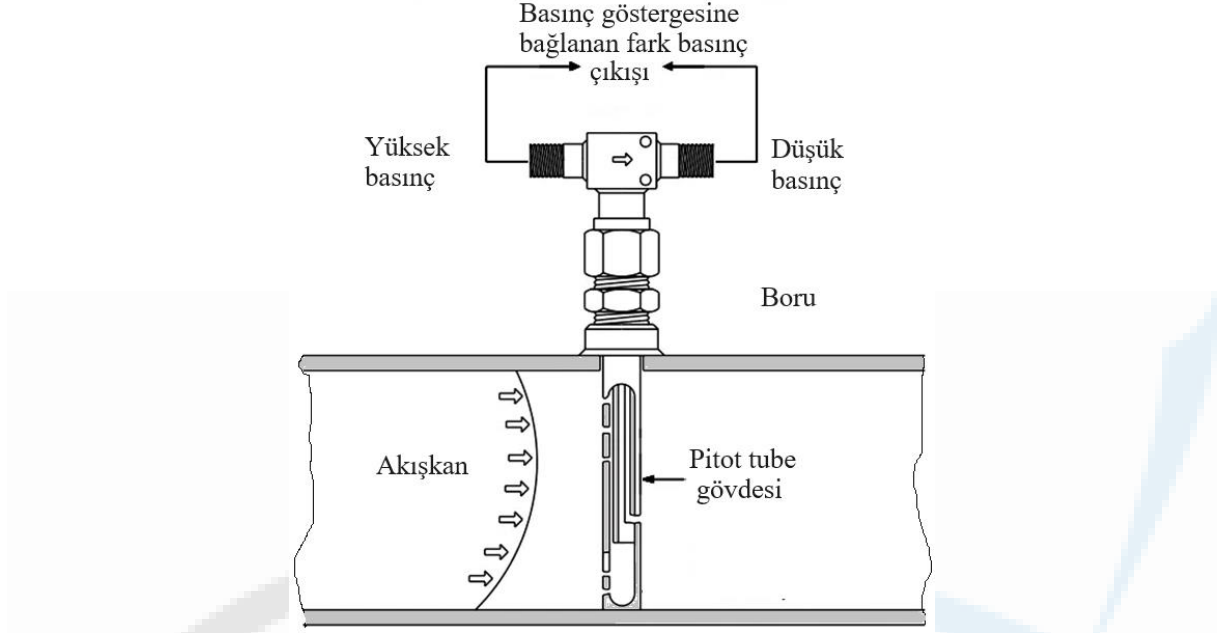
Ancak, bu tüplerin verimli bir şekilde tasarlanması ve doğru sonuç vermesi için bazı kritik parametrelerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çap, uzunluk, deliklerin yerleşimi ve akış yönü gibi tasarım parametreleri, Pitot tüplerin hassasiyetini ve performansını doğrudan etkiler. Bu çalışmanın amacı, özellikle standart Pitot tüplerinin tasarımında etkili olan bu parametrelerin, cihazın performansına olan etkilerini incelemektir.

Pitot tüp akış ölçerin yapısı ve çalışma prensibi

Pitot tüp iki temel elemandan oluşmaktadır. Bunlar,

- Pitot tüp gövdesi
- Fark basınç transmitteri

Pitot tüp gövdesi akışa karşı olan yüksek basınç bölgesi ve diğer taraftaki düşük basınç bölgesi olarak iki bölmeli bir yapıya sahiptir. Her iki taraftaki basınç etkilerini algılamak için uygun çapta ve konumda delikler vardır. Korozyondan etkilenmemesi için genelde paslanmaz çelikten yapılır. Boru dışında kalan gövde parçası üzerinde iki adet çıkıştan akışkan fark basınç transmitterine yönlendirilmektedir.



Şekil 2. Ortalama Pitot tüpün yapısı.

Girişteki dinamik basınç ve çıkıştaki statik basınç tarafından oluşturulan fark basıncı, için daha doğru akış hızı ölçümünü mümkün kılmak için delik sayısı fazladır.

Çift yönlü ölçüm için konsept, akış ölçüm cihazının statik basınç tarafı, dinamik tarafındaki uzunluktan %1,5 daha kısa mesafede deliklerle tamamlandığı söylenmektedir.

Ortalama pitot tüpü, bir boru hattı veya kanaldaki bir hız gradyanında merkez hattının üst kısmındaki akışkan hızının %80'i ile ve merkez hattının alt kısmındaki akışkan hızının ise %70'i ile çalışacak şekilde ayarlanması ölçüm hatalarını minimum yapabilir.

Pitot tüp akış ölçerin temel çalışma prensibini Bernoulli denklemi ile ifade etmek mümkündür.

Bu ifade türbülanslı akış için sadeleştirilerek bir borudaki fark basıncı (Δp) ile hacimsel akış hızı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$Q = K\sqrt{\Delta p}$$

Q: Hacimsel akış (m^3/s)

K: Ortalama pitot tüpün akış katsayısı.

Δp : Ortalama pitot tüpündeki fark basıncı (Bar)

YÖNTEM

Pitot tüp tasarım parametreleri üzerine yapılacak araştırmanın temel adımlarını ve her adımın kısa açıklamasını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- ° Literatür araştırması sürecinde aynı zamanda patent sınırlamalarından etkilenmemek amacıyla konuyla ilgili patentler araştırılarak farklı konfigürasyonlar oluşturulmuştur.

- Hata türü ve etkileri analizi (FMEA) pitot tüpün tasarımında karşılaşılabilecek performansı ve güvenilirliği riske atabilecek potansiyel hata türleri belirlenmektedir
- Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analiz modeli hazırlama ve doğrulama işlemleri yapılmıştır. Doğrulama için gerçek ortam testleri bir model ile firmadaki test düzeneği kullanılarak yapılmış ve veriler kaydedilmiştir.
- Test tasarımı, pitot tüpünün farklı akış hızları, basınç koşulları ve yönelmelere maruz bırakılmasını içermektedir.
- Testlerin gerçekleştirilmesi ile CFD analizleri doğrulanmaktadır.
- Regresyon analizi ile etkili parametreleri saptanmaktadır
- Parametrelerin optimizasyonu ve kontrolü ile bu parametrelerin en uygun değerleri belirlenmektedir
- Sonuçların değerlendirilmesi

Araştırmanın sonunda, yapılan analizlerin ve testlerin sonuçları özetlenmiştir. Pitot tüp tasarımında etkili olan parametrelerin belirlenmesi ve optimizasyon sürecinde elde edilen iyileştirmeler değerlendirilmiştir.

Hasar modu analizi (FMEA)

FMEA analizinde debi, gövde kesiti, delik çapı, deliklerin şekli, sayısı ve konumlarının, etkilerini incelenmiştir. Pitot tüp akış ölçerlerde FMEA analizi ile potansiyel hata modları tespit edilerek, bu hataların önüne geçmek için gerekli önleyici tedbirler alınabilir. Kalibrasyon, montaj, tıkanma ve korozyon gibi faktörler, Pitot tüplerinin doğru çalışmasını etkileyen başlıca unsurlar arasındadır. Düzenli bakım, doğru malzeme seçimi ve uygun montaj işlemleri, sistemin güvenilir ve uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır.

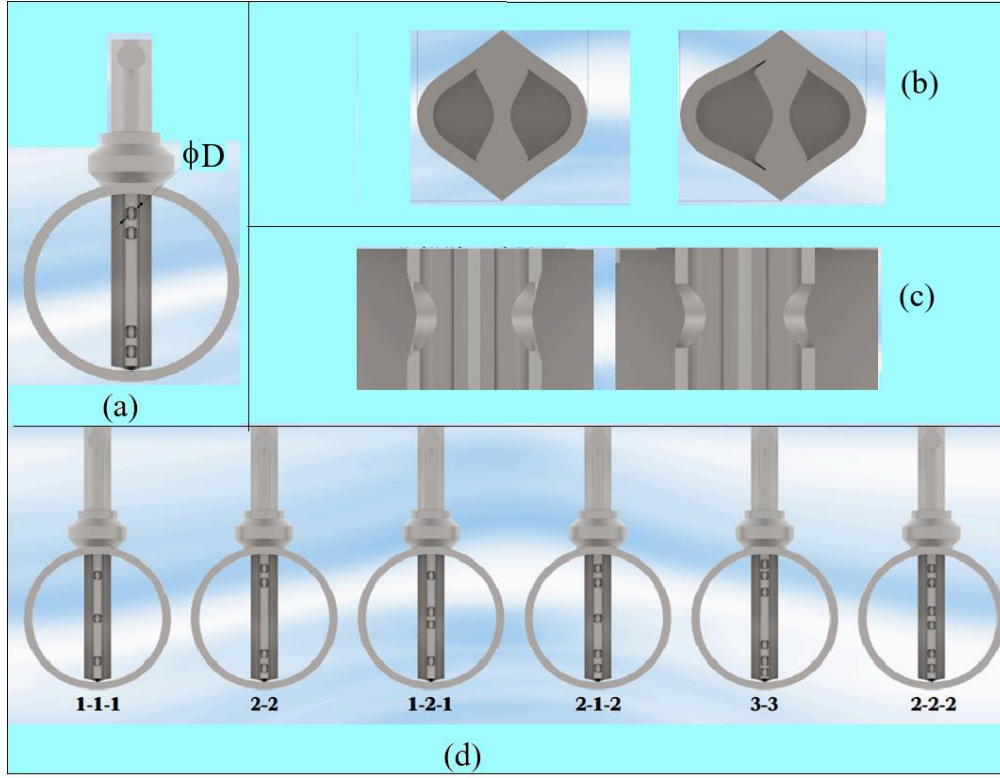
Test tasarımı

Hali hazırda bu tip debi ölçer cihazlar yurt dışında üretilmektedir. Bu nedenle tersine mühendislik yöntemi uygulanabildiği için bazı parametreler sabit tutulacak şekilde klasik test tasarım yöntemi benimsenmiştir. Buna göre tasarım parametrelerinden bir kısmı değiştirilerek testler yapılmıştır. Burada testler bilgisayar ortamında SolidEdge programında CFD simülasyonları ile gerçekleştirilmiştir. Mevcut bir numune ile yapılan gerçek ortam testleri ile CFD analiz sonuçları doğrulanmış ve farklı parametre seviyeleri için CFD analizi yapılmıştır. Farklı gövde kesitleri, delik çapları, sayıları ve konumlarının konfigürasyonları yapılarak 9 farklı debi değerinde testler yapıldı ve en verimli delik konfigürasyonları için çıkarımlar elde edildi.

Test parametreleri

a	Delik çapları (mm)	7.85	6.85
b	Pitot tüp gövde kesiti	Elmas	Asimetrik
c	Delik girişi şekli	Havşa	Düz
d	Delik konumu ve sayısı	3,4,5 ve 6 delikli 6 farklı kombinasyon	

Tablo 1. İlk analizlerde kullanılan parametreler



Şekil 3. Test parametreleri (Tablo1).

Regresyon analizi

Regresyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen bir istatistiksel yöntemdir. Bu analizde tasarım hedefi Pitot tüp gövdesindeki fark basınç olarak belirlenmiştir. Fark basıncının artması daha düşük maliyetli basınç transmitterlerini kullanmayı mümkün kılmakta ve debi ölçüm hassasiyetini arttırmaktadır.

Regresyon Analizinin Amaçları

- Tahmin
- Geçmiş verilerden yola çıkarak gelecekteki olayları tahmin etmek.
- İlişkiyi Anlamak
- Kontrol ve Karşılaştırma
- Hipotez Testi

Pitot tüp için Excel kullanılarak aşağıdaki gibi doğrusal regresyon analizi yapmak yeterli görülmüştür.

ÖZET	
<i>Regression İstatistikleri</i>	
Multiple R	0.9955
R Square	0.9911
Adjusted R Square	0.9904

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Kesişim	-336.632	20.711	-16.3	0.000	-377.8	-295.4	-377.82	-295.44
Debi	0.319	0.003	95.9	0.000	0.31	0.33	0.312	0.326
Gövde Kesiti	-7.911	6.865	-1.2	0.252	-21.56	5.74	-21.565	5.742
Delik Çapı	6.828	6.865	0.99	0.323	-6.826	20.48	-6.826	20.481
Delik Şekli	-1.939	6.865	-0.3	0.778	-15.59	11.71	-15.592	11.714
Delik Konumu	-17.971	4.459	-4.1	0.000	-26.84	-9.10	-26.839	-9.103
Delik Sayısı	-3.970	2.102	-1.9	0.062	-8.15	0.21	-8.150	0.211

Bu analiz “R Square” değerine göre %99 oranında anlamlıdır.

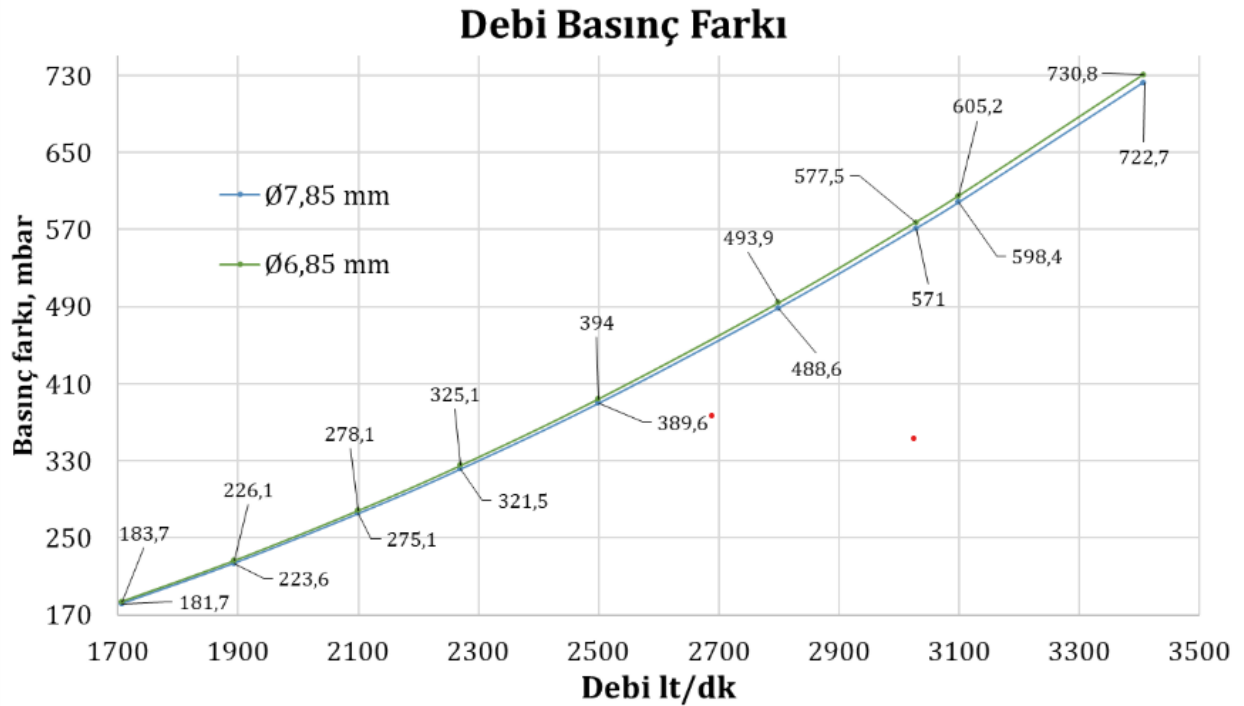
$P < 0,05$ olan değerler test parametreleri olarak etkilidir, tabloda görüldüğü gibi bunlar:

Debi, delik konumu, delik sayısıdır. Burada delik sayısının p değeri 0,05 değerine yakın olduğu için dikkate alınması uygun görülmüştür.

Buna göre testlerin bu üç parametrenin farklı değerleri için yapılması yeterli olacaktır.

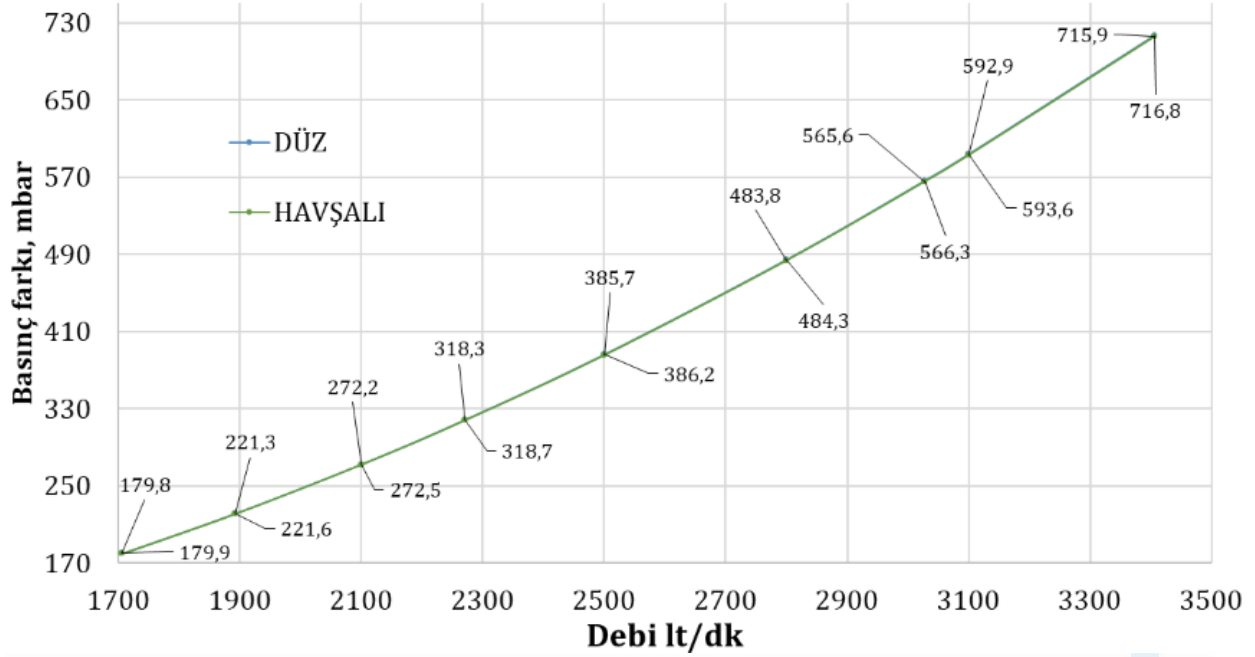
TESTLER

Akış Koşulları aşağıdaki gibi kabul edilerek bilgisayar ortamında hazırlanan modeller üzerinde etkili parametreler kullanılarak testler yapılmıştır.



Şekil 4. İki farklı delik çap için debilere göre fark basınçlarının değişimi

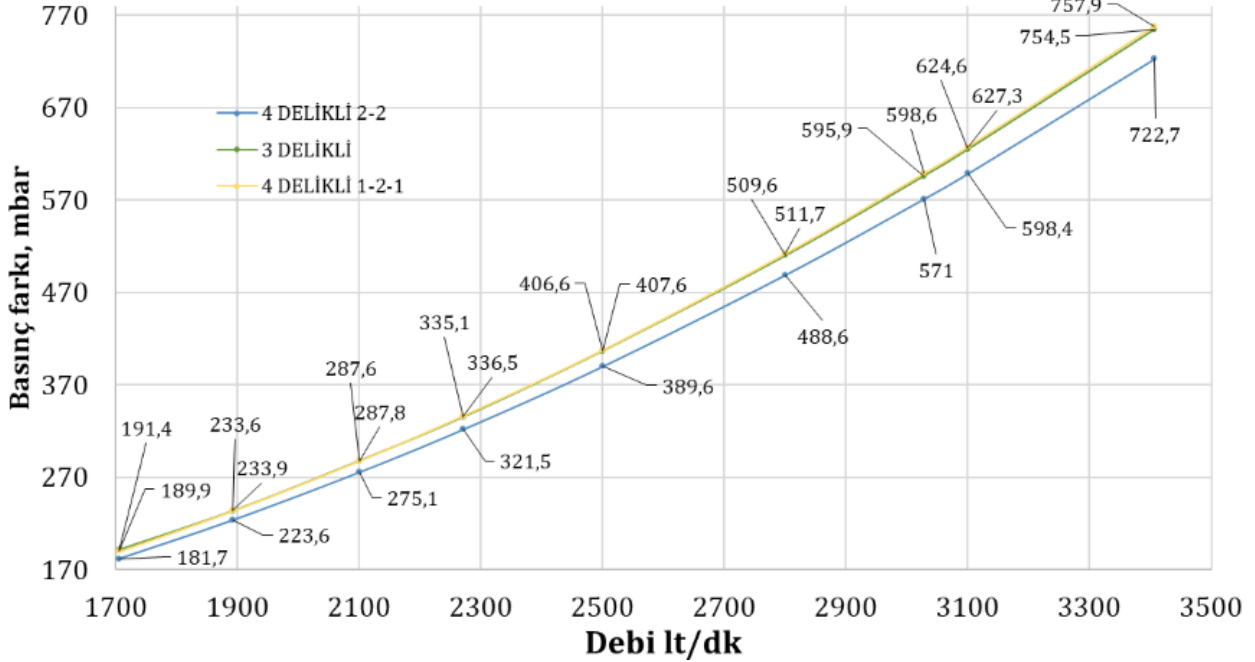
Debi Basınç Farkı



| 341

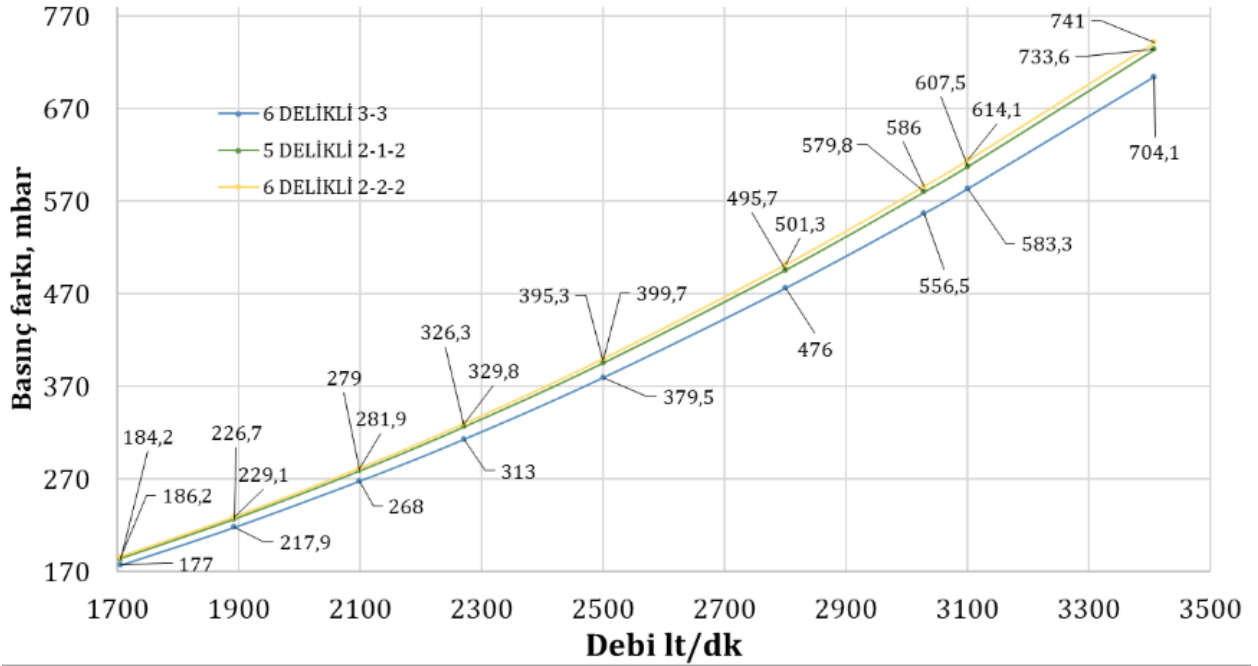
Şekil 5. Düz ve havşa açılmış delik geometrileri için debilere göre fark basınçlarının değişimi

Debi Basınç Farkı



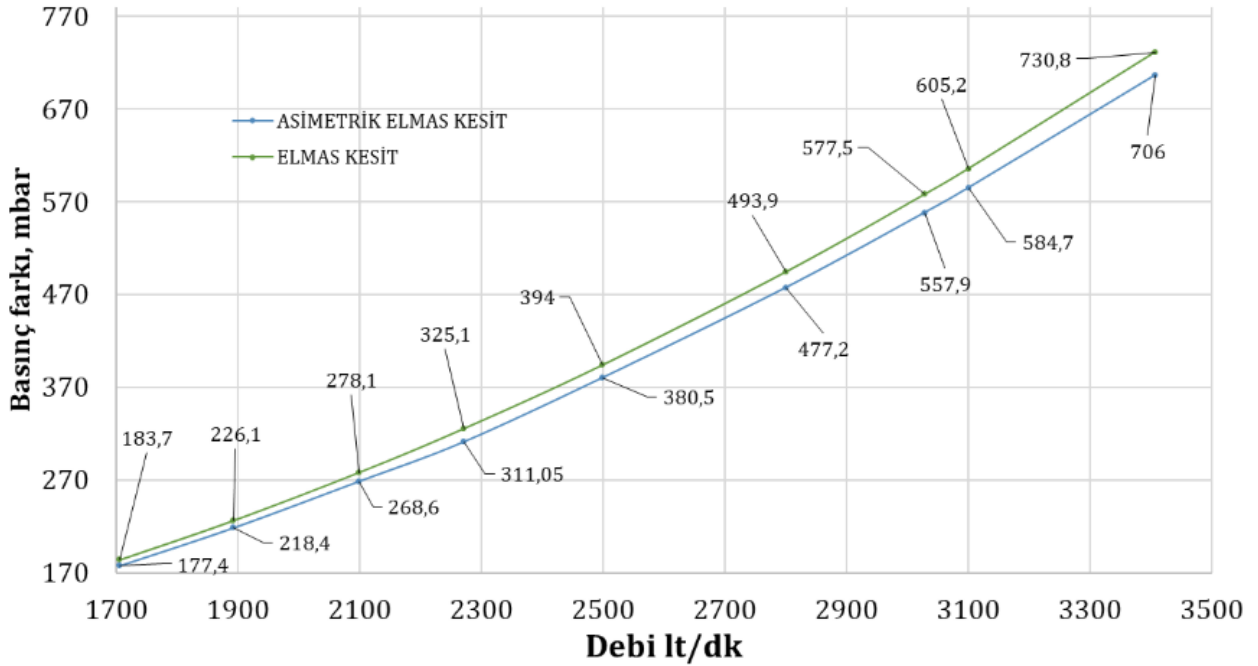
Şekil 6. Yüksek ve düşük basın bölgelerinde tek tarafta 3 ve 4 adet delik bulunan konfigürasyonlar için debilere göre fark basınçlarının değişimi.

Debi Basınç Farkı



Şekil 7. Yüksek ve düşük basın bölgelerinde tek tarafta 5 ve 6 adet delik bulunan konfigürasyonlar için debilere göre fark basınçlarının değişimi

Debi Basınç Farkı



Şekil 8. Elmas ve asimetrik elmas gövde kesitleri için debilere göre fark basınçlarının değişimi.

Test sonuçları

Yapılan testlerde en önemli beklenti, fark basınç sensörünün yüksek çözünürlükte çalışması için, Pitot tüp gövdesinin içindeki fark basıncının değişen debilerde mümkün olduğu kadar yüksek değerde

olmasıdır. Burada dinamik basınç artışına sebep olan akışkan hızı fark basıncını etkileyen en önemli parametrelerden biridir.

Pitot tüpün gövdesinin önündeki ve arkasındaki akış hızlarını etkileyen en önemli parametre tüpün en kesitinin geometrisidir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bilgisayar ortamında CFD analizleri kullanılarak yapılan testlerde akış koşulları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- ° Akış tipi laminar ve türbülanslı akış seçilmiştir.
- ° Akış prosesi hızlı gelişmekte olup adyabatik tipte seçilmiştir dolayısıyla akışkan ile metal boru cidarı arasında ısı alışverişi dikkate alınmamıştır.
- ° Yüzey pürüzlülüğün etkileri hesaplara dahil edilmemiştir.
- ° Ortam koşulları aşağıdaki resimde verildiği gibi kabul edilmiştir.
- ° Analizlerde sistem girişinde dokuz farklı debi değeri tanımlanmıştır.
- ° Analizlerde sistem çıkış parametreleri olarak ortam basıncı ve sıcaklığı tanımlanmıştır.

Test sonuçları şekil 4'den şekil 8'e kadar grafiklerle verilmektedir. Burada grafiklerin dikleşmesi aynı debi değişimi aralığında fark basıncının dolayısı ile fark basınç transmitterinin çözünürlüğünün arttığını göstermektedir.

Fark basıncının hızın karesi ile orantılı olarak değiştiği anlaşılmaktadır. Buna göre boru içindeki akış hızının pitot tüp gövdesi tarafından doğru algılanması ve tekrarlanabilirlik hatalarının minimum olması önemlidir. Bu nedenle ortalama pitot tüplerde tüp gövdesine çok sayıda delik delinerek ortalama akış hızının algılanması daha doğru bir yaklaşımdır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken diğer bir hususta çok sayıda deliğin giriş ve çıkış basınç düşüşünü olumsuz etkilediğidir. Bu durum analizlerle tespit edilmiştir. Yapılan analizlerde delik çapının ve delik şeklinin basınç düşüşüne etkisinin çok az olduğu gözlenmiştir. Delik sayısı ve dizilimleri değiştirildiği takdirde en kötü durum analizlerinde basınç düşüşüne etkisinin %9'u geçmediği görülmüştür.

Farklı pitot tüpü gövde kesitleri incelendiğinde de en uygun kesit tipinin elmas kesit olduğu anlaşılmıştır. Bu değerlendirmelerin ışığında prototip üretim için pitot tüp gövdesi elmas kesit, yüksek ve alçak basınç bölgelerinde 2-2-2 konfigürasyonunda 7 mm delik çapında olacak şekilde saptanmıştır.

KAYNAKÇA

1. T.Clarke, Design and operation of target flowmeters, Encyclopedia of Fluid Mechanics, Vol 1, Houston, TX: Gulf Publishing Company, 1986.
2. F.H. Newman and V.H.L.Searle, The general properties of matter. Edward Arnold, 1948.
3. S.Webster, R.McBride, J.S.Barton, and J.D.C. Jones, Air flow measurement by vortex shedding from multimode and monomode fibres. Measurement, Science and Technology,3,210-216, 1992.
4. J.S.Barton and M.Saudi, A fibre optic vortex flowmeter. J.Phys. E: Sci. Instrum. 19,64-66,1986.
5. N.Naredran, A.Shukla, and S.Letcher, Optical fibre interferometric strain sensor using a single fibre, Experimental Techniques, 16(2), 33-36, 1992.
6. Seshadri V.; Gandhi B.K.; Singh S.N. et al., Analysis of the effect of body shape on annubar factor using CFD, Measurement, 2004, 35:25-32.

Makale id= 7

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-6977-4766

| 344

Kategorik Verilerin Analizinde Kullanılan Hurdle Regresyon Analizine İlişkin Bir Uygulama**Dr. Rıdvan Kara¹, Prof.Dr. Abdullah Yeşilova², Araştırmacı Gamze Soyca³**¹ Hakkari Üniversitesi² Yüzüncü Yıl Üniversitesi³ Hakkari Üniversitesi

*Corresponding author: Rıdvan Kara

Özet: Bu çalışmada; Türkiye İstatistik Kurumu'ndan alınan 2008-2018 yılları arasında Türkiye'de işlenmiş bazı suç verileri kullanılmıştır. Bu suçlar yedi coğrafi bölgeye göre yeniden düzenlenmiştir. Doğu Anadolu Bölgesi ve 2008 yılı referans alınarak farklı modeller karşılaştırılmıştır. Çalışmada Poisson regresyonu, negatif binomial regresyon, sıfır değer ağırlıklı Poisson regresyonu, sıfır değer ağırlıklı negatif binomial regresyon ile Hurdle Poisson ve Hurdle negatif binomial yöntemlerin performansı karşılaştırılmıştır. En iyi modelin belirlenmesinde AIC istatistiği kullanılmıştır. Model karşılaştırmasında ise Vuong istatistiği kullanılmıştır. Uyum ölçütlerine göre en iyi model Hurdle negatif binomial regresyon seçilmiştir. Hurdle negatif binomial regresyonda, Karadeniz bölgesi hariç diğer tüm bölgelerin Doğu Anadolu bölgesine göre, Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.01$). Ayrıca 2008 yılına göre diğer tüm yıllarda uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu önemli bulunmuştur ($p<0.001$). Uyuşturucu kullanma suçu ile hırsızlık, uyuşturucu satışı, adam öldürme suçları arasında pozitif yüksek ilişki saptanmış, yıllara göre (2008-2018) tüm suçlarda ciddi artışların meydana geldiği, bu artışların özellikle büyük kentlerin olduğu bölgelerde yoğun olduğu gösterilmiştir. Uyuşturucu kullanma suçunun ekonomik, sosyolojik ve psikolojik yönlerinin de araştırılarak acil önlemlerin alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uyuşturucu Kullanma Suçu, Poisson Regresyon, Hurdle Modeller, Aşırı Yayılım

The Examination of the Relationship of Use and Purchase of Drug With Other Crimes With Hurdle Regression Models

Abstract: In this study; some crime data of Turkish Statistic Institute between 2008 and 2018 were used and different regression methods were compared by using dependent variables. These crimes were reorganized into seven geographical regions. The crime rates of the regions were compared with reference to the Eastern Anatolia Region, and the years were compared with reference to 2008. In this study, the performance of Poisson regression, negative binomial regression, zero-inflated Poisson regression and zero-inflated negative binomial regression were compared versus Hurdle Poisson and Hurdle negative binomial models. AIC statistic was used to determine the best model. In model comparison, Vuong statistics were used. Hurdle negative binomial regression was chosen the best model according to the other models. In case of all other regions compared to the Eastern Anatolia region, use and purchase of drugs crime was found statistically significant, excluding the black sea region ($p<0.01$). In case of all other years compared to 2008, use and purchase of drug crime was found statistically significant ($p<0.01$). It has been determined that there is a high positive relationship between the crime of drug use and the crimes of theft, drug sales, and homicide, and it has been shown that there has been a serious increase in all crimes over the years, and these increases are especially intense in regions where large cities are located. It was emphasized that urgent measures should be taken by examining the economic, sociological and psychological aspects of drug use crime.

Keywords: Use and Purchase of Drug Crime, Poisson Regression, Hurdle Models, Overdispersion.

GİRİŞ

Ülkemizde yapılan çalışmalarda madde kullanımı ile suç arasında bir ilişki görülmektedir. İstanbul'da suç prevalansı yüz bin kişide 186.73 iken, 2180 madde bağımlısı arasında 1878 kişi hayatlarının bir döneminde en az bir kez suç işlediği gözlenmiştir (Alpay, Karamustafalıoğlu ve Kükürt, 1995).

Madde kullanımı ülkeler için birçok açıdan önemli sorunlar yaratmaktadır. Bunlar arasında sağlık, ekonomik, adli vb sorunlar sayılabilir. Madde kullanan kişiler arasında suç işleme ve yasalara karşı gelme davranışının olması da, madde bağımlılığının önemli bir toplumsal yönünü yansıtmaktadır. Madde temin edebilmek için hırsızlık, yasadışı ve ahlaka aykırı eylemlerde bulunanlar ve madde satmak zorunda kalanların tercih maddelerine göre dağılımına bakıldığı zaman, bu tür eylemlerin eroin kullanıcıları arasında yaygın olduğu gözlenmektedir (Ögel, Tamar, Evren ve Hızlan, 1999).

Maddelerin etkileri dolayısıyla kişiler doğrudan ya da dolaylı olarak yeni bir takım suç işlemeye yönelmektedir. Bağımlı olan kişi kendisinin toplum tarafından suçlu ve ahlaksız biri olarak sayılmak suretiyle dışlandığını da bilmektedir. Madde kullanımı nedeniyle iş performansında giderek düşen ve ekonomik kriz içine giren kişi ihtiyacı olan maddeyi temin edebilmek için hırsızlık, uyuşturucu madde satıcılığı ya da kuryeliği veya fuhuş gibi suçları işlemeye hazır hale gelmektedir. Ayrıca bazı profesyonel suçların (katil, hırsızlık vb.) ihtiyaç duyduğu aşırı cesaretin sağlanmasında psikoaktif maddeler suç ile ilginin bir halkasını oluşturmaktadır (Alpay, Karamustafalıoğlu ve Kükürt, 1995).

Bu çalışmada kullanılan suçlar sayıma dayalı olarak elde edilmiştir. Sayıma dayalı olarak elde edilen verilerin analizinde Poisson regresyonu kullanılmaktadır (Cameron ve Trivedi, 1998). Poisson dağılımının ortalaması ile varyansı birbirine eşittir (Agresti 1997). Bu eşitliğin sağlanmaz ise çoğunlukla aşırı yayılım (varyansın ortalamadan büyük olması durumu) görünür. Bu aşırı yayılımın etkisini gideren yöntemlerden biri negatif binom regresyondur (Agresti 1997; Hilbe 2007). Eğer bağımlı değişkende sıfır (0) değerler fazla ise bu durumda sıfır değer ağırlıklı Poisson (Zero Inflated Poisson = ZIP), sıfır değer ağırlıklı negatif binomial (Zero Inflated Negative Binomial=ZINB), Hurdle Poisson, Hurdle Negatif Binomial regresyonları kullanılabilir. (Lambert, 1992; Dalrymple, Hudson ve Ford, 2003; Jansakul ve Hinde, 2009; Yeşilova, Kaya, Kaki ve Kasap, 2010).

Bu çalışmada Türkiye'de işlenmiş bazı suçların (hırsızlık, kaçakçılık, uyuşturucu veya uyarıcı madde imal ve ticareti, öldürme, cinsel suçlar) uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu ile ilişkisi ve bu suçların yıllara ve bölgelere göre değişimi istatistiksel olarak incelenmiştir.

YÖNTEM

Madde kullanan kişiler, hırsızlık, uyuşturucu madde satıcılığı ya da kuryeliği veya fuhuş gibi suçları işlemeye hazır hale gelmektedir. Ayrıca bazı profesyonel suçların (katil, hırsızlık vb.) ihtiyaç duyduğu aşırı cesaretin sağlanmasında psikoaktif maddeler suç ile ilginin bir halkasını oluşturmaktadır (Alpay Karamustafalıoğlu ve Kükürt, 1995). Bu nedenle modele uyuşturucu veya uyarıcı madde imal ve ticareti, cinsel suçlar, öldürme, hırsızlık, kaçakçılık gibi suçlar dahil edilmiştir. Çalışmada uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu bağımlı değişken; uyuşturucu veya uyarıcı madde imal ve ticareti, cinsel suçlar, öldürme, hırsızlık, kaçakçılık suçları ile yıllar ve bölgeler de bağımsız değişkenler olarak ele alınmıştır. 2008-2018 yılları arasındaki bu veriler analiz edilirken 2008 yılı referans olarak alınmış ve diğer yıllardaki değişim bu yıla göre yorumlanmıştır. Bölgeler arasında ise Doğu Anadolu Bölgesi referans olarak alınmıştır.

Hurdle model sıfır değerlerinin çok olduğu veri kümelerinin analizinde kullanılan alternatif bir yöntemdir (Dalrymple, Hudson ve Ford 2003). Hurdle model iki kısımdan oluşmaktadır. Kısımlardan birincisi, sıfır sayımlara (0) karşı pozitif sayımları (1) gösteren binary (ikili) cevapları, ikinci kısım ise yalnız pozitif sayımları (sıfırdan büyük değerler) gösteren süreçtir. Binary cevaplar binary model kullanılarak modellenmektedir. Pozitif sayımlar ise sıfır değer- sınırlandırılmış sayıma dayalı (zero-truncated count) model kullanılarak modellenmektedir (Long ve Freese, 2005; Martin, Rose, Wannemuehler ve Plikaytis, 2006; Hilbe, 2007).

Poisson Hurdle için log-olabilirlik fonksiyonu;

$$L = \sum_{y_i > 0} x_i \beta - \sum_{i=1}^n \log(1 + \exp(x_i \beta)) + \sum_{y_i > 0} [y_i z_i \alpha - \exp(z_i \alpha) - \log(1 + \exp(-\exp(z_i \alpha))) - \log y_i!] \\ = L(\beta) + L(\alpha)$$

| 346

$L(\beta)$ ve $L(\alpha)$ maksim olabilirlik tahminlerinden maksimize edilerek elde edilebilir (Lachenbruch, 2002; Min ve Agresti, 2005).

Bu çalışmada parametre tahminlerinde kullanılan negatif binomial hurdle modelin log-olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki şekilde verilebilir (Long ve Freese, 2005; Hilbe, 2007).

$$L = \text{cond}\{y = 0, \ln(1 / (1 - \exp(xb1)), (\ln(\exp(xb1)) / 1 + \exp(xb1) + \\ y \ln(\exp(xb) / 1 + \exp(xb) - \ln(1 + \exp(xb) / \alpha)) + \ln \Gamma(y + \\ 1/\alpha) - \ln \Gamma(\frac{1}{\alpha}) - \ln(1 - (1 + \exp(xb))(-1/\alpha))\}$$

Çalışmada ele alınan bağımlı değişkende 891 değerden 163'ü yani (891/163=18.2) yaklaşık yüzde 18'i sıfır değerden oluşmaktadır. Bu nedenle modele Poisson ve negatif binomial regresyon modelleri yanı sıra, sıfır değer ağırlıklı modeller (ZIP, ZINB) ve Hurdle modeller (Hurdle-P, Hurdle-NB) de uygulanmıştır. Bu model karşılaştırmaları yapılırken, en iyi modelin belirlenmesinde Akaiki bilgi kriteri (Akaiki Information Criteria=AIC) kullanılmaktadır (Sileshi, 2008).

Veri Toplama Araçları

Çalışmada kullanılan veriler TÜİK'in 2008-2018 yılları arasını kapsayan bazı suç verilerinden oluşmaktadır. Bu veriler il bazında alınmış ve 7 coğrafi bölgeye göre yeniden düzenlenmiştir. Bu suçlar; uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma, uyuşturucu veya uyarıcı madde imal ve ticareti, cinsel suçlar, öldürme, hırsızlık, kaçakçılık suçu olarak ele alınmıştır.

Verilerin Analizi

İstatistiksel analizler için R ve SAS istatistik yazılım programları kullanılmıştır.

BULGULAR ve YORUMLAR

Çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanıtıcı istatistikler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de değişkenlere ilişkin standart sapmaların ortalamalarından yüksek olduğu görülmektedir.

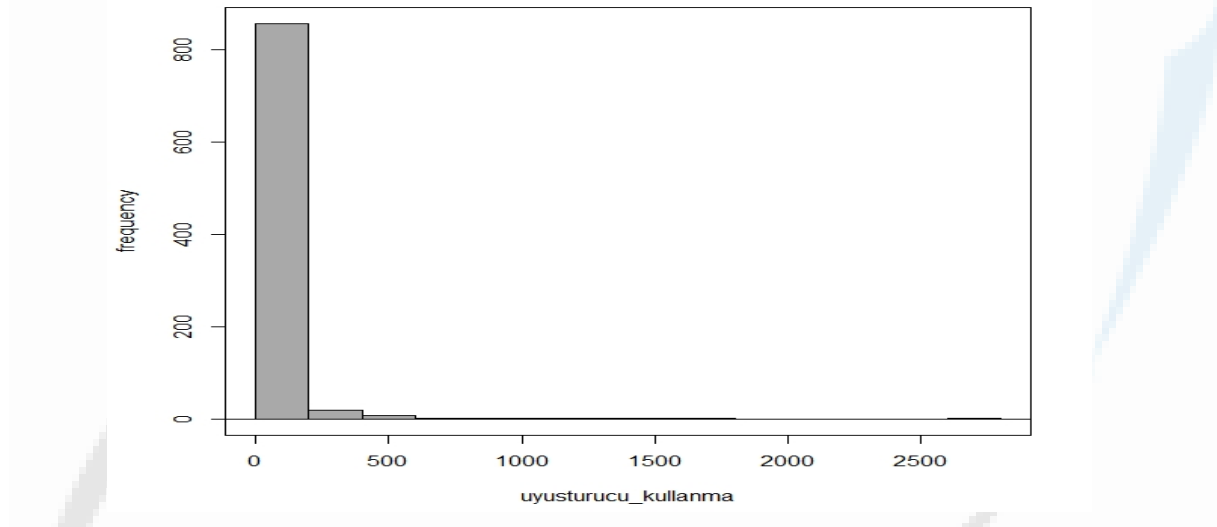
Tablo1. Değişkenlere ait tanıtıcı istatistikler

Değişken	Ortalama	Standart Sapma	Minimum değer	Maksimum değer	N
Cinsel Suçlar	41.547	74.905	0	896	891
Hırsızlık	262.916	596.851	0	8058	891
Kaçakçılık	38.144	78.774	0	1003	891
Öldürme	74.501	130.566	0	1568	891
Uyuşturucu kullanma	39.775	151.458	0	2761	891
Uyuşturucu satışı	110.914	275.784	0	3087	891

Bağımlı Değişkenin (Uyuşturucu veya Uyarıcı Madde Kullanma-Satın Alma Suçu) Modellenmesine İlişkin Analiz Sonuçları

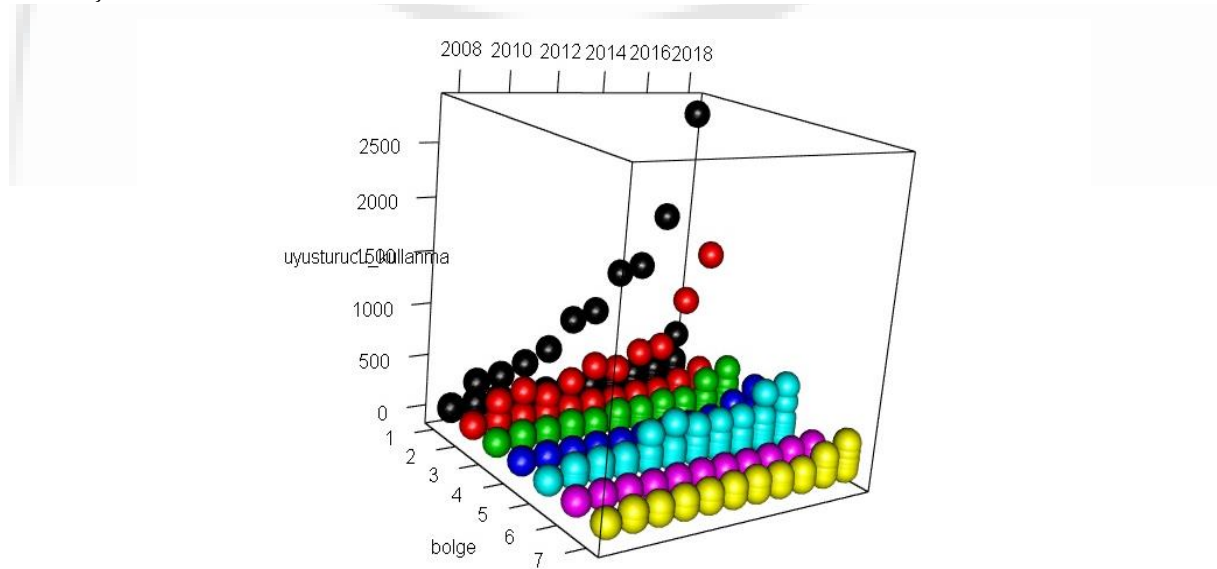
Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçunun ortalaması 39.775, varyansı 22921 olarak elde edilmiştir (Tablo 1). Varyans ortalamadan oldukça yüksek çıkmıştır. Bu durum değişkende aşırı yayılımın olduğunu göstermiştir. Aşırı yayılımın yanı sıra, ortalama ile varyans arasındaki farklılık, bağımlı değişkende sıfırların varlığını da ortaya koymuştur. Tablo 3'te bağımlı değişkenin aşırı yayılım testi sonuçları verilmiştir. Tablo 3'e göre bağımlı değişkende aşırı yayılım tespit edilmiştir. Poisson regresyonunda aşırı yayılımın 1 değerinden büyük çıkması aşırı yayılım olarak kabul edilir. Tablo 3'te aşırı yayılım değeri oldukça yüksek bulunmuştur. Bu durum Poisson regresyonun kullanılmasının parametre tahminleri açısından sorun olacağını göstermektedir. Şekil 1'de verilen grafiğin oldukça sağa çarpık olması bu sonucu desteklemektedir.

Bağımlı değişken toplam 891 veriden oluşmaktadır ve bunun 163'ü yani yaklaşık %18'i sıfır değer olarak tespit edilmiştir. Şekil 1'de dağılım oldukça sağa çarpık olarak elde edilmiştir.



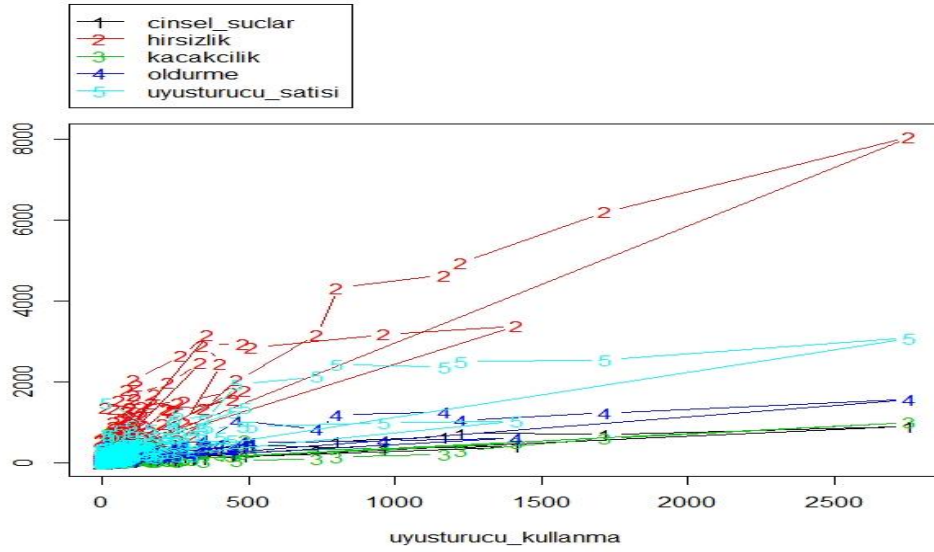
Şekil 1. Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçunun dağılımı.

Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçunun bölge ve yıllara göre değişimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçunun bölge ve yıllara göre dağılımı (1: Marmara, 2: Ege, 3: İç Anadolu, 4: Karadeniz, 5: Akdeniz, 6: Doğu Anadolu, 7: Güney Doğu).

Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçunun çalışmada modele dahil edilen diğer suçlarla olan ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki.

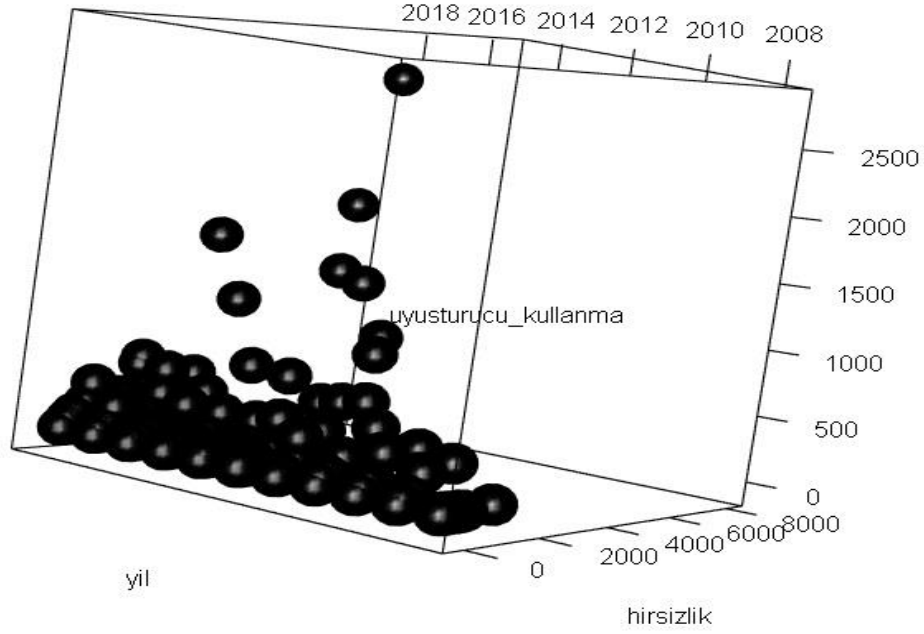
Çalışmada modele dahil edilen suçlar arasındaki korelasyon Şekil 4'teki gibi elde edilmiştir.

	oldurme	cinsel_suclar	hirsizlik	uyusturucu_satisi	uyusturucu_kullanma	kacakcilik
oldurme	1	0.93	0.95	0.94	0.86	0.63
cinsel_suclar	0.93	1	0.96	0.85	0.84	0.63
hirsizlik	0.95	0.96	1	0.91	0.9	0.71
uyusturucu_satisi	0.94	0.85	0.91	1	0.84	0.68
uyusturucu_kullanma	0.86	0.84	0.9	0.84	1	0.69
kacakcilik	0.63	0.63	0.71	0.68	0.69	1

Şekil 4. Değişkenlerin Spearman korelasyon katsayıları

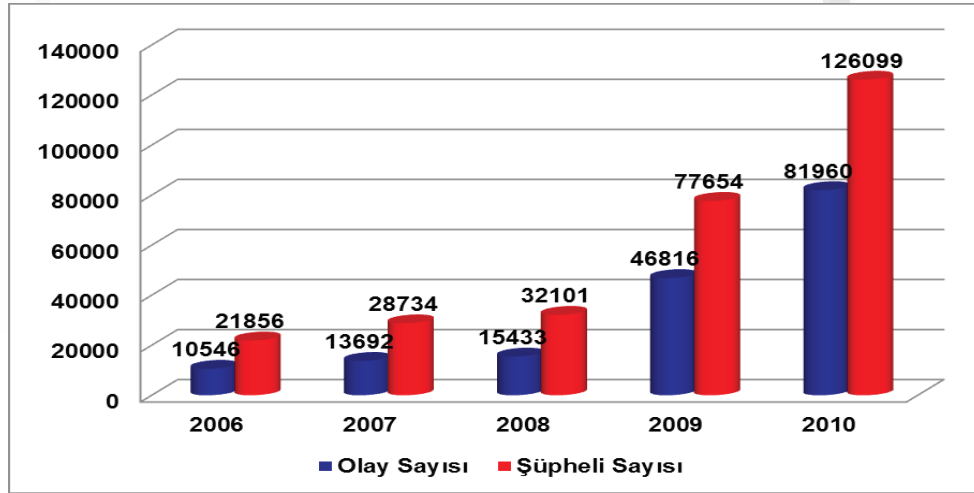
Tüm değişkenler arasında yüksek pozitif ilişki tespit edilmiş ve bu değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.001$).

Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçunun en yüksek pozitif korelasyona sahip olduğu hırsızlık suçunun yıllara göre değişimi Şekil 5'te verilmiştir.

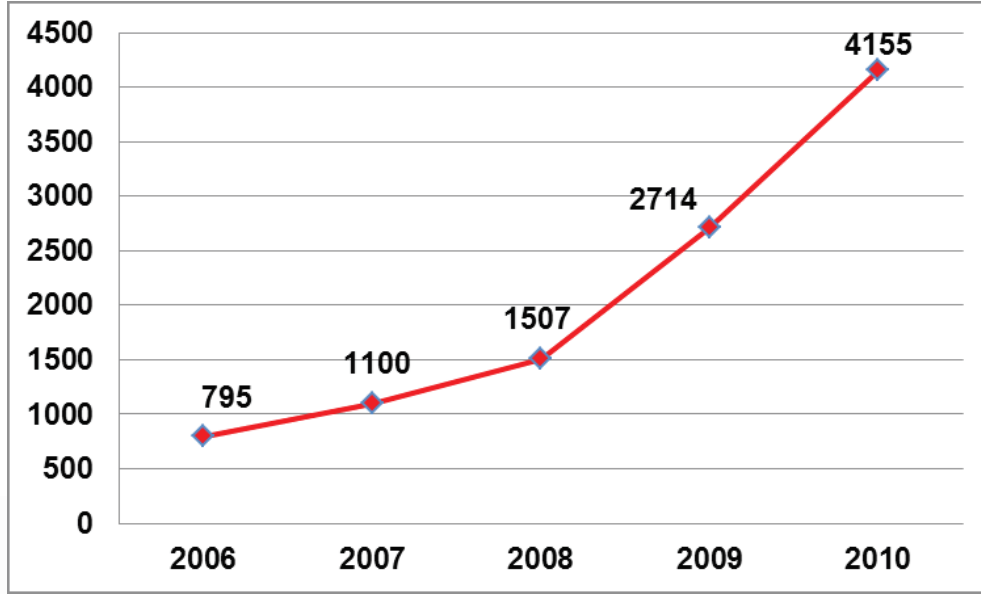


Şekil 5. Hırsızlık suçunun yıllar ve uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu ile ilişkisi.

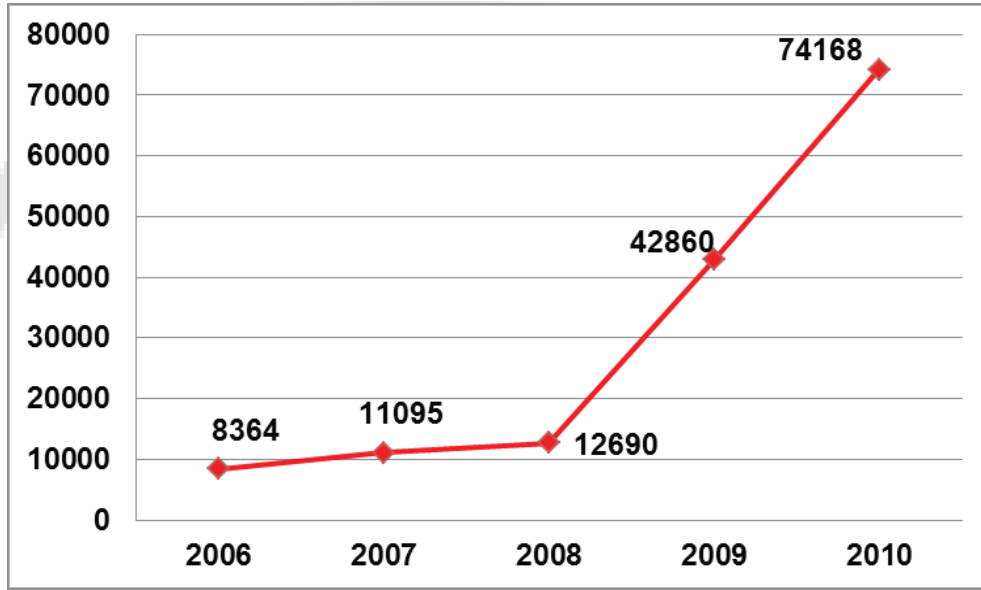
Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçunun özellikle 2008 yılından sonra çok büyük bir artış gösterdiği, 2018 yılında ise en yüksek ortalamaya sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu suça ait yükseliş trendinin özellikle 2008 yılından sonra başladığı resmi raporlarda da ortaya çıkmaktadır. 2010 Türkiye Uyuşturucu Raporu, EMCDDA Standart tablolarında bu kırılma noktası gözlemlenmiştir (Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8).



Şekil 6. Yıllara Göre Olay ve Şüpheli Sayıları (2010 Türkiye Uyuşturucu Raporu, EMCDDA Standart Tabloları).



Şekil 7. Yıllara Göre Toplam Eroin Olay Sayısı (2010 Türkiye Uyuşturucu Raporu, EMCDDA Standart Tabloları).



Şekil 8. Yıllara Göre Toplam Esrar Olay Sayısı (2010 Türkiye Uyuşturucu Raporu, EMCDDA Standart Tabloları).

Oluşturulan modele; Poisson (PR), negatif binomial (NB), sıfır değer ağırlıklı Poisson (ZIP), sıfır değer ağırlıklı negatif binomial (ZINB), Hurdle Poisson (Hurdle P) ve Hurdle negatif binomial (Hurdle NB) regresyonları uygulanmış olup, elde edilen AIC değerleri ve Vuong test istatistikleri sonucu modeli en iyi açıklayan regresyon yöntemi Hurdle NB olmuştur.

Model uyum ölçütlerine göre en iyi model Hurdle-NB seçildiğinden dolayı, Hurdle-NB log ve logit bağlantı fonksiyonlu parametre tahminleri ve standart hata değerleri Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3'te; Hurdle-NB parametre tahminleri sonucuna göre öldürme suçu ($p < 0.001$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Öldürme suçu uyuşturucu kullanma suçunu binde 1 arttırmıştır. Yıl değişkeni istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.001$). 2008 yılı referans olarak alındığında diğer yıllardaki değişimler uyuşturucu kullanma suçunda çok büyük bir yükseliş olduğunu göstermiştir. Çünkü 2008

yılı uyuşturucu kullanma suçu Türkiye ortalaması 1 den küçük (0.43) iken 2018 yılında bu ortalama 120'nin üzerinde (128.07) olarak tespit edilmiştir.

Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçunda 2008 yılına göre; 2009 yılında 20.61 kat, 2010 yılında 15.33 kat, 2011 yılında 13.19 kat, 2012 yılında 9.29 kat, 2013 yılında 15.33 kat, 2014 yılında 14.15 kat, 2015 yılında 17.81 kat, 2016 yılında 24.77 kat, 2017 yılında 46.99 kat, 2018 yılında ise 64.71 kat artış gerçekleşmiştir. Uyuşturucu veya uyarıcı madde imal ve ticareti, hırsızlık, kaçakçılık suçlarının uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma satın alma suçu üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Öldürme suçu uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma satın alma suçunu binde 1 oranında arttırmıştır.

Marmara Bölgesi'nde uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu Doğu Anadolu Bölgesi'ne göre 2.20 kat artış göstermiştir ($p<0.001$). Doğu Anadolu Bölgesi'ne göre uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçunda Ege Bölgesi'nde 1.93 kat ($p<0.001$), İç Anadolu Bölgesi'nde 1.58 kat ($p<0.001$), Akdeniz Bölgesi'nde 4.13 kat, Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde 1.99 kat ($p<0.001$) artış tespit edilmiştir. Bununla birlikte Karadeniz bölgesi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Tablo 3. Hurdle NB parametre tahminleri (bağlantı fonksiyonu: log)

Değişken	Tahmin	Std. Sapma	Pr(> z)	Exp(tahmin)
Sabit terim	-1.502	0.449	0.000828 ***	0.222
Uyuşturucu Satışı	0.0007	0.0003	0.0166	1
Hırsızlık	-0.00005	0.0004	0.2984	1
Kaçakçılık	0.0006	0.0007	0.380	1
Cinsel Suçlar	-0.002	0.0001	0.0212	0.99
Öldürme	0.011	0.001	< 2e-16 ***	1.001
2009	3.026	0.444	1.03e-11 ***	20.61
2010	2.735	0.446	8.75e-10 ***	15.33
2011	2.581	0.447	7.81e-09 ***	13.19
2012	2.234	0.447	6.05e-07 ***	9.29
2013	2.734	0.451	1.38e-09 ***	15.33
2014	2.652	0.452	4.50e-09 ***	14.15
2015	2.886	0.451	1.62e-10 ***	17.81
2016	3.213	0.454	1.48e-12 ***	24.77
2017	3.851	0.451	< 2e-16 ***	46.99
2018	4.175	0.453	< 2e-16 ***	64.71
Marmara	0.798	0.144	2.94e-08 ***	2.20
Ege	0.664	0.151	1.18e-05 ***	1.93
İç Anadolu	0.464	0.135	0.000627 ***	1.58
Karadeniz	-0.064	0.128	0.612920	0.94
Akdeniz	1.421	0.137	< 2e-16 ***	4.13
Güneydoğu	0.697	0.138	4.50e-07 ***	1.99

*** ($p<0.001$), **($p<0.01$), *($p<0.05$).

Logit bağlantı fonksiyonu kullanılarak elde Hurdle NB parametre tahminleri Tablo 4'te verilmiştir. Nümerik bağımsız değişkenlerden sadece hırsızlığın, bağımsız değişken olan “Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu” üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.001$). Hırsızlık yapan birinin yapmayan birine göre “Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu” işlemesi %2 daha fazladır. 2008 yılı referans alındığında, diğer tüm yılların “Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu” işleyenlerin işlemeyenlere göre etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.001$). Doğu Anadolu Bölgesi referans alındığında, diğer bölgelerden sadece Marmara bölgesinde “Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu” işleyenlerin işlemeyenlere göre etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Tablo 4. Hurdle NB parametre tahminleri (bağlantı fonksiyonu: logit)

Değişken	Tahmin	Std. Sapma	Pr(> z)	Exp(tahmin)
Sabit terim	-7.182	1.095	5.42e-11 ***	0.0007
Uyuşturucu Satışı	-0.008	0.008	0.9231	0.99
Hırsızlık	0.02	0.007	0.0002 ***	1.02
Kaçakçılık	0.014	0.0109	0.1958	1.01
Cinsel suçlar	-0.006	0.024	0.7897	0.99
Öldürme	0.008	0.013	0.5488	1.01
2009	6.776	1.026	3.92e-11 ***	871
2010	6.756	1.014	2.70e-11 ***	854
2011	6.789	1.018	2.60e-11 ***	880
2012	6.654	1.006	3.73e-11 ***	772
2013	7.288	1.092	2.48e-11 ***	1450
2014	6.339	1.034	8.80e-10 ***	561
2015	7.994	1.214	4.53e-11 ***	2951
2016	7.049	1.112	2.29e-10 ***	1141
2017	20.43	2.414	0.9920	745823847
2018	20.35	2.047	0.9908	688482185
Marmara	1.780	0.779	0.0224 *	5.92
Ege	0.855	0.747	0.2522	2.35
İç Anadolu	0.538	0.439	0.2202	1.71
Karadeniz	0.037	0.364	0.9172	1.03
Akdeniz	-0.100	0.596	0.8664	0.90
Güney Doğu	0.857	0.515	0.0963 .	2.37

*** (p<0.001), ** (p<0.01), * (p<0.05).

TARTIŞMA / SONUÇ VE ÖNERİLER

Suçların birbiri ile ilişkisi ve bu suçların yıllara ve bölgelere göre dağılımının gösterildiği bu çalışmada elde edilen önemli sonuçlardan biri suçlardaki belirgin artıştır. Uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçunda 2008 yılına göre; 2009 yılında 20.61 kat artış gerçekleşmişken, 2018 yılında ise 64.71 kat artış gerçekleşmiştir (Tablo 3). Hırsızlık suçunda da benzer bir artışın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Uyuşturucu kullanma suçunun bu derece hızlı artışı genç nüfus üzerindeki yıkıcı etkilerinin yanı sıra, aile ve toplum huzuru için de ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu artışın sebeplerinin ortaya konması, alınacak tedbirler açısından da önemlidir. Suç artışındaki temel değişkenler; yerleşimsel hareketlik, hızlı kentleşme, nüfus artışı, nüfusun heterojenleşmesi, ekonomik gelişme/sanayileşme, gelir eşitsizliği, gelir dağılımı, kişi başına düşen milli gelir, siyasal gelişmeler, kadının sosyal statüsündeki değişimler, enformel değerler ve denetim mekanizmalarındaki dönüşümler, işsizlik gibi başlıklar altında çözümleme çalışmaları yapılmıştır (Liu ve Messner, 2001). Bu değişkenlerden her biri suçların artışında ve suç kalıplarının değişmesinde etkili olmaktadır ve birbiriyle ilişkilidirler. Ekonomideki değişimler mala yönelik suçların artışında etkili olmaktadır. Bunun yanı sıra işsizlik, yoksulluk, eşitsizlik gibi ekonomik problemler de suçlulukla bağlantılı olarak ele alınmaktadır. Bu ekonomik sorunlar; tüketimin, bireycilik kültürünün ve ekonomik güdülenmenin daha çok geliştiği veya bu eğilimlerin daha çok kısıktıldığı liberal toplumlarda suçlulukta daha etkili olmaktadır (Ögel Tamar, Evren ve Hızlan, 1999; Kızmaz, 2012). Uyuşturucu kullanma suçunda son 10 yılda görülen yaklaşık 65 kat artış, bu suçun önlenmesine yönelik hem emniyet tedbirlerinin artırılmasını, hem de uyuşturucu ile mücadele eğitimleri ile gençlerin farkındalıklarının artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle eğitim boyutunda liseler, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşlarının ilgili devlet kurumları ile ortaklaşa yapacağı çalışmaların sürekli hale getirilmesi, bu suçun işlenme oranlarının düşmesinde etkili olacaktır.

Bölgelere göre uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma – satın alma suçu değerlendirildiğinde Doğu Anadolu referans bölge olarak alındığında en yüksek artışlar sırasıyla Akdeniz, Marmara ve Ege, Güney Doğu ve İç Anadolu bölgelerinde gerçekleşmiştir. Doğu Anadolu Bölgesi referans olarak alındığında

uyuşturucu veya uyarıcı madde kullanma-satın alma suçu Akdeniz Bölgesi'nde 4.13 kat, Marmara Bölgesi'nde 2.20 kat, Ege Bölgesi'nde 1.93 kat, Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde 1.99 kat, İç Anadolu Bölgesi'nde 1.58 kat artmıştır. Akdeniz, Marmara ve Ege bölgelerindeki kalabalık büyük kentlerdeki işsizlik, gelir adaletsizliği, uyuşturucu maddeye kolay ulaşabilme gibi etkenlerden dolayı kırsal bölge ve şehirlere göre daha yüksek suç oranı tespit edilmiştir. Ekonomik sorunların ve kentleşmenin getirdiği psikolojik ve sosyal yalnızlaşma ile madde kullanımının arttığı ve büyük kentlerdeki uyuşturucuya ulaşma olanaklarının suçun işlenmesine önemli etki yaptığı düşünülmektedir.

| 353

Uyuşturucuya ilişkin suçlarda, madde kullanan kişi genellikle kısa sürede satıcı pozisyonuna geçmektedir. Bu husus; kullanan ile küçük çapta madde alıp satanların birlikte incelenmesini gerektirmektedir. Uyuşturucu suçlarının başlı başına toplumun genel sağlık ve düzenini bozucu nitelikleri taşıması yanında, genelde bir çok adi suça geçişte basamak teşkil etmesi bu suça iten faktörlerin araştırılmasındaki önemi büyük ölçüde vurgulamaktadır. Genel olarak saldırgan tabiatlı olmamakla birlikte, uyuşturucu bağımlıları maddeyi elde edebilmek için özellikle fahişelik, hırsızlık, adam öldürme gibi suçlara kolayca yönelebilmektedirler. (İçli, 1985). Bu çalışmada ise uyuşturucu kullanma suçunun; hırsızlık, uyuşturucu satışı ve adam öldürme suçları ile kuvvetli pozitif ilişkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Uyuşturucu kullanma suçunun diğer suçlar ile korelasyonu incelendiğinde; hırsızlık ile 0.90 adam öldürme suçu ile 0.86, uyuşturucu satışı ve cinsel suçlar ile 0.84 ve kaçakçılık ile 0.69 değerleri elde edilmiştir (Tablo 2). Uyuşturucu kullanma suçu diğer suçlara zemin hazırlayan ve birçok suçun temelinde yatan bir suç türü olduğu için bu konuda acil önlemler alınması gerekmektedir.

Uyuşturucu kullanma suçu ile diğer suçların bu kuvvetli pozitif ilişkisi ve 2008 yılından itibaren Türkiye'de görülen yüksek düzeydeki suç artışları toplumsal huzuru tehdit edebilme potansiyeline sahiptir. Konu ile ilgili ekonomik, sosyolojik, psikolojik alanlarda da çalışmaların yapılması, cezaların ve emniyet tedbirlerinin eğitim ile birlikte yeniden ele alınması suç oranlarının düşmesinde etkili olacaktır.

Bu çalışmada kullanılan suç verileri sayım ile elde edilmiş verilerdir ve Poisson dağılımı göstermektedirler. Bağımlı değişken olarak ele alınan uyuşturucu kullanma suçunda hem aşırı yayılımın olması hem de sıfır değerlerin fazla olması nedeniyle Poisson ve negatif binomial regresyonları yerine sıfır değer ağırlıklı Poisson, sıfır değer ağırlıklı negatif binomial ve Hurdle modeller kullanılmış ve bu tür veri setlerinde Hurdle regresyon modellerinin kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Ek Bilgi

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2018-6761No'lu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Alpay, N., Karamustafalıoğlu, N., Kükürt, R. (1995). Madde bağımlılarında suç. *Düşünen Adam*. 8: 16-17
- Cameron, A.C., Trivedi, P.K., 1998. *Regression Analysis of Count Data*. New York: Cambridge University Pres.
- Dalrymple, M.L., Hudson, I.L. ve Ford, R.P.K. (2003). *Finite Mixture, Zero-Inflated Poisson and Hurdle Models with Application to SIDS*. *Computational Statistics & Data Analysis* 41, 491-504
- Hilbe, J.M. (2007). *Negative Binomial Regression*. Cambridge University Pres, Cambridge CB2, 8RU, UK.
- İçli, T. (1985). Uyuşturucu madde suçlarında bazı sosyal faktörler. *Hacettepe Üniversitesi Edebiyat Dergisi*. 3(2):115-127.
- Jansakul, N., Hinde, J.P. (2009). Score tests for extra-zero models in zero-inflated negative binomial models. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*. 38(1): 92 -108
- Kızmaz, Z. (2012). Gelişmekte olan ülkelerde suç : suç oranlarının artışı üzerine sosyolojik bir çözümleme. *Mukaddime*, 5 : 51-74.

- Lachenbruch, P. A., 2002. Analysis of data with excess zeroes. *Statistical Methods in Medical Research*. 11: 297-302.
- Lambert, D. (1992). Zero-Inflated Poisson Regression, with an Application to Defects in Manufacturing. *Technometrics*. 34 (1): 1–14.
- Liu, J., Messner, S.F. (2001). *Modernization and Crime Trends in China's Reform Era* London :Greenwood Press. 3-22.
- Long, J.S, Freese, J. (2006). *Regression Models for Categorical Dependent Variable Using Stata*. A Stata Pres Publication, StataCorp LD Collage Station, Texas, USA.
- Martin, S.W., Rose, C.E., Wannemuehler, K.A, Plikaytis, B.D. (2006). On the of Zero inflated and Hurdle Models for Medelling Vaccine Adverse event Count Data. *Journal of Biopharmaceutical Statistics*. 16, 463-481.
- Min, Y., Agresti, A., 2005. Random effect models for repeated measures of zeroinflated count data. *Statistical Modelling*. 5: 1–19.
- Ögel K, Tamar D, Evren C, Hızlan C. (1999). Madde kullanıcılarının özellikleri: Türkiye’de çok merkezli bir araştırma (2. Aşama). *3P Dergisi*. 7 (Ek.4)
- Sileshi, G. (2008). The excess-zero problem in soil animal count data and choice of appropriate models for statistical inference. *Pedobiologia*, 52: 1-17
- Türkiye Uyuşturucu Raporu, 2010. EMCDDA Standart Tabloları.
- Yesilova, A., Kaya,Y., Kaki, B., Kasap, İ. (2010). Analysis of plant protection studies with excess zeros using zero-inflated and negative binomial hurdle models.*GU Journal of Science*, 23(2): 131-136.

Makale id= 29

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-8666-7372

| 355

Bir Fazlı Transformatörlerin Farklı İletken ve Nüve Tipine Göre Maliyet ve Verimlilik Analizi**Araştırmacı Şakir Arslan¹, Dr. Öğretim Üyesi Engin Ayçicek²**¹ Varsan Elektrik Sanayi Ticaret Limited Şirketi² Yıldız Teknik Üniversitesi

*Corresponding author: Şakir Arslan

Özet: Bu tez çalışmasında, aynı dönüştürme oranına ve aynı güce sahip dört farklı transformatör modeli tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Tasarlanan transformatörler, mantel tip ve çekirdek tip olarak iki farklı tasarımda gerçekleştirilmiş olup, her iki tasarımda da bakır ve alüminyum sargılar kullanılmıştır. Çalışmada, enerji kayıpları, verimlilik ve toplam sahip olma maliyeti gibi parametreler üzerinden kapsamlı bir analiz yapılmıştır. Bakır ve alüminyum sargıların farklı yük koşullarındaki performansları detaylı şekilde karşılaştırılmış ve uzun vadeli ekonomik etkileri değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, mantel ve çekirdek tipi tasarımların manyetik özelliklerinin ve yapısal farklılıklarının enerji verimliliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonuçları, transformatör tasarımında malzeme ve tip seçiminin ekonomik ve teknik boyutlarını ele alarak, uygulama alanlarında daha bilinçli ve etkili kararlar alınmasına katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bir Fazlı, Transformatör, Bakır, Alüminyum, Verimlilik, Tasarım, Maliyet.

Cost and Efficiency Analysis of One Phase Transformers According to Different Conductors and Core Types

Abstract: In this study, four different transformer models with the same conversion ratio and power are designed and analysed. The designed transformers have two different core designs as mantel type and core type, and copper and aluminium windings are used in both designs. In the study, a comprehensive analysis has been made on parameters such as energy losses, efficiency and total cost of ownership. The winding weights and core weights of the transformers were compared in terms of cost by considering the actual costs. In addition, in terms of efficiency measurement, transformers were subjected to different types of tests and core losses, copper winding and aluminium winding losses were also examined and presented in tables. In addition, the effects of magnetic properties and structural differences of mantel and core type designs on energy efficiency were analysed. The results of the study are intended to support more informed and effective decision making in application areas by addressing the economic and technical aspects of material and type selection in transformer design. Contributing to the literature by examining different structures in dry type low voltage transformers was also among the main objectives.

Keywords: Design, Efficiency, Transformer, Cost

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, modern toplumlarda çoğu endüstriyel ve bireysel faaliyetin temel taşıyıcısı olarak kritik bir öneme sahiptir. Bu enerjinin etkin bir şekilde iletilmesi ve dağıtılması sürecinde transformatörler hayati bir rol oynar. Transformatörler genel itibari ile enerji santrallerinde, lokomotif güç sistemlerinde, dağıtım sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Transformatörün icadının tarihi olarak 1880 tarihini kabul edebiliriz. (Cao vd., 2022 :1)

İlk üretilen transformatörler kuru tip olarak üretilmiş olup daha sonraları yağa daldırarak çalışmanın keşfedilmesiyle büyük transformatörlerde yağlı tip tercih sebebi olmuştur. Yalıtımsal sorunlar ve çevre temizliği açısından yağlı tipin tercih edilmediği yerlerde kuru tip transformatörler mecburi tercih sebebi olarak da kabul görmüştür. (Cao vd., 2022:1; Wen vd., 2013:1998)

Transformatörün ilk icadında bakır sargılı transformatörler kullanılsa da 20 yy.'a geldiğimizde alüminyum madeni de transformatörlerin sargıları için tercih edilecek ürünler arasına girmeyi başarmıştır. Bunun sebebi ise gönüllü bir tercihten ziyade 20yy içinde savaşların da etkisiyle (özellikle ikinci dünya savaşı) bakır madenine ulaşımın zorlaşması bunun aksine Alüminyum madenin ise rezervlerinin daha fazla ve kolay ulaşılabilir olması münasebeti ile transformatör sargılarında alüminyum madeni tercih edilmeye başlanmıştır. (Arifin vd., 2020 :1)

Transformatör tasarımında, çekirdek tipi, sargı iletken tipi ve tasarım parametreleri gibi faktörler hem teknik performans hem de ekonomik verimlilik açısından belirleyici ana unsurlardır. Bu çalışmanın odağı olan "farklı tipte nüve ve iletken çeşitlerinin tercih edilmesinin verim ve maliyet analizi", mevcut literatürün bilgi birikimine önemli bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

Transformatörler, nüve yapısına göre farklı tiplerde tasarlanır ancak temel olarak mantel tipi ve çekirdek tipi en yaygın tercih edilen nüve tipleridir. (Özüpak, 2020:15) Transformatörler doğru tasarım altında verimliliği en yüksek (%99- %99,5) olan makinelerdir. Çekirdek nüvenin üzerine sarılmış iki temel sargıdan teşekkül eder bu sargılar primer sargı ve sekonder sargı olarak adlandırılır, sargıları taşıyan nüve kısımlarına bacak ismi verilirken bacakları birbirine bağlayan yatay nüve kısımlarına ise boyunduruk (Yorke) adı verilir. (Şenol vd., 2005; Shaefer., 1951)

Sargı malzemesi olarak en yaygın şekilde kullanılan iletken türleri bakır ve alüminyum iletkenlerdir. Bakır iletkenler, yüksek iletkenlik katsayısına ve düşük elektriksel dirence sahiptir, bu da enerji kayıplarının azaltılmasında kritik bir avantaj sunar. Bununla birlikte, bakır iletkenin görece yüksek maliyeti, yatırım kararlarında önemli bir faktördür. Alüminyum iletkenler ise daha düşük bir maliyet ve daha hafif bir yapı sunarken, daha düşük iletkenlik nedeniyle enerji verimliliğini azaltabilir. Elektrolitik bakır için özgül direnç 20°C de 0.01786 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ve Elektrolitik alüminyum için özgül direnç 20°C de 0.02857 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 'dır. (Çetin, 1981)

2. BİR FAZLI TRANSFORMATÖRLERİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

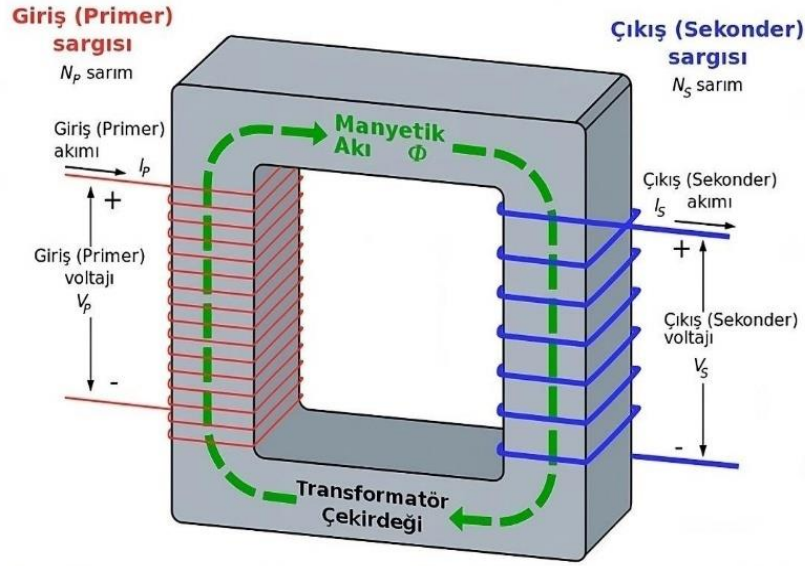
2.1 Transformatörlerin Çalışma Prensibi

Transformatörlerin primer sargılarına alternatif bir gerilim uygulandığında, bu sargı üzerinden geçen akım değişken bir manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan, üzerinde sekonder sargıların da bulunduğu manyetik demir nüve üzerinden devresini tamamlar. Primer sargıya uygulanan alternatif gerilimin zamanla yön ve şiddetinin değişmesi, manyetik alanın da sürekli olarak yön ve şiddet değiştirmesine neden olur. Oluşan bu değişken manyetik alan, sekonder sargılarla kesişerek bu sargılarda alternatif bir gerilimin indüklenmesine yol açar. (Aydoğan,2023:4; Berkol,1976)

Transformatörlerin temel çalışma prensibi, düşük manyetik dirence (relüktans) sahip bir manyetik devre üzerinde oluşan ortak manyetik akı aracılığıyla, iki devre arasında karşılıklı manyetik bağ kurulmasına dayanır. (Aydoğan,2023:4; Berkol,1976)

Bu prensip, Şekil 1'de gösterildiği gibi, transformatörün manyetik çekirdek üzerinden enerji aktarımını mümkün kılar. Primer sargıya doğru gerilim uygulandığında ise bir manyetik alan oluşur, ancak bu manyetik alan sabittir. Sabit manyetik alan, zamana bağlı olarak yön veya şiddet değiştirmez. Bu nedenle, sekonder sargılarda bir elektromotor kuvvet (EMK) indüklenmesi gerçekleşmez. Alternatif gerilim ile doğru gerilim arasındaki bu fark, transformatörlerin yalnızca alternatif akımla çalışabilmelerinin temel nedenidir. Sonuç olarak, transformatörlerin enerji dönüşümü sağlaması, manyetik akının sürekli değişimini gerektirir. Alternatif gerilim ile oluşturulan manyetik alan, sekonder sargılarında EMK indükleyerek enerji aktarımı sağlar. Bu prensip, transformatörlerin elektrik enerji sistemlerinde yaygın kullanımının temelini oluşturur.

Şekil 1. İdeal Transformatör ve İndüksiyon Yasası (Vikipedi, 2025)



2.2 Transformatörlerin Kayıpları,

Transformatör kayıplarını genel anlamda dört temel başlıkta inceleyebiliriz. Bunlar; demir kayıpları, iletken kayıpları, kaçak akı kayıpları ve izolasyon kayıplarıdır. (Esenboğa,2019:15)

2.2.1 Demir Kayıpları

Demir kayıpları genel olarak iki başlık altında incelenir. Bunlar; histerezis kayıpları ve eddy kayıplarıdır.

$$P_{Demir} = P_h + P_e \quad (1)$$

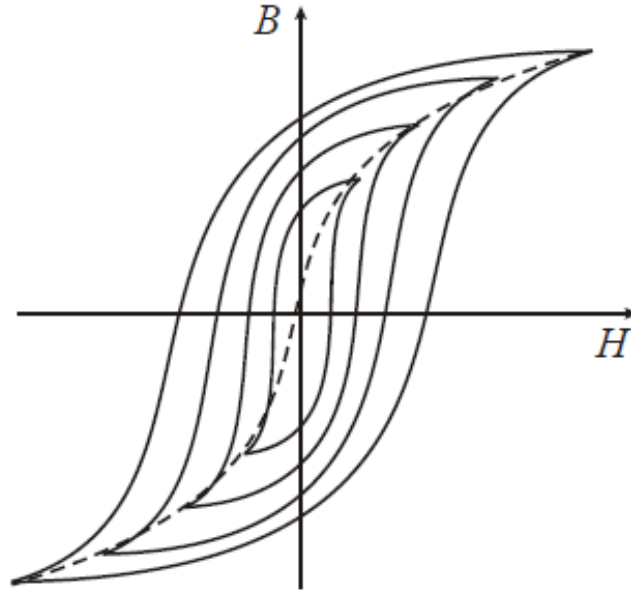
2.2.1.1 Histerezis Kayıpları

Histerezis kayıpları, manyetik alanın yön değiştirmesi sırasında çekirdek malzemesinin manyetik özelliklerinin değişmesi sonucu oluşur. Çekirdek malzemenin içerisinde molekül parçacıkların kendi arasındaki sürtünmeleri sonucunda meydana gelen kayıplardır. (Gürdal, 2015:2) Bu kayıplar aşağıdaki formül ile ifade edilir.

Bu formülde; B: Manyetik akı yoğunluğu, η : Malzeme sabiti, n: ($1,6 < n < 2$), f: Frekans, P_h : Histerezis kaybını ifade etmektedir.

$$P_h = \eta B^n f \quad (2)$$

Şekil 2. Histerezis Döngüleri Çizimi



2.2.1.2 Eddy (Fuko, Girdap) Akımı Kayıpları

Eddy kayıpları, manyetik akının çekirdek içinde döngüsel akımlar indüklemesi sonucu oluşur. Bu akımlar, çekirdek içinde çekirdeğin direncinden geçerken oluşacak ısı sebebiyle ortaya çıkan enerji kaybına neden olur. Eddy kayıpları, çekirdek malzemesinin elektriksel öz direnci (ρ), laminasyon kalınlığı(d), frekans(f) ve manyetik akı yoğunluğu maksimum değerine (B_m) bağlıdır. Bu kayıplar şu formülle ifade edilir: (Berkol,1976)

$$P_e = \frac{\pi^2 d^2}{6\rho} f^2 B_m^2 10^{-16} \quad (3)$$

Girdap akımlarını sınırlandırmak için ince laminasyon levhalar ve yalıtım kaplamaları kullanılır. Ayrıca düşük elektriksel iletkenliğe sahip çekirdek malzemeleri tercih edilerek kayıplar minimize edilebilir.

Toplam demir kayıpları, histerezis ve Eddy akım kayıplarının toplamı olarak hesaplanır:

$$P_{demir} = P_h + P_e \quad (4)$$

2.2.2 İletken Kayıpları

İletken kayıpları, transformatör sargılarında elektrik akımının iletkenin direnci üzerinde oluşturduğu enerji kaybıdır. Bu kayıpları basitçe ifade edersek kısa devre yapılmış sekonder sargı durumunda primer sargıdan nominal akım geçirdiğimizde her iki devrede geçecek nominal akımın karesi ile bu sargıların iç dirençlerinin çarpımlarının toplanması miktarınca oluşan kayba formülü aşağıdaki gibi olan toplam iletken kaybı denilir. (Esenboğa,2019:15)

$$P_{il} = I_p^2 r_p + I_s^2 \times r_s \quad (3)$$

2.2.3 Kaçak Akı Kayıpları

Kaçak akı kayıplarını sargıların sebep olduğu kaçak akı kayıpları ve transformatörün yapısal parçaların sebep olduğu kayıplar diye iki gruba ayırabiliriz. Bu tip kayıplar transformatörün tasarımından veya çalışma ortamındaki mevcut koşullardan meydana gelmektedir. (Thango,2022)

2.2.4 İzolasyon Kayıpları

Transformatörlerde izolasyon kayıpları yalıtım malzemelerinin elektriksel direncinin başlangıç tasarımında hatalı seçimi yahut çalışma koşullarında oluşan aşırı ısınma kazan içindeki yağın farklılaşması durumunda başka kimyasal sebeplerin sonucunda genel olarak izolasyonun bozulması ile ortaya çıkan kayıplardır. Dikkat edilmesi gereken kayıplardır, bazen göz ardı edilse de uzun süreli çalışmalarda büyük hasarlara sebep olur. (Wan vd., 2022)

3 BİR FAZLI TRANSFORMATÖRLERİN HESAP KRİTERLERİ

3.1 Malzeme Ölçülerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, dört farklı bir fazlı transformatör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Her bir transformatör 1.200 VA gücünde olup, primer gerilimi 230 V, sekonder gerilimi ise 230 V olarak belirlenmiştir. Tasarlanan transformatörlerden ilki mantel tip ve bakır sargılı, ikincisi mantel tip ve alüminyum sargılıdır. Üçüncü transformatör çekirdek tip ve bakır sargılı, dördüncüsü ise çekirdek tip ve alüminyum sargılı olarak tasarlanmıştır.

Bu bölümde, transformatör tasarımında kullanılan hesaplama yöntemleri incelenmiştir. Akım, sarım sayısı ve nüve kesiti gibi temel parametrelerin hesaplanma süreçleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Hesaplamalar sırasında her bir transformatörün özelliklerine uygun formüller ve yöntemler kullanılarak, optimal tasarım kriterlerine ulaşılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda transformatörlerin primer gerilimleri, sekonder gerilimleri, tüm transformatörlerin görünen güçleri, primer akımları, sekonder akımları, manyetik akı yoğunluğu değeri, tipler arası sac kesit miktarları, tipler arası sarım sayıları ve iletkenlerin tipler arası akım yoğunlukları eşit kabul edilerek tasarım yapılmıştır.

Tasarım sürecinde yapılan bu hesaplamalar ve kullanılan yöntemler, transformatörlerin güvenilir, verimli ve belirlenen tasarım kriterlerine uygun şekilde çalışmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

3.2 Maliyet Analizi

Bu tasarlanan trafolarda ortalama iletken ve sac maliyetleri çıkarıldığında kalan maliyet çok fazla toplam maliyeti etkilememektedir. Bu sebeple maliyet karşılaştırmaları, kullanılan bakır iletken, alüminyum iletken ve sac maliyetleri göz önüne alınarak yapılacaktır. Mantel tip bakır sargılı transformatör, 52,42 USD maliyetle tasarlanırken, benzer tipte nüveye sahip alüminyum sargılı transformatör ise 26,64 USD maliyetle tamamlanmaktadır. Benzer şekilde, çekirdek tip bakır sargılı transformatör 60,35 USD maliyete sahipken, Alüminyum sargılı çekirdek tip nüveli versiyon ise 23,82 USD maliyetle daha ekonomik bir çözüm sunmaktadır.

Tablo 1. Tasarlanan Transformatörlerde Kullanılan Malzeme Miktarı

	Kullanılan İletken Ağırlığı (kg)	Nüve (Demir) Ağırlığı (kg)	Toplam Ağırlık (kg)
Mantel Tip Bakır Sargılı	3,14	12,80	15,94
Mantel Tip Alüminyum Sargılı	1,41	12,80	14,21
Çekirdek Tip Bakır Sargılı	4,42	8,42	12,84
Çekirdek Tip Alüminyum Sargılı	1,95	8,42	10,37

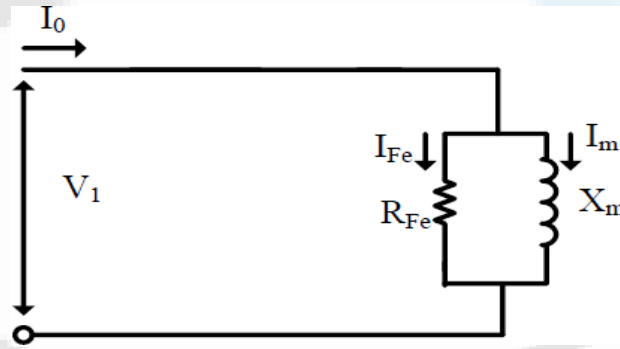
Tablo 2. Tasarlanan Transformatörlerin Çeşitlerine Göre Maliyet Tablosu

	İletken Maliyeti (USD)	Nüve (Demir) Maliyeti (USD)	Toplam Maliyet (USD)
Mantel Tip Bakır Sargılı	34,50	17,92	52,42
Mantel Tip Alüminyum Sargılı	8,72	17,92	26,64
Çekirdek Tip Bakır Sargılı	48,56	11,79	60,35
Çekirdek Tip Alüminyum Sargılı	12,03	11,79	23,82

4. TASARLANAN TRANSFORMATÖRLERİN TESTİ

4.1 Transformatörlerin Boşta Test Edilmesi

Boşta test, transformatörlerin manyetik devre ve çekirdek kayıplarını analiz etmek için yapılan bir çalışmadır. Bu test sırasında, sekonder sargı açık bırakılır (yük bağlanmaz) ve primer sargıya nominal gerilim uygulanır. Test, transformatörün manyetik devre karakteristiği ve çekirdek kayıplarını belirlemek için temel bir yöntemdir.

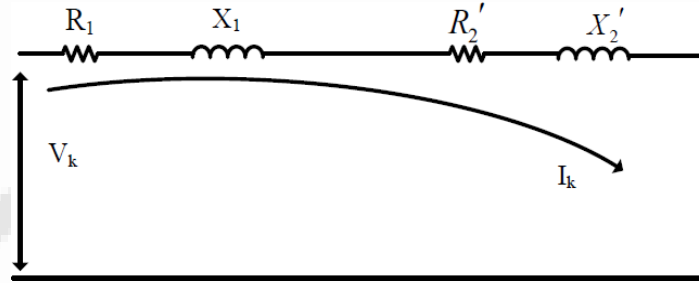
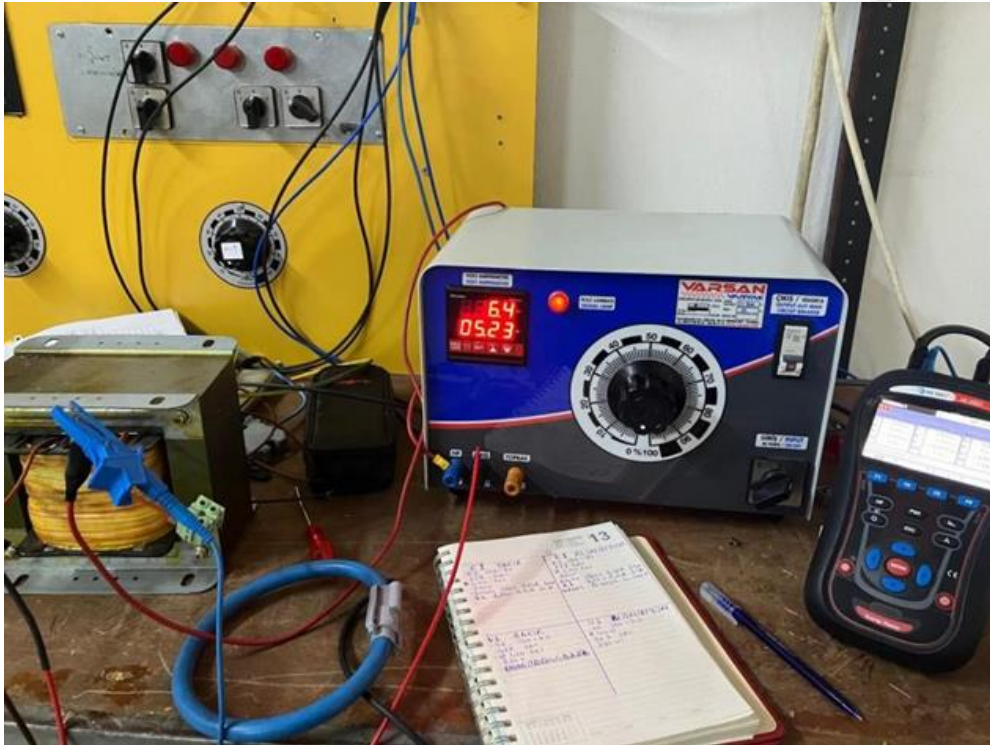
Şekil 3. Boşta Deney Şeması**Şekil 4.** Boşta Deney Düzeneği

Tablo 3. Boşta Devre Deney Ölçümleri

Transformatör	P _k	I ₀	V _n
Mantel Tip Bakır Sargılı	18 W	0,30 A	230 V
Mantel Tip Alüminyum Sargılı	19 W	0,29 A	230 V
Çekirdek Tip Bakır Sargılı	13 W	0,12 A	230 V
Çekirdek Tip Alüminyum Sargılı	13 W	0,12 A	230 V

4.2 Transformatörlerin Kısa Devre Testi

Kısa devre testi, transformatörlerin iletken kayıplarını ve eşdeğer empedanslarını belirlemek için yapılan bir deneydir. Bu test sırasında, transformatörün sekonder sargısı kısa devre edilir ve primer sargıya nominal akımı sağlayacak kadar düşük bir gerilim uygulanır. Test, transformatörün sargı empedansları ve yükteki davranışını analiz etmek için kullanılır.

Şekil 5. Kısa Devre Deneyi Şeması**Şekil 6.** Kısa Devre Deneyi Düzenegi

Tablo 4. Kısa Devre Deney Sonuçları ve Karşılaştırması

Transformatör	Hesaplanan P_{IL}	Ölçülen P_{IL}	Hesaplanan I_n	Ölçülen I_n
Mantel Tip Bakır Sargılı	33 W	31 W	5,22 A	5,23 A
Mantel Tip Alüminyum Sargılı	41 W	38 W	5,22 A	5,23 A
Çekirdek Tip Bakır Sargılı	46 W	44 W	5,22 A	5,23 A
Çekirdek Tip Alüminyum Sargılı	56 W	55 W	5,22 A	5,23 A

5. SONUÇ

Çalışmada öncelikle transformatörlerin çalışma prensipleri ve matematiksel modelleri incelenmiştir. İdeal bir transformatörün matematiksel modeli kullanılarak, gerilim, akım ve sarım sayıları arasındaki ilişkiler tanımlanmış, kayıplar teorik olarak hesaplanmıştır. Demir kayıplarının histerezis ve eddy akımlarından kaynaklandığı, iletken kayıplarının ise sargı dirençlerinden dolayı oluştuğu gösterilmiştir. Bu teorik temeller, deneysel çalışmaların analizinde temel alınmıştır.

Deneysel çalışmalar kapsamında, transformatörlerin boşa çalışma ve kısa devre testleri gerçekleştirilmiştir. Boşa çalışma testi ile çekirdek kayıpları belirlenmiş, kısa devre testi ise iletken kayıplarını ölçmek için kullanılmıştır. Tablo 3. ve Tablo 4'te sunulmuş, her bir transformatör tipi için toplam kayıplar ve verimlilik değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, bakır sargılı transformatörlerin alüminyum sargılılara kıyasla daha düşük enerji kaybına ve dolayısıyla daha yüksek verimliliğe sahip olduğunu göstermiştir. Çekirdek tipi transformatörler, çekirdek kayıplarını azaltmada avantaj sağlarken, mantel tip transformatörler toplam kayıplar açısından daha verimli bulunmuştur.

Maliyet analizi, farklı iletken malzemelerin ve farklı nüve tiplerinin ekonomik etkilerini değerlendirmiştir. Bakır sargılar, yüksek verimlilik avantajı sunmasına rağmen, malzeme maliyetinin yüksek olması nedeniyle ekonomik olarak dezavantajlıdır. Buna karşılık, alüminyum sargılar daha düşük maliyetle üretilmekte ve hafifliği sayesinde taşınabilirlik avantajı sağlamaktadır. Maliyet ve enerji kayıpları arasında yapılan bu dengelemeler, farklı uygulamalar için en uygun transformatör tasarımını belirlemede kritik bir rol oynamaktadır.

Genel olarak, analiz sonuçları, transformatör seçimi yapılırken uygulama ihtiyaçlarının dikkatlice değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Yüksek enerji verimliliği gerektiren uygulamalar için bakır sargılı transformatörler tercih edilirken, maliyet odaklı projelerde alüminyum sargılı transformatörler kullanılabilir. Bununla birlikte, her iki tasarımın da avantajlarının ve dezavantajlarının detaylı bir şekilde analiz edilmesi hem ekonomik hem de teknik açıdan daha sürdürülebilir çözümler sunacaktır.

KAYNAKÇA

- Z. Arifin, N. Adi, M. H. Ardiansah and H. Aziz, "Life Assessment of Aluminium and Copper Winding Distribution Transformers Using Loss of Life Analysis," 2020 2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE), Lombok, Indonesia, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICIEE49813.2020.9277052.
- B. Aydoğan, "Kuru Tip Transformatörlerde Yalıtım Malzemeleri Mesafelerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Ve Deneysel Olarak İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, 2023.
- Prof. Ali N. Berkol, "Alternatif Akım Makinaların Teorisi", İnkılap Ve Aka Basımevi, İstanbul 1976.
- K. Cao, N. Jiang, and J. Su, "Evaluation of Systems and Technologies Of Underground Pipeline Gallery" Haikou. Highlights in Science, Engineering and Technology, vol. 10, pp. 180-187, 2022, doi: 10.1007/s40031-021-00640-3

Prof. Dr. İlhami Çetin “Transformatör Çözümlü Problemlerle” 1.Kısım 1981

Burak Esenboğa, “Modeling And Realization Of Dry Type Transformer With Optimum Weight And Efficiency Characteristics” Adana 2019.

Gürdal O., “Elektrik Makinalarının Tasarımı”, Bursa Orhangazi Üniversitesi Yayınları, Bursa, 2015.

Y. Özüpak , "Transformatörlerin Elektromanyetik Alan Ve Isıl Analizlerinin Sonlu Elemanlar Kullanılarak Gerçekleştirilmesi", Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Syf.15-16, 2020.

Dr. – ING Wilhelm Shaefer Berlin “Transformatörler” İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1951.

Prof. Dr. İbrahim ŞENOL , Prof. Dr. Nur Bekiroğlu, Prof. Oktay Aybar “Elektrik Makineleri 1” Birsen Yayınevi, 2005.

Bonginkosi Thango, Pitshou Bokoro, “Stray Load Lost Valuation in Electrical Transformers” 2022.

Wikipedi. “Transformator” <https://tr.wikipedia.org/wiki/Transformat%C3%B6r>. Erişim tarihi Mart 2025.

M. Wen, J. Song, Y. Song, Y. Liu, C. Li, and P. Wang, "Reliability assessment of insulation system for dry type transformers," in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 20, no. 6, pp. 1998-2008, December 2013, doi: 10.1109/TDEI.2013.6678847.

Xun Wan, Kunyu Tan, Yun Liu, Huisheng Ye1, Shihua Zhao, Ping Peng, Minfang Peng “Transformer insulation aging assessment and life prediction based on variety characteristics” 2016.

Makale id= 21

Sözlü Sunum

ORCID ID:

| 364

Pe Malzemenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı**Araştırmacı Emirhan Arslan¹, Dr. Öğr. Üyesi Şenol Mert ¹**
¹Düzce Üniversitesi

*Corresponding author: Emirhan Arslan

Özet: Plastik malzemelerin birleştirme ve kaynak tekniklerindeki, gelişme ve modernizasyon, bilimsel araştırma ve endüstri alanında büyük bir ilgi görmüştür. Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (SKNK), günümüzde, herhangi bir yapıştırıcı veya harici ısıtıcıya ihtiyaç duyulmaması ve tüketilemeyen aletlerin kullanılması nedeniyle diğer birleştirme tekniklerine göre önemli bir avantaj elde etmiştir. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı yöntemi, Sürtünme Karıştırma Kaynağı yönteminden türetilmiş ve son zamanlarda sadece otomobil sektöründe değil aynı zamanda diğer endüstri kollarında da oldukça dikkat çeken yeni bir kaynak yöntemidir. Son yıllarda, hafif yapılar hem ekonomik hem de ekolojik nedenlerle tercih edilmektedir ve sıklıkla birçok endüstri kolu için önemli bir yenilik öncüsü olarak tanımlanmaktadır. Özellikle araçlarda ve uçaklarda, ağırlık azaltmaya yönelik olarak, metal yapıları polimerlerle değiştirmek yaygın bir yaklaşımdır. Geleneksel kaynak işlemiyle kaynaklanması zor olan polimer malzemelerin kaynaklanmasında SKNK yöntemi kullanılır. Çeşitli endüstriyel uygulamalarda, polietilen en çok kullanılan malzemelerden biri haline gelmiştir. Çeşitli araştırmacıların çalışmaları, bu yöntem için takım geometrisinin, takım devir sayısının, takım dalma derinliği ve karıştırma süresinin bağlantının çekme kuvveti üzerine oldukça etkisi olduğunu göstermiştir. Bu deneysel çalışmada, 4 mm kalınlığındaki Polietilen (PE) levhaların SKNK ile bindirme bağlantıları yapılmıştır. Farklı karıştırma sürelerinde yapılan bu çalışmada, çekme kuvvetini maksimum yapan optimum karıştırma süresi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polietilen, Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı, Takım, Çekme Testi, Parametre.

Friction Stir Spot Welding of Pe Material

Abstract: Development and modernization in joining and welding techniques of plastic materials have attracted much attention in the field of scientific research and industry. Friction Stir Welding (FSW) and Friction Stir Spot Welding (FSSW), nowadays, have gained a significant advantage over other joining techniques due to the ease of operation, with no need for any adhesives or external heaters, and the use of non-consumable tools. The Friction Stir Spot Welding method is a derivative of the Friction Stir Welding process, which is a new process that recently has received considerable attention from the automotive and other industries. In recent years, lightweight structures have been preferred for both economic and ecological reasons and are often described as an important innovation driver for many industries. Especially in vehicles and aircraft, replacing metal structures with polymers is a common approach for weight reduction. FSSW method is used to weld polymer materials that are difficult to weld with conventional welding processes. In various industrial applications, polyethylene has become one of the most used materials. Studies by various researchers have shown quite the effect of tool geometry, tool rotation speed, tool penetration depth and stirring time on tensile failure load of the joint for this method. In this experimental study, 4 mm thick Polyethylene (PE) sheets were done lap joints with FSSW. In the study conducted at different stirring times, the optimum stirring time that maximizes the tensile strength was determined.

Keywords: Polyethylene, Friction Stir Spot Welding, Tool, Tensile Test, Parameter.

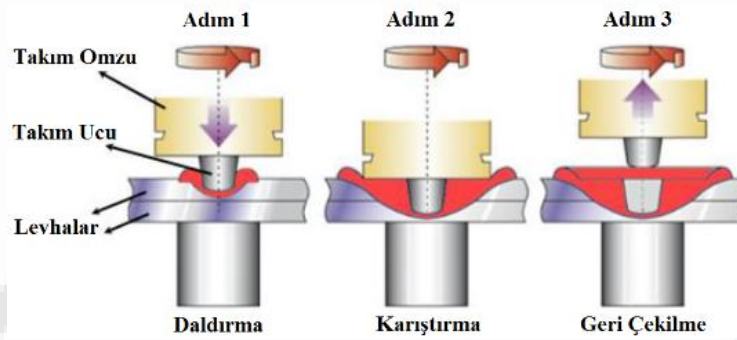
1. GİRİŞ

Son yıllarda, hafif yapılar hem ekonomik hem de ekolojik nedenlerle tercih edilmektedir ve sıklıkla birçok endüstri kolu için önemli bir yenilik öncüsü olarak tanımlanmaktadır. Özellikle araçlarda ve uçaklarda, ağırlık azaltmaya yönelik olarak, metal yapıları polimerlerle değiştirmek yaygın bir yaklaşımdır [1]. Büyüyen çevresel sorunlar nedeniyle sürdürülebilir hafif yapılara büyük bir talep duyulmaktadır. Önemli çözümlerden biride, geri dönüştürülmüş hurda/atık termoplastik malzemelerle yeni yapılar geliştirmektir [2]. Termoplastik kompozit malzemelere yönelik araştırma ve uygulama ilgisi, havacılık endüstrisi de dahil olmak üzere çeşitli son teknoloji alanlarında son zamanlarda artan bir eğilim göstermektedir. Bu malzemelere doğru kademeli geçişin ana nedenleri arasında, yeniden şekillendirilebilir yapıları nedeniyle, geri dönüşüm potansiyelleri, termoset muadillerine göre daha yüksek kırılma dayanımları ve üretim sürecindeki esneklikleri yer almaktadır [3]. Polimer, Yunanca kökenli bir kelimedir ve poli (çok), mer (tekrar birimi) anlamına gelir. Kelimenin kökeninden, polimerlerin birçok merin tekrarıyla oluşan yapılar olduğu anlamı çıkarılabilir. Merler kovalent bağlarla bağlanır ve polimeri oluşturan ham madde, polimerlerin tekrarının temel birimi olan monomerdir. Polimer, onu oluşturan monomer türüne, polimerik zincir başına ortalama monomer sayısına ve mevcut kovalent bağ türüne göre çok farklı özelliklere sahip olabilir. Örneğin polimerler, aşınma ve korozyona karşı iyi direnç, düşük yoğunluk, düşük maliyet, kolay montaj, dayanıklılık ve makul mekanik direnç, karmaşık şekillerde üretim gibi birçok avantaj sunar [4]. Plastik malzemelerin laboratuvar şartlarında istenilen özelliklerinin geliştirilmesindeki sınırsızlık, bu malzemelere geleceğin mühendislik malzemeleri olma özelliğini kazandırmıştır. Metalik malzemelere göre mekanik özelliklerinin daha düşük olmasına rağmen plastik yapıya çeşitli katkı maddelerinin ilave edilmesiyle (cam, karbon, talk, fiber vb.) fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olabilmektedir [5]. İlk polimer malzeme 1868 yılında J. Hyatt tarafından keşfedilen selüloittir [6, 7]. Termoplastiklerin zincirleri arasında çapraz bağlar bulunmaması ve doğrusal veya dallanmış zincirli polimerler olması nedeniyle uygun çözücülerde çözünürler, ısıtıldıklarında erirler ve eritilerek defalarca yeniden şekillendirilebilirler [5].

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), perçinli montajların ve direnç nokta kaynağının yerini alabilecek, geleneksel sürtünme karıştırma kaynağının (SKK) çok önemli bir türevidir. Bu teknik, geleneksel kaynak işlemlerine kıyasla, yüksek kaliteli bağlantılar sağlar. SKNK, titanyum, alüminyum, magnezyum gibi çeşitli metal türlerini birleştirmek için kullanılan yeni bir teknolojidir. Ayrıca, geleneksel kaynak işlemiyle kaynaklanması zor olan polimer malzemelerin kaynaklanmasında da kullanılır. Çeşitli endüstriyel uygulamalarda, yüksek yoğunluklu polietilen en çok kullanılan malzemelerden biri haline gelmiştir [4]. Plastik malzemelerin birleştirme ve kaynak tekniklerindeki, gelişme ve modernizasyon, bilimsel araştırma ve endüstri alanında büyük bir ilgi görmüştür. Sürtünme karıştırma kaynağı ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı, günümüzde, herhangi bir yapıştırıcı veya harici ısıtıcıya ihtiyaç duyulmaması ve tüketilemeyen aletlerin kullanılması nedeniyle diğer birleştirme tekniklerine göre önemli bir avantaj elde etmiştir [8]. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), sürtünme karıştırma kaynağından (SKK) türetilmiştir ve otomotiv sektöründe oldukça dikkat çekmektedir [9-11]. SKNK yöntemi 1993 yılında Mazda tarafından icat edilmiş, tamamen yeni ve ergime olmaksızın bindirme bağlantısı gerçekleştirilen bir katı faz kaynak yöntemidir [5, 12-20]. Otomotiv endüstrisinde alüminyum sacların birleştirilmesinde direnç nokta kaynağı ile yapılan bağlantı sonucunda oluşan hataların giderilmesi için geliştirilen SKNK, başarılı bir şekilde, alüminyum [21], magnezyum [22], çelik levhalara [23] uygulanmaktadır. Ayrıca, yapılan araştırmalar, SKNK'nın yüksek mukavemetli, ileri yüksek mukavemetli ve ultra yüksek mukavemetli çelikler gibi çeşitli çelikler için de kullanıldığını belirtmektedir [24]. SKNK ile plastikler üzerine yapılan ilk çalışmalar neticesinde, bu yöntemin polimer esaslı malzemelere de uygulanabilirliği kanıtlanmıştır [5, 15, 18, 25]. Sonrasında ise çeşitli polimer malzemelerin SKNK yöntemi ile birleştirilerek optimum kaynak parametrelerinin saptanabilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. SKNK yönteminin metal malzemelere ilaveten plastik malzemelere de uygulanabilmesi, yönteme önemli bir avantaj kazandırmıştır [1-3, 5, 9, 13-15, 18, 25-36]. SKNK, bindirme tipi bağlantılarda sağlam birleştirmeler elde etmek için büyük bir potansiyel sergilemiştir [37]. Otomotiv sanayisinde, bir otomobilin üretilebilmesinde binlerce parça kullanılmakta ve yüzlerce farklı tipte işlem gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerin en önemlilerinden birisi aracın kalitesini %40 oranında etkileyen ve aracın gövdesinin ortaya çıkarıldığı kaynak işlemleridir [9]. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) tekniğine dayanan

yeni bir kaynak yöntemidir [38] ve SKNK ilk olarak Mazda firması tarafından, önce Mazda RX-7 model spor arabaların, sonrasında ise RX-8 model spor arabaların üretiminde kullanılmıştır [5].

SKNK yöntemi, SKK yönteminin nokta halinde dikiş üreten bir versiyonudur. SKNK tekniği, geleneksel ergitmeli kaynak teknikleri ile karşılaştırıldığında en önemli avantajlarından biri, ana metalin ergimeden kaynak işleminin gerçekleşmesidir [39]. Yeni bir kaynak yöntemi olan SKNK'nın, otomotiv, havacılık ve diğer sektörlerdeki uygulamaları için üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır [40-42]. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, çevre dostu, yüksek verimli bir katı hal kaynak tekniğidir [43]. Son yıllarda geliştirilen kaynak yöntemleri, direnç nokta kaynağı gibi özellikle otomotiv sanayisinde halen kullanılmakta olan kaynak yöntemlerinin yerini almaya adaydır. Bu anlamda, direnç nokta kaynağının alternatif kaynak yöntemi SKNK olarak ifade edilmektedir [9]. SKNK yönteminin, SKK yönteminde kullanılan kaynak takımına benzer bir takımla, daldırma, karıştırma ve geri çekilme olarak belirtilen üç kademede gerçekleştirilen bir uygulaması vardır [12, 13, 26, 28, 44-48]. Bu üç aşama adım adım sırasıyla aşağıdaki gibidir Şekil 1 [49].

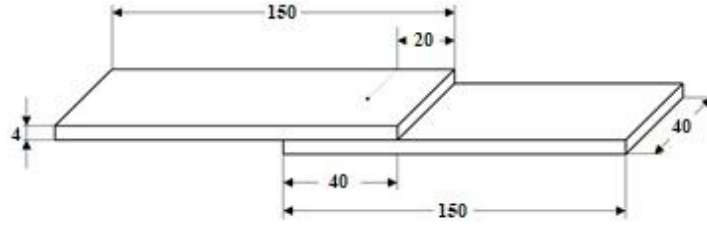


Şekil 1. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminin üç adımı [49]

Yapılan deneysel çalışmada, polietilen (PE) numunelerin kaynaklı bağlantıları için sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) yöntemi kullanılmıştır. Kaynak noktalarının oluşturulması için bu çalışmaya özel uygun kaynak takımı ve numunelerin tezgah tablasına bağlanması için ise bu çalışmaya özel uygun bağlama aparatı tasarlanıp, imal edilmiştir. Ucuna metrik 10 vida dişi açılmış, omuz içine 5° eğim verilmiş ve bu çalışma için tasarlanmış bir kaynak takımı ile kaynak bağlantıları oluşturulmuştur. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilen numunelere, çekme testleri uygulanarak, kaynaklı birleştirmelerin çekme kuvveti değerleri belirlenmiştir. Belirli bir dalma derinliği, dalma hızı ve devir sayısı için, farklı karıştırma süresi değerleri kullanılarak, çekme kuvvetini maksimum yapan optimum karıştırma süresi belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalarda, kaynaklı bağlantıların oluşturulması için kullanılacak numuneler, 150x40x4 mm boyutlarında ve standartlara uygun şekilde hazırlanmıştır. Kaynak numuneleri, 2000x1000x4 mm boyutlarındaki ekstrüzyon ürünü olarak üretilmiş Polietilen (PE) levhadan, şerit testere tezgahında uygun geometride kesilerek çıkarılmıştır. Kaynaklanacak numunelere bindirme pozisyonunda, sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi uygulanmıştır. SKNK yöntemini uygulamak için numunelerin bindirme pozisyonu Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı için bindirme pozisyonu

Yapılan deneysel çalışmalarda, torna tezgahında 4140 çelik malzeme kullanılarak imal edilen, sürtünme karıştırma nokta kaynak takımı kullanılmıştır. Kullanılacak takımın ölçüleri belirlenirken, yapılan literatür araştırmasında, kullanılan takımlar incelenmiştir ve bu takımlara ait ölçüler arasındaki oranlar dikkate alınmıştır. Tezgah tablasına, kaynak yapılacak PE numuneleri bağlamak için tasarlanan bağlama aparatı, kaynaklı bağlantıları oluştururken gözlemlemeye imkan verecek bir şekilde, bu çalışma için özel olarak tasarlanıp, üretilmiştir. Numunelerin bindirme mesafesi 40 mm olacak şekilde, bindirme bağlantısı konumundaki parçaların, 40x40 bindirme bölgesinin merkezine, tasarlanıp imal edilmiş kaynak takımları ile daldırma, karıştırma ve geri çekilme aşamaları adım adım uygulanmıştır. Oluşturulan numunelere mekanik testlerden çekme deneyleri uygulanmıştır ve elde edilen dilen veriler yorumlanmıştır. Çekme kuvvetini maksimum yapan, optimum karıştırma süresi parametresi tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılacak takımın ölçüleri belirlenirken, yapılan literatür araştırmasında kullanılan takımlar göz önünde tutularak, bu takımlara ait ölçüler arasındaki oranlar dikkate alınmıştır Tablo 1 [5].

Tablo 1. Literatürde kullanılan SKNK takımlarının oranları [5]

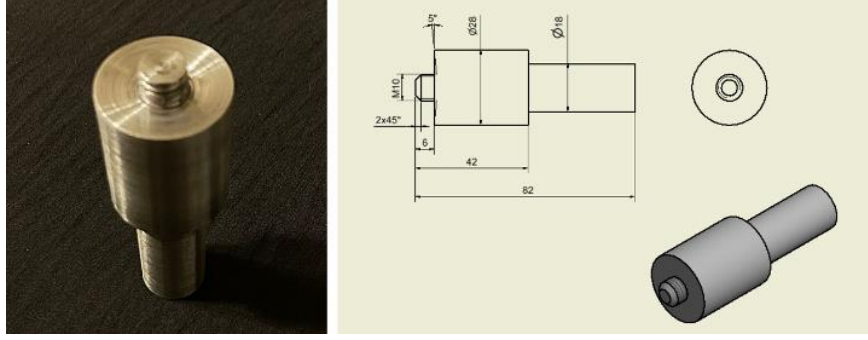
Omuz Çapı / Uç Çapı	2,0 ÷ 3,5 arası değişebiliyor
Uç Çapı / Uç Uzunluğu	1,1 ÷ 2,6 arası değişebiliyor

Ucuna metrik 10 vida dişi açılmış, omuz içine 5° eğim verilmiş bir kaynak takımı geometrisi tasarlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, sürtünme karıştırma kaynak noktası bağlantılarında kullanılacak uygun takımın boyutları ve ilgili oranları belirlenmiştir. Tablo 2’de tasarlanan kaynak takımına ait boyutlar ve oranlar görülmektedir.

Tablo 2. Tasarlanan SKNK takımı için boyutlar ve oranlar

Omuz Çapı	28 mm
Takım Ucu Çapı	10 mm
Uç Uzunluğu	6 mm
Omuz İçi Eğimi	5°
Omuz Çapı/Uç Çapı	2.8
Uç Çapı/Uç Uzunluğu	1.666

Yukarıdaki oranlar dikkate alınarak, yapılacak deneysel çalışmada kullanılacak kaynak takımının teknik resmi çizilip, 4140 çelik malzemeden, torna tezgahında işlenerek imal edilmiştir. Deneysel çalışmalarda, kaynak noktalarının oluşturulmasında kullanılan, vida dişi açılmış silindirik uçlu ve omuz içine uygun bir eğim verilmiş bu kaynak takımının fotoğrafı ve ölçüleri Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3. Deneyisel çalışmada kullanılan sürtünme karıştırma nokta kaynağı takımı

Polietilen numunelerin, CNC freze tezgahının tablasına bağlanması için tasarlanan ve imal edilen bağlama aparatının fotoğrafı ise Şekil 4'te görülmektedir. Kaynaklı noktaları oluşturulurken, yapılan işlemleri görsel olarak takip edebilmek için, yapılan tasarıma özen gösterilmiştir. Yapılan ön çalışmalar neticesinde, belirlenen parametreler kullanılarak, SKNK işlemleri CNC freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Parçaların bindirme mesafesi 40 mm'dir. Bindirme bağlantısı konumundaki parçaların, 40x40 bindirme bölgesinin merkezine, takım omuz çapı 28 mm, takım ucu çapı 10 mm, uç uzunluğu 6 mm ve takım omuz içi eğimi 5° olarak tasarlanıp üretilen kaynak takımı ile, sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin daldırma, karıştırma ve geri çekilme aşamaları sırasıyla uygulanmıştır. Kaynak takımı, numunelere belirlenen dalma hızında, dalma derinliğinde, devir sayısında ve karıştırma süresinde, otomatik olarak daldırılmıştır. İstenilen dalma derinliğine ulaşıncaya kadar belirlenen karıştırma süresinden sonra geri çekilmesi yine aynı hız ile otomatik olarak gerçekleştirilmiş ve parçalardan uzaklaştırılmıştır. Kaynak bağlantıları yani kaynak noktaları oluşturulan parçalar, hemen sökülmemiş, soğuması için beklenmiştir.



Şekil 4. Deneyisel çalışmada kullanılan sürtünme karıştırma nokta kaynağı numune bağlama aparatı

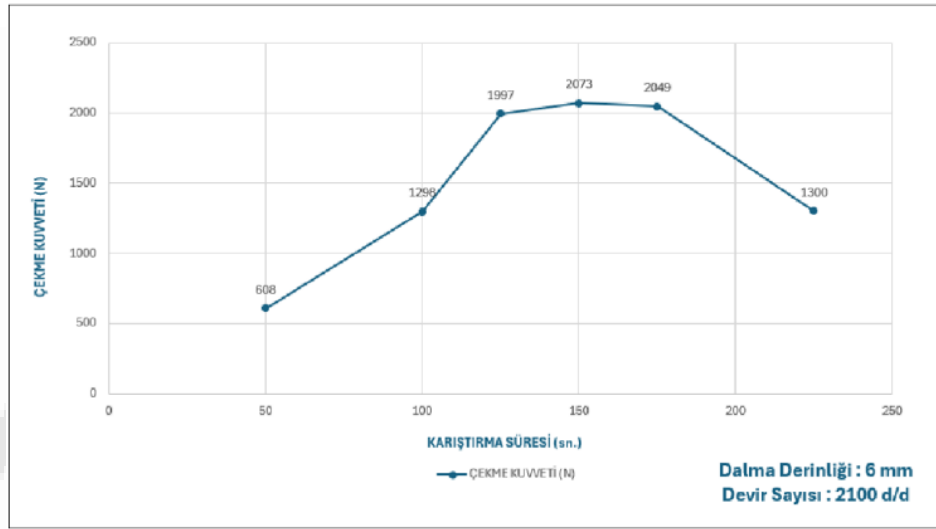
Bu deneyisel çalışmada, yapılan ön çalışmalar neticesinde, belirlenen dalma derinliği, dalma hızı, devir sayısı için, farklı karıştırma sürelerinin, kaynak bağlantısının dayanımına etkileri araştırılmıştır. Yapılan ön çalışmalar göz önünde bulundurularak, seçilen 6 mm dalma derinliği, 100 mm/dak dalma hızı ve 2100 d/d devir sayısı sabit tutularak, 50, 100, 125, 150, 175 ve 225 sn farklı karıştırma sürelerinde yapılan deneyisel çalışmada, kaynak noktaları oluşturulmuştur. Birleştirmenin yeterli dayanıma sahip olup olmadığı, mekanik testlerden çekme testleri ile belirlenmiştir. Elektromekanik ve bilgisayar kontrollü bir çekme test cihazı kullanılarak, kaynaklı bağlantılara standartlara uygun olarak çekme

testleri uygulanmıştır. Elde edilen çekme kuvvetleri karşılaştırılarak, hangi karıştırma süresinde en yüksek çekme kuvveti değerine ulaşıldığı tespit edilmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

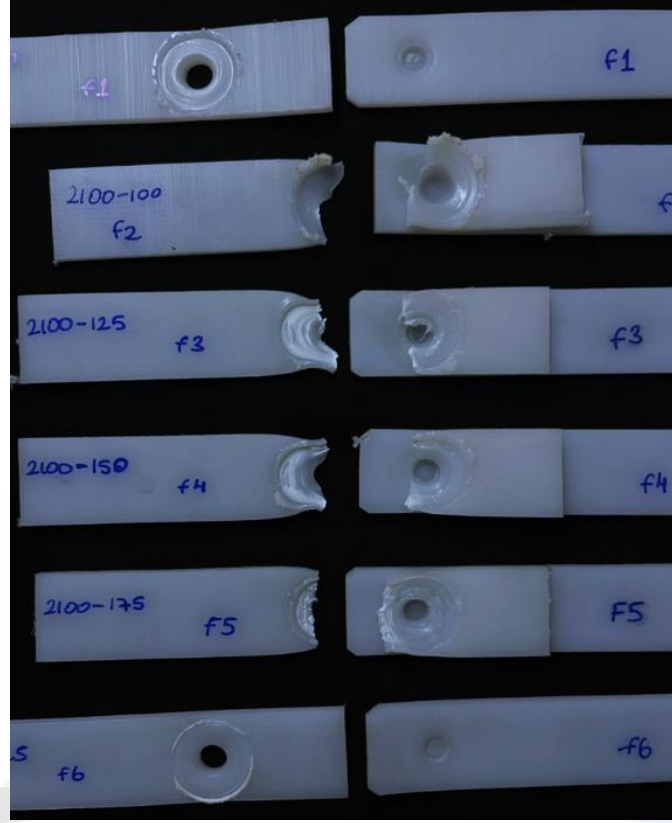
Bu deneysel çalışmada, yapılan ön çalışmalardan faydalanılarak, 6 mm dalma derinliği, 100 mm/dak dalma hızı ve 2100 d/d devir sayısı sabit tutularak, karıştırma süresinin değişiminin, çekme kuvvetine olan etkisi incelenmiştir. 50, 100, 125, 150, 175 ve 225 sn farklı karıştırma sürelerinde yapılan deneylerde, elde edilen çekme kuvveti değerleri Şekil 5'te görülmektedir. Karıştırma süresi parametresi arttıkça, çekme kuvvetinin belirli bir değere kadar düzenli olarak arttığı ve maksimum bir çekme kuvveti değeri yakalandıktan sonra ise düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Karıştırma süresi parametresini, belirli bir değerden sonra daha fazla artırmanın, çekme kuvveti değerini daha fazla artırmadığı belirlenmiştir. Böylece bu çalışma için, çekme kuvvetini maksimum yapan, optimum karıştırma süresi elde edilmiştir.

| 369



Şekil 5. 2100 d/d kaynak takımı devir sayısı, 6 mm takım dalma derinliği ve 100 mm/dak takım dalma hızı için, çekme kuvveti üzerine karıştırma süresinin etkisi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı numunelerinin, çekme deneyi sonrası fotoğrafları Şekil 6'da verilmiştir. Farklı karıştırma süreleri için, sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulanmış parçaların kaynak bölgelerinin gözle yapılan incelemelerinde, tüm numunelerde, kaynak noktasına ait karakteristik görünümün meydana geldiği ve kaynak işlemi sırasında yumuşayan plastik malzemenin, farklı karıştırma sürelerine bağlı olarak farklı oranlarda, kaynak takımı etrafına sıvandığı gözlemlenmiştir. Numunelerin çekme deneyi sonrasına ait fotoğrafları incelendiğinde, numunelerin kopma bölgelerinin görünümü, elde edilen çekme kuvveti değerlerini birebir desteklemektedir.



Şekil 6. Çekme deneyi sonrası sürtünme karıştırma nokta kaynağı numuneleri

Bu deneysel çalışmada, 6 mm dalma derinliği, 100 mm/dak dalma hızı, 2100 d/d devir sayısı ve 50 sn karıştırma süresinde oluşturulan kaynaklı numunede, malzemenin yumuşamasını sağlayacak, istenen optimum sıcaklık değerlerine ulaşılamadığı anlaşılmıştır. Bu sürenin yetersiz bir karıştırma süresi olduğu, F1 nolu numuneden açıkça görülmektedir, elde edilen 608 N düşük çekme kuvveti değeri, bu durumu açıkça desteklemektedir. 6 mm dalma derinliği, 100 mm/dak dalma hızı, 2100 d/d devir sayısı ve 100 sn karıştırma süresinde oluşturulan kaynaklı numunede ise malzemenin yumuşamasını sağlayacak, istenen optimum sıcaklık değerlerine kısmen ulaşıldığı F2 nolu numuneden görülmektedir. Kaynak bölgesinde yumuşayan plastik malzeme, omuz altından dışa doğru oldukça fazla kaçış yaparak, kaynak bölgesinin etrafında bir miktar yükseldiği görülmektedir. Yapılan kaynak sırasında, kaynak bölgesinden oldukça fazla malzemenin uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Kaynak havuzu içinde kalması gereken ve mukavemet değerlerine katkı yapması gereken malzemenin dışa oldukça fazla çıkış yapmasının, mukavemet değerini olumsuz yönde etkilediği anlaşılmıştır. Elde edilen 1298 N çekme kuvveti değeri bu durumu açıkça desteklemektedir. 6 mm dalma derinliği, 100 mm/dak dalma hızı, 2100 d/d devir sayısı ve 125 sn karıştırma süresinde oluşturulan kaynaklı numunede ise malzemenin yumuşamasını sağlayacak istenen optimum sıcaklık değerlerine çok yaklaşıldığı F3 nolu numunenin kopma bölgeleri incelendiğinde, uzama liflerinden ve kopmanın şeklinden açıkça görülmektedir. Kaynak bölgesinde yumuşayan plastik malzeme, omuz altından dışa doğru daha az kaçış yaparak, kaynak bölgesinin etrafında az miktarda yükseldiği görülmektedir. Yapılan kaynak sırasında, kaynak bölgesinden az miktarda malzemenin uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Kaynak havuzu içinde kalması gereken ve mukavemet değerlerine katkı yapması gereken malzemenin dışa kaçışının az miktarda olmasının, mukavemet değerini olumlu yönde etkilediği anlaşılmıştır. Elde edilen 1997 N çekme kuvveti değeri bu durumu net bir şekilde desteklemektedir.

Yapılan deneysel çalışmada, 6 mm dalma derinliği, 100 mm/dak dalma hızı ve 2100 d/d devir sayısı sabit tutularak, 50, 100, 125, 150, 175 ve 225 sn farklı karıştırma sürelerinde yapılan deneysel çalışmada, çekme kuvvetini 2073 N değerle maksimum yapan optimum karıştırma süresinin 150 sn olduğu belirlenmiştir. En yüksek çekme kuvveti değerinin elde edildiği sürtünme karıştırma nokta kaynağı numunesi F4 nolu numunedir. F4 nolu numuneye ait fotoğraf, 6 mm dalma derinliği, 100 mm/dak dalma

hızı, 2100 d/d devir sayısı ve 150 sn karıştırma süresinde oluşturulan kaynaklı numuneden elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, kaynak için malzemede, en uygun yumuşama durumunu sağlayacak istenen optimum sıcaklık değerlerine 150 sn karıştırma süresinde ulaşıldığı anlaşılmıştır, F4 nolu numunenin kopma bölgeleri incelendiğinde, uzama liflerinden ve kopmanın şeklinden bu durum açıkça görülmektedir. Kaynak bölgesinde yumuşayan plastik malzeme, omuz altından dışa doğru çok az kaçış yaparak, kaynak bölgesinin etrafında oldukça az miktarda yükseldiği görülmektedir. Yapılan kaynak sırasında, kaynak bölgesinden çok az miktarda malzemenin uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Kaynak havuzu içinde kalması gereken ve mukavemet değerlerine katkı yapması gereken malzemenin, dışa kaçışının çok az miktarda olmasının, mukavemet değerini olumlu yönde etkilediği anlaşılmıştır, bu çalışmada elde edilen 2073 N'luk maksimum çekme kuvveti değeri bu durumu açıkça desteklemektedir. Özellikle F3, F4 ve F5 nolu numunelerin kopma bölgeleri incelendiğinde, benzer çekme lifleri ve benzer kopma şekillerine ulaşıldığı görülmektedir. Bu üç numunede, çalışmanın en yüksek çekme kuvveti değerlerine ulaşılmıştır. Bu numunelerdeki, oluşan çekme liflerinden ve kopma şekillerinden, elde edilen çekme kuvvetlerinin F3, F4 ve F5 nolu numunelerde daha yüksek çıkmasını destekleyen önemli veriler ve görüntüler elde edilmiştir. Numuneler incelendiğinde de görüleceği üzere, kopmaya daha fazla direnen F4 nolu numunede ise, maksimum çekme kuvveti değerine ulaşılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, 6 mm dalma derinliği, 100 mm/dak dalma hızı, 2100 d/d devir sayısı ve 225 sn karıştırma süresinde yapılan deneysel çalışmada ise, oluşturulan kaynaklı numunede, kaynak için en uygun yumuşama değerlerini sağlayacak istenen optimum sıcaklık değerlerine ulaşamadığı anlaşılmıştır. Bu durum çekme kuvveti değerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. F6 nolu numunenin kopma şekli, düşük çekme kuvveti elde edilen F1 nolu numuneye çok benzemektedir. Elde edilen 1300 N düşük çekme kuvveti değeri bu durumu açıkça desteklemektedir.

4. SONUÇLAR

PE numunelere, ucuna metrik 10 vida dişi açılmış, omuz içine 5° eğim verilmiş ve bu çalışma için özel olarak tasarlanarak imal edilmiş bir kaynak takımı ile, yine bu çalışma için özel olarak tasarlanarak imal edilmiş bağlama aparatı kullanılarak, SKNK yönteminin uygulandığı bu deneysel çalışmada, oluşturulan kaynaklı bağlantılarda, karıştırma süresi değişiminin, çekme kuvvetine önemli oranda etkisi olduğu anlaşılmıştır. Belirli bir dalma derinliği, dalma hızı ve devir sayısı için, farklı karıştırma süresi değerleri kullanılarak, çekme kuvvetini maksimum yapan optimum karıştırma süresi belirlenmiştir. Yapılan ön çalışmalar neticesinde, 6 mm dalma derinliği, 100 mm/dak dalma hızı ve 2100 d/d devir sayısı sabit tutularak, farklı karıştırma sürelerinde yapılan deneysel çalışmada, çekme kuvvetini 2073 N değerle maksimum yapan optimum karıştırma süresinin 150 sn olduğu belirlenmiştir. En yüksek çekme kuvveti değerinin elde edildiği SKNK numunesi F4 nolu numunedir. Yapılan bu deneysel çalışmada, kaynak için malzemede, en uygun yumuşama durumunu sağlayacak istenen optimum sıcaklık değerlerine 150 sn karıştırma süresinde ulaşıldığı anlaşılmıştır, F4 nolu numunenin kopma bölgeleri incelendiğinde, uzama liflerinden ve kopmanın şeklinden bu durum açıkça görülmektedir. Kaynak havuzu içinde kalması gereken ve mukavemet değerlerine katkı yapması gereken malzemenin, dışa kaçışının çok az miktarda olmasının, mukavemet değerini olumlu yönde etkilediği anlaşılmıştır, bu çalışmada elde edilen 2073 N'luk maksimum çekme kuvveti değeri bu durumu açıkça desteklemektedir. Numunelerin kopma bölgeleri incelendiğinde de görüleceği üzere, kopmaya daha fazla direnen F4 nolu numunede, maksimum çekme kuvveti değerine ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1]. Schäfer, H., Blaga, L., A., Stöver, E., and Klusemann, B., (2023). Refill Friction Stir Spot Welding of Thermoplastic Composites: Case Study on Carbon-fiber-reinforced Polyphenylene Sulfide, *Thin-Walled Structures*, 191, 111037.
- [2]. Iftikhar, S., H., Cherupurakal, N., Krishnapriya, R., and Mourad, A., H., I., (2024). Friction Stir Spot Welding of Recycled Scrap Thermoplastics, *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 7, 838-848.
- [3]. Sioutis, I., Tserpes, K., Tsiangou, E., Boutin, H., Allegre, F., and Blaga, L., (2023). Experimental Evaluation of Refill Friction Stir Spot Welds (RFSSW) as Crack Arrest Features in Co-consolidated Thermoplastic Laminates, *Composite Structures*, 309, 116754.

- [4]. Benyerou, D., Chikh, E., B., O., Khellafi, H., Meddah, H., M., Benhamena, A., Hachelaf, K., and Lounis, A., (2021). Parametric Study of Friction Stir Spot Welding (FSSW) for Polymer Materials Case of High Density Polyethylene Sheets: Experimental and Numerical Study, *Frattura ed Integrità Strutturale*, 55, 145-158.
- [5]. Mert, Ş., (2010). Polipropilen Malzemenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6]. Parlar Z., (2002). Poliamid Malzemelerin Sürtünme ve Aşınma Karakteristiğine Sıcaklığın Etkisinin Deneyisel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7]. Akkurt, S., (2007). Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [8]. Sidhom, A., A., E., Naga, S., A., R., and Kamal, A., M., (2022). Friction Stir Spot Welding of Similar and Dissimilar High Density Polyethylene and Polypropylene Sheets, *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 4, 100076.
- [9]. Mert, Ş., ve Mert, S., (2013). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Yönteminin İncelenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, Sayfa 26-35.
- [10]. Mert, Ş., ve Mert, S., (2013). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı Yönteminde Kullanılan Makina ve Ekipmanların İncelenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi (Journal of Advanced Technology Sciences)*, Cilt 2, Sayı 3, Sayfa 121-129.
- [11]. Mert, Ş., ve Mert, S., (2015). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Yönteminin Otomotiv Sektöründeki Yeri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, Sayfa 432-438.
- [12]. Feng, Z., Diamond, S., Santella, M. L., Pan, T. Y., and Li, N., (2004). High Strength Weight Reduction Materials - Friction Stir Welding and Processing of Advanced Materials, Oak Ridge National Laboratory Report, DE-AC05-00OR22725, 101-108.
- [13]. Feng, Z., Santella, M. L., David, S. A., Steel, R. J., Packer, S. M., Pan, T., Kuo, M., and Bhatnagar, R. S., (2005). Friction Stir Spot Welding of Advanced High-strength steels-A Feasibility Study, SAE World Congress, Detroit, Michigan, USA.
- [14]. Mitlin, D., Radmilovic, V., Pan, T., Chean, J., Feng, Z., and Santella, M. L., (2006). Structure Properties Relations in Spot Friction Welded (Also Known as Friction Stir Spot Welded) 6111 Aluminum, *Materials Science and Engineering*, vol. 441, pp. 79-96.
- [15]. Arıcı, A. A., ve Mert, Ş., (2007). Polipropilen Malzemenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilmesi, *PAGEV Plastik Dergisi*, 95, Sayfa 152-162.
- [16]. Lin, P. C., Pan, J., and Pan, T., (2008). Failure Modes And Fatigue Life Estimations of Spot Friction Welds in Lap-Shear Specimens of 6111-T4 Sheets. Part 1: Welds Made by a Concave Tool, *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 74-89.
- [17]. Lin, P. C., Pan, J., and Pan, T., (2008). Failure Modes and Fatigue Life Estimations of Spot Friction Welds in Lap-Shear Specimens of 6111-T4 Sheets. Part 2: Welds Made by a Flat Tool, *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 90-105.
- [18]. Mert, Ş., ve Arıcı, A. A., (2008). Friction Stir Spot Welding Method Using in Polypropylene Sheet Materials Joining, 12th International Materials Symposium, Pamukkale University, pp 1150-1156, Denizli.
- [19]. Tran, V. X., Pan, J., and Pan, T., (2008). Fatigue Behavior of Aluminum 5754-O and 6111-T4 Spot Friction Welds in Lap-Shear Specimens, *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 2175-2190.
- [20]. Tran, V. X., Pan, J., and Pan, T., (2009). Effects of Processing Time on Strengths and Failure Modes of Dissimilar Spot Friction Welds Between Aluminum 5754-O and 7075-T6 Sheets, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 3724-3739.

- [21]. Fujimoto, M., Koga, S., Abe, N., Sato, Y. S, and Kokawa, H., (2008). Microstructural Analysis of Stir Zone of Al Alloy Produced by Friction Stir Spot Welding, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 13, no. 7, pp. 663-670.
- [22]. Yin, Y. H., Sun, N., North, T. H., and Hu, S. S., (2010). Hook Formation and Mechanical Properties in AZ31 Friction Stir Spot Welds, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 210 (14), pp. 2062-2070.
- [23]. Khan, M. I., Kuntz, M. L., Su, P., Su, P., Gerlich, A., North, T., and Zhou, Y., (2007). Resistance and Friction Stir Spot Welding of DP600: A Comparative Study, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 12 (2), pp. 175-182.
- [24]. Ataya, S., Ahmed, M. M. Z., Seleman, M. M. El-S., Hajlaoui, K., Latief, F. H., Soliman, A. M., Elshaghoul, Y. G. Y., and Habba, M. I. A., (2022). Effective Range of FSSW Parameters for High Load-Carrying Capacity of Dissimilar Steel A283M-C/Brass CuZn40 Joints, *Materials*, 15(4), 1394.
- [25]. Arıcı, A. A., and Mert, Ş., (2008). Friction Stir Spot Welding of Polypropylene, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 27 (18), pp. 2001-2004.
- [26]. Kawasaki Heavy Industries Ltd., (2006 and 2013). A New Method For Light Alloy Joining - Friction Spot Joining - Kawasaki Robot, Japan, www.kawasakirobot.com, visit date: 18 March 2006 and 28 March 2013.
- [27]. J. Hinrichs, (2006). "Friction Stir Spot Welding", *Friction Stir Link Inc.*, www.frictionstirlink.com, visit date: 21 March 2006.
- [28]. Mert, Ş., and Arıcı, A. A., (2011). Design of Optimal Joining for Friction Stir Spot Welding of Polypropylene Sheets, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 16(6), pp. 522-527.
- [29]. Yusof, F., Miyashita, Y., Seo, N., Mutoh, Y., and Moshwan, R., (2012). Utilising Friction Spot Joining for Dissimilar Joint Between Aluminium Alloy (A5052) and Polyethylene Terephthalate, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 17, pp. 544-549.
- [30]. Bilici, M., K., and Yukler, A. I., (2012). Effects of Welding Parameters on Friction Stir Spot Welding of High Density Polyethylene Sheets, *Materials and Design*, vol. 33, pp. 545-550.
- [31]. Bilici, M., K., and Yukler, A. I., (2012). Influence of Tool Geometry and Process Parameters on Macrostructure and Static Strength in Friction Stir Spot Welded Polyethylene Sheets, *Materials and Design*, vol. 33, pp. 145-152.
- [32]. Mostafapour A., and Asad, F. T., (2016). Investigations on Joining of Nylon 6 Plates Via Novel Method of Heat Assisted Friction Stir Welding to Find the Optimum Process Parameters, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 21 (8), pp. 660-669.
- [33]. Yan, Y., Shen, Y., Zhang, W., and Guan, W., (2017). Effects of Friction Stir Spot Welding Parameters on Morphology and Mechanical Property of Modified Cast Nylon 6 Joints Produced by Double-Pin Tool, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 92, pp. 2511-2523.
- [34]. Çakır, G., Mert, Ş., ve Mert, S., (2017). CNC Tezgahta Polipropilen Malzemeye Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının Uygulanması ve Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, ISMSIT 2017, 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Tokat, Turkey.
- [35]. Çakır, G., Mert, Ş., ve Mert, S., (2017). Polipropilen Malzemeye Uygulanan Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında Takım Geometrisinin Bağlantı Dayanımına Etkisinin İncelenmesi, ISMSIT 2017, 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Tokat, Turkey.
- [36]. Goswami, N., K., Pal, K., Bisoyi, R., K., and Nayak, S., S., (2024). Monitoring of Weld Bead Profile in Friction Stir Lap Welding for Polycarbonate Sheets Using Wavelet Packets of Power

Signal, *Arabian Journal for Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09057-8> Published online: 29 April 2024.

- [37]. Çam, G., Javaheri, V., and Heidarzadeh, A., (2022). Advances in FSW and FSSW of dissimilar Al-alloy plates, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 27 Jan 2022.
- [38]. Xu, R. Z., Ni, D. R., Yang, Q., Xiao, B. L., Liu, C. Z., and Ma, Z. Y., (2018). Influencing Mechanism of Al-Containing Zn Coating on Interfacial Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Spot Welded Mg-Steel Joint, *Materials Characterization*, 140, 197-206.
- [39]. Bilici, M. K., Bakır, B., Bozkurt, Y., ve Çalış, İ., (2016). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Farklı Alüminyum Levhaların Taguchi Analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 17-23.
- [40]. Buffa, G., Fanelli, P., Fratini, L., and Vivio, F., (2014). Influence of Joint Geometry on Micro and Macromechanical Properties of Friction Stir Spot Welded Joints, 11th International Conference on Technology of Plasticity, *Procedia Engineering*, 81 (2014) 2086 - 2091.
- [41]. Venukumar, S., Yalagi, S., and Muthukumaran, S., (2013). Comparison of Microstructure and Mechanical Properties of Conventional and Refilled Friction Stir Spot Welds in AA 6061-T6 Using Filler Plate, *Transactions Nonferrous Metals Society, China*, 23(2013) 2833–2842.
- [42]. Malafaia, A. M. S., Milan, M. T., Oliveira, M. F., and Spinelli, D., (2010). Evaluation of Dynamic Defect Detection in FSSW Welded Joints Underfatiguetests, *Procedia Engineering*, 2 (2010) 1823-1828.
- [43]. Pradhan, D., K., Sahu, B., Bagal, D., K., Barua, A., Jeet, S., and Prahhan, S., (2022). Application of Progressive Hybrid RSM-WASPAS-grey Wolf Method for Parametric Optimization of Dissimilar Metal Welded Joints in FSSW Process. *Materials Today: Proceedings*, vol. 50, part 5, pp. 766-772.
- [44]. Rosendo, T., Mazzaferro, J., Mazzaferro, C., Tier, M., Ramos, F., Reguly, A., Strohaecker, T., dos Santos, J. (2013). Friction Spot Processes - FSSW and FSpW, http://www.hzg.de/imperia/md/content/gkss/institut_fuer_werkstoffforschung/wmp/poster-apresentacao-gkss2.pdf, visit date: 28 March 2013.
- [45]. Smith, C. B., Hinrichs, J. F., and Ruehl, P. C., (2006). Friction Stir and Friction Stir Spot Welding, *Friction Stir Link Inc*, www.frictionstirlink.com, visit date: 21 March 2006.
- [46]. Gerlich, A., Su, P., North, T. H., and Bendzsak, G. J., (2005). Friction Stir Spot Welding of Aluminum and Magnesium Alloys, *Materials Forum*, 29, 290-294.
- [47]. Awang, M., Mucino, V. H., Feng, Z., and David, S. A., (2005). Thermo-Mechanical Modeling of Friction Stir Spot Welding (FSSW) Process: Use of an Explicit Adaptive Meshing Scheme, *SAE International*, 2005-01-1251.
- [48]. Lathabai, S., Painter, M. J., Cantin, G. M. D., and Tyagi, V. K., (2006). Friction Spot Joining of an Extruded Al-Mg-Si Alloy, *Scripta Materialia*, 55, 899-902.
- [49]. Aslan, İ, ve Yaka, H., (2024). Friction Stir Welding (FSW) and Friction Stir Spot Welding (FSSW) on Polycarbonates: A Review, *Selcuk University Journal of Engineering Sciences* 23(02), 54-63.

Makale id= 63

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0007-2488-1593

| 375

Demiryolu Kaynaklı Titreşimlerin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi ve Azaltılması**Araştırmacı Ali Fırat Çiçek¹, Prof.Dr. Zübeyde Öztürk¹**¹İstanbul Teknik Üniversitesi

*Corresponding author: Ali Fırat Çiçek

Özet: Demiryolu sistemleri, özellikle kent içi ulaşımında önemli bir yer tutmakla birlikte gerek inşaat gerekse de işletme faaliyetleri sırasında ortaya çıkan demiryolu titreşimleri çevresel etkilere yol açmaktadır. Bu bildiride, demiryolu kaynaklı zemin titreşimlerinin oluşum mekanizmaları ve yayılmasında etkili olan faktörler incelenmiştir. Titreşimlerin zemin türleri, hat geometrisi, tren hızı ve araç özellikleri gibi değişkenlere bağlı olarak farklılaşan etkileri detaylandırılmakta, bu faktörlerin çevresel sürdürülebilirlik ve altyapı tasarımında nasıl göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmaktadır. Ayrıca, titreşimlerin ölçülmesi ve azaltılması için kullanılan yöntemler ve teknolojiler tanıtılmıştır. Bu çalışma, demiryolu kaynaklı titreşimlerin çevresel etkilerini anlamak ve bu etkileri minimize etmek amacıyla mühendislik çözümlerinin geliştirilmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu, Zemin Titreşimleri, Titreşim Yayılımı, Çevresel Etkiler, Akustik Koşullar

Assessing and Mitigating the Environmental Impact of Railway-Induced Ground Vibrations

Abstract: Railway systems are integral to urban transportation but are often associated with environmental challenges, particularly in terms of vibrations and noise. This paper explores the key factors influencing the generation and propagation of railway-induced ground vibrations, with a focus on vibration sources, soil types, structural characteristics, and environmental conditions. Understanding these factors is crucial for minimizing the impact of railway vibrations on the environment and developing sustainable infrastructure solutions. The paper also discusses various methods and technologies used for vibration measurement and mitigation. Ultimately, the goal of this study is to contribute to the development of transportation systems that are both environmentally friendly and sustainable, while minimizing the negative impacts of railway-induced vibrations.

Keywords: Railway Systems, Ground Vibrations, Vibration Propagation, Environmental Impacts, Acoustic Conditions

1. GİRİŞ

Demiryolu sistemleri, özellikle büyük şehirlerde ulaşımın temel faktörlerinden biri olarak, yoğun nüfuslu bölgelerde kent yaşamını kolaylaştıran önemli bir role sahiptir. Ancak, diğer tüm sistemlerde olduğu gibi, demiryolu inşa ve işletme süreçleri de çevresel etkileri açısından dikkate alınması gereken unsurlardır. Demiryolları, alternatif ulaşım yöntemlerine kıyasla çevresel etkiler açısından daha avantajlı bir ulaştırma modu olarak öne çıkmaktadır. Ancak, doğal alanlara yapılan tüm müdahaleler ve burada gerçekleştirilen işletme faaliyetleri, beraberinde çevresel etkileri de getirir. Demiryollarında, işletme aşamasında ortaya çıkan titreşim ve gürültü sorunları, bu sistemlerin en belirgin çevresel etkilerinden biridir. Bu faktör, hem şehir içi hem de şehir dışında geçerli olup, her iki ortamda da çevreye önemli etkiler yaratmaktadır.

Demiryolu kaynaklı gürültü ve titreşimler, demiryolu hatlarına yakın konumdaki yapılar üzerinde olumsuz etkilere yol açar ve insanların yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu durum, özellikle yerleşim alanlarının demiryolu hatlarına yakınlığı düşünüldüğünde, önemli bir sorun teşkil

etmektedir. Demiryolu kaynaklı zemin titreşimlerinin oluşumu ve yayılması, zemin özellikleri, hat geometrisi, tren hızı ve araç özellikleri gibi bir dizi faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu faktörlerin ayrıntılı bir şekilde anlaşılması, çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve sürdürülebilir ulaşım altyapılarının geliştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada, demiryolu kaynaklı zemin titreşimlerinin oluşumu ve yayılmasında etkili olan temel faktörler, titreşim kaynağından başlayarak titreşimlerin yayıldığı zemin türlerine kadar geniş bir perspektifte ele alınmaktadır. Bu kapsamda, demiryolu sistemlerinden kaynaklanan titreşimlerin çevre üzerindeki etkilerini anlamak üzerine odaklanılmaktadır. Devamında söz konusu titreşimlerin ölçülmesi ve etkilerinin önlenmesi/azaltılmasına yönelik yöntemler tanıtılmıştır. Titreşimlerin oluşum mekanizmaları, Uluslararası Demiryolu Birliği (UIC) tarafından belirlenen altı temel mekanizma çerçevesinde incelenmektedir.

Ayrıca, titreşimlerin zeminde oluşumu ve yayılmasını etkileyen faktörler, Amerikan Ulaştırma Dairesi'nin (FTA) sınıflandırması temel alınarak, titreşim kaynağına ilişkin faktörler, yayılma yoluna ilişkin faktörler ve çevresel faktörler olmak üzere üç ana başlık altında değerlendirilmektedir. Bu çalışma, demiryolu kaynaklı titreşim sorunlarına yönelik kapsamlı bir bakış açısı sunarak, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

2. DEMİRYOLU TİTREŞİMLERİNİN OLUŞUM MEKANİZMALARI

Uluslararası Demiryolu Birliği'ne (UIC) göre, demiryolu kaynaklı titreşimlerin oluşumu altı temel mekanizma ile açıklanmaktadır (UIC, 2017). Bu mekanizmalar, aşağıda yer alan Tablo 1'de sıralanmış ve açıklanmıştır.

- Quasi-Statik Tahrik

Statik dingil yükünün tren hızı ile hat boyunca hareketiyle oluşan düşük frekanslı titreşimlerdir. Zeminde belirli bir uzaklığa kadar hissedilebilir.

-Parametrik Tahrik

Ray bağlantı elemanları ve traversler gibi periyodik elemanların etkisiyle oluşan titreşimlerdir. Dalga boyu, dingil arası mesafe ve travers aralığına bağlıdır.

-Hattaki Eşitsizlikler

Hat geometrisi, balast yatağı ve zemin özelliklerinden etkilenen, 0.1m-10m dalga boyuna sahip titreşimlerdir.

-Hat Ondülasyonları

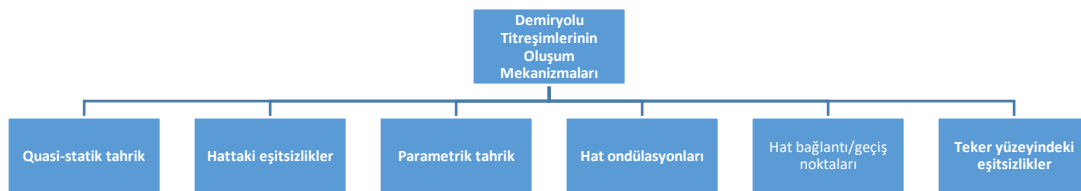
Rayın teker ile teması sonucu oluşan, 0.01m-0.05m dalga boyuna sahip titreşimlerdir.

-Hat Bağlantı/Geçiş Noktaları

Cebireli ray bağlantıları ve makaslar gibi elemanların neden olduğu titreşimlerdir.

-Teker Yüzeyindeki Eşitsizlikler

Teker aşınması sonucu oluşan, teker geometrisini etkileyen ve titreşime neden olan eşitsizliklerdir.



Tablo 1 - UIC'ye Göre Demiryolu Titreşimlerinin Oluşum Mekanizmaları

Yukarıda bahsedilen titreşim mekanizmaları, demiryolu sistemlerinde tek başlarına veya birlikte etkili olabilirler. Örneğin, tekerlek yüzeyindeki bir kusur hem quasi-statik tahrik hem de parametrik tahrik yoluyla titreşimlere yol açabilir. Quasi-statik tahrik, tekerleğin kusurlu yüzeyinin ray üzerinde hareket etmesiyle tetiklenirken, parametrik tahrik, tekerlek ve ray arasındaki periyodik temasın (örneğin traversler üzerinde) kusur nedeniyle değişmesiyle ortaya çıkar. Benzer şekilde, hat bağlantı noktalarındaki pürüzlülükler hem doğrudan titreşimlere neden olabilir hem de tekerlek yüzeyinde kusurların gelişimini hızlandırabilir. Bu mekanizmaların birleşik etkisi, demiryolu sistemlerinde karmaşık titreşim örüntülerine yol açabilir.

Demiryolu mühendisliğinde, bu titreşimlerin analizi ve kontrolü büyük önem taşır. Titreşimler, yolcu konforunu olumsuz etkileyebilir, ray ve tekerleklerde aşınmaya neden olabilir ve hatta yapılarda hasarlara yol açabilir (H. Hung ve Yang, 2001). Bu nedenle, demiryolu sistemlerinin tasarımında ve bakımında, titreşim mekanizmalarının dikkate alınması ve uygun önlemlerin alınması gereklidir (Thompson, 2009). Bu önlemler arasında, hat geometrisinin optimizasyonu, yüksek kaliteli ray ve tekerleklerin kullanılması, düzenli bakım ve onarım çalışmaları ve gerektiğinde titreşim sönümleme sistemlerinin kullanılması sayılabilir.

2.1 Titreşimlerin Zeminde Oluşumu ve Yayılmasında Etkili Faktörler

Amerikan Federal Ulaştırma İdaresi (FTA), titreşimlerin zeminde yayılım kaynaklarını ve etkilerini üç ana başlık altında incelemektedir. Bu başlıklar, titreşim kaynağına ilişkin faktörler, titreşimin yayılma yoluna ilişkin faktörler ve çevresel faktörler olarak sıralanır (Hanson ve diğerleri., 2006).

2.1.1. Titreşim Kaynağına İlişkin Faktörler

Demiryolu kaynaklı titreşimler, genellikle raylar ve demiryolu araçlarının etkileşimi sonucu meydana gelir. Bu etkileşimde farklı faktörlerin etkisi vardır. Titreşim kaynağına ilişkin faktörler, her ne kadar çoğu zaman gözden kaçırılan unsurlar olsa da, titreşimlerin yayılma hızını ve şiddetini belirlemede önemli rol oynar.

-Araç Süspansiyonu

Demiryolu araçlarının süspansiyon sisteminin özellikleri, zemin titreşimlerinin büyüklüğünü ve yayılma hızını doğrudan etkiler. Yumuşak süspansiyonlar titreşimlerin sönümlenmesine yardımcı olurken, sert süspansiyon sistemleri titreşimlerin daha güçlü bir şekilde yayılmasına neden olabilir. Araç süspansiyonlarının rijitliği arttıkça, titreşimler daha fazla belirginleşir ve zemin üzerinde daha hızlı yayılabilir. Bu durum, özellikle hızlı tren sistemlerinde önemli bir etki yaratır.

-Seyir Yüzeyi

Rayların yapısı ve durumu, titreşimlerin şiddetini ve yayılma şeklini etkileyen bir diğer kritik faktördür. Rayların yüzeyindeki bozukluklar veya düzensizlikler, titreşimlerin daha güçlü ve yaygın bir şekilde yayılmasına neden olabilir. Ayrıca, ray tipinin sertliği ve uzunluğu da bu yayılmayı etkileyebilir. Balastsız sistemler, daha fazla titreşim üretirken, balastlı ray sistemleri bu titreşimleri bir miktar sönümlendirebilir (Kouroussis ve diğerleri, 2014).

-Seyir Hızı

Seyir hızının artmasıyla birlikte, demiryolu araçlarının oluşturduğu titreşimlerin frekansı da artar. Yüksek hızda hareket eden trenler daha fazla enerji üretir ve bu enerji titreşimlerin daha geniş bir alanda yayılmasına sebep olur. Bu, özellikle şehir içi ulaşımda, hızlı tren hatlarının geçtiği yerlerde belirgin bir sorun teşkil edebilir (Kouroussis ve diğerleri, 2014).

-Tekerlek Tipi ve Durumu

Tekerleklerin durumu, demiryolu kaynaklı titreşimlerin yoğunluğunu etkileyen önemli bir faktördür. Aşınmış veya bozuk tekerlekler, raylar üzerinde daha fazla düzensizlik yaratır ve bu da daha fazla titreşim üretir. Ayrıca, tekerleklerin biçimi ve malzeme özellikleri, titreşimlerin doğasını değiştirerek yayılma şekillerini etkileyebilir.

-Titresim Kaynağının Derinliği

Yeraltı ve yeryüzü demiryolu hatlarından kaynaklanan titreşimlerin yayılma süreçleri, dalga türleri ve çevresel yapılarla etkileşim gibi çeşitli faktörlere göre farklılık gösterir. Bu farklar, titreşimlerin yayılma hızı ve etkilerini önemli ölçüde değiştirir.

-Yol Yapısı

Demiryolu üstyapı tabakaları, demiryolu kaynaklı titreşimlerin iletilmesinde önemli bir rol oynar ve tasarımda titreşimlerin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Rijit-rijit bağlantılardan kaçınılması gibi önlemlerle, titreşimlerin daha az enerjiyle yayılması sağlanabilir. Titreşimlerin etkili şekilde sönümlenmesi için uygun bağlantı elemanları ve sönümleme pedleri kullanılmalıdır. Ayrıca, üstyapının kütlelerinin artması, iletilen titreşimlerin zayıflamasına yol açabilir.

2.1.2. Titreşimlerin Yayılma Yolu İle İlgili Faktörler

Titreşimlerin zemin içinde nasıl yayıldığı, zemin türüne, zemin tabakalarının özelliklerine ve yeraltı su seviyesi gibi faktörlere bağlıdır. Zemin, titreşimlerin yayılma hızını ve şiddetini büyük ölçüde belirleyen önemli bir parametredir.

-Zemin Türü

Zemin türü, titreşimlerin yayılma hızını ve şiddetini etkileyen bir diğer kritik faktördür. Kum ve çakıl gibi gevşek zeminler, titreşimlerin daha hızlı yayılmasına sebep olabilirken, kil ve kaya gibi sert zeminler titreşimleri daha fazla emer ve yayılımı sınırlayabilir. Zemin türünün özellikleri, titreşimin gücünü belirlerken, aynı zamanda hangi mesafelere kadar yayılacağını da etkiler.

-Zemin Tabakaları

Zemin üzerinde bulunan farklı tabakalar, titreşimlerin yayılma hızını ve karakteristiğini belirler. Örneğin, taş tabakalar, titreşimleri daha fazla iletebilirken, organik tabakalar bu titreşimleri daha fazla sönümlendirebilir. Zemin tabakalarının kalınlıkları, yoğunlukları ve elastikiyet modülleri, titreşimlerin davranışını doğrudan etkiler.

-Yeraltı Su Seviyesi

Yüksek yeraltı su seviyeleri, zemin elastikiyetini etkileyerek titreşimlerin yayılmasını daha da artırabilir (Liu ve diğerleri, 2017). Su, zemin içinde düşük kohezyon yaratabilir ve bu da titreşimlerin daha kolay yayılmasına yol açar. Bu durum, özellikle su seviyesinin yüksek olduğu bölgelerde, demiryolu hatları ve çevresindeki yapılar için bir risk faktörü oluşturur.

-Kaya Tabakaları

Kaya tabakalarının derinliği azaldıkça, titreşim dalgalarının gücü artar. Kaya tabakaları üzerinde inşa edilen demiryolu üstyapılarında, genlikler daha düşük olacağı için dalgaların yayılma hızı daha yüksek olacaktır. Kaya tabakaları, gevşek zeminlere göre daha verimli bir yayılma ortamı sağladığı için titreşimler daha az sönümlenir (Celebi, 2006).

2.1.3. Çevresel Faktörler

Titreşimlerin algılanması ve çevredeki yapılara etkisi, çevresel koşullar ve yapıların özelliklerine bağlı olarak değişir. Yapıların temelleri, malzeme özellikleri ve çevresel faktörler, titreşimlerin etkisini artırabilir veya azaltabilir.

-Yapı Temel Türü

Yapıların temelleri, titreşimlerin zemin ile yapıya iletilmesinde önemli bir rol oynar. Derin temeller, titreşimlerin yapıya aktarılmasını engellerken, sığ temeller titreşimlerin daha fazla iletilmesine neden olabilir. Bu durum, özellikle hassas ve tarihi yapılar için büyük bir risk oluşturur.

-Bina Tipi ve Yapısal Durum

Eski binalar, modern yapılara göre titreşimlere karşı daha duyarlıdır. Bu nedenle, demiryolu kaynaklı titreşimlerin çevredeki binalara etkisi, yapının yaşına, malzeme türüne ve yapısal dayanıklılığına göre değişir. Ayrıca, yapıların iç akustik özellikleri, titreşimlerin algılanma seviyesini etkileyebilir.

-Akustik Koşullar

Yapıların içindeki akustik koşullar, titreşimlerin nasıl algılandığını etkileyebilir. Sert ve yansıtıcı yüzeyler, titreşimlerin daha fazla hissedilmesine neden olabilir. Bu durum, özellikle ofis binaları veya hastaneler gibi sessizliğin önemli olduğu alanlarda büyük bir soruna yol açabilir (UIC, 2017).

3. TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ/ YÖNTEMLERİ VE İLGİLİ KAVRAMLAR

Demiryolu kaynaklı titreşimlerin ölçülmesi ve analizinde kullanılan çeşitli yöntemler ve teknolojiler bulunmaktadır. Bu yöntemler, titreşimlerin şiddetini, frekansını, yayılma hızını ve diğer özelliklerini belirlemeye yardımcı olur.

-İvme ölçerler

Titreşim ölçümlerinde en sık kullanılan sensörlerdir. İvmeölçerler, titreşimlerin neden olduğu ivme değişimlerini ölçerek, titreşim genliği ve frekansı hakkında bilgi sağlar. Farklı tipte ivmeölçerler (piezoelektrik, MEMS vb.) farklı uygulama alanları için uygun olabilir.

-Titreşim Sensörleri

İvmeölçerlere ek olarak, titreşim sensörleri titreşimlerin farklı özelliklerini (hız, yer değiştirme vb.) ölçmek için kullanılabilir. Bu sensörler, titreşimlerin kaynağı, yayılma yolu ve alıcıdaki etkileri hakkında daha detaylı bilgi sağlayabilir.

-Sayısal Analiz Yöntemleri

Ölçülen titreşim verileri, bilgisayar ortamında çeşitli sayısal analiz yöntemleriyle (SEY, Frekans Tepkisi Analizi, Dalgacık Dönüşümü vb.) işlenerek, titreşim frekansları, genlik spektrumu ve diğer özellikleri belirlenebilir. Bu analizler, titreşimlerin nedenlerini ve etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olur (Chik ve diğerleri, 2010).

-Pik Parçacık Hızı (PPV)

Titreşim şiddetini belirlemek için kullanılan bir parametredir. PPV, titreşimlerin neden olduğu en yüksek parçacık hızını ifade eder ve genellikle zemin titreşimlerinin değerlendirilmesinde kullanılır.

-Titreşim Seviyesi (VL)

Titreşim şiddetini logaritmik bir ölçekte ifade eden bir parametredir. VL, insan algısı ve yapısal hasar riskini değerlendirmek için kullanılabilir.

4. TİTREŞİM AZALTMA ÇÖZÜMLERİ

Demiryolu kaynaklı titreşimlerin azaltılması ve kontrol altında tutulması hem çevresel sürdürülebilirlik hem de yolcu konforu açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, titreşimlerin kaynağında, yayılma yolunda ve alıcıda olmak üzere farklı aşamalarda etkili çeşitli mühendislik çözümleri geliştirilmiştir (UIC, 2020).

4.1 Kaynakta Titreşim Azaltma Çözümleri

Titreşimlerin kaynağında azaltılması, en etkili ve ekonomik yöntemlerden biridir. Bu kapsamda aşağıdaki çözümler uygulanabilir:

-Ray ve Tekerlek Bakımı

Ray ve tekerlek yüzeylerindeki düzensizlikler (örneğin, ray ondülasyonları, tekerlek aşınması) titreşim oluşumunun önemli nedenlerindendir. Düzenli bakım ve onarım çalışmalarıyla bu düzensizlikler giderilerek, titreşim seviyeleri önemli ölçüde azaltılabilir. Ray taşıma, tekerlek tornalama ve ray/tekerlek yağlaması gibi yöntemler bu kapsamda kullanılabilir (Öztürk ve Arlı, 2009).

-Uygun Ray Tipi Seçimi

Farklı ray tipleri (örneğin, sürekli kaynaklı raylar, balastlı/balastsız raylar) farklı titreşim karakteristiklerine sahiptir. Proje özelliklerine uygun ray tipi seçimi, titreşim seviyelerini optimize etmek için önemlidir (H. H. Hung ve diğerleri, 2013).

-Araç Süspansiyon Sistemleri

Demiryolu araçlarının süspansiyon sistemleri, titreşimlerin araca ve zemine iletilmesini etkiler. Uygun süspansiyon sistemlerinin (örneğin, havalı süspansiyonlar) kullanılması, titreşimleri azaltmaya yardımcı olabilir.

-Aerodinamik Tasarımda İyileştirme

Yüksek hızlı trenlerde, aerodinamik kuvvetler de titreşimlere katkıda bulunabilir (Thompson, 2009). Bu nedenle, trenlerin aerodinamik tasarımları optimize edilerek, titreşim seviyeleri düşürülebilir.

4.2 Yayılma Yolunda Titreşim Azaltma Çözümleri

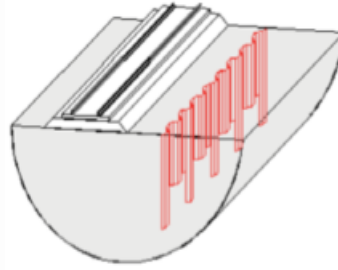
Titreşimlerin zeminde yayılmasını engellemek veya azaltmak için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir:

-Zemin İyileştirme

Zemin özelliklerini iyileştirerek, titreşimlerin yayılma hızı ve sönümlenmesi üzerinde olumlu etkiler sağlanabilir (Connolly ve diğerleri, 2015).

-Titreşim Bariyerleri

Zemin içine inşa edilen bariyerler (örneğin, betonarme duvarlar, hendekler, dolgu hendekekler), titreşimlerin yayılma yolunu keserek, alıcıya ulaşmasını engelleyebilir. Bariyerlerin etkinliği, boyutlarına, konumuna ve dolgu malzemesine bağlıdır. Şekil 1’ de, bir bariyer uygulaması örneği yer almaktadır (Bose ve diğerleri, 2018).



Şekil 1 - Zeminde Titreşim Bariyeri Uygulaması

-Titreşim Yalıtımı

Rayların veya yapı temellerinin elastik malzemelerle (örneğin, kauçuk, mantar, elastomerler) yalıtılması, ve uygun ray bağlantı elemanlarının seçilmesi, titreşimlerin iletilmesini azaltarak, yayılımı engelleyebilir (Real ve diğerleri, 2013). Şekil 2’de, bu bağlantı elemanlarına örnek olarak Pandrol Bağlantı elemanı görseli yer almaktadır.



Şekil 2 - Pandrol Bağlantı Elemanı

-Yeşil Alan Oluşturma ve Ağaçlandırma

Yeşil alanlar ve ağaçlar, titreşim enerjisini emerek ve dağıtarak, titreşim seviyelerini düşürebilir.

4.3 Alıcıda Titreşim Azaltma Çözümleri

Titreşimlerin alıcıdaki etkilerini azaltmak için çeşitli yöntemler uygulanabilir.

-Yapısal Yalıtım

Binaların temelleri veya duvarları, titreşim yalıtım malzemeleriyle kaplanarak, titreşimlerin yapıya iletilmesi azaltılabilir.

-Titreşim Sönümleyiciler

Yapılara yerleştirilen titreşim sönümleyiciler (örneğin, kütle sönümleyiciler, sıvı sönümleyiciler), titreşim enerjisini emerek, yapısal tepkileri azaltabilir (Connolly ve diğerleri, 2015).

-Aktif Titreşim Kontrol Sistemleri

Sensörler ve aktüatörler yardımıyla titreşimleri gerçek zamanlı olarak algılayıp, karşıt fazda titreşimler üreterek sönümlemeyi sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler, özellikle hassas ekipmanların veya yapıların korunması için kullanılabilir.

Bu çözümler, demiryolu sistemlerinin tasarımında, inşaatında ve işletmesinde göz önünde bulundurularak, titreşim sorunlarının önüne geçilebilir veya etkileri en aza indirilebilir. Hangi çözümün uygulanacağı, projenin özelliklerine, çevresel koşullara, maliyet faktörlerine ve yerel yönetmeliklere bağlı olarak değişebilir. Genellikle, birden fazla yöntemin bir arada kullanılması, daha etkili sonuçlar verebilir.

5. SONUÇ

Demiryolu kaynaklı zemin titreşimlerinin yayılmasında etkili olan faktörlerin anlaşılması, hem ulaşım altyapısının çevresel etkilerinin minimize edilmesi hem de kentleşme sürecindeki olumsuz etkilerin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu faktörlerin dikkate alınarak yapılan mühendislik çözümleri ve stratejiler, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sağlayabilir. Ayrıca, yapıların inşasında kullanılan yöntemler ve çevresel koşullar göz önünde bulundurularak, titreşimlerin olumsuz etkileri en aza indirilebilir.

6. KAYNAKÇA

- Bose, T., Choudhury, D., ASCE, M., Sprengel, J., & Ziegler, M. (2018). Efficiency of Open and Infill Trenches in Mitigating Ground-Borne Vibrations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144(8). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0001915](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001915)
- Celebi, E. (2006). Three-dimensional modelling of train-track and sub-soil analysis for surface vibrations due to moving loads. *Applied Mathematics and Computation*, 179(1), 209–230. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2005.11.095>
- Chik, T. N. T., Brownjohn, J. M. W., & Petkovski, M. (2010). Finite element analysis of ground borne vibrations in sensitive buildings using inputs from free field measurements. *In Proceedings of International Conference on Noise and Vibration Engineering (ISMA)*, 759–771.
- Connolly, D. P., Kouroussis, G., Laghrouche, O., Ho, C. L., & Forde, M. C. (2015). Benchmarking railway vibrations - Track, vehicle, ground and building effects. *Construction and Building Materials*, 92, 64–81. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.042>
- Hanson, C. E., Towers, D. A., & Meister, L. D. (2006). *TRANSIT NOISE AND VIBRATION IMPACT ASSESSMENT*. www.ntis.gov.
- Hung, H. H., Chen, G. H., & Yang, Y. B. (2013). Effect of railway roughness on soil vibrations due to moving trains by 2.5D finite/infinite element approach. *Engineering Structures*, 57, 254–266. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.09.031>

- Hung, H., & Yang, Y. (2001). A Review of Researches on Ground-Borne Vibrations with Emphasis on Those Induced by Trains. In *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A)* (Vol. 25, Issue 1).
- Kouroussis, G., Connolly, D. P., & Verlinden, O. (2014). Railway-induced ground vibrations – a review of vehicle effects. In *International Journal of Rail Transportation* (Vol. 2, Issue 2, pp. 69–110). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/23248378.2014.897791>
- Liu, B., Su, Q., Liu, T., & Li, T. (2017). Dynamic response of water saturated subgrade surface layer under high speed train using moving element method. *Journal of Vibroengineering*, 19(5), 3720–3736. <https://doi.org/10.21595/jve.2017.18187>
- Öztürk, Z., & Arlı, V. (2009). *Demiryolu Mühendisliği*. İstanbul Ulaşım A.Ş.
- Real, J., Zamorano, C., Asensio, T., & Real, T. (2013). Study of the mitigation of tram-induced vibrations on different track typologies. *Journal of Vibroengineering*, 15(4), 2057–2075.
- Thompson, D. (2009). *Railway Noise and Vibration Mechanisms, Modelling and Means of Control*. Elsevier.
- UIC. (2017). *Railway Induced Vibration - State of Art Report*.
- UIC. (2020). *Train Track Interaction Sector - Acoustics*.