



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK
FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Cilt/Vol: 34

Sayı/Issue: 3

Eylül/September 2019

ISSN 1019-1011



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi (Owner)

Mesut BAŞIBÜYÜK
Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı

Editör (Editor)

Özen KILIÇ

EDİTÖR KURULU (Editorial Board)

Selma Ayşe ÖZEL (ÇÜ)	Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (ÇÜ)
Mustafa GÜVEN (ÇÜ)	Özen KILIÇ (ÇÜ)
Ahmet Mahmut KILIÇ (ÇÜ)	Olcayto KESKİNKAN (ÇÜ)
Hüseyin AKILLI (ÇÜ)	Ali KESKİN (ÇÜ)
Ulus ÇEVİK (ÇÜ)	R. Tuğrul OĞULATA (ÇÜ)
Ali KOKANGÜL (ÇÜ)	F. Duygu SABAN (ÇÜ)
Mesut BAŞIBÜYÜK (ÇÜ)	Hüseyin R. YERLİ (ÇÜ)
İsmail Hakkı ÇAĞATAY (ÇÜ)	Nil YAPICI (ÇÜ)
Metin GÜRÜ (GÜ)	Serter ATABAY (AUS-BAE)
Mehmet Emin AYDIN (UWE-İngiltere)	Muammer KOÇ (HBKU-BAE)
Azra BİLGİN (UCB-ABD)	Tamio ENDO (MU-Japonya)

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

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

YAZIŞMA ADRESİ/CONTACT

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

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, yılda dört sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Dergi akademik ve araştırma kurumlarındaki mühendislik ve mimarlık alanındaki araştırmacı ve uygulamacılara hizmet etmeyi amaçlamaktadır. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan yenilikçi, değerli ve yararlı araştırma makaleleri kabul edilmektedir.

AIM and SCOPE

Journal of the Engineering and Architecture of Çukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published quarterly. The journal aims to serve researchers and practitioners in the fields of engineering and architecture in academic and research organizations. All innovative, valuable, and useful research articles including original and current scientific research and applications, previously unpublished anywhere else, will be regarded.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Geology and Geochemistry of Carbonate Hosted Pb-Zn Deposit on North-east Part of Kahramanmaraş (Helete) in Engizek Belt..... 1**
Kahramanmaraş Kuzeydoğusundaki Engizek Askuşağında (Helete) Karbonatlı Kayaçlar ile İlişkili Pb-Zn Yatağının Jeolojisi ve Jeokimyası
Yusuf URAS, Cihan YALÇIN ve Abdullah BALABAN
- Enhancing the Flame Retardancy of UV Curable Polyurethane Acrylate Coated Films with Alumina Trihydrate Filling 11**
Ultraviyole (UV) Işıma ile Kürlenebilen Poliüretan Akriyat Kaplama Filmlerin Alev Geciktirici Özelliğinin Alümina Trihidrat Dolgu Malzemesi Kullanılarak İyileştirilmesi
Berdan KALAV, Ezgi ISMAR ve Burçak KARAGÜZEL KAYAOĞLU
- Sıkıştırma ile Ateşlemeli Bir Motora Hidrojen İlavésinin Egzoz Emisyonlarına Etkisi..... 21**
Effect of Hydrogen Addition on Exhaust Emissions in a Compression Ignition Engine
Mehmet AKÇAY, İlker Turgut YILMAZ, Ahmet FEYZİOĞLU ve Salih ÖZER
- Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama..... 35**
Determination of Biogas Production Potential from Animal Manure: A Case Calculation for Adana Province
Hüseyin YAĞLI ve Yıldız KOÇ
- Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı Yaklaşımı..... 49**
Sustainable Lighting Design Approach in Educational Buildings
Kasım ÇELİK ve F. Rengin ÜNVER
- TiO₂ Nano Toz Katkılı SiO₂ Nanosollerin Keten Kumaşlar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi..... 65**
Investigation of the Effects of SiO₂ Nanosols with TiO₂ Nanopowder on Some Properties of Colored Linen Fabric
Sabiha SEZGİN BOZOK ve R. Tuğrul OĞULATA
- Sağlık Sistemlerinde Karma Dağılım Modellerinin Uygulanması 73**
Applications of Mixed Distribution Models in Healthcare Systems
Melik KOYUNCU
- Açık Ocak Üretim Planlaması için Örnek Bir Uygulama 85**
A Sample Application for Open Pit Mine Production Planning
Ebru KARAKURT ve Ahmet Hakan ONUR

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Effects of Feature Extraction Techniques on Classification of Turkish Texts	95
<i>Nitelik Çıkarımı Yöntemlerinin Türkçe Metinlerin Sınıflandırılmasına Etkisi</i>	
Özge AKDOĞAN ve Selma Ayşe ÖZEL	
A Strategic Solution to Turkey's Intermediate Goods Problem: Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone	109
<i>Türkiye'nin Ara Ürünler Sorununa Stratejik Bir Çözüm: Ceyhan Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi</i>	
Fırat EKİNCİ ve Mehmet BİLGİLİ	
Süt Endüstrisi Atıksularının Yukarı Akışlı Anaerobik/Aktif Çamur Reaktörleri ile Arıtılabilirlik Çalışması	123
<i>Treatment of Dairy Industry Wastewater Using Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket/Activated Sludge Reactors</i>	
Şevket TULUN	
Development of a Test Apparatus for Estimation of Friction Parameters at Linear Pneumatic Cylinders	131
<i>Linear Pnömatik Silindirelerin Sürtünme Parametrelerinin Değerlendirilmesi için Bir Test Düzenine Geliştirilmesi</i>	
Mustafa DAĞDELEN ve Mehmet İteriş SARIGEÇİLİ	
Karbon Nanopartiküllerin Epoksi Yapıştırıcılarda Etkilerinin İncelenmesi	143
<i>Investigation of Effects of Carbon Nanoparticles on Epoxy Adhesives</i>	
Sinan AYDIN	
Fotokopi Merkezlerinde Uçucu Organik Bileşiklere Maruziyet.....	155
<i>Exposure to Volatile Organic Compounds in Photocopy Centers</i>	
Gülnihal KARA	
Urban Transformation and Public Housing in Residential Areas: Adana-Yüreğir District Public Housing Projects	163
<i>Konut Alanlarında Kentsel Dönüşüm ve Toplu Konutlar: Adana İli Yüreğir İlçesi Toplu Konut Projeleri</i>	
Fatma Seda ÇARDAK	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- TIG ve MIG Kaynağı ile İşlem Gören 304 ve 1040 Çeliklerin ITAB Bölgesindeki Mekanik Özelliklerin İncelenmesi 171**
Investigation of the Mechanical Properties of 304 and 1040 Steels in the HAZ Region by TIG and MIG Welding
İsmail TOPCU
- Enerji Etkin Bina Tasarımında Güneş Enerjisinden Pasif Yararlanma: Karataş Açık Ceza Evi Tekstil Atölyesi Projesi 183**
Passive Solar Energy Utilization in Energy Efficient Building Design: Karataş Open Prison Textile Workshop Project
Mustafa YEĞİN
- İnşaat Proje Organizasyonlarında Kişiler Arası Çatışma Çözüm Yaklaşımları ile Kişilik Özellikleri Arasındaki İlişki..... 195**
The Relationship between Conflict Resolution Approaches and Personality Characteristics of Construction Project Organization
Tülay ÇİVİCİ
- Jet Lüle ile İklimlendirmesi Yapılan bir Ofis Modelinde Konfor Seviyesinin (PMV/PPD) Sayısal Olarak Belirlenmesi..... 207**
Numerical Determination of Comfort Level (PMV / PPD) in an Office Model with Jet Nozzle
Alper YILDIRIM ve Coşkun ÖZALP
- Kitosan-Vişne Çekirdeği Kabuğu Pirolitik Çarı Kompozit Boncuklarının Sentezi ve Karakterizasyonu: Cr(VI) Gideriminde Kullanılması 219**
Synthesis and Characterization of Chitosan-Cherry Kernel Shell Pyrolytic Charcoal Composite Beads: Using at the Cr(VI) Removal
Türkan ALTUN ve Hüseyin ECEVİT
- İçme Sularında Bulunan E. Coli Bakterilerinin Görüntü İşleme Yöntemleriyle Tespiti..... 235**
Determination of E. Coli Bacteria in Drinking Waters Using Image Processing Techniques
Evren DEĞİRMENCİ, Ahmet Hilmi KALOĞLU, Emre GÜVEN, Samet DURAK ve Hakan ORBUK

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Karayolu Temel/Alttemel Zemin Uygulamaları: Çorum/Merzifon Ayrımı-Mecitözü-Amasya/Turhal Ayrımı..... 247**
Highway Foundation/Subbase Soil Applications: Çorum/Merzifon Road Junction-Mecitözü-Amasya/Turhal Road Junction
Özen KILIÇ ve Eren ÖZDAMAR
- Metal İçerikli Örme Kumaşların Mukavemet ve Uzama Özelliklerinin İncelenmesi 255**
Investigation of Strength and Elongation Properties of Metal Containing Knitted Fabrics
İlkan ÖZKAN
- Yüksek pH Dayanımlı Yeni Tip Demir Şelat Formülünün Hazırlanması ve Yerfıstığı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi..... 261**
Preparation of New Type Iron Chelate Formula with High pH Resistance and Investigation of its Effects on Peanut
İlyas GÖNÜL, Anıl DELİKANLI ve Selahattin SERİN
- Van İlindeki Tehlikeli Atıkların Mevcut Potansiyelinin Belirlenmesi 271**
Determination of Current Potential of Hazardous Wastes in Van Province
Dilara ÖZTÜRK

Geology and Geochemistry of Carbonate Hosted Pb-Zn Deposit on North-east Part of Kahramanmaraş (Helete) in Engizek Belt

Yusuf URAS^{*1}, Cihan YALÇIN², Abdullah BALABAN¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

²Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Burdur İl Müdürlüğü, Burdur

Geliş tarihi: 16.05.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Abstract

The aim of this study is to reveal the geological and geochemical properties of Pb-Zn mineralizations associated with carbonate rocks along the Helete (Kahramanmaraş) district in Taurus Orogenic belt. The Paleozoic Malatya metamorphics and Eocene sedimentary rocks are present in the Helete region within the area defined as Engizek Belt (North of Kahramanmaraş) in the Eastern Taurus Orogenic belt. In the Gümüşbanı region, there are bariteed Pb-Zn mineralizations in the Paleozoic Malatya metamorphic rocks. Epigenetic mineralization observed in fractures and cracks is vein-type and disseminated. The thickness of the veins varies between 1 cm and 10 cm. The ore paragenesis contains barite, galena, sphalerite, chalcopyrite, fluorite and covellite. In geochemical analysis of samples taken from ore zone, Pb reaches maximum 50.21%, Zn maximum 51.99% and BaO 52.13%. In geochemical analysis, the ore zone has a maximum of 50.21% Pb and Zn a maximum of 51.99%. In the isotope geochemistry study, the value of $\delta^{34}\text{S}$ was determined between 10.92 and 11.24‰. As a result of the field and laboratory studies, it was determined that the mineralization was limited to the fractured lines and Paleozoic aged carbonate rocks, and S in the ore-forming solution pointed out to the continental origin.

Keywords: Taurus orogenic belt, Engizek belt, S isotope, Pb-Zn deposit, Helete

Kahramanmaraş Kuzeydoğusundaki Engizek Askuşığında (Helete) Karbonatlı Kayaçlar ile İlişkili Pb-Zn Yatağının Jeolojisi ve Jeokimyası

Öz

Bu çalışmanın amacı Toros Orojenik kuşağında yer alan Helete (Kahramanmaraş) bölgesindeki karbonatlı kayaçlar ile ilişkili Pb-Zn cevherleşmelerinin jeolojik ve jeokimyasal özelliklerini ortaya koymaktır. Doğu Toros Orojenik kuşağında Engizek Askuşığı (Kahramanmaraş kuzeyi) olarak tanımlanan alan içerisindeki Helete bölgesinde Paleozoyik yaşlı Malatya metamorfikleri ve Eosen yaşlı sedimanter kayaçlar bir arada bulunmaktadır. Gümüşbanı bölgesinde de Paleozoyik yaşlı Malatya metamorfikleri içerisindeki karbonatlı kayaçlar ile ilişkili baritli Pb-Zn cevherleşmeleri bulunmaktadır. Kırık ve çatlaklarda gözlenen epigenetik oluşumlu cevherleşme damar tipi şeklinde ve saçınımlıdır. Damar kalınlıkları 1 cm ile 10 cm arasında değişmektedir. Cevher parajenezi barit, galenit, sfalerit, kalkopirit, florit ve kovellit şeklindedir. Cevher zonundan alınan örneklerin jeokimyasal analizinde Pb maksimum

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yusuf URAS, uras74@gmail.com

%50,21, Zn maksimum %51,99 ve BaO ise %52,13 değerine ulaşmaktadır. İzotop jeokimyası çalışmasında $\delta^{34}\text{S}$ değerinin 10,92-11,24‰ arasında olduğu belirlenmiştir. Yapılan saha ve laboratuvar çalışmaları sonucunda cevherleşmenin kırık hatları ve Paleozoyik yaşlı karbonatlı kayalar ile sınırlı olduğu, cevher oluşturan çözeltilerdeki S'nin de kıtasal kökene işaret ettiği belirlenmiştir.

Keywords: Toros orojenik kuşağı, Engizek askuşağı, S izotopu, Pb-Zn yatağı, Helete

1. INTRODUCTION

Ketin [1] classified the orogenic belts of Turkey into 4 different classes as Pontides, Anatolides, Taurides and Border folds. In the Taurides, which are one of these belts, sedimentary, ophiolitic, metamorphic massifs and lithologies of ophiolitic melange type are present in the Cambrian-Tertiary range [1]. Perinçek [2] stated that the Malatya metamorphites located in the region throughout the Eastern Taurus Orogenic Belt is the creep structure located at the top. The area has complex structural features by thrusts and faults is related to the closure of the southern branch of the Neotethys Ocean [3]. Gül [4] classified Kahramanmaraş and its vicinity as Orogenic Belt (Engizek, Binboğa, Misis-Andırın and Malatya belt), Edge Fold Belt, Fold Belt and Foreland. Yalçın [5] described Berit Metaophiolite, Kaleköy and Ziyaret Tepe tectonic slices belonging to the Malatya metamorphites on

western part of Helete (Kahramanmaraş) [6]. Haniççi et al. [7] reported that MVT and SEDEX Type Pb-Zn deposits were associated with carbonated rocks along the Taurus belt. On Eastern Taurus Orogenic belt (Figure 1a) the study area (Helete-Kahramanmaraş), where barite lead-zinc enrichment associated with carbonate rocks is observed in the Malatya metamorphics, is located on Engizek Belt (Figure 1b).

Geographically, Pb-Zn mineralizations associated with carbonate rocks in Central Taurus were investigated by many researchers [8-21]. These deposits are generally present in paragenesis with barite in fluorites [8]. Haniççi et al. [7] reported that the Pb-Zn formation associated with carbonated rocks in the eastern and central Taurus orogenic belt presents similar geological features to MVT deposits.

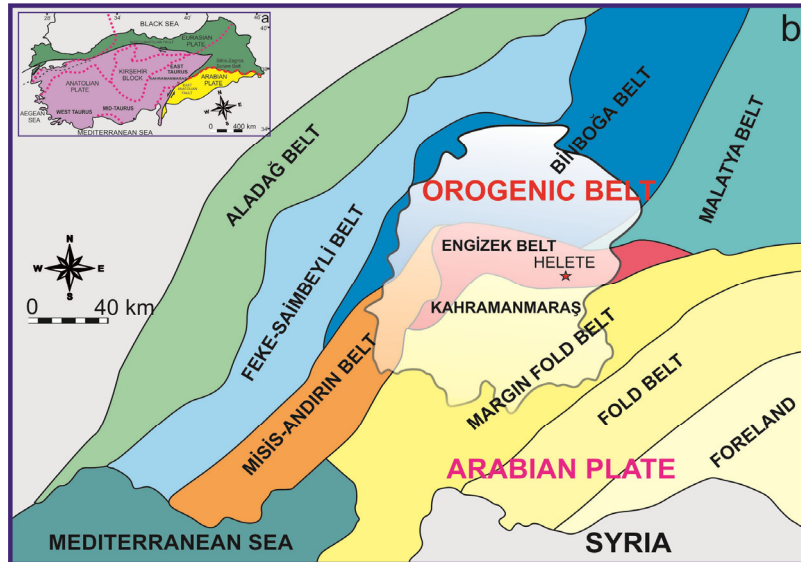


Figure 1. a. Tectonic location map of the study area (Modified from Işık [22]), b. Location of the study area in tectonic belts in and around Kahramanmaraş (Modified from Gül [4])

The geological and geochemical features of the Helete mineralization, which has a similar formation to the Pb-Zn deposits observed along the Taurus Orogenic belt, were firstly introduced in this study. The fact that both the tectonic position is close to the zone where the Anatolian-Arabian plate collided and the mineralization is related to the carbonate rocks may indicate a significant mineralization.

2. GEOLOGICAL FRAMEWORK

There are lithostratigraphic units between Paleozoic and Quaternary aged in the study area (Figure 2). Malatya Metamorphics which are the oldest units of the region are composed of schist,

marble, calcschist and crystallized limestones. The Malatya metamorphics were named in various ways by many researchers [23-25]. Eocene sedimentary rocks are formed on the basic units. Eocene sedimentary rocks consist reddish gravelstone, clayey stone, mudstone, marl and limestone.

Pb-Zn mineralizations are observed in marble blocks observed in relation to Paleozoic Malatya metamorphics (Figure 3). Mineralization observed in fractures and cracks as vein type and disseminated. The thickness of the veins varies between 1 cm and 10 cm in this mineralization with epigenetic formation.

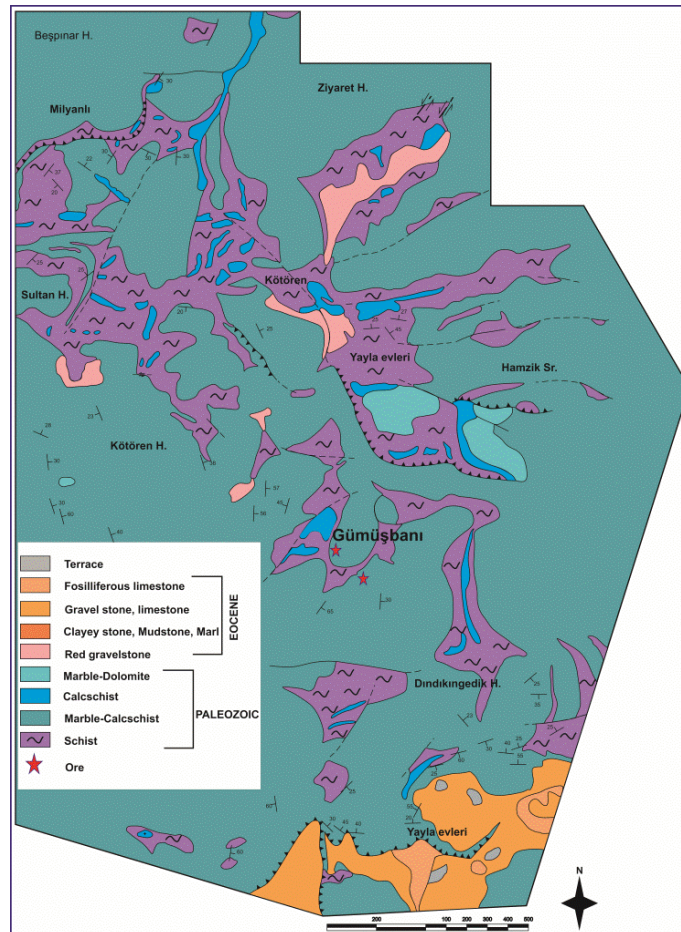


Figure 2. Geological map of the study area (Modified from Gedik [26])

3. MATERIAL AND METHODS

Geological map was prepared according to the contact relations of the ore zone and its vicinity. Samples were taken from the ore zone for petrographic and geochemical studies. Petrography and ore microscopy studies were carried out in the Petrography laboratory of the Kahramanmaraş Sütçü İmam University.

5 ore and host rock samples taken from the study area were transformed into agate mortar in the geochemistry laboratory of Kahramanmaraş Sütçü İmam University and sent to the Acme Laboratory (Vancouver, Canada). For geochemical analysis of samples, major oxide and trace elements calculated via LIBO2 FUSION and ICP/MS method.

Isotope analysis was performed in Iso-Analytical Laboratory. $\delta^{34}\text{S}$ analysis of galena samples were performed on EA-IRMS device.

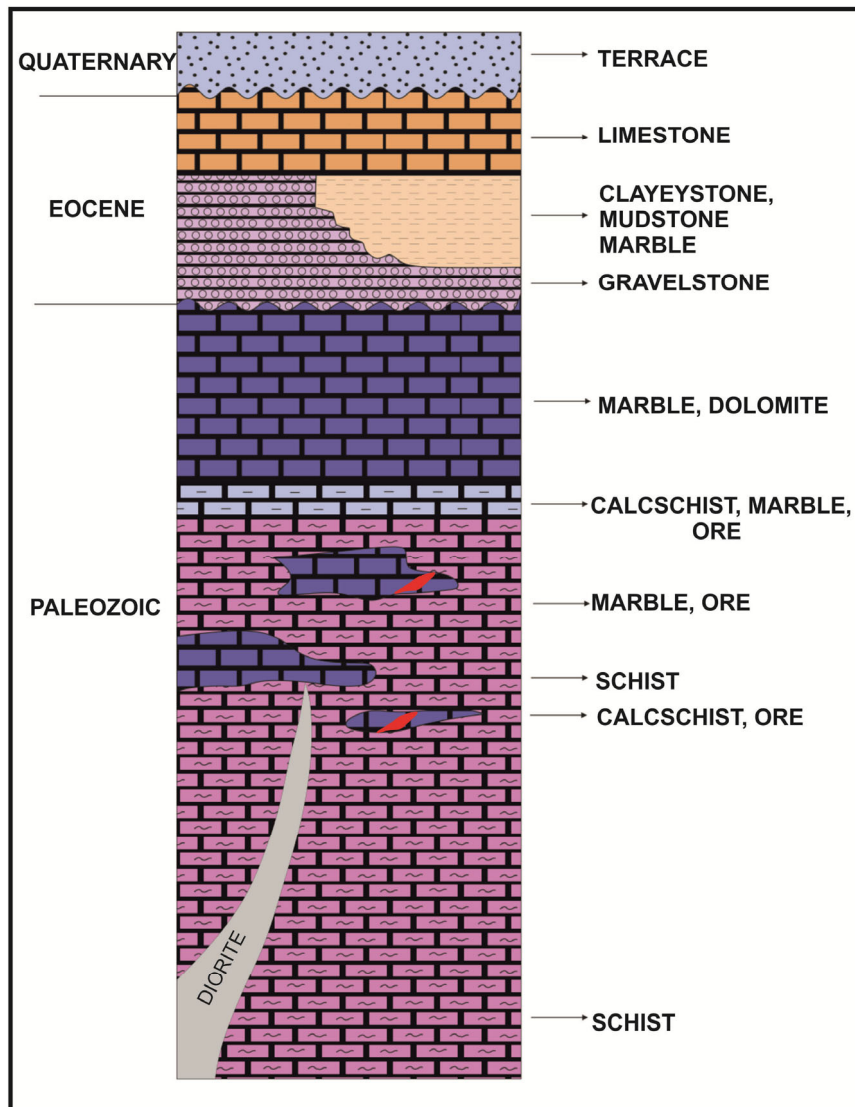


Figure 3. Geological cross section of the study area (Modified from Gedik [26]).

4. MINERALOGY

The thin sections of the samples collected from the ore zone are accompanied by calcite, dolomite and barite. Secondary quartz minerals are commonly observed in broken lines. Calcite and dolomite dominate in fractures and cracks (Figure 4).

In the ore microscopy; galenite, sphalerite, chalcopyrite, pyrite, covellite and barite minerals

were determined. Brecciated ore minerals in the region due to the effect of fault zones are closely related to the silicic veins that develop secondary (Figure 5 a). Silicification was developed by hydrothermal alteration. Galenite replaces chalcopyrite in some parts and dolomite replaces galena (Figure 5b). Galenite and sphalerite minerals formed later in the system after pyrite and chalcopyrite formation (Figure 5 c-d).

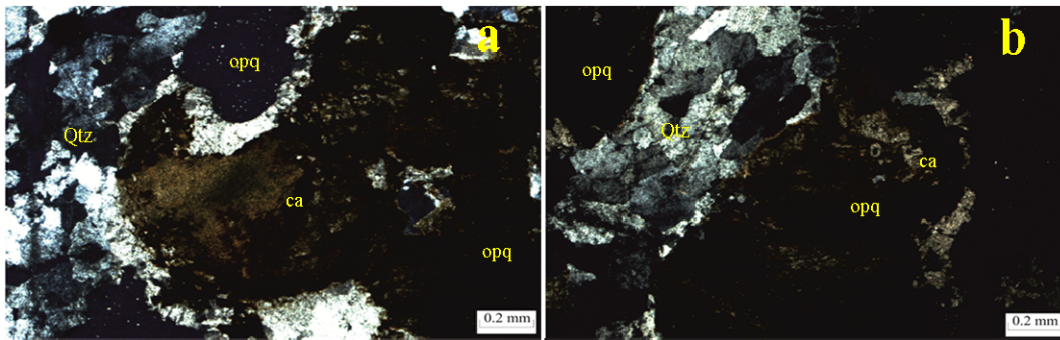


Figure 4. Polarizan microscopy of the host rock (Qtz: kuvars, opq: opaque mineral, ca: calcite)

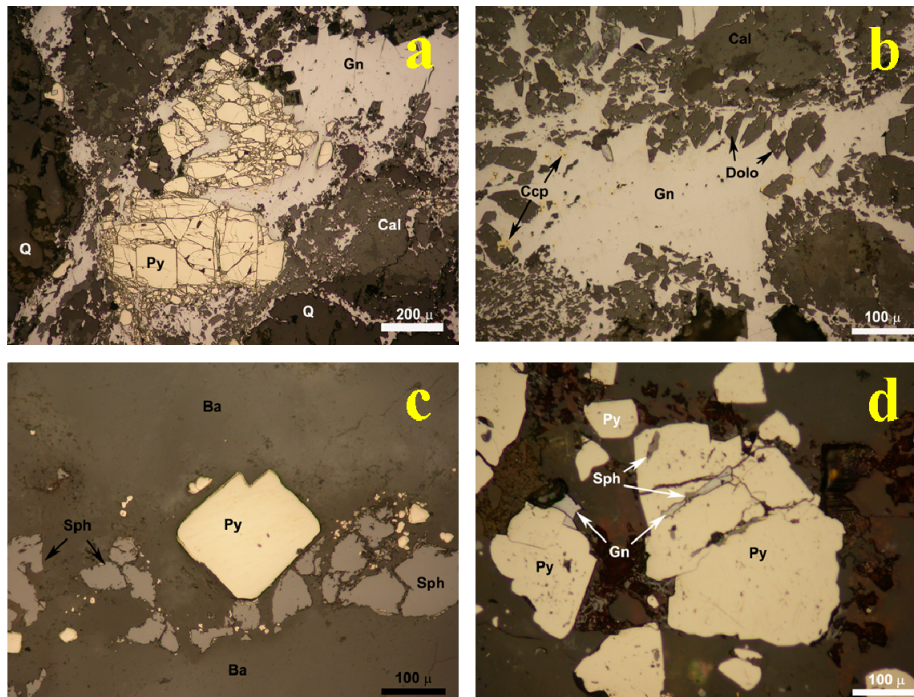


Figure 5. Ore microscopy (Gn; galenite, Sph; sphalerite, Ccp; chalcopyrite, Py; pyrite, Ba; barite, cal; calcite, Dolo; dolomite, Q; quartz)

For succession, 2 separate phases have been identified. These are the pre-stage and ore formation phase (hydrothermal phase).

Galenite and sphalerite form the major ore minerals (Figure 6). Firstly pyrite and chalcopyrite minerals were formed and in the late phase

galenite and sphalerite were accompanied by mineralization. In the mineralization associated with the barite, fluorite was formed by the cooling of the fluid. Quartz, dolomite and calcite are found as gangue minerals. Limonitization is common in the supergenic alteration zone.

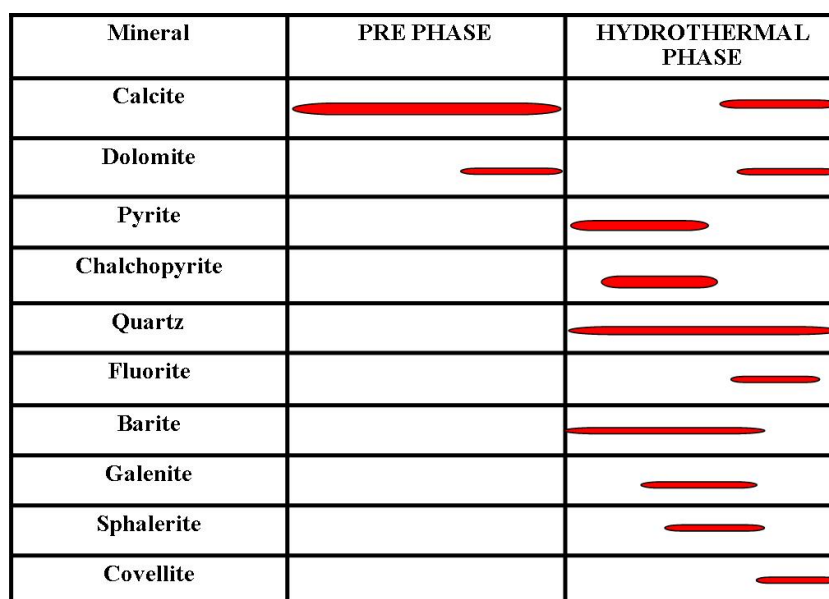


Figure 6. Paragenesis and succession of the mineralization

5. GEOCHEMISTRY

In geochemical analysis of samples taken from ore zone, Pb reaches maximum 50.21%, Zn maximum 51.99% and BaO 52.13%. (Table 1). According to the results of the analysis; the major oxide contents (SiO₂, Al₂O₅, Fe₂O₅, Na₂O, TiO₂) offer values of

16.49% or less. The trace element content is approximately 3.47%. There are trace amounts of Cu and Ag. High Hg, As and Sr values are observed in ore samples. A positive anomaly of As and Hg shows that the temperature in the solution is gradually decreasing.

Table 1. Major oxide and trace element results of the samples collected in ore zone

Formula	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5
SiO ₂	%0.93	%0.49	%16.49	%14.84	%11.65
Al ₂ O ₃	%0.05	%0.014	%0.23	%10.70	%0.71
Fe ₂ O ₃	%0.15	%0.67	%1.05	%0.43	%3.14
CaO	%1.27	%0.06	%0.05	%11.36	%3.78
Na ₂ O	%0.21	%0.18	%0.16	%0.29	%0.38
TiO ₂	%0.07	%0.05	%0.09	%0.06	%0.12
MnO	%0.02	%0.06	%0.03	%0.55	%0.84
BaO	%31.61	%21.11	%49.20	%40.23	%52.13
SO ₃	%22.99	%21.91	%25.36	%22.84	%21.98

Pb	%40.82	%50.21	%0.13	%0.78	%8.38
Zn	%0.97	%3.69	%3.47	%51.99	%0.19
Trace El. (ppm) Cl	277	379	624	802	445
Th	23	81	325	429	396
Ni	59	58	1242	8483	6256
As	502	946	1254	2492	2124
Ag	452	293	472	170	298
Ga	620	1000	589	627	800
Cu	419	309	122	235	228
Hg	313	404	1274	2124	1487
Sr	4880	4604	6883	45	6577
LOI	0.1	0.001	2.86	5	1.97

On the other hand the $\delta^{34}\text{S}$ isotope analysis of the galena in the study area is between 10,92 and 11,24‰. The results of the analysis were evaluated by Hoefs [27] $\delta^{34}\text{S}$ (‰) diagram (Figure 7).

According to the isotope values observed in a narrow range, S in the ore-forming solution pointed out to the continental origin.

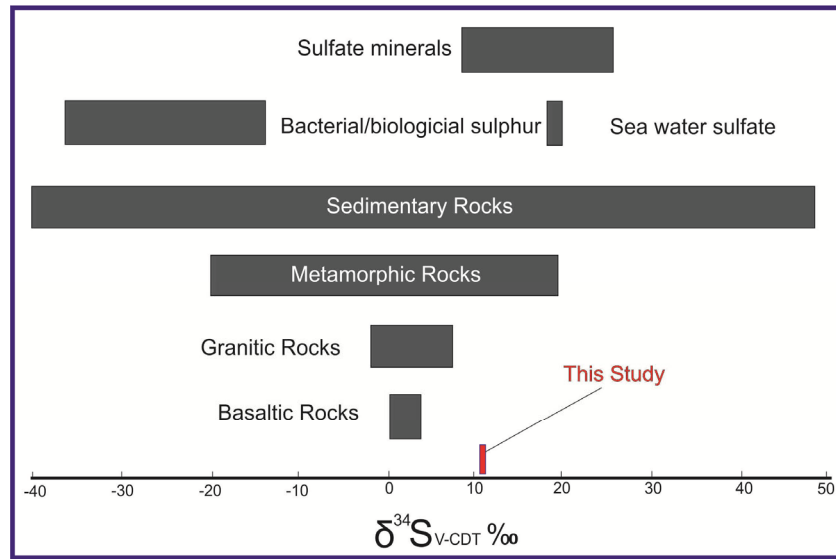


Figure 7. Position of $\delta^{34}\text{S}$ (‰) isotope values in Hoefs [27] diagram

6. DISCUSSION

Helete Pb-Zn mineralization is vein type and disseminated. This mineralization with epigenetic character is similar to the mineralization of Bolkardağı, Göktepe, Aladağ and Çayarası [8-12, 17,21]. In the previous studies, $\delta^{34}\text{S}$ values are reduced to a narrow area according to the S isotope results obtained in the Central Taurides [13,18]. The isotope results of the Helete Pb-Zn deposit are

similarly reduced to a narrow area. Kuşçu [8] stated that in some areas in the Pb-Zn mineralization around Göktepe, not only barite, but also fluorite is located in paragenesis in some areas. In the vicinity of the Helete, both barite and fluoride are observed in paragenesis.

Zhou et al. [28] reported that Pb-Zn deposits developed as vein type and epigenetic character in Paleozoic carbonate in the compressive regime due

to the closure of Paleotethys in southeastern of China. The disseminated ore paragenesis consists of galenite, sphalerite, barite and fluorite [28-30]. Helete deposit offers similar features in this regard.

7. CONCLUSIONS

As a result; in this zone, where vein type mineralization is seen on Eastern Taurus Orogenic Belt (Engizek Belt), galena and sphalerite represents high temperature phase of ore formation phase, barite and fluorite represents the relatively low temperature phase. Pb-Zn mineralizations associated with metamorphosed carbonate rocks in Malatya metamorphites as well as the other mineralizations on Taurus Belt. The mineralization was limited to the fractured lines and Paleozoic aged carbonate rocks, and S in the ore-forming solution pointed out to the continental origin via isotope results.

8. ACKNOWLEDGEMENT

This article was supported by the Scientific Research Unit of the Kahramanmaraş Sütçü İmam University. Project No: 2015/1-27YLS.

9. REFERENCES

1. Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. MTA Dergisi, 66, 20-34.
2. Perinçek, D., 1978. Çelikhan- Sincik- Koçali (Adıyaman ili) Alanının Jeolojisi ve Petrol Olanaklarının Araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, 212.
3. Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y., Ketin, İ., 1982. Remnants of a Pre-late Jurassic Ocean in Northern Turkey, Fragments of Permian-Triassic Paleo-Tethys? Reply. Geol. Soc. America Bull., 93, 932-936.
4. Gül, M. A., 2000. Kahramanmaraş Yöresinin Jeolojisi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 304.
5. Yalçın, C., 2012. Çağlayancerit (Kahramanmaraş) Batısının Tektono-Stratigrafisi ve Yapısal Evrimi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129.
6. Yalçın, C., Kop. A., 2018. Tectono-Stratigraphic Investigation of Western Part of Çağlayancerit (Kahramanmaraş). 1st International Symposium on Graduate Research in Science Focus on Entrepreneurship and Innovation (ISGRS 2018), Abstract Book, , ISBN: 978-605-07-0667-3, October 4-6, 2018, İstanbul, Turkey, 146-147.
7. Haniçli, N., Öztürk, H., Kasapçı, C., 2019. Carbonate-Hosted Pb-Zn Deposits of Turkey. In: Pirajno F., Ünlü T., Dönmez C., Şahin M. (eds) Mineral Resources of Turkey. Modern Approaches in Solid Earth Sciences, Springer, Cham, 16, 497-533.
8. Kuşçu, M., 1985. Göktepe (Ermenek-Konya) Yöresinin Pb-Zn Zuhurları. TJK Bülteni, 28, 35-46.
9. Temur, S., 1992. Bolkardağı yöresi Zn-Pb Yataklarının Jeokimyasal İncelemesi, TJK Bülteni, 35(2), 101.
10. Kuşçu, M., Cengiz, O., 2001. Karbonatlı kayaçlara bağlı Orta Toroslar Zn-Pb cevherleşmelerinin kükürt izotopları incelemesi. TJK Bülteni, 44(3), 59-73.
11. Yalçın, M. G., Metin, S., Altuncu, S., Çiftçi, E., 2001. Germanium Contents of Carbonate-Hosted Pb-Zn Ores Occuring in Aladağ District (Zamantı-Niğde). Geosound, 40/41, 29-38.
12. Yalçın, M. G., Çiftçi, E., Çopuroğlu İ., 2004. Bolkardağ (Orta Anadolu-Niğde-Ulukışla) Civarında Bulunan Damar Tipi Pb-Zn Yataklarının Mineralojik İncelenmesi. JMO 57. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 250-251.
13. Haniçli, N., Öztürk, H., 2003. Stable Isotope and Microthermometric Studies in Carbonate-hosted Pb-Zn Deposits in Aladağlar, Eastern Taurus, Turkey. Abstract Books 56th Geological Congress of Turkey, Ankara, 112-114.
14. Haniçli, N., 2003. Formation of the Carbonate-hosted Pb-Zn Deposits in Central and Eastern Taurus [unpublished Ph. D. thesis]. Natural Science Institute, İstanbul University, İstanbul, 166.
15. Haniçli, N., Öztürk, H., 2005. Mississippi Valley Type Zn-Pb Deposits in the Aladağlar-Zamantı (Eastern Taurus) Region: Ayraklı and

- Denizovası Zn-Pb deposits, Turkey. *İstanbul Earth Sci Rev.* 18(2), 23–43.
16. Haniç, N., Öztürk, H., 2011. Geochemical/Isotopic Evolution of Pb-Zn Deposits in the Central and Eastern Taurides, Turkey. *Int Geol Rev*, 53(13), 1478–1507.
 17. Gökce, A., Bozkaya, G., 2003. Karalar Geology and Fluid Inclusion Characteristics of the Karalar (Gazipaşa-Antalya) Barite – Galena Deposits. *Geol Bull Turk*, 46, 1–16.
 18. Cengiz, O., Kuşçu, M., 2005. Geological Properties of Galena-Bearing Barite and Barite Deposits in the Central Taurides. 41st Forum on the Geology of Industrial Minerals, ITU.
 19. Koptagel, O., Ulusoy, U., Fallick, A.E., 2007. Sulfur and Lead Isotope Investigations of the Carbonate-Hosted Pb-Zn Deposits in the Yahyalı Region, Kayseri, Southern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16(1), 57-76.
 20. Kahya, A., Kuscu, E., Cengiz, O., Yildiz, M., 2014. Geology and Mineralogy of Carbonate-Hosted Au-Ag±Pb-Zn Deposits in the Maden Village (Ulukisla), Nigde, SE Turkey. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology&mining Ecology Management*, 1, 175.
 21. Gümüş, L., Kumral, M., Yalçın, C., Kaya, M., Ünlüer, T.A., Öztürk, S., Karaman, M., 2018. Aladağ Birliği (Çayarası-Alanya) İçerisinde Karbonatlı Kayaçlar ile İlişkili Baritli Zn-Pb Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Jeokimyası. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Kapadokya Yerbilimleri Sempozyumu Özel Sayısı*, 7(3), 1209-1213.
 22. Işık, V., 2016. Torosların Jeolojisi; Türkiye Jeolojisi Ders Notu. Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
 23. Perinçek, D., Kozlu, H., 1984. Stratigraphic and Structural Relations of the Units in the Afşin-Elbistan-Doğanşehir Region (Eastern Taurus). In Tekeli, O., Göncüoğlu, M.C. (Eds), *Geology of Taurus Belt, Ankara-Turkey*, 181-198.
 24. Yıldırım, M., 1989. K. Maraş Kuzeyindeki (Engizek-Nurhak Dağları) Tektonik Birliklerin Jeolojik, Petrografik İncelemesi. İ.Ü. Doktora Tezi, İstanbul (yayınlanmamış).
 25. Yiğitbaş, E., 1989. Engizek Dağı (K.Maraş) Dolayındaki Tektonik Birliklerin Petrolojik İncelenmesi. İ.Ü. Doktora Tezi, İstanbul, 347.
 26. Gedik, İ., 2011. Helete Kuzeyinin Jeoloji Haritası. META Mühendislik.
 27. Hoefs, J., 1987. *Stable Isotope Geochemistry*. (3rd ed.). Springer-Verlag, Heidelberg, 241.
 28. Zhou, J. X., Huang, Z. L., Ye, L., Bao, Z., Liu, Y., Xia, Y., 2015. Research Progress of the Mineralization of Carbonate-hosted Pb-Zn Deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou Pb-Zn Metallogenic Province, Southwest China. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 89(1), 307-308.
 29. Zhou, J. X., Bai, J. H., Huang, Z. L., Zhu, D., Yan, Z. F., Lv, Z. C. 2015. Geology, Isotope Geochemistry and Geochronology of the Jinshachang Carbonate-hosted Pb–Zn Deposit, Southwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 98, 272-284.
 30. Zhou, J. X., Huang, Z. L., Lv, Z. C., Zhu, X. K., Gao, J. G., Mirnejad, H., 2014. Geology, Isotope Geochemistry and Ore Genesis of the Shanshulin Carbonate-hosted Pb–Zn Deposit, Southwest China. *Ore Geology Reviews*, 63, 209-225.

Enhancing the Flame Retardancy of UV Curable Polyurethane Acrylate Coated Films with Alumina Trihydrate Filling

Berdan KALAV¹, Ezgi ISMAR², Burçak KARAGÜZEL KAYAOĞLU^{*1}

¹*Department of Textile Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul*

²*Department of Nanoscience and Nanotechnology, Istanbul Technical University, Istanbul*

Geliş tarihi: 14.01.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Abstract

In this study, the flame retardancy of ultra violet (UV) curable polyurethane acrylate (PU) coated films were enhanced. For this aim, alumina trihydrate (ATH) filling material was mixed with the pastes including a photoinitiator and a UV curable PU. ATH filling ratio was precisely adjusted to obtain a uniform coating. The coated films were cured with a UV curing system equipped with gallium (Ga) and mercury (Hg) lamps. The chemical changes and the curing degree of the UV cured films were examined by a Fourier Transform Infrared Spectrum (FTIR) and a pendulum hardness tester. The thermal properties of the UV cured films were evaluated using a Differential Scanning Calorimeter (DSC). Moreover, vertical flammability and limiting oxygen index (LOI) measurements were conducted in order to determine the burning behavior of the UV cured films. The successful curing of the films was evidenced by means of FTIR results. The addition of ATH slightly increased the hardness values of the films. DSC results showed that ATH addition not only increased the enthalpy values but also enhanced the flame retardant property of the coated films and maximum LOI was achieved as 31.5%.

Keywords: Flame retardancy, Polyurethane acrylate, Coating, UV curable, Aluminum trihydrate, LOI

Ultraviyole (UV) Işıma ile Kürlenebilen Poliüretan Akrilat Kaplama Filmlerin Alev Geciktirici Özelliğinin Alümina Trihidrat Dolgu Malzemesi Kullanılarak İyileştirilmesi

Öz

Bu çalışmada, ultraviyole (UV) ile kürlenebilen poliüretan akrilat (PU) kaplama filmlerin alev geciktirici özelliği iyileştirilmiştir. Bu amaçla alümina trihidrat (ATH) dolgu malzemesi, bir fotobaşlatıcı ve UV ile kürlenebilen PU içeren pat ile karıştırılmıştır. ATH dolgu oranı düzgün bir kaplama elde edilecek şekilde hassas olarak ayarlanmıştır. Kaplanmış filmler galyum (Ga) ve civa (Hg) lambaları ile donatılmış bir UV kürlenme sistemi ile kürlenmiştir. UV ile kürlenmiş filmlerin kimyasal değişimleri ve kürlenme derecesi Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FTIR) ve pendulum sertlik test cihazı ile incelenmiştir. UV ile kürlenmiş filmlerin termal özellikleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, UV ile kürlenmiş filmlerin yanma davranışını belirlemek için dikey yanma ve sınırlı oksijen indeksi (LOI) ölçümleri yapılmıştır. Filmlerin başarılı bir şekilde polimerleştirilmesi FTIR

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Burçak KARAGÜZEL KAYAOĞLU, bkayaoglu@itu.edu.tr

sonuçları ile kanıtlanmıştır. ATH'nin eklenmesi, filmlerin sertlik değerlerinin az bir miktar artmasına sebep olmuştur. DSC sonuçları, ATH ilavesinin sadece entalpi değerlerini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda kaplanmış filmlerin alev geciktirici özelliğini de artırdığını göstermiştir ve maksimum LOI değeri % 31,5 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alev geciktirici, Poliüretan akrilat, Kaplama, UV (ultraviyole) kürleme, Alümina trihidrat (ATH), Sınırlı oksijen indeksi (LOI)

1. INTRODUCTION

UV curable coatings are gaining importance compared to the solvent based thermal curable coatings due to environmental concerns, health and safety risks [1]. Since thermal curable coatings are odorous and generate VOC emission, UV curable coatings have been produced to eliminate these disadvantages [2]. In UV curable coatings, a polymerization reaction of an unsaturated resin induced by incident radiation is followed by a curing reaction which is carried under room temperature within few seconds, transforming the liquid polymer into solid (Figure 1) [3].

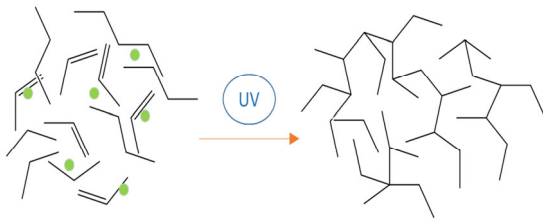


Figure 1. Schematic description of crosslinking of WPU by UV curing

Most of the UV curable formulations include photoinitiators, which are responsible for radical production, together with the reactive resin. The polymerization of the reactive resins occurs generally through polymerizable double bonds. The polymerizations, which are initiated with the photoinitiators, occur in three stages, initiation, propagation and termination. The applied UV energy may split the of C–C and C–H bonds. However, since the common monomers possess low absorbance and insufficient cleavage efficiency, the amount of initiating radicals produced by the monomers after UV exposure are also insufficient. Therefore, photoinitiators are usually included in the formulations [4].

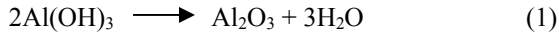
Polyurethane-acrylates (PUA) have been used as coatings, adhesives, fibers, foams, and thermoplastic elastomers [2,5,6].

UV curable coatings find applications in decoration and protection of upholstery and plastic products [3], due to their good properties of flexibility, durability, impact and tensile strength, scratch and abrasion resistance, and weather stability [7].

Burning mechanism can be explained in five basic steps which are; heating, decomposition, ignition, combustion and propagation [8-10]. Combustion is a complex physical and chemical process, and defined by the combination of gas-phase and the condensed-phase actions. Several systematic principles were presented to understand the mechanism, however, it is not possible to identify one dominant mechanism for combustion which have a key role in the flame retardancy [11]. Usage of flame retardants reduces the combustion of the material and limited their smoke or toxic fume [5]. Selection of a flame retardant has a crucial role in the development of FR applications. Well-known way to reduce flammability of the polymeric composite is introducing micro/nano flame retardants into the materials [9]. As inorganic compounds; aluminum trihydrate or aluminum hydroxide (ATH) and magnesium hydroxide were mainly studied metallic hydroxides employed to decrease the polymer's surface temperature and retard the pyrolysis of the polymer due to their endothermic decomposition nature [8,12,13]. According to literature, a coating using a metal oxide can act as an insulating protective layer during combustion [12,14,15].

Flame resistance by aluminum trihydrate, and magnesium hydroxide is obtained by loading a very high portion, i.e. more than 40% wt. %, of the filler materials within the polymer matrix [16,17]. ATH

is a low cost flame retardant active filler used to enhance the flame resistance of the structures [8], [18] which is generally used at higher loading ratios such as 60 weight-% inside the composite [17]. ATH starts decomposition at around 220 °C via endothermic reactions and decomposed as [10]; (Equation 1)



Similar to the other organic materials, Polyurethanes (PUs) are commonly used polymers while they have an important drawback by their flammability [17,19].

It is a major challenge in scientific area to improve fire resistance of PU-based coatings by incorporation of the appropriate fire retardants [20]. In the literature, ATH filler was studied as a fire retardant inside the PU matrix along with mica [5]. However, studies on the use of ATH filling in PU coatings, which can be cured with UV, are limited [4,21-23].

To the best of the authors' knowledge, two studies in the literature examine the effect of incorporation of ATH filler in a UV curable polyurethane acrylate system. Dando *et al.* characterized the effects of different amounts of ATH on the UV transparency, enthalpy of cure, and cure kinetics of UV-curable inks [22].

Parker *et al.* used ATH as an extender in UV-cured PU films, and compared the UV transparency of ATH and silica-filled films. It was reported that, ATH-filled films exhibited higher degrees of cure than the silica-filled system, since ATH did not interfere with the transmittance of UV light [23]. However, the effect of incorporation of ATH filler as a flame retardant in a UV curable polyurethane acrylate film has not been examined in the previous studies. Thus, in the current study, ATH filler was firstly used to improve the flame resistancy performance of a UV curable PU coating and optimal coating and curing conditions were investigated to achieve a uniform coating layer. Flame resistancy of the coating was examined by vertical flammability and limiting oxygen index (LOI) measurements.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials and Methods

Aromatic urethane acrylate based Laromer 9065 was purchased from BASF® and used as received. ATH was purchased from Mikron'S (with a Mw of 78.00) and used in powder form as received and Irgacure® 184 as photoinitiator was delivered from Ciba Specialty Chemical and used without any further purification.

In the literature, UV curable lacquers comprised 1-8% photoinitiator which was adjusted according to the application process and coating requirements [4]. In this study, Irgacure® 184 was used at a ratio of 3.5%. A mechanical mixer (Yokes) was used to obtain a homogeneous mixture of all chemicals. As previously reported, higher mixing speeds are required for a well dispersion of all compounds [10,16,24]. The initial mixture (comprising Laromer/Irgacure/ATH) was first combined together in the beaker and was then mixed at 120 rpm for 5 minutes and subsequently at 3000 rpm for 5 min, at room temperature. A film coating apparatus was used to spread the coating paste on a glass plate to produce the films with 120 µm thickness. Curing process was applied at room temperature in a UV curing machine equipped with gallium (Ga: 380 Volt, λmax: 400-450 nm) and mercury (Hg: 220 Volt, λmax: 300-365 nm) lamps and a conveyor belt with an adjustable speed. The speed of belt was set to 10m/min and applied energy was measured as 1191 mJ/cm² with a UV-Integrator Type D radiometer from Beltron GmbH (Germany).

FTIR (Perkin Elmer) was used to record characteristic peaks of the structure before and after UV curing. Differential Scanning Calorimetry (Perkin Elmer, Q4000) was used for thermal analyses. The König hardness of polymeric films was evaluated with Byk Pendulum Hardness Tester according to the ASTM D4366 and the hardness value was reported in seconds (s). Standard Test Method for Flame Resistancy of Textiles (Vertical Test) ASTM, D6413/D6413M-15 standard was followed for the burning tests. Moreover, the LOI

values of the UV cured films were measured according to the BS 4589-2 standard.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. FTIR Spectrophotometer Analysis

Prepared and cured PU films containing ATH in powder form were investigated with FTIR spectrometer to analyze the chemical changes in structure through curing and compare the difference for changing ATH amounts (PU/ATH; 100/100, 100/120, 100/140, 100/160). As seen in the photographical images of the films in Figure 2, the produced plastic films are flexible and visually semi opaque. Characteristic peaks of PU and ATH recorded by FTIR spectrometer were presented in Figure 3.

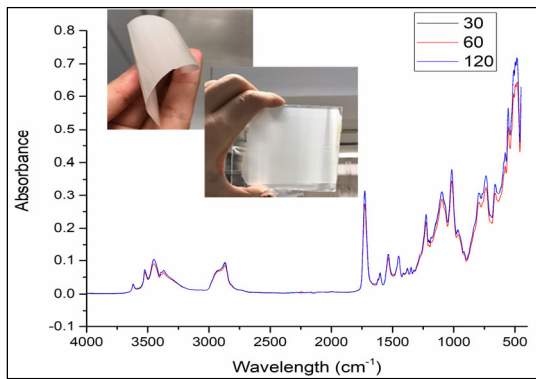


Figure 2. FTIR spectra of different coating thicknesses (30, 60 and 120 μm) of the PU/100 ATH film and inset figure is photograph image of the flexible and homogenous coating of PU/ATH film

At 1720 cm^{-1} C=O stretching bond can be attributed to the urethane [25,26]. Amide-I is located to that peak and intensity change of the peak represents the changing amount of carbonyl H- bonds [27,28]. After UV curing, C=C stretching vibration of vinyl group which is around 1635 cm^{-1} and the peak around 810 cm^{-1} (CH bending), which come from the PU, decreased (Figure 4). Peak at 1635 cm^{-1} reflecting the C=C stretching of acrylate which have been incorporated in the polyurethane chain [2], and peak at 810 cm^{-1} reflecting the CH peak were

recorded for PU. However, after UV curing, these peaks could not be detected for the UV cured polymers. The acrylate double bonds which are necessary to crosslink the polymer disappeared after the polymerization [29]. During the polymerization of PU, CH bonds start to break for the conversion of the polymeric structure. After the curing process, disappearance of the CH on the FTIR spectra proved that the curing was successfully achieved for the selected ATH filling ratios and shown in Figure 4.

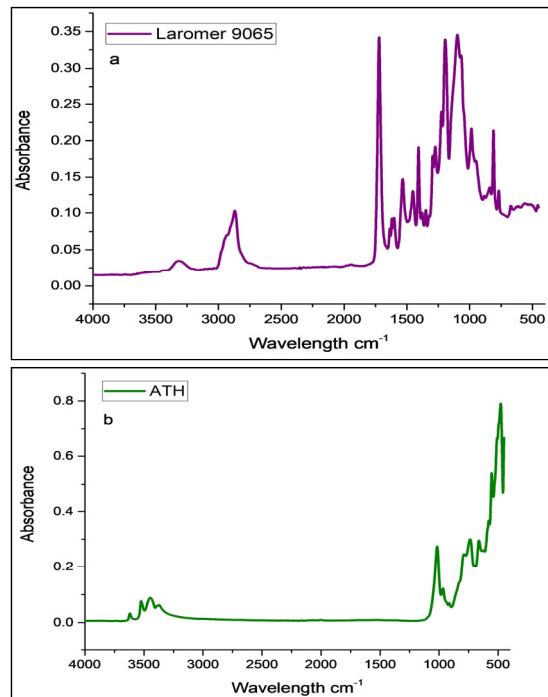


Figure 3. (a) FTIR spectra of Laromer 9065 as WPU, (b) FTIR spectra of ATH

Absorption peak around 2865 cm^{-1} represents the CH_2 and CH_3 bands and peak around 3360 cm^{-1} represents the NH, hydrogen bonding, which are typical for polyurethanes [2].

ATH has hydroxide groups and their peaks appear at around 3500 cm^{-1} [30]. Figure 5 represents the spectra of all of the studied PU samples with and without ATH. ATH addition can be easily followed with the peaks located around 3500 cm^{-1} originating due to OH units of ATH.

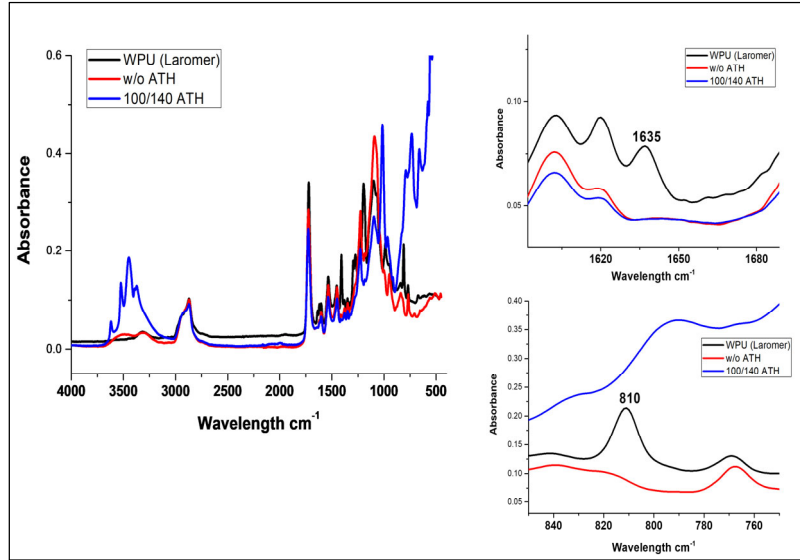


Figure 4. FTIR results of WPU, PU w/o ATH and PU/ATH

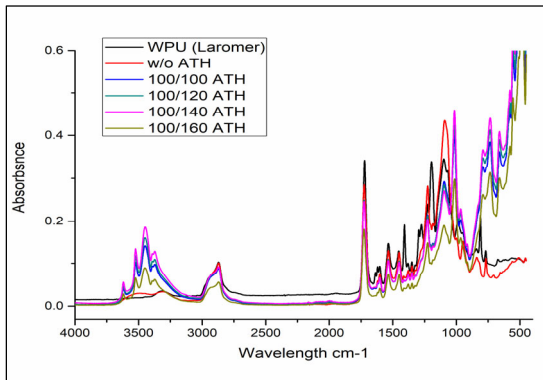


Figure 5. FTIR Spectra of different WPU/ATH ratios and WPU after curing

3.2. Hardness Analysis

König hardness values of the ATH filled coatings were measured with a pendulum hardness tester. The results showed that, the hardness values of the coating slightly increased with the addition of ATH (Table 1). It was reported that the incorporation of ATH into coatings resulted in an increase of the hardness value of the coating [31]. It is expected that, the addition of a filler into a UV curable PUA resin would result in a lower photopolymerization due to the screen effect of particles, reducing the penetration of UV light [32,33], which in turn may

reduce the hardness value of the film. However, in case of ATH filled films, the hardness values were found similar among each other, and higher than that of clear films. This can be attributed to the low UV absorption of ATH [34].

Table 1. Koenig Hardness results for coatings

Sample	Koenig (s)
w/o ATH	26.8±1.05
100 ATH	30.8±0.00
120 ATH	30.8±0.00
140 ATH	32.7±1.69
160 ATH	30.8±1.98

Hence, ATH can be incorporated in a UV curable PU coating without any significant effect on curing levels. Moreover, ATH addition slightly increased the hardness values of the cured films. Inorganic compounds can act as fillers to improve certain mechanical properties of polymers; moreover, inorganic fillers assist to reduce their cost [5,35].

3.3. Thermal Analysis (DSC) and Burning Behavior

The results of DSC thermal analysis of PU coatings without and with different ATH filling ratios after curing were given in Figure 6a and Figure 6b.

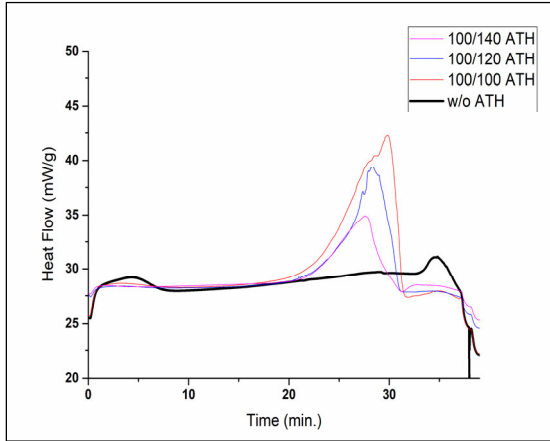


Figure 6a. DSC plot of PU/ATH coatings, heat flow vs. time

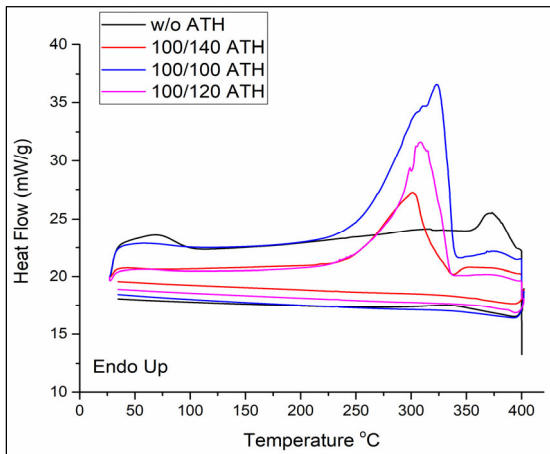


Figure 6b. DSC plot of PU/ATH coatings, heat flow vs. temperature

The enthalpies of decomposition measured under nitrogen environment were given in Table 2. Enthalpy values were improved with the increased filling amount of ATH. Figure 6a shows the heat flow value change versus time and according to the results, reaction started earlier for ATH containing PU samples compared to samples without ATH. The decomposition reaction of ATH is endothermic and releases H₂O [24,36] and endothermic peak was seen in Figure 6b. As can be seen in Figure 6b, above 250 °C, ATH act as a thermal barrier [36] compared to polymer without ATH. Since ATH forms an insulating protective layer on the surface

[37], its DSC curve is stable. Moreover, DSC results showed increased heat capacity for the films with increased ATH amount. In agreement with the previous studies T_g of PU was measured at around 53°C [38-40] however the addition of ATH filler to PU eliminated the T_g value.

Table 2. Total enthalpy values of PU/ATH coatings

Sample	Peak Temperature (°C)	ΔH (J/g)	Burning Time (sec)
w/o ATH	373.00	40.49	1.0
100	323.58	446.08	4.8
120	308.70	473.83	10.0
140	301.42	476.55	50.0
160	-	-	56.0

The films with and without ATH were exposed to the flame and their burning behaviors were evaluated. The flame application times (the time for which the ignition flame was applied to the samples) are shown in Table 2. The flame application was halted after ignition of the samples. Samples released a black smoke while burning and there was not any dripping observed after removal of ignition source. Burning time was dramatically improved for PU film after addition of ATH. As it is reported elsewhere, flame retardancy characteristics of polymers can be enhanced with increased amount of ATH [41,42]. However, although ATH filling retards the burning time, in order to obtain a uniform coating, ATH amount should be well adjusted.

Flame retardancy performance of the films were also investigated with LOI values which provide a percentage range and a comparison between the samples. Figure 7 shows the effect of ATH ratio on LOI and ignition time. ATH addition had a positive effect on the flame retardancy of the films. LOI values changed between 27 to 31.5% as in the range reported in previous studies on ATH containing polymeric materials [43,44]. In the literature [27] polyurethane acrylates used for UV curable coatings showed the maximum LOI value of 27%.

On the other hand, in our study, without damaging the homogeneity of the film 100/140 ratio gives the excellent LOI result of 31.5%.

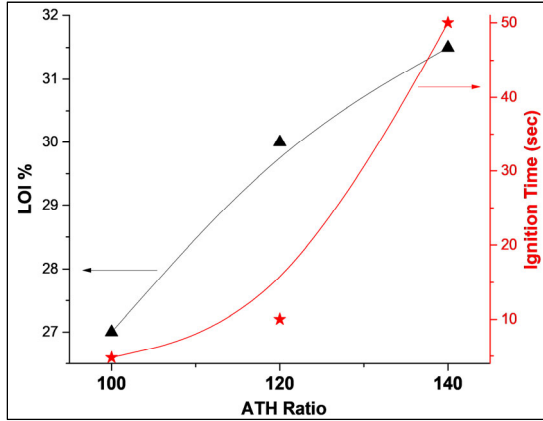


Figure 7. Comparison of LOI% values and ignition time of samples according to their ATH content

4. CONCLUSION

In this study, ATH containing UV curable polyurethane acrylate coatings were successfully developed to enhance the flame retardancy. Hardness values were slightly increased with the increase of ATH ratio in the cured film. Different ATH filling ratios were studied and it was found that above 100/140 feeding ratio, the mixing performance diminishes leading to a nonhomogeneous film. Thus, 100/140 ATH filling ratio was selected as an optimum to provide the homogeneity of the coating.

DSC results showed the positive effect of ATH addition in the polymer matrix resulting in increased enthalpy. Burning behavior of the films in a horizontal position showed that ATH addition retarded the burning of the film. When the burning behavior of polyurethane acrylate coating without ATH filling was compared with the ATH filled coating, 100/140 ratio gives a 50 times more improvement on the burning time. Whereas maximum 21% oxygen is needed to combustion on the air, in this study satisfactory LOI (31.5%) and ignition time values were achieved for the 100/140 ratio coating. Thus, the incorporation of ATH filling

was found to be promising for the flame retardant enhancement of UV curable PU coatings.

5. REFERENCES

1. Asif, A., Shi, W., Shen, X., Nie, K., 2005. Physical and Thermal Properties of UV Curable Waterborne Polyurethane Dispersions Incorporating Hyperbranched Aliphatic Polyester of Varying Generation Number, *Polymer*, 46(24), 11066–11078.
2. Bai, C.Y., Zhang, X.Y., Dai, J.B., Li, W.H., 2006. A New UV Curable Waterborne Polyurethane: Effect of CC Content on the Film Properties, *Prog. Org. Coat.*, 55(3), 291–295.
3. Chattopadhyay, D.K., Raju, K.V.S.N., 2007. Structural Engineering of Polyurethane Coatings for High Performance Applications, *Prog. Polym. Sci.*, 32(3), 352–418.
4. Schwalm, R., 2007. *UV Coatings: Basic, Recent Developments and New Application*, Elsevier, Amsterdam, 316.
5. Chang, W.Y., Pan, Y.W., Chuang, C.N., Guo, J.J., Chen, S.H., Wang, C.K., Hsieh, K.H., 2015. Fabrication and Characterization of Waterborne Polyurethane (WPU) with Aluminum Trihydroxide (ATH) and Mica as Flame Retardants, *J. Polym. Res.*, 22(12), 243.
6. Akbulut, G., Karagüzel Kayaoğlu, B., Eren, M., Yıldız, B., Orbay, M., 2016. The Effect of Different Radiation Sources for the UV Curing of a Screen-printed, Water-based Polyurethane Acrylate Binder, *Color. Technol.*, 132(4), 269-279.
7. Sow, C., Riedl, B., Blanchet, P., 2011. UV-Waterborne Polyurethane-acrylate Nanocomposite Coatings Containing Alumina and Silica Nanoparticles for Wood: Mechanical, Optical, and Thermal Properties Assessment, *J. Coat. Technol. Res.*, 8(2), 211–221.
8. Hilado, C.J., 1998. *Flammability Handbook for Plastics*, Fifth Edition. CRC Press.
9. Prabhakar, M.N., Shah, A.U.R., J.I., Song, 2015. A Review on the Flammability and Flame Retardant Properties of Natural Fibers and Polymer Matrix Based Composites, *Compos. Res.*, 28(2), 29–39.

10. Sain, M., Park, S.H., Suhara, F., Law, S., 2004. Flame Retardant and Mechanical Properties of Natural Fibre-PP Composites Containing Magnesium Hydroxide, *Polym. Degrad. Stab.*, 83(2), 363-367.
11. Wang, X., Kalali, E.N., Wan, J.T., Wang, D.Y., 2017. Carbon-family Materials for Flame Retardant Polymeric Materials, *Prog. Polym. Sci.* 69, 22-46.
12. Yu, L., Chen, L., Dong, L.P., Li, L.J., Wang, Y.Z., 2014. Organic-inorganic Hybrid Flame Retardant: Preparation, Characterization and Application in EVA, *RSC Adv.*, 4(34), 17812-17821.
13. Yeh, J.T., Yang, H.M., Huang, S.S., 1995. Combustion of Polyethylene Filled with Metallic Hydroxides and Crosslinkable Polyethylene, *Polym. Degrad. Stab.*, 50(2), 229-234.
14. Hornsby, P.R., 2001. Fire Retardant Fillers for Polymers, *Int. Mater. Rev.*, 46(4), 199-210.
15. Beyer, G., 2001. Flame Retardant Properties of EVA-nanocomposites and Improvements by Combination of Nanofillers with Aluminium Trihydrate, *Fire Mater.*, 25(5), 193-197.
16. Duquesne, S., Bras, M., Bourbigot, S., Delobel, R., Camino, G., Eling, B., Lindsay, C., Roels, T., Vezin, H., 2001. Mechanism of Fire Retardancy of Polyurethanes using Ammonium Polyphosphate, *J. Appl. Polym. Sci.*, 82(13), 3262-3274.
17. Chapple, S., Anandjiwala, R., 2010. Flammability of Natural Fiber-reinforced Composites and Strategies for Fire Retardancy: A Review, *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 23(6), 871-893.
18. Duquesne, S., Bras, M., Bourbigot, S., Delobel, R., Vezin, H., Camino, G., Eling, B., Lindsay, C., Roels, T., 2003. Expandable Graphite: A Fire Retardant Additive for Polyurethane Coatings, *Fire Mater.*, 27(3), 103-117.
19. Vroman, I., Giraud, S., Bourbigot, S., Tighzert, M.R., 2005. Flame Retarded Polyurea with Microencapsulated Ammonium Phosphate for Textile Coating, *Polym. Degrad. Stab.*, 88(1), 106-113.
20. Chattopadhyay, D.K., Webster, D.C., 2009. Thermal Stability and Flame Retardancy of Polyurethanes, *Prog. Polym. Sci.*, 34(10), 1068-1133.
21. Hu, Y., Yu, B., Song, L., 2017. 3 - Novel Fire-retardant Coatings, in *Novel Fire Retardant Polymers and Composite Materials*, Wang, D.Y., Ed. Woodhead Publishing, 53-91.
22. Dando, N.R., Kolek, P.L., Martin, E.S., Clever, T.R., 1996. Performance Optimization of 100% Solids, UV-cure Inks and Wood Fillers Using Aluminum Trihydroxide (ATH) Filler., *J. Coat. Technol.*, 68(859), 67-72.
23. Parker, A.A., Martin, E.S., Clever, T.R., 1994. Aluminum Trihydroxide (ATH)-a UV Transparent Filler for UV-Curable Coatings., *J. Coat. Technol.*, 66(829), 39-46.
24. Camino, G., Maffezzoli, A., Braglia, M., De Lazzaro, M., Zammarano, M., 2001. Effect of Hydroxides and Hydroxycarbonate Structure on Fire Retardant Effectiveness and Mechanical Properties in Ethylene-vinyl Acetate Copolymer, *Polym. Degrad. Stab.*, 74(3), 457-464.
25. Duquesne, S., Bras, M., Bourbigot, S., Delobel, R., Camino, G., Eling, B., Lindsay, C., Roels, T., 2001. Thermal Degradation of Polyurethane and Polyurethane/expandable Graphite Coatings, *Polym. Degrad. Stab.*, 74(3) 493-499.
26. Ismar, E., Sarac, A.S., 2016. Synthesis and Characterization of Poly (Acrylonitrile-co-acrylic acid) as Precursor of Carbon Nanofibers, *Polym. Adv. Technol.*, 27(10), 1383-1388.
27. Zhu, S.W., Shi, W.F., 2002. Flame Retardant Mechanism of Hyperbranched Polyurethane Acrylates Used for UV Curable Flame Retardant Coatings, *Polym. Degrad. Stab.*, 75(3), 543-547.
28. Goddard, R.J., Cooper, S.L., 1995. Polyurethane Cationomers with Pendant Trimethylammonium Groups. 1. Fourier Transform Infrared Temperature Studies, *Macromolecules*, 28(5), 1390-1400.
29. Masson, F., Decker, C., Andre, S., Andrieu, X., 2004. UV-curable Formulations for UV-Transparent Optical Fiber Coatings: I. Acrylic Resins, *Prog. Org. Coat.*, 49(1), 1-12.
30. Obrenović, Z., Milanović, M., Djenadic, R., Stijepović, I., Giannakopoulos, K., Perusic, M., Nikolic, L., 2011. The Effect of Glucose on the Formation of the Nanocrystalline Transition

- Alumina Phases. *Ceramics International- Ceram Int.* 37(8), 3253-3263.
31. Li, W., Franco, D.C., Yang, M.S., Zhu, X., Zhang, H., Shao, Y., Zhang, H., Zhu, J., 2019. Investigation of the Performance of ATH Powders in Organic Powder Coatings,” *Coatings.*, 9(2), 110, 1–14.
 32. Keller, L., Decker, C., Zahouily, K., Benfarhi, S., Le Meins, J.M., Mische-Brendle, J., 2004. Synthesis of Polymer Nanocomposites by UV-Curing of Organoclay Acrylic Resins, *Polymer* 45, 7437-7447.
 33. Bardı, M.A.G., Machado, L.D.B., 2012. Accompanying of Parameters of Color, Gloss and Hardness on Polymeric Films Coated with Pigmented Inks Cured by Different Radiation Doses of Ultraviolet Light, *Radiat. Phys. Chem.*, 81, 1332-1335.
 34. Wypych, G., 2016. 2 – Fillers-origin, Chemical Composition, Properties, and Morphology, in *Handbook of Fillers (Fourth Edition)*, Chem Tec Publishing, 13–266.
 35. Judeinstein, P., Sanchez, C., 1996. Hybrid Organic–inorganic Materials: a Land of Multidisciplinarity, *J. Mater. Chem.*, 6(4), 511-525.
 36. Girardin, B., Fontaine, G., Duquesne, S., Försth, M., Bourbigot, S., 2015. Characterization of Thermo-Physical Properties of EVA/ATH: Application to Gasification Experiments and Pyrolysis Modeling, *Materials*, 8(11), 7837-7863.
 37. Kumagai, S., Yoshimura, N., 2001. Tracking and Erosion of HTV Silicone Rubber and Suppression Mechanism of ATH, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 8(2), 203–211.
 38. Jicheng, X., Xinshan, R., Tongyao, C., Ming, W., Yingying, W., Dongya, Y., Fengxian, Q., 2013. Preparation, Characterization of UV-Curable Waterborne Polyurethane-Acrylate and the Application in Metal Iron Surface Protection, *J. Appl. Polym. Sci.*, 130(5), 3142–3152.
 39. Qiu, F., Xu, H., Wang, Y., Xu, J., Yang, D., 2012. Preparation, Characterization and Properties of UV-curable Waterborne Polyurethane Acrylate/SiO₂ Coating, *J. Coat. Technol. Res.*, 9(5), 503–514.
 40. Xu, H., Qiu, F., Wang, Y., Wu, W., Yang, D., Guo, Q., 2012. UV-curable Waterborne Polyurethane-acrylate: Preparation, Characterization and Properties, *Prog. Org. Coat.*, 73(1), 47–53.
 41. Almeida Pinto, U., Visconte, L.L.Y., Gallo, J., Nunes, R.C.R., 2000. Flame Retardancy in Thermoplastic Polyurethane Elastomers (TPU) with Mica and Aluminum Trihydrate (ATH), *Polym. Degrad. Stab.*, 69(3), 257–260.
 42. Wang, Z.Y., Liu, Y., Wang, Q., 2010. Flame Retardant Polyoxymethylene with Aluminium Hydroxide/melamine/novolac Resin Synergistic System, *Polym. Degrad. Stab.*, 95(6), 945-954.
 43. Hoffendahl, C., Fontaine, G., Duquesne, S., Taschner, F., Mezger, M., Bourbigot, S., 2015. The Combination of Aluminum Trihydroxide (ATH) and Melamine Borate (MB) as Fire Retardant Additives for Elastomeric Ethylene Vinyl Acetate (EVA), *Polym. Degrad. Stab.*, 115, 77-88.
 44. Chang, M.K., Hwang, S.S., Liu, S.P., 2014. Flame Retardancy and Thermal Stability of Ethylene-vinyl Acetate Copolymer Nanocomposites with Alumina Trihydrate and Montmorillonite, *J. Ind. Eng. Chem.*, 20(4), 1596-1601.

Sıkıştırma ile Ateşlemeli Bir Motora Hidrojen İlavesinin Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Mehmet AKÇAY*¹, İlker Turgut YILMAZ², Ahmet FEYZİOĞLU², Salih ÖZER¹

¹Muş Alpaslan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Muş

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 17.01.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada, hidrojen miktarının hidrojen-dizel yakıtlı sıkıştırma ile ateşlemeli (CI) motorun üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hidrojen, sürekli olarak bir karıştırma odasına gönderilmiştir. Dizel yakıt, Common Rail yakıt enjeksiyon sistemi ile silindirlere gönderilmiştir. Deneysel çalışmada; dört silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, 1,461-L ve turbo şarjlı CI motoru kullanılmıştır. Egzoz emisyonları, 1750 d/d sabit hızda 40 Nm, 60 Nm ve 80 Nm motor yükleri altında incelenmiştir. Hidrojen debileri; 10 l/d, 20 l/d ve 30 l/d olarak seçilmiş ve H10, H20 ve H30 olarak isimlendirilmiştir. Sonuçlara göre, NO_x ve CO₂ emisyonlarında iyileşmeler olurken, HC ve is emisyonları artış meydana gelmiştir. Hidrojen katkısının O₂ emisyonu üzerine etkisinin oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sıkıştırma ile ateşlemeli motor, Hidrojen, Egzoz emisyonları

Effect of Hydrogen Addition on Exhaust Emissions in a Compression Ignition Engine

Abstract

In this paper, a research on effect of hydrogen amount on hydrogen-diesel fuelled compression ignition (CI) engine was conducted. Hydrogen was continuously inducted into a mixing chamber. Diesel fuel was sent into cylinders by Common Rail fuel injection system. A four-cylinder, four-stroke, water cooled, 1.461-L and turbocharged CI engine was used for test. Exhaust emissions were investigated under 40 Nm, 60 Nm and 80Nm engine loads at constant speed of 1750 rpm. Hydrogen flow rates were chosen as 10 lpm, 20 lpm and 30 lpm and called as H10, H20 and H30. According to the results, improvements in NO_x and CO₂ emissions were observed, while HC and smoke emissions increased. The effect of hydrogen addition on O₂ emissions was found to be quite low levels.

Keywords: Compression ignition engine, Hydrogen, Exhaust emissions

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet AKÇAY, mehmetakcay@yahoo.com

1. GİRİŞ

Nüfus artışı ile birlikte her geçen gün enerji ihtiyacı da artmakta, artan bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmı sınırlı ömrü olan petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar tarafından sağlanmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması hava kirliliğine ve ormanlara zarar veren asit yağmurlarına neden olmanın yanı sıra, karbondioksit (sera gazı etkisi) birikmesine ve dolayısıyla da yeryüzünün sıcaklık dengesinin değişmesine yol açmaktadır [1,2].

Fosil kökenli yakıtların yanması ile açığa çıkan hidrokarbon, karbon monoksit ve azot oksit emisyonlarının yarısının buji ve sıkıştırma ile ateşlemeli motorlardan kaynaklandığı ifade edilmektedir [3]. Fosil yakıtların temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı ile değiştirilmesi, otomotiv endüstrisini, enerji kıtlığı ve çevre kirliliğinden kaynaklanan tasarım baskılarından kurtarmak için etkili bir yöntemdir [4]. Son zamanlarda içten yanmalı motorlarda (İYM) daha az zararlı emisyon salgılayan alternatif enerji kaynakları ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, genel olarak biyodizel [5,6], alkoller [7,8], sıkıştırılmış ve sıvılaştırılmış doğal gaz [9-11], sıvılaştırılmış petrol gazı [12,13] ve hidrojen [14-16] gibi enerji kaynaklarına odaklanıldığı görülmektedir.

Hidrojen, doğada kendi başına bulunmayan fakat su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi herhangi bir hidrojen içeren kaynaktan sentezlenebilen bir gazdır [17]. Hidrojen, karbon esaslı olmayan, oksijen ile yanması sonucunda yanma ürünü olarak su oluşturan ve çevre dostu olan zehirsiz, kokusuz, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir alternatif bir yakıttır [3,18,19]. Hidrojenin yanması sonucunda hidrokarbon ve karbon monoksit gibi zehirli ürünler oluşmadığından dolayı hava kalitesine olumlu katkıda bulunmaktadır [20-22]. Dolayısıyla hidrojen, hızla tükenmekte olan petrol kaynaklarından elde edilen yakıtların yerini alabilecek, hem sıkıştırma ile ateşlemeli hem de buji ile ateşlemeli motorlar için geleceğin alternatif yakıtı olarak görülmektedir [2,18].

Hidrojen, yaygın olarak kullanılan benzin, dizel ve doğal gaz gibi geleneksel fosil yakıtlar ile

karşılaştırıldığında; daha yüksek alev yayılma hızı, daha düşük tutuşma enerjisi, daha hızlı difüzyon oranı, daha geniş tutuşabilirlik sınırı ve daha kısa alev sönme mesafesi gibi birçok avantaja sahiptir [4,22-26]. Hidrojen gazının düşük tutuşma enerjisi, geniş tutuşabilirlik aralığı ve yüksek yanma hızı gibi özellikleri İYM'lerde yanma için yetersiz koşullar altında dahi yakılabilmesini sağlar [27]. Hidrojenin eşdeğerlik oranı 0,1-7,1 arasında değişmektedir ve böylece hidrojen gazı ile çalışan motor geniş bir yakıt/hava oranı sınırları içerisinde çalışabilmektedir. Hidrojenin kütlele olarak alt ısı değeri dizel ve benzin yakıtlarının alt ısı değerlerinden çok daha yüksektir [23]. Hidrojenin yüksek difüzyon hızı ve yüksek alev yayılma hızı sayesinde yanma süresini kısaltabilmektedir [24,28,29]. Bu nedenle, hidrojen yakıtlı motorun çevrimi ideal sabit hacim çevrimine daha yakındır ve hidrojen kullanımı ile motorun termal verimliliği artırabilmektedir [24].

Hidrojen, dizel ve benzin yakıtlarının başlıca fiziksel özellikleri Çizelge 1'de gösterilmektedir. [14,17,22,30-32]. Çizelge 1'den görüldüğü üzere, diğer yakıtlara göre hidrojenin yüksek difüzyon katsayısı sayesinde hızlı karışım oluşturulabildiğinden, hava ile daha iyi bir karışım oluşturup homojen bir dolgu oluşturulduğu kabul edilebilmektedir. Ayrıca, hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek [33] olduğundan dolayı, daha yüksek sıkıştırma oranlarında kullanıma imkân sağlamaktadır.

Dizel motorlarına düşük miktarlarda hidrojen katkısı ile yakıtın toplam H/C oranı artmakta, hidrojenin yüksek difüzyon katsayısı sayesinde daha homojen bir yakıt-hava karışımı sağlanarak dizel yakıt spreyinin heterojenliği azaltılabilmektedir. Hidrojenin alev yayılma hızı yüksek olduğundan dolayı daha yarıcı bir karışım oluşturulabilmektedir [28,29,34]. Hidrojenin yüksek alev hızı nedeniyle hidrojen oksidasyonu sırasında çevreye daha az ısı transferi gerçekleşmektedir. Hidrojenin alev sönme bölgesi normal hidrokarbon yakıtlara göre yaklaşık 3 kat daha az (Çizelge 1) olduğundan dolayı, hidrojen alevi silindir duvarına daha da yaklaşabilmekte ve yakıtın tamamına yakınının yanması sağlanmaktadır. Bu nedenle hidrojen katkısı ile çift

yakıtlı hale getirilmiş motor, tek yakıtlı motora göre daha kararlı çalışmaktadır [35]. Hidrojen, bir gaz olduğu için hava ile daha iyi karışabilmekte ve

yanma işlemi tam yanma olarak gerçekleştirilebilmektedir [36].

Çizelge 1. Dizel, benzin ve hidrojenin başlıca fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması

Properties	Dizel	Benzin	Hidrojen
Yoğunluk (kg/m ³)	833–881	790	0,0838
Havada ateşleme sınırı (hacim %)	0,7–5	1,0–7,6	4–75
Ateşleme sıcaklığı (K)	530	501–744	858
Minimum ateşleme enerjisi (MJ)	-	0,24	0,02
Stokiyometrik hava-yakıt oranı	14,5	1,76	34,3
Havada yanıcılık sınırı eşdeğerlik oranı	-	0,7–3,8	0,1–7,1
Alt ısı değer (MJ/kg)	42,5	44,79	119,93
Laminer alev hızı (cm/s)	30	37–47	265–325
Alev sönme mesafesi (cm)	-	0,2	0,064
Hava içindeki difüzyonu (cm ² /s)	0,038	0,05	0,63
Oktan sayısı	30	85	130

Hidrojen, sahip olduğu üstün özelliklere rağmen, İYM'lerde kullanılması ile ilgili bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Hidrojen gazı ile çalışan motor, hidrojenin hacim bazındaki düşük alt ısı değerinden dolayı daha düşük güç üretmektedir [25]. Yüksek silindir basıncı ve sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen yüksek miktarlardaki NO_x emisyonları, yüksek kendi kendine tutuşma sıcaklığı, yanma vuruntusu, geri tepme gibi olumsuz yanma olayları meydana gelebilmektedir [25,27,28]. Ayrıca, yeryüzünde hidrojenin doğal kaynağı bulunmadığından dolayı her zaman başka kaynaklardan üretilmeye ihtiyaç duyulmaktadır [21]. Yüksek kendiliğinden tutuşma sıcaklığından dolayı hidrojen gazının bir buji veya kızdırma bujisi olmadan doğrudan tek yakıt olarak İYM'de kullanımı uygun olmayıp, belirli oranlarda karışım oluşturularak çift yakıt modunda kullanılabilir [34,36,37].

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorda hidrojen gazı çift yakıt uygulaması işlemi genellikle; emme manifolduna sürekli enjeksiyon, emme manifolduna kontrollü enjeksiyon ve doğrudan yanma odasına kontrollü enjeksiyon olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir [21,34]. Emme manifolduna hidrojen gönderilmesi ve silindir içerisine alındıktan sonra pilot dizel yakıt tarafından tutuşmanın sağlanması, çift yakıtlı (hidrojen-dizel yakıtlı) dizel motorlarda en uygun

yöntem olduğu ifade edilmektedir [38]. Emme manifolduna hidrojenin sürekli enjeksiyonu en basit yöntemdir. Ancak bu yöntemin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken önemli bir konu ise hidrojenin alevlenmesi durumunda alevlerin hidrojen tüpüne ulaşmaması için bir alev tutucudan geçirilmesidir [21].

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda hidrojenin ikincil yakıt olarak kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; genel olarak hidrojen-dizel [32,39,40], hidrojen-biyodizel [41-43], hidrojen-metan gazı [38,44,45], hidrojen-biyogaz [45-47], hidrojen-doğal gaz [48-50] ve hidrojen-LPG [51-53] gibi uygulamalara rastlamak mümkündür. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda hidrojen-dizel uygulamasının motor performansına ve emisyonlarına etkisi ile ilgili oldukça fazla çalışma yapılmış olup aşağıda özetlenmiştir.

Jhang ve arkadaşları [18] yapmış oldukları çalışmada, hacimsel olarak farklı oranlardaki dizel-hidrojen karışımlarının (%0, %0,6 ve %1,2) sıkıştırma ile ateşlemeli motorun performansına ve emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Deneyler sıkıştırma ile ateşlemeli motorun rölanti ve farklı motor yükü durumları için gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; hidrojen miktarındaki artış ile özgül yakıt tüketimi (ÖYT) azalırken, termal verimliliği artmıştır. Hidrojen

ilavesi, CO₂ ve CO emisyonlarını azaltmıştır. Yüksek motor yükünde, düşük seviye hidrojen ilavesi CO ve CO₂ emisyonlarını azaltırken, THC ve NO_x emisyonlarını arttırmıştır.

Yılmaz ve Gümüş [54], emme havası hidrojenle zenginleştirilmiş dizel yakıt ile çalışan common rail enjeksiyon sistemine sahip dört silindirli, dört zamanlı 1.461-L bir dizel motorunun performans ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Hidrojen miktarı 20 l/d ve 40 l/d, motor yükü 50 Nm, 75 Nm ve 100 Nm durumları için yapılan çalışmada, termal veriminde iyileşme olurken, ÖYT'de azalma elde edilmiştir. Hidrojen zenginleştirilmesi ile HC, CO₂ emisyonlarını ve ısı salınım oranının düştüğü ve tüm test koşullar altında egzoz gazı sıcaklıklarının ve silindir basınçlarının arttığı görülmüştür. NO_x emisyonları H₂O durumunda azalırken, H₄O durumunda arttığı tespit edilmiştir.

Sharma ve Dhar [32], hidrojen ve dizel yakıtı ile çalışan sabit hız dizel motorunda çift yakıt modlu yanma üzerine araştırma yapmışlardır. Hidrojen enerji payı (HES) %5, %10 ve %20 için farklı motor yüklerinde (%25, %50 ve %75) motor performansını ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Test edilen aralık için hidrojen katkısının termal verimliliği ve ÖYT üzerinde hafif olumsuz etkisi gözlenmiştir. %75 yükte NO_x emisyonları %20 HES ile %9 artmıştır. Bu durum silindir içi sıcaklığının daha yüksek yüklerde hidrojen katkısı ile arttığını göstermektedir. Düşük ve orta yüklerde zararlı emisyonların azaltılmasında hidrojen katkısının yararlı olduğu görülmüştür.

Deb ve arkadaşları [28] tek silindirli, dört zamanlı ve hava soğutmalı bir motorda dizel ve hidrojen katkısının motor performansına ve emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada hidrojen katkısı, hidrojen gazının LPG-LNG enjektörü kullanarak emme manifolduna püskürtülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Hidrojen miktarının artışına bağlı olarak termal verimde iyileşme ve özgül enerji tüketiminde azalma gözlemlenmiştir. Özgül CO, CO₂ ve is emisyonları azalırken, NO_x emisyonlarında artış meydana gelmiştir. Silindirlere alınan hidrojen miktarının artması silindir içi basınçları ve ısı çıkış oranlarını arttırmıştır.

Sandalcı ve Karagöz [55] tarafından yapılan deneysel çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı ve su soğutmalı bir dizel motor, hidrojen-dizel ikili yakıt kullanılarak çalıştırılmış, motor performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Deneyler 1300 d/d sabit motor hızında ve 5,1 kW sabit motor gücünde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, hidrojen gazı bir LPG-CNG enjektörü kullanılarak emme manifolduna gönderilmiş ve pilot dizel yakıtı ile dolgunun ateşlenmesi sağlanmıştır. HES'in %16, %36 ve %46 olarak belirlendiği çalışmada, hidrojen oranının artışı ile birlikte termal verim düşerken, ÖYT artış göstermiştir. Artan hidrojen oranı CO, CO₂ ve is emisyonlarında azalmaya, HC emisyonlarında ise artışa neden olmuştur. NO_x emisyonları hidrojen miktarı %16 durumunda değişmezken, hidrojen miktarındaki artış (%36 ve %46) ile NO_x emisyonları da artış göstermiştir.

Zhou ve arkadaşları [56] tarafından doğal emişli bir dizel motorda HES'in %10, %20, %30 ve %40 olduğu deneyler gerçekleştirilmiş, motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişim incelenmiştir. Motorun orta ve yüksek yüklerinde performansta iyileşmeler meydana gelmiştir. Yüksek yükte %30'dan fazla hidrojen eklenmesi durumunda ısı çıkış hızı artmış, tutuşma gecikmesi ve yanma süresi azalmıştır. HC emisyonları düşük ve orta yüklerde azalmıştır. NO_x emisyonları düşük yüklerde azalırken yüksek yüklerde artmıştır.

Saravanan ve Nagarajan [36] yapmış oldukları çalışmada, hidrojen ile zenginleştirilmiş tek silindirli, dört zamanlı ve su soğutmalı bir dizel motorun performans ve emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir. Dizel yakıtı kademeli olarak azaltılmış ve azalan yakıt yerine emme manifolduna hidrojen gazı gönderilerek motorun sabit bir devir (1500 d/d) çalışması sağlanmıştır. Tam yükte NO_x emisyonu dizel çalışmaya göre önemli oranda artarken, hem is hem de partikül madde miktarı yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Termal verimi %30'luk hidrojen zenginleşmesiyle %22,78'den %27,9'a çıkmıştır. En iyi sonuçlar %30 hidrojen oranında elde edilmiştir.

Yapılan literatür incelemesinde, dizel yakıtına hidrojen katkısı yapılarak emisyonlara etkisinin incelendiği çalışmalarda genel olarak doğal emişli

dizel motorların kullanıldığı görülmüştür. Turbo şarjlı motorlar yüksek oranda hava fazlalığı ile çalıştıklarından dolayı, çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar da farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla yapılan bu çalışmada; dört zamanlı, dört silindri, su soğutmalı, turbo şarjlı ve Common-Rail yakıt püskürtme sistemine sahip modern bir motorda, emme havasına hidrojen ilavesinin dizel motorunun egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

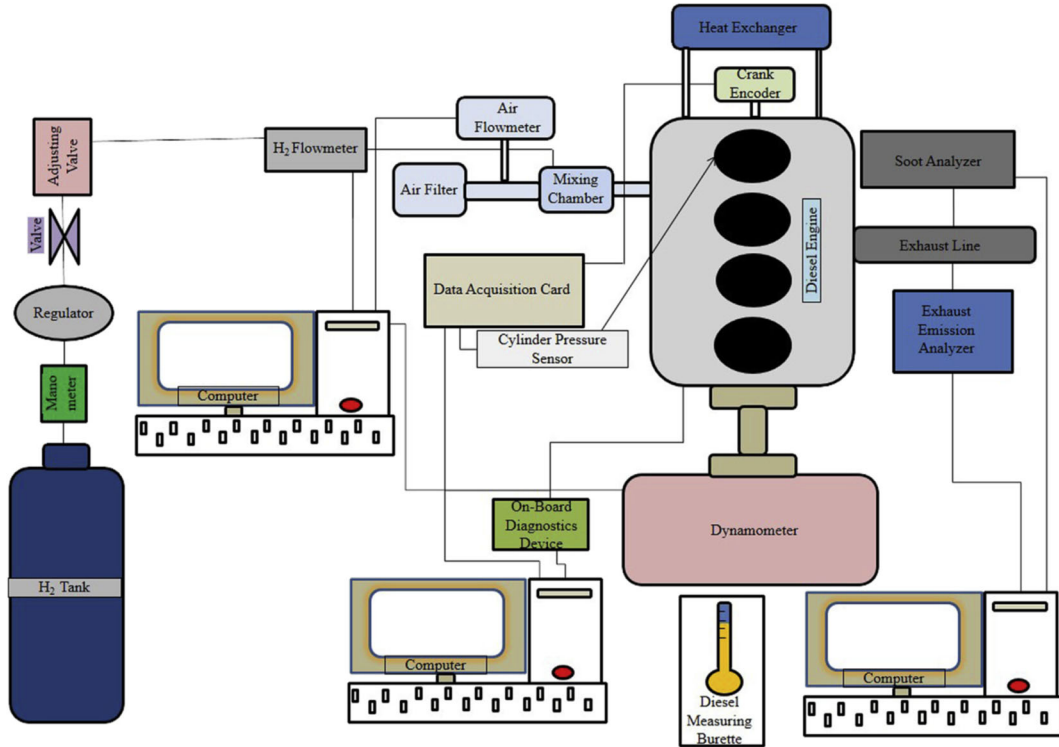
2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada, Common Rail yakıt sistemine sahip dört silindri, dört zamanlı, su soğutmalı,

turbo şarjlı ve 48 kW dizel motor kullanılmıştır. Deney motoru, maksimum gücü 150 kW ve maksimum devri 8000 d/d olan su soğutmalı eddy current dinamometre kullanılarak yüklenmiştir.

Veri toplama işlemine geçilmeden önce deney motorunun soğutma suyu sıcaklığı 80 °C'ye kadar ulaşması beklenmiş, motor kararlı çalışır hale getirilmiştir.

Deneyler üç kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamındaki bütün testler 1750 d/d sabit devirde, 40 Nm, 60 Nm ve 80 Nm motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği

Emme manifoldu ve hava filtresi arasında basit bir karıştırma odası yerleştirilmiştir. Karıştırma odasına dakikada 10, 20 ve 30 litre debide (l/d) hidrojen gazı gönderilerek hava ile karışması sağlanmış ve daha sonra silindir içerisine alınmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1'de

verilmiştir. Çalışmada kullanılan deney düzeneği referans [57]'de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Deneysel çalışmada kullanılan dizel motorunun emme havası, motor yağı, yakıt, egzoz, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları K tipi sıcaklık

sensörleri kullanılarak ölçülmüştür. Deney motoruna ait bazı özellikler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Deney motorunun özellikleri

Tip	Sıralı, turbo şarjlı
Silindir hacmi	1461 cm ³
Çap	76 mm
Strok	80,5 mm
Silindir sayısı	4
Valf sayısı	8
Sıkıştırma oranı	18,25/1
Maksimum güç (4000 d/d)	48 kW
Maksimum tork (1750 d/d)	160 Nm
Püskürtme tipi	Common-Rail

Yüksek basınçlı bir hidrojen tüpünden elde edilen hidrojen gazının basıncını 1 bar değerine düşürmek için bir basınç regülatörü kullanılmıştır. Hidrojen boru hattı üzerine, herhangi bir geri tepme olasılığına karşı bir alev tutucu valf yerleştirilmiştir. Hidrojen gazının miktarını ayarlamak için %1 l/d hassasiyetli dijital kütleli akış ölçer kullanılmıştır.

Emisyon analizi, Bosch BEA 460 emisyon analizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Emisyon analizörü, egzoz gazı test modülü ve is emisyonu ölçüm modülü olmak üzere iki modüle sahiptir. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri Çizelge 3’te görülmektedir.

Çizelge 3. Egzoz emisyon cihazının özellikleri

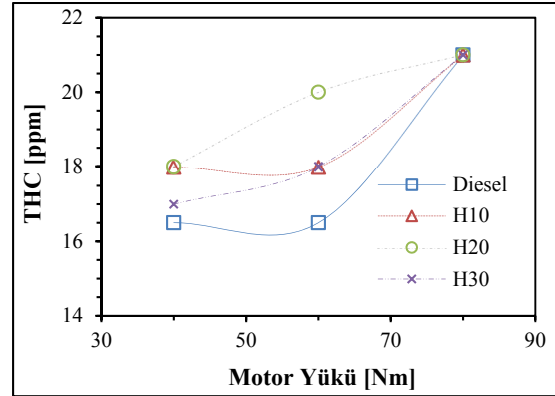
	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Karbondioksit (CO ₂)	%0 – 18 vol.	%0,01 vol.
Hidrokarbon (HC)	0 – 9999 ppm	1 ppm
Oksijen (O ₂)	%0 – 22 vol.	%0,01 vol.
Azot oksit (NO _x)	0 – 5000 ppm	1 ppm
Hava fazlalık katsayısı (HFK)	0,5 – 1,8	0,001
İs (K)	0-10 m ⁻¹	0,01 m ⁻¹

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, dört silindirli, turbo şarjlı bir dizel motoruna hidrojen ilavesinin egzoz emisyonları (HC, CO₂, NO_x, O₂ ve is emisyonları) üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiş ve aşağıda grafikler halinde sunulmaktadır.

3.1. Toplam Hidrokarbon Emisyonları

Hidrokarbon emisyonları, temel olarak karbon ve hidrojen bileşiklerinden meydana gelen fosil kaynaklı yakıtların eksik yanması sonucu oluşmaktadır. Tamamlanmamış yanma ve düşük silindir içi sıcaklığı yanmamış hidrokarbonların başlıca sebeplerindendir [58]. Egzoz gazları içerisinde bulunan yanmamış hidrokarbonlar, genellikle toplam hidrokarbonlar (THC) olarak adlandırılmaktadırlar [59]. Hidrojen katkısının THC emisyonları üzerine etkisi Şekil 2’de gösterilmektedir. Şekil 2’den görüldüğü üzere, motor yükünün artışı ile THC emisyonlarında her bir yakıt için artmıştır.



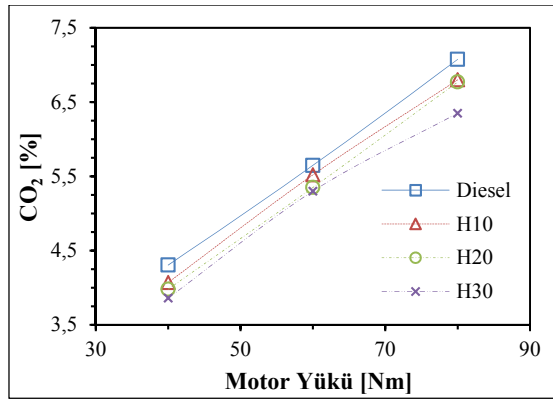
Şekil 2. Hidrojen katkısı ile toplam hidrokarbon emisyonlarının değişimi

Hidrojen katkısı ile birlikte THC emisyonlarında artış meydana gelmiş, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında en büyük artış 60 Nm motor yükünde ve 20 l/d hidrojen katkısı ile %21,2 olarak elde edilmiştir. Yüksek motor yükünde (80 Nm) dizel yakıtı ve hidrojen katkısı ile elde edilen THC emisyon değerlerinin aynı seviyelerde olduğu görülmüştür.

Hidrojen katkısının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini araştıran Zhou ve arkadaşları [56] yapmış oldukları çalışmada, %10-20 oranlarında hidrojen katkısı ile THC emisyonlarında artış tespit etmişlerdir. Yüksek motor yüklerinde dizel yakıtının yanması için gerekli oksijen miktarının azalmasından dolayı hidrojen katkısı ile yüksek motor yüklerinde HC emisyonlarının arttığı ifade edilmektedir [23]. Yine Karagöz ve arkadaşları [60], hidrojenin emme manifolduna enjekte edilmesinin emme zamanında emme havası akışı için ek bir direnç oluşturduğu ve volümetrik verimde azalmaya neden olduğu belirtilmiştir. Giriş havasındaki azalmadan dolayı her bir motor yükü durumunda THC emisyonlarında artış meydana geldiği ifade edilmiştir. THC emisyonlarındaki artışın bir başka sebebi olarak da silindir içerisindeki yağlama yağının yanması gösterilmektedir [61]. Hidrojen katkısı ile THC emisyonlarında meydana gelen artış, literatürde tarafından yapılan çalışmalar [18,23,55,56,60] ile benzerlik göstermektedir.

3.2. Karbondioksit Emisyonları

Fosil kaynaklı yakıt içerisindeki karbon ile oksijenin tam yanması sonucu bir tür sera gazı olan karbon dioksit (CO₂) emisyonu oluşmaktadır [23]. Şekil 3'te hidrojen katkısına bağlı olarak CO₂ emisyonlarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 3. Hidrojen katkısı ile karbondioksit emisyonlarının değişimi

Şekil 3'ten görüldüğü üzere, her bir yakıt için artan motor yükü ile birlikte CO₂ emisyonları da

artmıştır. CO₂ emisyonları stokiyometrik hava-yakıt karışımı durumunda yüksek değerine ulaşmaktadır. Motor yükündeki artış ile birlikte silindir içerisindeki karışım zenginleşerek stokiyometrik karışıma yaklaşmakta, dolayısıyla da CO₂ emisyonlarında artış olmaktadır [62].

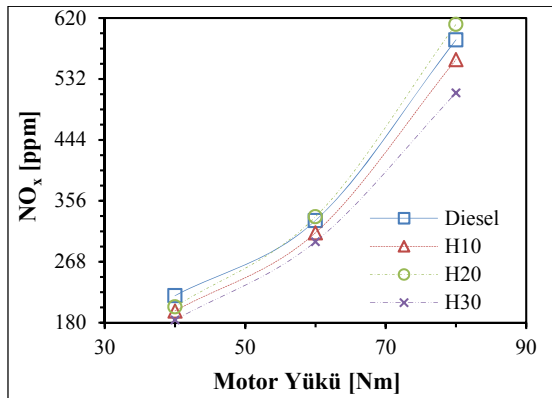
Hidrojenin katkı maddesi olarak İYM'lerde kullanılmasının yararlarından biri de CO₂ emisyonlarında azalmaya neden olmasıdır [30]. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, hidrojen oranının artışı ile birlikte her bir motor yükü için CO₂ emisyonunda azalma meydana gelmiştir. Bu azalma 40 Nm motor yükünde 10 l/d, 20 l/d ve 30 l/d hidrojen akış oranları için sırasıyla %5,6, %7,5 ve %10,3 olarak ölçülmüştür. 60 Nm motor yükü için sırasıyla %2,2, %5,2 ve %6,1, 80 Nm motor yükünde ise sırasıyla %3,8, %4,3 ve %10,2 olarak ölçülmüştür. Dizel yakıtına göre karbondioksit emisyonundaki maksimum azalma 40 Nm motor yükünde ve 30 l/d hidrojen akış oranında %10,3 olarak elde edilmiştir. Hidrojen katkısı ile karbondioksit emisyonunda meydana gelen azalmanın sebebi olarak hidrojenin içerisinde karbon atomunun bulunmaması gösterilmektedir [23,62]. Daha önce literatürde yapılan çalışmalarda da [23,54,62-65] benzer sonuçlar elde edilmiştir.

3.3. NO_x Emisyonları

Genel olarak %90-95 NO, %5-10 NO₂'den ve düşük miktarda da N₂O'dan meydana gelen NO_x emisyonlarının oluşumu [30,66], yanma sıcaklığı, oksijen konsantrasyonu ve azotun yüksek sıcaklığa maruz kalma süresi olmak üzere üç temel etmene bağlıdır [30,33,67,68]. 1800 K altındaki sıcaklıklarda NO_x oluşum reaksiyon hızı oldukça düşüktür [30]. NO_x emisyonu, atmosferi kirletmekte ve asit yağmuruna neden olmaktadır [23]. Hidrojen ilavesiyle farklı motor yükleri için NO_x emisyonlarındaki değişim Şekil 4'te gösterilmiştir.

Şekil 4'ten görüldüğü üzere, her bir yakıt için artan motor yükü ile NO_x emisyonları da artmıştır. Düşük motor yükünde (40 Nm) dizel yakıtına hidrojen katkısı NO_x emisyonlarında azalmaya neden olmuş, en fazla azalma hidrojen miktarının 30 l/d durumunda %15,9 olarak elde edilmiştir. Artan

motor yükü ile (40 Nm'den sonra) NO_x emisyon değerinde dizel yakıtına göre hidrojen katkısı ile küçük oranlarda artış görülmüştür. Özellikle miktarının 20 l/d durumunda, artan motor yükü ile NO_x emisyonu dizel yakıtına göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Genel olarak emme havasına hidrojen ilavesinin NO_x emisyonları üzerine olumlu etkisi olduğu görülmüştür.



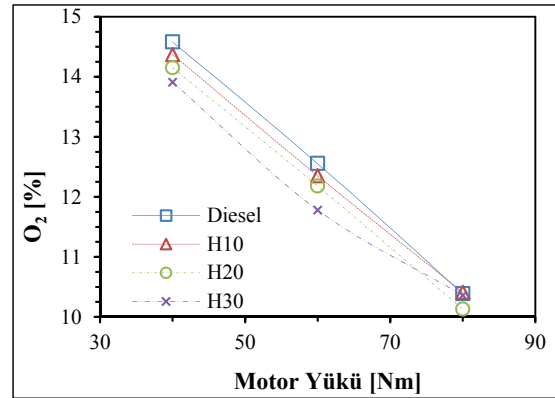
Şekil 4. Hidrojen katkısı ile azot oksit emisyonlarının değişimi

Literatürde hidrojen katkısı ile düşük yüklerde NO_x emisyonları azalırken, orta ve yüksek yüklerde artış gösterdiği ifade edilmektedir [69]. Wu ve Wu [23] tarafından yapılan çalışmada, %60 motor yükünde ve %20 hidrojen katkı oranında saf dizel yakıtına göre NO_x emisyonlarında artış olduğu rapor edilmiştir. Bu durumun sebebi olarak, artan motor yükü ile hidrojen enerjisinin payı aynı kalmakta, ancak daha fazla hidrojen kütlesi tüketilmekte ve hidrojenin silindir içi sıcaklığını arttırmak için yüksek bir ısı değere sahip olması gösterilmektedir. Sharma ve Dhar [32] tarafından yapılan çalışma sonucunda, yüksek motor yüklerinde hidrojen katkısının silindir içi sıcaklıklarını artmasından dolayı NO_x emisyonlarında artışa neden olduğu ifade edilmektedir. Jhang ve arkadaşları [18] tarafından yapılan çalışmada, hidrojen ilavesinin, boşta çalışma ve düşük (%25) motor yüklemelerinde NO_x emisyonlarını düşürürken, orta ve yüksek yüklemelerinde NO_x emisyonlarını artırdığı ifade edilmiştir. Yine Christodoulou ve Megaritis [70] tarafından yapılan çalışmada, düşük motor yüklerinde NO_x emisyonlarında önemli bir değişim olmazken, yüksek motor yüklerinde

hidrojen katkısı ile NO_x emisyonlarının arttığı belirlenmiştir. Dolayısıyla elde edilen sonuçların daha önceki literatür çalışmalarıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

3.4. O₂ Emisyonları

İYM'lerde yanmanın oluşabilmesi için en önemli parametrelerden bir tanesi de ortamdaki O₂ miktarıdır [71,72]. Hava-yakıt oranını önemli derecede etkileyen oksijen miktarındaki artış, yanma işlemini iyileştirmekte ve dolayısıyla da motor performansının artmasına neden olmaktadır [72]. Hidrojen katkısının motor yüküne bağlı olarak O₂ emisyonlarına etkisi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Hidrojen katkısı ile O₂ emisyonlarının değişimi

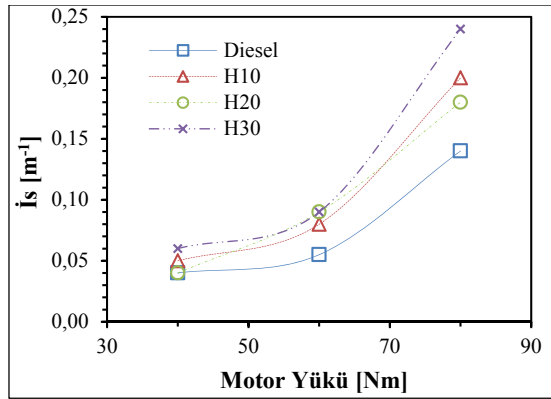
Şekil 5'ten görüldüğü üzere, dizel yakıtı ve hidrojen katkısı durumunda elde edilen O₂ emisyonları benzer eğilim göstermişlerdir. Genel olarak artan motor yükü ile birlikte her bir yakıt için O₂ emisyonu azalmıştır. Artan motor yükü ile birlikte silindire gönderilen yakıt miktarı da arttığından dolayı karışımın zenginleşmekte, hava/yakıt oranının azalmakta ve dolayısıyla da tüm O₂'nin yanma işleminde kullanılması sonucu egzoz emisyonunda görülen O₂ miktarının azalmasına neden olmaktadır [62].

Dizel yakıtına göre, hidrojen katkısı ile O₂ emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Her bir motor yükü için dizel yakıtına göre hidrojen katkısı ile O₂ emisyonundaki azalma; 40 Nm motor yükünde 10 l/d, 20 l/d ve 30 l/d hidrojen akış

oranları için sırasıyla %1,4, %2,9 ve %4,6 olarak ölçülmüştür. 60 Nm motor yükünde %1,6, %2,9 ve %6,1, 80 Nm motor yükünde ise %0,2, %2,4 ve %0,2 olarak ölçülmüştür. Dizel yakıtına göre O₂ emisyonundaki maksimum azalma, 60 Nm motor yükünde ve hidrojen akış oranı 30 l/d ile %6,1 olarak elde edilmiştir. Hidrojen katkısının O₂ emisyonu üzerine etkisinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Literatür tarafından da [62,72] benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür.

3.5. Is Emisyonları

İYM'nin emisyon davranışını belirlemek için önemli bir parametre olan is emisyonu [73]; yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve oksijenin eksik olduğu yanma koşullarından meydana gelmektedir [23]. Yanma işlemi karbondan önce ortamdaki oksijen ile reaksiyona girmekte ve dolayısıyla oksijen ve yeterli süre bulunmayan karbon [74] egzoz gazı içerisinde is emisyonu olarak görülmektedir. Is emisyonu, yanma sırasında oksijen eksikliğinden meydana gelen, azalan hava/yakıt oranı ile artış gösteren bir emisyondur [7,58]. Genellikle dizel motorlarında görülen is emisyonu [74], yakıtın eksik yanması sonucunda oluşmaktadır [73].



Şekil 6. Hidrojen katkısı ile is emisyonlarının değişimi

Şekil 6'da is emisyonunun hidrojen katkı oranı ile motor yüküne bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, artan motor yükü ile is emisyonları her bir test yakıtı için artmıştır. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, hidrojen katkısı ile

birlikte her bir motor yükü için is emisyonlarının arttığı görülmüştür. Literatürde, artan motor yükü ile birlikte silindirlere alınan dizel yakıtının miktarının arttığı ve bu durumun is emisyonlarını artırdığı ifade edilmektedir [46,61,73-75].

Benzer şekilde, Zhou ve arkadaşları [76], hidrojen ilavesinin dizel yakıtının oksidasyonu üzerine etkisinin motorun yüküne bağlı olduğunu ifade etmiştir. Yüksek motor yüklerinde hidrojen katkısından dolayı yanma odasında oksijen miktarının azalması, is parçacıklarının oksidasyonunun olumsuz yönde etkileyerek is emisyonlarının artışına neden olduğunu belirtmişlerdir. Pundir ve Kumar [77] tarafından yapılan çalışmada, %90 motor yükünde artan hidrojen oranı ile is emisyonunun da arttığı, %100 motor yükünde hidrojen oranının artışı ile (%20'ye kadar) is emisyonunun azalırken, artan hidrojen oranı ile ani bir artışın olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı, turbo şarjlı ve Common-Rail yakıt püskürtme sistemine sahip dizel motorunun emme havasına hidrojen ilavesinin egzoz emisyonları üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, saf dizel yakıtı kullanımı durumunda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir;

- Hidrojen katkısı genel olarak THC emisyonlarında artışa neden olmuş, dizel yakıtına göre hidrojen katkısı ile meydana gelen en büyük artış 60 Nm motor yükünde ve %20 hidrojen katkısı ile %21,2 olarak elde edilmiştir.
- CO₂ emisyonlarında, deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği tüm şartlarda dizel yakıtına göre azalma meydana gelmiştir. CO₂ emisyonlarındaki maksimum azalma, 40 Nm motor yükünde ve 30 l/d hidrojen akış oranında %10,3 olarak ölçülmüştür.
- Düşük motor yükünde (40 Nm) emme havasına hidrojen katkısı ile NO_x emisyonlarında azalma görülmüş, en fazla azalma hidrojen akış oranı 30 l/d durumunda %15,9 olarak elde edilmiştir.

Özellikle 20 l/d hidrojen akış oranında, artan motor yükü ile (40 Nm'den sonra) birlikte NO_x emisyonlarında dizel yakıtına göre küçük oranlarda artış meydana gelmiş, en yüksek artış 80 Nm motor yükünde, 20 l/d hidrojen akış oranı ile %3,8 olarak ölçülmüştür.

- Her bir motor yükü için hidrojen katkısı ile O₂ emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Dizel yakıtına göre O₂ emisyonundaki maksimum azalma 60 Nm motor yükünde ve 30 l/d hidrojen akış oranı ile %6,1 olarak elde edilmiştir. Hidrojen katkısının O₂ emisyonu üzerine etkisinin oldukça düşük olduğu görülmüştür.
- Dizel yakıt ile çalışmayla kıyaslandığında, hidrojen katkısı ile is emisyonlarında artış meydana gelmiştir. Hidrojen katkı oranı ve motor yükündeki artış genel olarak is emisyonu da artırmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, hidrojen gazının turbo şarjlı bir dizel motorda kullanımını ile egzoz emisyonlarında iyileşmelerin sağlanabileceğini görülmüştür. Hidrojen katkısının fosil kaynaklı dizel yakıtının yanması sonucu oluşan CO₂, O₂ ve NO_x emisyonlarının azaltılmasında yakıt katkısı olarak kullanılabilirliği ifade edilebilir.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmayı FEN-E-140312-0046 numaralı proje ile destekleyen Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkür eder.

6. KAYNAKLAR

1. Fayyazbakhsh, A., Pirouzfard, V., 2017. Comprehensive Overview on Diesel Additives to Reduce Emissions, Enhance Fuel Properties and Improve Engine Performance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 891-901.
2. Pullagura, G., Kumar, K.R., Verma, P.C., Jaiswal, A., Prakash, R., Murugan, S., 2012. Experimental Investigation of Hydrogen Enrichment on Performance and Emission Behaviour of Compression Ignition Engine, *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 4(03), 1223-1232.
3. Fırat, M., Okcu, M., Varol, Y., 2017. Investigation of Hydrogen Enrichment on Combustion Characteristics, Performance and Emissions of Diesel Engines, *Science and Eng. J of Fırat Univ.* 29(1),101-107.
4. Yu, X., Du, Y., Sun, P., Liu, L., Wu, H., Zuo, X., 2017. Effects of Hydrogen Direct Injection Strategy on Characteristics of Lean-burn Hydrogen-gasoline Engines, *Fuel*, 208, 602-611.
5. Arunkumar, M., Kannan, M., Murali, G., 2019. Experimental Studies on Engine Performance and Emission Characteristics Using Castor Biodiesel as Fuel in CI Engine, *Renewable Energy*, 131, 737-744.
6. Dharmaraja, J., Nguyen, D.D., Shobana, S., Saratale, G.D., Arvindnarayan, S., Atabani, A.E., Chang, S.W., Kumar, G., 2019. Engine Performance, Emission and Bio Characteristics of Rice Bran Oil Derived Biodiesel Blends, *Fuel*, 239, 153-161.
7. Emiroğlu, A.O., Şen, M., 2018. Combustion, Performance and Emission Characteristics of Various Alcohol Blends in a Single Cylinder Diesel Engine, *Fuel*, 212, 34-40.
8. Li, G., Lee, T.H., Liu, Z., Lee, C.F., Zhang, C., 2019. Effects of Injection Strategies on Combustion and Emission Characteristics of a Common-rail Diesel Engine Fueled with Isopropanol-butanol-ethanol and Diesel Blends, *Renewable Energy*, 130, 677-686.
9. Shim, E., Park, H., Bae, C., 2018. Intake Air Strategy for Low HC and CO Emissions in Dual-fuel (CNG-diesel) Premixed Charge Compression Ignition Engine, *Applied Energy*, 225, 1068-1077.
10. Yontar, A.A., Doğu, Y., 2018. Investigation of the Effects of Gasoline and CNG Fuels on a Dual Sequential Ignition Engine at Low and High Load Conditions, *Fuel*, 232, 114-123.
11. Long, Y., Li, G., Zhang, Z., Liang, J., Mao, L., Li, Y., 2018. Effects of Reformed Exhaust Gas Recirculation on the HC and CO Emissions of a Spark-ignition Engine Fueled with LNG, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(45), 21070-21078.

12. Vinoth, T., Vasanthakumar, P., Krishnaraj, J., ArunSankar, S.K., Hariharan, J., Palanisamy, M., 2017. Experimental Investigation on LPG + Diesel Fuelled Engine with DEE Ignition Improver, *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 9126-9132.
13. Musthafa, M.M., 2019. A Comparative Study on Coated and Uncoated Diesel Engine Performance and Emissions Running on Dual Fuel (LPG-biodiesel) with and Without Additive, *Industrial Crops & Products*, 128, 194-198.
14. Kim, J., Chun, K.M., Song, S., Baek, H.K., Lee, S.W., 2018. Hydrogen Effects on the Combustion Stability, Performance and Emissions of a Turbo Gasoline Direct Injection Engine in Various Air/fuel Ratios, *Applied Energy*, 228, 1353-1361.
15. Tsujimura, T., Suzuki, Y., 2019. Development of a Large-sized Direct Injection Hydrogen Engine for a Stationary Power Generator, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(22), 11355-11369. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.178>
16. Serin, H., Yıldızhan, Ş., 2018. Hydrogen Addition to Tea Seed Oil Biodiesel: Performance and Emission Characteristics, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(38), 18020-18027.
17. Yilmaz, İ., Taştan, M., 2018. Investigation of Hydrogen Addition to Methanol-gasoline Blends in an SI Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(44), 20252-20261.
18. Jhang, S.R., Chen, K.S., Lin, S.L., Lin, Y.C., Cheng, W.L., 2016. Reducing Pollutant Emissions from a Heavy-duty Diesel Engine by Using Hydrogen Additions, *Fuel*, 172, 89-95.
19. Ji, C., Cong, X., Wang, S., Shi, L., Su, T., Wang, D., 2018. Performance of a Hydrogen-blended Gasoline Direct Injection Engine Under Various Second Gasoline Direct Injection Timings, *Energy Conversion and Management*, 171, 1704-1711.
20. Akar, M.A., Kekilli, E., Bas, O., Yildizhan, S., Serin, H., Ozcanli, M., 2018. Hydrogen Enriched Waste Oil Biodiesel Usage in Compression Ignition Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(38), 18046-18052.
21. Rocha, H.M.Z., Pereira, R.S., Nogueira, M.F.M., Belchior, C.R.P., Tostes, M.E.L., 2017. Experimental Investigation of Hydrogen Addition in the Intake Air of Compressed Ignition Engines Running on Biodiesel Blend, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(7), 4530-4539.
22. Elsemary, I.M.M., Attia, A.A.A., Elnagar, K.H., Elaraqy, A.A.M., 2016. Experimental Investigation on Performance of Single Cylinder Spark Ignition Engine Fueled with Hydrogen-gasoline Mixture, *Applied Thermal Engineering*, 106, 850-854.
23. Wu, H.W., Wu, Z.Y., 2012. Investigation on Combustion Characteristics and Emissions of Diesel/hydrogen Mixtures by Using Energy-Share Method in a Diesel Engine, *Applied Thermal Engineering*, 42, 154-162.
24. Du, Y., Yu, X., Liu, L., Li, R., Zuo, X., Sun, Y., 2017. Effect of Addition of Hydrogen and Exhaust Gas Recirculation on Characteristics of Hydrogen Gasoline Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8288-8298.
25. Navale, S.J., Kulkarni, R.R., Thipse, S.S., 2017. An Experimental Study on Performance, Emission and Combustion Parameters of Hydrogen Fueled Spark Ignition Engine with the Timed Manifold Injection System, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8299-8309.
26. Uludamar, E., Tosun, E., Tuccar, G., Yıldızhan, Ş., Çalık, A., Yıldırım, S., Serin, H., Özcanlı, M., 2017. Evaluation of Vibration Characteristics of a Hydroxyl (HHO) Gas Generator Installed Diesel Engine Fueled with Different Diesel-biodiesel Blends, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(36), 23352-23360.
27. Krishnanunni, J., Bhatia, D., Das, L.M., 2017. Experimental and Modelling Investigations on the Performance and Emission Characteristics of a Single Cylinder Hydrogen Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(49), 29574-29584.
28. Deb, M., Sastry, G.R.K., Bose, P.K., Banerjee, R., 2015. An Experimental Study on Combustion, Performance and Emission Analysis of a Single Cylinder, 4-stroke DI-

- Diesel Engine Using Hydrogen in Dual Fuel Mode of Operation, *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(27), 8586-8598.
29. Kotten, H., 2018. Hydrogen Effects on the Diesel Engine Performance and Emissions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(22), 10511-10519.
30. Hosseini, S.M., Ahmadi, R., 2017. Performance and Emissions Characteristics in the Combustion of Co-fuel Diesel-hydrogen in a Heavy Duty Engine, *Applied Energy*, 205, 911-925.
31. Yan, F., Xu, L., Wang, Y., 2018. Application of Hydrogen Enriched Natural Gas in Spark Ignition IC Engines: from Fundamental Fuel Properties to Engine Performances and Emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(1), 1457-1488.
32. Sharma, P., Dhar, A., 2018. Effect of Hydrogen Supplementation on Engine Performance and Emissions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(15), 7570-7580.
33. Yılmaz, İ.T., Gümüş, M., 2015. Çift Yakıtlı (hidrojen-dizel) Bir Motorda Yanma Karakteristiklerinin ve Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi, 8. Transist Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, 17-19 Aralık, İstanbul, Türkiye, 538-547.
34. Yılmaz, İ.T., Demir, A., Gumus, M., 2017. Effects of Hydrogen Enrichment on Combustion Characteristics of a CI Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(15), 10536-10546.
35. Pan, H., Pournazeri, S., Princevac, M., Miller, J.W., Mahalingam, S., Khan, M.Y., Jayaram, V., Welch, W.A., 2014. Effect of Hydrogen Addition on Criteria and Greenhouse Gas Emissions for a Marine Diesel Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(21), 11336-11345.
36. Saravanan, N., Nagarajan, G., 2008. An Experimental Investigation of Hydrogen-enriched Air Induction in a Diesel Engine System, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(6), 1769-1775.
37. Dimitriou, P., Kumar, M., Tsujimura, T., Suzuki, Y., 2018. Combustion and Emission Characteristics of a Hydrogen-diesel Dual-fuel Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(29), 13605-13617.
38. Karagöz, Y., Güler, İ., Sandalcı, T., Yüksel, L., Dalkılıç, A.s., Wongwises, S., 2016. Effects of Hydrogen and Methane Addition on Combustion Characteristics, Emissions, and Performance of a CI Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(2), 1313-1325.
39. Ghazal, O.H., 2013. Performance and Combustion Characteristic of CI Engine Fueled with Hydrogen Enriched Diesel, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(35), 15469-15476.
40. Karagöz, Y., Güler, İ., Sandalcı, T., Yüksek, L., 2016. Effect of Hydrogen Enrichment on Combustion Characteristics, Emissions and Performance of a Diesel Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(1), 656-665.
41. Aldhaidhawi, M., Chiriac, R., Badescu, V., Descombes, G., Podevin, P., 2017. Investigation on the Mixture Formation, Combustion Characteristics and Performance of a Diesel Engine Fueled with Diesel, Biodiesel B20 and Hydrogen Addition, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(26), 16793-16807.
42. Graham, S., 2017. The Viability of Biodiesel and Hydrogen as Complementary Fuel Vectors in a Hybrid Platform, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(30), 19331-19336.
43. Uludamar, E., 2018. Effect of Hydroxy and Hydrogen Gas Addition on Diesel Engine Fuelled with Microalgae Biodiesel, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(38), 18028-18036.
44. Mansor, M.R.A., Abbood, M.M., Mohamad, T.I., 2017. The Influence of Varying Hydrogen-methane-diesel Mixture Ratio on the Combustion Characteristics and Emissions of a Direct Injection Diesel, *Engine, Fuel*, 190, 281-291.
45. Talibi, M., Balachandran, R., Ladommatos, N., 2017. Influence of Combusting Methane-hydrogen Mixtures on Compression-ignition Engine Exhaust Emissions and in-cylinder Gas Composition, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(4), 2381-2396.
46. Barik, D., Murugan, S., 2016. Experimental Investigation on the Behavior of a DI Diesel Engine Fueled with Raw Biogasediesel Dual

- Fuel at Different Injection Timing, Journal of the Energy Institute, 89, 373-388.
47. Verma, S., Das, L.M., Kaushik, S.C., Tyagi, S.K., 2018. An Experimental Investigation of Exergetic Performance and Emission Characteristics of Hydrogen Supplemented Biogas-diesel Dual Fuel Engine, International Journal of Hydrogen Energy, 43(4), 2452-2468.
 48. Kakooee, A., Bakhshan, Y., Aval, S.M., Gharehghani, A., 2018. An Improvement of a Lean Burning Condition of Natural Gas/diesel RCCI Engine with a Pre-chamber by Using Hydrogen, Energy Conversion and Management 166, 489-499.
 49. Singh, A.P., Pal, A., Agarwal, A.K., 2016. Comparative Particulate Characteristics of Hydrogen, CNG, HCNG, Gasoline and Diesel Fueled Engines, Fuel, 185, 491-499.
 50. Baratta, M., Ambrosio, S., Iemmolo, D., Misul, D., 2017. Method for the Recognition of the Fuel Composition in CNG Engines Fed with Natural Gas/biofuel/hydrogen Blends, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 40, 312-326.
 51. Jemni, M.A., Kassem, S.H., Driss, Z., Abid, M.S., 2018. Effects of Hydrogen Enrichment and Injection Location on In-cylinder Flow Characteristics, Performance and Emissions of Gaseous LPG Engine, Energy, 150, 92-108.
 52. Lata, D.B., Misra, A., Medhekar, S., 2012. Effect of Hydrogen and LPG Addition on the Efficiency and Emissions of a Dual Fuel Diesel Engine, International Journal of Hydrogen Energy, 37(7), 6084-6096
 53. Lata, D.B., Misra, A., Medhekar, S., 2011. Investigations on the Combustion Parameters of a Dual Fuel Diesel Engine with Hydrogen and LPG as Secondary Fuels, International Journal of Hydrogen Energy, 36(21), 13808-13819.
 54. Yilmaz, I.T., Gumus, M., 2018, Effects of Hydrogen Addition to the Intake Air on Performance and Emissions of Common Rail Diesel Engine, Energy, 142, 1104-1113.
 55. Sandalcı, T., Karagöz, Y., 2014, Experimental Investigation of the Combustion Characteristics, Emissions and Performance of Hydrogen Port Fuel Injection in a Diesel Engine, International Journal of Hydrogen Energy, 39(32), 18480-18489.
 56. Zhou, J.H., Cheung, C.S., Leung, C.W., 2014. Combustion, Performance, Regulated and Unregulated Emissions of a Diesel Engine with Hydrogen Addition, Applied Energy, 126, 1-12.
 57. Yılmaz, İ.T., 2015. Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorda Çift Yakıt (biyogaz-dizel) Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 161, İstanbul.
 58. Asokan, M.A., Prabu, S.S., Kamesh, S., Khan, W., 2018. Performance, Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engine Fuelled with Papaya and Watermelon Seed Oil Bio-diesel/Diesel blends, Energy, 145, 238-245.
 59. Heywood, J.B.. 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals. New York, NY, USA: McGraw Hill, Inc; 596-597.
 60. Karagöz, Y., Sandalcı, T., Yüksek, R., Dalkılıç, A.S., 2015. Engine Performance and Emission Effects of Diesel Burns Enriched by Hydrogen on Different Engine Loads, International Journal of Hydrogen Energy, 40(20), 6702-6713.
 61. Saravanan, N., Nagarajan, G., Narayanasamy, S., 2008. An Experimental Investigation on DI Diesel Engine with Hydrogen Fuel, Renewable Energy, 33, 415-421.
 62. Morais, A.M., Justino, M.A.M., Valente, O.S., Hanriot, S.M., Sodre, J.R., 2013. Hydrogen Impacts on Performance and CO₂ Emissions from a Diesel Power Generator, International Journal of Hydrogen Energy, 38(16), 6857-6864.
 63. Liew, C., Li, H., Liu, S., Besch, M.C., Ralston, B., Clark, N., Huang, Y., 2012. Exhaust Emissions of a H₂ Enriched Heavy-duty Diesel Engine Equipped with Cooled EGR and Variable Geometry Turbocharger, Fuel, 91, 155-163.
 64. Miyamoto, T., Hasegawa, H., Mikami, M., Kojima, N., Kabashima, H., Urata, Y., 2011. Effect of Hydrogen Addition to Intake Gas on Combustion and Exhaust Emission Characteristics of a Diesel Engine, International Journal of Hydrogen Energy, 36(20), 13138-13149.
 65. Tsujimura, T., Suzuki, Y., 2017. The Utilization of Hydrogen in Hydrogen/diesel Dual Fuel

- Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(19), 14019-14029.
66. Alrazen, H.A., Talib, A.R.A., Adnan, R., Ahmad, K.A., 2016. A Review of the Effect of Hydrogen Addition on the Performance and Emissions of the Compression-ignition Engine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 785-796.
67. Barrios, C.C., Saez, A.D., Hormigo, D., 2017. Influence of Hydrogen Addition on Combustion Characteristics and Particle Number and Size Distribution Emissions of a TDI Diesel Engine, *Fuel*, 199, 162-168.
68. Kacem, S.H., Jemni, M.A., Driss, Z., Abid, M.S., 2016. The Effect of H₂ Enrichment on In-cylinder Flow Behavior, Engine Performances and Exhaust Emissions: Case of LPG-hydrogen Engine, *Applied Energy*, 179, 961-971.
69. Chintala, V., Subramanian, K.A., 2017. A Comprehensive Review on Utilization of Hydrogen in a Compression Ignition Engine Under Dual Fuel Mode, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 472-491.
70. Christodoulou, F., Megaritis, A., 2013. Experimental Investigation of the Effects of Separate Hydrogen and Nitrogen Addition on the Emissions and Combustion of a Diesel Engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38, 10126-10140.
71. Yesilyurt, M.K., Eryilmaz, T., Arslan, M., 2018. A Comparative Analysis of the Engine Performance, Exhaust Emissions and Combustion Behaviors of a Compression Ignition Engine Fuelled with Biodiesel/diesel/1-butanol (C₄ alcohol) and Biodiesel/diesel/n-pentanol (C₅ alcohol) Fuel Blends, *Energy*, 165, 1332-1351.
72. Köse, H., 2012. Hidrojenin Çift Yakıt Modunda İlavesinin Motor Performans ve Emisyon Üzerine Etkisinin Deneysel Araştırılması, Selçuk Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalını, Yüksek Lisans Tezi, 90, Konya.
73. Kumar, S.S., Purushothaman, K., Rajan, K., 2017. Performance Analysis of a Biodiesel Fuelled Diesel Engine with the Effect of Alumina Coated Piston, *Thermal Science*, 21(1B), 489-498.
74. Yılmaz, İ.T., Gümüş, M., 2017. A Research on Biogas-diesel Dual Fuel Diesel Engine, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(3), 919-927.
75. Mahla, S.K., Dhir, A., Gill, K.J.S., Cho, H.M., Lim, H.C., 2018. Influence of EGR on the Simultaneous Reduction of NO_x-smoke Emissions Trade-off Under CNG-biodiesel Dual Fuel Engine, *Energy*, 152, 303-312.
76. Zhou, J.H., Cheung, C.S., Zhao, W.Z., Ning, Z., Leung, C.W., 2015. Impact of Intake Hydrogen Enrichment on Morphology, Structure and Oxidation Reactivity of Diesel Particulate, *Applied Energy*, 160, 442-455.
77. Pundir, B.P., Kumar, R., 2007. Combustion and Smoke Emission Studies on a Hydrogen Fuel Supplemented DI Diesel Engine. SAE Paper No. 2007-01-0055.

Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama

Hüseyin YAĞLI*¹, Yıldız KOÇ¹

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine
Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay

Geliş tarihi: 16.05.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada, Adana İli için biyogaz üretimi ve üretilen bu biyogazın kullanımı ile elde edilebilecek güç miktarının tespiti yapılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle Adana ilinde bulunan tüm hayvan sayıları (kanatlı, büyük ve küçük baş) elde edilerek bu hayvanların günlük gübre miktarları bulunmuştur. Bulunan gübre miktarı ve hayvan türüne göre gübre içerikleri dikkate alınarak üretilebilecek biyogaz miktarı hesaplanmıştır. Son olarak, üretilebilecek biyogaz miktarına bağlı olarak elde edilecek güç miktarı bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda Adana ilindeki hayvanlardan elde edilen gübrenin oksijensiz ortamda çürütülmesi ile yıllık ortalama biyogaz üretimi 88.367,417 m³-CH₄/yıl olarak ve bu biyogazın kullanımı ile yıllık yaklaşık elektrik enerjisi üretimi 309,286 MWhe/yıl olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adana, Biyogaz, Hayvan gübresi, Hayvansal atık, Biyogazdan güç üretimi

Determination of Biogas Production Potential from Animal Manure: A Case Calculation for Adana Province

Abstract

In this study, biogas production and the amount of power that can be obtained by using this biogas were determined. Within the scope of the study, first of all animal numbers (poultry, cattle and small cattle) in Adana province were obtained and daily manure quantities of these animals were found. The amount of biogas that can be produced by considering the manure content and the amount of manure according to the type of animal was calculated. Finally, the amount of power to be obtained was determined depending on the amount of biogas that can be produced. As a result of the calculations, the annual average biogas production was calculated as 88.367.417 m³-CH₄/year and the annual electric energy production was calculated as 309.286 MWhe/year with the use of this biogas.

Keywords: Adana, Biogas, Animal manure, Animal waste, Power production from biogas

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Hüseyin YAĞLI, huseyin.yagli@iste.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artmasına paralel olarak ve sanayinin gelişmesi enerji talebini artırmakta olup mevcut enerji arzı bu talebi karşılayamamasından dolayı enerji fiyatları yükselmektedir. Buda gittikçe enerji kullanımı artması anlamına gelmektedir. Dünya enerji ihtiyacını karşılamak için yoğun bir şekilde kullanılan fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olmaları nedeniyle iler ki yıllarda gerekli enerji ihtiyacını karşılamakta sıkıntılar çekileceği açıkça görülmektedir. Hızlı bir şekilde artan enerji ihtiyacının karşılanması için ülkemizde ve Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep hızlı bir şekilde artış göstermektedir.

Nüfus artışına bağlı olarak organik içerikli atıkların miktarında da artış gözlenmektedir. Çevresel açıdan olumsuz etki oluşturan bu atıkların bertaraf edilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Yeni enerji kaynakları arayışı içerisinde organik atıkların hem bertaraf edilmesi hem de biyogaz üretiminde kullanılarak alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi gittikçe önem kazanmaktadır. Organik temelli atıklardan enerji üretimi hem fosil yakıt kullanımını azaltırken aynı zamanda çevresel yönden olumsuz etkileri ortadan kaldırılmaktadır. Türkiye için yapılan araştırmalarda biyokütle atıklarından elde edilebilecek enerji miktarı 8,6 milyon TEP olarak ve bu atıkların çürüme kuyularında oksijensiz ortamda sindirilmesi ile elde edilebilecek biyogaz miktarının 1,5 ile 2 milyon TEP civarına olacağı tahmin edilmiştir [1]. Mevcut durumda 811 MW üretim kapasitesine ulaşmış olan kurulu biyokütle kaynaklı güç üretim tesislerinden 2018 yılında yaklaşık 3216 GWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir [1].

Biyokütle ve biyo-atıkların çürütülmesi ile elde edilebilecek bu büyük güç üretim potansiyeli araştırmacıları biyogaz üretimi ve biyogazdan güç üretim sistemlerine yöneltmiştir. Taleghani ve Kia [2], yapmış oldukları çalışmada organik atıklardan biyogaz eldesini ekonomik ve teknik yönden Saveh biyogaz güç tesisini baz alarak incelemişlerdir. Shane ve arkadaşları [3], yapmış oldukları çalışma kapsamında kentsel ticari biyogaz güç üretim modelini Zambiya kasabaları için uygulayarak teknik yönden incelemişlerdir. León ve Martín [4],

hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyelini incelemiş oldukları çalışmada aynı zamanda üretilen bu biyogazdan güç elde edilebilmesi için farklı güç sistemi tasarımları da yapmışlardır. Çalışma kapsamında öncelikle seçilen bölgedeki hayvan gübre miktarlarını tespit etmiş ve bu gübreden elde edilebilecek biyogaz miktarını hesaplamışlardır. Sonrasında gaz türbini ve Rankine çevriminden oluşan bir kojenerasyon sistemi kullanarak bu biyogazdan elde edilebilecek güç miktarını hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda 2,6 MW güç üretilebileceği görülmüştür.

Noorollahi ve arkadaşları [5], İran için besi hayvanlarının gübresinden elde edilebilecek biyogaz potansiyelini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda İran'ın Sistan-Baluchestan ve Ilam bölgelerinin yüksek gaz tüketimi ve devasa biyogaz üretim potansiyelinden dolayı öncelikli biyogaz üretim bölgeleri olması gerektiği kanaatine varmışlardır.

Abdeshahian ve arkadaşları [6], Malezya bölgesinde bulunan çiftliklerdeki hayvanların gübrelerinden elde edilebilecek biyogaz potansiyeli üzerine yapmış oldukları çalışmada, Malezya çiftliklerindeki hayvan gübrelerinden yıllık 4589,49 milyon-m³/yıl biyogaz üretilebileceğini hesaplamışlardır. Benzer şekilde Avrupa bölgesindeki hayvan çiftlikleri için de bir çalışma Scarlet ve arkadaşları [7] tarafından yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar neticesinde 13.866 ile 19.482 arasında biyogaz üretim tesisinin Avrupa bölgesine kurulabileceğini ve bu tesislerin kurulması neticesinde 6144 MWe ile 7145 MWe arasında bir elektrik üretiminin mümkün olduğunu hesaplamışlardır. Biyogaz üretimi ve üretilen biyogazın güç sistemlerinde kullanımı üzerine yapılan çalışmaların yanı sıra bu tesislerden elde edilen toplam verimi arttırmak içinde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar mevcut güç sistemlerinin optimizasyonunun içermesinin yanı sıra mevcut güç sistemlerine atık ısı geri kazanım sistemlerinin entegre edilmesiyle de elde edilen toplam verimi artırmayı hedeflemektedir [8-10].

Tüm bu çalışmalar bir arada ele alındığında bölgesel biyogaz üretim potansiyelinin

araştırılmasının ve bu potansiyel neticesinde elde edilebilecek güç miktarının belirlenmesinin ülke politikaları ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemi açıkça görülmektedir. Ayrıca, literatür çalışmalarında dünya ülkelerinde o ülkenin genel ve şehirler bazında biyogaz üretim potansiyelinin araştırıldığı birçok çalışma görülürken Türkiye için yapılmış kısıtlı çalışma olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye'nin genel biyogaz üretiminin yanı sıra hayvan sayısı bakımından büyük potansiyele sahip olan şehirlerin de potansiyelinin belirlenmesi büyük bir önem arz etmektedir.

Bu çalışmada Adana bölgesi için biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilen bu biyogazdan üretilebilecek güç miktarı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle Adana bölgesinde bulunan kanatlı, büyükbaş ve küçük baş hayvan sayılarının tespiti yapılmış ve bu hayvanların günlük gübre üretimleri baz alınarak üretilen günlük ve yıllık gübre miktarları hesaplanmıştır. Sonrasında her bir hayvanın gübre içeriği ve biyogaz üretim potansiyeli göz önüne alınarak üretilebilecek biyogaz potansiyeli tespit edilmiş olup bu biyogazın kullanımı ile üretilebilecek güç miktarı hesaplanmıştır.

2. BİYOGAZ

Organik içerikli atıklardan biyogaz üretimi sonucunda enerji ihtiyacının bir kısmı karşılanırken diğer yandan atıkların bertaraf edilmesini sağlamaktadır. Ana bileşen olarak proteinleri, karbonhidratları, hemiselülozları ve selülozları içeren her türlü biyokütle, biyogaz üretiminde kullanılabilir [11].

Biyokütle kullanımıyla; katı, sıvı ve gaz olarak farklı formlarda enerji ürünleri üretilir. Biyokütle kullanımı 6 farklı metotta olabilir. Bunlar, gazlaştırma, anaerobik çürütme, piroliz, doğrudan yakma, biyoyakıt üretimi ve kömür yakıtlarıyla beraber kullanılması sonucu enerji üretimi sağlanmaktadır [12].

Biyogaz oksijensiz ortamda organik artıkların biyolojik süreçlerle parçalanması sonucu elde edilir. Biyogazın farklı şekillerde yapılan anaerobik işlemlerle ortaya çıkan temel bileşikler Metan ve Karbondioksit karışımı olup bunlar toplam gazın

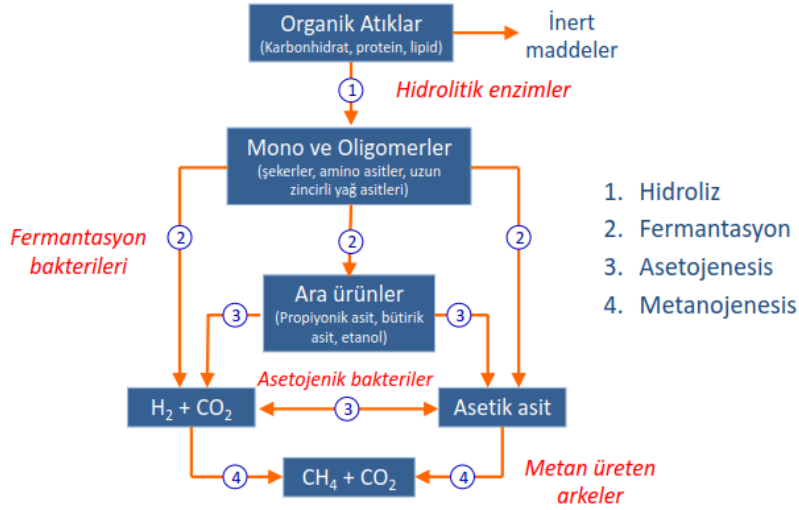
hacimsel olarak yaklaşık %98'ini oluştururlar. Ayrıca Biyogaz içerisinde az miktarda N_2 , O_2 , H_2O , H_2S , H_2 ve NH_3 gibi maddelerde bulunur [13]. Biyogazın bileşimi, sindirim süresi, atığın türü ve biyogaz üretim proses şartlarına bağlıdır. Biyogazın başlıca bileşeni metan gazı olup temel bileşenleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Biyogazın temel bileşenleri [14]

Bileşen Adı	Hacimsel Oran	Birim
Metan (CH_4)	40-75	%
Karbon dioksit (CO_2)	15-60	%
Su buharı (H_2O)	1-5	%
Azot (N_2)	0-5	%
Oksijen (O_2)	<2%	%
Hidrojen (H_2)	<1	%
Amonyak (NH_3)	0-500	ppm
Hidrojen Sülfür (H_2S)	0-5000	ppm

Biyogaz oluşumunda açığa çıkan metan gazı ideal bir gaz olup sıvılaştırma basıncı 280-350 bar olduğundan LPG gibi kolay sıvılaştırılmamaktadır. $1 m^3$ biyogazın ısı değeri içerisindeki metan oranına bağlı olarak 4700 ile 5700 kcal arasında değişir. $1 m^3$ biyogaz 0.75 litre benzin, 0.66 litre motorin, $0.25 m^3$ propan, $0.2 m^3$ bütan gazı, 1.46 kg odun kömürü, 3.47 kg odundan sağlanan enerjiye eşdeğerdir [15]. Biyogaz üretimi için gerekli olan bileşenler; organik madde, bakteri, anaerobik ortam ve ısıdır [16].

Biyogazın en temel bileşeni olan metan oluşumunu sağlayan bakterilerin besin maddesi organik maddedir. Organik maddenin en önemli kaynağı ise tarımsal ve hayvansal kökenli atıklardır. Bunlar; tarımsal atıklar, bahçe atıkları, kentsel katı atıklar, gıda ve yemek atıkları hayvansal gübre ve hayvansal atıkları, sanayi ve kentsel atık su arıtma tesis çamurları, gıda endüstrisi atıkları (çikolata, maya, süt vb.), sebze-meyve işleme atıkları ile bazı endüstriyel atıklar (tekstil, kağıt, deri, orman, gıda, vb.) organik madde kaynağı olarak kullanılmaktadır. [17]. Biyogazın üretim aşamaları Şekil 1'de şematik olarak verilmiştir [18].



Şekil 1. Biyogaz üretim aşamaları [18]

Genellikle kompleks organik polimerlerden oluşan biyokütle, Hidroliz aşamasında hidrolitik ve fermantatif bakteri tarafından kompleks ve uzun zincirli organik maddeler basit yapıdaki uçucu organik maddelere parçalanır. Bu aşamada oluşan yağ, protein ve karbonhidrat gibi polimerler anaerobik bakteriler tarafından daha küçük yapıdaki monomerlere dönüştürülür. İkinci aşamada, anaerobik bakteriler tarafından bu monomerler kısa zincirli asitlere, karbondioksit, hidrojen ve alkollere dönüştürülür. Üçüncü aşamada ise asetojenik bakteriler hidrojen, asetat ve karbondioksit üretirler. Metanojenik mikroorganizmalar hidrokarbonu, asetatı ve hidrojeni kullanarak, asetojenik bakterileri olumsuz etkileyen hidrojeni ortamda uzaklaştırırlar. Son aşamada, asetojenik bakterileri ürettiği organik asitler, asetat ve hidrojen; metanojen mikroorganizmalar tarafından karbondioksit ile hidrojenin sentezlenmesi ve asetik asitin parçalanması ile metan ve karbon dioksit dönüştürmeleri sonucu biyogaz elde edilir. Biyogaz üretiminin %27-30'u, asetik asitin oksidasyonu ile %70'i ise hidrojen ve karbondioksitin indirgenmesi ile üretilir [17,19,20].

Biyogaz üretimini etkileyen en önemli etkenler; atığın kompozisyonu, C/N oranı, pH değeri ve biyogaz reaktörünün sıcaklığıdır. Organik atıklar; karbonhidratlar, lipidler, proteinler ve lignoselülozdan oluşurlar. Karbonhidratlar; lipidler,

proteinler ve selüloza göre daha hızlı ve daha kolay fermente olurlarken, lipidlerin biyogaz potansiyeli karbonhidrat ve proteinlere göre daha fazladır [18].

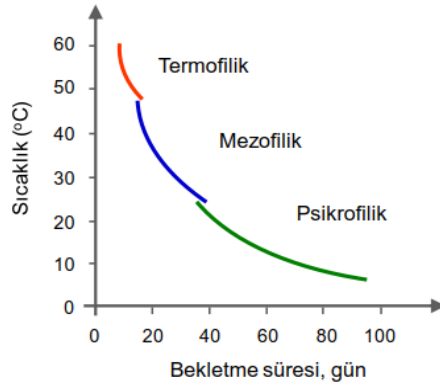
Organik atıkları carbon ve azot oranı (C/N) biyogaz üretimini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Biyogaz oluşumu için carbon gerekli iken, anaerobik bakterilerin gelişimi içinde azot gereklidir. Azotun azlığı bakteri gelişimini yavaşlatmakta ancak fazlalığı ise kötü kokulu ve yanmayan bir gaz olan NH_3 oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ideal bir anaerobik çürütme için C/N oranı 25-30/1 oranında olması uygundur [21].

Ayrıca, pH değeri de biyogaz üretiminde etkilidir. Metan üreten bakterilerden, asit üreten bakteriler daha hızlı çoğaldıklarından sürekli biyogaz reaktörünün pH değeri kontrol edilmelidir. Uygun pH değeri 6,8 ile 7,5 arasında olmalıdır. [17,22].

Metan üreten bakteriler ani ve gece-gündüz sıcaklık değişiminden olumsuz yönde etkilenirler. Biyogaz üretimi ve hızı biyogaz üretim reaktörünün sıcaklığına bağlıdır. Anaerobik fermantasyon işleminde bekletme süresi atık maddelerin türüne, içerdikleri iyonlara, pH değerine ve bunlara bağımlı olarak oluşan mikroorganizmaların yapısına bağlı olarak 3 değişik sıcaklık bölgesi mevcuttur. Bunlar; 2 ile 20 °C sıcaklıklar arasında 100 ile 300 gün

bekleme süresi olan Psikofilik fermantasyon, 20 ile 40 °C sıcaklıklar arasında 20 ile 40 gün bekleme süresi olan Mezofilik fermantasyon ve 40 ile 70 °C sıcaklıklar arasında çürüme hızı daha yüksek ve

bekleme süresi daha kısa olan Termofilik Fermantasyondur [16]. Şekil 2’de reaktör sıcaklığı ve bekleme süreleri verilmiştir.



Şekil 2. Reaktör sıcaklığı ve bekleme süreleri [18]

Sıcaklık arttıkça;

- Reaksiyon hızı artar, bekleme süresi kısalmır
- Gerekli reaktör hacmi azalmır
- Organik maddelerin hidrolizi hızlanmır

3. HAYVAN GÜBRESİNDEN BİYOGAZ ELDESİ

Tüm dünyada ve Türkiye’de hayvan kaynaklı atıklar önemli miktarda çevresel problemler oluşturmaktadır. Hayvansal atıkların herhangi işleme tabii tutulmadan doğrudan tarım alanlarına verilmesi mahsul kalitesini ve toprak yapısının faydalı kullanım özelliklerini bozmaktadır. Ayrıca atıkların uygun olmayan şartlarda depolanmasında, sinek, haşere, kötü koku gibi olumsuzlukların yanı sıra yeraltı sularının kirlenmesine sebep olmaktadır [23].

Her türlü çiftlik hayvanı kaynaklı atıklardan biyogaz üretimi mümkün olmaktadır. Ancak dünyada en yaygın olanları; sığır, koyun, keçi, domuz ve kümes hayvanlarıdır. Bunun yanı sıra at ve diğer tek tırnaklı hayvan gübrelere de içerdikleri katı madde miktarı yönünden biyogaz üretimi için oldukça uygundur [24].

Keçi ve koyun gübrelere, benzer kimyasal karakteristik özelliklerindeki kümes ve domuz gübrelereyle karıştırıldığında anaerobik çürüme süresi uzamakta ve biyogaz üretimi daha az gerçekleşmektedir. Keçi ve koyun gübrelere, sığır gübresiyle karıştırılması sonucu biyogaz üretimi daha verimli olmaktadır [25].

Kümes hayvanların gübresi diğer hayvan gübrelere oranla daha fazla biyoparçalanabilen organik madde içerirler. Kümes hayvanlarının yaş gübre üretimi günlük tavuk başına 0,08-0,125 kg arasında olup bununda yaklaşık %20-25 kadarı katı madde içerir. Bu katı maddenin %55-65 kadarı ise uçucu katı maddedir. Bu da kümes hayvanlarının gübresinin önemli bir biyogaz kaynağı olduğunu göstermektedir. Fakat tavuk gübresinin azot içeriği çok yüksek olması, biyogaz oluşumunu sırasında amonyak birikimine sebep olduğundan, oluşan amonyak biyogaz oluşum performansında bir azalmaya sebebiyet vermektedir [17].

Dünyada en çok biyogaz üretiminde büyük baş hayvanlarının gübresi kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden en önemlisi diğer hayvanlara göre günlük gübre miktarlarının fazla olmasıdır. Büyük baş hayvanlarından da et sığırlarının gübrelere katı madde oranı süt sığırlarına göre daha yüksektir. Süt sığırlarının gübrelere katı su ve lif içerikleri yüksek olması ve lif yüksek düzeyde çürümeye dirençli olduğundan daha düşük oranda metan gazı elde edilir [26].

Bu çalışmada Türkiye’deki hayvancılık sektöründe kabul edilen günlük atık miktarları ve özellikleri göz önüne alınmıştır. Hayvan türüne bağlı günlük

gübre miktarları birim hayvan başına yaş gübre oluşumu (kg/gün-hayvan), Katı madde oranı (KM), uçucu katı madde oranı (UKM), Katı madde içerisindeki uçucu katı madde oranı ve uçucu katı maddeden üretilen metan oranı Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Hayvan türüne göre biyogaz prosesi için kabul edilen gübre miktarı ve özellikleri [27]

Hayvan Türü	Hayvan Başına Ortalama Günlük Gübre Üretimi	Katı Madde Oranı (KM)	Yaş Gübredeki Uçucu Katı Madde Oranı (UKM)	Katı Maddedeki (KM) Uçucu Katı Madde Oranı (UKM)	Metan Üretimi
	kg/gün-hayvan	%	%	%	m ³ CH ₄ /kg-UKM
Süt Sığırı	43,00	13,95	11,63	83,36	0,18
Et sığırı	29,00	14,66	12,41	84,65	0,33
Buzağı (Genç Yavru)	2,48	8,39	3,71	44,23	0,33
Koyun	2,40	27,50	23,00	83,63	0,30
Keçi	2,05	31,71	23,17	73,06	0,30
At	20,40	29,41	19,61	66,67	0,30
Et tavuğu	0,19	25,88	20,00	77,278	0,35
Yumurta tavuğu	0,13	25,00	18,75	75,00	0,35
Hindi	0,38	25,53	19,36	75,83	0,35
Ördek ve kaz	0,33	28,18	17,27	61,28	0,35

Canlı türlerine göre biyogaz üretim miktarları ile gübrenin su ile seyretme oranları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Hayvan cinsine bağlı olarak biyogaz üretimi ve seyreltme oranı [16]

Hayvan Türü	Nem Miktarı	Biyogaz Üretimi	Seyreltme Oranı (Gübre/Su)
	% Islak Bazda	lt/kg	-
Sığır	80-85	40	1/1
Domuz	75-85	70	1/2
Kümes Hayvanı	70-80	60	1/3
Keçi	75-80	60	2/3
Koyun	75-80	50	2/3
At	80-85	50	2/3

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

4.1.1. Adana İli Biyogaz Potansiyeli ve Mevcut Durum

Üretimi tüketiminden hızlı olan biyokütle enerjisinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Biyokütle enerjisi, hayvansal atık ve atıkların kaynaklı olarak kullanılması ile yapılan biyolojik fermente sonucu oluşan bir enerji çeşididir. Adana ili gerek tarım gerekse hayvancılık yönünden Türkiye’nin en önemli şehirlerinden birisi olup Türkiye de hayvan yetiştiriciliği yapılan iller arasında BEPA tarafından yapılan sıralamada 2. en fazla yetiştiricilik yapan iller grubu içerisinde yer almaktadır [28]. Mevcut durumda Adana ili bölgesinde 4 adet kurulu biyogaz tesisi

bulunmaktadır. Bunlardan ikisi Adana Büyükşehir Belediyesinin kurmuş olduğu atık su santralleri olup ve bu kurulu santrallerin kapasiteleri Çizelge 4’de görülmektedir.

Adana bölgesinde yer alan Sofulu Çöplüğü Biyogaz tesisi toplam 15,57 MWe kurulu gücü ile

Türkiye’de 564. sırada yer alırken Adana’nın da 24. büyük güç santrali konumundadır. Türkiye’nin 5. Büyük biyogaz üretim tesisi konumunda bulunan Sofulu, ortalama 88.752,39 MWh elektrik üretimi kapasitesi ile günde yaklaşık 26.813 kişinin ihtiyacı duyduğu günlük tüm enerji ihtiyacını karşılamaktadır.

Çizelge 4. Adana da kurulu biyogaz tesisleri [29]

Santral Adı	İl	Firma	Üretilen Güç
Adana Batı Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0,80 MW
Adana Doğu Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0,80 MW
Pakmil Biyokütle Santrali	Adana	Pakmil Enerji	1,76 MW
Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	ITC Katı Atık Enerji	16 MW

Bu üretim ortalama konut tüketimi dikkate alındığında yaklaşık 28.175 konutun enerji ihtiyacına denk gelmektedir. Sofulu çöplüğü biyogaz santrali güç üretiminin Adana ili elektrik tüketimine oranı incelendiğinde, tesisin Adana ilinin 2015 yılındaki enerji ihtiyacının %1’ne karşıladığı görülmektedir. Bu oranın Türkiye’nin enerji tüketiminin %0,028’ine karşılık gelmektedir. Buda tesisin ülke ekonomisine katkısını net olarak göstermektedir [30].

4.1.2. Adana İli Hayvansal Gübre Yönünden Biyogaz Potansiyeli

Bu çalışmada Adana’daki hayvansal gübrelerden metan cinsinden biyogaz potansiyeli ve elde edilen metanın enerji değeri hesap edilmiştir. Adana ili

sahip olduğu hayvan sayısı bakımından BEPA tarafından yapılan sıralamada en yüksek hayvan sayısına sahip iller kategorisinde yer almaktadır [28]. Böylesi büyük hayvan sayısına sahip olan Adana ilinin biyogaz potansiyeli de göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Türkiye İstatistik Bölge Birimleri Sınıflandırması (Türkiye İBBS) Avrupa Birliği ülkelerinin kullandığı İstatistik Bölge Birimleri Sınıflandırması içinde Türkiye için kullanılan sınıflandırma olup, üç ayrı düzeyde İBBS bölgesi vardır. Bunlardan; Türkiye İstatistik Kurumu’nda (TUİK) Düzey-3 olarak nitelendirilen Türkiye İBBS3 (İl Düzeyi) olarak geçen sınıflandırma kullanılmıştır. TUİK verilerinden elde edilen Adana ili 2015-2018 yıllarına ait hayvan türüne göre hayvan sayıları verileri Çizelge 5’de görülmektedir.

Çizelge 5. Adana İli 2015-2018 yıllarına ait hayvan türüne göre hayvan sayıları [31]

Hayvan Türü	Yıllara Göre Hayvan Sayısı (Adet)			
	2015	2016	2017	2018
Kültür ve melez Süt sığır (Yetişkin)	123.256	125.402	129.057	143.356
Kültür ve melez Et sığır (Yetişkin)	44.824	45.309	40.187	52.929
Yerli sığır	4.194	2.733	2.685	2.761
Genç Yavru (Buzağı)	38.399	42.914	63.212	66.384
Koyun	287.379	267.400	358.918	380.209
Keçi	372.328	370.880	417.131	427.691
At-Katır-Eşek	3.639	3.561	2.835	2.643
Et tavuğu	583.385	575.991	1.006.623	1.052.592
Yumurta Tavuğu	725.267	756.988	860.515	920.694
Hindi	2.510	2.889	2.310	2.592
Kaz	2.837	3.044	3.029	8.921
Ördek	2.477	2.505	2.065	2.220
Toplam	2.190.495	2.199.616	2.888.567	3.062.992

Bir yılda 6 dönem etlik piliç yetiştirilmektedir. 40-42 gün yetiştirme süresi, 18-20 gün ise kümes temizliği, dezenfeksiyonu ve kümesin dinlendirilme süresi için gerekli olan süreler olup toplam 60 gün yani 2 ay gereklidir. Her iki ayda bir piliç yetiştirildiğinde yılda 6 kez yetiştirme yapılmaktadır. Bu nedenle TÜİK'ten alınan et tavuğu sayısı 6' bölünerek alınmıştır.

TÜİK 2018 yılı verilerine göre, Adana'da toplamda 265.430 adet büyükbaş, 2.643 Tek tırnaklı, 807.900 adet küçükbaş, 1.987.019 adet kanatlı olmak üzere 3.062.992 adet hayvan bulunmaktadır. Bu bağlamda, var olan hayvanların atık gübre miktarı incelenmiştir. Çizelge 2 ve Çizelge 5'de verilen değerler göre hesaplanan 2018 yılına ait Adana İli hayvansal atık miktarı Çizelge 6'da verilmektedir.

Çizelge 6. Adana İli 2018 yılı hayvansal atık miktarı

Hayvan Türü	2018 Yılı Hayvan Sayısı	Günlük Gübre Üretimi	Yıllık Gübre Üretimi	Toplam Hayvan Gübre Miktarına Oranı
	adet	ton/gün	ton/yıl	%
Kültür ve melez Süt sığır (Yetişkin)	143.356	6.164,308	2.249.972,420	60,960
Kültür ve melez Et sığır (Yetişkin)	52.929	1.534,941	560.253,465	15,179
Yerli sığır	2.761	80,069	29.225,185	0,792
Genç Yavru (Buzağı)	66.384	164,632	60.090,797	1,628
Koyun	380.209	912,502	333.063,084	9,024
Keçi	427.691	876,767	320.019,791	8,671
At-Katır-Eşek	2.643	53,917	19.679,778	0,533
Et tavuğu	1.052.592	199,999	72.997,255	1,978
Yumurta Tavuğu	920.694	119,690	43.686,930	1,184
Hindi	2.592	0,985	359,510	0,010
Kaz	8.921	3,390	1.237,343	0,034
Ördek	2.220	0,844	307,914	0,008
Toplam	3.062.992	10.112,04	3.690.893,47	100,000

Adana genelinde 2018 yılı itibariyle, toplamda 3.690.893,47 ton/yıl hayvan gübresi üretilmektedir. Bu miktarın 2.919.221,645 ton/yıl'ını büyükbaş, 653.082,875ton/yıl'ını küçükbaş ve 118.588,952 ton/yıl'ını ise kanatlı hayvan gübrelere oluşturmaktadır. Elde edilen bu değerler baz alınarak üretilebilecek enerji miktarı hesaplanmıştır.

4.2. Yöntem

Adana iline ait toplam gübre miktarı Çizelge 6 ile verilmiştir. Ancak burada verilen gübre oluşum miktarları potansiyel gübre üretimi olup pratikte bu gübrenin sadece belirli bir kısmı

toplanabilmektedir. Hayvansal gübrelere toplanabilirliği, hayvanların kapalı alanda bulunma süreleri ile, kapalı mekanlarda oluşan atıkların toplama ve biriktirme imkanlarıyla ilişkilidir. Örneğin Türkiye'nin batı bölgeleri, doğu bölgeleri ile karşılaştırıldığında daha büyük işletmelere sahiptirler. Genellikle kültür ve melez ırk süt ve et sığırları ahırlarda tutulmaktadır. Bazı kırsal bölgelerde yerli ırk büyük baş hayvanlar çayır ve meralarda otlatılmaktadır.

Türkiye'de hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyeli ile ilgili yapılan çalışmalarda, toplanabilir faydalı gübre miktarı teknik biyogaz potansiyeli olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada

hayvan türüne bağlı olarak, hayvanların kapalı ortamda kalma süreleri ile biyogaz potansiyelinin hesap edilmesinde kabul edilen değerler Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Bu çalışmada hayvan türüne bağlı olarak, hayvanların kapalı ortamda kalma süreleri ile biyogaz potansiyelinin hesap edilmesinde kabul edilen değerler [17,32,33]

Hayvan Türü	Hayvan Başına Ortalama Günlük Yaş Gübre Üretimi (M _{YG})	Toplanabilir Faydalı Gübre Oranı (T)	Yaş Gübredeki Katı Madde Oranı (KM)	KM İçerisindeki Uçucu Katı Madde Oranı (UKM)	Metan Üretimi (MO)
	kg/gün-hayvan	%	%	%	Nm ³ CH ₄ /kg-UKM
Kültür ve melez Süt sığır (Yetişkin)	43,00	100	17,27	83,36	0,18
Kültür ve melez Et sığır (Yetişkin)	29,00	100	12,41	84,65	0,33
Yerli sığır	29,00	50	17,27	83,36	0,33
Genç Yavru (Buzağı)	2,48	100	3,71	44,23	0,33
Koyun	2,40	13	23,00	83,63	0,30
Keçi	2,05	13	23,17	73,06	0,30
At-Katır-Eşek	20,40	29	19,61	66,67	0,30
Et tavuğu	0,19	66	20,00	77,278	0,35
Yumurta Tavuğu	0,13	99	18,75	75,00	0,35
Hindi	0,38	68	19,36	75,83	0,35
Kaz	0,33	68	17,27	61,28	0,35
Ördek	0,33	68	17,27	61,28	0,35

Biyogaz potansiyelini hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılarak hesap edilmiştir. Hayvanlar tarafından yıllık olarak üretilebilecek toplam yaş gübre miktarı; (Eşitlik 1)

$$M_{YYM}=M_{YG} * S * 365 \quad (1)$$

Burada, M_{YYM}; Hayvanlar tarafından bir yılda üretilebilecek toplam gübre miktar (kg/yıl), M_{YG} bir hayvanın bir yılda üretebileceği gübre miktarı (kg/yıl-hayvan) ve S ise hayvan sayısıdır. Hayvanların barınakta kalma süreleri göz önüne alındığında yıllık toplam faydalanılabilir yaş gübre miktarı; (Eşitlik 2)

$$M_{YFYG}=M_{YYM} * T \quad (2)$$

Burada, M_{YFYG} hayvanlar tarafından üretilen yıllık toplanabilir faydalı toplam yaş gübre miktarı (kg/yıl) ve T toplanabilir faydalı gübre oranı (%).

Üretilen yaş gübre içerisindeki katı madde miktarı; (Eşitlik 3)

$$M_{KM}=M_{YFYG} * KM \quad (3)$$

Burada, M_{KM} Hayvanlar tarafından üretilen yıllık toplanabilir faydalı gübre içerisindeki toplam katı madde miktarı (kg/yıl), KM ise yaş gübre içerisindeki katı madde oranı (%). Katı madde içerisindeki uçucu katı madde miktarı; (Eşitlik 4)

$$M_{UKM}=M_{KM} * UKM \quad (4)$$

Burada, M_{UKM} hayvanlar tarafından üretilen yaş gübre içerisindeki yıllık toplam uçucu katı madde miktarı (kg/yıl), UKM ise katı madde miktarı içerisindeki uçucu katı madde oranı (%) (Eşitlik 5)

$$M_{METAN}=M_{UKM} * MO \quad (5)$$

M_{METAN} hayvanlar tarafından üretilen toplanabilir faydalı gübreden elde edilebilecek toplam yıllık metan miktarı ($m^3 CH_4/yıl$), MO 1 kg UKM'den üretilen metan miktarıdır. %60 metan içeriğine sahip biyogazın enerji değerinin $22,7 MJ/Nm^3$ ve buna bağlı olarak metan gazının enerji değeri $36 MJ/Nm^3$ olarak alınarak hayvanlardan üretilen yıllık toplam biyogazın enerji miktarı hesaplanabilmektedir [17]. Metan gazından üretililecek enerji; (Eşitlik 6)

$$Q = M_{METAN} * H_{METAN} \quad (6)$$

Burada, Q bir yılda üretililecek metanın enerji karşılığı ($MJ/yıl$) ve H_{METAN} metan gazının ısı değeri olup $36 MJ/m^3$ olarak alınmıştır. Metan gazı bir CHP motorunda yakılarak elektrik üretilmesi sonucu elde edilecek elektrik miktarı; (Eşitlik 7)

$$E = M_{METAN} * \eta_e * W \quad (7)$$

Burada, E CHP motorunun yıllık elektrik üretimi ($MWhe/yıl$), η_e CHP motorunun elektriksel verimi (%35 alınmıştır) ve W Metan gazının kWh olarak enerji değeri olup $10 kWh/m^3$ olarak alınmıştır.

5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Adana İli mevsimsel olarak sıcak iklime sahip olduğundan kurulacak olan biyogaz tesisi için yılın birçok ayında ısıtma ihtiyacı hiç olmadan veya bazı aylar az miktarda ısıtma gerekeceğinden üretilen biyogazın tamamı enerji kaynağı olarak değerlendirilebilir. Adana İli'nde hayvan türüne bağlı olarak, TÜİK verilerine göre hayvan sayıları Çizelge 5'de verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi toplam hayvan sayısı 2015 yılın 2.190.495 iken 2018 yılında 3.062.992 adete yükselmiştir. Yerli sığır ve tek tırnaklı hayvan sayısında azalma gözlenmesine rağmen diğer hayvan türlerinde büyük bir artış olmuştur.

Tüm bu verilerden de anlaşılacağı üzere Adana İli hayvan yetiştiriciliği yönünden Türkiye' önemli bölgelerden biridir. Bu nedenle hayvan gübresinden biyogaz üretimi potansiyeli yüksek illerimizdendir. Adana ilinde yetiştirilen hayvan türüne göre hayvan sayısı, yıllık toplanabilir faydalı gübre miktarı, katı madde (KM) miktarı ve uçucu katı madde (UKM) miktarları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Adana ili 2018 yılı hayvan türüne göre üretilen toplanabilir faydalı gübre, KM miktarı ve UKM miktarı

Hayvan Türü	2018 Yılı Hayvan Sayısı	Toplanabilir Faydalı Gübre Miktarı	Katı Madde Miktarı (KM)	Gübre İçerisindeki KM Oranı	Uçucu Katı Madde Miktarı (UKM)	Gübre İçerisindeki UKM Oranı
	adet	ton/yıl	ton/yıl	%	ton/yıl	%
Kültür ve melez Süt sığır (Yetişkin)	143.356	2.249.972,420	388.570,237	77,475	323.912,15	77,929
Kültür ve melez Et sığır (Yetişkin)	52.929	560.253,465	69.527,455	13,862	58.854,99	14,160
Yerli sığır	2.761	14.612,593	2.523,595	0,503	2.103,67	0,506
Genç Yavru (Buzağı)	66.384	60.090,797	2.229,369	0,444	986,05	0,237
Koyun	380.209	43.298,201	9.958,586	1,985	8.328,37	2,004
Keçi	427.691	41.602,573	9.639,316	1,921	7.042,48	1,694
At-Katır-Eşek	2.643	5.707,136	1.119,169	0,223	746,15	0,180
Et tavuğu	1.052.596	48.178,188	9.635,638	1,921	7.446,23	1,791
Yumurta Tavuğu	920.694	43.250,061	8.109,386	1,616	6.082,04	1,463
Hindi	2.592	244,467	47,329	0,009	35,89	0,009
Kaz	8.921	841,393	145,309	0,028	89,05	0,021
Ördek	2.220	209,382	36,160	0,007	22,16	0,005
Toplam	3.062.992	3.068.260,67	501.541,549	100,000	415.649,22	100,00

Adana İli'nde büyük baş hayvan olarak en fazla 143.356 adetle olarak sığıru besiciliği yapılmaktadır. Et tavukçuluğu 1.052.592 adet ve yumurta tavukçuluğu 920.694 adet ile Türkiye'de önemli merkezlerden biri olduğu görülmektedir. Toplanabilir faydalı gübre yılda 3.068.260,67 ton

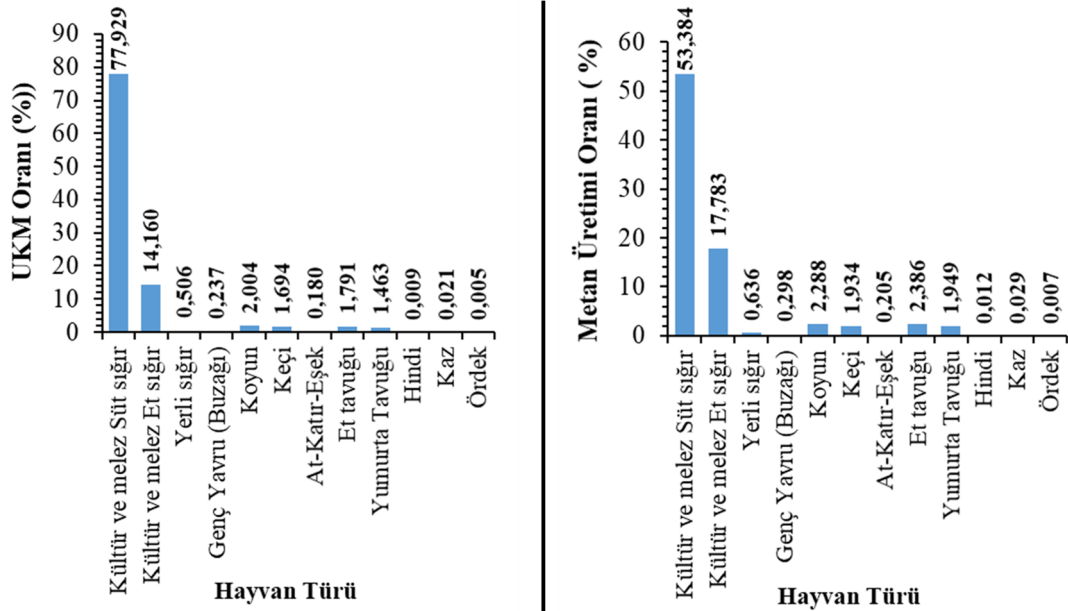
olup büyük bir biyogaz üretim potansiyeli sahiptir. Çizelge 9'da Adana İli'nde bulunan hayvan türüne göre toplanabilir faydalı gübrelerden üretilebilecek metan gazı, enerji değeri ve elektrik üretim potansiyeli verilmiştir.

Çizelge 9. Adana İli'nin hayvan türüne bağlı olarak hayvan gübresinden metan, enerji ve elektrik üretilebilecek miktarları

Hayvan Türü	2018 Yılı Hayvan Sayısı	Metan Üretimi	Enerji Değeri	Enerji Değeri	Elektrik Enerjisi Değeri
	adet	m ³ -CH ₄ /yıl	GJ/yıl	TEP/yıl	MWhe/yıl
Kültür ve melez süt sığıru (Yetişkin)	143.356	58.304,19	2.098,951	50,130	204,065
Kültür ve melez et sığıru (Yetişkin)	52.929	19.422,15	699,197	16,699	67,978
Yerli sığıru	2.761	694,21	24,992	0,597	2,430
Genç yavru (Buzağı)	66.384	325,40	11,714	0,280	1,139
Koyun	380.209	2.498,51	89,946	2,148	8,745
Keçi	427.691	2.112,75	76,059	1,817	7,395
At-katır-eşek	2.643	223,85	8,058	0,192	0,783
Et tavuğu	1.052.596	2.606,18	93,822	2,241	9,122
Yumurta tavuğu	920.694	2.128,71	76,634	1,830	7,451
Hindi	2.592	12,56	0,452	0,011	0,044
Kaz	8.921	31,17	1,122	0,027	0,109
Ördek	2.220	7,76	0,279	0,007	0,027
Toplam	3.062.992	88.367,417	3.181,227	75,979	309,286

Toplam 3.062.992 adet hayvandan toplam yılda 88.367,417 m³ metan üretilebileceği Çizelge 9'dan görülmektedir. Bu metan gazının 78.745,94 m³ toplam büyükbaş hayvanlardan, 4.611,26 m³ toplam küçükbaş hayvanlardan, 223,85 m³ toplam tek tırnaklı hayvanlardan ve 4.786,38 m³ toplam kanatlı hayvanlardan üretilebileceği hesaplanmıştır. 2018 yılında toplanabilir faydalı hayvan gübresinden biyogaz üretimi yapılması sonucu, üretilebilecek toplam metan gazının enerji değeri 3.181,227 GJ/yıl ve 75,979 TEP/yıl olacaktır. Metan gazı ortalama elektrik verimi %35 olan bir CHP motorunda yakıldığında yılda 309,286 MWhe elektrik üretiminin mümkün olacağı görülmektedir. Buda, 1 kWh elektrik tasarrufunun yaklaşık olarak 0,58 kg CO₂ salınımına denk geldiği düşünüldüğünde hayvansal atıklardan biyogaz eldesi ile yılda yaklaşık 179,4 ton CO₂ salınımının engellenebileceği anlamına gelmektedir [34].

Şekil 3'de 2018 yılındaki hayvan türüne bağlı olarak toplanabilir faydalı toplam hayvan gübrelerinin üretilebilecek UKM ve Metan oranları grafiksel olarak verilmiştir. Tüm yıl boyunca toplanabilir faydalı gübrelerde elde edilebilecek UKM ve Metan oranları incelendiğinde, toplam üretilen UKM ve Metan miktarları içerisinde %77 UKM ve %53 Metan oranı ile en fazla kültür ve melez süt sığırlarından elde edilebileceği görülmektedir. Kültür ve melez süt sığırlarının sayısı ve et sığırlarına göre gübre içerisindeki katı madde oranları fazla olduğundan dolayı en fazla UKM oranı ve metan üretimi bunlardan üretilmektedir. Toplam UKM oranının %77'sinin kültür ve melez süt sığırlarından üretilebileceği görülse de UKM den üretilebilecek metan üretimi %18 ile en düşük bu hayvanlar olduğundan Metan üretimi %53 oranında gerçekleşmesi söz konusudur.



Şekil 3. 2018 yılındaki hayvan türüne bağlı olarak toplanabilir faydalı toplam hayvan gübrelere üretilen UKM ve metan oranları

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyogaz üretiminin sürdürülebilir olması için, ekonomik, çevresel ve sosyal bakış açısı gibi birçok faktör vardır. Biyogaz üretiminde, hammadde ve teknoloji uygun olarak kullanılmalı ve anaerobik sindirim için uygun şartların sağlanması gerekmektedir. Biyogaz üretiminin yaygınlaştırılması hem enerjide dışa bağımlılığı azaltacak aynı zamanda CO₂ salınımını azaltarak sera etkisi oluşumuna olumlu etki edecektir. Günümüzde insan sağlığını tehdit eden, çevresel problemlere neden olan organik atıkların değerlendirilmesine ve zararsız hale getirilmesine olanak sağlayan biyogaz güç teknolojilerinin kullanımı önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Temel olarak atık su arıtma tesislerindeki arıtma çamurlarından da üretilen biyogazın en temel kaynağı hayvansal atıklardır. Hayvansal atıkların sayılarının, gübre üretim oranlarının ve biyogaz üretim potansiyelinin Adana İli özelinde detaylı olarak ele alındığı bu çalışmada ayrıca üretilen biyogazın CHP motorlarda kullanımı ile elde edilebilecek güç miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde:

- Adana'da toplamda 265.430 adet büyükbaş, 2.643 tek tırnaklı, 807.900 adet küçükbaş, 1.987.019 adet kanatlı olmak üzere toplamda 3.062.992 adet hayvanın bulunduğu,
- 2018 yılı itibarıyla toplamda 3.690.893,47 ton/yıl hayvan gübresinin üretildiği ve bu miktarın 2.919.221,645 ton/yıl'ını büyükbaş, 653.082,875 ton/yıl'ını küçükbaş ve 118.588,952 ton/yıl'ını ise kanatlı hayvan gübrelere ürettiği,
- görülmüştür. Bu veriler ele alınarak yapılan hesaplamalar neticesinde;
- Toplam 3.062.992 adet hayvandan toplam yılda 88.367,417 m³ metan üretilebileceği,
- Bu metan gazının 78.745,94 m³'ünün büyükbaş hayvanlardan, 4.611,26 m³'ünün küçükbaş hayvanlardan, 223,85 m³'ünün tek tırnaklı hayvanlardan ve 4.786,38 m³'ünün kanatlı hayvanlardan üretilebileceği,
- 2018 yılında toplanabilir faydalı hayvan gübresinden biyogaz üretimi yapılması sonucu, üretilen toplam metan gazının enerji değerinin 3.181,227 GJ/yıl ve 75,979 TEP/yıl olacağı

- Metan gazının ortalama elektrik verimi %35 olan bir CHP motorunda yakılması ile yılda 309,286 MWhe elektrik üretiminin mümkün olacağı görülmüştür. 1 kWh elektrik tasarrufunun yaklaşık olarak 0,58 kg CO₂ salınımına denk geldiği düşünüldüğünde hayvansal atıklardan biyogaz eldesi ile yılda yaklaşık 179,4 ton CO₂ salınımının engellenebileceği görülmektedir.
- ## 6. KAYNAKLAR
1. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Bilgi Merkezi, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle> (erişim tarihi 01.05.2019).
 2. Taleghani, G., Kia, A.S., 2005. Technical-economical Analysis of the Saveh Biogas Power Plant. *Renewable Energy*, 30(3), 441-446.
 3. Shane, A., Gheewala, S.H., Kafwembe, Y., 2017. Urban Commercial Biogas Power Plant Model for Zambian Towns. *Renewable Energy*, 103, 1-14.
 4. León, E., Martín, M., 2016. Optimal Production of Power in a Combined Cycle from Manure Based Biogas. *Energy Conversion and Management*, 114, 89-99.
 5. Noorollahi, Y., Kheirrouz, M., Asl, H.F., Yousefi, H., Hajinezhad, A., 2015. Biogas Production Potential from Livestock Manure in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 748-754.
 6. Abdeshahian, P., Lim, J. S., Ho, W. S., Hashim, H., Lee, C.T., 2016. Potential of Biogas Production from Farm Animal Waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 714-723.
 7. Scarlat, N., Fahl, F., Dallemand, J. F., Monforti, F., Motola, V., 2018. A Spatial Analysis of Biogas Potential from Manure in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 915-930.
 8. Koç, Y., Yağlı, H., Koç, A., 2019. Exergy Analysis and Performance Improvement of a Subcritical/Supercritical Organic Rankine Cycle (ORC) for Exhaust Gas Waste Heat Recovery in a Biogas Fuelled Combined Heat and Power (CHP) Engine through the Use of Regeneration. *Energies*, 12(4), 575.
 9. Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., Tandiroğlu, A., 2016. Parametric Optimization and Exergetic Analysis Comparison of Subcritical and Supercritical Organic Rankine Cycle (ORC) for Biogas Fuelled Combined Heat and Power (CHP) Engine Exhaust Gas Waste Heat. *Energy*, 111, 923-932.
 10. Chatzopoulou, M.A., Simpson, M., Sapin, P., Markides, C.N., 2019. Off-design Optimisation of Organic Rankine Cycle (ORC) Engines with Piston Expanders for Medium-scale Combined Heat and Power Applications. *Applied Energy*, 238, 1211-1236.
 11. Weiland, P., 2010. Biogas Production: Current State and Perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849-860.
 12. Cordell, D., Drangert, J.O., White, S., 2009. The Story of Phosphorus: Global Food Security and Food for Thought. *Global Environmental Change*, 19(2), 292-305.
 13. International Energy Agency (IEA) Report December, 2000, Task24- Energy from Biological Conversion of Municipal Solid Waste.
 14. Bharathiraja, B., Sudharsana, T., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R., Chozhavendhan, S., Iyyappan, J., 2018. Biogas Production-A Review on Composition, Fuel Properties, Feed Stock and Principles of Anaerobic Digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 570-582.
 15. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> (Erişim tarihi 01.05.2019).
 16. İlkiliç, C., Deviren, H., 2011. Biyogazın Üretimi ve Üretimi Etkileyen Faktörler. In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey, 16-18.
 17. Görmüş, C., 2018. Türkiye'deki Hayvan Gübrelerinin Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78. Tekirdağ.
 18. Çallı, B., 2012. Atıklardan Biyogaz Üretimi. Türkiye Kimya Derneği-Genç Kimyacılar Platformu, <http://mebig.marmara.edu.tr/Presentations/BiyogazUretimi.pdf>. (Erişim tarihi 01.05.2019).

19. Deublein, D., Steinhäuser, A., 2011. Biogas from Waste and Renewable Resources: an Introduction. John Wiley & Sons, Weinheim.
20. Kaya, D., Öztürk, H. H., 2012. Biyogaz Teknolojisi: Üretim-kullanım-projeleme. Umuttepe Yayınları, İzmit/Kocaeli, 253.
21. Sreekrishnan, T.R., Kohli, S., Rana, V., 2004. Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Techniques-a Review. Bioresource Technology, 95(1), 1-10.
22. Mutlu, S.F., 2003. Biyogazın Kırsal Kesimde Kullanımı ve Tasarım Temelleri. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 27, 39-41.
23. Dalkılıç, K., Uğurlu, A., 2013. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi. Tavukçuluk Araştırma Dergisi, (10), 14-19.
24. Eryaşar, A., Koçar, G., 2009. Biyogaz Üretiminde Basıncın Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2), 181-186.
25. Cestonaro, T., de Mendonça Costa, M.S.S., de Mendonça Costa, L.A., Rozatti, M.A.T., Pereira, D.C., Lorin, H.E.F., Carneiro, L.J., 2015. The Anaerobic Co-digestion of Sheep Bedding and $\geq 50\%$ Cattle Manure Increases Biogas Production and Improves Biofertilizer Quality. Waste Management, 46, 612-618.
26. Marañón, E., Castrillón, L., Quiroga, G., Fernández-Nava, Y., Gómez, L., García, M.M., 2012. Co-digestion of Cattle Manure with Food Waste and Sludge to Increase Biogas Production. Waste Management, 32(10), 1821-1825.
27. İkinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yaldız, O., Ertekin, C., Öztürk, H.H., 2010. The Prospective of Potential Biogas Plants that can Utilize Animal Manure in Turkey. Energy Exploration & Exploitation, 28(3), 187-205.
28. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası, <http://bepa.yegm.gov.tr/> (Erişim tarihi 01.05.2019).
29. Enerji Atlası, E-Bültenler <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz/> (Erişim tarihi 01.05.2019).
30. Enerji Atlası, Adana Yüreğir Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali Raporu, <http://www.enerjiatlası.com/biyogaz/sofulu-coplugu-biyogaz-santrali.html> (erişim tarihi 01.05.2019).
31. Türkiye İstatistik Kurumu, Hayvan İstatistik Raporu <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr> (erişim tarihi 01.05.2019).
32. Ayhan, A., 2015. Biogas Production Potential from Animal Manure of Bursa Province. Journal of Agricultural Faculty of Uludağ University, 29(2), 47-53.
33. Aktaş, T., Özer, B., Soyak, G., Ertürk, M.C., 2015. Tekirdağ İli'nde Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogazdan Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 11(1), 69-74.
34. Koc, Y., Yaglı, H., Özdes, E.O., Baltacıoğlu, E., Koc, A., (in press). Thermodynamic Analysis of Solid Waste and Energy Consumption to Reduce the Effects of an Electric Arc Furnace (EAF) on the Environment. International Journal of Global Warming.

Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı Yaklaşımı

Kasım ÇELİK^{*1}, F. Rengin ÜNVER²

¹Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Adana
²Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 08.07.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bir okul tasarlanırken yalnızca mekan büyüklükleri ve derslik sayıları özelinde kalınmamalı, okulun tüm bileşenleri dikkate alınmalı, aydınlatma başta olmak üzere fiziki konfor koşulları göz önünde tutulmalıdır. Bu çalışmada eğitim yapılarında yer alan mekanların aydınlatma sistemlerinin sürdürülebilirlik çerçevesinde kurgulanması ve yeterlilik durumunun geliştirilen yöntemlerle belirlenmesi, iş akış şemaları ve aydınlatma önerileriyle tasarlanacak veya iyileştirilecek aydınlatma sistemleri açısından tasarımcılara yol gösterecek kılavuz bir çalışma oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, sürdürülebilir aydınlatma yaklaşımının tasarım ve değerlendirme süreçlerinde yarar sağladığını ortaya koymuştur. Yaklaşımda sunulan iş akış şemaları, kullanılan yöntemler ve hazırlanan değerlendirme araçları ile yeni tasarlanacak ve mevcut eğitim yapılarında sürdürülebilirlik çerçevesinde aydınlatma tasarımı gerçekleştirmenin ve değerlendirmenin olanaklı olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma, Eğitim yapıları, İyileştirme, Sürdürülebilirlik

Sustainable Lighting Design Approach in Educational Buildings

Abstract

When designing a school, not only the size of the spaces and the number of classrooms should be kept in mind, but also all components of the school should be taken into account and physical comfort conditions, especially lighting, should be taken into consideration. In this study, it is aimed to create a guideline that will guide the designers in terms of lighting systems to be designed or improved with workflow diagrams and lighting proposals, and the construction of lighting systems of the spaces in the educational buildings within the framework of sustainability. The results of the study showed that sustainable lighting approach was beneficial at both design and evaluation process. It is possible to design and evaluate lighting design within the framework of sustainability in the existing training structures and new design with the work flow diagrams, methods used and the evaluation tools presented in the approach.

Keywords: Lighting, Educational buildings, Retrofit, Sustainable

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Kasım ÇELİK, kcelik@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Eğitim yapıları gelecek nesillerin yetişmesinde rol oynamasının yanında sahip olduğu enerji tasarruf potansiyelleri nedeniyle tüm bileşenlerinin titizlikle düşünülmesi gereken ve sürdürülebilirlik çerçevesinde tasarlanarak inşa edilmesi gereken yapı türlerinin başında gelmektedir. Milli Eğitim Bakanlığı'nın 2019 verilerine göre ilk, orta ve lise eğitim kurumlarında öğrenim gören öğrenci sayısı yaklaşık olarak 16 milyon, eğitim hizmeti veren bina sayısı ise 55 bindir [1]. Ülke nüfusunun yaklaşık olarak %20'sinin etkin olarak kullandığı mekanların fiziki konfor koşullarını sağlaması ve enerjiyi etkin olarak kullanması bu açıdan önemlidir.

Aydınlatma konusu, öğrencilerin akademik performanslarını arttırması, göz sağlıklarını koruması ve buldukları mekandan hoşnut olmalarını sağlaması gibi pek çok olumlu etkiye sahiptir. Bu açıdan öğrenme mekanlarındaki eğitim kalitesinin arttırılması açısından eğitim yapılarındaki aydınlatma sistemleri, dikkatle ele alınması gereken bir konudur.

Bu makalede yeni yapılacak okul binalarının aydınlatma sistemlerinin tasarlanması, mevcut okulların ise aydınlatma açısından yetersizliklerinin belirlenmesi ve iyileştirilmesine yardımcı olacak bir yaklaşım çalışmasının açıklanması amaçlanmıştır. Mevcut ve yeni yapılacak okulların aydınlatma sistemlerini ele alması nedeniyle yaklaşımın iki aşaması bulunmaktadır.

Çalışma özelinde yaklaşım genel hatları ile tanıtılmış daha sonra mevcut bir okul binasında yaklaşımın öngördüğü adımlar izlenerek bir alan çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak mevcut okulların aydınlatma sistemlerinin durumunun belirlenmesi ve değerlendirilebilmesi için "Kullanım Sonrası Değerlendirme (KSD)" yöntemleri kullanılmıştır. İyileştirme aşamasında aydınlatma seçenekleri arasından optimum seçimi gerçekleştirebilmek adına Karar Destek Sistemlerinden Analitik Hiyerarşi Sürecinden yararlanılmıştır. Alan çalışması sonucunda elde edilen bilgilerin teoride ortaya konulan bilgileri destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

2. EĞİTİM YAPILARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR AYDINLATMA YAKLAŞIMI

Günümüzde binalar kullanıcılarına konforlu, sağlıklı yaşam alanları sunarken, sürdürülebilir mimariye uygun olarak enerji ve doğal kaynakları da verimli bir biçimde kullanmalıdır. Eğitim yapılarının aydınlatma düzenlerinin sürdürülebilirlik ilkelerine uygun olarak kurulması gereklidir. Sürdürülebilir aydınlatma, Aydınlatma Mühendisleri Topluluğu (Illuminating Engineers Society; IES) ve Uluslararası Aydınlatma Tasarımcıları Birliği (International Association of Lighting Designers; IALD) tarafından görsel çevredeki gereksinimlerin doğal çevreye en az zararlı karşılanması olarak tanımlanmıştır [2,3]. Sürdürülebilir aydınlatma tasarımı, ilk olarak yapının projelendirme aşamasında belirlenen bir dizi hedefle başlar. Bu süreç aydınlatma düzeninin aydınlatma ve enerji performansı ile çevresel etkilerini ve kullanım sonrasında bileşenlerin ömrünü tamamladıktan sonra yok edilmesine kadar geçen süre ile maliyet etkinliğini de içine alır [4]. Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere aydınlatma, çevre ve kullanıcılar üzerindeki etkisi nedeniyle sürdürülebilir bina tasarımının en önemli bileşenlerinden biridir. Bir yapının aydınlatma sisteminin sürdürülebilir nitelikte olabilmesi için belirli ölçütlere göre tasarlanması ve değerlendirilmesi gereklidir.

Çalışmada ortaya konulan aydınlatma yaklaşımıyla, aydınlatma sistemlerinin sürdürülebilirlik açısından tasarlanması ve değerlendirilmesine olanak sağlayacak bir model ortaya konulmuş ve söz konusu yaklaşım modeli iş akış şemaları, gözlem listeleri ve anketlerle desteklenmiştir.

2.1. Yaklaşımın Amacı ve Yöntemi

Sürdürülebilir aydınlatma tasarımı yaklaşımının amacı, aydınlatma konusuna tasarım aşamasından kullanım aşamasına kadar bütüncül bir bakış sağlayarak aydınlatma sistemleri açısından hem yeni tasarlanacak hem de mevcut okullar için tasarım ve iyileştirme (retrofit) uygulamalarına yol gösterici bilgiler sunmaktır.

Bu amaç doğrultusunda ilk olarak geniş bir literatür taraması yapılarak kuramsal altyapı oluşturulması hedeflenmiş; yurtiçi ve yurtdışında konuyla ilgili yapılmış olan bildiri, makale ve tezler ile çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından yayınlanmış eğitim yapılarına yönelik tasarım, aydınlatma, retrofit, enerji vb. konular hakkındaki kılavuzlar incelenmiştir. Literatür araştırmasıyla eğitim yapılarına yönelik yapılmış çalışmalar ve yöntemler incelenerek konuyla ilgili eksiklikler belirlenmiştir.

Yaklaşım kurgulanırken izlenen yöntem adımları,

1. Yeni tasarlanacak ve mevcut okul binalarının aydınlatma düzeni oluşturma sürecindeki değişik evrelerin belirlenmesi,
2. Süreç evrelerindeki kullanıcı, paydaş, eylem vb. konuların yer aldığı iş akış şemalarının hazırlanması,
3. Aydınlatma sistemlerinin durumlarının belirlenerek değerlendirilmesine ve iyileştirilmesine yardımcı olacak araçların belirlenmesi, geliştirilmesi

olarak sıralanabilir. Söz konusu bu yaklaşımla;

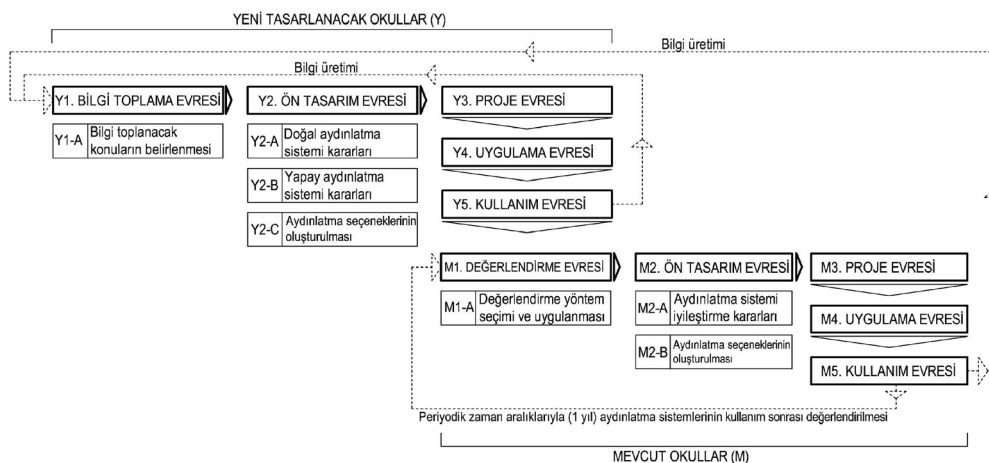
- Tasarımcılar (Mimar, mühendis, aydınlatma tasarımcıları vb.),
- Okul yapımından ve bakımından sorumlu devlet kurumları,
- Okul yönetimleri,
- Öğretmenler

gibi değişik meslek gruplarındaki kişilerin/kurumların okullardaki aydınlatma

sistemlerinin sürdürülebilirlik bağlamında tasarımı ve iyileştirilmesi konusunda yardımcı olması amaçlanmıştır.

2.2. Yaklaşımın Bölümleri

Yaklaşım kapsamında okullar, yeni tasarlanacak ve mevcut olmak üzere iki başlıkta ele alınmıştır. Yeni tasarlanacak okul binalarının, yapımı tamamlanıp kullanıma başladıktan sonra mevcut yapı durumuna geçeceği açıktır. Bu nedenle, yeni tasarlanacak bir okul binasının aydınlatma sisteminin kurgulanması ile aynı işleve sahip mevcut yapının aydınlatma sisteminin iyileştirilmesi işlemleri birbirine belli ölçüde benzerlik göstermektedir. Bu bağlamda, yeni ve mevcut okulların aydınlatma sistemlerinin kurgulanmasının döngüsel bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Bu döngü kısaca, yeni bir yapının inşa edilmesi, eskiyerek mevcut yapı durumuna geçmesi ve ilerleyen yıllarda ihtiyaca göre aydınlatma sistemlerinde iyileştirme işlemlerinin yapılması biçiminde gerçekleşmektedir. Söz konusu işlemlerin, sürdürülebilir aydınlatma düzeni oluşturma sürecindeki evreleri, yeni yapılar için, “bilgi toplama, ön tasarım, tasarım, uygulama ve kullanım” olarak beş bölümde toplanabilir [5]. Yeni tasarlanacak okul binalarının aydınlatma tasarımı süreci ve mevcut okulların aydınlatma sistemi iyileştirme evrelerindeki temel ayırım, bilgi toplama evresindedir. Yaklaşımına ait genel akış şeması Şekil 1’de sunulmuştur.

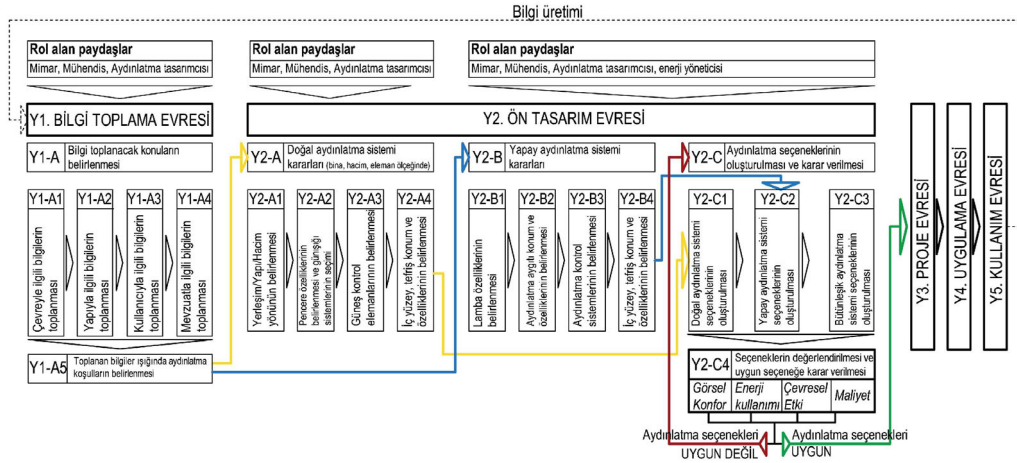


Şekil 1. Sürdürülebilir aydınlatma yaklaşımına genel bakış [5]

2.2.1. Yeni Tasarlanacak Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Yaklaşımı

Yeni tasarlanacak okul binaları (Y) için sürdürülebilir aydınlatma tasarımına yönelik yaklaşım sürecinin evreleri “Bilgi toplama (Y1), Ön

tasarım (Y2), Proje (Y3), Uygulama (Y4) ve Kullanım (Y5)” olmak üzere beş temel evreden oluşmaktadır ve her evrenin kendine özgü adımları ile adımların alt basamakları bulunmaktadır. Evrelere ilişkin özellikler ve paydaşlar Şekil 2’deki iş akış şemasında gösterilmiştir.

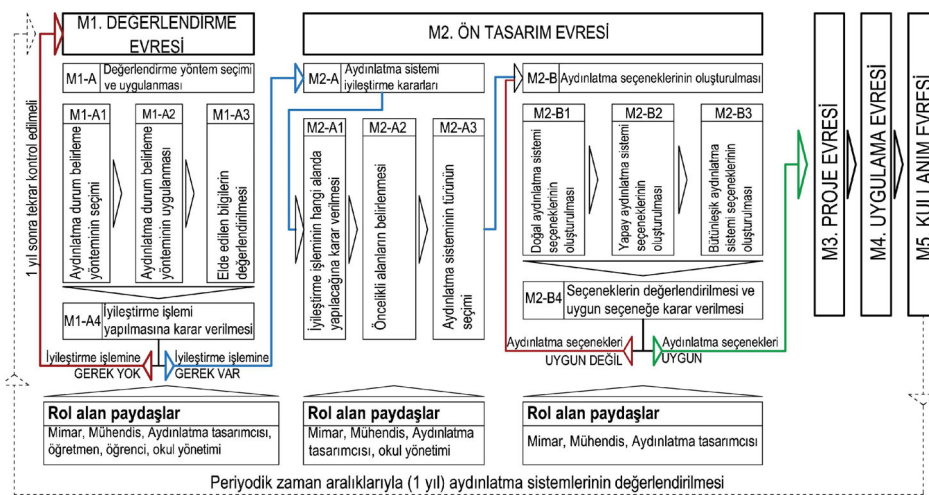


Şekil 2. Yeni yapılacak okullarda sürdürülebilir aydınlatma yaklaşımı [5]

2.3.2. Mevcut Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Yaklaşımı

Mevcut okul binalarının (M) aydınlatma sistemlerinin sürdürülebilirlik açısından iyileştirilmesine yönelik sürecin evreleri, yeni tasarlanacak okullar için hazırlanan aydınlatma

yaklaşımına paralel olarak “Değerlendirme (M1), Ön tasarım (M2), Proje (M3), Uygulama (M4) ve Kullanım (M5)” olmak üzere beş evreden oluşmaktadır. İş akış şemasındaki adımlarda mevcut eğitim yapılarına yönelik hangi paydaşların rol aldığı ve eylemlere ilişkin açıklamalar Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Mevcut okullarda sürdürülebilir aydınlatma yaklaşımı [5]

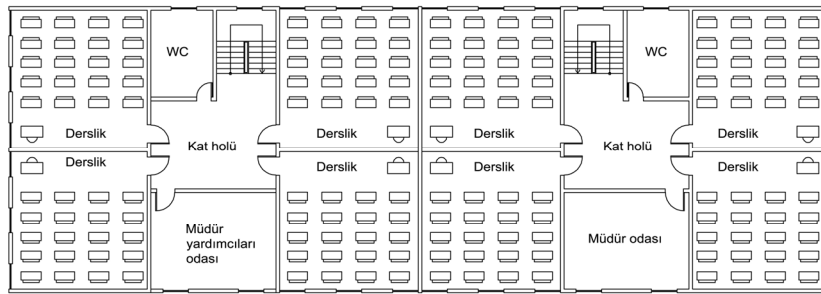
3. ALAN ÇALIŞMASI

Sürdürülebilir aydınlatma yaklaşımının mevcut okul binalarında uygulanabilirliğini ortaya koymak amacıyla, Adana'da yer alan Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı Ramazanoğlu Ortaokulu'nda bir alan çalışması gerçekleştirilmiştir.

Ramazanoğlu Ortaokulu'nda 19 derslik, 5 idari mekan, 1 çok amaçlı salon, 1 bilgisayar laboratuvarı, 1 fen laboratuvarı, 1 öğretmen odası, ıslak hacimler ve servis için kullanılan diğer mekanlardan oluşmaktadır. Okula ait plan ve görseller Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 4. Ramazanoğlu Ortaokulu (RO)



Şekil 5. Ramazanoğlu Ortaokulu (RO) normal kat planı

Yaklaşımın uygulanmasına yönelik Ramazanoğlu Ortaokulu'ndaki alan çalışmasının kapsamı;

- Bütüncülük sağlaması adına okulun on farklı mekanının görsel konfor ve enerji kullanımı açısından değerlendirilmesi,
 - Değerlendirme sonuçlarına göre aydınlatma açısından yetersiz olduğu saptanan bir mekan için ön tasarımların yapılması,
 - Ön tasarım için oluşturulan aydınlatma sistemleri arasında görsel konfor ölçütleri ve enerji kullanımı açılarından en uygun seçeneğin belirlenmesi,
- olarak sınırlandırılmıştır.

Bu bağlamda, alan çalışmasında Ramazanoğlu Ortaokulu'ndaki dört derslik (GB, GD, KB, KD derslikleri), bilgisayar laboratuvarı (GB Bilg. Lab.), ofis (KD ofis), çok amaçlı salon (GB ÇAS), koridor, kat holü ve merdiven olmak üzere on mekanın mevcut aydınlatma durumu gözlem formları, ölçüm

cihazları ve simülasyon programları aracılığıyla değerlendirilmiş, bir derslik mekanı için iyileştirmeye yönelik ön tasarım seçenekleri oluşturulmuş ve bu seçeneklerden en uygun olanı belirlenmiştir. Söz konusu işlemler sürdürülebilir aydınlatma yaklaşımının adımları izlenerek gerçekleştirilmiştir.

3.1. Değerlendirme Evresi (M1)

Ramazanoğlu Ortaokulu'nun mevcut aydınlatma koşullarının belirlenmesi için;

- Aydınlatma durum belirleme yöntemlerinin seçimi (M1-A) yapılmış;
- Seçilen yöntemler uygulanmış (M1-A2),
- Elde edilen bilgiler değerlendirilmiş (M1-A3),
- Değerlendirme sonuçlarına göre iyileştirme yapılması gereken mekanlar saptanmıştır (M1-A4).

3.2. Aydınlatma Durum Belirleme Yöntem Seçimi (M1-A1)

Aydınlatma sistemlerindeki iyileştirme işlemlerinin başarısını arttırmak için öncelikle sistemin eksiklerinin doğru olarak belirlenmesi gereklidir. Mevcut yapılardaki aydınlatma sistemlerinin yeterliliğini değerlendirmek için çeşitli yöntemlerden yararlanılabilir [6]. Bu yöntemlerden biri “Kullanım Sonrası Değerlendirme (KSD, Post-Occupancy Evaluation; POE)” yöntemidir.

Literatürde “Kullanım Sonrası Değerlendirme (KSD)” konusunda çeşitli tanımlar ve açıklamalar bulmak olanaklıdır. Genel olarak KSD, kullandığı binalar hakkında çeşitli verilerin sistematik olarak işlenerek, bina performansının kullanıcıların bakış açısından değerlendirilmesi şeklinde tanımlanabilir [7]. KSD'nin temel amacı

mekanların sürekli iyileştirme hedefini desteklemek için gerekli bilgilerin sağlanmasıdır [8].

Kullanım sonrası değerlendirme yönteminin başarısını, araştırmacının seçtiği bilgi toplama yöntemi belirler. Friedman, Zimring, and Zube, bilgi toplama yöntemlerini doğrudan gözlem (direct observation), mülakat (interview) ve benzetim (simulation) olmak üzere açıklanan üç grupta toplamışlardır [9]. Söz konusu yöntemlerin tümünde kullanıcıların dolaylı ya da dolaysız olarak etkisi bulunmaktadır.

Değerlendirme işleminde rol alacak paydaşlar uzman (mimar), kullanıcı (idari personel, öğretmen ve öğrenci) olarak iki başlık altında toplanmıştır (Çizelge 1). Bu çalışma özelinde gözlem ve benzetim yöntemleri seçilmiş ve uzman (mimar) tarafından uygulanmasına karar verilmiştir.

Çizelge 1. Aydınlatma sistemi durum belirleme yöntemleri, paydaş ve işlem özellikleri [5]

Yöntem	İlgili, paydaş	Yapılan işlemler/Kullanılan araçlar
Gözlem	Uzman (Mimar) Kullanıcı (İdari personel, öğretmen)	Yerinde gözlem – Uzman aydınlatma gözlem formu (Mimar) Kontrol listesi – Kullanıcı aydınlatma gözlem formu (Öğretmen, idari personel) Ölçme – Ölçme cihazı, ölçme çizelgeleri (Mimar)
Mülakat	Uzman (Mimar) Kullanıcı (İdari personel, öğretmen, öğrenci)	Görüşme – Kullanıcı aydınlatma mülakat formu (İdari personel, öğretmen) Anket – Kullanıcı aydınlatma gözlem anketi (Öğrenci)
Benzetim (Simülasyon)	Uzman (Mimar)	Simülasyon – Dialux aydınlatma programları (Mimar)

3.3. Aydınlatma Durum Belirleme Yöntemlerinin Uygulanması (M1-A2)

Alan çalışmasında ele alınan on mekânın aydınlatma durumunun belirlenmesi işlemlerinde gözlem yöntemi için geliştirilen uzman aydınlatma gözlem formu kullanılmıştır.

Benzetim yöntemi için Dialux 4.13 aydınlatma programı kullanılmış, mekânların doğal ve yapay

aydınlatma performansları bu program aracılığıyla hesaplanmıştır [10].

3.4. Elde Edilen Bilgilerin Değerlendirilmesi (M1-A3)

Uzman aydınlatma gözlem formlarından elde edilen aydınlatma durum bilgileri, sonuçları ve değerlendirmeleri aşağıda açıklanmıştır.

• **Uzman-Gözlem sonuçları ve değerlendirme:**

Uzman tarafından doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin özelliklerine ilişkin yapılan belirlemeler Çizelge 2 ve 3'te sunulmuştur.

Doğal ve yapay aydınlatma özellikleri “gözlem”, mekan ve pencere boyutları “ölçme” yöntemi ile

belirlenmiştir. İç yüzey ve donatıların renksel özellikleri Munsell Renk Atlası aracılığıyla “renk eşleme” yöntemi kullanılarak Munsell Renk Dizgesi'ne göre saptanmıştır. İç yüzeylerin ışık yansıtma çarpanları ise Munsell Renk Dizgesi'nin değer bileşeni bağlamında belirlenmiştir [11].

Çizelge 2. Mevcut doğal aydınlatma düzeni özellikleri

Mekan ismi	Yön	Pencere adedi/boyutu (m)	Pencere yönü-konumu	Bakım durumu	Gölgeleme elemanı
GB derslik	Güneybatı	3 / 1,40x1,45	Güneybatı-sıraların sol tarafı	Kirli	Perde
GD derslik	Güneydoğu	3 / 1,40x1,45 m	Güneydoğu-sıraların arka tarafı	Temiz	Perde
KB derslik	Kuzeybatı	3 / 1,40x1,45 m	Kuzeybatı-sıraların arka tarafı	Kirli	Perde
KD derslik	Kuzeydoğu	3 / 1,40x1,45 m	Kuzeydoğu-sıraların sol tarafı	Kirli	Perde
GB Bilg. Lab.	Güneybatı	3 / 1,40x1,45 m	Güneybatı-sıraların arka tarafı	Kirli	Stor perde
GD ÇAS	Güneydoğu	6 / 1,40x1,45 m	Güneydoğu-sıraların sol tarafı	Kirli	Perde
KB Ofis	Kuzeybatı	2 / 1,40x1,45 m	Kuzeybatı	Kirli	Stor perde
Koridor	-	-	-	-	-
Merdiven	-	1 / 0,6x3,00 m	Güneydoğu	Kirli	-
Kat holü	-	-	-	-	-

Çizelge 3. Mevcut yapay aydınlatma düzeni özellikleri

Mekan ismi	Lamba türü	Aygıt türü	Aygıt konumu	Lamba sayısı/çalışan lamba sayısı	Bakım durumu	Kontrol durumu
GB derslik	36W-765 Flüoresan	Açık aygıt	Bakış yönüne dik	12/12	Bakımsız	Manuel
GD derslik	36W-765 Flüoresan	Açık aygıt	Bakış yönüne dik	12/10	Bakımsız	Manuel
KB derslik	36W-765 Flüoresan	Açık aygıt	Bakış yönüne dik	12/10	Bakımsız	Manuel
KD derslik	36W-765 Flüoresan	Açık aygıt	Bakış yönüne dik	12/10	Bakımsız	Manuel
GB Bilg. Lab.	36W-765 Flüoresan	Açık aygıt	Bakış yönüne dik	12/9	Bakımsız	Manuel
GD ÇAS	36W-765 Flüoresan	Açık aygıt	Bakış yönüne dik	24/15	Bakımsız	Manuel
KB Ofis	23W Flüoresan	Açık aygıt	-	4/4	Bakımsız	Manuel
Koridor (Zemin)	18W-765 Flüoresan	Açık aygıt	Bakış yönüne dik	4/3	Bakımsız	Manuel
Merdiven (Zemin)	36W-765 Flüoresan	Açık aygıt	Bakış yönüne dik	2/2	Bakımsız	Manuel
Kat holü (Zemin)	36W-765 Flüoresan	Açık aygıt	-	4/4	Bakımsız	Manuel

• **Uzman-Aydınlık düzeyi ölçme sonuçları ve değerlendirme:**

Ramazanoğlu Ortaokulu'ndaki doğal ve bütünlük (doğal ve yapay) aydınlık düzeyi ölçümleri uzman tarafından, 15 Aralık 2016 ve 12 Aralık 2017 tarihinde 12:20, 12:50, 13:30, 14:00, 14:40, 15:00 saatlerinde açık gök koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Dersliklerdeki aydınlık düzeyi ölçümleri, döşemeden 0,72 m yüksekliğindeki yatay çalışma (sıra) düzlemi üzerinde ülkemizde yürürlükte olan TS EN 12464-1 standardına uygun olarak belirlenen 16 noktada ve düşey düzlemde

(tahta), 1, 1,50 ve 2 m yükseklikte toplam 9 noktada yapılmıştır [12]. Diğer mekanlarda da yine standartlarda belirtilen aralıklar dikkate alınarak ölçme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ölçmeler Extech HD450 marka aydınlık ölçer gerçekleştirilmiştir.

TS EN 12464-1 standardında verilen sağlanması gereken değerler ile doğal ve bütünlük (doğal ve yapay) aydınlık düzeyi ölçme sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Aydınlık Düzeyi Ölçme Sonuçları (6 Aralık 2016, 12 Aralık 2017)

İlgili paydaş	Mekan ismi	Doğal aydınlatma				Bütünlük aydınlatma			
		Yatay Aydınlik (E _h , lüks)	Düşey Aydınlik (E _v , lüks)	Yatay Aydınliğin dağılımı (U _h)	Düşey Aydınliğin dağılımı (U _v)	Yatay Aydınlik (E _h , lüks)	Düşey Aydınlik (E _v , lüks)	Yatay Aydınliğin dağılımı (U _h)	Düşey Aydınliğin dağılımı (U _v)
Uzman (mimar)	TS EN 12464-1	300	150	0,6	0,7	300	150	0,6	0,7
	GB derslik	1089	712	0,29	0,60	1208	813	0,33	0,68
	GD derslik	497	306	0,29	0,72	605	354	0,38	0,85
	KB derslik	274	274	0,39	0,48	348	410	0,40	0,63
	KD derslik	242	121	0,24	0,52	298	196	0,36	0,67
	GB Bil. Lab.	672	513	0,26	0,64	786	584	0,43	0,81
	GD ÇAS	258	86	0,25	0,47	374	135	0,26	0,59
	KB Ofis	219	-	0,43	-	258	-	0,55	-
	TS EN 12464-1	100	-	0,4	-	100	-	0,4	-
	Koridor	35	-	0,12	-	62	-	0,19	-
	TS EN 12464-1	150	-	0,4	-	150	-	0,4	-
	Merdiven	140	-	0,25	-	173	-	0,31	-
	TS EN 12464-1	100	-	0,4	-	100	-	0,4	-
	Kat holü	16	-	0,50	-	46	-	0,62	-

Alan çalışmasında ele alınan mekanların aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları ile TS EN 12464-1 standardındaki değerler karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Ortaokul binasının Güneydoğu, Güneybatı derslikleri ile Güneybatı bilgisayar laboratuvarı çalışma düzlemi için gerekli yatay aydınlık düzeyi değerlerini (Sıra düzlemi için: 300 lüks) doğal aydınlatma ve bütünlük aydınlatma durumları için ayrı ayrı sağlamışlardır.
- Tahta düzlemindeki düşey doğal ve yapay aydınlık için Güneybatı dersliği ve Güneybatı

bilgisayar laboratuvarı dışında diğer derslikler istenen değerlere ulaşamamıştır.

- Aydınliğin dağılımı için standartlarda istenen değerler yalnızca kat holünde sağlandığı, diğer mekanlarda ise düzgün bir aydınlık dağılımının söz konusu olmadığı görülmüştür.

• **Uzman-Benzetim sonuçları ve değerlendirme:**

Uzman tarafından benzetim yöntemi için Dialux 4.13 programı ile Ramazanoğlu Ortaokulu'ndaki on mekan modellenmiş, mevcut durum için yapay ve doğal aydınlatma koşulları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda Güvenkaya'nın [13] çalışması bağlamında ayların 15. günü karakteristik gün olarak kabul edilmiştir.

Çalışmada 2016-17 eğitim dönemi içindeki Eylül, Aralık, Mart ve Haziran ayları ve bu ayların 15. günlerindeki 08, 12 ve 16 saatleri için gök koşulları

dikkate alınarak Dialux 4.13 aydınlatma programı aracılığıyla hesaplanmıştır.

Doğal aydınlatma benzetim sonuçları, alan çalışmasında ele alınan Ramazanoğlu Ortaokulu'nun Kuzeydoğu (KD) dersliği için Çizelge 5'te örneklendirilmiştir.

Çizelge 5. Benzetim yöntemiyle elde edilen doğal aydınlatma koşulları

Tarih-Saat	Gök durumu	Yatay aydınlık (sıra) (E_h ; lüks)	Yatay aydınlık dağılımı (sıra) (U_h)	Düşey aydınlık (tahta) (E_v ; lüks)	Düşey aydınlık dağılımı (tahta) (U_v)
TS EN 12464-1		300	0,6	500	0,7
15 Eylül Saat 08:00	Ortalama	151	0,15	92	0,63
15 Eylül Saat 12:00	Açık	161	0,18	126	0,59
15 Eylül Saat 16:00	Ortalama	153	0,16	108	0,56
15 Aralık Saat 08:00	Kapalı	93	0,14	87	0,61
15 Aralık Saat 12:00	Ortalama	202	0,20	107	0,63
15 Aralık Saat 16:00	Kapalı	102	0,17	75	0,61
15 Mart Saat 08:00	Ortalama	99	0,15	89	0,63
15 Mart Saat 12:00	Ortalama	234	0,22	146	0,65
15 Mart Saat 16:00	Ortalama	167	0,17	123	0,56
15 Haziran Saat 08:00	Açık	298	0,17	152	0,63
15 Haziran Saat 12:00	Açık	182	0,23	125	0,6
15 Haziran Saat 16:00	Açık	167	0,18	137	0,56

Ele alınan mekanların yapay aydınlatma koşulları uzman gözlem sonuçlarından elde edilen bilgiler kullanılarak Dialux 4.13 programı aracılığıyla

hesaplanmıştır. Mevcut yapay aydınlatma benzetim sonuçları Kuzeydoğu (KD) dersliği için Çizelge 6'da sunulmuştur.

Çizelge 6. Benzetim yöntemiyle elde edilen yapay aydınlatma koşulları

	Yatay aydınlık (sıra) (E_h ; lüks)	Yatay aydınlık dağılımı (sıra) (U_h)	Düşey aydınlık (tahta) (E_v ; lüks)	Düşey aydınlık dağılımı (tahta) (U_v)
TS EN 12464-1	300	0,6	500	0,7
KD Dersliği	202	0,48	163	0,61

Mevcut doğal ve yapay aydınlatmaya ilişkin Dialux programıyla elde edilen hesap sonuçları, ölçme yöntemiyle elde edilenlerle benzerlik göstermektedir. Genel olarak ele alınan mekanlarda standartlardaki değerler sağlanmadığı belirlenmiştir.

3.5. İyileştirme İşlemi Yapılmasına Karar Verilmesi (M1-A4)

Mevcut aydınlatma durumu için M1-A3 adımıdaki değerlendirme sonuçları mekanların genelde görsel konfor ölçütleri açısından yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle Ramazanoğlu

Ortaokulu'nda incelenen 10 mekanın aydınlatma açısından iyileştirilmesinin gerekli olduğu belirlenmiş ve ön tasarım evresine (M2) geçilmiştir.

3.6. Ön Tasarım Evresi (M2)

Ramazanoğlu Ortaokulu'nun mevcut aydınlatma koşulları açısından yetersiz olan mekanlarına ilişkin ön tasarım evresi için;

- İyileştirme yapılacak alanlara karar verilmiş (M2-A),
- Söz konusu alanlara yönelik doğal, yapay ve bütünsel aydınlatma seçenekleri oluşturulmuş (M2-B1, M2-B2, M2-B3),

- Seçenekler Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile değerlendirilmiş (M2-B4) ve en uygun seçenek belirlenmiştir.

3.7. Aydınlatma Sistemi İyileştirme Kararları (M2-A)

Ramazanoğlu Ortaokulu'nun mevcut aydınlatma sistemlerinin değerlendirme sonuçlarına göre incelenen tüm mekanlarda iyileştirmeye yönelik yeni tasarımların yapılması gereklidir. Bu bağlamda, kimi mekanlarda (bölgesel) ya da tüm mekanlarda (genel) iyileştirme işlemi gerçekleştirilebilir. Bu çalışma kapsamında, önerilen yaklaşımın örneklenmesi adına bölgesel iyileştirme yapılması ve olumsuz olduğu belirlenen Kuzeydoğu (KD) dersliği için doğal, yapay ve bütünleşik aydınlatma sistem seçeneklerinin oluşturulmasına karar verilmiştir.

3.8. Aydınlatma Seçeneklerinin Oluşturulması (M2-B)

İyileştirme yapılacak Kuzeydoğu dersliği için öğrenim dönemini aksatmayacak ve kısa sürede gerçekleştirilebilecek aydınlatma düzeni seçenekleri

oluşturulmuştur. Seçenekler, sürdürülebilir aydınlatma açısından görsel konfor ve enerji kullanımı konularına yönelik ölçütler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Oluşturulan seçenekler Dialux 4.13 programı ile modellenmiş ve aydınlatma performansları belirlenmiştir.

3.9. Doğal Aydınlatma Seçeneklerinin Oluşturulması (M2-B1)

Kuzeydoğu dersliğinde doğal aydınlatma sisteminin iyileştirilmesine yönelik olarak, pencere konumları ve boyutları değiştirilmeden;

- Derslik iç yüzeylerinin boyanarak ışık yansıtma çarpanı değerlerinin yükseltilmesi,
- Pencerelerin temizliğinin yapılarak camın ışık geçirme çarpanı ve sistem bakım çarpanının yükseltilmesi

işlemlerinin yer aldığı üç seçenek (D1, D2, D3) oluşturulmuştur. Doğal aydınlatma sistemi için dersliğin mevcut durumu ve oluşturulan iyileştirme seçenekleri Çizelge 7'de, tefriş durumu Şekil 6'da sunulmuştur.

Çizelge 7. Mevcut durum ve doğal aydınlatma iyileştirme seçenekleri

Özellikler	Mevcut durum	D1	D2	D3
İç yüzey yansıtma çarpanları (Döşeme/Duvar/Tavan)	0,20/0,30-0,30/0,59	0,40/0,60/0,80	0,50/0,70/0,85	0,40/0,60/0,80
Cam ışık geçirme çarpanı (t)	%74	%80	%80	%80
Tefriş (Sıra düzeni)	4 sıra	4 sıra	4 sıra	4 sıra
Oda bakım çarpanı	0,57 (Kirlenmiş oda)	0,80 (Temiz oda)	0,80 (Temiz oda)	0,80 (Temiz oda)



Şekil 6. Kuzeydoğu dersliği tefriş düzeni

3.10. Yapay Aydınlatma Seçeneklerinin Oluşturulması (M2-B2)





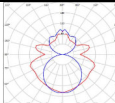
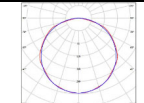
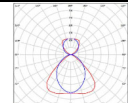
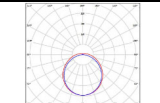
Kuzeydoğu dersliğinde yapay aydınlatma sisteminin kısa vadeli iyileştirilmesine yönelik olarak tefriş düzeni, aygıt konum ve sayıları değiştirilmeden;

- Derslik iç yüzeylerinin boyanarak ışık yansıtma çarpanı değerlerinin yükseltilmesi,
- Yapay aydınlatma sistemi bakım çarpanının yükseltilmesi,

- Aygıt konum ve sayıları değiştirilmeden, lamba ve aygıtların ışıksal özelliklerinin yeniden düzenlenmesi

İşlemlerinin yer aldığı üç seçenek (Y1, Y2, Y3) oluşturulmuştur. Söz konusu yapay aydınlatma seçeneklerinin ikisinde flüoresan lambalı, birinde LED lambalı aygıtlar kullanılmış olup tüm ışık kaynaklarının renksel geriverimi (80) mevcut durumla aynı özelliktedir. Yapay aydınlatma sistemi için dersliğin mevcut durumu ve iyileştirme seçenekleri Çizelge 8’de sunulmuştur.

Çizelge 8. Mevcut durum ve yapay aydınlatma iyileştirme seçenekleri

Özellikler	Mevcut durum	Y1	Y2	Y3
İç yüzey yansıtma çarpanları (Döşeme/Duvar/Tavan)	0,20/0,30-0,30/0,59	0,40/0,60/0,80	0,50/0,70/0,85	0,40/0,60/0,80
Tefriş (Sıra düzeni)	4 sıra	4 sıra	4 sıra	4 sıra
Oda bakım çarpanı	0,57 (Kirlenmiş oda)	0,80 (Temiz oda)	0,80 (Temiz oda)	0,80 (Temiz oda)
Aygıt adedi	6	6	6	6
Aygıt geriverimi	%70	%71	%89	%100
Lamba türü	Doğrusal Flüoresan (Φ 36 mm)	Doğrusal Flüoresan (Φ 26 mm)	Doğrusal Flüoresan (Φ 16 mm)	LED (Φ 16mm)
Lamba adedi	12	12	12	6
Lamba gücü (W)	2 x 36 W	2 x 36 W	2 x 28 W	45 W
Lamba ışık akısı (lm)	3250 lm	3250 lm	2625 lm	4800 lm
Renksel geriverim (Ra)	80	80	80	80
Aygıt türü	Çıplak	Yansıtıcı	Paletli	Opal yayılcı
Aygıt resmi				
İşık yeğnlik dağılımı/aydınlatma biçimi	 Yarı dolaysız	 Dolaysız	 Yarı dolaysız	 Dolaysız

3.11. Bütünleşik Aydınlatma Seçeneklerinin Oluşturulması (M2-B3)

Ramazanoğlu Ortaokulu (RO) Kuzeydoğu (KD) dersliğinin aydınlatma sistemlerinin iyileştirilmesi için oluşturulan bütünleşik aydınlatma seçenekleri, M2-B1 ve M2-B2 adımlarında doğal ve yapay aydınlatma için belirlenen üçer seçenek aracılığıyla kurgulanmıştır. Bu bağlamda bütünleşik aydınlatma için toplam 9 (S1:D1-Y1, S2:D1-Y2, S3:D1-Y3,

S4:D2-Y1, S5:D2-Y2, S6:D2-Y3, S7:D3-Y1, S8:D3-Y2, S9:D3-Y3) seçenek hazırlanmıştır.

3.12. Seçeneklerin Değerlendirilmesi ve Uygun Seçeneğe Karar Verilmesi (M2-B4)

Seçeneklerin değerlendirilmesi işlemi için M2-B3 adımıdaki 9 bütünleşik aydınlatma seçeneğinin görsel konfor ve enerji kullanımı performansı Dialux 4.13 programı aracılığıyla belirlenmiştir.

Bütünleşik aydınlatma açısından oluşturulan aydınlığın dağılımı, kamaşma) ve enerji kullanımına iyileştirme seçeneklerinin görsel konfor ölçütleri (W/m^2) yönelik hesaplama sonuçları Çizelge 9'da (yatay ve düşey aydınlık düzeyi, yatay ve düşey verilmiştir.

Çizelge 9. Bütünleşik aydınlatma seçeneklerine ilişkin sayısal sonuçlar

No	Seçenekler	Görsel konfor ölçütleri					Enerji (W/m^2)
		E_h (lüks)	U_h	E_v (lüks)	U_v	UGR	
TS EN 12464-1		300	0,6	500	0,7	19	8
S1	D1-Y1	291	0,49	264	0,78	22	7,41
S2	D1-Y2	394	0,57	226	0,69	18	6,28
S3	D1-Y3	423	0,59	301	0,62	21	4,63
S4	D2-Y1	410	0,52	278	0,79	21	7,41
S5	D2-Y2	417	0,59	243	0,72	17	6,28
S6	D2-Y3	414	0,61	312	0,67	20	4,63
S7	D3-Y1	403	0,53	266	0,78	21	7,41
S8	D3-Y2	408	0,61	228	0,69	17	6,28
S9	D3-Y3	406	0,66	272	0,71	19	4,63

Aydınlatma sistemlerinin farklı bileşenleri ve çeşitli koşulları göz önüne alındığında, bazı durumlarda birden fazla aydınlatma seçeneği tasarımcının karşısına çıkabilmektedir. Böyle durumlarda hangi ölçütlere göre seçim yapılacağı ve hangi durumların öncelikli olacağı gibi sorular karar verme sürecini uzatmaktadır. Gerekli aydınlatma koşullarını sağlayan birden fazla seçenek arasından amaca/amaçlara en uygun bir veya birkaç alternatifin seçilmesi için "Karar Destek Sistemleri (KDS)"ne ilişkin yöntemlerden yararlanılabilir. Karar destek sistemlerini kısaca karar verme aşamasında, çeşitli bilgilerden yararlanarak karar vermeyi kolaylaştıran sistemler olarak tanımlamak mümkündür. Farklı yöntem ve türleri bulunan KDS sistemlerinden biri olan "Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS, ing. Analytic Hierarchy Process, AHP)" çok ölçütlü karar verme yöntemidir. Belirlenen parametreleri sağlayan birden fazla seçenek elde edildiğinde "Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)" yöntemleri aracılığıyla optimum aydınlatma sistemi seçilebilmektedir. AHS işleminde, ikili karşılaştırmalar ile karar vermede etkili ölçütlerin ve seçeneklerin önem derecelerine göre sıralamasını gerçekleştirmek mümkündür.

AHS yöntemiyle birbirleriyle karşılaştırılmak istenen parametrelerin önem derecelerini belirlemek amacıyla Saaty (1980) tarafından geliştirilen ve

Çizelge 10'da sunulan sayısal değerler kullanılabilir [14].

Çizelge 10. AHS değerlendirme ölçeği [15]

Önem derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	İki parametre eşit öneme sahip
3	Biraz daha fazla önemli	Bir parametre diğerine göre biraz daha fazla önem taşır.
5	Oldukça önemli	Bir parametre diğerinden oldukça önemlidir.
7	Çok daha önemli	Bir parametre diğerinden çok daha önemlidir.
9	Kesinlikle daha önemli	Bir parametre diğerine göre kesinlikle daha önemlidir.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Tercih değerleri birbirine yakın olduğunda kullanılır.

AHS yöntemine göre aydınlatma seçeneklerinin sıralanması işleminde;

- **Görsel konfor ölçütleri** (yatay aydınlık düzeyi (E_h), yatay aydınlığın dağılımı (U_h), düşey aydınlık düzeyi (E_v), düşey aydınlığın dağılımı (U_v) ve kamaşma (UGR)),
- **Enerji tüketimi** (W/m^2) parametreleri dikkate alınmıştır. Söz konusu parametrelerin ikili karşılaştırma matrisi aracılığıyla hesaplanan

görelî önem dereceleri Çizelge 11’de sunulmuştur.

Çalışmada ayrıca, parametreler standartlarda verilen sağlanması gereken koşullar göz önüne alınarak

sınıflandırılmış ve puan aralıkları saptanmıştır. Seçeneklerin sıralanmasında kullanılan parametrelerin sınıfı ve puan aralıkları Çizelge 12’de verilmiştir.

Çizelge 11. Enerji kullanımı ve görsel konfor ölçütlerinin görelî önem dereceleri

	Enerji (W/m²)	Yatay dağılım (U_h)	Düşey aydınlık (E_v)	Düşey dağılım (U_v)	Yatay aydınlık (E_h)	Kamaşma (UGR)
Enerji (W/m ²)	1,00	3,00	0,50	4,00	0,33	2,00
Yatay dağılım (U _y)	0,33	1,00	0,20	2,00	0,17	0,50
Düşey aydınlık (E _d)	2,00	5,00	1,00	6,00	0,33	3,00
Düşey dağılım (U _y)	0,25	0,50	0,17	1,00	0,14	0,33
Yatay aydınlık (E _y)	3,00	6,00	3,00	7,00	1,00	5,00
Kamaşma (UGR)	0,50	2,00	0,33	3,00	0,20	1,00

Çizelge 12. Sıralama parametrelerinin sınıfları ve puan aralıkları

Parametreler	Sınıfı	Puan aralığı
Yatay aydınlık (E_h)		
100-200	Kötü	0,1
200-300	Ortalama	0,3
300-500	İyi	0,6
Aydınlığın yatay dağılımı (U_h)		
0,1-0,3	Kötü	0,1
0,3-0,6	Orta	0,3
>0,6	İyi	0,6
Düşey aydınlık (E_v)		
100-300	Kötü	0,1
300-500	Ortalama	0,3
500-700	İyi	0,6
Parametreler	Sınıfı	Puan aralığı
Aydınlığın düşey dağılımı (U_v)		
0,1-0,4	Kötü	0,1
0,4-0,7	Orta	0,3
>0,7	İyi	0,6
Kamaşma (UGR)		
>19	Kötü	0,3
<19	İyi	0,7
Enerji tüketimi (W/m²)		
>7	Kötü	0,1
5-7	Orta	0,3
<5	İyi	0,6

Seçenek sıralama parametrelerinin, belirlenen görelî önem dereceleri ve puan aralıkları dikkate alınarak,

çalışmada derslik için oluşturulan dokuz aydınlatma seçeneğinin parametrelere göre puanları ayrı ayrı

hesaplanmış ve her seçeneğin aldığı toplam puan belirlenerek Çizelge 13'te sunulmuştur. Çizelge 13'teki toplam puana ilişkin sayısal değerler incelendiğinde, en yüksek toplam puana sahip

S6 (Y2-D3) seçeneğinin sıralama parametreleri açısından en uygun seçenek olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 13. Aydınlatma seçeneklerinin toplam puanları

Seçenekler	Görsel Konfor					Enerji kullanımı	Toplam Puan
	E_h (sıra)	U_h (sıra)	E_v (tahta)	U_v (tahta)	UGR	W/m ²	
S1	0,30	0,30	0,10	0,60	0,30	0,10	0,38
S2	0,60	0,30	0,10	0,30	0,70	0,30	0,68
S3	0,60	0,30	0,30	0,30	0,30	0,60	0,77
S4	0,60	0,30	0,10	0,60	0,30	0,10	0,59
S5	0,60	0,30	0,10	0,60	0,70	0,30	0,70
S6	0,60	0,60	0,30	0,30	0,30	0,60	0,80
S7	0,60	0,30	0,10	0,60	0,30	0,10	0,59
S8	0,60	0,60	0,10	0,30	0,70	0,30	0,71
S9	0,60	0,60	0,10	0,60	0,30	0,60	0,74

4. SONUÇLAR

Aydınlatma tasarımının öğrencilerin gelişimi ve akademik başarılarının üzerindeki etkisi yadsınamaz bir gerçektir. Ayrıca okulların yapay aydınlatma için tükettikleri enerji göz önüne alındığında ortaya çıkan tasarruf potansiyeli de sürdürülebilirlik açısından göz ardı edilmemesi gereken bir durumdur. Bu açıdan Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı Yaklaşımının temel amacı aydınlatma konusuna bütüncül bir bakış sağlayarak, hem yeni tasarlanacak hem de mevcut okullar için tasarımcılara ve kullanıcılara yol gösterici bilgiler sunmaktır. Söz konusu aydınlatma yaklaşımıyla, tasarım aşamasında konforsuz mekanların önlenmesi, enerji kayıplarının engellenmesi, çevreye minimum olumsuz etki ve en az işletme giderlerine sahip aydınlatma sistemlerinin sürdürülebilirlik çerçevesinde tasarlanması olanaklıdır. Ayrıca, aydınlatma tasarım sürecindeki işlemlerin, oluşturulan iş akış şemaları ile ilgili paydaş grupları tarafından hızlı ve verimli bir şekilde sürdürülmesi mümkündür.

Ramazanoğlu Ortaokulu'nda gerçekleştirilen değişik değerlendirme yöntemlerinin (gözlem, benzetim) sonuçları birbirine benzerlik göstermiş, alan çalışması ile de yaklaşımın uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

Gelecek nesillerin sürdürülebilirlik bilinciyle, gereği gibi aydınlatılan, enerjiyi etkin kullanan, çevreye duyarlı ve maksimum maliyet etkinliğe sahip yapılarda eğitim görmesi akademik performansın yanında toplumsal bilinçlenmeyi de sağlayacaktır. Bu konuda yapılacak çalışmalar sadece mimari ya da binalar özelinde değil genel olarak topluma getirdiği faydalar açısından da ele alınmalıdır. Günümüzde değişen ve gelişen teknolojik koşullar ve okul binalarının bunlara uyum sağlaması gerekliliği önerilen yaklaşım ve benzeri çalışmalara olan gereksinimi arttırmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. MEB Örgün Eğitim İstatistikleri, https://sgb.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2018_09/06123056_meb_istatistikleri_organ_egitim_2017_2018.pdf
2. Yılmaz, F.Ş., 2014. Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Tasarımı Yaklaşımı: Türkiye Örneği, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-2, İstanbul.
3. IESNA, 2000. The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application, New York: Illuminating Engineering Society of North America, ABD.
4. IESNA, 2011. Lighting Handbook, 9th edition, New York.

5. Çelik, K., 2018. Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı İçin Bütüncül Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 87, İstanbul.
6. IEA POE, 1999. Post Occupancy Evaluation of Daylight in Buildings, A Report of IEA SHC TASK 21/ECBCS ANNEX 29.
7. Hadjri, K., Crozier, C., 2009. Post-occupancy Evaluation: Purpose, Benefits and Barriers, Emerald Journal, 27(1-2).
8. Zimmerman, A., Martin, M., 2001. Post-occupancy Evaluation: Benefits and Barriers, Building Research and Information, 29(2), 168-174.
9. Friedman, A., Zimring, C., Zube, C., 1978. Environmental Design Evaluation, Plenum, New York, NY.
10. Dialux 4.13, <https://www.dial.de/en/dialux/>
11. Munsell, A.H., 1971. A Color Notation, Munsell Color Company, Baltimore, ABD.
12. TS EN 12464-1, 2011. Işık ve Işıklandırma İş Mahallerinin Aydınlatılması-Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri, Türk Standartları, Ankara.
13. Güvenkaya, R.K., 2008. İlköğretim Dersliklerinde Aydınlatma Enerjisi Yönetimi Açısından Yönlere Göre Uygun Cephe Seçeneklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 69, İstanbul.
14. Saaty, T.L., Vargas, L.G., 2001. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process, Kluwer's Academic Publishers, Boston.
15. Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process, Mc. Graw Hill, USA.

TiO₂ Nano Toz Katkılı SiO₂ Nanosollerin Keten Kumaşlar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Sabiha SEZGİN BOZOK*¹, R. Tuğrul OĞULATA¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 15.01.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Titanyum bazlı bir malzeme olan titanyum dioksit (TiO₂), yüksek stabiliteye ve düşük maliyete sahip oluşu, malzemeye antibakteriyel, UV absorplayıcı, fotokatalist özellikler verebilmesi nedeniyle üzerinde yapılan çalışmaların giderek arttığı bir kimyasal haline gelmiştir. Çalışma kapsamında nano toz formda olan TiO₂, bağlayıcı olarak SiO₂ nanosol ile bir araya getirilerek keten içerikli numunelere aktarılmıştır. Numunelere karakterizasyon, kaplama sonrası renk değişimi, ışık haslığı ve bazı fiziksel testler uygulanmıştır. Sonuçlarda; TiO₂'in silika sol ile kumaş yüzeyine tutunabildiği ve 150 °C fikse sıcaklığında uygulanan nanosol kaplamaların numunelerin ışık haslıklarını iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Keten kumaş, Sol-jel, Nano TiO₂, UV absorplayıcı, Işık haslığı

Investigation of the Effects of SiO₂ Nanosols with TiO₂ Nanopowder on Some Properties of Colored Linen Fabric

Abstract

Titanium based material titanium dioxide (TiO₂), has become a chemical which is increasingly wide working area due to having high stability and low cost, antibacterial, UV absorber and photocatalyst properties. Within the scope of the study, TiO₂ which is in nanopowder form, was combined with SiO₂ nanosol as a binder and transferred to flax-containing samples. The samples were applied a few tests which are characterization, color change after coating, light fastness and some physical tests. It has been found that TiO₂ can be embedded to the fiber surface with silica sol and the light fastness was improved when nanosol coating applied at fixation temperature of 150 °C.

Keywords: Linen fabric, Sol-gel, Nano TiO₂, UV absorber, Light fastness

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Sabiha SEZGİN BOZOK, sbozok@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Nano malzemeler 1-100 nm aralığında parçacık boyutuna sahip maddeler olarak tanımlanmaktadır [1]. Son yıllarda nano malzemelerin yüzeylere gelişmiş mekanik özellik, antibakteriyel-antimikrobiyal özellik, iletkenlik, su/yağ iticilik, UV koruyuculuk gibi özellikler verebilmesi bakımından tekstil alanında kullanımı giderek artmaktadır.

Nanosoller, nanometre boyutunda ufak katı parçacıklar içeren transparan, stabil dispersiyonlardır. Nanosoller, sol-jel tekniği ile metal alkoksit ya da metal kloridlerin (metal tuzu) başlatıcı olarak kullanılması ile elde edilmektedir. Sol maddesinin hidrolizi ve kondenzasyon tepkimesi ile jel meydana gelmektedir [2]. Bu teknikte farklı başlatıcı maddeler veya katkı maddelerinin kombinasyonları ile sistem değiştirilerek malzemelerin özellikleri modifiye edilebilmektedir. Bu teknik ile düşük sıcaklıklarda çalışılabilir, çeşitli şekillerde malzemeler üretilebilir, metaller, oksitler, boyalar, organik polimerler gibi farklı katkı maddeler ile fiziksel modifikasyon yapılabilmektedir [2,3].

Titanya sahip olduğu kimyasal stabilite, fiziksel, elektriksel ve optik özelliklerden dolayı son yıllarda üzerinde yapılan çalışmaların giderek arttığı bir madde haline gelmiştir [4]. Titanyadan elde edilen titanyum (IV) oksit (TiO₂) mükemmel fotokatalitik işlevi, malzemeye antibakteriyel ve UV koruyuculuk özelliği verebilmesi, düşük maliyeti ile birçok alanda kullanılabilir [5]. TiO₂, bir tür UV absorplayıcı olup, yakın UV veya görünür bölgedeki ışınları absorplayabilmektedir. Daha önce yapılan birçok çalışmada organik ve inorganik UV absorplayıcıların, renkli malzemelerde ışık etkisi sonucu renk değişimini düşürdüğü kanıtlanmıştır. Ancak TiO₂ diğer UV absorplayıcılardan farklı olarak UV ışınlarını materyalin parçalanması için başlangıç enerjisi olarak kullanabilmektedir. Molekülün uyarılmış hali ile tepkimeye girerek polimerin parçalanmasını ve renk kaybını en aza indirgeyen UV absorplayıcıların aksine TiO₂, yakın UV veya görünür bölgedeki ışınları absorbe ederek

materyalin parçalanması için katalizör görevi görmektedir [6].

Nano boyuta sahip TiO₂ partiküllerinin sentezi için; sol-jel, anorganik tuzların hidrolizi, ultrasonik teknik, mikroemülsiyon ve hidrotermal yöntem gibi, polar ve apolar çözücü sistemler gibi pek çok değişik yöntemlerle literatürde yer almaktadır [7]. Bu çalışmada ise piyasada hazır bulunan nano toz formda TiO₂ kullanılmıştır.

Silan malzemelerin ve TiO₂ nano parçacıklarının bir araya getirilmesi, yüzey enerjisini düşürme ve dağılma özelliğini geliştirme açısından etkili bir yoldur. Ayrıca aktif fonksiyonel grupların nano parçacık yüzeyine aşılması, modifiye nano partiküller ve matris materyalleri arasında kimyasal bağlar oluşturma olasılığını arttırabilmektedir [8]. Daha önce yapılmış çalışmalarda Wang, sol-jel metodu ile hazırlanmış olduğu titanya hidrosollerini ışık haslığını iyileştirmek için polyester içerikli kumaşlara aktarmıştır. Kimyasallar 140 °C'de fikse işlemi ile kumaşa uniform bir şekilde bağlanmış ve işlem sonrası numuneler yüksek UV koruyuculuğuna ve daha iyi ışık haslığı değerlerine sahip olmuştur [9]. Veronovski ve diğerleri, hazırladıkları silika (SiO₂) içerisine titanyum nanoparçacıkları yerleştirmiş ve bu malzemeleri rejenere selülozik tekstil yüzeylerine aktarmışlardır. Sonuçlarda, referans olarak hazırlanan TiO₂ P25 nanoparçacıklarının sulu dispersiyonlarının homojen olmadığı; TiO₂ içeren silika ile hazırlanan çözeltilerin daha uniform bir yapı sergilediği görülmüştür. UV ışınına maruz kalması sonucu TiO₂ ve SiO₂ ile modifiye edilmiş selüloz liflerinin mekanik özelliklerinin fazla değişmediği; ancak sadece TiO₂ ile işlem gören yüzeylerin mekaniksel özelliklerinde önemli düşüş olduğu görülmüştür [10]. Alebeid ve Zhao [11], tetraisopropil ortotitanat kullanarak sol-jel tekniği ile TiO₂ nanosol hazırlamıştır. Hazırlanan nanosoller reaktif boyalı pamuklu numunelere aktarılmış ve ardından numunelerin UV koruma faktörleri, renk dayanımları ve mukavemet ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlarda; işlem görmüş numunelerin UV dayanımının işlem görmemiş referans numunelere göre daha iyi olduğu ve bu özelliğin 10 yıkama sonrasında bile devam ettiği görülmüştür. Yıkamalar sonucunda

renk değerlerindeki değişiminde referans numuneye göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Fakin ve arkadaşları [12], yılında, bir patent uygulamasında yer alan özel bir metot ile TiO₂ ve SiO₂ elde ederek bifonksiyonel reaktif boyarmadde ile renklendirilmiş pamuklu numunelere aktarmışlardır. Kullanılan doğal bir kristal yapıya sahip TiO₂'nin yüksek UV koruyuculuğa, düşük fotoaktiviteye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, SiO₂'nin etkili bir sabitleyici ve bağlayıcı bir madde olduğunu ifade etmişlerdir. İki maddenin bir arada kullanılmasıyla pamuklu numunelerin 15 yıkama sonunda bile UV koruyuculuğunun artmış olduğunu, malzemenin diğer performans özelliklerini etkilemeden kumaşı UV radyasyonunun zarar verici özelliğine karşı koruduğunu tespit etmişlerdir.

Daha önce nano toz formda TiO₂'nin tekstil yüzeylerine aktararak verdiği fotokatalitik etki birçok çalışmada incelenmiş ancak ışık haslığına etkisi ile ilgili çalışmalara rastlanmamıştır. Bu çalışmada, UV absorplayıcı özelliğe sahip olan ancak bu ışınlarla malzemeyi parçalama işlevine de sahip olan nano toz TiO₂'nin, SiO₂ matrisi ile birlikte kullanıldığı zaman zararlı UV ışınlarını absorbe ederek, tekstil malzemesinin rengini koruyup koruyamayacağı ölçülmek istenmiştir. Bunun için sol-jel tekniği ile elde edilen silika sol, TiO₂ ile lif arasında bağlayıcı olarak kullanılarak keten içerikli kumaşlara aktarılmıştır. Çalışmada uygulanan kaplamanın kumaşların rengine, ışık haslığına ve bazı fiziksel özelliklerine verdiği etkiler ölçülmüş ve değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Deneyisel çalışmada, %100 keten içerikli 2/2 panama dokuma kumaş kullanılmıştır. 385 gr/m² gramaja sahip kumaş sırasıyla; kasar, yıkama, kurutma, yakma, merserizasyon işlemleri görmüştür. Ön terbiye işleminden sonra numuneler yapısı monoklortriazin/vinil sülfon olan bezaktif blue s-matrix 150, bezaktif red s-matrix 150 ve bezaktif yellow s-matrix 150 reaktif boyarmaddeler ile mavi, kırmızı ve sarı renkte

renklendirilmiştir. Kumaşlar pad-dry termofiksaj yöntemine göre renklendirilmiş olup işlem özellikleri Çizelge 1'deki gibidir.

Çizelge 1. Uygulanan boyama işleminin özellikleri

İşlem	Özellikleri
Yöntem	Pad-dry Termofiksaj
Emdirme Sıcaklığı	20-30 °C
Alınan Flotte Miktarı (A _F)	% 80
Kurutma Sıcaklığı	110 °C
Fiksaj Süresi/Sıcaklığı	180 sn / 160 °C
Yıkama	95 °C - 30m/dk
Kurutma	120 °C - 20 m/dk

Deneyisel çalışmada kullanılan kimyasalların özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan kimyasallar

Kimyasal ve Saflığı	Firma
Tetraetilortosilikat (%99)	Sigma-Ald.
Glisidoksipropil trimetoksisilan (%98)	Sigma-Ald.
Titanyum (IV) oksit (%99)	Sigma-Ald.
Sodyum Hidroksit (%99)	Tekkim
Etanol (%96)	Tekkim

Hazırlanan çözeltilerin kumaşlara aktarılması için kullanılan cihazlar ve özellikleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Kimyasalların kumaşlara aktarılması için kullanılan cihazlar ve modelleri

Cihaz	Model
Pad-Batch Fulard	ATAC FY 350
Ram	ATAC GK 40
Etüv	ATAC EV 250
Manyetik Karıştırıcı	HP 220
Hassas Terazî	Precisa BJ 1000C

2.2. Metod

Çalışma kapsamında silika bazlı nanosol (SiO₂) elde etmek için öncelikle belirli miktarda etanol ve distile su içerisine başlatıcı madde olarak 22 ml Tetraetilortosilikat (TEOS) ve çapraz bağlayıcı olan Glisidoksipropil trimetoksisilan (GPTS)'dan 8 ml alınarak manyetik karıştırıcı ile oda

sıcaklığında sürekli olarak karıştırılmıştır. Hidrolizasyon işlemini hızlandırmak için 0,1M NaOH ilave edilmiştir. Bu işlem ile çözeltinin pH'ı 9-10 seviyesine çıkmıştır. Karışım saydam hale gelinceye kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir.

Karışıma daha sonra distile su içerisinde 1 g TiO₂ nano toz eklenmiş ve 30 dk daha karıştırılmıştır. Hazırlanan çözeltiler daha sonra numunelere tek tek aktarılmıştır. Bunun için, bir tekne içine aktarılan hazırlanmış çözelti içerisinde numuneler 60 sn boyunca bekletilmiştir. Ardından numuneler %85 A_F ile silindirler arasından geçirilmiş ve daha sonra 110 °C'de 5 dakika süreyle ram içerisinde kurutulmuştur. Kimyasalların yüzeye bağlanma durumunu etkileyen bir işlem olan ısı ile fiksaj işlemi için 120 °C ve 150 °C olmak üzere iki farklı termofiksaj sıcaklığı uygulanmıştır.

Hazırlanan kimyasalların karakterizasyonu için kumaş numunelerine Çukurova Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan JASCO FT/IR-6800 model cihaz ile FT/IR (Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre) ve FEI Quanta 650 Field Emission model cihaz ile SEM (Taramalı elektron mikroskobu) analizleri uygulanmıştır.

Kumaşlara aktarılan kimyasalların kumaş rengindeki değişimleri tespit etmek için Minolta marka CM 3600 model spektrofotometre cihazı ile renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bilgisayara bağlı olarak çalışan spektrofotometre cihazında analizler özel bir yazılım olan RealColor1.3® kullanılarak yapılmıştır. Numunelerin kaplama öncesi ve sonrası renk ölçümler gerçekleştirilmiş ardından yazılım aracılığıyla ΔL^* (açıklık-koyuluk) ve ΔE (toplam renk farkı) değerleri hesaplanmıştır. Söz konusu değerler Eşitlik 1 ve 2 aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$\Delta L^* = (L^* \text{ numune} - L^* \text{ standart}) \quad (1)$$

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

Numunelerin ışık etkisiyle renk değişimlerini incelemek için Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan ATLAS Xenotest Alpha ışık haslığı test cihazı

kullanılmıştır. Çalışmada ISO 105 B02:2014 standardı esas alınarak işlem görmüş numuneler ve hiç işlem görmemiş numuneler ışığa maruz bırakılmıştır. Soldurma işlemi ksenon lamba ışığında 72 saat süre boyunca gerçekleştirilmiştir. Kumaşların soldurma işlemi sonucunda renk değişimini tespit edebilmek için yine spektrofotometre ile renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Soldurma öncesi ve sonrası toplam renk farkı değerleri (ΔE) tespit edilip çalışmada uygulanan kimyasal işlemlerin numunelerin ışık haslığına etkisi incelenmiştir.

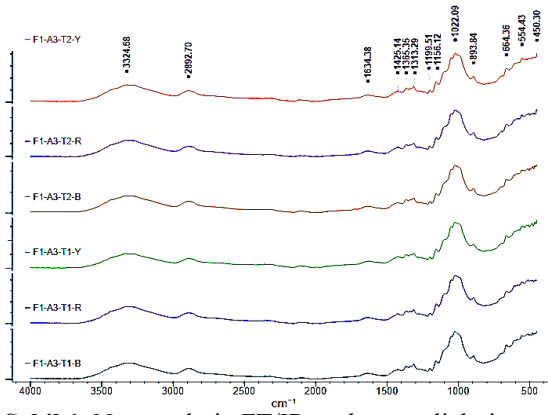
Deneyisel çalışmada hazırlanan kimyasalların keten içerikli numunelere verdiği bazı fiziksel ölçümler için hava geçirgenliği, yumuşaklık, hidrofilite analizleri uygulanmıştır. Kumaşlara 'TS 391 EN ISO 9237' standardına bağlı olarak Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünde bulunan Prowhite EP08M Cihazı ile hava geçirgenliği testi; ASTM D 4032-94 standardı ile Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan A&T stiffness cihazı kullanılarak yumuşaklık testi uygulanmıştır. Hidrofilite tayini için TS 866 standardı esas alınarak 'Batma Testi' uygulanmıştır. Bir beher içerisine damıtık su konulup test edilecek numune içine atılmış, numuneler suya değdiği anda kronometre çalıştırılmıştır. Numuneler suyu tamamen emerek battığı anda kronometre durdurulmuş ve batma süreleri kaydedilmiştir. Testler sonucu elde edilen veriler tablo ve grafik üzerinden değerlendirilip analiz edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında katkı maddesi olarak UV ışınlarını absorbe edebilen nano toz formda TiO₂ kullanılarak hazırlanan silika bazlı nanosollerin aktarılmış olduğu sarı, kırmızı ve mavi renkte keten içerikli numunelerin FT/IR analizi grafiği Şekil 1'deki gibidir. Grafik üzerinde bulunan 120 °C sıcaklıkta işlem gören numuneler "T1"; 150 °C sıcaklıkta işlem gören numuneler ise "T2" olarak adlandırılmıştır.

Moleküllerdeki çeşitli bağların titreşim frekanslarının ölçülüp, moleküldeki fonksiyonel grupların tahmin edildiği test sonucunda kimyasal

ile işlem görmüş tüm numunelerin spektrum değişimlerinin birbirine benzer olduğu görülmektedir. 1026-1166 cm^{-1} 'deki hareketlenme selülozun C-O bağ modunu göstermektedir. 1000 cm^{-1} frekans bandında bulunan hareketlenmenin Si-O bağlarının etkisiyle gerçekleştiği düşünülmektedir. 664 cm^{-1} ve 554 cm^{-1} bandında olan hareketlenme ise numune üzerindeki Ti-O bağlarının varlığını göstermektedir.

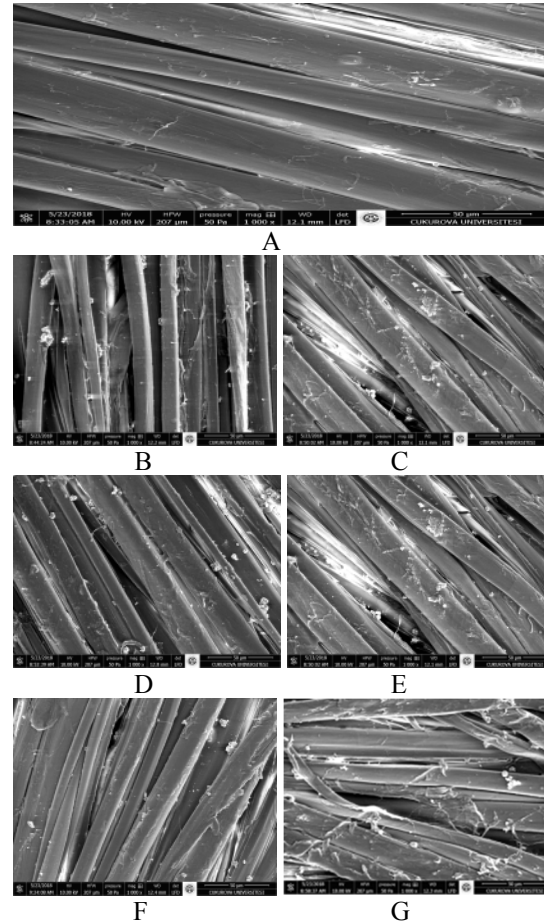


Şekil 1. Numunelerin FT/IR spektra analizleri

Kimyasallar ile işlem görmemiş ve görmüş numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş, x1000 büyütme ile alınmış görüntüleri Şekil 2'deki gibidir. Şekilde sırasıyla A, işlem görmemiş numune; B, C, D 120 °C sıcaklıkta fikse işlemi gören farklı renklerdeki numuneler; E, F, G ise 150 °C sıcaklıkta işlem gören farklı renklerdeki numunelerdir. Görüntülerde kaplanmamış numunelere ait lif yüzeylerinin daha düzgün olduğu, kaplanmış numunelerin yüzeyinde ise düzensiz olarak dağılmış parçacıklar olduğu görülmektedir. Bu görüntüler ile TiO_2 nano tozların silika nanosollerin varlığında lif yüzeyine tutunabildiği; ancak lif yüzeyindeki kaplamanın uniform yapıda olmadığı anlaşılmaktadır.

İşlem sonrası renk farkı değerleri Çizelge 4'te sunulmuştur. Tablodaki açıklık-koyuluk (ΔL^*) değerleri incelendiğinde tüm numunelerde işlem sonrası koyulaşma olduğu görülmektedir. Bu da kaplama işleminin kumaş yüzeyine gelen ışığın yüzeye düşme açısını etkilediği için kumaşın ışını normalden daha az yansıtmasına sebep olduğunu

ve spektrofotometre cihazının numunenin rengini daha koyu algılamasına yol açtığını göstermektedir. Fikse sıcaklığı arttıkça işlem öncesi ve sonrası renk farklılığının (ΔE) arttığı; bunun da 150 °C olan fikse sıcaklığının kumaş yüzeyine daha fazla kimyasalın bağlanmasına sebep olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde; toplam renk farkı değerlerindeki değişim azalan sırayla sarı, kırmızı ve mavi renkteki numunelerde çıkmıştır. Toplam renk farkı değeri formülünden (1) yola çıkılırsa; solüsyonlarla 150 °C'de işlem görmüş sarı renkte numunelerin ΔL^* değeri diğer renklere göre daha yüksek çıktığı için bu değer toplam renk farkı değerini de (ΔE) arttırmış ve doğru orantılı olarak koyulaşma miktarından dolayı renk farklılığı daha yüksek çıkmıştır.

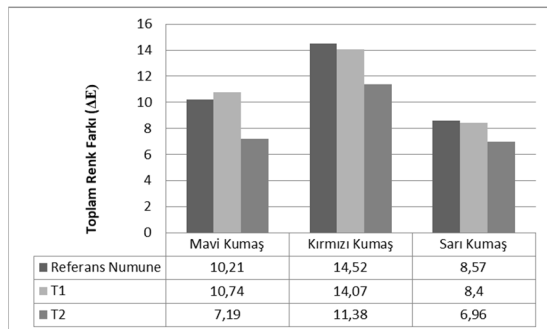


Şekil 2. Numunelerin SEM analizi görüntüleri

Çizelge 4. Numunelerin kaplama işlem sonrası renk değişimleri

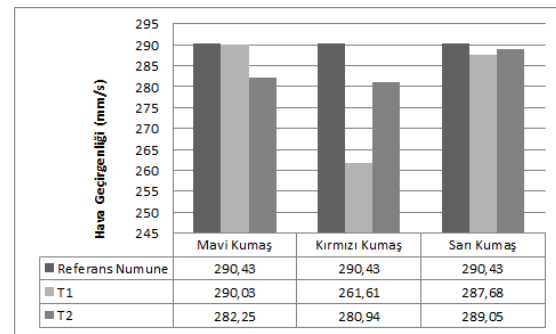
Numune	Uygulanan Fikse Sıcaklığı (°C)	ΔL*	ΔE
Mavi	120	-0,214	0,28
	150	-0,411	0,5
Kırmızı	120	-0,208	0,72
	150	-0,657	1,0
Sarı	120	-0,402	0,88
	150	-1,153	3,04

Mavi, kırmızı ve sarı renkte keten içerikli numunelerin ışık altında, 72 saat'lik soldurma işlemi sonucunda renklerinde meydana gelen değişim Şekil 3'de görülmektedir. Kimyasallarla işlem görmüş ve görmemiş tüm numunelerde renk farklılıkları görülmektedir. Bu renk değişimleri boya moleküllerinin ışıktan gelen elektromanyetik radyasyon sonucu yapısının bozulması ile meydana gelmiştir [13]. Sonuçlar incelendiğinde; hiç işlem görmemiş olan ve kimyasallarla işlem görüp 120 °C'de fikse işlemi gören numunelerin soldurma sonrası toplam renk farkı değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Nanosol kaplamalarla işlem görüp, 150 °C'lik fikse işlemi gören tüm farklı renkte numunelerde ise ışık etkisiyle renk değişiminin diğer numunelere göre az olduğu görülmektedir [14]. Bu durum, daha yüksek fikse sıcaklığının, kimyasal ile selülozik yüzey arasındaki bağlanma miktarını artırdığı sonucunu desteklemektedir. Spektrum içerisindeki UV bölgesinin çoğunu soğurabilme yeteneğine sahip UV absorplayıcı bir madde olan TiO₂; SiO₂ ile bir araya geldiğinde tekstil yüzeyinin ışık etkisiyle rengindeki değişim miktarını düşürmüştür.



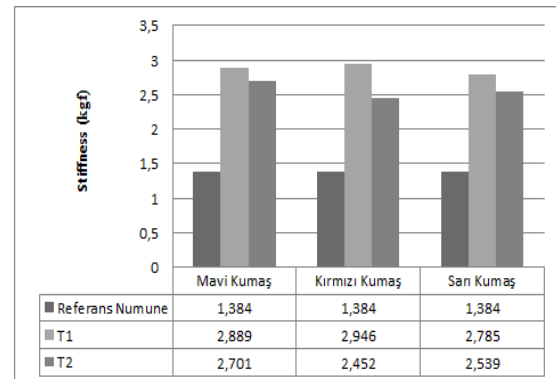
Şekil 3. Numunelerin ışık etkisiyle renk değişimleri

Şekil 4'te kimyasal ile işlem görmüş ve görmemiş numunelerin hava geçirgenlik değerleri görülmektedir. Genel olarak bakıldığında nanosol kaplamanın kumaşların hava geçirgenlik oranını anlamlı bir şekilde etkilemediği görülmektedir. Nanosollerin kurduğu bağlar lif yüzeyinde çok yer kaplamamaktadır [2]. Nano toz TiO₂ içeren silika sollarla işlem görmüş keten kumaşların hava geçirgenliği bir miktar değişmiştir. Ancak bu değişimin anlamlı olmadığı görülmüştür.



Şekil 4. Numunelerin hava geçirgenliği testi sonuçları

Çalışmada hazırlanan kaplamaların kumaşların yumuşaklık değerlerine etkisi Şekil 5'te görülmektedir. Nanosol ile kaplanmış tüm numunelerin işlem görmemiş referans numuneye göre yumuşaklığının oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Nanosoller kumaş yüzeylerinin esnekliğini düşürdüğü için numuneler sertleşmiştir. Nanosol kaplamalar özellikle katı konsantrasyon miktarları arttıkça yapıda sertleşmeye neden olabilmektedir [2].



Şekil 5. Numunelerin yumuşaklık testi sonuçları

Deneysel çalışmada nanosol kaplamanın keten içerikli numunelerin su emiciliğine etkisini tespit etmek için Batma Testi uygulanmıştır. Standart doğrultusunda, numunenin batma süresi 0-50 saniye arasındaysa hidrofilitesi çok iyi; 50-100 saniye arası orta; 100 sn üstü ise kötü hidrofilite derecesinin olduğu ifade edilmektedir. Yapılan testler sonucunda işlem görmemiş referans keten içerikli numune, 0-50 saniye arasında tamamen suyun içerisine batarak çok iyi derecede hidrofilite özelliği göstermiştir. Nanosollerle işlem görmüş olan tüm numunelerin batma süresi ise 100 saniye'nin üstünde bir değer göstermiştir. Bu da uygulanan nanosol kaplama işleminin liflerin suyu emmesini engellediğini ve numunelerin hidrofilite derecesini kötü yönde etkilediğini ortaya koymuştur.

4. SONUÇLAR

Deneysel çalışmada mavi, kırmızı ve sarı renkte reaktif boyalı keten kumaşlara nano toz TiO₂ katkılı SiO₂ nanosol kaplama uygulanmıştır. Numuneler kimyasal ile işlem gördükten sonra 120 °C ve 150 °C olarak 2 ayrı fikse işleminden geçmiştir. Bu şekilde yapılan uygulamaların keten içerikli tekstil yüzeylerine verdiği bazı etkiler görülmek istenmiştir. Yapılan işlemler sonucunda FT/IR ve SEM analizleri incelendiğinde; nano toz formda TiO₂, bağlayıcı madde olarak silika sol ile bir araya geldiğinde selülozik bir yüzey olan keten içerikli numuneye bağlanabildiği görülmüştür.

Spektrofotometre ile yapılan renk analizlerinde; nanosol kaplama uygulanan tüm numunelerin renginde koyulaşma olduğu görülmüştür. Uygulanan kaplama yüzeye gelen ışığın düşme açısını değiştirdiği için kumaş renginin daha koyu algılandığı tespit edilmiştir. Kaplamanın 150 °C ile fikse olduğu numunelerde renk farkının daha yüksek olmasının hem de daha fazla kimyasalın numuneye bağlanıp renkte daha çok değişime neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Işık haslığı testinin sonuçlarında; numunelerin soldurma öncesindeki renklerine göre en az değişimin nanosol kaplamanın 150 °C ile fikse

olduğu numunelerde olduğu görülmüştür. Bu sonuç; nanosol kaplamanın seçilmiş olan daha yüksek fikse sıcaklığında lif yüzeyine daha çok bağlanabildiğini ve ışıktan gelen boya moleküllerini parçalayıcı etkisi olan UV ışınlarının TiO₂ tarafından absorbe edilebildiğini göstermiştir. Çalışmada hazırlanmış olan silika sol kaplamanın tekstil yüzeyini bozulmaya karşı koruduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak; 150 °C olarak belirlenen fikse sıcaklığının her üç renkte numunenin rengini özellikle koyulaştırarak değiştirdiği ancak çalışmada uygulanan metodun, bu fikse sıcaklığıyla malzemeye ışık haslığını iyileştirici etkiyi verebildiği görülmüştür.

Yapılan diğer fiziksel testler sonucunda uygulanan kaplama işleminin numunelerin hava geçirgenliğini bir miktar değiştirdiği, yumuşaklığını düşürdüğü ve hidrofilitesini kötü yönde etkilediği görülmüştür.

Sonraki çalışmalarda kaplamanın tekrarlı yıkamalar sonucu kalıcılığı ve fonksiyonel etkisinin sürekliliği analiz edilebilir. Ayrıca işlem sonrası numunelerde meydana gelen toplam renk farkı (ΔE^*) değerleri düşük ve her renk için sabit bir sayıda olacak şekilde metod hazırlanabilir ve bu şekilde ışık haslığının iyileştirilmesi üzerinde çalışılabilir. İleride yapılacak çalışmalarda yapılan kaplama işleminin numunelerin fotokatalitik ve antibakteriyel özelliklerine etkisi incelenecektir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, FDK-2015-3368 nolu proje kapsamında yapılmış olup Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Macwan, D.P., Dave N.P., Chaturvedi S., 2011. A Review on Nano-TiO₂ Sol-gel Type Syntheses and Its Applications, Journal of Material Science, 3669-3686.
2. Mahltig, B., Böttcher, H., Rauch, K., Dieckmann, U., Nietche, R., Fritz, T., 2005. Optimized UV Protecting Coatings by

- Combination of Organic and Inorganic UV Absorbers, Elsevier, Thin Solid Films 485, 108-114.
3. Huang, K.S., Yang, K.L., Lin, S.J., Lian, W.T., 2007. Antiwrinkle Treatment of Cotton Fabric with a Mixed Sol of TEOSTTB/DMDHEU, Journal of Applied Polymer Science, 106, 2559-2564 .
 4. Gupta, K., Jassal, M., Agrawal, A.K., 2008. Sol-gel Derived Titanium Dioxide Finishing of Cotton Fabric for Self Cleaning, Indian Journal of Fibre & Textile Research, 33, 443-450.
 5. Yuan, N., Hua, D., 2012. Visible-light Photodegradation of Reactive Dyes on Doping TiO₂ Nanostructured Thin Films Loaded Fabric, International Conferance on Education Technology and Management Engineering, China, 16-17.
 6. Demir, A., Öktem, T., Seventekin N., 2008. Reaktif Boyalı Pamuklu Materyallerin Işık Haslığına UV Absorplayıcıların Etkisi, Tekstil ve Konfeksiyon, 211-220.
 7. Gültekin, T., 2011. Kendi Kendini Temizleme Özellikli Pamuklu Tekstillerde Kumaş Performans Özelliklerinin Araştırılması ve Bu Özelliğe Sahip Kumaşın Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 72, Denizli.
 8. Xuan, L., Han, G., Wang, D., Cheng, W., Gao, X., Chen, F., Li, Q., 2017. Effect of Surface – Modified TiO₂ Nanoparticles on the Anti-Ultraviolet Aging Performance of Foamed Wheat Straw Fiber/Polypropylene Composites, Materials, 10,456, 2-13.
 9. Wang R., Wang, Y., 2011. Characterization of Titania Hydrosol and its Influence on Light Fastness of Polyester Fabric, Elsevier, Procedia Engineering, 307-311.
 10. Veronovski, N., Sfiligoj-Smole, M., Viota, J.L., 2000. Characterization of TiO₂/TiO₂-SiO₂ Coated Cellulose Textiles, Textile Research Journal, 80(1), 55-62.
 11. Alebeid, O.K., Zhao, T., Anti-Ultraviolet Treatment by Functionalizing Cationized Cotton with TiO₂ nano-sol and Reactive Dye, 2015. Textile Research Journal, 85(5), 449-457.
 12. Fakin, D., Veronovski, N., Ojstrsek, A., Bozic, M., 2012. Synthesis of TiO₂-SiO₂ Colloid and its Performance in Reactive Dyeing of Cotton Fabrics, Carbonhydrate Polymers, 88, Slovenia, 992-1001.
 13. Koussolou, T., 1999. Photodegradation and Photostabilization of Historic Silks in the Museum Environment-Evaluation of a New Conversation, Papers From the Institute of Archaeology 10, 75-88.
 14. Bozok, S.S., Oğulata, T., 2018. UV Absorplayıcı Olarak TiO₂'nin Renkli Kumaşların Işık Haslığına Etkisi, 1. Uluslararası Akdeniz Sempozyumu, Mersin, 17-24.
 15. ASTM D4032-94, 1994. Standard Test Method for Stiffness Test Method for Stifness of Fabric by the Circular Band Procedure.
 16. TS 866, 1985. Kasarlı Pamuklu Tekstil Mamullerinin Su Emme Özelliğinin Tayini.
 17. TS 391 EN ISO 9237, 1999. Tekstil-Kumaşlarda Hava Geçirgenliğinin Tayini.
 18. TS EN ISO 105-B02, 2014. Tekstil-Renk Haslığı Deneyleri-Bölüm B02: Yapay Işığa Karşı Renk Haslığı- Ksenon Ark Soldurma Lambası Deneyi.

Sağlık Sistemlerinde Karma Dağılım Modellerinin Uygulanması

Melik KOYUNCU*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 26.07.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Sağlık sistemleri belirsizliğin genellikle fazla olduğu sistemlerden bir tanesidir. Örneğin bir hastanenin polikliniklerine gelen hasta sayısı, günün saatlerine göre değişkenlik gösterir. Hastane servislerinde bir hastanın kalış süresi, hastanın yaşı, cinsiyeti, başka bir hastalığı olup olmadığına bağlı olarak farklılık gösterir. Sağlık sistemlerinde, kapasite, personel vb. gibi planlamalar yapabilmek için, hasta geliş sayıları, hastanelerde kalış süreleri, ameliyat süreleri gibi parametrelerin tahmin edilmesi gerekir. Bu parametreleri tahmin etmek için kullanılan yöntemlere örnek olarak, talep tahmin yöntemleri, istatistiksel dağılım uydurma, makine öğrenmesi gibi yöntemler verilebilir. Bu yöntemlerden istatistiksel dağılım uydurma, belirli bir zaman diliminde toplanan verinin, teorik bir dağılıma uyup uymadığını test eder. Ancak belirsizliğin fazla olduğu durumlarda, yukarıda bahsedilen parametreleri saf bir istatistiksel dağılımla tahmin etmek her zaman mümkün olmayabilir. Bu çalışmada, heterojen yapıya sahip verilerin modellenmesinde kullanılan ve birden fazla dağılımın birleşmesiyle veya iç içe geçmesiyle oluşan karma dağılımların, sağlık sistemlerinde kullanılmasının, veri setine bağlı olarak, belirsizlikleri daha iyi modellediği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sağlık sistemleri, Stokastik modeller, Karma dağılımlar, Veri analizi

Applications of Mixed Distribution Models in Healthcare Systems

Abstract

Healthcare systems are one of the systems which usually operate under uncertainty. For example, incoming number of patients of a hospital's outpatient clinics varies according to the time of the day. Patient's length of stay at the hospital services differs depending upon the age of patient, gender of patient, having another disease or not. In healthcare systems; in order to be able to do plannings such as capacity or personnel planning; parameters, like number of incoming patients, length of hospital stay, operation time of surgery should be estimated. Some methods to estimate these parameters are forecasting, distribution fitting and machine learning. From these methods, distribution fitting tests whether the data which is collected in a specific time period fits to a theoretical distribution or not. Nevertheless, in the circumstances which has much uncertainty, estimating the aforementioned parameters may always not be possible by a pure statistical distribution. In this study, it has been shown that the use of mixed distributions in health systems, which are used in modeling of heterogeneous data and formed by merging or overlapping multiple distributions, better model uncertainties depending on the data set.

Keywords: Healthcare systems, Stochastic models, Mixed distribution models, Data analysis

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Melik KOYUNCU, mkoyuncu@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sağlık harcamaları ülkelerin gayri safi milli hasılasının (GSYH) önemli bir yüzdesini oluşturmaktadır. Örneğin, 2017 yılında ülkemizdeki sağlık harcamalarının toplamı 140 milyar 647 milyon TL'ye ulaşarak GSYH'nin %4,5'ine denk gelmiştir [1]. Harcamaların bu kadar büyük olduğu bir sistemin iyi yönetilmesi ekonomik bir zorunluluktur. Birçok sektörde, kişilerin taleplerinin zamanında karşılanması müşteri memnuniyeti, ekonomik getiri gibi faktörler için önemli olsa da, sağlık sistemlerinde, ihtiyaç duyan kişilerin taleplerinin vakit kaybedilmeden karşılanması, bazı durumlarda hayati açıdan önemlidir. Hastanede tedaviye ihtiyaç duyan bir hastaya ilgili serviste yer bulunması, acil servise gelen bir hastaya fazla bekletilmeden müdahale edilmesi, poliklinikte muayene olmak isteyen bir kişiye makul bir sürede randevu verilmesi için yeterli miktarda kaynağın olması kadar, bu kaynakların etkili bir biçimde yönetilmesi de gereklidir. Sağlık sistemlerini etkin yönetebilmek için stratejik ve operasyonel kararlar alınırken, planlamacılar genellikle sayısal analiz teknikleri kullanır. Matematiksel modelleme, simülasyon modelleme ve kuyruk teorisi bu tekniklere örnek olarak verilebilir. Bu teknikler kullanılarak sağlık sistemlerindeki problemlerin bir çoğuna çözüm önerisi getirilmiştir. Özellikle simülasyon modelleme, acil servislerde ve yoğun bakım ünitelerinde optimal yatak sayısının belirlenmesi, optimal sağlık personeli sayısının belirlenmesi vb. problemlerinin çözümü için çok değişik durum ve senaryolar için kullanılmıştır. Simülasyon modellemeyi kullanabilmek için sisteme ait bazı parametrelerin tahmin edilmesi gerekir. Örneğin bir hastanenin optimal yatak sayısını belirlemek isteniyorsa, hastaneye gelen hastaların geliş sıklığı ve hastaların hastanede kalış sürelerine ait zamana bağlı bir tahmin yapılmalıdır. Modellerin iyi sonuç vermesi, modellerde kullanılan parametrelerin gerçekçi tahmin edilmesine bağlıdır. Ancak sağlık sistemleri doğası gereği belirsizliğin fazla olduğu sistemlerden bir tanesidir. Bir polikliniğe gelen hasta sayısı günün saatine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Hastane servislerinde bir hastanın yatış süresi hastanın yaşına, cinsiyetine, hastalığının türüne,

eşlik eden başka bir hastalık olup olmadığı gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Ameliyat süreleri, muayene süreleri, tedavi süreleri hastadan hastaya farklılık gösteren parametrelerdir. Bu parametreler genellikle, istatistiksel dağılım uydurma, talep tahmin yöntemleri ve son yıllarda makina öğrenmesi teknikleri ile tahmin edilmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sağlık sistemlerinde simülasyon modelleme çok geniş bir literatüre sahiptir. Günel ve Pidd [2] yaptıkları çalışmada, sağlık sistemlerinde simülasyon modellerinin kullanımına ait 80'e yakın çalışmanın değerlendirmesini yapmışlardır. Benzer şekilde Gül ve Güneri [3] tarafından yapılan acil servislerde simülasyon modelinin kullanılmasına yönelik literatür değerlendirmesinde, 100'e yakın çalışma bulunmaktadır. Bai ve arkadaşları [4], yoğun bakım ünitelerinin yönetiminde yöneylem araştırması adlı literatür değerlendirmesinin, önemli bir kısmını simülasyon çalışmaları oluşturmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde, birçok araştırmacının simülasyon modeline girdi parametresi olarak çoğunlukla teorik dağılımlar kullandığı görülmektedir. Bir veri setinin normal, lognormal, gamma dağılımı gibi teorik bir dağılıma uyup uymadığının belirlenmesi için Ki-kare testi ve Kolmogorov Smirnov testleri gibi uyum iyiliği testleri yapılmaktadır [5]. Ancak veri setinin herhangi bir teorik dağılıma uymadığı durumda çok az araştırmacı sağlık sistemlerinin analizi için karma dağılım kullanmıştır. Bu tür durumlarda, araştırmacılar genellikle ampirik dağılımı tercih etmişlerdir. Ampirik dağılımlar, teorik dağılımlara göre daha az bilgi içermektedir ve toplanan veri aralığı dışında veri üretilmesine imkan vermemektedir. Karma dağılım modelleri ilk olarak Pearson tarafından önerilmiştir. Günümüzde karma dağılım modelleri biyoloji, genetik, sağlık ve mühendislik gibi birçok alanda uygulama alanı bulmuştur [6]. Ancak sağlık sistemlerinin operasyonel planlamasında, karma dağılımların kullanımına çok sık rastlanılmamaktadır. Ickowicz ve Sparks [7] hastanede toplam kalış süresini karma dağılımla modellemiştir. Sağlık sistemlerinde kalış süresi bir hastanın sağlık sistemine girdiği

zaman ile çıktığı zaman arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Kalış süresinin tahmini birçok modelde, girdi parametresi olarak kullanıldığı için son derece önemlidir. Sorensen [8] tarafından geliştirilen modelde kalış süresinin normal dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Ancak kalış süresi ile ilgili bu varsayımı, birçok veri setinde, uyum iyiliği testlerini kullanarak, istatistiksel olarak kabul etmemiz mümkün görünmemektedir. Bu çalışmada yoğun bakım ünitelerinden, beyin cerrahi yoğun bakım ünitesindeki kalış süresinin karma dağılımla modellenmesine yönelik bir uygulama yapılmıştır. Karma dağılım modelinin seçilmesi bu üniteye hasta kalış süresinin hiçbir teorik istatistiksel dağılıma uymamasıdır.

3. METOD

İki veya daha fazla bileşenden meydana gelen dağılımlar karma dağılımlar olarak tanımlanır. Karma dağılım modellerini aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

X: S örneklem uzayındaki değerleri alan bir rasgele değişken

$f(x)$: X rasgele değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu olsun.

Eğer X rasgele değişkeni bir karma dağılım modeline sahipse, X rasgele değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu; (Eşitlik 1)

$$f(x) = \pi_1 f_1(x) + \dots + \pi_k f_k(x) \quad x \in S \quad (1)$$

(1) no'lu denklemden $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_k$ karma dağılım modelindeki her bir dağılımın karma oranını $f_1(\cdot), f_2(\cdot), \dots, f_k(\cdot)$, ise karma dağılım modelinde yer alan dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir.

Bu durumda, Eşitlik 2-4 yazılabilir.

$$0 \leq \pi_i \leq 1 \quad i=1 \dots k \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^k \pi_i = 1 \quad (3)$$

$$\int_S f_i(\cdot) dx = 1 \quad i=1 \dots k \quad (4)$$

(1) no'lu denklemden yer alan $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ karma dağılım modelinde yer alan dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonlarının parametrelerini de gösterebilmek için (1) no'lu denklem;

θ_i : i. dağılımın parametresi $i=1, \dots, n$ olmak üzere; (Eşitlik 5)

$$f(x) = \pi_1 f_1(x; \theta_1) + \dots + \pi_n f_n(x; \theta_n) \quad (5)$$

Eşitlik 5'teki gibi yazılabilir.

Karma dağılımları, içerdiği dağılımların parametreleri ile göstermek için genellikle Ψ sembolü kullanılır ve karma dağılımlar Eşitlik 6'daki gibi de gösterilebilir.

$$f(x, \Psi) = \sum_{i=1}^n \pi_i f(x; \theta_i) \quad (6)$$

Eğer μ ortalamalı, σ standart sapmalı bir normal dağılımı;

$N \sim (\mu, \sigma)$ biçiminde gösterecek olursak;

Üç bileşen ve tek değişkene sahip normal dağılımlardan oluşan bir karma dağılım modeli; (Eşitlik 7 ve 8)

μ_i : i. dağılımın populasyon ortalaması

σ_i : i. dağılımın populasyon standart sapması

π : 3,14159...

e: 2,71... olmak üzere;

$$f(x; \Psi) = \pi_1 f(x; \theta_1) + \dots + \pi_3 f(x; \theta_3)$$

$$f(x; \Psi) = \pi_1 f(x; \mu_1, \sigma_1) + \dots \quad (7)$$

$$+ \pi_3 f(x; \mu_3, \sigma_3) \quad (8)$$

biçiminde yazılabilir.

$$\pi = (\pi_1, \pi_2, \pi_3), \theta_1 = (\mu_1, \sigma_1), \theta_2 = (\mu_2, \sigma_2), \theta_3 = (\mu_3, \sigma_3)$$

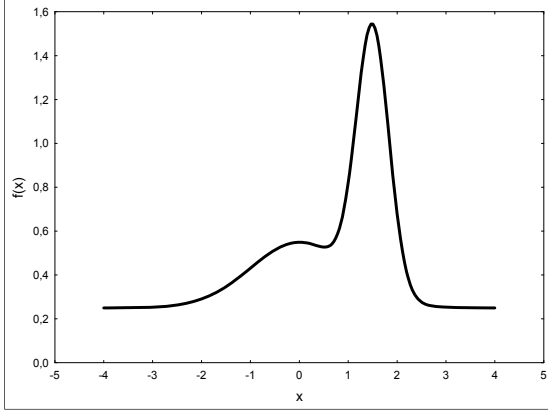
Tek değişkenli normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 9'da gösterilmiştir.

$$f(x; \mu_i, \sigma_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (9)$$

$$-\infty < x < \infty \quad \text{ve} \quad -\infty < \sigma_i < \infty$$

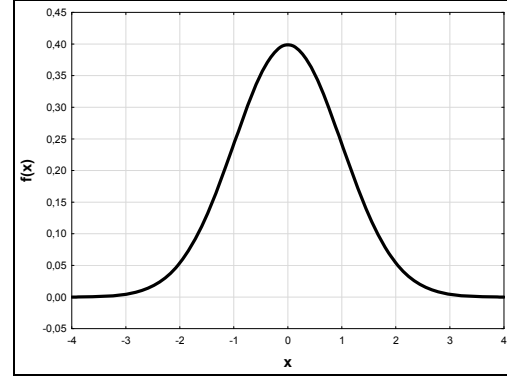
Tek değişkenli, iki tane normal dağılımdan oluşan bir karma dağılım modeline örnek olarak;

$f(x;\Psi)=\frac{3}{4}f(x;0,1)+\frac{1}{4}f(x;\frac{3}{2},\frac{1}{9})$ yazarsak, bu karma dağılım modelinin olasılık yoğunluk fonksiyonunun $-4 \leq x \leq 4$ aralığındaki grafiği Şekil 1'deki gibi olacaktır.



Şekil 1. Örnek karma dağılım modeli grafiği

bir başlangıç noktası sağlayacaktır. Şekil 2'de saf bir normal dağılıma ait, Şekil 3-5 arasında ise bazı karma dağılım modellerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonları gösterilmiştir. Çizelge 1'de ise bu modellerin olasılık yoğunluk fonksiyonlarının formülü ile karma oranları verilmiştir.



Şekil 2. Karma dağılım yok

Analiz edilen bir veri setinin karma dağılımla modellenebilmesi için;

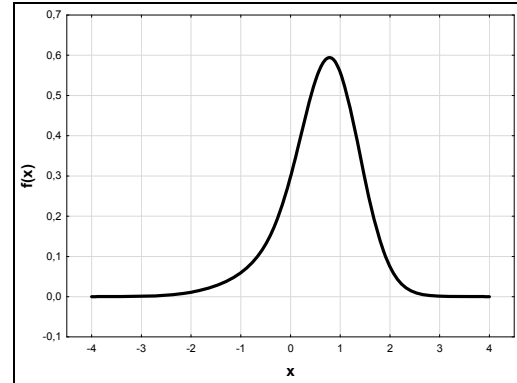
- Bileşen sayısının tahmin edilmesi
- Karma oranlarının tahmin edilmesi
- Dağılım parametrelerinin tahmin edilmesi gerekmektedir.

3.1. Karma Dağılım Modellerinde Bileşen Sayısının Tahmininde Kullanılan Grafikselle Yöntemler

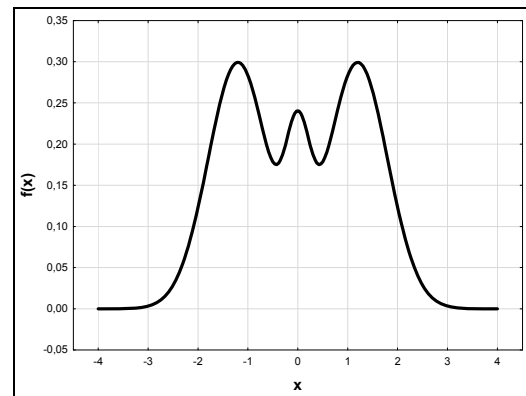
Grafikselle yöntemlerin karma dağılımların analizinde kullanılmasının iki temel amacı vardır. Bunlar;

- İncelenen veri setinde karma dağılım olup olmadığının belirlenmesi, eğer karma dağılım varsa türü hakkında ön fikir elde edilmesi,
- En azından karma dağılım parametrelerinin ham bir tahminin yapılmasıdır [9].

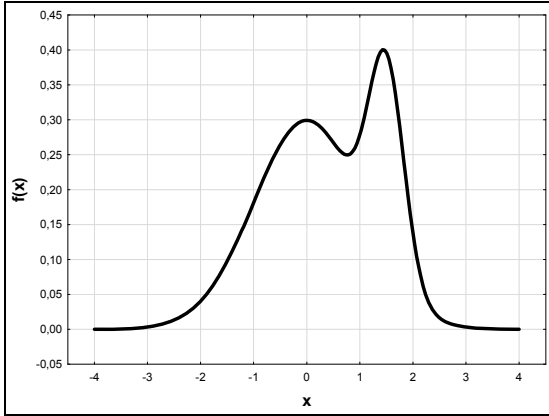
Karma dağılımların analizinde kullanılan birden fazla grafikselle yöntem vardır. Grafikselle yöntemler incelenen veri setinin kaç tane bileşenden oluştuğunu göstermesi açısından başlangıçta araştırmacılara iyi bir fikir verebilmektedir [10]. İncelenen veri setinin grafiği çizilerek aşağıda örnekleri verilen karma dağılım modellerine benzerlikleri araştırmacılara bileşen sayısı hakkında



Şekil 3. Sola çarpık karma dağılım modeli



Şekil 4. Üç tepeli karma dağılım modeli



Şekil 5. Asimetrik çift tepeli karma dağılım modeli

Çizelge 1. Şekil 2-5’de çizilen dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonları

Şekil No	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu f(x)
2	$N(0,1)$
3	$\frac{1}{5}N(0,1) + \frac{1}{5}N\left(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}\right) + \frac{3}{5}N\left(\frac{13}{15}, \frac{5}{9}\right)$
4	$\frac{9}{20}N\left(-\frac{6}{5}, \frac{3}{5}\right) + \frac{9}{20}N\left(\frac{6}{5}, \frac{3}{5}\right) + \frac{1}{10}N\left(0, \frac{1}{4}\right)$
5	$\frac{3}{4}N(0,1) + \frac{1}{4}N\left(\frac{3}{2}, \frac{1}{3}\right)$

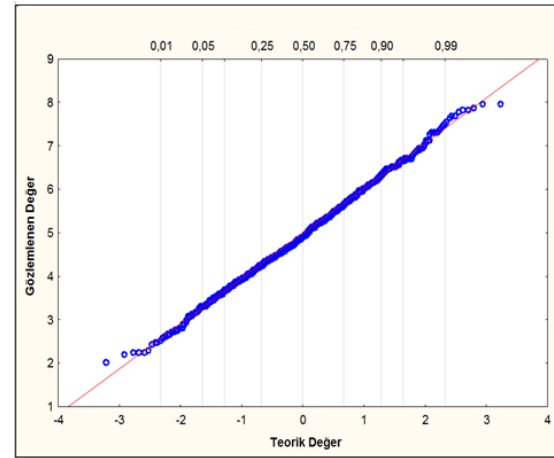
3.2. Bileşen Sayısının Belirlenmesinde Histogram ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Karma dağılım modelinde bileşen sayısını belirlemek için kullanılan grafiksel yöntemlerden bir tanesi incelediğimiz verinin histogramının çizilmesidir. Histogram çizilirken aralık sayısı ve genişliğinin belirlenmesi son derece önemlidir. Sezgisel olarak n tane gözlemin olduğu bir veride aralık sayısı \sqrt{n} olarak belirlenebilir [11]. Ancak araştırmacı aralık sayısını verinin yapısına göre değiştirebilir. Histogram çizilmesinin amacı olasılık yoğunluk fonksiyonunu tahmin etmek ve buna bağlı olarak bileşen sayısını hakkında ön fikir sahibi olmaktır. Ancak verinin histogramı incelenerek bileşen sayısının kesin olarak tahmin edilmesi garanti bir yöntem değildir [12].

3.3. Birikimli Dağılım Fonksiyonuna Dayalı Yöntemler

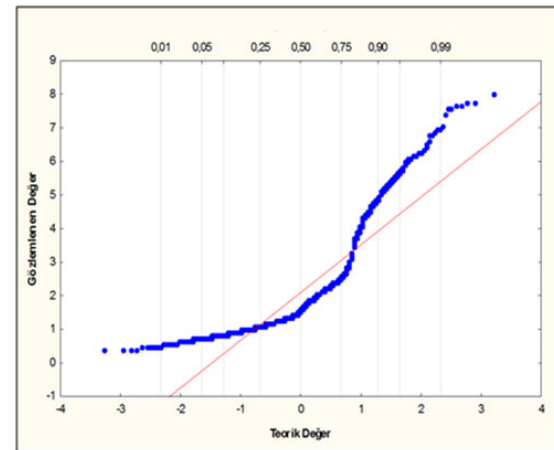
Karma dağılımın varlığını araştırmak için yoğunluk fonksiyonunun tahminine alternatif olarak Q-Q ve

P-P grafiklerinin çizimi kullanılabilir. Q-Q çizimi, $0 < p < 1$ aralığında $F^{-1}(p)$ nin $\Phi^{-1}(p)$ 'e karşı çizilmesidir. Burada, $F(\cdot)$ karma dağılımın, $\Phi(\cdot)$ ise standart normal dağılımın birikimli dağılım fonksiyonudur. Eğer incelenen veri setinde karma dağılım mevcut değilse, Q-Q çizimi doğrusal olacaktır ancak normal dağılımların karmasından meydana gelmişse Q-Q çizimi doğrusal olmayacaktır.



Şekil 6. Normal dağılım Q-Q grafiği

Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilen Q-Q çizimleri, verilerin dağılımı hakkında ön fikir vermektedir.



Şekil 7. Örnek bir karma dağılım Q-Q grafiği

Karma dağılımlarda bileşen sayısının belirlenmesinde, Q-Q grafiğine alternatif olarak

P-P (yüzde-yüzde) grafiği Fowlkes (1979) tarafından önerilmiştir [13].

n: örneklem büyüklüğü

x_i : i. örneklemin değeri $i=1, \dots, n$

$$p_i = (i - \frac{1}{2}) / n \quad i=1, \dots, n$$

\bar{x} : örneklem ortalaması

s: örneklem standart sapması olmak üzere;

$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ sıralı örnekleminde

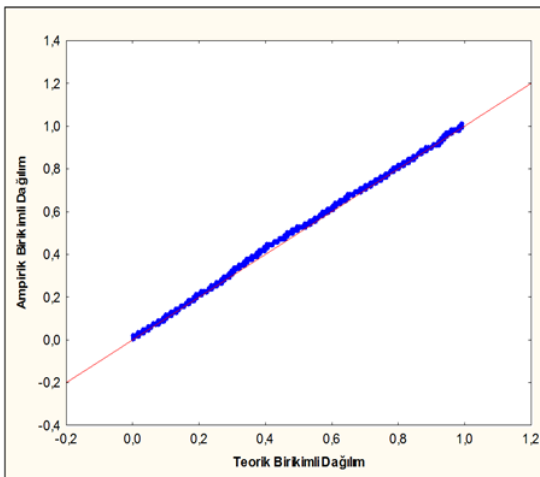
$(x_i - \bar{x})/s$ değerine karşı $\Phi\left(\frac{x_i - \bar{x}}{s}\right) - p_i$ 'nin grafiği; Φ -P'ye karşılık Q'nun grafiğine bir örnek teşkil edecektir. Bu çizim populasyon parametreleri üzerinden yazılacak olursa;

μ : populasyon ortalaması

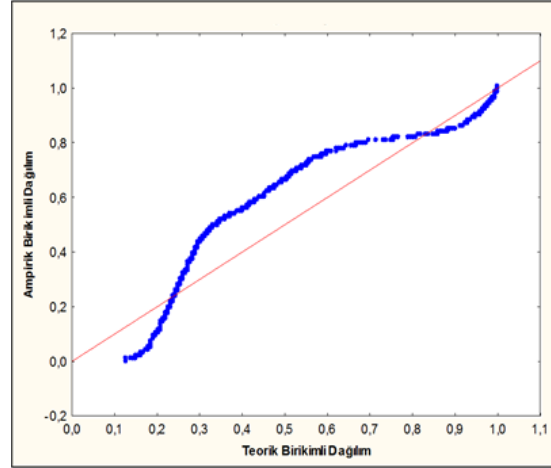
σ : populasyon standart sapması olmak üzere;

$\Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) - F(x)$ 'in $(x - \mu)/\sigma$ ya karşı çizimi olacaktır.

İncelediğimiz veri seti normal dağılıma sahipse Fowlkes çizimi düz bir çizgi olacaktır. Ancak normal dağılımlardan oluşan karma bir dağılım ise bu çizim düz bir çizgiye sahip olmayacaktır. Şekil 8 ve Şekil 9'da Fowlkes çizimleri gösterilmiştir. Bu çizimler parametre tahmini yapmamasına rağmen ilk analiz için önemlidir [9].



Şekil 8. Normal dağılım P-P grafiği



Şekil 9. Örnek bir karma dağılım P-P grafiği

3.4. Karma Dağılım Modellerinde Bileşen Sayısının Belirlenmesinde Modele Dayalı Yöntemler

i. Olabilirlik Kestirim Oranı Test İstatistiği

$X_i = x_i, i=1, \dots, n$ gözlemlerinden oluşan bir örneklem uzayında X_i 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 6'da gösterilmiştir.

Bu karma dağılım modelinin olabilirlik kestirim (likelihood) fonksiyonu; (Eşitlik 10)

$$L(\Psi) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \Psi) = \prod_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^k \pi_j f(x_i, \theta_j) \right] \quad (10)$$

logaritması alınmış olabilirlik kestirim fonksiyonu ise; (Eşitlik 11)

$$\log L(\Psi) = \sum_{i=1}^n \log(f(x_i; \Psi)) = \sum_{i=1}^n \log\left(\sum_{j=1}^k \pi_j f_i(x_i, \theta_j) \right) \quad (11)$$

$i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, k$ biçimindedir. Olabilirlik kestirim oran testi, farklı karma dağılım modelleri arasındaki uyum iyiliğini gösteren istatistiksel bir testtir [14].

Karma dağılımdaki bileşen sayısını belirlemek için başlangıçta k_0 ve k_1 ($k_1 > k_0$) sayıları belirlenerek iterasyona başlanır. Her bir iterasyonda ; $k_1 = k_0 + 1$ alınarak logaritmik olabilirlik kestirim fonksiyonunun değerindeki artış miktarının, azalmaya başladığı noktaya kadar iterasyona devam edilir. Bu noktada aşağıdaki hipotez test edilir.

$$H_0 : k = k_0$$

$$H_1 : k = k_1$$

Karma dağılım modelindeki bileşen sayısı k 'yı bulabilmek için olabilirlik kestirim oranı test istatistiği, $\chi^2_{v_1-v_0}$ (Ki-kare) dağılımına yakınsayan $-2\log\Lambda$ dir [15].

$\hat{\Psi}_0$: k_0 bileşen sayısına karşı gelen olabilirlik kestirim fonksiyonunun maksimum değeri

$\hat{\Psi}_1$: k_1 bileşen sayısına karşı gelen olabilirlik kestirim fonksiyonunun maksimum değeri olmak üzere; (Eşitlik 12 ve 13)

$$-2\log\Lambda = -2\log \left[\frac{\max_{\Psi \in \Psi_0} L(\Psi)}{\max_{\Psi \in \Psi_1} L(\Psi)} \right] \quad (12)$$

Buradan;

$$-2\log\Lambda = -2\{\log\hat{\Psi}_0 - \log\hat{\Psi}_1\} \quad (13)$$

elde edilir. Olabilirlik kestirim oran testinde Λ yeterince küçük olduğunda, $-2\log\Lambda$ değeri büyük olacaktır. Bu durumda, H_0 hipotezini reddetmek için yeterli kanıt olmayacaktır. Bu testteki amaç iki karma dağılım modelinin olabilirlik kestirim fonksiyonu değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemektir. χ^2 dağılım tablosu kullanılarak test istatistiğinin kritik değeri belirlenir. Test istatistiğinin serbestlik derecesi v_1 ve v_0 , sırasıyla Ψ_1 ve Ψ_0 'ın boyutuna eşittir.

ii. Akaike Bilgi Kriteri (AIC)

Tahmin edilen bileşen sayısı k olan bir karma dağılım modeli için $L(\Psi)$ olabilirlik fonksiyonunun maksimum değeri olsun. Bu durumda Akaike Bilgi Kriteri (AIC);

$AIC = 2k - 2\ln L(\Psi)$ ile hesaplanır. Bu yöntem 1974 yılında Akaike tarafından ileri sürülmüştür. Farklı sayıdaki k bileşenleri için AIC değeri en küçük olan değer, k bileşen sayısı için seçilir [12].

iii. Bayesci Bilgi Kriteri (BIC)

Bileşen sayısının tahmininde kullanılan diğer bir bilgi kriteri ise Schwarz tarafından önerilen Bayesci Bilgi Kriteri (BIC) dir [12].

k bileşen sayısı, n gözlem sayısı olmak üzere;

$BIC = -\ln(n)k - 2\ln L(\Psi)$ formülü ile hesaplanır. Farklı sayıdaki k değerleri için BIC değeri en küçük olan k değeri seçilir.

Yukarda açıklanan her üç yöntemde, karma dağılım modellerinde bileşen sayısını tahmin etmek için kullanılır. Koehler ve Murhee, çalışmalarında AIC'nin bileşen sayısını belirlemede tutarsız davrandığını belirtmişlerdir [16]. Roeder ve Wasserman, BIC'nin normal karma dağılım modelinin bileşen sayısını tutarlı bir biçimde tahmin ettiğini iddia etmişlerdir [17]. Karma dağılım modellerinde bileşen sayısının tahmininde her üç yöntem kullanıldığında, olabilirlik fonksiyonu değerinin en büyük, AIC ve BIC değerlerinin en küçük olduğu k değeri bileşen sayısı olarak seçilmelidir.

3.5. Karma Dağılım Modellerinde Parametre Tahmini

Karma dağılım modellerinde parametre tahmini için araştırmacılar tarafından çok sayıda yöntem önerilmiştir. Tittirengton, bu durumunun nedenini, parametre tahmini için kesin formüllerin olmamasına bağlamıştır [18]. Karma dağılımlarda parametre tahmini için kullanılan yöntemler genel olarak, grafiksel yöntemler, momentler yöntemi, en küçük mesafe yöntemi, en çok olabilirlik yöntemi ve Bayesci yaklaşımlar olarak gruplara ayrılabilir.

3.5.1. En Çok Olabilirlik Tahmin Yöntemi

X_1, \dots, X_n örnekleminin, k tane bileşenden oluşan $f(\cdot, \Psi)$, $\Psi \in \Omega$ karma dağılım modelinden seçildiğini varsayalım. Gözlemlenen x_1, \dots, x_n değerleri için, Ω

parametre kümesi için $L(\Psi)$ 'yi en büyük yapan $\theta(x_1, \dots, x_n)$ değerine, θ 'nın en çok olabilirlik tahmini denir. Ancak matematiksel olarak logaritması alınan olabilirlik fonksiyonunun en büyük değerini bulmak kolay olduğundan, Ω parametre kümesi için, $\max = \ln(L(\Psi))$ modeli çözülür. Denklemin her parametreye göre I. türevi alınır ve sıfıra eşitlenir. Elde edilen denklem sistemi, ele alınan dağılımlara ve parametrelerine göre çok karmaşık olabilir. Bu nedenle, bu denklem sistemini çözmek için doğrusal olmayan optimizasyon yöntemleri kullanılır [14].

3.5.2. Beklenti Maksimizasyonu Algoritması

Beklenti maksimizasyonu algoritması Dempster ve arkadaşları tarafından 1977 yılında önerilmiştir. Elimizde $x = \{x_1, \dots, x_n\}$ veri kümesinin olduğunu varsayalım. Başlangıçta, x_i gözleminin hangi dağılıma ait olduğu bilinmediği için x tamamlanmamış veri kümesi olarak adlandırılır. Beklenti maksimizasyonu algoritmasının amacı $L(\Psi) = f(x, \Psi)$ fonksiyonunu maksimum yapan $\Psi = \hat{\Psi}$ tahmininin bulunmasıdır [12]. Algoritma tamamlandığında x tamamlanmamış veri kümesindeki her bir gözlemin hangi kümeye ait olduğu belirlenir.

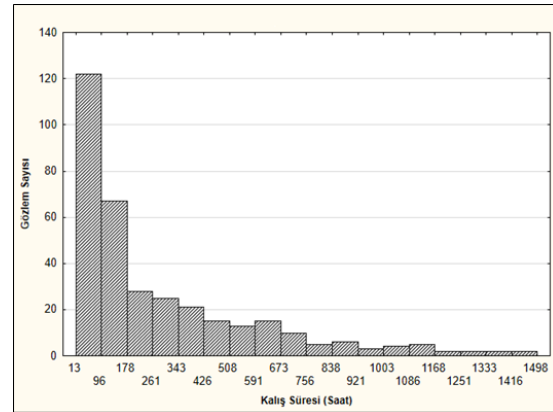
4. UYGULAMA

Çalışmanın uygulama kısmında, üçüncü basamak yoğun bakım ünitelerinden, beyin cerrahi ünitesindeki hasta kalış sürelerinin tahmini, karma dağılım modelleri kullanılarak yapılmıştır. Uygulama olarak yoğun bakım ünitelerinin seçim nedeni, bu ünitelerin hastanelerin en kritik bölümlerinden birisi olmasıdır. Tanım olarak yoğun bakımlar bir yada daha fazla organ sistemlerinde ciddi işlev bozukluğu nedeniyle yoğun bakım gereksinimi olan hastaların iyileştirilmesini amaçlayan ve hasta bakımı açısından ayrıcalık taşıyan, ileri teknolojiye sahip cihazlarla donatılmış, 24 saat yaşamsal göstergelerin gözlemi ve hasta tedavisinin yapıldığı kliniklerdir. Hastanelerde bir çok ünite olmasına rağmen, Yoğun Bakım Üniteleri, hastanelerin, sağlık açısından önemli risk taşıyan hastalara hizmet veren ünitelerinin başında gelmektedir. Yoğun bakım

ünitelerinde yeterli sayıda yatak olmaması durumunda bu üniteye ihtiyaç duyan hastalar için telafisi mümkün olmayan sonuçlara, bu ünitelerde fazla kapasite olması durumunda ise yüksek işletme maliyetleri nedeniyle finansal sıkıntıların ortaya çıkmasına neden olmaktadır [19]. Ortalama olarak hastane yatak sayısının %10'undan daha az bir orana sahip olan yoğun bakım üniteleri, işletme maliyeti açısından hastane bütçelerinin yaklaşık %20-25'ini oluşturmaktadır [20,21].

4.1. Veri Toplanması ve Analizi

Çalışmada kullanılan veri, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi otomasyon sisteminden alınmıştır. 2014-2015 yılı için yoğun bakım ünitelerinde kalan hastaların, bu üniteye kabul zamanı ile çıkış zamanı arasındaki farklar analiz edilmiştir. Şekil 10'da çizilen Histogram Beyin Cerrahi yoğun bakımında yatan hasta kalış sürelerine ait histogramdır. Kalış süresinin herhangi bir teorik dağılıma uyup uymadığını belirlemek için χ^2 (ki-kare) uyum iyiliği testi yapılmış ve kalış sürelerinin herhangi bir istatistiksel dağılıma uymadığı gözlemlenmiştir. Çizelge 2'de sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 10. Beyin cerrahi yoğun bakım ünitesi hasta kalış süreleri

Bu nedenle beyin cerrahi yoğun bakım ünitesinde hasta kalışlarını tahmini için karma dağılım modelleri kullanılmıştır. Karma normal dağılım ve karma gamma dağılımlara ait bileşen sayıları ve dağılım parametreleri beklenti maksimizasyonu

algoritması ile tahmin edilmiştir. Çizelge 3’de AIC, BIC ve loglikelihood değerleri gösterilmiştir. Yazılım olarak R programı kullanılmıştır.

Çizelge 2. χ^2 (ki-kare) uyum iyiliği testi sonuçları

Dağılım	p değeri
Normal	0,00
Gamma	0,05
Lognormal	0,00
Üstel	0,00
Üçgen	0,00

Çizelge 3. Kalış Sürelerine ait BIC, AIC ve loglikelihood değerleri

Bileşen sayısı	BIC	AIC	Loglikelihood Normal	Loglikelihood Gamma
k=2	4707,89	4970	-2290,24	-2339,30
k=3	4676,78	4972,79	-2296,34	-2314,88
k=4	4649,01	4974,79	-2287,43	-2292,22
k=5	4616,80	4976,79	-2299,44	-2287,02
k=6	4624,60	4978,79	-2291,25	-2262,02
k=7	4640,49	4980,79	-2286,62	-2254,16

Çizelge 3’de gösterilen, loglikelihood, AIC ve BIC değerlerine göre, bileşen sayılarının tahmini için $k=2$ ve $k=3$ değerleri seçilebilir. Beklenti maksimizasyonu algoritmasının sonuçlarına göre, iki ve üç bileşenli karma normal dağılım denklemleri; $f(x;\Psi)=\pi_1f(x;\theta_1)+\dots+\pi_n f(x;\theta_3)$ gösterimini kullanarak $k=2$ için normal dağılımlardan oluşan olasılık yoğunluk fonksiyonu; (Eşitlik 14)

$$f(x;\Psi)=0,51f(x;\theta_1)+0,49f(x;\theta_2) \quad (14)$$

$$\theta_1=(81,33, 50,83) \theta_2=(501,82, 322,48)$$

Benzer şekilde, üç bileşenli normal dağılım karması için; (Eşitlik 15)

$$f(x;\Psi)=0,28f(x;\theta_1)+0,45f(x;\theta_2)+0,27f(x;\theta_3) \quad (15)$$

$$\theta_1=(261,97, 117,68) \theta_2=(70,55, 42,48) \\ \theta_3=(698,62, 319,67) \text{ biçiminde yazılabilir.}$$

Gamma dağılımdan oluşan karma dağılım modellerini de; $k=2$ bileşen için; (Eşitlik 16)

$$f(x;\Psi)=0,45f(x;\theta_1)+0,55f(x;\theta_2) \quad (16) \\ \theta_1=(35,02, 2,15) \theta_2=(245,13, 1,85)$$

Üç bileşenli gamma dağılımından oluşan karma dağılım modeli ise; (Eşitlik 17)

$$f(x;\Psi)=0,02f(x;\theta_1)+0,54f(x;\theta_2)+0,46f(x;\theta_3) \quad (17)$$

$$\theta_1=(0,04, 303,20) \theta_2=(31,60, 2,65)$$

$$\theta_3=(197,99, 3,30) \text{ biçiminde yazılabilir.}$$

4.2. Ampirik Dağılımla Karma Dağılımların Karşılaştırılması

Karma dağılım modeli ile ampirik dağılımı karşılaştırmak için gerçek veri ile ampirik dağılımdan üretilmiş verinin histogramı Şekil 11’de gösterilmiştir. Benzer şekilde parametreleri Eşitlik 17’de verilen üç tane gamma dağılımından oluşan karma dağılım modelinden üretilen sayılarla, gerçek verinin histogramları Şekil 12’de gösterilmiştir. Görsel olarak karma dağılım modelinden üretilen sayıların gerçek veri’yi daha iyi temsil ettiği gözlemlenmektedir. Karma dağılım modelinin bu veri seti için daha iyi sonuç verdiğini göstermek için parametrik olmayan istatistiksel testlerden Mann Whitney U testi yapılmıştır. Bu test için;

H_0 : Ampirik dağılımdan üretilen değerler ile gerçek değerler aynı dağılımdan gelmektedir.

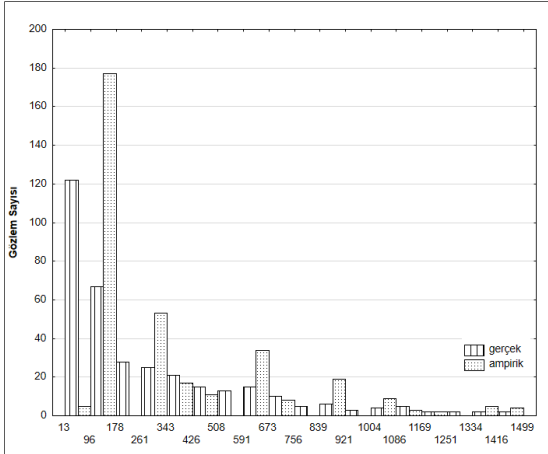
H_1 : Ampirik dağılımdan üretilen değerler ile gerçek değerler aynı dağılımdan gelmemektedir.

p değeri çok küçük bir değer olduğu için H_0 hipotezi red edilir. Aynı hipotezler karma dağılımdan üretilmiş için sayılar için yapılırsa;

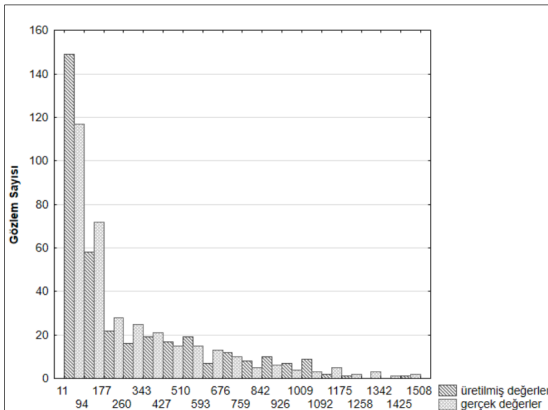
H_0 : Karma dağılımdan üretilen değerler ile gerçek değerler aynı dağılımdan gelmektedir.

H_1 : Karma dağılımdan üretilen değerler ile gerçek değerler aynı dağılımdan gelmemektedir.

p değeri 0,31 olduğu için, H_0 hipotezini reddetmek için seçilen önem düzeyine bağlı olarak, güçlü bir kanıt bulunmamaktadır. Bu sonuç ele alınan veri setini, karma dağılım modelinin, $\approx \sqrt{n}$ kategori aralığına göre oluşturulmuş ampirik dağılıma göre, daha iyi temsil ettiğini göstermektedir.



Şekil 11. Gerçek değerler ile amprik dağılımdan üretilmiş değerlerin karşılaştırılması



Şekil 12. Gerçek değerler ile karma dağılımdan üretilmiş değerlerin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sağlık sistemlerinin modellenmesinde simülasyon modelleri çok yoğun biçimde kullanılmaktadır. Çalışmalarda kullanılan veri setinin teorik bir dağılıma uymadığı durumlarda bir çok araştırmacı simülasyon modellerinde ampirik dağılım

kullanılmaktadır. Gözlem sayısının küçük olduğu veri setlerinde ampirik dağılımdan üretilen sayılar ile gerçek sayılar birbirine yakın değerler üretirken, gözlem sayısının büyük olduğu veri setlerinde gerçek değerler ile üretilen değerler arasında büyük farklar oluşmaktadır veya veri setini çok fazla kategoriye bölmek gerekmektedir. Bu tür durumlarda, karma dağılım modellerinin kullanılması araştırmacılara veri setini daha iyi modelleme imkanı sağlayacaktır. Bu çalışmada beyin cerrahi yoğun bakım ünitesinde yatan hastaların kalış sürelerinin karma dağılım modelleri ile tahmin edilmesinin ampirik dağılımla tahmin edilmesine göre daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. Bir veri setinin temsili için ampirik dağılımlar kullanılmadan önce, karma dağılım modellerine uyup uymadığına bakılması, veri setinin daha iyi modellenmesi için son derece önemlidir.

6. KAYNAKLAR

1. Türkiye İstatistik Kurumu. Haber Bülteni. Sağlık Harcamaları İstatistikleri, 2017. Sayı: 27621.
2. Günel, M.M., Pidd, M., 2010. Discrete Event Simulation for Performance Modelling in Healthcare: A Review of the Literature. Journal of Simulation, 4, 42-51.
3. Gül, M., Güneri, A.F., 2015. A Comprehensive Review of Emergency Department Simulation Applications for Normal and Disaster Conditions. Computers & Industrial Engineering, 83, 327-344
4. Bai, J., Fügenger, A., Schoenfelder, J., Brunner, J., 2018. Operations Research in Intensive Care Unit Management: A Literature Review, 21, 1-24.
5. Law, A., Kelton, D., 2000. Simulation Modeling and Analysis. 3rd Edition. McGraw-Hill Higher Education.
6. McLachlan, G., Peel, D., 2000. Finite Mixture Models. John Wiley & Sons, Inc.
7. Ickowicz, A., Sparks, R., 2016. Modelling Hospital Length of Stay Using Convolutional Mixture Distributions. Statistics in Medicine. DOI :10.1002/sim.7135

8. Sorensen, J. 1996. Multi-phased Bed Modelling. Health Services Management Research, 9, 61-67.
9. Titterington, D.M., Smith, A.F., Makov, U.E., 1985. Statistical Analysis of Finite Mixture Distributions. John Wiley & Sons, Inc.
10. Oliveira, A., Oliveira, T., 2011. Method for Detection of Mixtures of Normal Distributions with Application to Vine Varieties. Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technologies for Sustainable Agri-production and Environment. (HAICTA 2011). 771-781.
11. Montgomery, D., Runger, G., 2010. Applied Statistics and Probability for Engineers. 5th Edition. Wiley.
12. Çalış, N., 2005. Karma Dağılım Modellerinde Bileşen Sayısını Tahmin Etmek için Yöntemler, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 10-30, Adana.
13. Fowlkes, E.B., 1979. Some Methods for Studying the Mixture of two normal (lognormal) distributions. JASA. 74, 561-575.
14. Açıkgöz, İ., 2007. Sonlu Karma Dağılımlarda Parametre Tahmini, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 68-72, Ankara.
15. Johnson, R.A., Wichern, D.W., 1982. Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs.
16. Koehler, D., Murphee, E., 1988. A Comparison of the Akaike and Schwarz Criteria for Selecting Model Order. Applied Statistics, 187-195.
17. Roeder, K., Wasserman, L., 1997. Practical Density Estimation Using Mixtures of Normal. Journal of the American Statistical Association. 894-902.
18. Titterington, D.M., 1990. Some Recent Research in the Analysis of Mixture Distributions. Statistics 21, 619-641.
19. Antmen, Z.F., 2012. Üçüncü Basamak Yoğun Bakım Üniteleri Kapasite Planlama Problem İçin Benzetim Modelleri ve Uygulamaları. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 3-5, Adana.
20. Edbrooke, D., Hibbert, C., Ridley, S., Long, T., Dickie, H., 1999. The Development of a Method for Comparative Costing of Individual Intensive Care Units. The Intensive Care Working Group on Costing, Anaesthesia 54(2), 110-120.
21. Gyldmark, M., 1995. A Review of Cost Studies of Intensive Care Units: Problems with the Cost Concept. Critical Care Medicine 23, 964-972.

Açık Ocak Üretim Planlaması için Örnek Bir Uygulama

Ebru KARAKURT*¹, Ahmet Hakan ONUR²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden İşletmesi Anabilim Dalı, İzmir

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş tarihi: 03.07.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Madenler, milyonlarca yılda oluşan, tüketildiğinde yenilenemeyen kaynaklardır. Bu nedenle; ülkenin ihtiyaçları göz önüne alınarak, kaynak kaybına yol açmadan, çevreyle barışık, akılcı, ekonomik kurallara göre ve işçi sağlığı-iş güvenliği esasları çerçevesinde, kamu yararı öncelikli olacak şekilde etkin bir planlama ile üretilmelidir [1]. Etkin bir planlama ise; değişen maliyet ve ürün değerine en hızlı şekilde uyum sağlayarak, rezervden elde edilebilecek net bugünkü değeri en yüksek üretimi sağlayacaktır.

Bu çalışmada bir açık ocağın ocak ömrü boyunca maksimum kâr ile üretim yapmasını sağlayacak ilerleme yönleri bilgisayar programı (MICROMINE 11.0 ve SURPAC 6.5.1) yardımıyla araştırılmıştır. Sahada yapılan sondajlardan elde edilen verilerle veri tabanı oluşturulmuştur. Jeostatistiksel analizler (istatistik ve variogram analizleri) ile tenör-tonaj hesaplamaları yapılmış ve kriging yöntemi ile cevherin yataktaki dağılımı tespit edilmiştir. Kazı ve zenginleştirme aşamaları için öngörülen maliyetler belirlenmiştir. Cevher fiyatı değiştirilerek iç içe ocaklar serisi oluşturulmuş, oluşan ocak sınırlarındaki değişimler incelenerek cevher üretim sırası belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık ocak, Üretim planlama, İlerleme yönü, İç içe ocaklar, Karlılık

A Sample Application for Open Pit Mine Production Planning

Abstract

Minerals are nonrenewable resources formed over millions of years. Therefore; minerals must be produced with planning efficiently prioritizing the public interest within the frame of principles of occupational health and safety in accordance with environment friendly, rational and economical rules without loss of resource by taking needs of the country into consideration [1]. An effective planning must comply with changing cost and product value in the fastest way possible and yield the highest production with highest current value possible obtained from reserve.

In this study, heading directions which make an open pit mine to make production with maximum profit throughout its mine life are examined by means of computer program. A database is set by data acquired from borings made in the field. Grade-tonnage calculations are made by geostatistical analyses (statistical and variogram analyses) and distribution of ore within the mineral deposit is determined by kriging method. Costs estimated for mining and enrichment phases are determined. Nested pit is formed by changing ore price and ore production sequence is determined by examining changes within pit boundaries.

Key Words: Open pit mine, Production planning, Heading direction, Nested pit, Profitability

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ebru KARAKURT, e.karakurt@hotmail.com.tr

1. GİRİŞ

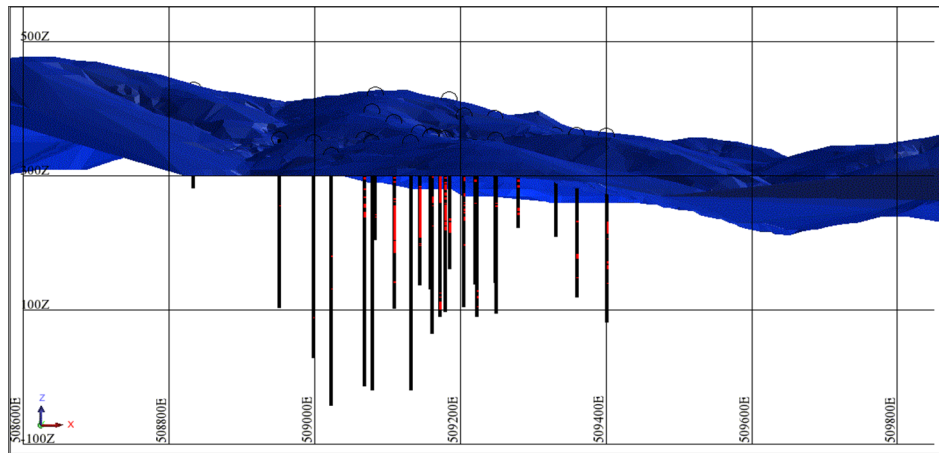
Üretim planlamasında temel amaç rezervin maksimum kâr ile elde edilmesini sağlamaktır. Maksimum kârın belirlenmesinde ise nihai açık ocak sınırı ve üretim sıralaması olmak üzere iki temel etken bulunmaktadır [2]. Whittle [3] bu etkenleri belirlemedeki zorluğu “Maksimum ocak değerini veren nihai sınırlar, blokların ekonomik değerleri bilinmeden bulunamaz. Blok ekonomik değerleri ise blok kazı sırasına karar verilmeden bilinemez. Blok kazı sırası ise ocak nihai sınırları belirlenmeden bulunamaz [3].” sözü ile net bir şekilde ifade etmektedir [4]. Bir diğer yandan aynı nihai ocak sınırları içerisinde, uygulanması mümkün olan birçok farklı üretim sıralaması yapmak mümkündür [5]. Planlamanın önemi de tam olarak bu noktada ortaya çıkmaktadır. Dağdelen ve Johnson [6]’da üretim planlamasında en büyük problemin maksimum net bugünkü değeri sağlayacak olan kazı sıralamasının bulunması olduğunu ifade etmektedir [6]. Bu karmaşık problemin çözümü için Dinamik Programlama [7-9], Parametreleştirme [10], Kümeleme [11], Genetik Algoritma gibi pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin birbirine göre üstün ve eksik yanlarını ortaya koyan çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Yöntemlerin dezavantajlı yanları ve özellikle de sonuca ulaşma süresinin önemi planlamanın gelişime açık bir çalışma alanı olduğunu da ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada Lerchs Grossman Algoritması kullanılarak Parametreleştirme Yöntemiyle gelir faktörüne bağlı iç içe ocaklar serisi (nested pits, pit sheells) oluşturulmuştur. Ürün fiyatı değiştirilip maliyetleri sabit tutularak ocak sınırlarındaki ilerleme hareketi incelenmiştir. Ocak nihai sınırına ulaşılan kadar ürün fiyatı yükseldikçe üretime değer bloklar ocak sınırının değişmesine neden olmaktadır. Bu değişim miktarı sabit tutularak sabit bir üretim kapasitesinde üretim dönemlerinin sonunda oluşacak ocak sınırları belirlenebilmektedir.

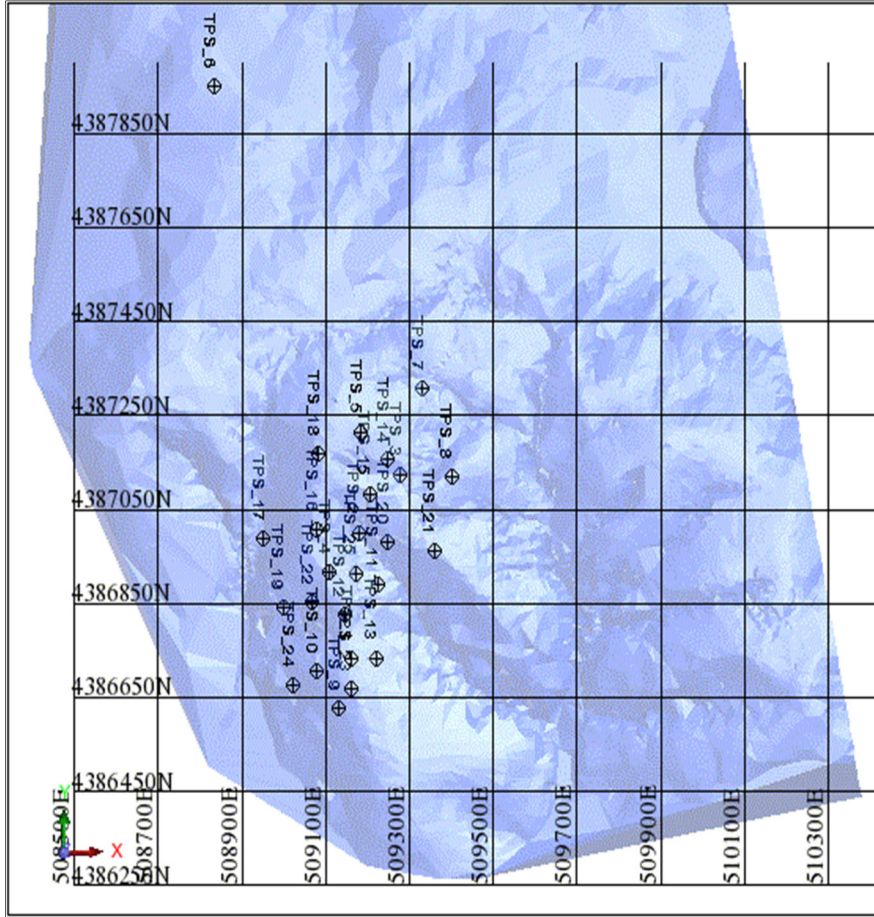
2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma sahasında, jeolojik ve jeokimyasal çalışmalar sonucunda belirlenmiş, KD-GB uzanımlı, yaklaşık 800 m uzunluğunda, yer yer 150 m genişliğinde, Cu cevherli-breşik bir zon bulunmaktadır. Cevherleşme zonlanması belirlenirken değerlendirmeye katılacak minimum

Cu tenörü %0,3 olarak dikkate alınmıştır. Ancak %0,3 tenör değerlerinin arasında daha düşük tenörlü seviyeler de bulunmaktadır. Bu nedenle sondajlarda kesilen cevherli seviyelerden %0,3 Cu tenörü ve üzerinde olan cevherli seviyelerin arasında kalan daha düşük tenörlü seviyelerden, 10 m’ye kadar olan kalınlıklar cevhere dahil edilmiş, 10 m’den daha kalın olan seviyeler steril kabul edilmiştir [12]. Şekil 1 ve Şekil 2’de yapılan sondajlara ait üst ve yan görünüm verilmektedir.



Şekil 1. Sondaj lokasyon haritası yan görünüm



Şekil 2. Sondaj lokasyon haritası üst görünüm



Şekil 3. Sondajlara göre Cu % dağılımı histogramı

Çalışma alanında yapılan 25 adet sondajdan 6607 veritabanı dosyaları oluşturulmuştur. Bu verilerin bakır % içerikleri %0 ile %17,8506 arasında değişmektedir. Veri açıklığı %17,8506, ortalama

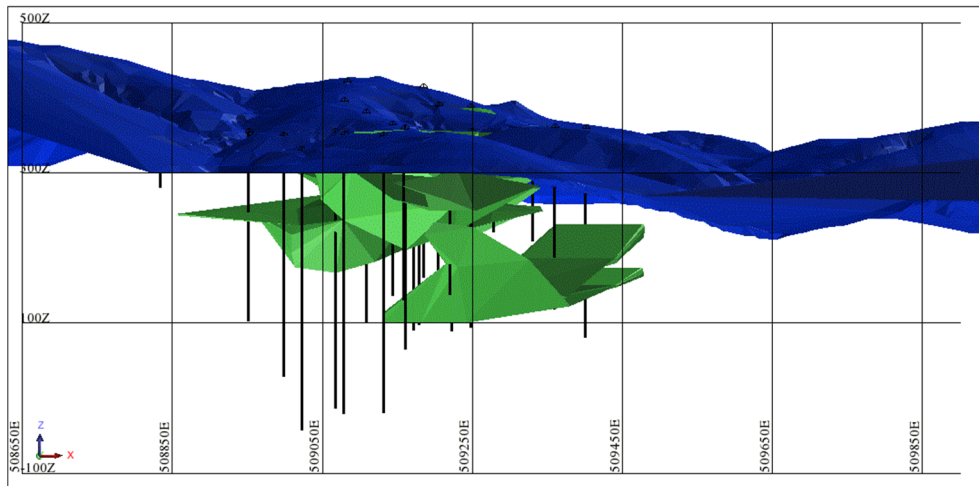
bakır içeriği %0,163192'dir. Standart sapma 0,50, varyans 0,25'tir (Çizelge 1). Sondaj verilerine göre bakır % dağılımına ait histogram Şekil 3'te verilmektedir.

Çizelge 1. Sondajlara göre bakır % dağılımı

Örnek Sayısı	6607
En Küçük Değer	0,000000
En Büyük Değer	17,850600
Ortalama	0,163192
Ortanca	0,033400
Varyans	0,253123
Standart Sapma	0,503114
Değişim Katsayısı	3,082956
Çarpıklık	11,534776
Basıklık	274,037438
%10,0	0,008700
%20,0	0,013400
%30,0	0,019100
%40,0	0,025300
%50,0 (Ortanca)	0,033400
%60,0	0,045300
%70,0	0,071100
%80,0	0,139550
%90,0	0,344700
%95,0	0,720501
%97,5	1,333500

2. METOD

İşletmede yapılan 25 adet sondaja ait bilgiler yardımıyla veri tabanı dosyaları oluşturulmuştur. Sondajlardaki cevherli zonlar kesitler alınarak birleştirilmiş ve kesitler arası DTM modülü ile doldurularak cevherin katı modeli elde edilmiştir (Şekil 4).

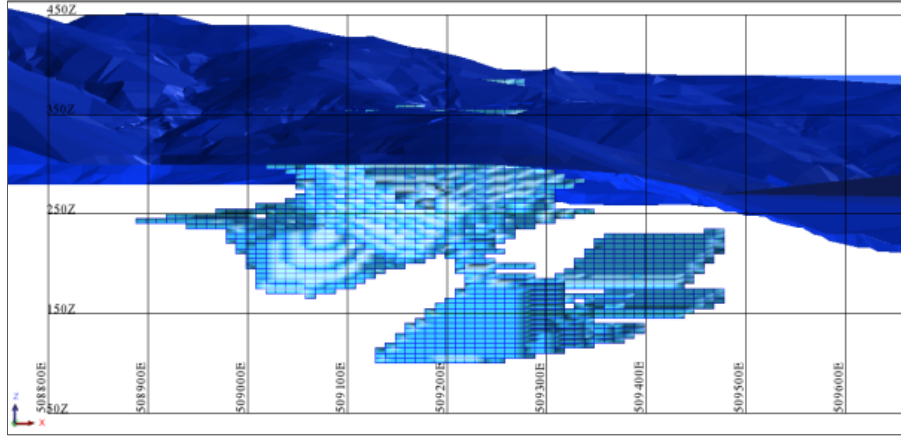


Şekil 4. Cevher katı modeli

Sondaj verileri 1 m aralıklarla kompozit edilerek ağırlıklandırılmıştır. Maden yatağı blok model modülü yardımıyla 10 m x 10 m x 5 m boyutlu bloklara ayrılmıştır. Oluşturulan blok modele ait görünüm Şekil 5'te verilmiştir.

Oluşturulan bloklara maden yatağını temsil edecek bakır tenör değerlerinin atanması işlemi için jeostatistik yöntem kullanılmıştır. Jeostatistik yöntemde gözlemlerin yapıldığı noktaların konumları ve gözlemler arası korelasyon dikkate alınarak yansız ve minimum varyanslı kestirimler yapılabilmektedir [13].

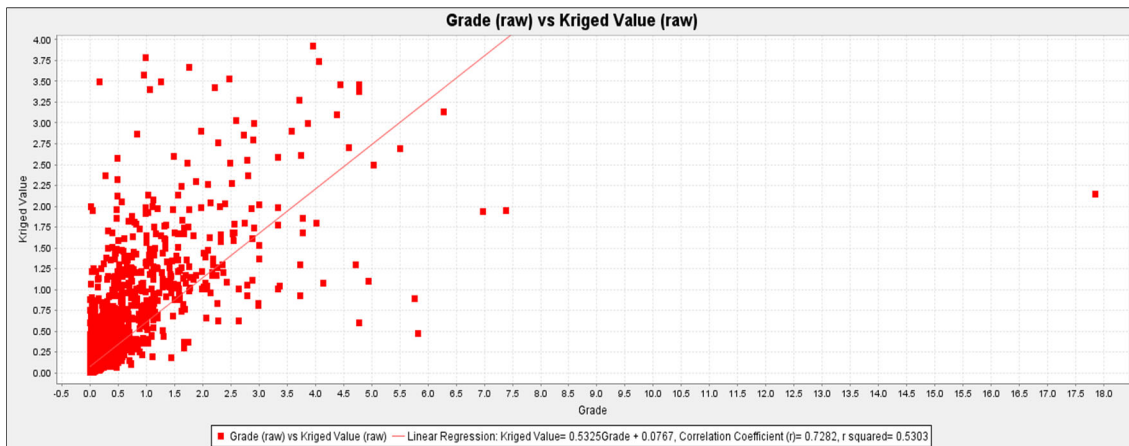
Jeostatistikte bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ortaya konur. Belirlenen teorik variogram ve parametrelerin geçerliliğinin test edilmesi için Kriging ile çapraz doğrulamaya tabi tutulur. Kriging hem ölçülen değerlerden ve değerlerin konumsal ilişkilerinden enterpolasyon yapma hem de varyansı aracılığı ile kestirim hatasının büyüklüğünü değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Çalışmada küresel (spherical) variogram modeli ile değişkenlerin ve ortalamasının sabit olduğu varsayımına dayanan ordinary kriging yöntemi kullanılmıştır. Nugget değeri 0,4426776, sill değeri 0,8150455 ve range değeri 95,294 olarak elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Cevher blok modeli



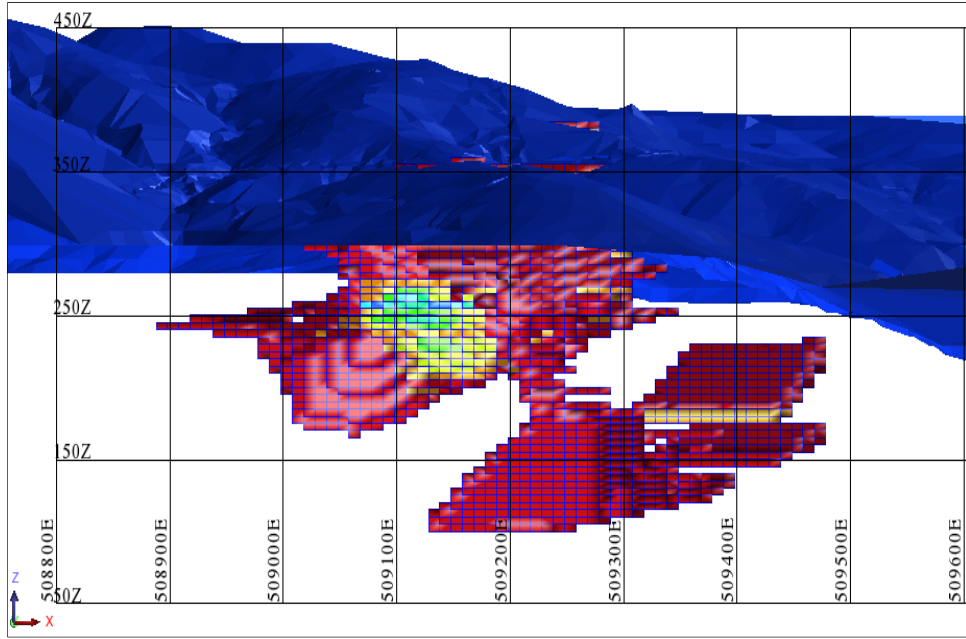
Şekil 6. Cu tenör variogramı ve parametreleri



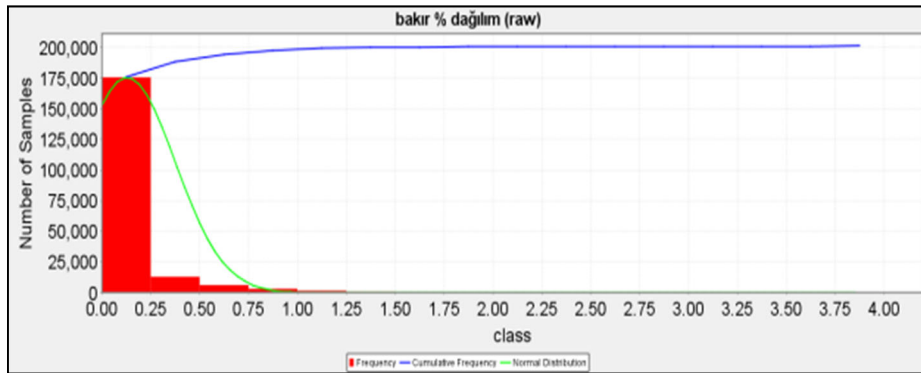
Şekil 7. Cu tenörü için belirlenen teorik variogram ve parametreleri için çapraz doğrulama sonucu

Çapraz doğrulamada gerçek değeri bilinen bir veri gerçek değeri bilinmiyormuş gibi, bilinen diğer veriler aracılığıyla noktasal kriging kestirim tekniği ile tahmin edilir. Bu işlem sonucunda elde edilen korelasyon katsayısının 1'e yakınlığı tahminlerdeki doğruluğu göstermektedir.

Şekil 7'de bakır tenörü için yapılan çapraz doğrulama sonucunda korelasyon katsayısının (r) 0,7282 olarak elde edildiği görülmektedir. Bu aşamanın ardından jeostatistik yöntem ile elde edilen nugget, sill ve range değerleri kullanılarak bloklara bakır tenör değerleri atanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. %Cu tenörüne göre renklendirilmiş blok model



Şekil 9. Blok modele göre bakır % dağılım histogramı

Sondajlara ait verilerden elde edilen bakır dağılımı verileri Çizelge 1'de yer almaktadır. Değer atama işleminden sonra blok modelden elde edilen bakır % dağılımı ise Çizelge 2'de verilmiştir. Blok modelden elde edilen 200.970 veri içerisinde en

yüksek bakır içeriği %3,854289, ortalama bakır içeriği %0,129685'tir. Standart sapma 0,246747, varyans 0,060884 olarak hesaplanmıştır. Blok modele göre bakır % dağılımını gösteren histogram Şekil 9'da verilmektedir.

Çizelge 2. Blok modele göre bakır % dağılımı

Örnek Sayısı	200970
En Küçük Değer	0,000000
En Büyük Değer	3,854289
Ortalama	0,129685
Ortanca	0,046243
Varyans	0,060884
Standart Sapma	0,246747
Değişim Katsayısı	1,902656
Çarpıklık	4,697161
Basıklık	34,306946
% 10,0	0,006981
% 20,0	0,019306
% 30,0	0,027098
% 40,0	0,035912
% 50,0 (Ortanca)	0,046243
% 60,0	0,062919
% 70,0	0,094279
% 80,0	0,152637
% 90,0	0,315415
% 95,0	0,587552
% 97,5	0,845205

3. AÇIK OCAK ÜRETİM PLANININ BELİRLENMESİ

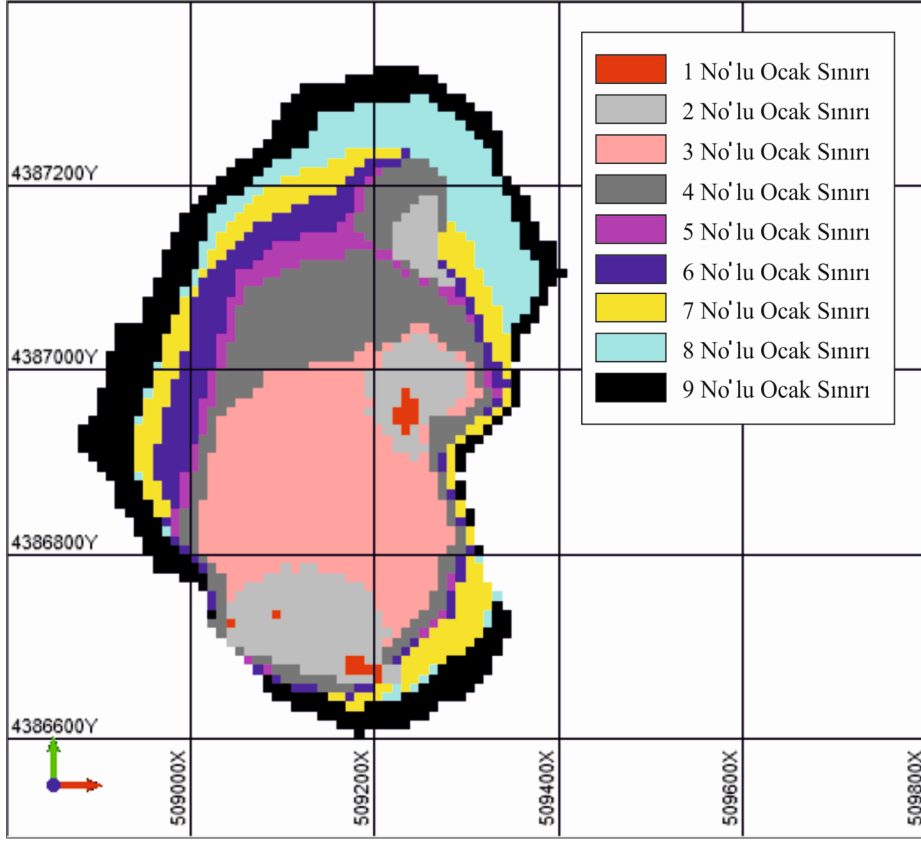
Çalışma alanında 17.359.902 tonluk bakır rezervi bulunmaktadır (cevher birim hacim ağırlığı 2,5 ton/m³ kabul edilmiştir). Jeolojik yapı dikkate alınarak gerçekleştirilen cevher katı modeli içerisinde oluşturulan blok modelden elde edilen bu rezervin %Cu ortalaması %0,1290 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Üretim planının belirlenebilmesi için oluşturulan iç içe ocaklar

kavramına göre cevherin ton başına fiyatına farklı değerler verilerek elde edilen nihai açık ocak sınırları, işletmenin yıllık ilerleme yönünü de belirleyecektir. Bu örnek çalışmada kazı maliyeti cevher için 10,0 TL/ton, dekapaj için 8,0 TL/m³ olarak öngörülmüştür. Kabarma faktörü 1,35, kazı verimi %95, şev açısı 45°, satış maliyeti 6,0 TL/ton, proses maliyeti 3,2 TL/ton, rehabilitasyon maliyeti 2,0 TL/ton olarak kabul edilmiştir. Kabul edilen bu değerlere göre, üretime başlanabilmesi için bakır fiyatının en az 1.000 TL/ton olması gerekmektedir. Rezervin tamamının kazanılabilmesi için ise bakır fiyatının 26.338 TL/ton'a ulaşması gerekmektedir. Farklı bakır fiyatlarına karşılık nihai açık ocak sınırlarında meydana gelen değişimler hem Çizelge 3'te, hem de Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmektedir. Bu şekillere göre, ocak ilerleme yönü güneyden başlayıp kuzeye doğru olacak ve bu yönde ocak derinliği de artacaktır. Ocak sınırı batıya doğru genişledikçe ocak derinliği de artış gösterecektir.

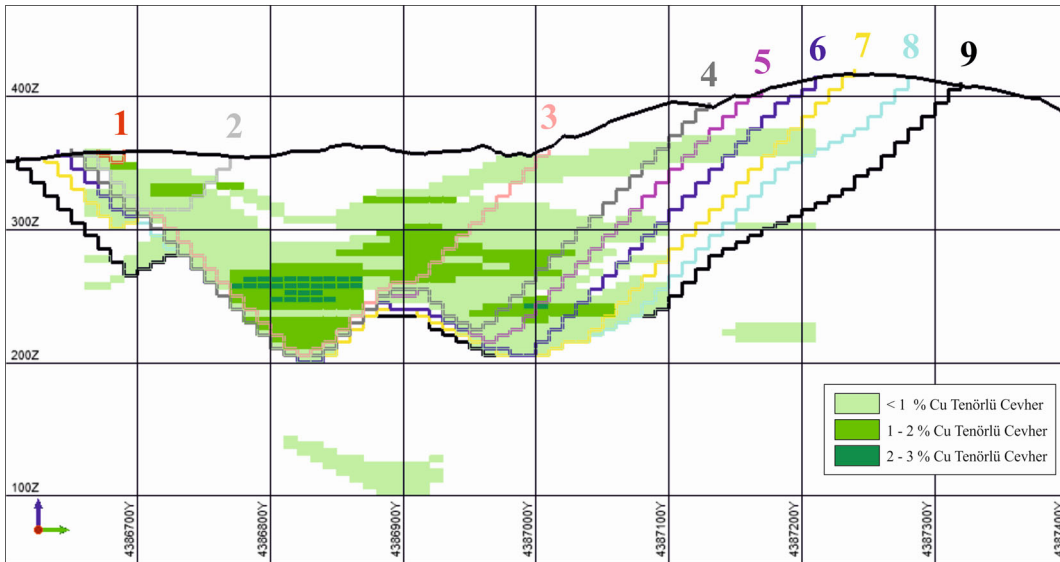
Farklı ton başına cevher fiyatları ile iç içe ocaklar oluşturularak yapılacak dekapaj ve cevher kazı miktarları belirlenmiştir (Çizelge 3). Sahada üretim yapılabilmesi için Bakır fiyatının en az 1.000 TL/ton olması gerekmektedir. Bakır birim fiyatları tarafımızca arttırıldıkça kazı miktarı artmakta ve ortalama tenör düşmektedir. Bakır fiyatının 26.338 TL'ye ulaşması durumunda 17.359.902 tonluk bakır rezervinin tamamının kazanılması mümkün olacaktır. Farklı cevher fiyatları için optimum açık ocak sınırı belirlenmesi aşamasında, Lerchs-Grossman tarafından geliştirilmiş algoritma kullanılmıştır [14].

Çizelge 3. Cevher fiyatına bağlı olarak üretim parametrelerinde meydana gelen değişimler

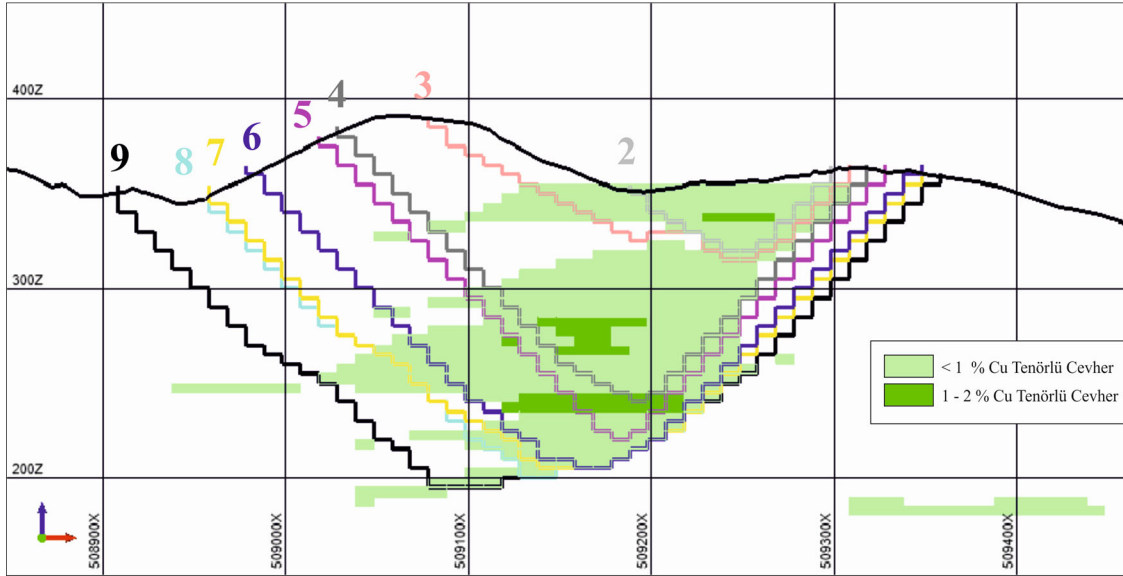
No	Cevher Satış Fiyatı (TL/ton)	Cevher Miktarı (ton)	Dekapaj Miktarı (m ³)	Örtü-Kazı Oranı (m ³ /ton)	Elde Edilecek Kar (TL)	Ocak ort. Tenörü (%)
1	1.000	22.470	1.213	0,05	12.181	0,65
2	1.690	827.837	204.965	0,25	2.833.873	0,29
3	1.700	3.897.061	2.662.140	0,68	1.227.488	0,29
4	3.000	7.976.453	4.005.654	0,50	63.967.066	0,14
5	3.300	9.010.203	4.619.678	0,51	82.084.173	0,12
6	4.000	11.593.953	6.291.839	0,54	131.049.857	0,09
7	6.000	14.378.652	7.836.535	0,55	289.693.709	0,05
8	7.000	15.573.652	10.038.659	0,64	374.824.764	0,03
9	26.338	17.359.902	14.058.774	0,81	2.147.474.792	0,02



Şekil 10. Oluşan ocakların üstten görünümü



Şekil 11. Oluşan ocak sınırlarının kuzey-güney yönlü kesit görünüm



Şekil 12. Oluşan ocak sınırlarının doğu-batı yönlü kesit görünümü

Çizelge 3’de görüldüğü üzere, farklı cevher fiyatları için oluşturulan iç içe ocakların sınır tenör ve örtü-kazı oranları verilmektedir. Her bir ocak arasındaki değerler incelenerek, cevher hazırlama tesisine homojen cevher verilmesi ile ilgili değerlendirmeler gerçekleştirilmelidir. Ayrıca çizelgedeki örtü kazı oranları değerleri kullanılarak, makine ekipman parkının yıllık örtü kazı oranını karşılayabilecek yeterliliği araştırılmalıdır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, herhangi bir açık ocak tasarımı için planlama aşamasında gerçekleştirilecek tüm aşamalar bir örnek vasıtası ile verilmiş, sondaj verilerinin değerlendirilmesinden, açık ocak üretim planlamasına kadar tüm aşamalar gösterilmiştir. En yüksek net karı verecek açık ocak nihai sınırının belirlenmesi oldukça karmaşık bir işlemdir. Değişken fiyatlar ve paranın bugünkü değeri göz önüne alındığında, en son nihai üretim sınırını bugünkü üretim maliyetleri ve cevher satış fiyatları ile belirlemek doğru olmayacaktır. Doğru olmayan nihai sınır içerisinde yıllık üretim planı yapmakta doğru olmayacaktır. Açık ocak sınırı belirlenirken, pozitif kar yapabilecek en düşük cevher satış fiyatı ile bir ilk ocak oluşturulmaktadır. Bu durumdaki cevher fiyatı piyasadaki geçerli cevher fiyatından

çok düşük olabilir. Amaç, çok düşük fiyatlarda dahi kar elde edilebilecek ilk açık ocak sınırını belirlemektir. Böyle bir durumda paranın bugünkü değeri ile indirgeme uygulamanın bir önemi kalmayacaktır. İlk pozitif karlı ocağın daha karlı bir açık ocak olmayacağı için, cevher fiyatı artırılarak oluşturulan iç içe açık ocaklar, bir sonraki aşamada hangi yöne kazı gerçekleştirileceği ile ilgili planlamacıya önemli fikir verecektir.

Bu çalışmada cevher fiyatları 1.000 TL/ton’dan 26.338 TL/ton’a farklı aralıklarda değiştirilerek iç içe açık ocaklar elde edilmiştir. Farklı açık ocak şekilleri, farklı kazı ve cevher hazırlama maliyeti değerleri ile optimum nihai sınır belirleme algoritması çalıştırılarak açık ocak ilerleme yönleri simüle edilebilir. Özellikle, ocak ilerlemeleri esnasında kullanılan iç içe ocakların cevher ve örtü miktarları, örtü kazı oranları ve cevher tenörleri, ekonomik değerlendirmeye birlikte ele alınmalıdır.

4. KAYNAKLAR

1. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, <https://www.tmmob.org.tr>, 15.06.2010 (Erişim tarihi 14.06.2019).
2. Demirbugan, A., 2015. Maden Projelerinin Değerlendirilmesinde Optimum Üretim

- Miktarlarının Belirlenmesi. Afyonkarahisar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 129-146.
3. Whittle, J., 1989. The Facts and Fallacies of Open Pit Optimization. Victoria: Whittle Programming Pty.
 4. Özkan, M., 2015. Açık İşletmelerde Optimum Üretim Planlamasında Yeni Bir Yöntem Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
 5. Onur, A. H., 1992. Optimal Open Pit Design and Planning, Doktora Tezi, University of Leeds, England.
 6. Dağdelen, K., Johnson, T. B., 1986. Optimum Open Pit Mine Production Scheduling by Lagrangian Parameterization. 19th APCOM Symposium of the Society of Mining Engineers, 127-142.
 7. Roman, R. J., 1974. The Role of Time Value of Money in Determining an Open Pit Mining Sequence and Pit Limits. Proceeding of 12th APCOM Symposium, Colorado School of Mines, Golden Co.: 72-85.
 8. Dowd, P., Onur, A., 1992. Optimising Open Pit Design and Sequencing. Proc. 23rd International APCOM Symposium, 411-422.
 9. Erarslan, K., Çelebi, N., 2001. A Simulative Model For Optimum Open Pit Design. Cim Bulletin, 59-68.
 10. Matheron, G., 1975. Le Paramétrage des Contours Optimaux. Technique Notes (401), 19-54.
 11. Ramazan, S., Dağdelen, K., Johnson, T., 2005. Fundamental Tree Algorithm in Optimising Production Scheduling for Open Pit Mine Design. Mining Technology, 45-54.
 12. Avşar, M. K., 2006. Tepeoba (Havran-Balıkesir) Cu-Mo-Au Sahasının Maden Jeolojisi Raporu. Balıkesir: MTA.
 13. Yaprak, S., Arslan, E., 2008. Kriging Yönteminin Geoit Yüzeyi Modellemesinde Kullanılabilirlik Araştırması. İTÜ Dergisi Seri D: Mühendislik, 51-62.
 14. Lerchs, H., Grossman, I. F., 1965. Optimum Design of Open-Pit Mines. CIM Bulletin, 47-54.

Effects of Feature Extraction Techniques on Classification of Turkish Texts

Özge AKDOĞAN¹, Selma Ayşe ÖZEL^{*2}

¹Gaziantep University, Nizip Vocational School, Gaziantep

²Çukurova University, Faculty of Engineering, Computer Engineering Department, Adana

Geliş tarihi: 27.05.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Abstract

Feature extraction is the most important preprocessing step of text classification task. Effects of preprocessing techniques on text mining for English have been extensively studied. However, studies for Turkish are limited and generally belong to a specific problem domain. In this study, we investigate the effects of feature extraction techniques on four different Turkish text classification problems including news classification, spam e-mail detection, sentiment analysis, and author detection to show the differences and similarities among the problems. We also propose a new feature selection method to reduce feature space. The experimental analysis has showed that, stopword removal improves classification performance. However, stemming does not make any positive effect on classification accuracy. The most successful term weighting methods are *tf* and *tf*idf*. The proposed feature selection method improves classification performance and has higher accuracy than the well-known methods.

Keywords: Text classification, Preprocessing methods, Feature extraction, Turkish texts

Nitelik Çıkarımı Yöntemlerinin Türkçe Metinlerin Sınıflandırılmasına Etkisi

Öz

Nitelik çıkarımı metin sınıflamanın en önemli önışleme adıdır. Önışleme tekniklerinin İngilizce metin sınıflandırma üzerindeki etkisi çok çalışılmış bir konu olmasına rağmen, Türkçe için bu konuda yapılmış çalışmalar oldukça sınırlı ve belirli bir problem alanına bağlıdır. Bu çalışmada nitelik çıkarımının haber sınıflama, spam e-posta tespiti, duygu analizi ve yazar tanımayı içeren dört farklı Türkçe metin sınıflandırma problemi üzerindeki etkisi araştırılmış ve problemler arasındaki benzerlik ve farklılıklar gözlenmiştir. Ayrıca yeni bir nitelik seçimi yöntemi önerilmiştir. Deneysel analizler sonucunda durak kelimelerin çıkarılmasının sınıflandırma performansını artırdığı görülmüştür. Ancak kelime köklerinin alınmasının sınıflandırma doğruluğu üzerinde olumlu bir etkisi gözlenmemiştir. En başarılı terim ağırlıklandırma yöntemlerinin *tf* ve *tf*idf* olduğu görülmüştür. Önerilen nitelik seçimi yöntemi sınıflandırma performansını iyileştirmiş ve sıklıkla kullanılan yöntemlerden daha yüksek doğruluk değerine sahip olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Metin sınıflandırma, Önışleme yöntemleri, Nitelik çıkarımı, Türkçe metinler

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Selma Ayşe ÖZEL, saozel@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

The development of Information Technology has resulted in the rapid growth of e-mail usage, forming blogs, content sharing in social media, e-commerce activities on the internet, that cause to increase in the dimensions of the online data. As it is impossible to process large data manually, automatic techniques to gather and analyze this data have been necessary over time. Extracting information from these large-scale data by using some machine learning techniques is called as data mining. Data mining is described as “analysis of large observational datasets to summarize data those are understandable and useful to users with new methods and to find unexpected relationships between them” [1]. With the widespread use of the Internet, web, and mobile devices; the unstructured and unprocessed text data flow in different file formats like pdf, txt, doc, html etc. from different sources have accelerated therefore it has been difficult to control these data.

The increasing number of documents on the web revealed the need to classify documents into pre-determined classes and this task is known as a problem in text mining. Text mining is an active research area in data mining field such that, in text mining, pattern is mined from natural language texts rather than proper databases as in data mining [2]. Text classification, which is a sub-problem of text mining, uses attributes extracted from a document and takes a list of predefined categories; then determines the category of the document by using statistical and/or machine learning methods. To apply data mining techniques to text data, the unstructured text documents must be preprocessed at first. Therefore, data preprocessing is the first step for classification algorithms.

There are several preprocessing steps to be applied for text documents such as stemming, stopwords removal, term extraction, term weighting, and feature selection. Stemming is one of the commonly used preprocessing methods in the document classification. Stemming provides us to find the root form of any given term therefore to reduce the feature space. The words which are used in the language often and can be found in

almost every text document are called as “stopwords”. The stopword removal is another operation that is applied in the pre-processing phase of text mining to reduce feature space and noise.

A computer cannot understand or interpret the words used in the document. The words in the text are transformed into a form that the computer can understand, and term weighting methods are used to accomplish this. In term weighting, a term in the document is assigned a numerical weight, and by using the weights of all terms in the document, a numerical vector for the document is formed.

Feature selection is another important preprocessing step that is applied to make text classification. There are some algorithms to do feature selection on text mining. Main purpose of feature selection is to remove terms which are useless for classification to obtain more successful results. Also, removing irrelevant and useless features decreases the size of datasets and reduces time required to make classification.

In this study, our aim is to investigate the effects of the above mentioned preprocessing methods that are used to extract and form features for text classification on four different Turkish text document classification problems including news classification, spam e-mail detection, sentiment analysis, and author identification so that whether different problem domains require different preprocessing steps or not. Previous studies have compared the effects of these methods only on one problem domain, or only a few preprocessing methods have been analyzed. Therefore, we try to determine the best preprocessing steps are to be done for each text mining problem separately and show if there exists a similarity or difference among the domains. In this study we investigate the effects of using three different stemmers that are Zemberek, Affix Stripping, and Fixed Prefix stemming as well as not applying stemming, and try to determine the best stemming method in general; using stopword removal or not; comparing five different term weighting methods that are tf , tp , $normtf$, $logtf$, and $tf*idf$, and try to determine the best weighting method for Turkish

texts; and applying feature selection. Additionally, we propose a new feature selector, and compare its performance with the well-known methods that are information gain and chi-square.

The rest of the paper is organized as follows: in the next section related work for Turkish text classification is summarized. The third section includes the datasets used and the methods applied in this paper. The fourth section presents the experimental results and discussions, and finally the last section concludes our study.

2. RELATED WORKS

In this section, we summarize the Turkish text classification studies which investigate the effects of preprocessing methods on different text classification domains.

One of the earliest studies on Turkish text mining is [3] which investigates the effects of using n-grams for classifying Turkish texts. In [3], three different classification problems that are classification of author, type of the text, and gender of the author are studied on the dataset that is collected from Turkish newspapers. For each classification problem, 2 different n-gram models are used namely; bi-gram and tri-gram. When comparing the results, feature selection increases the classification success of the three classification problems. While the bi-gram is the best model for the author, the two n-gram models for types and gender give the same classification results. Naïve Bayes (NB) is the best classifier for the author, the best classifier is Support Vector Machines (SVM) for types and gender [3].

Yıldız et al. [4] proposed a new feature vector computation method in which the class weights are used instead of the weight of the words in the texts, and the sum of these class weights is normalized. The dataset used in this study is collected from daily newspapers and has classes as economy, magazines, health, politics, and sports. Zemberek is used for finding roots. It is observed that the highest accuracy is observed by using the NB classifier.

Çataltepe et al. [5] have analyzed the performance of classifiers when only the consonants in the word stems, and the longest or shortest roots found by a stemmer are used. Two datasets namely, Milliyet and Vikipedi having 5 different categories are used for experimentation. Stopwords are removed from documents. Zemberek is applied for stemming. It is found that when a large number of documents needs to be classified in a short time, only the consonants are taken from the words to form features.

Güran et al. [6] have analyzed the effects of using n-grams on Turkish text classification. The collected news dataset has 6 categories namely; auto, politics, medicine, magazine, economics, and sport. Each document is represented by using unigram words, bigrams words, and trigrams words separated with a pipe. $tf*idf$ weighting, and PC-KIMMO stemmer are applied. According to the experimental results, the most successful feature extraction method for all classifiers is the unigram words.

Torunoğlu et al. [7] analyzed the effect of preprocessing methods on classification of Turkish news texts. Two term weighting methods that are binary weighting (tp) and term frequency (tf) weighting are used. For the classification, NB, Naïve Bayes Multinomial (NBM), SVM, and K-Nearest Neighbor (KNN) methods are applied. Zemberek and Fixed Prefix 3, 5, 7 stemming algorithms are used in the experiments. Stopword filtering is also applied. They have observed that Zemberek is the best stemmer for SVM algorithm. NBM classifier has better performance with stopword removal and fixed prefix 5 stemmer.

Uysal and Günel [8] have studied the influence of the preprocessing tasks on text classification for two different domains and languages that are Turkish and English. They have used four preprocessing methods namely; tokenization, stopword removal, lowercase conversion, and stemming. Zemberek and Fixed Prefix stemming algorithms are used for Turkish, and Porter's stemming algorithm is applied for English. Two different text classification domains that are spam e-mail detection, and news classification in two

different languages namely Turkish and English are studied. For feature selection chi-square (CHI2) method is used. To classify datasets, SVM classifier is applied and Micro-F1 score is computed. Thorough experimental analysis elucidated that significant improvement may be ensured through appropriate combinations of preprocessing tasks on the basis of domain and language while the accuracy may also be reduced by inappropriate combinations. Certain preprocessing steps such as feature extraction and selection in text classification are as significant as the classification step. Despite specific preprocessing tasks employed to ensure an improvement in the classification success with regards to accuracy and dimension reduction irrespective of domain and language, we can talk about no distinctive combination of preprocessing tasks that generate effective classification results for every domain and language examined.

A comprehensive research about text classification is made by Amasyalı et al. [9] who have used tf, tf*idf, binary, log, normalize1 and normalize2 term weighting methods for six different datasets for emotion classification, sentiment analysis, author identification from articles, gender identification, news classification, and author identification from poems. 14 different text representation methods that are formed by using different term weighting methods, word stems, word types, n-grams, functional words, suffixes, concept generalizations, punctuation marks, word counts, sentence counts, inverted sentence counts, letter counts, affix counts, average number of words and letters in sentences, affix counts in words etc. are compared. Zemberek is used to find the roots of the words. According to the experimental results, n-grams based text representation is more successful than other methods. N-gram with binary, log, and normalize1 feature weighting gives better results than other methods.

Açıkalin and Beyazıt [10] have conducted a study to investigate the importance of preprocessing in the classification of Turkish texts. They have used paper abstracts in journals and conferences as a dataset. Latent Dirichlet Allocation is applied to do text preprocessing. Zemberek and fixed prefix with

length 5 is used as the stemming methods. Naïve Bayes, Support Vector Machines, and Random Forest are applied as classifiers. As a result, they observed that classifier performance increases with both stemming methods.

Another study on term weighting and feature extraction for emotion analysis has been conducted by Parlar and Özel [11]. A new feature selector is proposed and tp, tf, tf*idf term weighting methods are applied. Naïve Bayes Multinomial is used as classifier. As a result of the experiments, they observed that the tp and tf term weighting methods are more successful than the tf*idf. When the feature selection methods are applied, the classification accuracy for tf*idf increases significantly.

When we compare the previous studies with our study, the most important difference is that we compare effects of preprocessing methods on four different text classification problem domains; however the previous studies make this comparison only for one problem domain, or compare only a few methods on small number of different problem domains. Several stemmers that are Zemberek, Fixed Prefix, Affix Stripping, PC-KIMMO, Findstem, A-F, and L-F algorithms have been used in the previous studies. However, majority of the researchers usually preferred Zemberek and Fixed Prefix in the previous studies. In our study, we use Zemberek, Affix Stripping and Fixed Prefix 3, 5, 7 for stemming, and try to compare their performances on four different text classification problems.

As stopwords are often repeated frequently in text, they do not affect classification accuracy and for this reason stopwords are removed from the text in most of the previous studies. In this study, we also show the effect of removing stopwords or not for text classification for different problem domains. In majority of the previous studies, tf and tf*idf methods have been used as term weighting; and only in a few study logtf, normalize1, normalize2 and tp weighting have been used together and compared. In this study, we also use tf, tp, logtf, normtf and tf*idf methods and compare them for different text classification problems.

In the previous studies, NB, NBM, SVM, C4.5, KNN, and Random Forest have been used as classifiers. In this study, we use NBM as the classifier because it is one of the most successful classifiers for text classification problems in the literature. As our aim is only to make comparison of preprocessing methods, we think that using one successful classifier is enough.

We also propose a simple feature selection method which is based on standard deviation of frequencies of features. According to the literature, the researchers often use information gain, and chi square measures for feature selection. Therefore in this study, we compare our proposed method with information gain and chi square to show the effect of feature selection on different text classification problems.

In this study, we try to determine the best preprocessing methods for four different text classification tasks and investigate the answer of the research question “should we apply the same preprocessing methods for all text classification tasks? or should we use problem specific preprocessing methods?”.

3. MATERIAL AND METHOD

3.1. Material

The datasets used in this study consist of 1150 News, 3000 Tweets, Turkish Email, and 25 Authors which have different lengths and characteristics, belonging to the four different text classification problems. 1150 News dataset [12] contains 1150 newspaper articles written in Turkish from 5 different classes namely; economy, magazine, health, politics and sport. 3000 Tweets dataset [13] is used for sentiment analysis, and it contains 3 classes such that positive class has 756 documents, negative class has 1287 documents, and neutral class has 957 documents. In Turkish Email dataset [14] there are 2 different classes which are called as normal e-mail, and spam e-mail. Each class has 400 documents in it. 25 Authors dataset is formed from the 2500 columnist dataset [15] which consists of 50 classes and 50

documents for each class totally have 2500 documents. The dataset contains articles of various columnists. In this study, we have chosen 25 classes from 2500 columnist dataset randomly. Detailed information about the datasets used in this study are presented in Table 1 where number of words shows the total number of words in the datasets, and number of features gives the number of unique words extracted from the datasets.

Table 1. Properties of the datasets

Dataset	# of classes	# of instances	# of words	# of features
1150 News	5	1,150	187,638	44,983
3000 Tweet	3	3,000	33,624	10,780
Turkish Email	2	800	180,793	46,279
25 Author	25	1,250	486,360	94,370

3.2. Methods

In the below subsections we summarize the methods used for preprocessing that includes stemming algorithms, term weighting methods, and feature selection methods.

3.2.1. Stemming Algorithms

In text mining and information retrieval, the process of finding root of a word is named as “stemming”. There are lots of stemming algorithms each of which is designed for different languages. Stemming algorithm is language dependent because it must use appropriate language rules to find roots of terms. In this study we use Zemberek [16], Affix Striping [17], and Fixed Prefix [18] algorithms that are developed for Turkish language. Zemberek [16] is an open source platform independent NLP framework. Affix stripping [17] is a different morphological analyzer applied to Turkish. Affix stripping is proposed for doing the analysis of Turkish words without using any lexicon [17]. The fixed prefix stemming method [18] is actually a pseudo stemming technique such that it takes just the first n characters of the word as its stem. If the word has less than n characters, in that case it takes the

whole word as its stem [18]. In this study we use 3, 5, 7 characters as the lengths of the word stems.

3.2.2. Term Weighting Methods

Term weighting is an important preprocessing step in text classification, and in this step, we assign weights to terms with respect to their importance in the documents. By using term weighting methods, terms in each document are represented with numeric weight values, and then the document is converted to a numeric vector as in equation 1 to be processed by the statistical or machine learning based classification algorithms. Otherwise, classification algorithms can not process unstructured textual documents for text mining applications.

$$d_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}] \quad (1)$$

where d_i is the numeric vector representation for document i , w_{ij} is the weight of the j^{th} term for document i for $1 \leq j \leq n$, and n is the number of unique terms extracted from the whole document collection.

To apply term weighting methods, at first, all unique terms in the document collection are extracted. If we have N documents in the document collection, and we extract n unique terms from the collection, we compute a $N \times n$ document-term matrix (i.e., W), where each row represents a document, and each column represent a term in the collection as in equation 2. Any matrix entry w_{ij} is the weight of term j for document i which is computed by using the term weighting methods.

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & \dots & w_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{N1} & \dots & w_{Nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

In this study five different term weighting methods that are term frequency (tf), normalized term frequency (normtf), log normalized term frequency (logtf), term frequency * inverse document frequency (tf*idf), and term presence (tp) methods are used to compute document-term matrix and their performances are compared for the selected

problem domains. These weighting methods are summarized as follows [11,19]:

Term frequency (tf_{ij}) is the observed frequency of term j in the document i . It is calculated separately for each term in the document as in equation 3.

$$w_{ij} = tf_{ij} = \text{frequency of term } j \text{ in document } i \quad (3)$$

Normalized term frequency ($normtf_{ij}$) of term j for document i is obtained by normalizing the term frequency of the term for the document by dividing with the document length. Document length is the total number of terms that the document has, and the normalized term frequency is computed as in equation 4.

$$w_{ij} = normtf_{ij} = \frac{tf_{ij}}{\sum_j tf_{ij}} \quad (4)$$

Log normalized term frequency ($Logtf_{ij}$) is obtained by taking the logarithm of the term frequency in base 10 as in equation 5.

$$w_{ij} = Logtf_{ij} = \log(tf_{ij}) \quad (5)$$

Term presence (tp_{ij}) is the binary weighting method in which if the term frequency for term j is greater than zero for document i , it is equal to 1, otherwise it is equal to 0 (see equation 6).

$$w_{ij} = tp_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{if } tf_{ij} = 0 \\ 1, & \text{if } tf_{ij} > 0 \end{cases} \quad (6)$$

Term frequency and inverse document frequency ($tf_{ij} * idf_j$) is one of the most popular weighting methods, and it is calculated by multiplying the term frequency of term j in document i with the inverse document frequency of the term. In general, we assume that a term is important for a document if it frequently occurs in that document. Therefore, tf shows the importance of the term for the document. On the other hand, idf of a term is computed by considering the whole document collection as given in equation 7, and it emphasizes the specificity of the term, meaning that if a term occurs only in a few documents in the collection it is an important term. Inversely, if

a term occurs in all documents, it is highly probable that it is a stopword, and this word has idf value which is equal to 0.

$$idf_j = \log \frac{|D|}{df_j} \quad (7)$$

In equation 7, $|D|$ is the number of documents in the dataset, and df_j is the number of documents that contain term j . Then, $tf \cdot idf$ weight for a term j in document i is computed as in equation 8. In this method, we use raw term frequency values of terms in the documents as tf value.

$$w_{ij} = tf_{ij} \times idf_j \quad (8)$$

3.2.3. Feature Selection Methods

There are various algorithms to do feature selection on text mining. Purpose of feature selection is to remove useless terms for classification, therefore to increase accuracy. On the other hands, by removing irrelevant and useless features we decrease the size of datasets and also improve runtime performance of classifiers. In this study we propose a new feature selection method that is based on standard deviation of term frequencies, we also compare its performance with the well-known feature selection methods [19] that are information gain and chi square.

Proposed Feature Selection Method: Standard deviation is a frequently used method in the field of mathematics and statistics. It is used to calculate how the data are distributed according to the arithmetic mean. The standard deviation uses the mean of the distribution as a reference point and measures the distribution of the values by computing the average distances between each value and the mean of the values. It is calculated as shown in equation 9.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (9)$$

where S is the standard deviation for the variable x , \bar{x} is the mean value of the variable x , x_i is the i^{th} value of the variable x , and n is the number of instances in the dataset.

In this study, our proposed feature selection process can be summarized as follows: for each feature extracted from the dataset, total frequencies of the terms (i.e., features) for each class in the dataset are computed. If the dataset has m classes, then for each class, frequency of each term is computed separately. Therefore, m frequency values for a term j are computed, as there are m classes. Then the standard deviation of these class-based frequencies is calculated by using equation 9 for each unique term extracted from the whole dataset. After that, terms are sorted in descending order with respect to their standard deviations, and terms in the top ranked 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 15, 20 percent standard deviation or having standard deviation greater than 0 are selected; and used for the classification process.

In our proposed method we assume that, if a feature has high standard deviation with respect to class labels, it is highly probable that this feature is class-specific, therefore it should be useful for the classification process. We compare the performance of our proposed method with the well-known methods that are information gain and chi square feature selection methods that are summarized in the below subsections.

Information Gain Feature Selection Method:

Information gain (IG) is widely used to identify the distinguishing features in the data set [19]. IG takes values between 0 and 1 and; if its value is close to 1, it means the feature is significant. The entropy must be calculated before the information gain is computed. Entropy shows the uncertainty and the possibility of unexpected occurrences. Entropy of a dataset D is computed as presented in equation 10 [19].

$$\text{Entropy}(D) = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i \quad (10)$$

where p_i is the probability of any class i in the dataset, and m is the number of classes. If we assume that an attribute A of the dataset D has v distinct values $\{a_1, a_2, \dots, a_v\}$, then we can divide the tuples in D into partitions by using the values of attribute A . If A is a discrete-valued attribute, we can directly split D into v partitions or subsets,

$\{D_1, D_2, \dots, D_v\}$, where D_j contains those tuples in D in which attribute A has value a_j . Information requirement for attribute A can be computed according to equation 11.

$$\text{Info}_A(D) = \sum_{j=1}^v \frac{|D_j|}{|D|} \times \text{Info}(D_j) \quad (11)$$

where $\text{Info}(D_j)$ is the entropy of the j^{th} partition of the dataset D . Information gain of attribute A is defined as the difference between the original information requirement and the new requirement as in equation 12.

$$\text{Gain}(A) = \text{Entropy}(D) - \text{Info}_A(D) \quad (12)$$

In the IG feature selection method, information gain of all extracted attributes is computed, then the top ranked n attributes having the highest information gain, or attributes having information gain that are greater than a pre-specified threshold are selected to do classification [19].

Chi-Square Feature Selection Method: Chi-square (CHI2) statistic is used to compare results for two (or more) independent groups or categorical responses [19]. Let a discrete valued attribute A has v distinct values, namely a_1, a_2, \dots, a_v and class C has m distinct values, namely c_1, c_2, \dots, c_m . The data tuples having value a_i for attribute A , and class label c_j for all i and j values are shown as a contingency table, with the v columns and the m rows. For each and every possible (a_i, c_j) combination, we have a cell in the contingency table. The chi square statistic for this contingency table is computed as in equation 13.

$$\sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^m \frac{(o_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad (13)$$

where o_{ij} is the observed frequency of the (a_i, c_j) pair, and e_{ij} is the expected frequency of (a_i, c_j) pair, which can be computed as in equation 14.

$$e_{ij} = \frac{\text{count}(A=a_i) \times \text{count}(C=c_j)}{n} \quad (14)$$

where n is the number of data tuples in D , $\text{count}(A=a_i)$ is the number of tuples having value a_i for attribute A , and $\text{count}(C=c_j)$ is the number of tuples having value c_j for class label. The sum in equation 13 is calculated over all of the $(v \times m)$ cells.

The attributes having high chi square values are selected for classification, as the actual count of these attributes are different from the expected values [10].

4. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS

We use four different Turkish datasets to investigate the effects of preprocessing on the classification of Turkish texts. Firstly, we apply 5 different term weighting methods to the datasets to form document-term matrices. Then, stopwords are removed from documents, it is observed that there is little or no effect on classification accuracy when stopwords are removed, therefore stopwords are removed from the datasets to reduce dataset sizes for further experiments. After that Zemberek, Affix Stripping, Fixed Prefix 3, 5, 7 stemming algorithms are applied to the datasets to observe the effects of stemming and choose the best stemmer.

After the best stemmer is determined, effects of feature selection are investigated. We apply information gain, chi square, and our proposed standard deviation-based methods to all datasets. We select terms having information gain and chi square score values that are greater than zero, and we use the raw forms of the selected terms. To evaluate performance of our proposed feature selection method, we select features that have standard deviations greater than zero, and also we sort the features with respect to their standard deviations and select the top ranked 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 15, and 20 percent features to make classification. As classifier we apply Naïve Bayes Multinomial (NBM) which is used for text classification [20]. We use Perl programming

language for implementing the weighting methods and our feature selector; Preto [21] for applying stopwords removal and stemming; and Weka [22] data mining tool for NBM classifier, IG and CHI2 feature selectors. In the below subsections results of each experiment are presented and discussed.

4.1. Effects of Term Weighting Methods

Five different term weighting methods that are *tf*, *logtf*, *tp*, *normtf*, and *tf*idf* are used to form document vectors. For testing, 10 folds cross-validation is applied. Classification results in terms of F-measure values of this experiment are shown in Table 2 where the best values are written in bold-face for each dataset.

Table 2. F-Measure values of the NBM classifier for different term weighting methods

Datasets	Term Weighting Methods				
	<i>tf</i>	<i>logtf</i>	<i>tp</i>	<i>normtf</i>	<i>tf*idf</i>
1150 News	93.2	64.3	92.1	92.9	92.9
3000 Tweet	52.4	27.2	52.2	51.3	48.7
Turkish Email	97.9	94.6	98.1	98.1	97.7
25 Author	51.5	21.7	57.1	46.7	77.1

As can be seen in Table 2, the best performance is achieved with *tf* for 1150 News and 3000 Tweet, *tp* and *normtf* for Turkish Email, *tf*idf* for 25 Author datasets. *tf* and *tf*idf* also have good performance for Turkish Email dataset. In fact, the difference between *tf* and *tf*idf* is much smaller than between other term weighting methods. According to the results in Table 2, we can conclude that as we have longer texts in the datasets *tf*idf* weighting method has better performance. If we have very short texts as in the 3000 Tweet dataset, *tf* or *tp* is successful. Therefore, in the subsequent experiments, *tf* and *tf*idf* methods are applied as they are the most successful two methods in majority of the datasets.

4.2. Effects of Stemming Methods

In this study, 3 different stemming algorithms (i.e., Zemberek, Affix Stripping, Fixed Prefix) are compared. Fixed Prefix with 3, 5, 7 term lengths are used in this study. The experimental results are presented in Table 3 and 4, where the best values are written in boldface.

In this experiment, first we remove stopwords, after that we apply stemming with Zemberek, Affix Stripping, and Fixed Prefix Stripping to extract terms (features) from the datasets. Then the most successful two term weighting methods that are *tf* and *tf*idf* are applied for all cases for computing document-term matrices. We also apply these term weighting methods for the case when no stemming is done. After that classification performances are compared.

In Table 3 and 4, where the experimental results are presented, “No Stem.”, “Z”, “AS”, “FP3”, “FP5”, and “FP7” abbreviations denote “No Stemming”, “Zemberek”, “Affix Stripping”, “Fixed Prefix 3”, “Fixed Prefix 5”, and “Fixed Prefix 7”, respectively. In Table 3, experimental results for 1150 News and 3000 Tweet datasets are presented. In Table 4, experimental results for Turkish Email, and 25 Author datasets are summarized.

Table 3. The classification results in terms of F-Measure values for Zemberek, Afix Stripping, Fixed Prefix 3,5,7 stemming algorithms for 1150 News and 3000 Tweet Datasets

	1150 News <i>tf</i>	1150 News <i>tf*idf</i>	3000 Tweet <i>tf</i>	3000 Tweet <i>tf*idf</i>
No Stem.	93.4	93.2	52	47.7
Z	91.4	90.9	49.8	48.7
AS	90.7	91.6	48.2	48.7
FP3	64.8	68.3	34.8	37
FP5	88.6	88.5	46.5	46.7
FP7	91.8	91.9	50.1	47.6

Table 4. The classification results in terms of F-Measure values for Zemberek, Afix Stripping, Fixed Prefix 3,5,7 stemming algorithms for Turkish E-mail and 25 Author Datasets

	Turkish Email <i>tf</i>	Turkish Email <i>tf*idf</i>	25 Author <i>tf</i>	25 Author <i>tf*idf</i>
No Stem.	98.6	97.6	57.3	80.5
Z	97	97.1	52.2	68.3
AS	97.1	97.2	41.2	62.4
FP3	93.5	94.5	28.2	25.2
FP5	95.6	96.1	42.4	56.5
FP7	97.4	97.9	52.2	68.8

As shown in Table 3 and 4, in majority of the cases, stemming reduces classification accuracy as Turkish is an agglutinative language. Therefore, when we apply stemming, meaning of words may change and this fact negatively affects classification results. Among the stemming algorithms, Fixed Prefix7 gives the most successful results due to the fact that it generates longer stems that are similar to the original words. The Fixed Prefix3 algorithm gives the worst result among the stemming algorithms as the number of the stems generated are low, and stems are too short to be meaningful. Classification with raw forms of the terms is more successful than the stemmed terms. Therefore, in the subsequent experiments only the raw forms of the terms are used.

4.3. Effects of Feature Selection Methods

We investigate the effects of our proposed standard deviation-based feature selection method (SD) and compare it with information gain and chi square feature selection methods. The number of features before and after applying feature selection are presented in Table 5 for the 1150 News, and 3000 Tweet datasets; and in Table 6 number for features for Turkish Email, and 25 Author datasets are listed.

Table 5. Number of terms selected for 1150 News and 3000 Tweet datasets

FS Methods	Datasets	
	1150 News	3000 Tweet
No Selection (No FS)	44,804	10,664
Terms with SD>0	32,275	7,806
Top 20% SD terms	7,055	1,561
Top 15% SD terms	5,291	1,171
Top 10% SD terms	3,528	781
Top 5% SD terms	1,764	390
Top 1% SD terms	353	78
Top 0.5% SD terms	176	39
Top 0.1% SD terms	35	8
Information Gain	1890	144
Chi Square	1889	144

Table 6. Number of terms selected for Turkish Email and 25 Author datasets

FS Methods	Datasets	
	Turkish Email	25 Author
No Selection (No FS)	46,159	94,199
Terms with SD>0	33,063	70,467
Top 20% SD terms	6,613	14,093
Top 15% SD terms	4,959	10,570
Top 10% SD terms	3,306	7,047
Top 5% SD terms	1,653	3,523
Top 1% SD terms	331	705
Top 0.5% SD terms	165	352
Top 0.1% SD terms	33	70
Information Gain	4671	210
Chi Square	4671	208

As it can be easily seen from Table 5 and 6, applying feature selection reduces number of features very sharply, therefore also reduces the dataset size. As an example, according to Table 5, when no feature selection is applied the number of features to be used for classification is 44,804 and 10,664 for 1150 News and 3000 Tweet datasets, respectively. When our SD based feature selection method is applied and top 1% features are selected, the number of features to be used for classification is reduced to 353 and 78 for 1150 News, and 3000 Tweet datasets, respectively. Similar reductions in feature spaces are also observed for the Turkish Email, and 25 Author datasets as shown in Table 6.

First of all, we apply our proposed feature selection method to compute classification

accuracy of the datasets. During the experimental evaluation, we observed that applying feature selection when tf*idf weighting is used yields better classification accuracy. Therefore, in Table 7 classification F-measure values for tf*idf weighting when standard deviation-based feature selection is applied are presented. Classification results for tf weighting are not presented to save space.

As shown in Table 7, applying SD based feature selection improves classification accuracy for almost all datasets while reducing the number of features very sharply (see Table 5 and 6). For all datasets, the best results are observed when top scored 15% features are selected except the 1150 News dataset. For 1150 News dataset, using all features have better classification accuracy; however, selecting only 15% of features reduces accuracy by only 1.6% while reducing the feature size by 85%.

Table 7. Classification F-measure values for SD based feature selection for tf*idf weighting

FS Method	Datasets			
	1150 News	3000 Tweet	Turkish Email	25 Author
No FS	93.2	47.7	97.6	80.5
SD>0	93	47.3	97.1	81.7
%20	91.8	59.3	98.4	90.7
%15	91.6	59.9	98.4	91.1
%10	92.3	57	97.9	91
%5	92	54.1	97	90
%1	87.9	45.9	94.2	90
%0.5	79.8	43.4	94.6	78.3
%0.1	57.5	32.1	93.9	50.1

In Table 8, the best classification F-measure values of the SD based method are compared with the F-measure values obtained when information gain and chi square feature selection methods are applied. The classification results in Table 8 are computed by selecting the features having information gain or chi square values that are

greater than zero. As the number of features having information gain or chi square values that are greater than zero is not high (see Table 5 and 6), we do not apply any further reduction in the feature space. We also use tf*idf weighting for this comparison.

Table 8. Best classification F-measure values of SD, information gain, and chi square methods for tf*idf weighting

Dataset	No FS	SD	Info Gain	Chi square
1150 News	93.2	93	92.3	92.3
3000 Tweet	47.7	59.9	44	44
Turkish Email	97.6	98.4	97.2	97.2
25 Author	80.5	91.1	40	40

According to the results given in Table 8, only for 1150 News dataset feature selection reduces classification performance slightly (i.e., 0.2% for SD, 0.9% for Information Gain and Chi Square methods), for all other datasets SD based feature selection positively affects classification performance. When the three feature selection methods are compared, it can be easily observed that information gain and chi square have almost the same performance as the number of features selected are also quite similar, and both methods have worse performance with respect to the proposed method. Our SD based method is very successful when the number of classes is high as in the 25 Author dataset.

We also investigate the effect of the feature selection on time required for classification, and the results in terms of seconds are given in Table 9.

As it can be easily seen from Table 9, when feature selection is applied, number of features used in the classification process is reduced therefore time required to train and test the classifier is also reduced sharply without decreasing the classification accuracy (see Table 8).

Table 9. Time required (in seconds) for classification when the best F-measure values obtained

Dataset	No FS		SD	
	# of features	Time	# of features	Time
1150 News	44,804	15	15,509	7
3000 Tweet	10,664	7	1,561	1
Turkish Email	46,159	8	33,063	7
25 Author	94,199	94	3,523	9

5. CONCLUSION

In this study, we investigated the effects of feature extraction techniques that include stemming, stopwords removal, term weighting, and feature selection on the accuracy of classification of Turkish documents from different problem domains. As the results of the experiments show, the most successful term weighting methods are tf and tf*idf methods. When feature selection method is used tf*idf method becomes the best weighting method in almost all problem domains. For very short texts, as in 3000 Tweet datasets; tp is also a good performer weighting method.

When the stemming methods are compared, it is observed that the classification of the documents using the raw forms of the terms gives more successful results. This result has occurred due to the fact that Turkish is an agglutinative language, and when stemming is applied, the meaning and polarity of the words may change which affect the classification process in a negative way. Therefore, more improvements are needed on the stemmers used for Turkish.

It is also observed that removing stopwords reduces number of features without decreasing classification accuracy. When the classification results of feature selection methods are compared, it is found that standard deviation-based feature selection has more improvement than information gain and chi square methods on classification accuracy especially when the number of classes is large. Also, feature selection reduces time required for the classification process.

As future work, our standard deviation-based feature selection method may be combined with a search method to find optimal number of features for different datasets.

6. REFERENCES

1. Hand, D., Mannila, H., Smyth, P., 2001. Principles of Data Mining, the MIT Press, England, 546.
2. İlhan, S., Duru, N., Karagöz, Ş., Sağır, M., 2008. Metin Madenciliği ile Soru Cevaplama Sistemi, ELECO-2008, 356-359.
3. Amasyalı, M.F., Diri, B., 2006. Automatic Turkish Text Categorization in Terms of Author, Genre and Gender. C. Kop et al. (Eds.): NLDB 2006, LNCS 3999, 221–226.
4. Yıldız, H.K., Gençtav, M., Usta N., Diri B., Amasyalı M.F., 2007. Metin Sınıflandırmada Yeni Özellik Çıkarımı, Signal Processing and Communications Applications (SIU 2007), Eskişehir, Turkey.
5. Cataltepe, Z., Turan, Y., Kesgin, F., 2007. Turkish Document Classification Using Shorter Roots, Signal Processing and Communications Applications (SIU 2007), Eskişehir, Turkey.
6. Güran, A., Akyokuş, S., Bayazıt, N.G., Gürbüz, M.Z., 2009. Turkish Text Categorization Using N-Gram Words. International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2009), Trabzon, Turkey.
7. Torunoğlu, D., Çakırman, E., Ganiz, M., Akyokuş, S., Gürbüz, Z., 2011. Analysis of Preprocessing Methods on Text Classification of Turkish Texts, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2011), İstanbul, 112-117.
8. Uysal, K.U., Günel, S., 2013. The Impact of Preprocessing on Text Classification, Information Processing and Management, 104-112.
9. Amasyalı, M.F., Balcı, S., Varlı, E.N., Mete, E., 2012. Türkçe Metinlerin Sınıflandırılmasında Metin Temsil Yöntemlerinin Performans Karşılaştırılması, EMO Bilimsel Dergi.
10. Açıkalın, B., Beyazıt, N.G., 2016. The Importance of Preprocessing in Turkish Text

- Classification, Signal Processing and Communications Applications (SIU 2016), Zonguldak.
11. Parlar T., Özel S.A., 2018. An Investigation of Term Weighting and Feature Selection Methods for Sentiment Analysis, *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, 12(2), 63-68.
 12. Amasyalı, M.F., Beken, A., 2013. Türkçe Kelimelerin Anlamsal Benzerliklerinin Ölçülmesi ve Metin Sınıflandırmada Kullanılması, *Signal Processing and Communications Applications (SIU 2009)*, Antalya, Turkey.
 13. Amasyalı, M.F., Çetin, M., 2013. Eğitici ve Geleneksel Terim Ağırlıklandırma Yöntemleriyle Duygu Analizi, *Signal Processing and Communications Applications (SIU 2013)*, KKTC.
 14. Ergin, S., Sora Gunal, E., Yigit, H., Aydin, R., 2012. Turkish Anti-spam Filtering Using Binary and Probabilistic Models, *AWER Procedia Information Technology & Computer Science*, 1, 1007-1012.
 15. Yıldız Teknik Üniversitesi Kemik Grubu Veri Kümeleri, <http://www.kemik.yildiz.edu.tr>
 16. Akın, A.A., Akın, M.D., 2007. Zemberek, an Open Source NLP Framework for Turkish Languages, *Structure*, 10, 1-5.
 17. Eryiğit, G., Adalı, E., 2004. An Affix Striping Morphological Analyzer for Turkish, *International Conference Artificial Intelligence and Applications*, Austria, 299-304.
 18. Can, F., Koçberber, S., Balçık, E., Kaynak, C., Öcalan, H.Ç., Vursavaş, O.M., 2008. Information Retrieval on Turkish Texts, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59, 407-421.
 19. Han J., Kamber M., Pei, J.P., 2012. *Data Mining Concepts and Techniques*, Elsevier, 740.
 20. Leung, K.M., 2007. *Naive Bayesian Classifier*, Polytechnic University Department of Computer Science/Finance and Risk Engineering. Lecture Notes.
 21. Tunalı, V., Bilgin, T.T., 2012. PRETO: A High-Performance Text Mining Tool for Preprocessing Turkish Texts, *International Conference on Computer Systems and Technologies*.
 22. Weka data mining tool <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>

A Strategic Solution to Turkey's Intermediate Goods Problem: Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone

Fırat EKİNCİ¹, Mehmet BİLGİLİ^{*2}

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering,
Department of Energy System Engineering, Adana

²Çukurova University, Faculty of Ceyhan Engineering, Department of Mechanical Engineering,
Adana

Geliş tarihi: 26.07.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Abstract

There is an on-going demand for energy from hydrocarbon compounds and intermediate goods in meeting the need for both production and intermediate products. The European Union and Turkey's need for energy and intermediate goods are provided by petroleum and natural gas imported from geographically nearest energy regions through pipelines. In this study, a strategic solution to demand for energy in Turkey is proposed. Furthermore, information about the energy status, the chemical sector and intermediate goods imports of Turkey is provided. Considerations are proposed on the capabilities of petrochemical plants to be established in Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone (CESIZ) as an outlet of petroleum from Azerbaijan and Iraq and a potential logistic energy base in the Eastern Mediterranean region. Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone, as the first energy zone in Turkey and the nearby region, is introduced and the investors are briefed on the petrochemical facilities planned to be established in the zone. The importance of intermediate chemical products produced by petrochemical plants to be established in Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone in reducing the country's foreign trade deficit is revealed. Due to lack of studies conducted on CESIZ in the literature, this study would contribute to potential investors and academicians.

Keywords: Energy, Intermediate goods, Ceyhan energy specialized industrial zone (CESIZ), Strategic solution, Potential logistic energy

Türkiye'nin Ara Ürünler Sorununa Stratejik Bir Çözüm: Ceyhan Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi

Öz

Hem üretim hem de ara ürün ihtiyacını karşılamada hidrokarbon bileşiklerinden ve ara ürünlerden enerji için devam eden bir talep vardır. Avrupa Birliği ve Türkiye'nin enerji ve ara ürünlere olan ihtiyacı, coğrafi olarak en yakın enerji bölgelerinden boru hatları aracılığıyla ithal edilen petrol ve doğal gaz ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de enerji talebine yönelik stratejik bir çözüm önerilmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin enerji durumu, kimya sektörü ve ara mal ithalatı hakkında bilgi verilmektedir. Ceyhan Enerji İhtisas Sanayi Bölgesi'nde (CESIZ) Azerbaycan ve Irak'tan petrolün çıkışı ve Doğu Akdeniz bölgesinde potansiyel bir lojistik enerji üssü olarak kurulacak petrokimya tesislerinin gelişime açık kapasiteleri üzerine

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet BİLGİLİ, mbilgili@cu.edu.tr

dikkate alınacak hususlar sunulmuştur. Türkiye’de ve yakın bölgedeki ilk enerji bölgesi olan Ceyhan Enerji İhtisas Sanayi Bölgesi tanıtılmıştır ve bölgeye kurulması planlanan petrokimya tesisleri hakkında yatırımcılar bilgilendirilmiştir. Ceyhan Enerji İhtisas Sanayi Bölgesi’nde kurulacak olan petrokimya tesisleri tarafından üretilen ara kimyasal ürünlerin, ülkenin dış ticaret açığını azaltmadaki önemi açıklanmıştır. Literatürde CESİZ konusunda yapılan çalışmaların yetersizliği nedeniyle, bu çalışma potansiyel yatırımcı ve akademisyenlere katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Ara ürünler, Ceyhan enerji ihtisas sanayi bölgesi (CESİZ), Stratejik çözüm, Potansiyel lojistik enerji

1. INTRODUCTION

Energy is one of the vital requirements for today’s world, and it has an unquestionable crucial task in industrial developments, economic progress and most importantly in human life [1-4]. It is realized universally that energy is not only inevitable requirements for internal dynamics of the countries but also it is a strategic issue which influences universal affairs, for example, political debates as well as military conflicts. In recent years, global energy demand has shown increase depending on the emerging technology and population growth, and at the same time, unfortunately, fossil fuels have been sharply declining. In this respect, the global warming being the threat of climatic change, efficient usage of energy sources, greenhouse-gas (GHG) emissions based on fossil energy consumption and use of renewable energy resources have become most attractive issues in the present decade [5-9].

In spite of the increased use of renewable energy resources, the need for hydrocarbon compounds in meeting energy demand does not diminish. Today, along with the increase in production which in turn stimulates the need for energy, the dependence on hydrocarbon compounds is multiplied. There is an on-going demand for energy from hydrocarbon compounds and intermediate goods in meeting the need for both production and intermediate products. Both developed and developing countries tend to prove their needs for energy and intermediate goods through imports to a large extent. Having an advanced economy, Turkey’s need for energy and intermediate goods are also supplied through imports. Since the petrochemical plants with limited numbers in the country are not able to meet the country’s needs for intermediate chemical goods,

imports of such products of the chemical sector largely account for the current account deficits. Being a geographical bridge between the countries with 70% of the world’s petroleum and natural gas and the countries with energy needs, Turkey has risen to prominence, not only in the energy supply and security of the European Union but also in energy projects in the Middle East, Caucasus and Eastern Mediterranean regions. Despite the increasing use of renewable energy resources, the supply of energy is still being provided from carbon fuels. According to 2016 BP World Energy Statistics Report [10], petroleum has increased its market share for the first time since 1999, while maintaining 32.9% of world energy consumption as the world’s largest fuel. Turkey’s petroleum consumption increased by 12.5% in 2015, and it has a share of 0.9% in the world petroleum consumption. In natural gas, however, the market share of primary energy consumption has reached 23.8%. Renewable energy production in Turkey increased by 34.4% in 2015, accounting for 1% of the world’s total renewable energy output.

According to the data compiled from Turkish foreign trade statistics, the total imports reached at USD 50.4 billion in January-March 2017 period in Turkey. The USD, 9.1 billion portion of this figure, consists of such chemical products summarized as energy imports, namely, “mineral fuels, mineral oils and products derived from their distillation, bituminous substances, and mineral waxes.” Turkey’s energy imports, which amounted to USD 6.5 billion in the first quarter of last year, have increased by 39% to USD 9.1 billion during the same period of this year. Nonetheless, Turkey’s electricity imports have declined by 36% (USD 30.6 million) in the January-March period. In the January-March period of last year, USD 48.9

million was paid for electricity imports. In the same period of 2017, this figure has decreased by 36% (USD 30.6 million). Thus, the amount of USD 17,492,847 has remained in the country [11].

The decline in electricity imports is offset by resources such as hydroelectric power plants, coal and natural gas conversion plants and renewable energy that have been established in Turkey over the past 15 years [12]. Most of the countries with energy resources are located in Eurasia and the Middle East. The transportation of these resources to consumers is mostly carried out with pipelines. The supply and safety of energy in those pipelines have become major contemporary problems. Figure 1 indicates the distribution of electricity energy generated on June 30, 2017, in Turkey in accordance with the resources. Throughout the production of electric energy, some discrepancies in the use of resources can be seen in terms of the daily demand. According to the data in Figure 1, on June 30, 2017, the electricity energy is generated from natural gas (40.35%), hydropower (21.8%), imported coal (16.24%), and lignite (12.93%). In general, the imported coal and lignite-based plants are on the front rank in meeting the need for electricity energy followed by hydroelectric power plants. Therefore, the electricity production values obtained from natural gas conversion plants vary between 40% and 30% within the year [13].

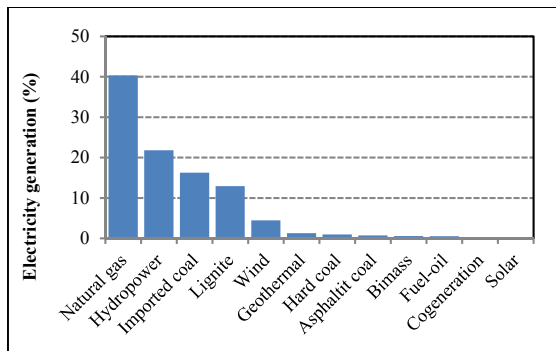


Figure 1. Distribution of electricity generation in terms of resources on June 30, 2017

Energy geopolitics of a country or region can be defined by its geographical location and its role for supply, transit or demand for energy. Strategically

located between two continents, Turkey is an important country that holds an important place in the oil and gas and its import dependency on regional energy security. At present, Azerbaijani and Kurdish oil is transmitted across the Eastern part of the country to Ceyhan by the Mediterranean Sea. Russian and Azerbaijani oils are transmitted to the Western markets through the Turkish Straits of the Bosphorus and Dardanelles waterway. Natural gas is only available for domestic use from Russia, Iran and Azerbaijan. Some natural gas from the former Soviet republics in Central Asia is also transmitted through Russia. For the European Union (EU), diversification of natural gas supplies and reduction of role of Russia as producer and transit country seem to be an important strategy [14].

As seen and known, Turkey is situated at the crossroads of Asia and Europe, with most of its territory located in south-west Asia and a small part in south-east Europe (Eastern Thrace). Turkey is set to become an anchor of the Southern Gas Corridor, transporting natural gas from Azerbaijan to Turkey and the European Union by 2018/19 through the Trans-Anatolian Gas Pipeline (TANAP) and the Trans-Adriatic Pipeline (TAP), from Turkey across Greece and Albania to Italy. Turkey is implementing new energy targets under the Vision 2023, its economic development strategy to 2023, the year that marks the 100th anniversary of the Republic of Turkey. The energy goals to 2023 include the promotion of indigenous energy resources, such as coal (lignite) and a 30% share of renewable energy in the electricity mix [15].

To achieve the goals of energy in 2023, a strategic solution to demand for energy in Turkey is proposed in this study. Furthermore, this study provides information about the products to be produced at petrochemical plants established in Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone as a solution to the country's need for intermediate goods. Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone (CESIZ), the first energy zone in Turkey, is introduced and the information is provided for investors about petrochemical plants planned to be established. The importance of Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone (CESIZ) in reducing

the foreign trade deficit by meeting the chemical demands with intermediate goods produced at the petrochemical plants planned to be established in the country is highlighted. Due to the absence of previous studies on CESIZ in the literature, this study is singled out to be the first one to serve as a contribution to both potential investors and academicians.

2. TURKEY'S ENERGY STRATEGY REVIEWS

Figure 2 presents the location of electricity generation plants in Turkey [15]. Figure 3 presents the distribution of electricity generated in Turkey by resources in 2016. In general, the rate of distribution of resources used in daily generated electricity is approximately the rate of distribution of resources used in the annual production of electricity energy. The electricity production values in accordance with years are shown in Figure 4. Electricity production in Turkey in 2016 was 274,407.7 GWh [13].

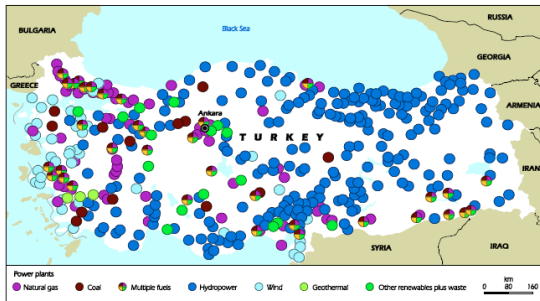


Figure 2. Location of electricity generation plants in Turkey [15]

As can be seen, imported natural gas and coal have crucial roles in the production of electricity energy. While Turkey's natural gas needs are met through pipelines to a large extent, a small portion is covered by CNG provided from Algeria [16,17].

Table 1 provides information on natural gas imports for the last ten years. As seen in Table 1, most of the natural gas imports are provided by Russia. The same situation applies to the European Union countries. In 2016, natural gas imports decreased by

4.28 %, 52.94% of the natural gas imports made in 2016 are from Russia, while 16.62% from Iran, 13.98% from Azerbaijan, 9.24% from Algeria, 2.63% from Nigeria, and 4.58% from other countries. 83.44% of imported natural gas is transported through pipelines and 16.46% in the form of LNG. 36.06% of natural gas imported in 2016 is consumed in Conversion/Cycle Sector, 30.38% in Industrial Sector, 25.05% in residence and 6.13% in Official Departments and Businesses [18].

Figures 5 and 6 show the natural gas and oil infrastructures in Turkey [15]. Nowadays, energy supply and safety have been brought forth. The natural gas distress experienced by the European Union as the world's largest energy consumer between the years 2006-2009 due to the problems

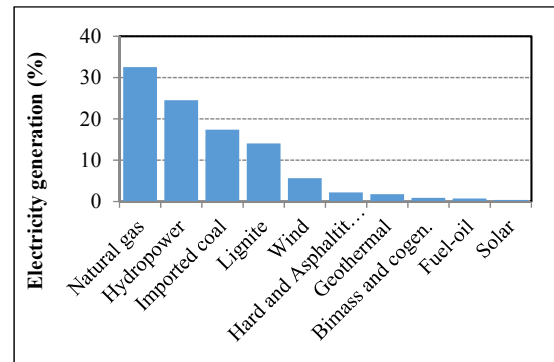


Figure 3. Distribution of electricity energy generation in terms of resources, 2006

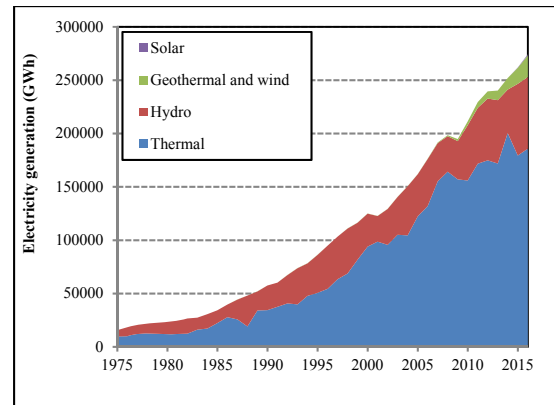


Figure 4. Electricity generation values in Turkey (TETC, 2014)



Figure 5. Natural gas infrastructure in Turkey [15]

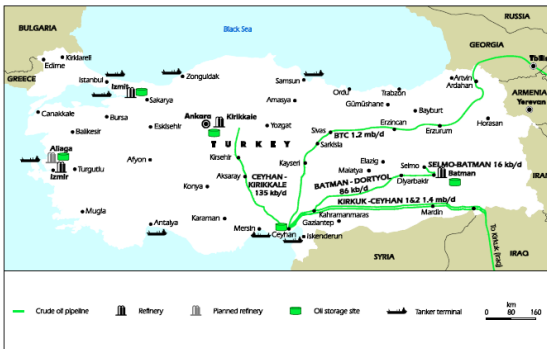


Figure 6. Oil infrastructure in Turkey [15]

with Russia as the main supplier would be the perfect example [16,19]. Having experienced blackouts, European Union has issued a number of directives to enable security of energy supply and started to develop policies for alternative energy sources. Directives issued by EU concerning Electricity (2009/72/EC) and Natural Gas (2009/73/EC) have been enacted to set up perfect competition market, allow consumers to freely choose among suppliers, establish regulations by independent authorities, improve cross-border trade, enable all parties to directly access to the network and provide security of supply (EU). The recent blackouts showed the importance of diversifying energy sources once again. Currently, European Union imports natural gas from diverse supplies, while Russia and Norway are main suppliers [10].

In addition, Algeria and Libya export CNG to EU. Despite the recent blackouts, European Union is still dependent on Russia for natural gas. In 2016,

Russian state-owned Gazprom provided 34% of total natural gas consumption of European Union. According to BP’s report, Russia will remain as the main natural gas supplier of EU until 2035 [10,20]. TANAP Project is the most important natural gas pipeline under construction besides the present supply lines. Trans Anatolian Natural Gas Pipeline Project consists of transporting natural gas produced in Azerbaijan’s Shah Deniz gas field and other regions in the southern Caspian Sea primarily to Turkey and then to Europe. In the first stage of the project, the initial capacity of the pipeline that will supply Turkey with natural gas is expected to be 15.75 billion cubic meters and additional pipelines are planned to be constructed based on the purchase commitment of EU countries. Furthermore, with Southern Gas Corridor Project developed as part of EU INOGATE (Interstate Oil and Gas Transport to Europe), it is planned to bring natural gas from Azerbaijan’s Shah Deniz Phase-1 region to Europe through Turkey and Greece. This is one of the most complex gas chain project developed in the world. It stretches more than 3.500 kilometers, crossing several countries and involving a number of major energy companies. A total of 674.68 million standard cubic meters natural gas was exported in 2016 through this pipeline. Besides these projects, further works and negotiations are still ongoing concerning the transport of natural gas from Israel, Iraq, Jordan and Egypt to Europe through Turkey. In addition to the existing pipelines, transportation of natural gas to be extracted from the Eastern Mediterranean via new planned pipelines to the European Union is an important choice in terms of natural gas supply diversity and security [21]. It is the most important of the planned routes in the transportation of hydrocarbon compounds to European Union countries which would be extracted from the Eastern Mediterranean in the coming years [22]. This study emphasizes the importance of Ceyhan as an energy supply base for East Mediterranean in addition to its role as an important access point to the world for petroleum and natural gas products of Caspian Sea and Middle East. The study also introduces Ceyhan as an important logistic base and underlines its importance in terms of energy supply and security for the transport of natural gas that will

be produced in East Mediterranean to European Union.

3. INTERMEDIATE GOODS IN TURKEY

Raw materials are the materials used by changing the physical or chemical structure of the product while the intermediate goods are the goods used as inputs in the production of other products. The value-added expressed as the value included to the product at every stage of production is calculated by deducting the value of every input (intermediate goods, raw materials, service, electricity, water, etc.) purchased from the production value. According to this definition, the value-added is the difference between the output value in a production process and the total value of the intermediate inputs used. In the event that the procurement of intermediate goods and raw materials and other inputs that make up the production cost is provided from companies producing other goods and services in the country, all value-added created would remain in that country. Otherwise, the value-added created in commensurate with the imported inputs and services would be transferred to the other manufacturers located abroad. From this point of view, in addition to making high value-added production, where the value-added remains is also very important for the economy. The technological structure of the Turkish manufacturing industry is generally inclined towards the production of low and medium-low technology products. In the manufacturing industry, the shares of medium-high and high technology products are 24.3% and 2.4%, respectively.

Upon considering the technological structure of exports of manufacturing industry, it is observed that a significant part of Turkey's exports consist of low and low-medium technology products, while the share of high-technology products is low. It is an important issue from where raw materials and intermediate goods utilized in production are procured. Procurement of used inputs from domestic manufacturers enables the created value-added to remain in the country as well as it contributes to the competitiveness along with the

investments to be made in these sectors. Otherwise, the production with imported inputs from abroad would cause the value-added to be transferred abroad. This situation would have an adverse effect on the foreign trade and hence the current account balance and would weaken the international competitiveness of companies that produce either intermediate goods or consumption goods. The structural status of the Turkish manufacturing industry and the foreign-dependent structure of inputs that the leading sectors are using regarding production value are the main causes of foreign trade deficits. The high levels of shares of goods and services imported from abroad in the production chain cause not only revenue loss in terms of the related sector but also the transfer of foreign exchange in terms of the national economy. The high import dependency of the production leads to a trade deficit as well as an adverse impact on the balance of payments. The sustainability of the production structure in that direction would ensure that the current account deficit becomes permanent on the country's agenda. Therefore, countries make the production and investment of intermediate goods and inputs that their industries need particularly tempting by implementing different incentive policies.

Along with the increase in production, the imports of intermediate goods also increase which, in turn, worsen the current account deficit and pose a risk for sustainable growth. Obviously, it is inevitable to raise the domestic contribution rate in production, especially intermediate goods production, in order to reduce both the current account deficit and the necessary high growth rates. In Table 2, technological classes and values in the import of intermediate goods are given. Medium-high and low technology products play an important role in imported intermediate goods. Upon considering the sectoral distribution of intermediate goods imports, the energy resources are seen to have a share of 36% followed by the chemical sector with a share of 22.2%. The chemical sector is followed by the metal and automotive sectors with shares of 19.4% and 7%, respectively. The total shares of these three sectors in the imports of intermediate goods correspond to approximately 50% of total imports. In Table 3, the import values of the top 15 imported

Table 1. The amounts of natural gas imported by Turkey according to exporting countries [17]

Country	Russia		Iran		Azerbaijan		Algeria		Nigeria		Others*		Total	Percentage Change Over Previous Year
	Quantity (\$)	Share (%)	Quantity (\$)	Share (%)	Quantity (\$)	Share (%)	Quantity (\$)	Share (%)	Quantity (\$)	Share (%)	Quantity (\$)	Share (%)		
2006	19,316	63.92	5,594	18.51	0	0	4,132	13.67	11,100	3.64	79	0.26	30,221	-
2007	22,762	63.51	6,054	16.89	1,258	3.51	4,205	11.73	1,396	3.89	167	0.47	35,842	18.60
2008	23,159	62.01	4,113	11.01	4,580	12.26	4,148	11.11	1,017	2.72	333	0.89	37,350	4.21
2009	19,473	54.31	5,252	14.65	4,960	13.83	4,487	12.51	903	2.52	781	2.18	35,856	-4.00
2010	17,576	46.21	7,765	20.41	4,521	11.89	3,906	10.27	1,189	3.13	3,079	8.09	38,034	6.08
2011	25,406	57.91	8,190	18.67	3,806	8.67	4,156	9.47	1,248	2.84	1,069	2.44	43,874	15.35
2012	26,491	57.69	8,215	17.89	3,354	7.3	4,076	8.88	1,322	2.88	2,464	5.37	45,922	4.67
2013	26,212	57.9	8,730	19.28	4,245	9.38	3,917	8.65	1,274	2.81	892	1.97	45,269	-1.42
2014	26,975	57.76	8,932	18.13	6,075	12.33	4,179	8.48	1,414	2.87	1,689	3.43	44,262	8.82
2015	26,783	55.31	7,826	16.16	6,169	12.74	3,916	8.09	1,240	2.56	2,493	5.15	48,427	-1.70
2016	24,540	52.94	7,705	16.62	6,480	13.98	4,284	9.24	1,220	2.63	2,124	4.58	46,352	-4.28

intermediate goods used in the chemical sector in 2016 are given. These products constitute 50% of the imports of intermediate goods in the chemical sector. Table 4 indicates the top 15 high technology products imported as intermediate goods. Upon examining, these products are seen to belong to the health sector [11].

4. CHEMICAL SECTOR IN TURKEY

The Turkish chemical industry mainly consists of facilities for the production of various chemical intermediate and consumption products such as petrochemicals, soaps, detergents, fertilizers, pharmaceuticals, paint and varnishes, synthetic fibers and soda. Companies operating in the sector differ in terms of their scales and capital resources. Although a large number of companies operating in the sector are small and medium-sized enterprises, large-scale firms and multinational corporations operate as well.

The chemical sector is an import-dependent sector. 70% of the used intermediate goods are imported, and 30% are supplied with domestic production.

90% of the main input of plastics production is provided by the petrochemical sector.

Table 2. Importing technology classifications and import values of the imported intermediate goods [11]

Technology Classification	Share (%)	Import Value (\$)
High Technology	8	9,311,050.220
Medium-High Technology	36	42,226,271.149
Medium-Low Technology	33	39,410,721.741
Low Technology	11	12,535,038.467
Other	12	14,575,211.726
Total	100	118,059,713.545

The petrochemical sector is a large scale, capital, and technology-intensive sector. The plastics and rubber sector is a highly import-dependent (over 90%) sector. Since the chemical sector is a capital-intensive industry, the labor intensity is low. Therefore, approximately 300.000 people are employed in the chemical sector.

Table 3. Top 15 products of chemical industry imported as intermediate goods [11]

	HS CODE	PRODUCT NAME	IMPORT VALUE (\$)	TECHNOLOGY CLASSIFICATION
1	271019	Other Oils and Preparations	6,626,092.030	Medium-Low Technology
2	390210	Polypropylene (In Primary Forms)	1,821,032.284	Medium-High Technology
3	390120	Polyethylene Having a Specific Gravity of 0.94 or More	976,95.938	Medium-High Technology
4	390410	Polyvinyl Chloride (Uncompounded) (Pvc)	618,832.497	Medium-High Technology
5	390110	Polyethylene Having a Specific Gravity of Less Than 0.94	979,968.739	Medium-High Technology
6	390230	Propylene Copolymers (In Primary Forms)	497,436.907	Medium-High Technology
7	382490	Other Chemical Products Used in Chemical and Affiliated Industries	524,670.364	Medium-High Technology
8	400122	Technically Specified Natural Rubber (Tsnr)	160,302.037	Medium-Low Technology
9	390319	Styrene Polymers; (Other Than Expansive Polystyrene), in Primary Forms	304,827.837	Medium-High Technology
10	390720	Other Polyethers (In Primary Form)	437,851.348	Medium-High Technology
11	281410	Pure Ammonia	167,534.187	Medium-High Technology
12	320611	Titanium Dioxide-Based Pigment and Preparations	247,425.397	Medium-High Technology
13	390760	Polyethylene Terephthalate (In Primary Forms)	198,751.744	Medium-High Technology
14	310210	Urea	507,696.322	Medium-High Technology
15	271311	Petroleum Coke (Non-Calcined)	240,794.282	Medium-Low Technology

Table 4. High technology products of chemical industry imported as intermediate goods [11]

	HS CODE	PRODUCT NAME	IMPORT VALUE (\$)	TECHNOLOGY CLASSIFICATION
1	300210	Antisera and Other Blood Fractions and Modified Immunological Products	1,017,040.845	High Technology
2	300220	Vaccines Used for Humans	156,455.555	High Technology
3	294190	Other Antibiotics, Their Derivatives; Salts	114,036.903	High Technology
4	293359	Other Pyridine/ Piperazine Ring Containing Compounds	102,120.934	High Technology
5	300390	Other Medicaments Which Have Been Mixed Together for Therapeutic or Prophylactic Uses (Not Put Up in Measured Doses)	76,129.342	High Technology
6	300210	Antisera and Other Blood Fractions and Modified Immunological Products	58,749.513	High Technology
7	300230	Vaccines Used for Animals	45,993.493	High Technology
8	300290	Human and Animal Substances Prepared for Therapeutic Uses for Human or Animal	41,905.116	High Technology
9	300630	Opacifying Preparations for X-Ray Examinations	38,983.319	High Technology
10	294110	Penicillins and Penicillanic Acid Derivatives; Salts	31,774.755	High Technology
11	293999	Other Herbal Alkaloids Extractions, Esthers and Derivatives	30,106.893	High Technology
12	300190	Other Human or Animal Substances Prepared for Therapeutic or Prophylactic Uses	27,882.677	High Technology
13	292429	Other Cyclic Amides and Their Derivatives, Salts	25,972.116	High Technology
14	300660	Hormone/Spermicide-Based Contraceptive Chemical Preparations	25,761.129	High Technology
15	293500	Sulfonamides	21,310.704	High Technology

The share of chemical sector employment in the manufacturing industry is about 9%. Since the chemical industry is a capital/technology intensive sector, having a weighted capacity utilization rate of 75.3% within the course of last four years, it involves a relatively low labor intensity. The share of the sector in manufacturing industry employment is an average of 8% in the last five years, while its share in the total value-added created in the manufacturing industry corresponds to 13.77%. Chemical sector products have a wide range of variety. The sector involves mineral fuels/oils (with HS Code 27), inorganic chemicals (with HS Code 28), organic chemicals (with HS Code 29), pharmacy (with HS Code 30), fertilizer (with HS Code 31), paint, paste, varnish (with HS Code 32), perfumery and cosmetics (with HS Code 33), soap (with HS Code 34), albuminoid matter (with HS Code 35), gunpowder, explosives (with HS Code 36), photography, (with HS Code 37), various chemicals (with HS Code 38), plastic and plastic products (with HS Code 39) and rubber and rubber products (with HS Code 40) [23].

The chemical industry, as an industrial entity that provides many sectors with intermediate goods, has an important role in the production as well as in foreign trade. There are only a few products manufactured in the chemical sector without using raw materials. In this context; it provides many fields of industry with both final and intermediate products such as leather, textiles, construction (pipes, sheets, doors, windows, etc.), agricultural chemicals, synthetic fertilizers, veterinary medicines, synthetic fibers, soap, detergent, cleaners, plastic raw materials, human medicine industry, cosmetics industry, adhesives, joints, fillers, insulating materials, photographic materials, gunpowder and explosives.

The main ingredient of petrochemical products, namely, "naphtha" is one of the products produced from crude oil. The process involves the production of naphtha and LPG from crude oil and the production of ethylene, propylene, benzene, paraxylene, etc. and the production of intermediary goods of low density polyethylene (LDPE), high density polyethylene (HDPE), polypropylene, etc. out of these raw materials for such sectors as plastic

and rubber. The major chemicals constitute approximately 38% of the chemical industry in the world, while special chemicals make up 27%, pharmaceuticals account for 25%, and consumer chemicals comprise 10% [24]. Furthermore, recent studies in the fields of nanotechnology, biochemistry, catalysis, genetics, organic chemistry and polymer chemistry in the world chemical sector have begun to show positive effects. On the other hand, the total revenues of the top 30 major chemicals-producing countries are equal to 2,784 billion euros. China, USA, and Japan are in the front ranks 30.5%, 14.6%, and 5.6% shares, respectively [24]. Germany is the largest chemical producer in the EU, followed by France, Italy and the Netherlands. The total share of these four major producers in total EU chemicals sales is 62.6% [25,26].

When the capacity of existing refineries in Turkey and the imports data of the chemical industry are examined, the necessity of constructing a few modern facilities in the country becomes apparent. In this respect, the establishment of refinery and petrochemical facility where the petroleum pipelines that come up to Ceyhan region have an outlet toward the world would be an important factor in reaching the targets of the country in 2023 and in reducing its the foreign trade deficit. Turkey would inevitably become closely involved with economic and also political decisions, especially in the Middle East and the Eastern Mediterranean regions. In every aspect of modern life, the effects of chemicals are deeply felt. The chemical sector is in the manufacturing sector that affects different manufacturing sectors. The chemical industry can be evaluated under three main groups: basic chemicals, petrochemical product derivatives and basic inorganic products. Basic chemicals, which are produced in high quantities and have a relatively low value-added, have a wide variety of use in chemical and other manufacturing industries. It is an easy to exchange among a large number of manufacturers who produce the same product of basic chemicals, which are produced using continuous production technique and sold entirely according to the chemical component grade. Demand for basic chemicals is generally in line with economic growth. Specialty (performance)

chemicals are compounds that are produced in low quantities and are formulated with sensitive chemicals that have a relatively high value-added and are specially produced for contributing to product performance in different sectors. Unlike basic chemicals, specialty chemicals are produced by discontinuous production technique and evaluated according to their functions, not according to their contents. They are produced either especially for end-user sectors such as electronics, textile, paint, agriculture, and petroleum or for giving properties such as adhesiveness, non-flammability to finished products which are produced in different sectors. Consumer chemicals include various products such as soap, detergent, shampoo, perfume, cosmetics that are produced directly for the consumer. Taken as a whole, the chemical sector uses about one-third of its production as input for its own production. Besides from its own use, the consumer chemicals segment, including cleaning and cosmetics, is the field where the production of chemical sector is mostly utilized (30%) followed by the service sector (17%), basic metals, mining, machinery and electronics sector (9%), agriculture sector (7%), textile sector (6%), construction sector (5-6%), and automotive sector (5%). The production of basic chemicals in petroleum refineries and petrochemical plants, which have access to low-cost and abundant intermediate products, is also a determining factor in the investment of specialty chemical producers who utilize these products as inputs in high value-added production. A considerable amount of the incoming petroleum through the pipelines located in Turkey is exported while only a small portion is processed in the limited number of domestic refinery facilities.

Among totally four refineries in Turkey, TÜPRAŞ refineries located in İzmit and İzmir operate with processing capacities of 11 million tons; İzmir Star Refinery operates with 10 million tons; Kırıkkale Refinery with 5 million tons; Batman Refinery with 1.1 million tons [27,28]. Petkim, formerly a public entity and privatized in 2007, is the largest petrochemical company in Turkey. 51% stake in Petkim's equity capital was acquired by Socar-Turcas for USD 2.04 billion. 10% of the company is still owned by the Privatization Administration,

and the remaining 39% is publicly traded on the Istanbul Stock Exchange [29].

The annual production capacity of Petkim's Aliğa petrochemical plant located in İzmir is 3.2 million tons. Petkim's product range includes LDPE, HDPE, PVC and PP products, masterbatches, fibers, and aromatics. These products are important regarding construction, electricity, electronics, packaging, textile as well as medicine, paint, detergent and cosmetics sectors [23]. Petkim procures its main input "naphtha" in the production of the related intermediate products utilized by many sectors either from TÜPRAŞ, which is the only domestic producer in Turkey or from imports. Similar to Petkim, Tüpraş, formerly a public organization and privatized in 2005, is the only entity that processes crude oil in Turkey and continues its activities in İzmit, İzmir, Kırıkkale and Batman petroleum refineries. Products manufactured by the company consist of LPG, gasoline, light and heavy naphtha, kerosene, light and heavy diesel and fuel oil [27,28]

5. CEYHAN ENERGY SPECIALIZED INDUSTRIAL ZONE (CESIZ)

Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone (CESIZ) is established in southern Turkey, near Ceyhan district on the Mediterranean coast. CESIZ is established on the scale of 1341 hectares within the coordinates indicated in Official Gazette of the Republic of Turkey dated October 17, 2007, numbered 26673. From this date forward, necessary studies have been started, and the processes are being carried out by the Ministry of Science, Industry, and Technology. CESIZ is advantageous regarding its position in the Mediterranean.

CESIZ is adjacent to BOTAS and BTC facilities where the Baku-Tbilisi-Ceyhan (BTC) and Kirkuk-Yumurtalık pipelines meet the Mediterranean. In 2016, 26.1 million tons (189.4 million barrels) of crude oil is transported through the Kirkuk-Yumurtalık pipeline. The Baku-Tbilisi-Ceyhan (BTC) Crude Oil Pipeline transports the petroleum produced in the Caspian region (mainly Azerbaijani petroleum) to Ceyhan via Azerbaijan and Georgia.

Through this pipeline, 253.976 million barrels of crude oil is transported in 2016 (BOTAS 2016).

As shown in Figure 7, the near proximity of CESIZ to the facilities through which BTC and Yumurtalik-Kirkuk petroleum is distributed to the world makes it advantageous for chemical plants to have access to crude oil as the main source of raw materials. CESIZ is adjacent to Ceyhan Organized Industrial Zone and Yumurtalik Free Zone, away from Osmaniye Organized Industrial Zone and Dörtöyol and İskenderun harbors. It stands out as a developed region regarding transportation possibilities by means of its harbor which is expected to further develop the investments inflows along with the access to the sea as well as developed highway networks.

All statutory permits have been obtained for the establishment of a refinery named Adana Eastern Mediterranean Refinery near to Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone (CESIZ). Besides incoming crude oil via BOTAS and BTC pipelines, processing of the crude oil transported through Samsun-Ceyhan Pipeline Project, which is called TAPCO Pipeline Project initiated by a private company, is aimed. CESIZ is in an attractive position for investments thanks to its potential of USD 600 billion worth of business and 120 million consumers. CESIZ is managed by Adana Chamber of Industry. Adana Chamber of Industry has conducted a research study as guidance for potential investors of petrochemical plants to be established in CESIZ [30]. This study provides information about the world and the Turkish economy and then about regions with different geographical features in which chemical plants are clustered. In the study, besides the economic data, weak and strong aspects, as well as the necessities of the region, are put forward. Also, the course of action and action plans have been presented for CESIZ to assure success. In this study, the products needed to be produced in the chemical plants to be established in the region, as well as the chemical sector and data on intermediate products in Turkey, are examined. Another advantage of CESIZ involves its status of coverage within the scope of incentives for strategic and large-scale investments provided by the State.

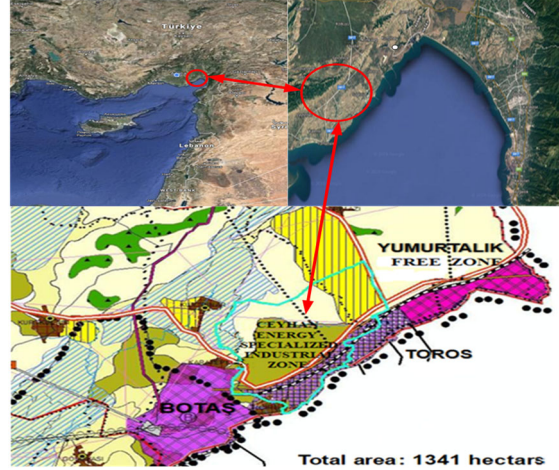


Figure 7. Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone (CESIZ)

Petrochemicals being produced in an unprecedented way in the petrochemical industry can be either used by the petroleum extraction /refining departments of the company or sold directly to outsiders. There are a lot of inputs and outputs in the production process. Most of the time, there exist by-products that are needed by another section or company in the production process. In the petrochemical sector, the customers of the companies can be their suppliers, competitors, and partners. The ability to jointly use non-key assets to reduce capital costs is another distinguishing feature that can be applied by clusters in the petrochemical industry. Reducing the capital expenditures of chemical factories is a stunning factor for attracting investments to the region. In different geographical regions of the world, there are petrochemical clusters established for different purposes. The reasons for the formation of clusters vary from one geographical region to another. While these causes appear as cost-effectiveness in order to compensate for cost disadvantages concerning raw material and other inputs in Europe, there are rather seen as the use of raw material resources and cost advantages for value chain steps with higher value-added in the Middle East. In Asia, however, the purpose of establishing petrochemical clusters can be translated as the dependence on imports of petrochemicals and the efficient production to reduce the foreign trade deficit. Furthermore, the petrochemical clusters being established by more

and more countries have become a necessity for competitiveness in the international arena rather than merely an opportunity to maintain a competitive advantage. As a result, petrochemical clusters are being established even in geographical areas where petrochemical clusters are already present [30].

6. CONCLUSION

In the petrochemical sector, it is possible to further reduce costs and delivery times and increase the product variety by utilizing the land, air and marine lines in combination. The role of the state in petrochemical cluster management is also important. Practice partnership is among the successful examples in this area. Upon examining successful petrochemicals clusters over the world, the first stage includes raw material supply and security. Then petrochemical plants where production would take place should be identified to be clustered in a whole in order to diversify the products. The implementation of these strategic stages is considered to increase the chances of success for Ceyhan Energy Specialized Industrial Zone. The reduction of the country's need for intermediate goods and the share of this need in imports would only be possible by producing chemical products of medium-high and medium-low technologies. Appropriate petrochemical plants should be established to produce these products and new chemical products. In addition, production of high technology products to be used in health and basic chemical sectors should be planned. Its close proximity to the Eastern Mediterranean region where natural gas and petroleum resources are soon to be found would render CESIZ important in energy policies. Both the logistics base and the liquefaction process loom large in the transportation of natural gas extracted from the region to Europe.

7. REFERENCES

1. IEA, 2016. International Energy Agency. Energy statistics manual. Accessed September 8, 2018. <https://www.iea.org>.
2. Bilgili, M., Bilirgen, H., Ozbek, A., Ekinci, F., Demirdelen, T., 2018. The Role of Hydropower Installations for Sustainable Energy Development in Turkey and the world, *Renewable Energy* 126, 755-764.
3. Konoplyanik, A.A., 2012. Russian Gas at European Energy Market: Why Adaptation is Inevitable, *Energy Strategy Reviews* 1, 42-56.
4. Sirin, S.M., 2017. A Panel Data Analysis on the Costs of Turkish Electricity Distribution Companies, *Energy Strategy Reviews* 18, 250-259.
5. Ruble, I., 2017. European Union Energy Supply Security: The Benefits of Natural Gas Imports from the Eastern Mediterranean, *Energy Policy* 105, 341-353.
6. Kok, B., Benli, H., 2017. Energy Diversity and Nuclear Energy for Sustainable Development in Turkey, *Renewable Energy* 111, 870-877.
7. Ozturk, M., Yuksel, Y.E., Ozek, N., 2011. A Bridge Between East and West: Turkey's natural Gas Policy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 4286-4294.
8. Dastan, S.A., Selcuk, O., 2016. Review of the Security of Supply in Turkish Energy Markets: Lessons from the Winter Shortages, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59, 958-971.
9. Akdemir, I.O., 2011. Global Energy Circulation, Turkey's Geographical Location and Petropolitics, *Procedia Social and Behavioral Sciences* 19, 71-80.
10. BP, 2016. British Petroleum, World Energy Statics Report. Accessed September 4, 2018. www.bp.com.
11. TSI, 2016. Turkish Statistical Institute, Annual Report. Accessed October 1, 2018. <http://www.tuik.gov.tr/>.
12. Ibrahim, S.A., 2016. Maintaining the energy Security of Turkey in the Era of Geopolitical Turmoil, Discussion Paper no. 17., Durham University, HH Sheikh Nasser Al-Sabah Programme, Durham.
13. TEIAS, 2018. Turkish Electricity Transmission Company, Electricity Statistics. Accessed September 16, 2018. <https://www.teias.gov.tr/>.
14. Austvika, O.G., Rzayevab, G., 2017. Turkey in the Geopolitics of Energy, *Energy Policy* 107, 539-547.
15. IEA, 2016. International Energy Agency. Energy Policies of IEA Countries, Turkey. Accessed September 8, 2018. <https://www.iea.org>.

16. Austvik, O.G., Lembo, C. 2017. EU-Russian gas Trade and the Shortcomings of International Law, *Journal of World Trade* 4, 645-674.
17. BOTAS, 2016. Petroleum Pipeline Company, Gas Supply Contracts. Accessed September 3, 2018. <http://www.botas.gov.tr/>
18. EMRA, 2016. Energy Market Regulatory Authority, Annual report. Accessed September 7, 2018. <http://www.enerji.gov.tr/>
19. Elder, M., 2009. Behind the Russia-Ukraine gas conflict, *Business Week*. Accessed September 6, 2018. <http://www.businessweek.com.tr/>
20. GAZPROM, 2016. Public Joint Stock Company. Accessed September 29, 2018. www.gazprom.com
21. Younkyoo, K., Stephen, B., 2015. The New Great Game of Caspian Energy in 2013-14: 'Turk Stream', Russia and Turkey, *Journal of Balkan and Near Eastern Studies* 18, 37-55.
22. Tagliapietra, S., 2015. Turkey and the Regional Natural Gas Geopolitics. The "Hub Vision" in Light of the Future Prospects of the Southern Gas Corridor. *Quad. Mediterranean*. 22, 177-184.
23. RTME, 2016. Republic of Turkey Ministry of Economy, Chemical Sector. Accessed September 13, 2018. <https://www.ekonomi.gov.tr/>
24. RTMSIT, 2014. Republic of Turkey Ministry of Science, Industry and Technology, Chemical Sector Report. Accessed September 14, 2018. <https://www.sanayi.gov.tr/>
25. CEFIC, 2016. European Chemical Industry Council, Annual Report. Accessed September 5, 2018. <http://www.cefic.org/>
26. ITC, 2016. International Trade Center, Annual Report. Accessed September 12, 2018. <http://www.intracen.org/>
27. TUPRAŞ, 2017. Turkey Petroleum Refineries Inc., Annual Report. Accessed October 2, 2018. <https://www.tupras.com.tr/>
28. SOCAR, the State Oil Company of the Azerbaijan Republic, Annual Report. Accessed September 15, 2018. <http://www.socar.az/socar/en/home>
29. BİST, 2016. (Borsa İstanbul), Annual Report.
30. Kearney, A.T., 2015. Ceyhan specialized energy zone report, Adana Chamber of Industry.

Süt Endüstrisi Atıksularının Yukarı Akışlı Anaerobik/Aktif Çamur Reaktörleri ile Arıtılabilirlik Çalışması

Şevket TULUN*¹

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray

Geliş tarihi: 19.03.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada süt endüstrisi atıksularını yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör (UASB) ve aktif çamur reaktör sistemleri kullanılarak altı aylık süre boyunca arıtım verimleri incelenmiştir. Arıtılabilirlik çalışmalarında atıksular önce UASB reaktöre sonra aktif çamur reaktör sistemlerine verilmiştir. Her bir reaktör ve sistemden çıkan sular için 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), toplam organik karbon (TOK) ve askıda katı madde (AKM) parametreleri incelenmiştir. Çıkış atıksuyunda BOİ₅, TOK ve AKM parametrelerinde elde edilen arıtma verimleri sırasıyla %99,33, %94,55 ve %89,23 olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde süt endüstrisi atıksularının UASB ve aktif çamur reaktörleri ile etkin bir şekilde arıtılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Süt endüstrisi atıksuları, Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör, Aktif çamur reaktör

Treatment of Dairy Industry Wastewater Using Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket/Activated Sludge Reactors

Abstract

In this study, the treatment efficiencies of the dairy wastewater were investigated by using up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) and activated sludge reactor systems for six months. In treatability studies, wastewaters were first given to the UASB reactor and then to activated sludge reactor systems. 5-day biochemical oxygen demand (BOD₅), total organic carbon (TOC) and suspended solids (SS) removal efficiencies were investigated for each reactor and system effluent. The effluent yields obtained from BOD₅, TOC and SS parameters were 99.33%, 94.55% and 89.23%, respectively. When the results were evaluated, it was determined that the wastewater from the dairy industry could be effectively treated with UASB and activated sludge reactors.

Keywords: Dairy industry wastewater, Up-flow anaerobic sludge blanket reactor, Activated sludge reactor

*Sorumlu (Başlıca) yazar (Corresponding author): Şevket TULUN, sevkettulun@gmail.com

1. GİRİŞ

Endüstrilerde üretilen atıksu miktarı su kullanımının yanı sıra sanayi tipine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Birçok ülkede süt ve süt ürünlerine olan talebin sürekli artması süt endüstrisinin hızlı bir şekilde büyümesine neden olmuştur [1]. Süt endüstrisi tüm dünyadaki en büyük sanayilerinden biridir [2]. Süt endüstrisi birçok ülkede gıda işleme atıksularının büyük bir kısmının kaynağı olarak kabul edilir. Sular; temizlik, sanitasyon, ısıtma, soğutma ve zemin temizliği dahil olmak üzere süt endüstrisinde tüm adımlarında kullanılır [3,4]. Üretilen atıksu miktarı işlenen 1 L süt başına 0,2-10 L aralığında olduğu tahmin edilmektedir [5]. Süt endüstrisinde, özellikle laktoz, protein ve süttten oluşan yağlar olmak üzere farklı özellikte atıksular oluşur. Bu atıksular arıtım yapılmadan deşarj edildiğinde hem ötrifikasyona hem de nütrient kaybına neden olur [6,7]. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi pek çok ülkenin kanunlarında atıksularda bulunan besinlerin deşarjına yönelik kısıtlayıcı önlemler almıştır [8].

Bu nedenle süt atıksuları atık su deşarj standartlarını (AB Direktifi 2000/60/EC) karşılaması gerekmektedir [9]. Süt endüstrisi atıksuları elde edilecek ürünün türüne bağlı olarak, kullanılacak ekipman ve süreçlere bağlı olarak atıksu özelliği değişiklik gösterir [10,11]. Bu nedenle uygun bir arıtma tesisi tasarlanması amacıyla süt endüstrisi için özel koşulların göz önünde bulundurulması gerekmektedir [10,12]. Atıksuları yüksek besin maddeleri ve organik maddeler ile karakterize edilir [13,14]. pH'ı son ürüne bağlı olmakla beraber 6,6-12,2 aralığında değişebilir [15].

Süt endüstrisi atıksuları aerobik teknolojiler ile arıtımı sınırlıdır. Sınırlı olmasının temel nedeni, yüksek organik yükleri, oksijen tedariki için fazla enerji gereksinimleri, oksijen aktarımındaki sorunlar, fazla çamur oluşumu ve oluşan çamurun katılaştırılmasında ve kalınlaşmasındaki zorluklardır [16,17]. Ancak biyolojik arıtım yöntemleri dezavantajlarına rağmen kullanımı yaygındır [18].

Biyolojik arıtım yöntemlerinin yanı sıra membran [19], adsorpsiyon [20], koagülasyon-flokülasyon

[21] ve elektrokimyasal [22] arıtımları içeren fiziksel-kimyasal arıtımlar kullanılmaktadır [23]. Bu yöntemlerin en önemli dezavantajları arasında ilave reaktif maliyeti ve düşük organik madde giderimi bulunmaktadır. Havalandırılmalı lagünler su kalitesinde dalgalanmalara ve fazla alan ihtiyacından, anaerobik lagünler ise H₂S gibi kötü koku oluşturmalarından [24] dolayı her sistemin ayrı ayrı kullanılması fizibil olmamaktadır.

Süt endüstrisi atıksularının arıtımında en çok kullanılan yöntemler biyolojik arıtım yöntemler olması ve yüksek verimlerde giderim elde edilmesinin yanında yukarıda bahsedilen dezavantajlarını azaltıcı önlemler alınması gerekmektedir.

Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörler (UASB) yaklaşık 20 yıldır süt endüstrisi atıksularının arıtımında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Geçmiş yıllarda süt endüstrisi atıksuları ile birçok çalışma yapılmıştır. Peynir atıksularının laboratuvar ölçekli UASB reaktörleri ile 6 günlük hidrolik bekleme süresi sonucunda giriş kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerine bağlı olarak %85 ile %99 arasında giderim verimleri elde edildiği rapor edilmiştir [25].

Süt ve evsel atıksuların kombinasyonundan oluşan atıksuların arıtılması için anaerobik sistem ve aerobik sistem birlikte kullanılmıştır. 26 saatlik hidrolik bekleme süresi (24 saati yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör, 2 saat aktif çamur için) sonunda toplam KOİ değerinin %98,9, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) değerinin %99,6'lık kısmı giderilmiştir [26]. Aerobik biyoreaktörler süt endüstrisi atıksuları için KOİ, toplam fosfor (TP) ve toplam azot (TN) konsantrasyonlarının azaltımına yönelik bir ön işlemdir [27].

Bu çalışma da süt endüstrisinden temin edilen atıksuların UASB reaktör ve aktif çamur reaktörlerinin bir araya getirilmesi sonucu oluşan kombine sistem kullanılarak süt endüstrisi atıksularının toplam organik karbon (TOK), BOİ₅ ve askıda katı madde (AKM) giderim verimleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

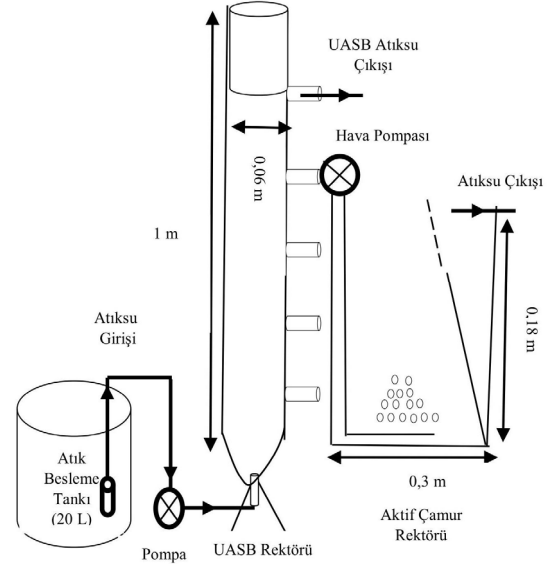
Çalışmada kullanılan atıksu örneği Aksaray İli'nde faaliyet gösteren süt ve süt ürünleri üretimi yapan bir fabrikadan haftalık olarak alınmıştır. Alınan örnekler +4 °C'de saklanarak 20 L'lik besleme tanklarına konulmuş ve tasarlanan arıtma sistemine pompa yardımıyla iletilmiştir. Kullanılan atıksuyun karakterizasyonu Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Ham atıksuyun karakterizasyonu

Parametre	Ölçüm Sayısı (n)	Birim	Ortalama Sonuç (Xort)	Standart Sapma Değeri (σ)
pH	24	-	6,76	0,27
Sıcaklık	24	°C	25,1	0,2
İletkenlik	24	µs/cm	3950	25
BOİ ₅	24	mg/L	2363	103
AKM	24	mg/L	3310	285
TOK	24	mg/L	1370	87

Laboratuvar ortamı 25±1 °C'de klima yardımıyla sabit tutulmuştur. UASB reaktörün beslemesi, otomatik ayarlanabilir pompa yardımı ile 20 L besleme tankında bulunan atıksu ile sağlanmıştır. UASB reaktör paslanmaz çelikten yapılmış, 0,06 m çapında 1 m yüksekliğinde, 2 L hacim sahip olup kullanılabilir hacmi 1,75 L'dir. USAB reaktörden çıkan atıksular 0,07×0,18×0,3 m boyutlarında, 1,5 L hacmi havalandırma bölmesinden, 0,65 L çökeltme bölmesinden oluşan aktif çamur reaktörüne verilmiştir. Havalandırma bölümü ile çökeltme bölgesi delikli bir plaka yardımıyla ayrılmıştır. Aktif çamur reaktörü, 8 saat hidrolik alıkonma süresi ve 18 gün çamur alıkonma süresinden işletilmiştir. Reaktörde havalandırma havzasında yeterli oksijen (>2 mg/L) hava pompası kullanılarak oluşturulmuştur. Çökeltmiş çamurun havalandırma havuzuna geçişi çamur geri dönüşüm oranı (r) 1 sabitlenmesi şartıyla tabanda bulunan 2 cm açıklıktan sağlanmıştır. Reaktör ortalama 1600 mg MLVSS/L mikroorganizma konsantrasyonunda işletilmiştir. Artılabilirlik

çalışmalarının yapıldığı deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

2.2. Analiz Yöntemleri

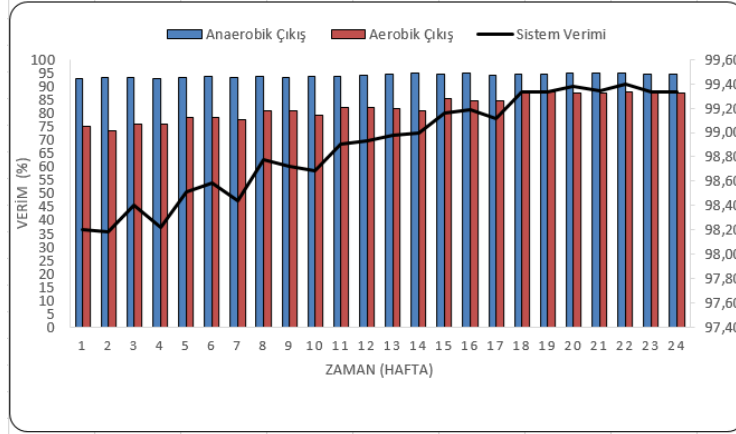
pH, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık ölçümleri dijital iyon analizi yapan (Hach, HQ440d) cihazı kullanılmıştır. Atıksu numunelerinde TOK ile toplam azot (TA) miktarı Shimadzu marka ve TOC-VCPN/TNM-1 modeli TOK-TA cihazıyla belirlenmiştir. 5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅) oksitop (WTW) ölçüm yöntemine göre yapılmıştır [31]. Atıksu numunelerindeki AKM 0,45 µm gözenek çapındaki filtrelerden süzülerek gravimetrik olarak tespit edilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar 3 tekrarlı ve doğrulamalı olarak yapılmıştır. Sonuçlar arasında %10'luk fark oluşması durumunda çalışmalar tekrarlanmıştır. Çalışmalarda kullanılan tüm kimyasallar %99,9 analitik saflıktadır.

3. BULGULAR

3.1. 5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Giderim Verimleri

Süt endüstrisi atıksularının önce UASB reaktörlerine daha sonra aktif çamur reaktörüne

verilmesi sonucu her bir reaktör çıkışında elde edilen BOİ₅ giderim verimleri ile sistemin tamamında elde edilen giderim verimleri Şekil 2’de verilmiştir.



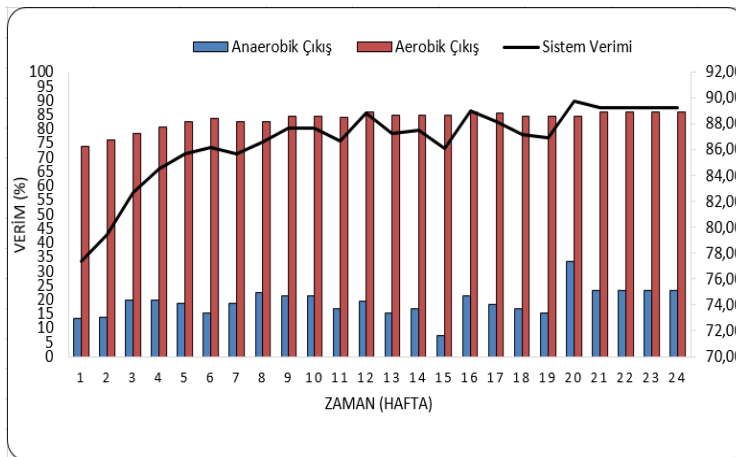
Şekil 2. BOİ₅ giderim verimleri

Şekil 2’de görüldüğü gibi UASB reaktöre de BOİ₅ giderim verimleri %92,00’in üzerindedir. Ham atıksuyun BOİ₅ değeri 2363±103 mg/L seviyelerindeyken 24 haftalık işletme süresi sonunda UASB reaktör çıkışında 120 mg/L’ye düşmüştür ve %94,67’lik giderim verimi elde edilmiştir. UASB çıkış suyu aktif çamur reaktörüne verildiğinde belirlenen işletme süresi sonunda %87,5’lik arıtım verimi elde edilmiştir. Aktif çamur reaktörüne gelen organik yükün büyük bir kısmı UASB reaktöründe giderilmesinden dolayı aktif çamur reaktörüne gelen atıksuyun organik yükü azalmış ve buna bağlı olarak aktif çamur

reaktöründe verim artmıştır. Sistemin genel giderim verimi ise %99,33 olarak belirlenmiştir. İlk 17 hafta işletme sürelerinde giderim verimi kademeli olarak artmış daha sonraki işletme sürelerinde ise giderim verimlerinde fazla bir artış olmamıştır.

3.2. Askıda Katı Madde Giderim Verimleri

Benzer şartlar altında hem her bir reaktör çıkışlarında askıda katı madde giderimleri hem de sistem sonunda elde edilen giderim verimleri Şekil 3’de verilmiştir.



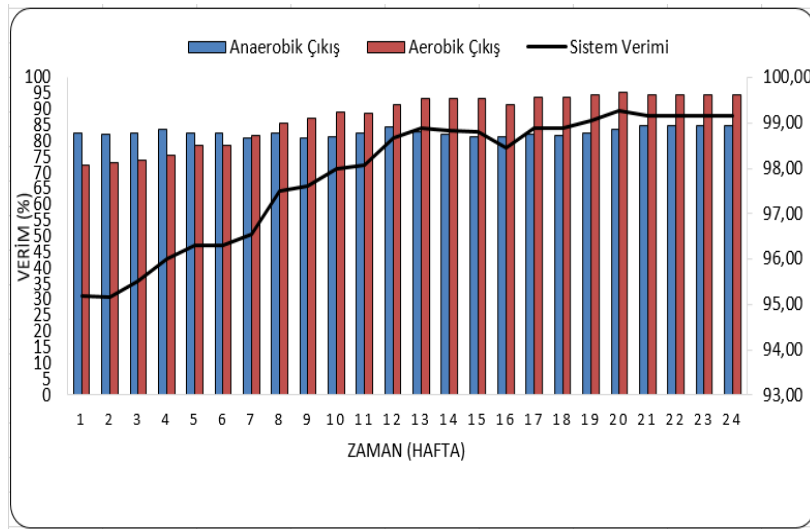
Şekil 3. AKM giderim verimleri

UASB reaktör çıkışında AKM giderim verimleri en yüksek %23,08 bulunmuştur. AKM giderim verimlerinin düşük olmasının ana nedeni UASB reaktörden katı madde kaçıdır. Reaktör içerisinde çökeltme özelliğindeki zayıf çamurlar reaktörden yıkanarak çıkmıştır. UASB reaktöründen çıkan atıksular aktif çamur sistemine verilmesi sonucu AKM giderim verimleri belirlenen işletme süresi sonunda %86,00 olarak belirlenmiştir. Aktif çamur sisteminde yüksek verim elde edilmesi çökeltme

bölümünün verimliliğinin göstergesidir. Sisteminin genel AKM giderim verimi %89,23 olduğu tespit edilmiştir.

3.3. Toplam Organik Karbon Giderim Verimleri

Laboratuvar şartlarında süt endüstrisi atıksularının toplam organik karbon (TOK) giderim verimlerine her bir reaktörün etkisi ve sistemin genel etkisi Şekil 4' te verilmiştir.



Şekil 4. TOK giderim verimleri

UASB reaktör çıkış suyunda TOK 220 mg/L ölçülmüştür. Yaklaşık %84,83'lük giderim verimi sağlanmıştır. Giderim veriminin yüksek olması UASB reaktörü içerisinde bulunan çamur ile atıksu arasında optimum temas süresi sağlanmış olmasıdır. Yüksek organik madde konsantrasyonuna sahip süt endüstrisi atıksularının reaktör içerisindeki temas süresi artırım verimi açısından önemlidir. UASB reaktörü çıkış suyunda organik yükü ciddi miktarda azalan atıksuyun aktif çamur reaktörü çıkış suyunda TOK 12 mg/L'ye düşmüştür. Belirlenen işletme süresi sonunda sistem geneli giderim verimi %94,55'dir.

4. SONUÇLAR

Birçok endüstriyel faaliyetlerde olduğu gibi süt endüstrisinde de üretimi yöntemine bağlı olarak

farklı karakterizasyonlarına sahip atıksu oluşmaktadır. Oluşan atıksu genellikle yüksek organik madden, fazla miktarda yağdan ve katı maddelerden oluşur. Bu özelliğe sahip atıksuların arıtılması oldukça zordur. Bu çalışmada UASB reaktörü ile birlikte aktif çamur reaktöründen oluşan arıtma sisteminin KOİ, BOİ₅ ve AKM giderim verimleri hem reaktörler bazında hem de arıtma sistemi bazından ayrı ayrı incelenmiştir.

BOİ₅ ve TOK parametreleri belirlenen işletme süreleri sonunda UASB reaktör çıkış suyunda sırasıyla %94,67, %84,83 giderim verimleri elde edilmiştir. Giderim verimlerine bakılarak UASB reaktörün tek başına yeterli olduğu görülmektedir. AKM parametresi üzerinde UASB reaktörün etkisi oldukça az olduğu belirlenmiştir. Bunun temel nedeni reaktörden katı madde kaçıdır. Aktif çamur reaktöründe AKM giderim verimi %86,00 olarak

belirlenmiştir. Çökeltme haznesinden savaklanan suda yapılan bu analiz çökeltmenin istenilen ölçüde gerçekleştirildiğinin göstergesidir.

Süt endüstrisi atıksularının arıtılabilirliğinin yapıldığı bu çalışmada sistem bütününde BOİ₅, TOK ve AKM parametrelerinde elde edilen arıtma verimleri sırasıyla %99,33, %94,55 ve %89,23 olduğu belirlenmiştir. Süt endüstrisi atıksularının yapısında organik (karbon bazlı) maddeler bulunmaktadır. Organik yabancı maddeler çok çeşitli kaynaklardan gelebilir. Bu maddelerin biyolojik arıtımları neticesinde BOİ₅ verimleri daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Atıksuyun yapısında plastik, yapıştırıcı bazlı organik ürünler bulunmasına bağlı olarak TOK giderim verimleri daha düşük olmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde süt endüstrisi atıksularının UASB ve aktif çamur reaktörleri ile etkin bir şekilde arıtılabileceği belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Adulkar, T.V., Rathod, V.K., 2014. Ultrasound Assisted Enzymatic Pre-treatment of High Fat Content Dairy Wastewater, *Ultrasonics Sonochemistry* 21, 1083-1089.
2. Sarkar, B., Chakrabarti, P.P., Vijaykumar, A., Kale, V., 2006. Wastewater Treatment in Dairy Industries-possibility of Reuse. *Desalination* 195(1-3), 1-306.
3. Farizoglu, B., Uzun, S., 2011. The Investigation of Dairy Industry Wastewater Treatment in a Biological High Performance Membrane System. *Biochemical Engineering Journal* 57, 46-54.
4. Kumar, S., Gupta, N., Pakshirajan K., 2015. Simultaneous Lipid Production and Dairy Wastewater Treatment Using *Rhodococcus Opacus* in a Batch Bioreactor for Potential Biodiesel Application. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3, 1630-1636.
5. Perle, M., Kimchie, S., Shelef, G., 1995. Some Biochemical Aspects of the Anaerobic Degradation of Dairy Wastewater. *Water Resources* 29, 1549-1554.
6. Chen, Z., Luo, J., Chen, X., Hang X., Shen, F., Wan, Y., 2016. Fully Recycling Dairy Wastewater by an Integrated Isoelectric Precipitation-nanofiltration-anaerobic Fermentation Process. *Chemical Engineering Journal* 283, 476-485.
7. Tocchi, C., Federici, E., Fidaati, L., Manzi, R., Vinciguerra, V., Petruccioli, M., 2012. Aerobic Treatment of Dairy Wastewater in an Industrial Three-reactor plant: Effect of Aeration Regime on Performances and on Protozoan and Bacterial Communities. *Water Research* 46, 3334-3344.
8. Vidal, G., Carvalho, A., Méndez, R., Lema, J.M., 2000. Influence of the Content in Fats and Proteins on the Anaerobic Biodegradability of Dairy Wastewaters. *Bioresource Technology* 74, 231-239.
9. Passeggi, M., López, I., Borzacconi, L., 2012. Modified UASB Reactor for Dairy Industry Wastewater: Performance Indicators and Comparison with the Traditional Approach. *Journal of Cleaner Production* 26, 90-94.
10. Demirel, B., Yenigun, O., Onay, T. 2005. Anaerobic Treatment of Dairy Wastewaters: a Review. *Process Biochemistry* 40, 2583-259.
11. Perle, M., Kimchie, S., Shelef, G., 1995. Some Biochemical Aspects of the Anaerobic Degradation of Dairy Wastewater. *Water Research* 29(6), 1549-1554.
12. Andrade, L.H., Mendes, F.D.S., Espindola, J.C., Amaral, M.C.S., 2014. Nanofiltration as Tertiary Treatment for the Reuse of Dairy Wastewater Treated by Membrane Bioreactor. *Separation and Purification Technology* 126, 21-29.
13. Wolicka, D., 2008. Biotransformation of Phosphogypsum in Wastewaters from the Dairy Industry. *Bioresource Technology* 99, 5666-5672.
14. Bhatia, M., Goyal, D., 2014. Analyzing Remediation Potential of Wastewater Through Wetland Plants: A Review. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 33, 9-27.
15. Rilo, M.S., Coimbra, N.R., Villacorta, M.J., Otero, M., 2015. Treatment of Dairy Industry Wastewater by Oxygen Injection: Performance and Outlay Parameters from the Full Scale Implementation. *Journal of Cleaner Production* 86, 15-23.

16. Turan, M., 2004. Influence of Filtration Conditions on the Performance of Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes in Dairy Wastewater Treatment. *Desalination* 170, 83-90.
17. Sarkar, B., Chakrabarti, P.P., Vijaykumar, A., Kale, V., 2006. Wastewater Treatment in Dairy industries-possibility of Reuse. *Desalination* 195, 141-152.
18. Rivas, J., Prazeres, A.R., Carvalho, F., Beltran, F., 2010. Treatment of Cheese Whey Wastewater: Combined Coagulation-flocculation and Aerobic Biodegradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58, 7871-7877.
19. Guven, G., Perendeci, A., Tanyolac, A., 2008. Electrochemical Treatment of Deproteinated Whey Wastewater and Optimization of Treatment Conditions with Response surface Methodology. *Journal of Hazardous Materials* 157, 69-78.
20. Karadag, D., Koroğlu, E.O., Ozkaya, B., Cakmakci, M., 2015. A Review on Anaerobic Biofilm Reactors for the Treatment of Dairy Industry Wastewater. *Process Biochemistry* 50, 262-271.
21. Kushwaha, P.J., Srivastava, C.V., Mall, D.I., 2011. An Overview of Various Technologies for the Treatment of Dairy Wastewaters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(5), 442-452.
22. Arvanitoyannis, S.I., Giakoundis, A., 2006. Current Strategies for Dairy Waste Management: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46, 379-390.
23. Benaissa, F., Said, K.H., Mostefa, M.N., 2014. Optimization and Kinetic Modeling of Electrocoagulation Treatment of Dairy Wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 5988-5994.
24. Hoseyni, M.S., Moradi, O., Tahmacebi, S., 2013. Removal of COD from Dairy Wastewater by MWCNTs: Kinetics and Thermodynamics. *Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures* 21, 794-803.
25. Akinbile, O.C., Yusoff, S.M., Zuki, A.A.Z., 2012. Landfill Leachate Treatment Using Sub-surface Flow Constructed Wetland by *Cyperus haspan*. *Waste Management* 32, 1387-1393.
26. Yang, L., Tsai, Y.K., 2007. Treatment of Aged Landfill Leachate by Cascade Constructed Wetland Systems. *Ecology & Hydrobiology* 7(3-4), 353-359.
27. Healy, M.G., Rodgers M., Mulqueen, J., 2007. Treatment of Dairy Wastewater Using Constructed Wetlands and Intermittent Sand Filters. *Bioresource Technology* 98, 2268-2281.
28. Demirel, B., Yenigun, O., Onay, T.T., 2005. Anaerobic Treatment of Dairy Wastewaters: A Review. *Process Biochemistry* 40, 2583-2595.
29. Tawfik, A., Sobhey, M., Badawy, M., 2008. Treatment of a Combined Dairy and Domestic Wastewater in an Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor Followed by Activated Sludge (AS System). *Desalination* 227, 167-177.
30. Heaven, W.M., Wild, K., Souza, D.D., Nahid, A., Tull, D., Watkins, M., Hannah, M., Nash, D., 2012. Physicochemical Properties and Trace Organic Compounds in a Dairy Processor's Aerobic Bioreactor. *Bioresource Technology* 124, 119-128.
31. APHA (American Public Health Association) (2012). American Water Works Association (AWWA) & Water Environment Federation (WEF). *Standard methods for the examination of water & wastewater*, 22nd ed.

Development of a Test Apparatus for Estimation of Friction Parameters at Linear Pneumatic Cylinders

Mustafa DAĞDELEN*¹, Mehmet İteriş SARIGEÇİLİ¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 05.08.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Abstract

Pneumatic cylinders possess non-linear characteristics due to the air-compressibility and stick-slip in cylinder barrel. Friction characteristics in pneumatic cylinders is one of the main non-linearity that negatively affects the precise control. To be able to use these actuator systems in high level control applications, their friction force models should be developed. Hence, unknown friction parameters should be estimated correctly since the friction parameters of pneumatic cylinders are not listed in the manufacturers' catalogue and these parameters cannot be calculated by only analytical methods. For that reason, in this study, a test apparatus is designed and experimental procedures are developed for the estimation of the friction parameters of linear pneumatic cylinders as in the form of static friction force, Coulomb friction force, Stribeck velocity and viscous damping coefficient.

Keywords: Friction force parameters, Pneumatic cylinder, Test apparatus

Lineer Pnömatik Silindirlerin Sürtünme Parametrelerinin Değerlendirilmesi için Bir Test Düzeneginin Geliştirilmesi

Öz

Pnömatik silindirler havanın sıkışabilirliğinden ve silindir bloğunda meydana gelen yapışma-kayma olaylarından dolayı lineer olmayan özelliklere sahiptirler. Pnömatik silindirlerdeki sürtünme karakteristiği hassas kontrol işlemlerini olumsuz yönde etkileyen lineer olmayan ana özelliktir. Bu tahrik sistemlerini yüksek seviye kontrol uygulamalarında kullanabilmek için, sürtünme kuvveti modellerinin geliştirilmesi gerekir. Pnömatik silindirlerin sürtünme parametreleri üretici kataloglarında belirtilmediğinden ve sadece analitik yollarla saptanamayacakları için bilinmeyen sürtünme parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Bu sebepten dolayı, bu çalışmada, bir test düzenegi tasarlanmış ve pnömatik silindirlerin sürtünme parametrelerinin statik sürtünme kuvveti, Coulomb sürtünme kuvveti, Stribeck hızı ve viskoz sönümleme katsayısı formatında tahmin edilmesi için deneysel adımlar geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme kuvveti parametreleri, Pnömatik silindir, Test düzenegi

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa DAĞDELEN, mdagdelen@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Pneumatic actuation systems are widely preferred, clean and soft actuation elements due to their remarkable properties of light weightness, high power to weight ratio, easy maintenance and low cost. However, these actuation systems have also nonlinearities and disadvantages due to the air compressibility and stick-slip phenomenon that takes place at the surfaces between cylinder barrel and piston seals. The friction forces affect the control performance of pneumatic cylinders and these forces are highlighted as the main non-linearity reason in the literature [1-5].

In industrial applications, pneumatic cylinders can directly be selected based on the required stroke (L) and bore diameter (D) since pneumatic systems are generally used for basic on-off control applications. However, in order to utilize these outstanding actuators in high level control applications, stroke length and bore diameter alone remain meaningless at this stage since dynamic characteristics as in the form of mass moment of inertia and friction force of any used actuator have a strong impact on the control process. Therefore, the aim of this study is to develop an experimental apparatus which is easy to use, cheaper and that can be used in obtaining the parameters of friction force at a particular pneumatic linear actuator.

The friction force model to be used in mechanical systems should be chosen based on the type of application and the level of required control. In general friction force models in the literature can be divided into two categories: model of gross sliding phenomenon or advanced model of sliding phenomenon. For the models of the gross sliding phenomenon in friction, Coulomb model [6,7], combined Coulomb-Viscous model [8] and combined Static-Stribeck-Coulomb-Viscous friction model [9,10] can be listed. In addition to these standard friction models, more advanced friction models as LuGre model [11], modified LuGre model [12,13], Dahl model [14], Elastoplastic model [15], Leuven model [16], Karnopp model [17], Generalized Maxwell Slip model [18] which also take into account pre-sliding phenomenon can be shown. Hence, the models in the second category are very

complex models and include many parameters to be defined clearly. If a pneumatic actuator is utilized in medium to high speeds, there is no need to use these complex friction models. The models in the first category are pretty satisfactory which is also the focus of this study.

In the literature, the basic equation of friction force for pneumatic cylinders is given as (Eq. 1).

$$F_f = \mu * P * A \quad (1)$$

However, this mathematical expression is too simple and far from defining the requisite precise dynamic model. In this equation, μ is the friction coefficient (ranges between 0.02 and 0.20 as stated in [2]), P is the pneumatic working pressure and A is the piston effective area.

In the literature, there are various types of experimental studies for identifying friction parameters of pneumatic cylinders. Schroeder et al. [19] proposed an experimental method for evaluating several empirical and semi-empirical friction force models. By gathering experimental data, they chose the friction model which suited best to the pneumatic friction with minimum amount of error. Belforte et al. [20] developed an experimental setup to evaluate the friction force in pneumatic cylinders under varying operating conditions (i.e. working pressure, piston speed and bore diameter of cylinder). However, their setup includes complicated and expensive equipment including hydraulic circuit elements to produce required force and speed on pneumatic cylinder motion. Wang et al. [1] suggested a combination of experimental and analytical method by using Genetic Algorithm (GA) for predicting the friction parameters as in the form of static friction, Coulomb friction and viscous coefficient. They carried out the experiments for both directions of movement in pneumatic cylinders and estimated the average friction force values. In addition to these studies, combined Static-Coulomb-Stribeck-Viscous friction model was intended to be used by Andrighetto et al. [2]. In that study, two different kinds of experimental setup were constructed and eight pneumatic cylinders having different stroke length and bore diameter were examined. The

friction force parameters were tabulated with the help of curve fitting programs. A simple and cheap experimental setup which was manually operated for determining only coulomb friction force and viscous damping coefficient was proposed in [21].

Tran et al. [22] developed an experimental setup based on their own modified LuGre friction model for investigating the dynamic friction behaviors of pneumatic cylinders at low and high speed with varying working pressures. Their setup includes hydraulic elements as in Belforte et al. [18]. Ritcher et al. [23] proposed improved LuGre model for the estimation of friction parameters with the help of “nlinfit” function from MATLAB software. Kosari et al. [3] proposed RLS algorithm to estimate friction force parameters. Lafmejani et al. [4], proposed the friction force parameters in the form of exponential, polynomial and Fourier series transform functions.

Another interesting solution was proposed by Saleem et al. [5] by utilizing mixed-reality environment technique. The proposed algorithm consisted of both real and virtual environments. The data were taken from the real environment (experimental setup) and fed into the virtual environment to estimate friction parameters.

The currently available experimental methods in the literature for the estimation of friction force parameters in a pneumatic cylinder have generally complex and expensive equipment where it is either difficult to collect correct data or it is time consuming process to obtain the required parameters. Hence, in this study, an efficient and cheap experimental setup with minimum number of elements are developed. In order to retrieve correct instant data to a computer, the experimental setup consists of a control card, servo control valve and two-way relay as well as the necessary sensors as in the form of linear potentiometer and pressure sensors.

2. MATERIAL AND METHOD

In this study, the friction force in pneumatic cylinder is based on the combined Static-

Coulomb-Stribeck-Viscous friction model [9,10] as given in (Eq. 2) and illustrated in Figure 1:

$$F_f = F_c + (F_s - F_c) * e^{-\left(\frac{\dot{x}}{\dot{x}_s}\right)^j} + B * \dot{x} \quad (2)$$

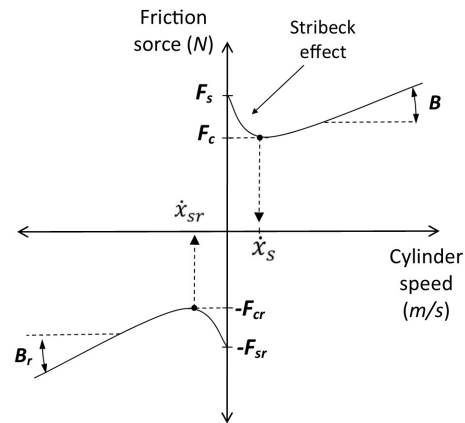


Figure 1. Combined Static-Coulomb-Stribeck-Viscous friction model

In this model (Eq. 2), F_f is the friction force; F_c is the coulomb friction force; F_s is the maximum static friction force for impending motion; \dot{x}_s is the Stribeck velocity showing the Stribeck effect on static friction and Coulomb friction; and B is the viscous friction coefficient in extension motion of piston rod. For retraction motion analysis, “r” index is added to the subscripts (as F_{sr} , F_{cr} , \dot{x}_{sr} and B_r , respectively) since these values can be different for two motion directions. In Eq. 2, j is a constant which assumes a value between 0.5 and 2. [2].

A schematic representation of a pneumatic cylinder and forces acting on the system together with other related parameters are shown in Figure 2. In the figure, pressures and effective areas in “chamber a” and “chamber b” are represented clearly. External mass M_e is shown for the generalization of the procedures. The mass (M_p) and cross-sectional area (A_p) of the piston rod are also identified.

In order to determine the parameters of Eq. 2, Newton’s second law is utilized for the net force (F_{net}) acting on the system as stated in Eq. 3:

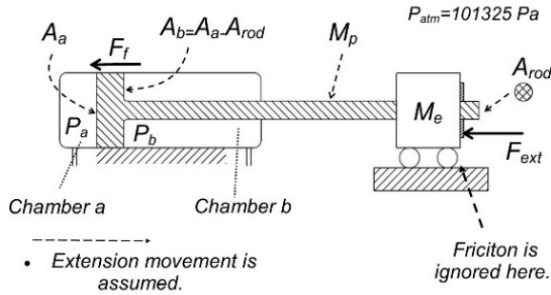


Figure 2. Symbolic representation of a pneumatic cylinder and related parameters

$$F_{net} = M \ddot{x} \quad (3)$$

In the right side of Eq. 3, M is the sum of moving masses (i.e. piston-rod mass (M_p) and payload mass (M_e)) but in our study there is no external mass. In the proposed method, the system is run at constant speed values in each experiment which results that net forces should be equal to zero. On the other hand, the net force of Eq. 3 can be restated as in Eq. 4:

$$F_{net} = F_{cyl} - F_f + F_{ext} \quad (4)$$

In this equation, F_{ext} is the applied external force to pneumatic cylinder rod and it is zero for the proposed method ($F_{ext} = 0$). F_{cyl} is the net produced pneumatic force due to the pressure difference in “chamber a” and “chamber b” as defined in Eq. 5:

$$F_{cyl} = P_a * A_a - P_b * A_b - P_{atm} * A_{rod} \quad (5)$$

In Eq. 5, P_a and P_b correspond to the absolute pressure in “chamber a” and “chamber b”, respectively. A_a and A_b are the net pressure acting areas in respective chambers as shown in Figure 2. P_{atm} is the atmospheric pressure that act on the cross-sectional area (A_{rod}) of the cylinder rod.

Finally, from Eqs. 3 and 4 with zero acceleration and no external load, it can be easily concluded that F_{cyl} should be equal to the friction force. By rearranging the equations, the friction force definition can be restated as in Eq. 6:

$$F_f = P_a * A_a - P_b * A_b - P_{atm} * A_{rod} \quad (6)$$

3. EXPERIMENTAL SETUP AND MEASUREMENT TECHNIQUE

Experimental setup consists of a pneumatic system and an electronic system for data acquisition and control. These two systems will be discussed separately. The pneumatic system (shown in Figure 3) includes (i.) an air source compressor, (ii.) a manually adjustable pressure valve, (iii.) a 5/3 open center special pneumatic directional control valve, (iv.-v.) two one-way air flow control valves, (vi.) a linear standard pneumatic cylinder.

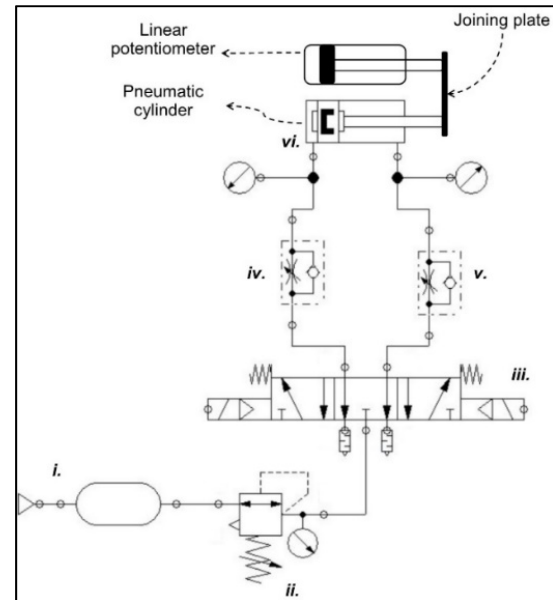


Figure 3. Schematic representation of pneumatic system

On the other hand, the electronic system (shown in Figure 4) consists of two Arduino microcontroller cards, a linear potentiometer for position measurement, two analogue output pressure sensors for reading pressure values in chambers, a relay card to control directional control valve and two buttons to move pneumatic cylinder in the required movement directions. Microcontroller no.1 is responsible for only the movement control of pneumatic cylinder. For this reason, a push button for extension and another push button for retraction movement of the pneumatic cylinder are connected to this microcontroller. Microcontroller

no.2 is utilized for data recording during experiments. Linear potentiometer reads the position data of the piston rod. The two pressure sensors at the inlet and outlet ports of the pneumatic cylinder are also connected to this microcontroller card. Hence, all the collected data

(position & pressure) are sent to computer to be processed in MATLAB Simulink software. The whole experimental setup is also shown in Figure 5.

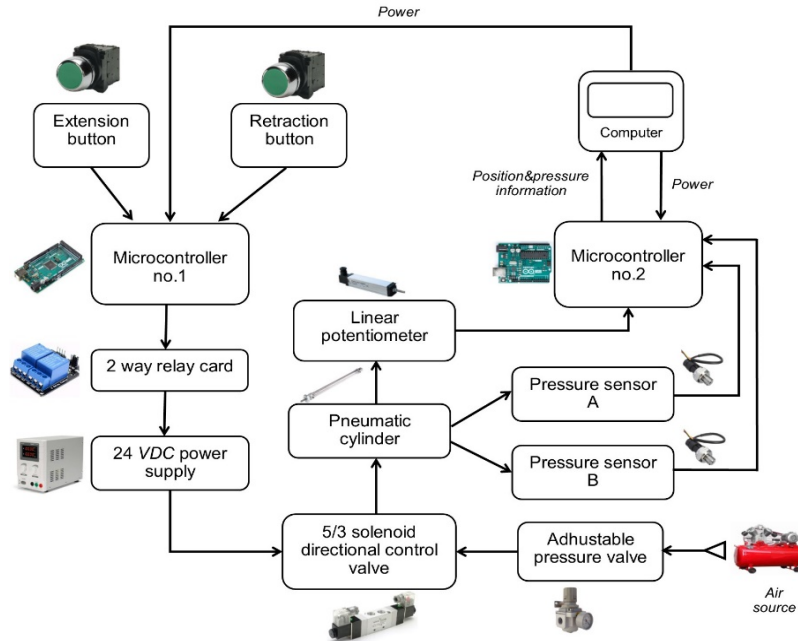


Figure 4. Complete system block representation

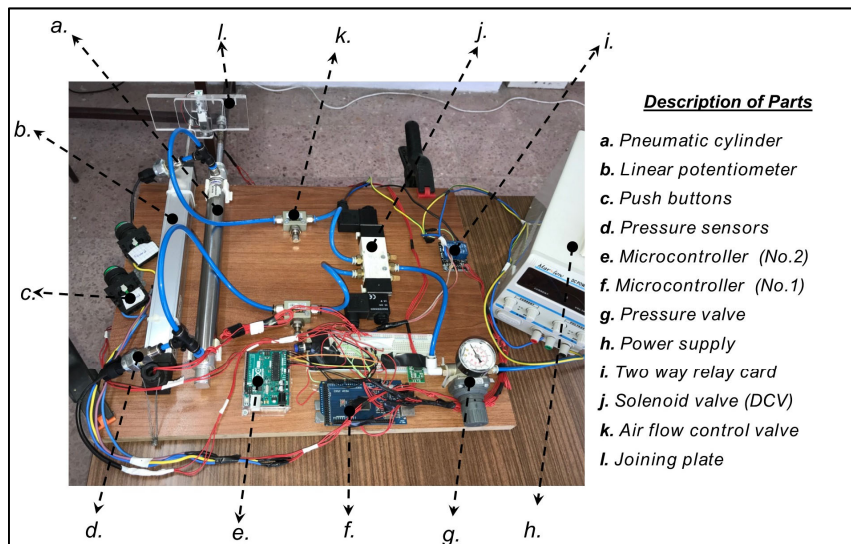


Figure 5. Experimental setup

The collected data from each experiment are evaluated in MATLAB Simulink. Hence, a block diagram (shown in Figure 6) is developed for the processing of the collected data. According to the block diagram, chamber pressures and piston rod position data are inputs. First, the piston speed is derived from the position data and the friction force value is calculated with respect to Eq. 6 as outputs.

4. PROCEDURES OF EXPERIMENTS

The identification of parameters in Eq. 2 requires two sets of experiments. In the first experiment set, the maximum static friction (F_s) has to be determined. In the second set, the friction force (F_f) values should be determined for various speeds of piston rod. Then, a curve fitting can be applied to precisely determine the unknown parameters.

4.1. Procedures for the First Experiment

The following procedures are developed for identification of static friction force in extension and retraction movements of a pneumatic cylinder.

1. Both air flow control valves are set to fully open.
2. Pressure control valve is set to 0 bar gauge pressure.
3. Extension button is pushed and hold in that position.
4. The air pressure is gradually increased from the pressure control valve.
5. As soon as a motion is observed from the screen, the experiment is stopped.
6. The maximum net force value which corresponds to the static friction value in extension movement direction is recorded from the screen.
7. Experiments should be repeated at least 15 times.

An example experiment output is illustrated in Figure 7 for clarification of the procedures. It should also be noted that the retraction experiments have exactly the same procedures

except that in the third step the retraction button should be pushed.

4.2. Procedures for the Second Experiment

The following procedures are developed for identification of friction force values under various speeds in extension and retraction movements of a pneumatic cylinder.

1. The pressure regulating valve is set to 5 bar.
2. The air flow control valves are adjusted to certain positions creating a specific constant piston speed.
3. Extension button is pushed and hold in that position.
4. The pneumatic cylinder is extended till end position at a constant speed.
5. The position and pressure data are collected.
6. The average of the net force from start to end of piston motion is recorded as net force. An example experiment output for net force is shown in Figure 8.
7. The average of the piston speed from start to end of piston motion is recorded as constant speed. An example experiment output for piston speed is shown in Figure 9.
8. The net force (F_f) and corresponding constant speed values are recorded.
9. Experiments should be repeated at least 15 times.

It should be reminded that the retraction experiments have exactly the same procedures except that in the third step the retraction button should be pushed.

5. EXPERIMENTAL RESULTS

The developed procedures are applied on an available pneumatic cylinder for the identification of its friction force model. The technical specifications of used linear pneumatic cylinder, linear potentiometer, pressure sensors, pressure regulating valve, microcontrollers and PC are tabulated in Table 1. By following the first set of procedures, static friction force for both extension and retraction movements (F_s and F_{sr} , respectively) are determined for

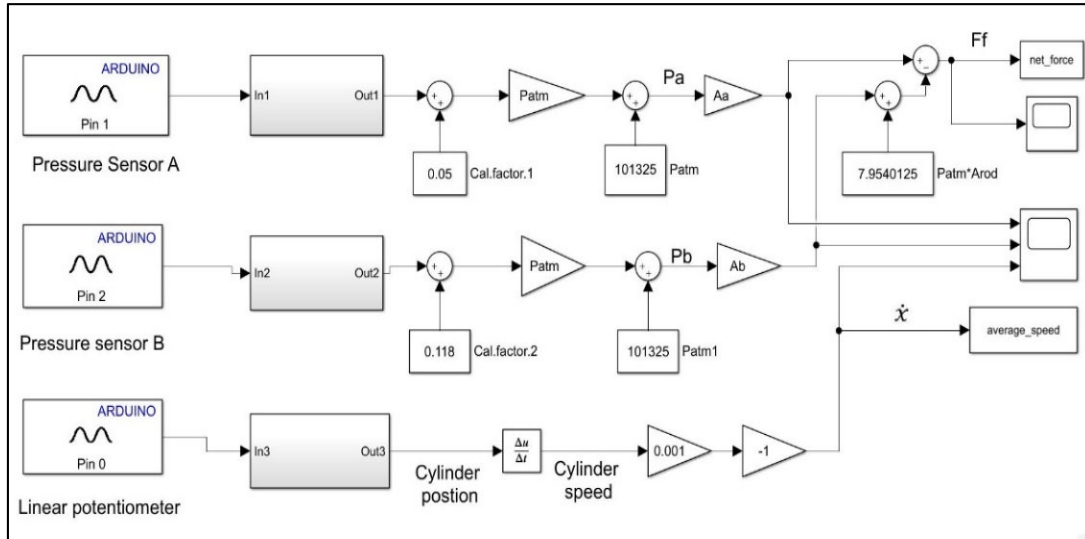


Figure 6. MATLAB Simulink block diagram

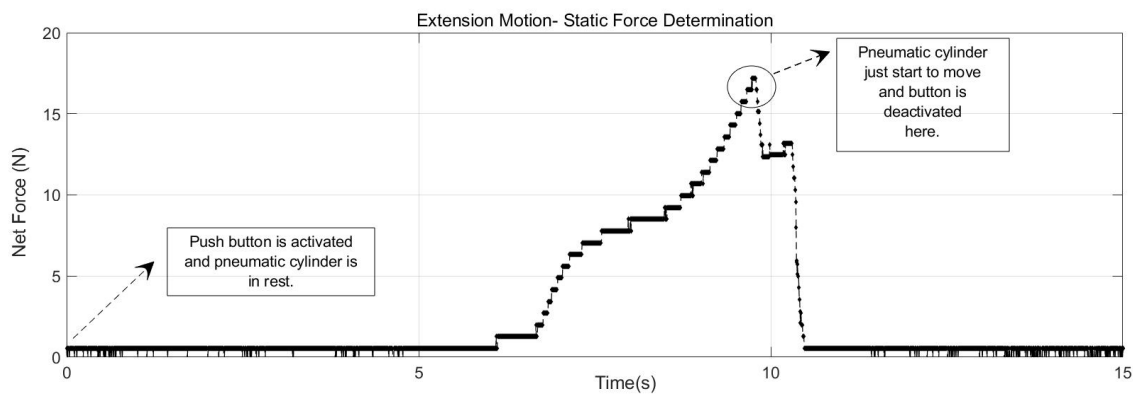


Figure 7. MATLAB Simulink net force output for first experiment

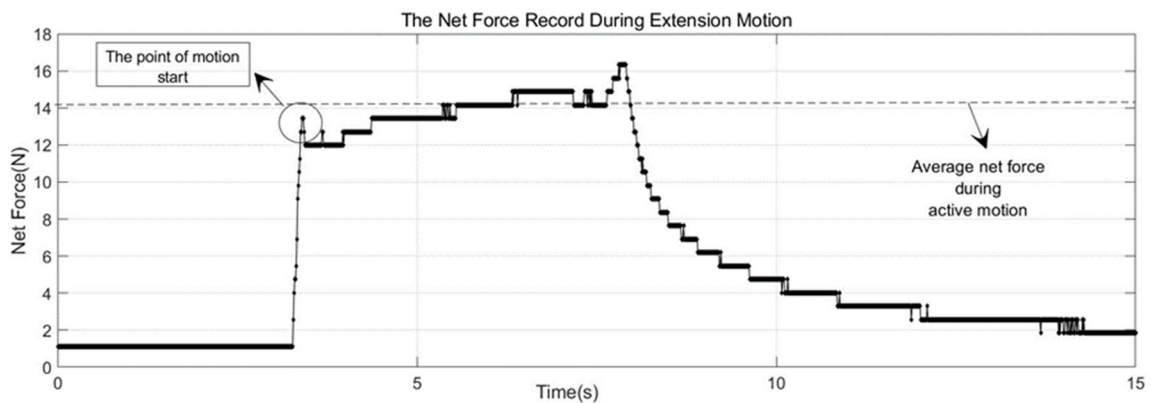


Figure 8. MATLAB Simulink net force output for second experiment

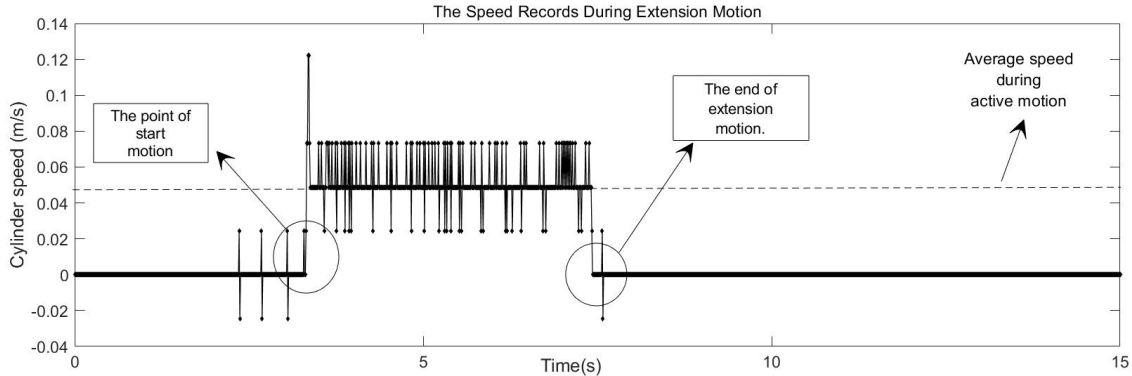


Figure 9. MATLAB Simulink speed output for second experiment

fifteen times as listed in Table 2. From the second set of procedures, friction force values for extension movement are obtained for various piston speeds and tabulated in Table 3. The same experiments are repeated for retraction movement and the corresponding values are given in Table 4.

The static friction force values (F_s) in Eq. 2 for extension and retraction are found by averaging the fifteen values in Table 2 as shown in the last row. These values are recorded as $F_s = 13.35\text{ N}$ and $F_{sr} = -11.08\text{ N}$. Then, a curve fitting operation is applied by utilizing the values in Table 3 for extension movement for obtaining the other parameters of Eq. 2 and the results are represented in Figure 10. Therefore, F_c , \dot{x}_s and the viscous friction coefficient are calculated as 8.6560 N , 0.001 m/s and 16.290 Ns/m , respectively, for extension. On the other hand, the result for retraction movements slightly differed from extension type one. By utilizing the values in Table 4 and applying a curve fitting operation, the parameters of friction force for retraction movement is obtained (Figure 10) as follows: $F_{cr} = -4.670\text{ N}$, $\dot{x}_{sr} = -0.032\text{ m/s}$ and the viscous damping coefficient is 35.590 Ns/m .

6. DISCUSSION AND CONCLUSION

The aim of this study is to present a test apparatus for obtaining friction force parameters of linear pneumatic cylinders whose stroke lengths are up to 250 mm (that is restricted by the linear potentiometer capability). The friction

Table 1. Specifications of equipment used in experiments

Experimental Setup Specifications	
Linear Pneumatic Cylinder	$L = 250\text{ mm}$ stroke $D = 25\text{ mm}$ piston diameter $D_{rod} = 10\text{ mm}$ rod diameter Double acting $A_a = 0.000490625\text{ m}^2$ $A_b = 0.00041212\text{ m}^2$ $A_{rod} = 0.0000785\text{ m}^2$
Linear Potentiometer	250 mm stroke 0.01 mm resolution $0\text{-}5\text{ VDC}$ analogue output
Pressure Sensors	$0\text{-}1.2\text{ MPa}$ measuring capacity $0\text{-}5\text{ VDC}$ analogue output Well compatible with Arduino microcontrollers
Pressure Regulating Valve	Max. input pressure = 16 bar Output pressure range = $0.5\text{-}10\text{ bar}$ Max. working temperature = 50°C Manually adjustable
Micro-controllers	Microcontroller no.1-Arduino Mega Microcontroller no.2-Arduino Uno
PC	64bit 2400 CPU 3.10GHz processor

Table 2. Measurement of F_s and F_{sr}

Experiment no	Measured F_s (N)	Measured F_{sr} (N)
1	12.85	-11.58
2	14.90	-10.31
3	14.90	-12.37
4	12.01	-11.03
5	12.73	-12.02
6	12.73	-11.53
7	13.31	-9.82
8	13.20	-12.37
9	12.47	-11.03
10	13.80	-12.37
11	12.47	-10.43
12	14.39	-11.64
13	14.04	-9.93
14	14.04	-9.82
15	12.47	-9.93
Average	13.35	-11.082

force model is based on the combined Static-Coulomb-Stribeck-Viscous friction model. The proposed test apparatus consists of low cost equipment for pneumatic cylinders, low cost sensors and MATLAB software to get the required data and obtain friction parameters easily. The results show very good convergence in the calculation of static friction force (F_s and F_{sr}). Also, the Stribeck effect is observed easily with this proposed setup and from experimental result.

As a conclusion of this study, the friction in pneumatic cylinders cannot be assumed constant and it is shown that they vary with piston speed. Hence, a detailed friction model could be used easily in precise control applications of pneumatic cylinders. It would be also used as a guide for the selection of a pneumatic cylinder for a particular application based on the control requirements. As a future study, the investigation of friction force values through whole stroke length as well as evaluation of friction force under varying operating pressure, bore diameter and lubrication conditions should be performed.

Table 3. Measurement of average speed and friction force - Extension movement

Experiment no	Average Speed (m/s)	Measured F_f (N)
1	0.0091	8.6562
2	0.0230	9.6773
3	0.0289	11.8275
4	0.0515	13.6755
5	0.0515	14.7344
6	0.0801	14.8663
7	0.1158	14.2866
8	0.2003	15.5683
9	0.2487	16.8597
10	0.3069	18.1770
11	0.3345	18.8469
12	0.4305	19.8200
13	0.4797	20.2411
14	0.5741	21.6586
15	0.6335	22.9285

Table 4. Measurement of average speed and friction force - Retraction movement

Experiment no	Average Speed (m/s)	Measured F_f (N)
1	-0.6425	-25.0567
2	-0.5704	-23.3380
3	-0.5101	-21.2896
4	-0.4733	-20.4550
5	-0.4543	-19.8860
6	-0.4485	-18.5383
7	-0.4043	-17.8770
8	-0.3486	-16.1427
9	-0.3063	-15.3400
10	-0.2392	-11.5496
11	-0.2122	-11.3070
12	-0.1551	-8.5537
13	-0.0884	-7.6750
14	-0.0814	-6.5300
15	-0.0326	-4.6699

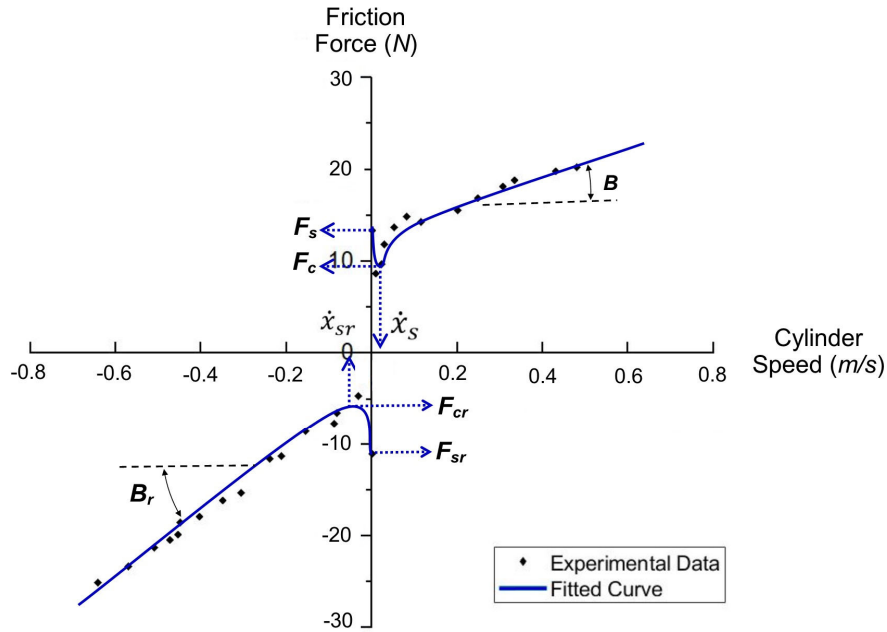


Figure 10. The resultant cylinder speed-friction force graph after experiments and analysis

7. ACKNOWLEDGEMENT

This described project is funded by “ÖYP Coordination” in Çukurova University.

8. REFERENCES

1. Wang, J., Wang, J., Daw, N., Wu, Q., 2004. Identification of Pneumatic Cylinder Friction Parameters Using Genetic Algorithms. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 9(1), 100-107.
2. Andrghetto, P.L., Valdiero, A.C., Carlotto, L., 2006. Study of the Friction Behaviour in Industrial Pneumatic Actuators. *ABCMSymposium Series in Mechatronics*, 2, 369-376.
3. Kosari, H., Moosavian, S.A.A., 2015. Friction Compensation in a Pneumatic Actuator Using Recursive Least Square Algorithm. *5th Australian Control Conference (AUCC)*, 5th-6th Nov., Gold Coast, Australia, 81-86.
4. Lafmejani, A.S., Masouleh, M.T., Kalhor, A., 2016. An Experimental Study on Friction Identification of a Pneumatic Actuator and Dynamic Modelling of a Proportional Valve. *Proceedings of the 4th International Conference on Robotics and Mechatronics*, October 26-28, 166-172. Tehran, Iran.
5. Saleem, A., Wong, C., Pu, J., Moore, P., 2009. Mixed-reality environment for frictional parameters identification in servo-pneumatic system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17(10), 1575-1586.
6. Harnoy, A., Friedland, B., Cohn, S., 2008. Modelling and Measuring Friction Effects. *IEEE Control Systems Magazine*. 28(6), 82-91.
7. Haessig, D.A., Friedland, B., 1990. On the Modeling and Simulation of Friction. *1990 American Control Conference*. doi:10.23919/acc.1990.4790944.
8. Olsson, H., Åström, K., Wit, C.C., Gäfvert, M., Lischinsky, P., 1998. Friction Models and Friction Compensation. *European Journal of Control*, 4(3), 176-195.
9. Liu, Y.F., Li, J., Zhang, Z.M., Hu, X.H., Zhang, W.J., 2015. Experimental Comparison of Five Friction Models on the Same Test-bed of the Micro Stick-slip Motion System. *Mechanical Sciences*, 6(1), 15-28.

10. Armstrong-Helouvry, B., 1993. Stick Slip and Control in Low-speed Motion. IEEE Transactions on Automatic Control, 38(10), 1483-1496.
11. Canudas de Wit, C., Olsson, H., Astrom, K., Lischinsky, P., 1995. A New Model for Control of Systems with Friction. IEEE Transactions on Automatic Control, 40(3), 419-425. doi:10.1109/9.376053.
12. Saha, A., Wahi, P., Wiercigroch, M., Stefański, A., 2016. A Modified LuGre Friction Model for an Accurate Prediction of Friction Force in the Pure Sliding Regime. International Journal of Non-Linear Mechanics, 80, 122-131. doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2015.08.013.
13. Yanada, H., Sekikawa, Y., 2008. Modeling of Dynamic Behaviors of Friction. Mechatronics, 18(7), 330-339 doi:10.1016/j.mechatronics.2008.02.002.
14. Dahl, P.R., 1968. A Solid Friction Model. doi:10.21236/ada041920.
15. Dupont, P., Armstrong, B., Hayward, V., 2000. Elasto-plastic Friction Model: Contact Compliance and Stiction. Proceedings of the 2000 American Control Conference. ACC (IEEE Cat. No.00CH36334). doi:10.1109/acc.2000.876665.
16. Swevers, J., Al-Bender, F., Ganseman, C., Projogo, T., 2000. An Integrated Friction Model Structure with Improved Presliding Behavior for Accurate Friction Compensation. IEEE Transactions on Automatic Control, 45(4), 675-686. doi:10.1109/9.847103.
17. Karnopp, D., 1985. Computer Simulation of Stick-Slip Friction in Mechanical Dynamic Systems. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 107(1), 100. doi:10.1115/1.3140698.
18. Al-Bender, F., Lampaert, V., Swevers, J., 2005. The Generalized Maxwell-slip Model: A Novel Model for Friction Simulation and Compensation. IEEE Transactions on Automatic Control, 50(11), 1883-1887. doi:10.1109/tac.2005.858676.
19. Schroeder, L.E., Singh, R., 1993. Experimental Study on Friction in a Pneumatic Actuator at Constant Velocity. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 115, 575-577.
20. Belforte, G., Mattiazzo, G., Mauro, S., Tokashiki, L.R., 2003. Measurement of Friction Force in Pneumatic Cylinders. Tribotest, 10(1), 33-48. doi:10.1002/tt.3020100104.
21. Dağdelen, M., Sarıgeçili, M.İ., 2019. Estimation of Friction Parameters of Linear Pneumatic Cylinders. Submitted for publication in Journal of Engineering Sciences and Design.
22. Tran, X.B., Yanada, H., 2013. Dynamic Friction Behaviors of Pneumatic Cylinders. Intelligent Control and Automation, 4(2), 180-190. doi:10.4236/ica.2013.42022.
23. Ritcher, R.R.M., Valdiero, A.C., 2014. Friction Dynamics Mathematical Modelling in Special Pneumatic Cylinder. ABCM Symposium Series in Mechatronics, 6, 800-808.

Karbon Nanopartiküllerin Epoksi Yapıştırıcılarda Etkilerinin İncelenmesi

Sinan AYDIN*¹

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sivas

Geliş tarihi: 10.07.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Günümüzde aynı veya farklı türlerdeki malzemelerin birleştirilmesi için kolay uygulanabilme ve ekonomik olmaları nedeniyle yapıştırıcılar oldukça fazla kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ve üretim yöntemleriyle beraber hemen hemen her alan için ihtiyaç duyulan yapıştırıcılar üretilmektedir. Yapıştırıcıların özelliklerinin iyileştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmada, epoksi yapıştırıcıların içerisine karbon nanopartikül eklenerek oluşturulan yapıştırma bağlantılarında nanopartikül oranının pürüzlü yüzeylerdeki yapışma dayanımına etkileri araştırılmıştır. Yapıştırıcılara, yapıştırıcı ağırlığının %0,5 ile %5'i aralığındaki oranlarda nanopartiküller eklenerek deneyler yapılmıştır. Nanopartiküllerin belirli bir orana kadar yapışma dayanımına olumlu etki gösterdiği sonrasında ise bu etkilerinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Nanopartikül, Epoksi yapıştırıcı, Yüzey pürüzlülük

Investigation of Effects of Carbon Nanoparticles on Epoxy Adhesives

Abstract

Nowadays, adhesives are widely used because they are easy to apply and economical for joining the same or different types of materials. With the developing technology and production methods, adhesives needed for almost every field are produced. Efforts are being made to improve the properties of adhesives. In this study, effects of nanoparticle ratio on adhesion strength on rough surfaces were investigated in bonding joints formed by adding carbon nanoparticle into epoxy adhesives. Experiments were carried out by adding nanoparticles in the range of 0.5% to 5% of the adhesive weight. Nanoparticles showed a positive effect on adhesion strength up to a certain rate, and after that, these effects decreased.

Keywords: Nanoparticle, Epoxy adhesive, Surface roughness

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Sinan AYDIN, sinancan@cumhuriyet.edu.tr

1. GİRİŞ

Yapıştırıcılar, aynı veya farklı malzemeden yapılmış yüzeyler arasında bir çeşit köprü görevi yapmaktadır. Yapışma mekanizması, adhezyon ve kohezyon kuvveti olmak üzere iki kuvvete bağlıdır. Adhezyon kuvveti, iki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvveti yani yapıştırıcının yüzeye yapışma kuvvetidir. Kohezyon kuvveti ise yapıştırıcı molekülleri arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan yapıştırıcının iç kuvvetidir [1].

Yapıştırıcılar, birleştirme işlemi sonucunda beklenen mekanik özelliklerin yanı sıra termal ve ısıl özelliklerinde sağlayabilmeleri için tek veya çok bileşenli olarak üretilmektedir. Son zamanlarda nanopartiküllerin belirli oranlarda yapıştırıcılara eklenmesi durumunda bu özelliklerdeki değişimler araştırılmaya başlanmıştır.

Kuang-Ting ve arkadaşları [2], Grafit fiber/epoksi kompozit malzemeleri yapıştırmak için çok duvarlı karbon nanotüplerin farklı ağırlıktaki miktarlarını kullanarak ve kompozit plakalara kayma dayanımı testi uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre kullanılan nanotüp miktarının artırılmasıyla birlikte ortalama kayma dayanımında da artış olduğunu belirtmişlerdir. En yüksek kayma dayanımının ağırlıkça %5 oranında karbon nanotüp kullanılmasıyla elde edildiğini ifade ederek bunun karbon nanotüp ilaveli yapıştırıcı bağlantılarında kompozit fiber grafit yüzeylerinde oluşan hasarlardan kaynaklandığını tespit etmişlerdir.

Panta ve arkadaşları [3], Farklı türlerde nanopartikül katılmış epoksi yapıştırıcılarıyla oluşturulan tekli bindirme bağlantılarında kayma dayanımını ve reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Nanopartikül ilavesi sayesinde epoksinin termal stabilitesinin arttığını ve kayma dayanımının nanopartikül türüne göre %53, %49 ve %46 oranlarında arttığını belirlemişlerdir.

Florian ve arkadaşları [4], tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT), çift duvarlı karbon nanotüp (DWCNT) ve çok duvarlı karbon nanotüp

(MWCNT) kullanılarak oluşturulan epoksi bazlı nano kompozitlerin mekanik özelliklerinin ve yüzey fonksiyonlarının değerlendirilmesini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre ağırlıkça %0,5 oranında çift duvarlı karbon nanotüp (DWCNT) kullanılması ile sertlik artmış ve kırılma tokluğu %43 oranında artış göstermiştir.

Saeed ve Zhan [5], çok duvarlı karbon nanotüp ilaveli (MWCNT) kompozit poliimid filmlerdeki yapıştırıcı dayanımı üzerine yaptıkları çalışmalarında kopma mukavemeti ve elastiklik modülü artışının ağırlıkça yüzde oranı ile arttığını ancak belirli bir kritik değerden sonra azaldığı belirlemişlerdir. Kritik değeri poliimid türüne bağlı olarak %1 ve %0,5 olarak tespit etmişlerdir.

Lanlan ve arkadaşları [6] farklı nanoparçacıkların epoksi yapıştırıcı içerisine farklı oranlarda karıştırılması ile çelik plaka üzerinde oluşturulan bağlantının farklı yüzey pürüzlülük değerlerindeki mukavemetini incelemişlerdir. Çalışmalarında %2 Al₂O₃ nanoparçacık içeren karışımın 150 kumluk zımpara ile parlatılan yüzeylerde elde edilen mukavemet değerinin nanoparçacık kullanılmadığı durumlardakine oranla 5 kat daha fazla çıktığını tespit etmişlerdir.

Gültekin ve arkadaşları [7] Grafen takviyeli epoksi yapıştırıcıda nanoparçacık oranının bağlantıdaki hasar yüküne etkilerini araştırmak için çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında ağırlıkça %0,5-1 ve 2 olmak üzere 3 farklı partikül oranı ve farklı karışım yöntemleri uygulayarak oluşturdukları tek bindirmeli bağlantılarda (single lap joint) deneyler yapmışlardır. En yüksek hasar yükü dayanımını %1 partikül oranında tespit etmişler ve partikül oranının artmasıyla hasar yükünün azaldığını belirtmişlerdir.

Akpınar ve arkadaşları [8], nanoparçacık eklenmiş yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek bindirmeli bağlantılarda çekme ve eğilme momenti hasar yükünü deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında yapıştırılan malzeme olarak kullandıkları karbon fiber kumaş takviyeli kompozit ve AA2024-T3 alüminyum alaşımı sert, esnek yapıştırıcı kullanarak ve içerisine ağırlıkça %1 oranında grafen, karbon nanotüp ve fullerene

C60 ekleyerek birleştirmişlerdir. Sonuç olarak yapıştırıcı türü ve nanoparçacık türüne göre hasar yükünün arttığını belirtmişlerdir.

May ve arkadaşları [9] modifiye epoksi/hibrid çözeltili yapışkan içerisindeki nano dolgu maddelerinin yapıştırma bağlantısı üzerindeki etkilerini incelemek için çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ve Al_2O_3 kullanarak çekme ve kayma testleri yapmışlardır. Çalışmalarında nanoparçacık kullanıldığında bağlantı dayanımının saf epoksiye göre önemli derecede arttığını ifade etmişlerdir.

Wernik ve Meguid [10], karbon nanotüp ile güçlendirilmiş epoksi yapıştırıcının mekanik özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında farklı test yöntemlerini kullanarak farklı oranlarda nanotüp oranlarında oluşturulan bağlantıların özelliklerini analiz etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre yapıştırma bağlantılarında kritik nanotüp oranının %1.5 olduğunu belirlemişler ve bu değerin aşılması ile özelliklerin azaldığını tespit etmişlerdir.

Razavi ve arkadaşları [11], silika nanoparçacıklar ve çok duvarlı karbon nanotüplerin karıştırılması ile güçlendirilmiş epoksi yapıştırıcının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında ağırlıkça %0,2 %0,5 ve %0,8 olmak üzere 3 farklı partikül oranı kullanmışlardır. Mekanik özelliklerin nanoparçacık eklenmesiyle iyileştiğini ve özellikle %0,8 oranında en yüksek değerleri elde etmişlerdir.

Douba ve arkadaşları [12] Nanopartiküllerin polimer betonun çeliğe bağlanma dayanımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler, Alüminyum Nanopartiküller (Al_2O_3) ve Silica Nanopartikülleri (SNP) etkilerini incelemek için epoksi tabanlı bir Polymer concrete (PC)ye eklemişlerdir. Bağ dayanımını belirlemek için eğimli kayma testleri kullanmışlardır. Çalışmalarında nanopartikül oranını ağırlıkça %0,5, %1 ve %2 olarak kullanmışlardır. Nanopartiküllerin bağ gücünü artırdığını özellikle ANP'lerin bağ gücünü %51 oranında artırdığını tespit etmişlerdir.

Andrew ve arkadaşları [13], Yüksek içsel eksenel ısıl iletkenliklerinden dolayı yeni nesil termal ara yüz malzemesi olarak çok ilgi çeken karbon nanotüp (CNT) dizilerinde oluşan termal sınır direncini incelemişlerdir. Oluşturdukları yeni bir ara yüz sayesinde düşük ısıl direnç ve yüksek mekanik uyumluluğu göstermişlerdir.

Yu ve arkadaşları [14]. Alüminyum plakaları yapıştırmak için karbon nanotüp (CNT) takviyeli epoksi yapıştırıcı geliştirmişler ve bağlantının termal, elektriksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Artırılan nanotüp miktarı ile elektrik iletkenliği ve termal kararlılığın arttığını belirlemişlerdir. Mekanik testlerde ise eğilme dayanımının ve tokluğun arttığını ancak ağırlıkça %1 karbon nanotüp oranından sonra tokluğun azaldığını belirtmişlerdir.

Chena ve arkadaşları [15] karbon nanotüp ile güçlendirilmiş epoksi reçine kompozitlerin tribolojik özelliklerine dispersiyon yönteminin etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında çift asimetrik santrifüj, sonikasyon ve elle karıştırma yöntemlerini kullanarak karşılaştırma yapmışlardır. Ön işlem görmüş parçacıkların sonikatör kullanıldığında aşınarak hasar gördüklerini bu yüzden bu tipteki parçacıklarda sonikatör kullanılmamasını belirtmişlerdir. Çift asimetrik santrifüjün verimli bir şekilde epoksi reçinesi içindeki CNT'leri dağıttığını ürettiği yüksek kesme gerilmesi sayesinde aglomeraları parçalara ayırmak için etkili bir yol olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, epoksi yapıştırıcıların içerisinde nanopartikül eklenerek oluşturulan yapıştırma bağlantılarında nanopartikül oranının pürüzlü yüzeylerdeki yapışma dayanımına etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, öncelikle saf halde iki farklı epoksi yapıştırıcı (Pattex-Selsil) ile ince (#180) ve kalın zımparalanmış (#60) alüminyum levhalar ve dolly yapıştırılmıştır. Daha sonra bu yapıştırıcılara ağırlıkça %0,5-%5 aralığındaki oranlarda 7 nm ve

20 nm çapındaki çok duvarlı karbon nanopartiküller katılarak oluşturulan bağlantıların yapışma dayanımları adhezyon testleri yapılarak incelenmiştir.

Deneylerde kullanılan malzemeler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney malzemeleri a) Pattex b) Selsil c) Alüminyum levha ve dolly d) Karbon nanopartiküller

Yapıştırıcı olarak; epoksi reçine ve bu epoksi reçinelere ait özel sertleştirici aktivatör içeren, çift bileşenli piyasada yaygın olarak kullanılan Pattex ve Selsil adlı iki farklı metal yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcıların teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir

Çizelge 1. Yapıştırıcıların teknik özellikleri

Yapıştırıcı	Pattex	Selsil
Yük taşıma	130 kg/cm ²	250 kg/cm ²
Isı dayanımı (°C)	(-20) - (+120)	(-40) - (+120)
Kürleşme süresi	5 dakika	5 dakika

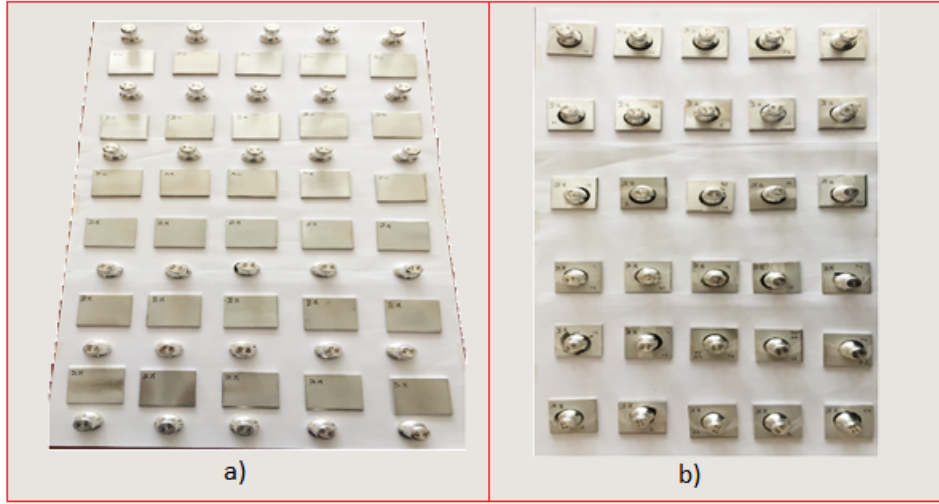
Yapıştırılan malzemeler olarak alüminyum plaka (5005 alaşımında, H14/H24 sertliğinde, çekme dayanımı: 145-185 N/mm², akma dayanımı: 110 N/mm ve boyutları: 40mm x 40mm x 3mm) ve alüminyum dolly (test cihazı çekme parçası) (çap: 20 mm) kullanılmıştır. Nanopartikül olarak iki adet çok duvarlı karbon nanopartikül (renk: siyah, çap: 7 ve 20 nm, saflık: ağırlıkça >%95) kullanılmıştır. Alüminyum levha ve dolly için yapıştırma işleminden önce yüzey hazırlık ve temizleme işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemlerde ilk olarak alüminyum levha C-60 kumlu silikon karpit kalın zımpara (#60) ve C-180 kumlu silikon

karpit ince zımpara (#180) ile pürüzlendirilmiştir. Bu işlemin ardından deney numuneleri, üzerinde bulunan kir, yağ ve toz vs. gibi yabancı maddelerin temizlenmesi için aseton ile yıkama ve durulama yapılmıştır. En son işlem olarak etüv içerisinde 50 °C'de 30 dakika kurutma işlemi yapılarak levhalar ve dolly yapıştırma işlemine hazır hale gelmiştir. (Şekil 2.a)

Nanopartikül katkılı yapıştırıcıların hazırlanması için temiz beher içerisine; yapıştırıcıların birinci bileşeni olan epoksi reçine, reçine ağırlığının %0,5-%5'i oranında nanopartikül ve epoksi reçine ağırlığının iki katı kadar aseton eklenerek ultrasonik karıştırıcıda 30 KHz frekansta 10 dakika karıştırma yapılmıştır. Karışım içindeki asetonun buharlaşması için 30 °C etüv içerisinde bekletilmiştir. Son işlem olarak epoksi reçine ve nanopartikül karışımı üzerine her yapıştırıcının ikinci bileşeni olan sertleştirici eklenerek mekanik karıştırıcıda 5 dakika düşük devirde karıştırma işlemi yapılmıştır. Karıştırma işlemi bittikten sonra her nanopartikül oranı için bu işlemler tekrar tekrar yapılarak deney numuneleri hızlı ve dikkatli bir şekilde yapıştırılmıştır (Şekil 2.b). Yapıştırma direnci, ASTM D 4541 ve ISO 4624 standartlarına

göre Positest Pull-off adhezyon test cihazı ile ölçülmüştür. Ortalama bir değer elde edebilmek için her koşul için 5 numune test edilmiştir [16].

Çalışmada kullanılan cihazlar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Deney numuneleri a) yapıştırma öncesi b) yapıştırma sonrası

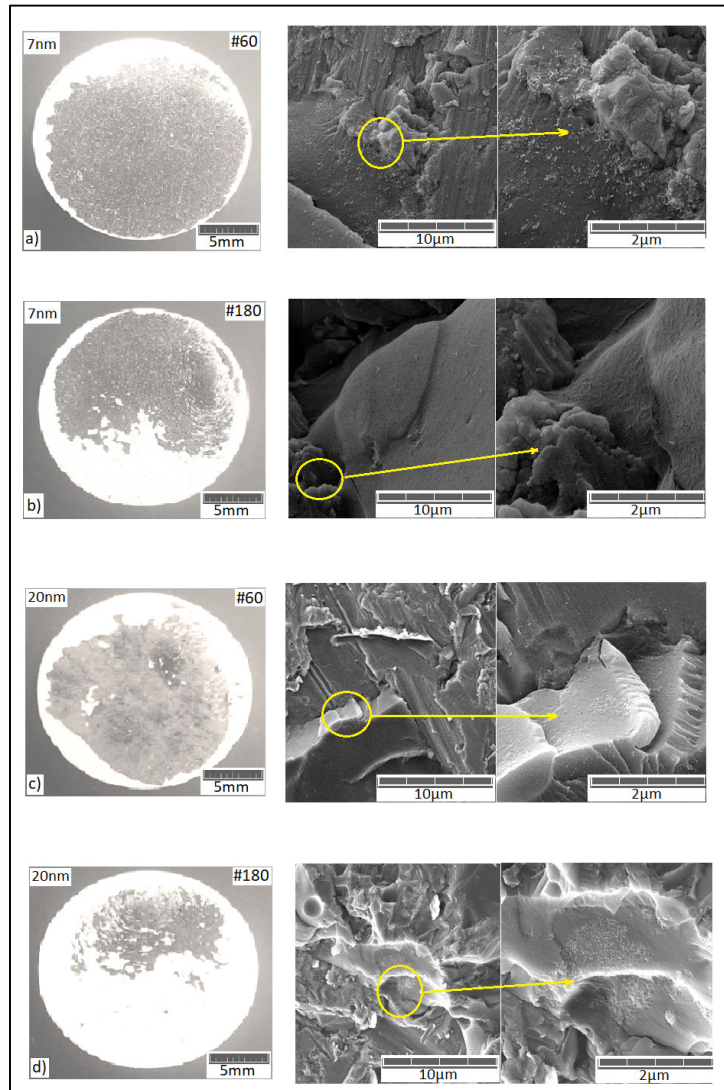


Şekil 3. Deney cihazları a) Hassas terazi b) Mekanik karıştırıcı c) Etüv d) Pull-off test cihazı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 4’de Pattex yapıştırıcısına ait 7 nm ve 20 nm çapında, ağırlıkça %1 oranında nanopartiküllerin katılmasıyla oluşturulan yapıştırma bağlantısının kalın zımpara (#60) ve ince zımpara (#180) ile pürüzlendirilmiş yüzeylerdeki pull-off testi SEM görüntüleri verilmiştir. Şekilde dolly üzerindeki koyu olarak görülen bölgelerde yapıştırma bağlantısı ara yüzeylerinde yapıştırıcı tabakanın

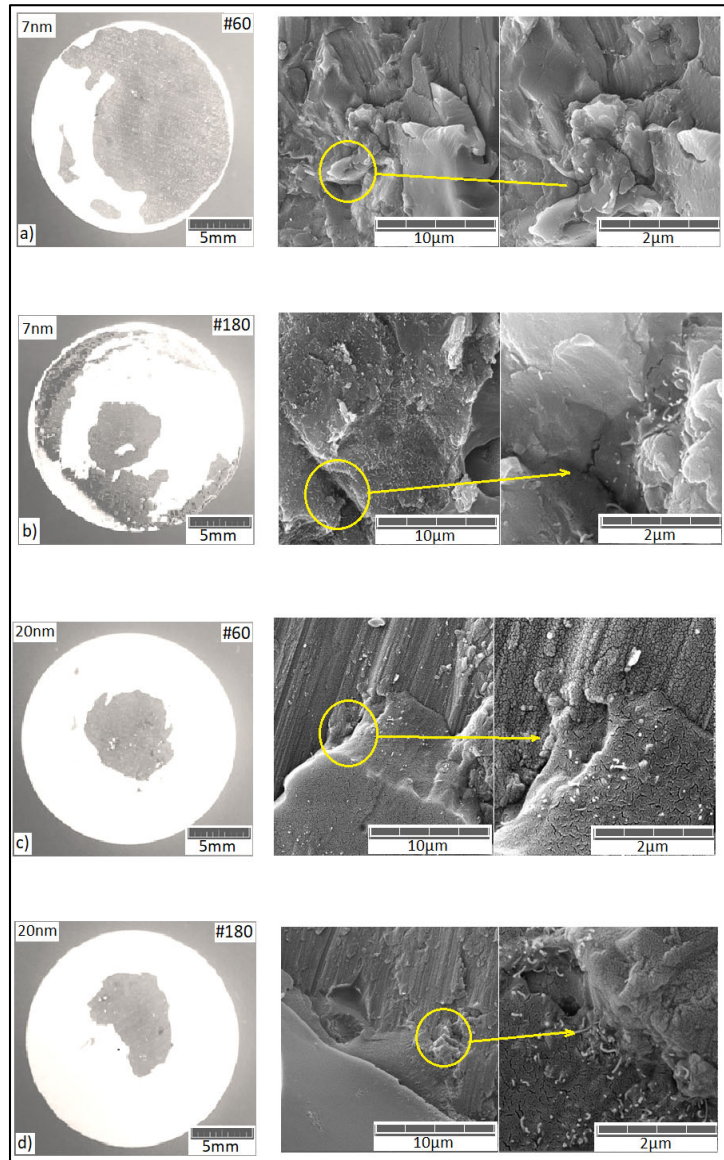
kırılması ile yapıştırıcıda meydana gelen kohezyon hasarı görülmektedir. Kullanılan yapıştırıcının alüminyum levha ve dolly gibi metal yüzeylerden malzeme koparacak kadar güçlü olmaması sebebiyle bu yüzeylerde malzeme kopması sonucu oluşan adhezyon hasarı meydana gelmemiştir. Şekildeki kopma bölgesi detay görüntülerinde ise nanopartiküllerin yapıştırıcı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir.



Şekil 4. Pattex %1 nanopartikül katkılı SEM görüntüleri, a) 7nm - #60 b) 7nm - #180 c) 20nm - #60 d) 20nm - #180

Şekil 5’de Selsil yapıştırıcısına ait 7 nm ve 20 nm çapında, ağırlıkça %1 oranında nanopartiküllerin katılmasıyla oluşturulan yapıştırma bağlantısının kalın zımpara (#60) ve ince zımpara (#180) ile pürüzlendirilmiş yüzeylerdeki pull-off testi SEM görüntüleri verilmiştir. Bu yapıştırıcı kullanıldığında dolly ve alüminyum levha üzerindeki yapışma yüzeyinde yapıştırıcı tabakanın

kırılması ile yapıştırıcıda kohezyon hasarı meydana gelmiştir. Dolly ve levha üzerinden malzeme kopmaması sebebiyle bu yüzeylerde de adhezyon hasarı meydana gelmemiştir. Kopma bölgesi detay görüntülerinde nanopartiküllerin aglomere olmadan yapıştırıcı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir.



Şekil 5. Selsil %1 nanopartikül katkılı SEM görüntüleri, a) 7 nm - #60 b) 7 nm - #180 c) 20 nm - #60 d) 20 nm - #180

Yapıştırıcıların nano partikül eklenmeden (katkısız) ve nanopartikül katılmış durumda oluşturulmuş bağlantılarının adhezyon testleri sonucunda elde edilen yapışma dayanımı değişimleri Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

Pattex yapıştırıcı kullanılması durumunda, (Şekil 6a ve Şekil 6b) katkısız haldeki yapışma mukavemeti; ince zımparalı (#180) yüzeyde 1,62 MPa iken, kalın zımparalı (#60) yüzeyde 2,34 MPa olarak elde edilmiştir. Kalın zımparalı yüzeyde yapıştırıcı iyi bir tutunma sağladığı için yapışma dayanımı ince zımparalı yüzeye göre yüksek çıkmıştır.

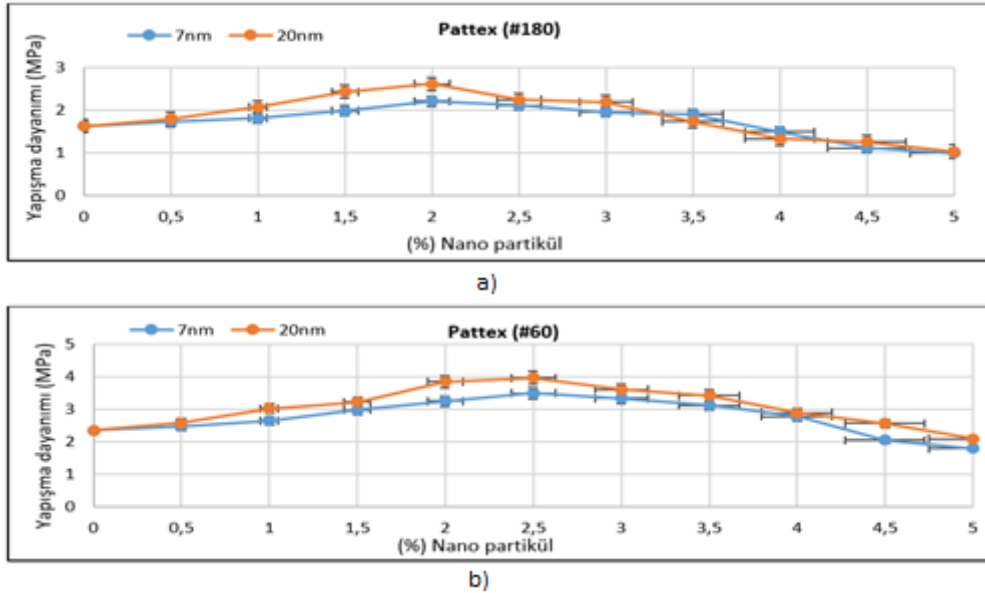
İnce zımparalı (#180) yüzeyde 7 nm çaplı partikül için yapışma dayanımı %2 partikül oranına kadar artış göstererek maksimum değer %2 karışım oranında 2,20 MPa olarak elde edilmiştir. Yapışma dayanımı, nanopartikül eklenmesi ile %36 artmıştır. %2 partikül oranından sonra yapışma dayanımı azalarak %5 nanopartikül oranında katkısız hale göre %39 azalma göstermiştir.

İnce zımparalı (#180) yüzeyde 20 nm çaplı partikül için yapışma dayanımı maksimum değer

%2 karışım oranında 2,61 MPa olarak elde edilmiştir. Yapışma dayanımı, nanopartikül eklenmesi ile %61 artmıştır. %2 oranından sonra yapışma dayanımı azalarak %5 nanopartikül oranında katkısız hale göre %36 azalma göstermiştir.

Kalın zımparalı (#60) yüzeyde 7 nm çaplı partikül için yapışma dayanımı %2,5 partikül oranına kadar artış göstererek maksimum değer %2,5 karışım oranında 3,49 MPa olarak elde edilmiştir. Yapışma dayanımı, nanopartikül eklenmesi ile %49 artmıştır. %2,5 partikül oranından sonra yapışma dayanımı azalarak %5 nanopartikül oranında katkısız hale göre %24 azalma göstermiştir.

Kalın zımparalı (#60) yüzeyde 20 nm çaplı partikül için yapışma dayanımı maksimum değer %2,5 karışım oranında 3,96 MPa olarak elde edilmiştir. Yapışma dayanımı, nanopartikül eklenmesi ile %69 artmıştır. %2,5 oranından sonra yapışma dayanımı azalarak %5 nanopartikül oranında katkısız hale göre %10 azalma göstermiştir.



Şekil 6. Farklı yüzey pürüzlülükleri için nanopartikül oranına bağlı olarak yapışma dayanımının değişimi a) Pattex #180 b) Pattex #60

Selsil yapıştırıcı kullanılması durumunda, (Şekil 7a ve Şekil 7b) katkısız haldeki yapışma mukavemeti; ince zımparalı (#180) yüzeyde 2,79 MPa iken, kalın zımparalı (#60) yüzeyde 3,07 MPa olarak elde edilmiştir. Bu yapıştırıcıda kalın zımparalı yüzeyde yapıştırıcı iyi bir tutunma sağladığı için yapışma dayanımı ince zımparalı yüzeye göre yüksek çıkmıştır.

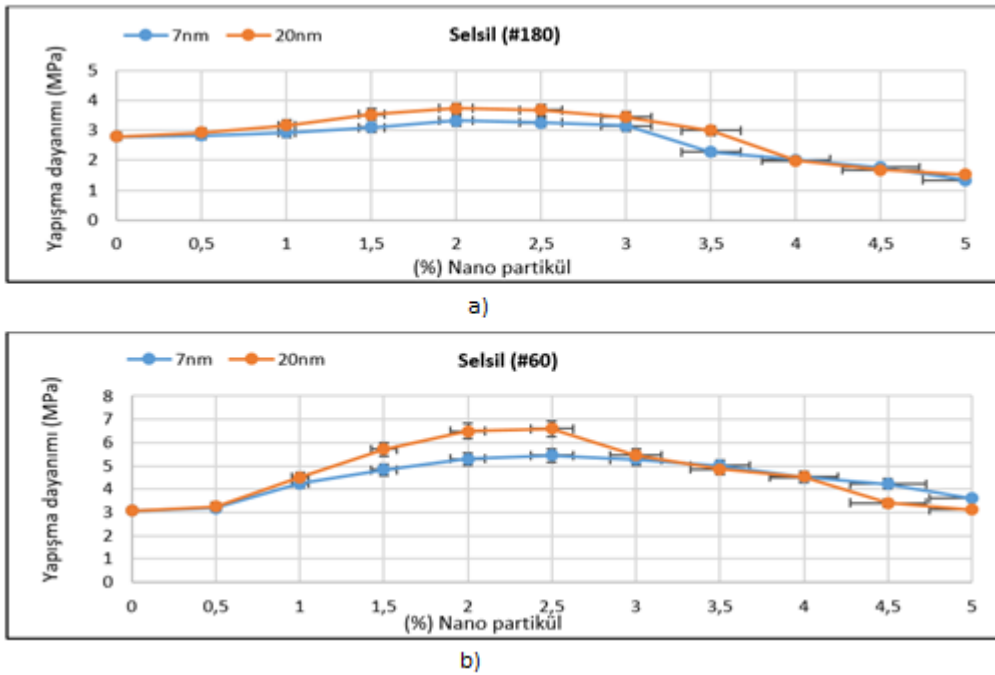
İnce zımparalı (#180) yüzeyde 7 nm çaplı partikül için yapışma dayanımı %2 partikül oranına kadar artış göstererek maksimum değer %2 karışım oranında 3,31 MPa olarak elde edilmiştir. Yapışma dayanımı, nanopartikül eklenmesi ile %18 artmıştır. %2 partikül oranından sonra yapışma dayanımı azalarak %5 nanopartikül oranında katkısız hale göre %52 azalma göstermiştir.

İnce zımparalı (#180) yüzeyde 20 nm çaplı partikül için yapışma dayanımı maksimum değer %2 karışım oranında 3,72 MPa olarak elde edilmiştir. Yapışma dayanımı, nanopartikül

eklenmesi ile %33 artmıştır. %2 oranından sonra yapışma dayanımı azalarak %5 nanopartikül oranında katkısız hale göre %45 azalma göstermiştir.

Kalın zımparalı (#60) yüzeyde 7 nm çaplı partikül için yapışma dayanımı %2,5 partikül oranına kadar artış göstererek maksimum değer %2,5 karışım oranında 5,45 MPa olarak elde edilmiştir. Yapışma dayanımı, nanopartikül eklenmesi ile %77 artmıştır. %2,5 partikül oranından sonra yapışma dayanımı azalarak %5 nanopartikül oranında katkısız hale göre %17 artış göstermiştir.

Kalın zımparalı (#60) yüzeyde 20 nm çaplı partikül için yapışma dayanımı maksimum değer %2,5 karışım oranında 6,61 MPa olarak elde edilmiştir. Yapışma dayanımı, nanopartikül eklenmesi ile %115 artmıştır. %2,5 oranından sonra yapışma dayanımı azalarak %5 nanopartikül oranında katkısız hale göre %1 artış göstermiştir.



Şekil 7. Farklı yüzey pürüzlülükleri için nanopartikül oranına bağlı olarak yapışma dayanımının değişimi
a) Selsil #180 b) Selsil #60

Katkısız ve nanopartikül katkılı yapıştırıcılarla katkısız hale göre yapıştırma dayanımındaki oluşturulan bağlantıların yapışma dayanımları ve % değişim miktarları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Yapıştırıcıların nanopartikül oranlarına göre yapışma dayanımları ve %değişim miktarları

Pattex (#180)																						
Partikül boyutu: 7 nm											Partikül boyutu: 20 nm											
Partikül oranı (%)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Yapışma dayanımı (Mpa)	1,62	1,73	1,81	1,98	2,21	2,11	1,95	1,9	1,49	1,11	0,99	1,62	1,79	2,06	2,42	2,61	2,24	2,18	1,73	1,33	1,25	1,03
Yapışma dayanımı standart sapma: 0,38											Yapışma dayanımı standart sapma: 0,5											
Yapışma dayanımı değişim (%)	0	6	11	22	36	30	20	17	-8	-31	-39	0	10	27	49	61	38	34	6	-17	-22	-36
Pattex (#60)																						
Partikül boyutu: 7 nm											Partikül boyutu: 20 nm											
Partikül oranı (%)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Yapışma dayanımı (Mpa)	2,34	2,47	2,64	2,97	3,25	3,49	3,33	3,11	2,77	2,04	1,79	2,34	2,57	3,02	3,21	3,84	3,96	3,6	3,42	2,89	2,56	2,09
Yapışma dayanımı standart sapma: 0,54											Yapışma dayanımı standart sapma: 0,61											
Yapışma dayanımı değişim (%)	0	5	12	27	38	49	42	32	18	-13	-24	0	9	29	37	64	69	53	46	23	9	-10
Selsil (#180)																						
Partikül boyutu: 7 nm											Partikül boyutu: 20 nm											
Partikül oranı (%)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Yapışma dayanımı (Mpa)	2,79	2,82	2,92	3,09	3,31	3,25	3,14	2,27	2,01	1,77	1,33	2,79	2,93	3,17	3,53	3,72	3,67	3,43	2,99	1,99	1,67	1,53
Yapışma dayanımı standart sapma: 0,66											Yapışma dayanımı standart sapma: 0,78											
Yapışma dayanımı değişim (%)	0	1	4	10	18	16	12	-19	-28	-37	-52	0	5	13	26	33	31	22	7	-28	-40	-45
Selsil (#60)																						
Partikül boyutu: 7 nm											Partikül boyutu: 20 nm											
Partikül oranı (%)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Yapışma dayanımı (Mpa)	3,07	3,19	4,25	4,84	5,30	5,45	5,27	5,01	4,5	4,23	3,61	3,07	3,26	4,51	5,73	6,49	6,61	5,45	4,87	4,53	3,41	3,12
Yapışma dayanımı standart sapma: 0,84											Yapışma dayanımı standart sapma: 1,31											
Yapışma dayanımı değişim (%)	0	3	38	57	72	77	71	63	46	37	17	0	6	46	86	111	115	77	58	47	11	1

4. SONUÇLAR

Çalışmada yüzey pürüzlülüğünün, nanopartikül karışım oranının ve nanopartikül çapının yapışma dayanımına etkileri incelenmiştir. Yapıştırıcı çeşidi, nanopartikül türü ve çapı, uygulanan yüzeyin pürüzlülük durumları gibi birçok

değişkenin olduğu deney şartlarında yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre nanopartiküllerin yapışma dayanımına olumlu ve olumsuz etkileri tespit edilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da yüzey pürüzlülüğü, nanopartikül çapı ve nanopartikül oranının belli bir orana kadar artmasıyla yapışma dayanımı artış göstermiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde yapışma dayanımlarında %2 veya %2,5 nanopartikül oranlarında maksimum seviyeye ulaşılırken bu oranların üzerine çıktığında düşüşler başlamıştır. Bu durum giriş kısmında verilen literatür çalışmalarını da desteklemektedir. %3,5 veya %4 oranlarından sonra nanopartiküllerin olumlu etkisi kaybolurken %5 oranında (1 durum hariç) olumsuz etkiler görülmüş ve yapışma dayanımında katkısız halden daha düşük değerler elde edilmiştir. Bunun sebebinin partikül oranı fazlalığı sebebiyle yapıştırıcı moleküllerinin hem yapışan yüzeylerde hem de kendi içerisinde uygun bağlar oluşturamaması olduğu düşünülmektedir. Yapışma dayanımındaki en yüksek değişim %115 oranında Selsil yapıştırıcısı, kalın zımparalı yüzey, %2,5 partikül oranı ve 20 nm partikül çapında elde edilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından TEKNO-008 proje numarası ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

6. KAYNAKLAR

1. Aydın, S., 2012. Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Prizmatik Geçmeli Bağlantıların Mekanik Analizleri, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
2. Hsiao, K.T., Alms, J., Advani, S.G., 2003. Use of Epoxy/multiwalled Carbon Nanotubes as Adhesives to Join Graphite Fibre Reinforced Polymer Composites. *Nanotechnology* 14, 791-793.
3. Panta, J., Jagannatham, M., Prathap, H., Ram, G.D.J., Deshpande, A.P., Bakshi, S.R., 2016. Effect of Different Carbon Nano-fillers on Rheological Properties and Lap Shear Strength of Epoxy Adhesive Joints *Composites A*, 82, 53-64.
4. Florian, G., Malte, W., Bodo, F., Schulte, K., 2005. Influence of Different Carbon Nanotubes on the Mechanical Properties of Epoxy Matrix Composites-A Comparative Study. *Composites Science and Technology*. 65, 2300-2313. 10.1016/j.compscitech.2005.04.021.
5. Saeed, M.B., Zhan, M.S., 2007. Adhesive Strength of Nano-size Particles Filled Thermoplastic Polyimides. Part-I: Multi-walled Carbon Nano-tubes (MWNT)-polyimide Composite Films, *Int. J. Adhes. Adhes.*, 27, 306-318.
6. Lanlan, Z., Guoping, L., Jian, L., Youwen, W., 2006. The Effect of Nanoparticles on the Adhesion of Epoxy Adhesive, *Materials Letters*, 60, 3031-3033.
7. Gültekin K., Akpınar S., Gürses A., Eroglu Z., Cam S., Akbulut, H., Keskin, Z., Özel, A., 2016. The Effects of Graphene Nanostructure Reinforcement on the Adhesive Method and the Graphene Reinforcement Ratio on the Failure Load in Adhesively Bonded Joints, *Composites Part B*, 98, 362-369.
8. Akpınar, İ.A., Gültekin K., Akpınar, S., Akbulut, H., Özel, A., 2017. Research on Strength of Nanocomposite Adhesively Bonded Composite Joints, *Composites Part B*, 126, 143-152.
9. May, M., Wang, H.M., Akid, R., 2010. Effects of the Addition of Inorganic Nanoparticles on the Adhesive Strength of a Hybridsol-gel Epoxy System, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 30, 505-512.
10. Wernik, J.M., Meguid, S.A., 2014. On the Mechanical Characterization of Carbon Nanotube Reinforced Epoxy Adhesives. *Materials & Design*, 59(0), 19-32.
11. Razavi, S.M.J., Ayatollahi, M.R., Nemati, G.A., Khoramshad, H., 2018. Single Lap Joints Bonded with Structural Adhesives Reinforced with a Mixture of Silica Nanoparticles and Multi Walled Carbon Nanotubes, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 80, 76-86.
12. Douba, A., Genedy, M., Matteo, E.N., Kandil, U.F., Stormont, J., Reda, T.M.M., 2017. The Significance of Nanoparticles on Bond Strength of Polymer Concrete to Steel, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 74, 77-85.
13. Andrew, J., McNamara, Y.J., Zhuomin, M.Z., 2015. Thermal Resistance of Thermal

- Conductive Adhesive Anchored Carbon Nanotubes Interface Material, *Int. J. Thermal Sci.*, 96, 221-226.
14. Suzhu, Y., Tong M.N., Critchlow, G., 2010. Use Of carbon Nanotubes Reinforced Epoxy as Adhesives to Join Aluminum Plates. *Materials and Design*, 31, 126-129.
 15. Chena H., Jacobs O., Wua W., Rudiger G. Schadel B., 2007. Effect of Dispersion Method on Tribological Properties of Carbon Nanotube Reinforced Epoxy Resin Composites. *Polymer Testing* 26, 351–360.
 16. Aydın, S., Fertelli, A., 2018. Nanopartikül ve Yüzey Pürüzlülüğünün Yapışma Mukavemetine Etkilerinin İncelenmesi, *Academic Perspective Procedia*, 1(1), 1164-1170.

Fotokopi Merkezlerinde Uçucu Organik Bileşiklere Maruziyet

Gülnehal KARA*¹

¹Konya Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Konya

Geliş tarihi: 15.01.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Fotokopi makineleri iç ortam hava kalite problemlerine yol açabilmektedir. Laboratuvar ortamında test odasında yapılan çalışmalar fotokopi makinelerinin fotokopi işlemi süresince çok sayıda uçucu organik bileşiği (UOB) yaydığını göstermiştir. Bu çalışmada dört fotokopi merkezinden ve iki dış hava örneğinden alınan alan numuneleri aktif karbon tüplerinde toplanmış ve gaz kromatografisi-kütle spektrometresi kullanılarak NIOSH tarafından geliştirilen standart metoda göre analiz edilmiştir. Fotokopi merkezi 2’de 0,52-35,90 µg/m³ aralığında 18 farklı uçucu organik bileşik belirlenmiştir. Maksimum konsantrasyon 77,59 µg/m³ olarak (toluen, fotokopi merkezi 3) belirlenmiştir. Fotokopi merkezlerinde toplam uçucu organik bileşik maruziyeti 15,76-129,03 µg/m³.gün aralığında tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu organik bileşikler, Hava, İç ortam, Fotokopi merkezi, GC/MS

Exposure to Volatile Organic Compounds in Photocopy Centers

Abstract

Photocopiers have been caused indoor air quality problems. Studies conducted in the laboratory in the test chamber have indicated that several volatile organic compounds (VOCs) emitted during photocopier operation of photocopier machines. In this study, area samples from four photocopy centers and two outdoor air samples in Konya were collected in charcoal tubes and analyzed using gas chromatography-mass spectrometry according to the standard method developed by NIOSH. Eighteen different VOCs were detected in photocopy center 2 and concentrations ranged from 0.52 µg/m³ to 35.90 µg/m³. The maximum concentration was determined as 77.59 µg/m³ (toluene, photocopy center 3). The daily average exposure to TVOC in photocopy centers detected from 15.76-to 129.03 µg/m³.

Keywords: Volatile organic compounds, Air, Indoor, Photocopy center, GC/MS

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Gülnehal KARA, gkara@selcuk.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde kişisel bilgisayarlar, yazıcılar ve fotokopi cihazları ofislerde yaygın halde kullanılmaktadır. Elektronik ekipmanlar, ofislerde işleri kolaylaştırırken aynı zamanda iç ortam havasını da değiştirmektedir. EPA (USA Çevre Koruma Teşkilatı) ofislerde ve fotokopi merkezlerinde oluşan UOB'lerin (uçucu organik bileşiklerin) olumsuz sağlık etkileri yaratabileceğini belirtmiş ve fotokopi makineleri ve ofis ekipmanlarından yayılan emisyon profillerinin araştırılmasını önermiştir. EPA'nın kirlilik engelleme ve ofis ekipmanları üzerine hazırlanmış olduğu raporda kuru-proses fotokopi makinelerinin özellikle uçucu organik bileşiklerin (UOB) önemli kaynağı olduğu belirtilmiştir [1]. Çok sayıda yapılan çalışmada lazer ve mürekkep püskürtmeli yazıcılar, kuru proses fotokopi makineleri, kişisel bilgisayarlar ve diğer ofis malzemelerinden UOB, CO₂, NO₂, NH₃ gazlarının, ozon ve partikül madde (PM₁₀ ve PM_{2.5})'lerin hatta nanopartiküllerin yayıldığı tespit edilmiştir [2-6]. Özellikle kuru proses fotokopi makineleri, fotokopi merkezlerinde potansiyel UOB, ozon ve partikül madde kaynaklarıdır. Bu makinelerde kullanılan farklı markalı toz tonerler ve bu tonerlerin içinde bulunan organik polimerler [7] fotokopi merkezlerinde geniş aralıkta UOB'lerin tespit edilmesinin sorumlusudur [8]. Bu tonerler genelde stiren ve akrilatlar (%55), pigment olarak demiroksitler (%50) ve amorf silika (%3)'dan oluşan reçine içerir. Baskı işlemi süresince presleme veya ısı ile UOB'ler (bazıları toksik veya kanserojenik) kopyalama süresince veya kopyalanan kâğıt üzerinden yayılmaktadırlar [9,10].

Laboratuvar ortamında test odasında Henschel ve arkadaşları [11] tarafından yapılan çalışma, kopyalama işleminde fotokopi makinelerinin içinde ısınan tonerin stiren, ksilenler, etilbenzen, asetofenon, benzaldehid ve diğer birçok benzen türevlerinin salınımına neden olduğunu göstermiştir. Leovic ve arkadaşları [12] tarafından yapılan çalışmada fotokopi cihazlarından yayılan BTEX dahil 23 UOB, Lee ve Hsu [13] tarafından yapılan çalışmada ise BTEX dahil 60 farklı UOB tespit edilmiştir. İnsan sağlığına zararlı etkileri

nedeniyle halojenli organik bileşikler, UOB'ler arasında en az araştırılan ve analizi yapılan bileşik türüdür [14]. Ancak halojenli UOB'lerin özellikle klima veya merkezi havalandırma sistemleri çalışırken veya bakımları esnasında iç ortama sızdıkları bildirilmiştir [15]. Toksik kirleticilere çalışma ofislerinde uzun süre düşük konsantrasyonda maruz kalındığında dahi tehlike yaratmaktadırlar. Hatta Benzen, tetrakloretilen ve trikloroetilen gibi bazı toksik bileşikler kanser riskini artırmaktadır [16]. Fotokopi merkezlerinde yapılan çalışmalarda potansiyel sağlık etkileri nedeniyle genellikle benzen, toluen, etilbenzen, ksilenler ve stiren (BTEX) üzerine yoğunlaşmıştır [14,17]. Benzen ve stiren sırasıyla insanlar için bilinen ve muhtemel kanserojenler olarak sınıflandırılmaktadır [18]. Yapılan çalışmalar UOB veya yarı uçucu organik bileşiklere maruziyet ile baş ağrısı, göz, boğaz ve burun ve ciltte kuruluk ve tahriş, hasta bina sendromu (SBS) ve bina ile ilişkili hastalık (BRI) olarak tanımlanan kronik yorgunluk belirtilerinde artış olduğunu göstermiştir [19-22]. Elango ve arkadaşları [23] fotokopi makinelerinin damar sertliği ve kardiyovasküler hastalık riskinin artmasına neden olduğunu bildirmiştir. Benzen maruziyeti ve lösemi arasında ilişki de belirlenmiştir [24]. Laboratuvar ortamında test odasında 22 farklı UOB karışımına gönüllü kişiler maruz bırakıldığında göz, boğaz ve burun da tahriş hissettiklerini belirtmişlerdir [25].

Bu yüzden fotokopi merkezlerinde uçucu organik bileşiklerin araştırılması ve elde edilen bulgulara göre önlemlerin alınması önemlidir. Fotokopi merkezlerindeki yazıcı ve fotokopi makinelerinde oluşan kirleticilere çalışanların maruz kaldığı konsantrasyon seviyelerini belirlemek oldukça zordur. Çünkü farklı ortam şartları örneğin fotokopi merkezlerindeki hava değişim hızı (odanın hacmi, kapının açık olması), arka plan konsantrasyonu (binanın diğer kısımlarında, dış ortam havasından sızma), diğer emisyon kaynakları (diğer ofis makineleri) ve örnekleyiciye mesafe mesleki maruziyet seviyelerini etkilemektedir. Literatürde fotokopi ile ilişkili UOBs'in araştırıldığı çalışmalar genellikle test odalarında geliştirilmiştir [26-29]. Ancak test odasında yapılan çalışmalar laboratuvar ortamında

kontrollü şartlar altında yapıldığı için alansal araştırma bulguları kadar reel değildir. Bu çalışmada 4 farklı fotokopi merkezinden alan örnekleri ve fotokopi merkezlerinin bulunduğu lokasyonda 2 farklı dış ortam havasından alınan örnekler toplanarak 5 tanesi halojenli toplam 20 farklı uçucu organik bileşikler araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma, Konya'da Selçuk Üniversitesi kampüsü ve kent merkezin deki fotokopi merkezlerinde toplam 30 örnekleme (20 alan ve 10 dış ortam) gerçekleştirilmiştir. Fotokopi merkezlerinden biri hariç (Fotokopi merkezi 4) diğerleri araç trafiğinden uzak konumdadır. Dış ortam etkisini belirlemek amacıyla kampüs içindeki fotokopi merkezlerine eşit mesafede bir örnekleme noktası ile kent merkezindeki fotokopi merkezinin bahçesinde bir örnekleme noktası seçilmiştir. Bu çalışmada araştırılan fotokopi merkezlerinde sıradan iç ortam materyalleri betonarme zemin, boyalı betonarme tavan, boyalı betonarme duvarlar, bir fotokopi merkezi hariç sürgülü

alüminyum çerçeveli cam kapılar kullanıldığı, fotokopi merkezinin kapalı alanında genellikle birkaç ahşap masa ve sandalyelerin bulunduğu gözlenmiştir. Bazı fotokopi merkezlerinde faks makineleri, renkli fotokopi makineleri ve lazer yazıcılar olmasına rağmen nadiren kullanıldığı gözlenmiştir. Bu nedenle, çalışmada tespit edilen kirleticilerin siyah-beyaz fotokopi makinelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Uzun süre bu merkezlerde (10-12 yıl) çalışanlar, genelde fotokopi makinelerinde Polyester resin, wax, Carbon black, styrene acrylate, organik pigment, polyolefin wax, ferrite, petroleum solvent, glycerol, alkyd resin içeren toz toner kullanıldığını belirtmişlerdir. Kişisel şikâyetleri sorgulandığında çalıştıkları ortamda sürekli keskin rahatsız edici kokunun varlığını ve bundan rahatsız olduklarını, çalıştıkları ortamda buldukları zaman zarfında burun ve boğazda yanma hissettiklerini belirtmişlerdir. Her bir fotokopi merkezinin oda boyutları, havalandırma ve giriş tipi, yaklaşık günlük kopyalama sayısı, sıcaklık ve nem değerleri dahil olmak üzere genel özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Araştırılan fotokopi merkezlerinin fiziksel özellikleri

Fotokopi merkezi	Hacim (m ³)	Fotokopi makinesi sayısı	Kopyalama sayısı	Giriş Tipi	Dış ortam kirletici kaynağı	Sıcaklık (°C) ^c	Nem (%) ^d
Fotokopi merkezi (1)	175	5	8000	A	Kampüs içinde (yoldan uzak)	24,5	21
Fotokopi merkezi (2)	225	4	6000	B	Kampüs içinde (yoldan uzak)	24,7	20
Fotokopi merkezi (3)	100	3	8000	B	Kampüs içinde (Orta derece trafik)	24,5	20
Fotokopi merkezi (4)	225	3	5000	A	Kent merkezi (Ağır trafik)	16,6	24

A: Tam açık, B: Yarı açık c: Ort. 8 saat'lik sıcaklık, d: Ort. 8 saat'lik nem

Fotokopi merkezlerinden (4) hariç diğerlerinde havalandırma sistemi mevcut değildi. Bağıl nem ve sıcaklık, her bir kopya merkezinde dijital psikrometre ve termometre kullanılarak ölçülmüştür. Hava örnekleri düşük akışlı SKC 224-PCTX8KV hava örnekleme tüpü ile sertifikalı SKC aktif karbon tüpü (coconut shell charcoal, 100 mg/50 mg) kullanılarak NIOSH tarafından geliştirilen Metot 1501'e [30] göre alınmıştır. Hava örnekleri yer seviyesinden yaklaşık 1,5 m

yukardan 100 ml/dak akış hızı ile 09:00-17:00 zaman diliminde 8 saat süre ile toplanmıştır. Akış hızı, her örneklemeden önce ve sonra SKC akış ölçer ile kontrol edilmiş ve akış hızındaki varyasyon %5'den düşük olarak tespit edilmiştir. Örnekleme işleminden sonra tüpler özel plastik kapaklarla kapatılmış ve plastik çanta içinde soğutucu kaplarla laboratuara getirilmiştir. Analize kadar -101 °C'de derin dondurucuda korunmuştur. Örnekleme süresince konsantrasyon değişimleri 5

blank tüp ile kontrol edilmiştir. Bilinen konsantrasyonda VOCs standardı aktif karbon tüplerine spike yapılmış ve metot geri kazanım değerleri %75-98 aralığında belirlenmiştir. Desorbsiyon işleminden önce aktif karbon tüplerine p-bromoflorobenzen surrogate standardı spike yapılmış ve geri kazanım etkinliği belirlenmiştir.

Aktif karbon tüpünün arka bölümünde ölçülen UOB'ler, toplam konsantrasyonun %5'inden az olarak tespit edilmiş, hedef bileşiklerin örnekleme şartlarında breakthrough olmadığı düşünülmüştür. Örneklerin tamamında her iki bölümde analiz edilmiştir. NIOSH Metot 1501'de belirtilen yöntemeye göre distile karbondisülfid kullanılarak desorbsiyon işlemi gerçekleştirilmiş, solvent faz Chromafil O-45/25 şırınga filtreden geçirilerek

5973 seri MS dedektör ve DB-5 kolon ile donatılmış Agilent 6890 N gaz kromatografisine enjekte edilmiştir. UOBs'in GC-MS sistemi için LOD ve LOQ değerleri 1 ng/µL konsantrasyonundaki standart çözeltinin optimum GC-MS şartlarındaki enjeksiyonu sonucunda elde edilen her bileşiğe ait S/N oranı değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. LOD (Dedeksiyon limiti), LOQ (Kantifikasyon limiti), lineer aralık, lineerlik (R²), RSD (Relatif standart sapma) olarak tekrarlanabilirlik, Doğruluk PSN değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. 1-klorooktan ve 1-klorooktadekan'dan oluşan internal mix enjeksiyon kontrol standardı olarak kullanılmıştır.

Dış ortam ve fotokopi merkezlerindeki alan örnekleme sonuçları Çizelge 3'de sunulmuştur.

Çizelge 2. UOB'ler için GC-MS sistemi ile elde edilen LOD, LOQ, lineer aralık, PSN, R², %RSD değerleri

Bileşikler	GC-MS					
	LOD	LOQ	Lineer Aralık ng µL ⁻¹	PSN (%)	R ²	RSD
ng m ⁻³						
Benzen	1,567	5,218	0,001-10	98	0,990	1,299
Toluen	1,675	5,577	0,001-10	99	0,996	2,605
1,2 Dibromoetan	15,879	52,877	1-10	100	0,999	7,792
Etilbenzen	1,681	5,597	0,001-10	96	0,997	2,605
m/p Ksilen	0,439	1,461	0,001-10	96	1,000	4,895
Stiren	3,215	10,705	0,01-10	100	0,998	7,415
o-ksilen	1,006	3,349	0,001-10	99	1,000	2,792
İsopropilbenzen	2,432	8,098	0,01-10	100	0,999	2,177
bromobenzen	2,235	7,451	0,01-10	100	1,000	5,181
npropilbenzen	2,635	8,774	0,01-10	100	0,999	3,447
m-p etil toluen	1,687	5,617	0,001-10	100	0,999	5,030
o-etiltoluen	2,569	8,562	0,01-10	96	0,998	4,012
1,3,5 Trimetilbenzen	1,689	5,629	0,001-10	100	1,000	1,561
1,2,4 Trimetilbenzen	1,670	5,566	0,001-10	100	1,000	1,761
1,3 Diklorobenzen	2,456	8,178	0,01-10	100	0,998	2,215
1,4 Diklorobenzen	2,460	8,191	0,01-10	100	0,996	2,341
1,2,3 Trimetilbenzen	2,026	6,753	0,01-10	100	1,000	2,214
1,2 Diklorobenzen	2,512	8,364	0,01-10	100	0,996	2,612
1,2 Dibromo (3) kloropropan	18,712	62,310	1-10	96	0,996	17,36
1,2,4 Triklorobenzen	2,712	9,03	0,01-10	100	0,998	3,190
S1 -p-Bromoflorobenzen	15,870	52,899	0,01-10	98	0,996	4,450
Internal-1 1-klorooktan	2,844	9,479	0,001-10	100	-	-
Intemal-2 1-klorooktadekan	1,048	3,495	0,001-10	100	-	-

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Dış ortam ve fotokopi merkezlerinde ve alan örneklerinde tespit edilen UOBs'in konsantrasyonları arazi blank değerlerine göre düzeltilmiştir. Arazi blanklerinde çok düşük miktarlarda benzen, etilbenzen, stiren ve toluen, 1,2,4 trimetilbenzen ve 1,2 Dibromo (3) kloropropan belirlenmiştir. 5 arazi blank tüpünde tespit edilen UOBs'in konsantrasyon değerleri LOD'den düşük olarak belirlenmiştir.

Dış ortam ve fotokopi merkezlerindeki alan örnekleme sonuçları Çizelge 2'de sunulmuştur. Çizelge 3'de LOD değerinden küçük konsantrasyonlar <LOD olarak ifade edilmiştir. Çalışmada benzen, toluen, ksilen, isopropilbenzen, 1,2,4 Trimetilbenzen ve m+p Etiltoluen ve stiren fotokopi merkezlerinde en baskın bileşik grupları olmuştur. Laboratuvar ortamında test odasında yapılan çalışmalar benzen, toluen, ksilenler, diğer benzen bileşikleri, alifatik hidrokarbonlar, aldehit ve esterlerin ofis makinelerinden kaynaklanan bileşikler arasında en sık tespit edilen grup olduğunu göstermiştir [31,32]. Çalışmada en yüksek konsantrasyonda tespit edilen bileşik toluen ($77,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, fotokopi merkezi 3)'dir. Bu bileşiğin fotokopi makinelerinde kullanılan toner, ciltleme işlemindeki yapıştırıcı ve temizleme solventlerinden kaynaklandığı düşünülmüştür [33]. Özellikle stiren dış ortam örnekleme sonuçlarında tespit edilmemiş ancak fotokopi merkezlerinin tamamında tespit edilmiştir. Bu bileşiğin fotokopi işlemi süresince kullanılan boya ve solventlerden kaynaklandığı düşünülmektedir [34]. Araştırılan 5 tane halojenli uçucu halojenli organik bileşiklerden 1,2 Dibromoetan bir fotokopi merkezinde (Fotokopi merkezi (1)), 1,2,4 Triklorobenzen iki fotokopi merkezinde (Fotokopi merkezi (2) ve Fotokopi merkezi (3)), bromobenzen bir fotokopi merkezinde (Fotokopi merkezi (2)), 1,2 Diklorobenzen ve 1,2 Dibromo (3) kloropropan bir fotokopi merkezinde (Fotokopi merkezi (2)) belirlenmiştir. Ongwandee ve arkadaşları [19] tarafından Bangkok'da 17 klimalı ofis binasında 5 tanesi klorlu (tetrakloroetan, trikloroetan, 1,2 dikloroetan, 1,2 dikloropropan ve kloroform) toplam 13 UOB'i araştırdıkları çalışmada ofis

havasındaki klorlu organik bileşik emisyonlarının kuru temizlenmiş kıyafetlerden, halı, mobilya temizleme kimyasalları ve diğer solvent kullanımlarından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada tespit edilen halojenli UOBs'in yapıştırıcı ve temizleme kimyasallarından kaynaklandığı ve kullanıldıkları zaman diliminde iç ortam havalandırmasına dikkat edilmesi gerektiği düşünülmüştür.

Dış ortam havasının iç ortam havasına etkisini belirlemek amacıyla yapılan 2 dış ortam örnekleme sonuçları incelendiğinde en yüksek konsantrasyonda tespit edilen bileşik kent merkezinde toluen ($29,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$) olmuştur. Konya kent merkezinde UOBs'in konsantrasyonu kampüs bölgesine göre yaklaşık 3 kat daha yüksek belirlenmiştir. Kent merkezinde ve kampüs bölgesindeki dış ortam örnekleme sonuçları incelendiğinde kent merkezinde etilbenzen, ksilen ve toluen seviyelerinde önemli artış gözlenmiştir. Bunun nedeninin ksilenlerin benzin katkı maddesi olarak kullanılıyor olması olarak düşünülmüştür [35]. Benzen, etilbenzen ve toluen kentsel cadde kanyonlarında otomobil emisyonlarının göstergesidir [36]. Bu durum kent merkezindeki yoğun trafiğin kirletici emisyonları arttırdığını göstermektedir. Fotokopi merkezi 4'te tespit edilen yüksek UOBs seviyelerine dış ortamın katkı sağladığı düşünülmüştür. Kampüs bölgesinde fotokopi merkezi 3'te kent merkezinden dahi yüksek UOBs seviyeleri belirlenmiştir. Bu fotokopi merkezi orta derece trafiğe yakın oda hacmi çok küçük (100 m^3), fotokopi makine sayısı az ancak kopyalama sayısı en yüksek merkezlerden biridir. Bu fotokopi merkezinde tespit edilen yüksek UOBs seviyeleri dış ortam etkisinden ziyade fotokopi makinelerinin yaymış olduğu emisyonların yüzünden olduğu düşünülmüştür. UOBs, insan sağlığına zararlı etkilerinin yanı sıra ozon ve nanopartikül gibi yeni kirleticilerin oluşumuna katkı sağlamaları ile araştırılması gerekli bileşik grubudur. Fotokopi merkezlerinin iç ortam hava kalitesi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olması, konu ile ilgili yasal prosedürleri de etkilemektedir. Ülkemizdeki Yönetmeliklerde fotokopi merkezlerindeki iç ortam hava kalitesi ile ilgili kriterlerin henüz düzenlenmemiş olması önemli eksikliklerden

biridir. Bu nedenle, fotokopi işlemi sırasında yayılan kirleticiler öngörülen seviyelerden daha yüksek olabilir ve çalışanlar üzerinde potansiyel olarak olumsuz sağlık etkileri yaratabilir. Fotokopi merkezlerinde çalışan işçilerin maruz kaldıkları riski minimize etmek için önlemler alınmalıdır. Bu önlemler, daha düşük emisyon yayan ekipmanların tercih edilmesi örneğin kuru proses fotokopi makineleri yerine ıslak proses tercih edilmesi, fotokopi makinelerinde ozon filtrelerinin mutlaka olması ve düzenli aralıklarla değiştirilmesi, fotokopi makinelerinin egzozunun çalışanları ve müşterileri en az etkileyecek konuma

yerleştirilmesi, makinelerin bulunduğu odanın havalandırılmasının sağlanması ve son olarak kuru proses makinelerin toz tonerinin tekrar doldurulması esnasında çevreye dökülmesinin engellenmesidir. Fotokopi işlemi süresince çok farklı türde kirletici grubu oluşmaktadır. Bunlardan bazı kirletici grupları ile ilgili sınırlı sayıda dahi olsa çalışma varken henüz hiç araştırılmayan fotokopi makinelerinde ısıya dayanıklı yağlayıcı olarak kullanılan silikon yağı veya silikon gresinden oluşan teknik karışımların neden olduğu polisiloksanlar [37] gibi kirletici grupları da araştırılmalıdır.

Çizelge 3. Fotokopi merkezlerinde ve dış ortam havasında ölçülen UOBs'ın alan örnekleme sonuçları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Fotokopi Merkezi 1			Fotokopi Merkezi 2			Fotokopi Merkezi 3			Fotokopi Merkezi 4			Dış ortam (Kırsal)			Dış ortam (Kent merkezi-yoğun trafik)		
	Mak.	Ort.	S	Mak.	Ort.	S	Mak.	Ort.	S	Mak.	Ort.	S	Mak.	Ort.	S	Mak.	Ort.	S
Bileşikler	Mak. (n=5)			Mak. (n=5)			Mak. (n=5)			Mak.	Ort.	S	Mak.	Ort.	S	Mak. (n=5)		
Benzen	4,07	3,67	0,40	0,52	0,52	0,01	5,64	4,91	0,73	27,50	24,03	3,48	1,57	1,29	2,74	2,400	2,238	1,62
Toluen	8,81	8,36	0,45	35,90	34,30	1,60	77,59	73,86	3,73	47,64	41,58	6,06	7,96	6,57	5,23	29,81	18,06	4,26
1,2 Dibromoetan	0,88	0,64	0,23	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		0,81	0,41	0,40	<LOD	<LOD		0,07	0,03	0,03
Etilbenzen	0,52	0,48	0,04	0,61	0,56	0,06	6,12	5,61	0,51	1,02	1,01	0,01	0,70	0,61	0,10	2,00	1,95	0,04
m-p Ksilen	1,06	0,91	0,15	1,23	1,21	0,01	19,10	18,23	0,88	4,76	4,63	0,03	0,90	0,85	0,05	4,19	3,65	0,53
Stiren	0,49	0,44	0,06	1,25	1,23	0,02	<LOD	<LOD		1,14	1,07	0,07	<LOD	<LOD		0,36	0,26	0,30
o-Ksilen	<LOD	<LOD		11,11	6,45	4,66	6,20	5,77	0,43	<LOD	<LOD		0,90	0,88	0,02	2,31	2,1	0,10
İsopropilbenzen	<LOD	<LOD		4,34	2,17	2,17	<LOD	<LOD		0,85	0,80	0,05	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	
Bromobenzen	<LOD	<LOD		20,45	11,04	4,41	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	
n-propilbenzen	<LOD	<LOD		5,37	3,61	1,76	0,95	0,93	0,02	<LOD	<LOD		0,10	0,10		<LOD	<LOD	
m+p Etiltoluen	<LOD	<LOD		8,38	6,65	1,72	2,73	2,52	0,21	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		5,47	5,28	0,18
O-etiltoluen	<LOD	<LOD		4,66	3,66	1,01	6,10	6,03	0,07	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	
1,3,5 Trimetilbenzen	<LOD	<LOD		8,90	6,44	2,46	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	
1,2,4Trimetilbenzen	1,50	1,26	0,25	26,50	21,71	4,79	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		0,81	0,58	0,23	<LOD	<LOD	
1,3 Diklorobenzen	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	
1,4 Diklorobenzen	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	
1,2,3 Trimetilbenzen	<LOD	<LOD		15,71	7,86	7,86	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	
1,2 Diklorobenzen	<LOD	<LOD		16,85	8,42	8,42	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	
1,2 Dibromo(3) kloropropan	<LOD	<LOD		15,01	7,50	7,50	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	
1,2,4 Triklorobenzen	<LOD	<LOD		11,44	5,72	5,72	19,98	9,99	0,73	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	

S: Standart sapma, Ort.: 8 saatlik ortalama konsantrasyon, Mak.: Maksimum konsantrasyon

3. KAYNAKLAR

1. US EPA, 1991. Building Air Quality: A Guide for Building Owners and Managers, EPA/400/1-91/033, Washington.
2. Khatri M., Bello D., Pal A., Joel MC., Woskie S., Gassert T., Lan J., Gu AZ., Demokritou P., Gaines P., 2013. Evaluation of Cytotoxic, Genotoxic and Inflammatory Responses of Nanoparticles from Nphotocopiers in Three Human Cell Lines, Part. Fibre Toxicol, 10, 42-64.
3. Martin J., Bello D., Bunker K., Shafer M., Christiani D., Woskie S., Demokritou P., 2015. Occupational Exposure to Nanoparticles at Commercial Photocopy Centers, J Hazard Mater, 298, 351-360.
4. He C., Morawska L., Taplin L., 2007. Particle Emission Characteristics of Office Printers. Environ Sci Technol, 4, 6039-6045.
5. Kiurski, J.S., Marić, B.B., Oros, I.B., Kecić, V.S., 2017. The Ecodesign Practice in Serbian Printing Industry, J Clean Prod, 149, 1200-1209.

6. Tang T., Hurra J., Gminski R., Mersch-Sundermann V., 2012. Fine and Ultrafine Particles Emitted from Laser Printers as Indoor Air Contaminants in German offices, *Environ Sci Pollut Res Int*, 19(9), 3840–3849.
7. Kim SY., Kim Y., Byeon JH., Lee DY., Hwang J., 2009. Emission of Submicron Aerosol Particles in Operating a Laser Beam Printer. *Int J Precis Eng Manuf*, 10(5), 33–36.
8. Destailats H., Maddalena RL., Singer BC., Hodgson AT., McKone TE., 2008. Indoor Pollutants Emitted by Office Equipment: a Review of Reported Data and Information Needs, *Atmos Environ*, 42, 1371–1388.
9. Kowalska, J., Szewczyńska, M., Pośniak, M., 2015. Measurements of Chlorinated Volatile Organic Compounds Emitted from Office Printers and Photocopiers, *Environ Sci Pollut Res*, 22, 5241–5252.
10. Kiurski, JS., Aksentijević, S.M., Mandarić, S.D., 2018. Statistical Approach for Characterization of Photocopying Indoor Pollution, *Air Qual Atmos Health*, 11, 867-881.
11. Henschel, B.D., Fortann, R.C., Roache, N.F., 2001. Variations in the Emission of Volatile Organic Compounds from the Toner for a Specific Photocopier, *J Air Waste Manag Assoc*, 51, 708–717.
12. Leovic, K.W., Whitaker, D.A., Northeim, C., Sheldon, L.S., 1996. Measurement of Indoor Air Emissions from Dry-process Photocopy Machines, *J Air Waste Manag Assoc*, 46, 821-829.
13. Lee, C.W., Hsu, D.J., 2007. Measurements of Fine and Ultrafine Particles Formation in Photocopy Centers in Taiwan, *Atmos Environ*, 41, 6598-6609.
14. Lee, S.C., Lam, S., Fai. H.K., 2001. Characterization of VOCs, Ozone and PM10 Emissions from Office Equipment in an Environmental Chamber, *Build Environ*, 36, 837–842.
15. Awadi, L.A., Rashidi, M.A., Pereira, B., Pillai, A., Khan, A., 2018. Indoor Air Quality in Printing Press in Kuwait, *Int J Environ Sci Technol*, 10(1007), 1-14.
16. Salonen, H., Pasanen, A.L., Lappalainen, S., Riuttala, H., Tuomi, T., Pasanen, P., Bäck, B., Reijula, K., 2009. Volatile Organic Compounds and Formaldehyde as Explaining Factors for Sensory Irritation in Office, *J. Occup. Environ. Hyg*; 6, 239–247.
17. Leovic, K.W., Whitaker, D.A., Northeim, C., Sheldon, L.S., 1998. Evaluation of Test Method for Measuring Indoor Air Emissions from Dry-process Photocopiers, *J. Air Waste Manag. Assoc*; 48, 915–923.
18. IARC (International Agency for Research on Cancer) 2004. Overall Evaluations of Carcinogenicity to Humans as Evaluated in IARC Monographs Volumes 1–82 (a total of 885 agents, mixtures and exposures).
19. Ongwandee, M., Moonrinta, R., Panyametheekul, S., Tangbanluekal, C.H., Morrison, G., 2011. Investigation of Volatile Organic Compounds in Office Buildings in Bangkok, Thailand: Concentrations, Sources, and Occupant Symptoms, *Build Environ*, 46, 1512–1522.
20. Kuo, Y.M., Chiu, C.H., Yu, H.L., 2015. Influences of Ambient Air Pollutants and Meteorological Conditions on Ozone Variations in Kaohsiung, Taiwan, *Stoch Environ Res Risk Assess*, 29, 1037–1050.
21. Vicente, E.D., Ribeiro, J.P., Custódio, D., Alves, C.A., 2017. Assessment of the Indoor Air Quality in Copy Centres at Aveiro, Portugal, *Air Qual Atmos Health*, 10, 117-127.
22. Wolkoff, P., Wilkins, C.K., Clausen, P.A., Nielsen, G.D., 2006a. Organic Compounds in Office Environments-sensory Irritation, Odor, Measurements and the Role of Reactive Chemistry, *Indoor Air*, 16, 7–19.
23. Elango, N., Kasi, V., Vembhu, B., Poornima, JG., 2013. Chronic Exposure to Emissions from Photocopiers in Copy Shops Causes Oxidative Stres and Systematic Inflammation Among Photocopier Operators in India, *Environ Health*, 12(78), 1-12.
24. Pattinson, W., Targino, AC., Gibson, MD., Krecl, P., Cipoli, Y., Sá, V., 2018. Quantifying Variation in Occupational Air Pollution Exposure Within a Small Metropolitan Region of Brazil, *Atmos Environ*, 182, 138–154.
25. Koren, H.S., Graham, D.E., Devlin, R.B., 1992. Exposure of Humans to a Volatile Organic Mixture. III. Infammatory Response. *Arch. Environ. Health*, 47, 39-44.

26. Serfozo, N., Ondráček, J., Glytsos, T., Lazaridis, M., 2018. Evaluation of Nanoparticle Emissions from a Laser Printer in an Experimental Chamber and Estimation of the Human Particle Dose, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 13103–13117.
27. Hsu, D.J., Huang, H.L., Chien, C.H., Lin, T.S., 2005. Potential Exposure to VOCs Caused by Dry Process Photocopiers: Results from a Chamber Study, *Bull Environ Contam Toxicol* 75, 1150-1155.
28. Hsu, D.J., Huang, H.L., Lin, H.Y., Lin, Lin, T.S., 2006. Potential Volatile Organic Compound Exposure from Dry Process Photocopiers in Operation-idle Mode, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 76, 922-929.
29. Lee, C.W., Dai, Y.T., Chien, C.H., Hsu, D.J., 2006. Characteristics and Health Impacts of Volatile Organic Compounds in Photocopy Centers, *Environ. Res.* 100, 139-49.
30. NIOSH, 2007. NIOSH Manual of Analytical Methods No. 1501: Hydrocarbons, Aromatic, 2003.
31. Kagi, N., Fujii, S., Horiba, Y., Namiki, N., Ohtani, Y., Emi, H., Tamura, H., Kim, Y.S., 2007. Indoor Air Quality for Chemical and Ultrafine Particle Contaminants from Printers, *Build. Environ.* 42, 1949–1954.
32. Wang, Z.M., Wagner, J., Wall, S., 2011. Characterization of Laser Printer Nanoparticle and VOC Emissions, Formation Mechanisms, and Strategies to Reduce Airborne Exposures, *Aerosol Sci. Tech.* 45, 1060–1068.
33. Senthong, P., Wittayasilp, S., 2018. Measurements and Health Impacts of Carbon Black and BTEXs in Photocopy Centers, *Arch. Environ. Occup. Health.* 73(3), 169–175.
34. Sarkhosh, M., Mahvi, A.H., Zare, M.R., Fakhri Y., Shamsolahi HR., 2012. Indoor Contaminants from Hardcopy Devices: Characteristics of VOCs in Photocopy Centers, *Atmos. Environ.* 63, 307-312.
35. ATSDR 2004. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (ATSDR), <http://www.atsdr.cdc.gov/>.
36. Zhao, L., Wang, XM., He, Q., Wang, H., Sheng, G.Y., Chan, L.Y., Fu, J.M., Blake, D.R., 2004. Exposure to Hazardous Volatile Organic Compounds, PM10 and CO While Walking Along Streets in Urban Guangzhou, China, *Atmos. Environ.* 38, 6177–6184.
37. Salthammer, T., Schripp, T., Uhde, E., Wensing, M., 2012. Aerosols Generated by Hardcopy Devices and Other Electrical Appliances. *Environ. Pollut.* 169, 167–174.

Urban Transformation and Public Housing in Residential Areas: Adana-Yüreğir District Public Housing Projects

Fatma Seda ÇARDAK*¹

¹Yüreğir Belediyesi, Yapı Kontrol Müdürlüğü, Adana

Geliş tarihi: 09.09.2019 Kabul tarihi: 30.09.2019

Abstract

The requirement of housing due to the increase in population arising with the immigration allowance implied unplanned structuring. Remission of public improvements in our country which has frequently brought within law caused squatting and this situation brought shanty settlements along. These complex housing settlements negatively affected not only the owners living in but also the cities in their entirety. Yuregir, which is one of the central districts of Adana, is a district where the housings against license can be observed heavily nowadays due to the immigration receive. In this area, implementations of public housings are performed in stages by TOKI, Metropolitan Municipality of Adana and Yuregir District Municipality. These implementations are aligned as; Yavuzlar (Sinanpasa) TOKI Project which was finished in 2009, Kisla Neighborhood First Stage Urban Transformation TOKI Project which was finished in 2016 and Atakent Public Housing which was finished and handed over in 2018.

In the context of this Work, the concept of urban transformation and the implemented public housing projects are examined in recognition of their physical, social and economic dimensions in the scale of Adana Yavuzlar Neighborhood. The findings achieved in consideration of the obtained data are explained in the "Conclusion" section.

Keywords: Urban transformation, TOKI, Public housing

Konut Alanlarında Kentsel Dönüşüm ve Toplu Konutlar: Adana İli Yüreğir İlçesi Toplu Konut Projeleri

Öz

Günümüzde kentlerin karşılaştığı en önemli sorunların başında gelen göç olgusu; kentlerde kontrolsüz büyümeye ve çarpık yapılaşmaya neden olmaktadır. Sıklıkla ilan edilen imar afları nedeniyle ruhsata aykırı yapılaşma artmakta; bu karmaşık yapılaşma ise sadece bölgeyi veya içinde yaşayan kullanıcıları değil, kentlerin tamamını olumsuz yönde etkilemektedir.

Adana'nın merkez ilçeleri arasında yer alan Yüreğir, günümüzde göç alan ve ruhsata aykırı yapılaşmanın yoğunlukla görüldüğü bir ilçedir. Bölgede TOKİ ile Adana Büyükşehir Belediyesi ve Yüreğir İlçe

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fatma Seda ÇARDAK, sedacardak01@gmail.com

Belediyesi tarafından kentsel dönüşüm uygulamaları etaplar halinde yapılmaktadır. Bu uygulamalar 2009 yılında tamamlanan Yavuzlar (Sinanpaşa) TOKİ projesi, 2016 tarihinde tamamlanan Kışla Mahallesi 1. Etap Kentsel Dönüşüm TOKİ projesi ve 2018 yılında tamamlanan teslimi yapılan Atakent Sosyal Konutları olarak sıralanmaktadır.

Çalışma kapsamında Türkiye'nin toplu konut mekanizmasının anlaşılması amacıyla kentsel dönüşüm kavramı ve bu bağlamda uygulanan toplu konut projeleri; Adana Yavuzlar (Sinanpaşa) Mahallesi ölçeğinde, fiziksel, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında bulgular sonuç bölümünde aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel dönüşüm, TOKİ, Toplu konut

1. INTRODUCTION

Present cities experience a dramatic collapse depending on an insensible and unregulated expansion because of the socio-economic conditions, and excessive and non-proportional population distributions. Day by day, the problems have been ascending in accordance with the collapse and several solutions have been sought. Urban renewal also called urban transformation is the leading project to cope with the insolubilities. If cities are considered as common living quarters and likened a living organism, cities also get old and wear off in time and need to be renewed.

Most cities of Turkey were settled in old times, and if rapid urbanization is also attached, it was found that collapsed and uninhabitable areas were formed in a great number of regions. Especially TOKİ residences built on several areas of the country by the Public Housing Administration of Turkey is one of the leading projects on urban transformation. The present study aims to investigate the terms of urban transformation and public housing, their purposes, their relationships with each other, the consistencies and inconsistencies between their descriptions and the treatments, and Adana Yavuzlar Public residences in terms of climate, planning, economic, social, and physical.



Figure 1. Urban transformation application area (Google Earth, 2019)

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

Public residences built on the field between Kışla Street and Kazım Başer Street which formerly Aksantaş Factory was located on was the research material in the context of urban transformation in Yavuzlar (Sinanpaşa) Avenue in Yüreğir District of Adana City. The plans of the project were provided by the archives of Adana Metropolitan Municipality and Yüreğir Municipality, and contractor company.

The material of the Study consist of the layout plan belonging to residential area investigated in the notion of the thesis, building plan, photos, and the results of observation, meeting, and determinations in the urban transformation region and project area. The satellite photo of the Study area is in Figure 1.

2.2. Method

The theoretical information was collected primarily. Issue/status detection and favorable/unfavorable features depending on the method of observation and research on-site in accordance with the collected information were implemented. The architectural project and certificates elicited by Yüreğir Municipality were investigated.

The literature review was maintained in the several university libraries and the Chamber of Architects of Adana. Besides, seminars organized by Housing Development Administration, Chamber of Architects of Adana, and Chamber of Civil Engineers were followed, the archive and related documents of Adana Metropolitan Municipality, Yüreğir Municipality, Urban Transformation Offices, and Development Directorate were scanned, and theoretical information was compiled by obtaining the necessary sources on web about the subjects such as urban transformation, TOKI, Yüreğir district. Moreover, many local and foreign

articles about the subject were reached via e-books and magazines on the internet.

3. FINDINGS AND DISCUSSION

3.1. The Definition of Urban Transformation

While the transition to the urban industrial world means to intervene and transform the existing structure in the process of rebuilding the cities, the most remarkable to replace the old one with the new one.

Elements that shape this modernist perspective; the requirements of a universal history undergoing rational progress with new requirements, tools and technologies of complex industrial societies were offered. While growth is seen as the key to social welfare, technology development and capital accumulation have led to the expansion of industrial life into rural areas [1].

Urban transformation is a process that enhances the circumstances of the poorest neighborhoods via community-based renewal, protect the natural and structured historical environment, lessen the negative effect of urban structuring/development over the measurements related to enhancing environmental performance, target to apply corporation grounded programs supporting the economic competition of cities and towns, and is carried out by the integrated public sector [1].

In addition, the revitalization of the economy, the creation of employment and the necessity to do so in a competitive environment have brought new policies and strategies to the agenda. At this point, urban transformation has gained importance as a new project for cities [2].

Urban transformation can be defined as a process which is planned by considering the economic, social, executive, physical, and environmental dimensions of collapsed urban areas, and increase the quality of the urban with the sustainable and livable projects on the consideration of climatic, geographic, and cultural features [3].

3.2. The Definition of Public Housing

According to the mass housing law no 2985, the housing estate is an area that is approved by governors to be a mass housing residential area with at least 400 resident capacity and certificate of conformity, and owned by municipal. Also, that mass housing can be defined as the residence built on the housing estate, and the work including technical infrastructure and social reinforcement [4]. Although it refers to both mass housing and public housing in British and American literature, it may differ in terms of content and meaning. Therefore, the term of mass housing can mean different social senses for different cultures [5].

3.3. Housing Development Administration (HDA)

Housing Development Administration was established in 1984 to lessen the unemployment by increasing the production, and to solve the urbanization and housing problems caused by rapid population growth and rapid urbanization in Turkey. An autonomous mass housing fund was cashed up by the mass housing law no 2985 inured in 1984 [6].

3.4. Determination of Area

Residence necessity depending on the population growth caused by the migration (immigration) brought about the urban sprawl. Frequently announced zoning amnesties in Turkey raised the squatting and illegal settlement. The complex settlement affects negatively not only the habitants but also the rest of the population. Hence, the territory including a low-rise condominium in Adana in which citizens with low income and education live was the field of the study [7].

3.5. The Data of Yavuzlar (Sinanpaşa) Public Housing

According to data obtained from the Metropolitan Municipality of Adana, open tender with turnkey lump sum price of public residences was made in accordance with Public Procurement Law on 24.10.2005. The duration of the work was

determined as 360 calendar days. The projects of infrastructure, settlement, and architecture were begun on 03.01.2005. The project includes 15 A type with 10 floors, 22 B type with 7 floors, 14 C type with 10 floors, and 51 blocks with 888 residences in total 308 of them for the low-income group. 40 blocks with two apartments on each floor was located the south-north front and 11 blocks with two apartments on each floor was located southeast-northwest front. In addition to the residences, projects involved a trade center, a high school, and a mosque. The building site of the project was planned on 116.000 m² in total and the area that the building site of the 51 blocks was measured as 15.539 m². Besides, the building site of the trade center was 1968 m², the building site of high school was 1971 m², and the building site of the mosque was 738 m². Thus, the total area of the buildings was 20.000 m², the total area of green space was 72.500 m², and the total building site of way, Medway and parking lot was approximately 23.500 m².



Figure 2. Yavuzlar (Sinanpaşa) Area before urban transformation application [9]



Figure 3. Yavuzlar (Sinanpaşa) Area after urban transformation application [9]

Table 1. Distribution of placement area [9]

Block Type	Number of Blocks	Floors	Apartment (m ²)	Total (m ²)
A	15	10	132	39600
B	22	7	83	25564
C	14	10	143	40040

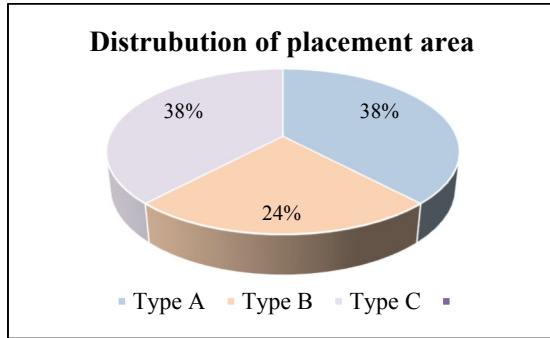


Figure 4. Distribusion of placement area

livingroom, 11.60 m² kitchen, 14.01 m² room, 13.07 m² room, 11.95 m² room, 4.93 m² bathroom, 10.60 m² corridor, 4 m² toilet and 5.57 balcony and 3.50 m² balcony, in total net 107.80 m² gross 132 m² The area of circulation is equal to %9.83 of net area [8].



Figure 5. A type blocks

3.5.1. A Type Blocks

15 A Type blocks with 10 floors consist of 2 apartments on each floor include 28.57 m²

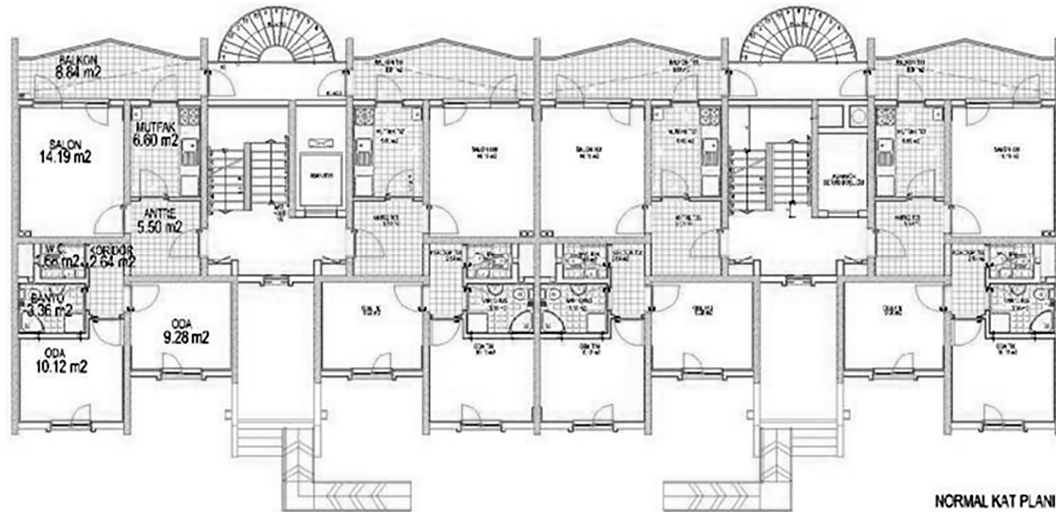


Figure 6. Plan of a type blocks [8]

3.5.2. B Type Blocks

22 B type blocks with 7 floors consist of 2 apartments in each floor include 14.19 m² livingroom, 6.60 m² kitchen, 10.12 m² room,

9.28 m² room, 5.50 m² foyer, 3.36 m² bathroom, 2.64 m² corridor, 1.68 m² toilet and 3.36 m² balcony, in total net 62.21 m² and gross 83 m², the circulation area is equal to %13,09 of net area [8].



Figure 7. B type blocks

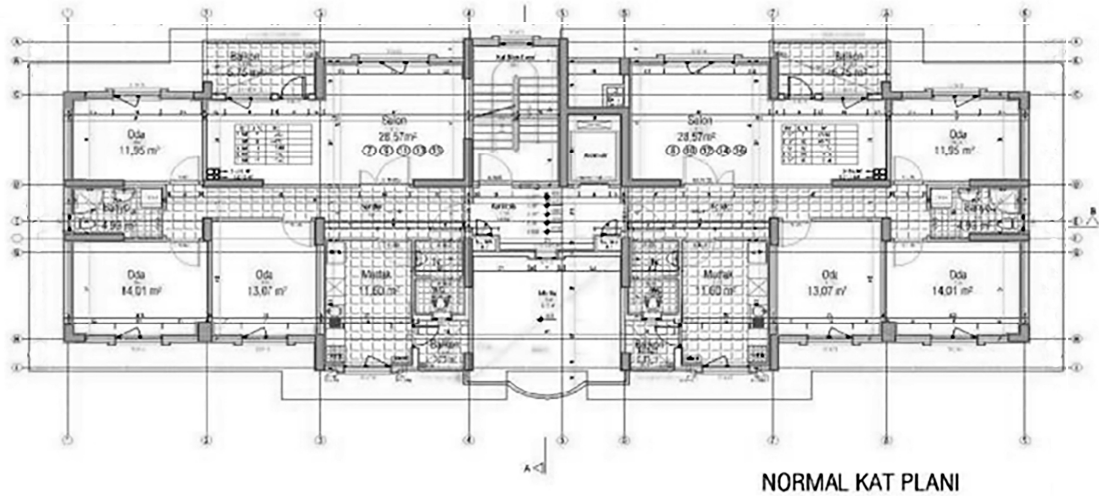


Figure 8. Plan of B type blocks [7]

3.5.3. C Type Blocks

14 C type blocks with 10 floors consist of 2 apartments on each floor and include 28.72 m² living room, 11.60 m² kitchen, 14.05 m² room, 11.76 m² room, 11.62 m² room, 7.53 m² foyer, 4.56 m² bathroom, 4.12 m² corridor, 2.64 m² toilet and 14.28 m² balcony, in total net 110 m² gross 143 m², the circulation area of the apartments is equal to %10.50 of net area [8].



Figure 9. C type blocks

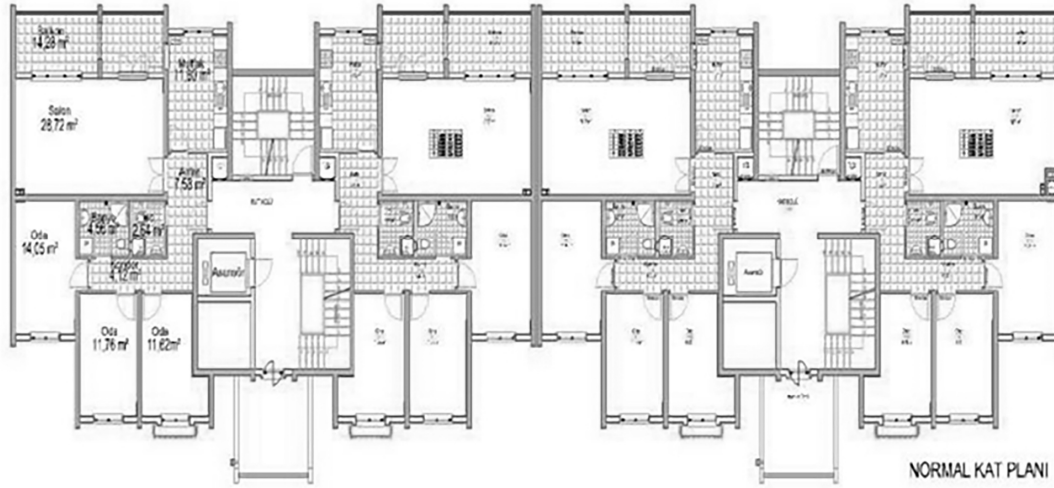


Figure 10. Plan of C type blocks [8]

Table 3. Environmental analysis of blocks

Type	A		B		C	
	Quantity	Accessability Average	Quantity	Accessability Average	Quantity	Accessability Average
Parking place	1	5-20 m	1	5-20 m	1	5-20 m
Playground	3	30-150 m	3	50-250 m	3	50-200 m
Mosque	1	250-1300 m	1	40-900 m	1	150-750 m
Mall	1	300-1350 m	1	90-950 m	1	200-800 m
Green Place	3	30-150 m	3	50-350 m	3	50-200 m
School	1	90-900 m	1	50-500 m	1	50-800 m

4. CONCLUSIONS

Public Residences in Yavuzlar avenue, Yüreğir District, Adana City were investigated in the study. Findings indicate that architectural projects were typically designed and the climatic data and local architectural features of region were not taken into consideration. Instead of typical project designing, if the climate and local architecture features of the city are taken into consideration, the buildings can be more practical. Findings showed that TOKI was operated around squatter settlement with the low-rise condominium, and the region was turned into multistorey buildings. Projects for the low-density human scale are needed to be preferred when the background of the users is considered. The project site is closely located to new, developing and major projects in Adana City. The transportation

can be by subways, minibusses, and buses. Yüreğir Bus Terminal is 1,5 km away from the project site. Besides, TOKI residences in Yüreğir are very close to the hospital, five-star hotels, and Optimum Mall. Furthermore, it is nearly 5 kilometers to city center called 'old Adana'. Favorability of the location and frequency of the transportation vehicles provides an advantage, especially for the working class. residences consisting of A, B, C types were examined in terms of planning in accordance with the graph results. The area contains no parking garage and shields for sun and rain. The high school, playground, trade center, and mosque are beneficial for the owners. However, there exists no kindergarten and primary school in the project. Trashes, streetlights, banks, and pergolas are functional for owners. However, the project did not include any open or close multi-purpose area. Multi-purpose area is important for

the sociability of the owners. The area for sports activities such as basketball, volleyball, football, and tennis is not involved, and there exist no cycle paths.

The public housings, which were examined within the scope of the work, are the first example of urban transformation applied to Yuregir District. The project was implemented by the partnership between Metropolitan Municipality of Adana and Housing Development Administration of Turkey (TOKİ) involved physical deficiencies. Nonetheless, the utilisers owners who were located in the new housings of the urban transformation area were not moved away from their places where they used to live. Therefore they maintained their social life.

Increase of the building density on the housing zone prevents the low building density to benefit from the wind and the sun. In this respect, it has been considered to implement the urban transformation projects on the wider areas or prepare new projects which grant areas with more building density in which they are going to be implemented.

Nowadays, the constructions located in Yavuzlar District were evicted due to its declaration of urban transformation zone and became inactive because of the incompleteness of the project whose only the first stage was finished on 2009 the following stages has not been completed. These constructions with the dilapidated view and static danger threaten the safety of its owners.

5. REFERENCES

1. Thorns, C.D., 2004. Kentlerin Dönüşümü, Soyak Yayınları.
2. Görgülü Z., Kentsel Dönüşüm ve Ülkemiz, TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, 767-768.
3. Kocabas, A, 2006, Kentsel Dönüşüm (Yenileş(tir)me): İngiltere Deneyimi ve Türkiye'deki Beklentiler, İstanbul.
4. Kılıç, A., 2006. Dönüşüm, Kentsel Yenileme Kavramları ve Yaklaşımlar, Ege Mimarlık, 1-56, 12-15.
5. Beswick, A., 2001. Public-Private Partnerships in Urban Regeneration: the Case of London Docklands, Master Degree Project, Faculty of Environmental Design, University of Calgary, Alberta.
6. 2985 sayılı Toplu Konut Kanunu <http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2985.pdf>
7. Çolak, A., Çardak, S., 2011. Kentsel Dönüşüm Bağlamında TOKİ Konutlarının İncelenmesi Aksantaş TOKİ Örneği, Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26-3, 88-96
8. Adana Büyükşehir Belediyesi, Kentsel Dönüşüm Şubesi, 2008.
9. Adana Yüreğir Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, 2008.

TIG ve MIG Kaynağı ile İşlem Gören 304 ve 1040 Çeliklerin ITAB Bölgesindeki Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

İsmail TOPCU*^{1,2}

¹Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Alanya

²Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 14.01.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada düşük ve orta karbonlu çelik türlerinin TIG ve MIG kaynağı ile kaynak bölgesinin mekanik ve mikroyapı özelliklerine kaynak parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Kaynak uygulaması farklı akım ve tel besleme hızlarında gerçekleştirilmiş, ardından kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme deneyi ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca mikroyapıda meydana gelen değişiklikleri belirlemek için de mikroyapı çalışmaları yapılmıştır. Bu araştırmanın amacı öncelikle kaynak tekniklerinin malzeme kaynaklanabilirliğini nasıl etkilediği ve kaynaklı çeliklerin ısıdan etkilenen bölgede (ITAB) mekanik özelliklerini ve mikroyapı karakteristiklerindeki değişimi incelemektir. Bazı metal ve kaynaklı çeliklerin mekanik özelliklerinin tayini için testler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Mikroyapılar da, kaynakların performansını dinamik koşullarda etkileyebilecek herhangi bir gözenekliliğin ve diğer özelliklerin tayinine yardımcı olmak için de kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: MIG/TIG, Kaynak, ITAB, 304 paslanmaz çelik

Investigation of the Mechanical Properties of 304 and 1040 Steels in the HAZ Region by TIG and MIG Welding

Abstract

In this study, the effects of welding parameters on the mechanical and microstructural properties of the weld zone and the TIG and MIG welds of low and medium carbon steels were investigated. Welding was carried out at constant welding currents and wire speeds and then tensile tests and hardness measurements were performed to determine the mechanical properties of welded joints. In addition, microstructure studies have been carried out to determine the changes in the microstructure. The aim of this research is primarily to examine how welding techniques affect material weldability and how the welded steels change in hardness, tensile test and microstructure characteristics in the heat affected zone (HAZ). Comparisons were made between the tests to determine the mechanical properties of certain metals and welded steels. Microstructures have also been used to assist in studying any porosity or other properties of the microstructure that may affect the performance of the welds under dynamic conditions.

Keywords: MIG/TIG, Welding, HAZ, 304 stainless steel

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İsmail TOPCU, ismail.topcu@alanya.edu.tr

1. GİRİŞ

Kaynak, alternatif olarak döküm, dövme, civatalı ve perçinli eklemeler yerine yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Çeliklerde kaynak yapılması imalat sanayiinde çok muazzam bir öneme sahiptir. Ark kaynağı, ana metalin kaynaşması ve genellikle bir sarf elektrot tarafından sağlanan metal ilavesi ile metal birleştirmek için bir elektrik arkının yoğunlaştırılmış ısını kullanılarak yapılan bir işlemdir. Kaynak yapılacak malzemeye ve kullanılan elektroda bağlı olarak ark için doğrudan veya alternatif akım kullanılabilir [2].

Ark, sürekli, metalin kaynağı ve sarf malzemesi olan elektrot teli arasındadır. Genel olarak, bir kaynak bağlantısının kalitesi, kaynak sırasında giriş parametrelerinden doğrudan etkilenir. Kaynak işlemi; bu nedenden dolayı, çok girişli ve çok çıkışlı bir ısıl işlem olarak düşünülebilir. Kaynak, kaynak metali, kaynak akımı, kaynak gerilimi, sıcaklık, elektrot, nabız frekansı, güç girişi, gaz akış hızı ve gaz bileşimi gibi kaynak metalinin nihai özelliklerini etkileyen çok çeşitli değişkenleri içerir [3].

Günümüzde üretimde kullanılan birçok kaynak yöntemi vardır. Özellikle demir ve demirdışı metallerin ve alaşımlı çeliklerin kaynakla birleştirilmesinde yaşanan sorunlar değişik kaynak yöntemlerinin geliştirilmesine sebep olmuştur. TIG/MIG kaynak yöntemleri de bu amaçla geliştirilmiş kaynak yöntemlerindedir. MIG kaynak yöntemi ile çok ince sac levhalar dâhil olmakla beraber her kalınlıkta demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağı mümkündür [4].

Bu kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine nazaran daha iyi nüfuziyete, yüksek verimliliğe ve daha az sıçrama özelliklerine sahiptir. Bu nedenle MIG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine göre endüstride yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. MIG kaynağı; dolgu metalinin kaynak havuzuna otomatik olarak eklendiği ve asal bir gaz tarafından kaynak bölgesinin korunduğu bir kaynak yöntemidir [5,6]. MIG kaynağı işleminde kullanılan kaynak elektrotu dolgu görevinin yanı sıra elektrik akım arkının da aynı zamanda

taşıyıcısıdır. Kullanılan sarj kaynak teli çeşitli tahrik makaralarının ana işleme merkezine taşınması ile iletim noktasında akım geçişine sebep olur. Bu proseste kullanılan kaynak telinin uç kısmın kenarları nozul vasıtası ile koruyucu bir gaz tarafından kaplanır. Ortaya çıkan koruyucu gaz ortamdaki hava ve kimyasal empürütelerin iş parçası ile tepkimeye girmesini engeller mahiyettedir. Bu şekilde kaynak edilecek malzemenin mukavemet ve dayanımı için önlem alınmış olur. Bu aşamada, ortamdaki hava ve çeşitli kimyasallardan korunmak için izolasyon gazı olarak (koruyucu gaz) soy gazlar ve aktif gazlar kullanılabilir. Bundan dolayı Metal Inert Gaz (MIG) kaynağı yaygın olarak tercih sebebidir. Tungsten Inert Gas welding (TIG) yöntemi üretilen elektrik arkın iş parçası ile tungsten elektrotu arasında harcanarak füzyon gücü ile ortaya çıkarttığı bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde de kullanılan elektrot, meydana gelen ark ve kaynak ortamı koruma gazı kullanılarak kaynak yapılan atmosferden ve çeşitli kimyasallardan korunurlar. İnert gaz nozul yardımı ile kaynak yapılan ortama verilir ve mevcut atmosferik havayı bertaraf eder. Bu kaynak yöntemi diğer ark kaynak yöntemlerinde ayrılır. Çünkü bu yöntemde diğer yöntemlerdeki gibi dolgu elektrotu kullanılmaz [7-9].

Paslanmaz çelik, korozyona karşı mükemmel direnç gösteren ve mutfak eşyaları, nakliye, inşaat yapıları ve çok daha fazlası için zorunlu olarak kullanılan Fe içerikli alaşımların bir ailesidir [10]. Paslanmaz çelikler %8-25 oranında demir, %12'den fazla Nikel ve %30'dan fazla krom ve alaşım elementleri içerdikleri için hem korozyona hem de yüksek sıcaklıklara karşı dayanırlar. Paslanmaz çelikler ferritik, östenitik, martensitik, iki katlı ve çöktürme çelikleri olarak farklı sınıflara ayrılırlar [11]. Östenitik paslanmaz çeliklerin mükemmel mekanik özellikleri, onları nükleer santraller için önemli bir yapısal malzeme haline getirmiştir [12]. Reaktör soğutucu boruları, vana gövdeleri ve gemi iç parçaları bu çeliklerden imal edilir. Bununla birlikte, segregasyon, sekonder fazların çökmesi, gözenekliliklerin varlığı, katılaşma çatlaması ve ısıdan etkilenen bölgede (ITAB) tane büyümesi gibi füzyon kaynak işlemleriyle ilişkili metalürjik değişikliklere bağlı

olarak kaynak yapısının zayıf mekanik özelliklere sahip olmasına neden olmaktadır [12]. Geleneksel östenitik paslanmaz çeliğin temel bileşimi %18 krom ve %8 nikel ve düşük oranlarda molibden, titanyum, niyobyum, bakır ve azot bulunur. Mükemmel korozyon direnci, üstün sürünme davranışı ve düşük sıcaklıklarda darbe dayanımı gibi mühendislik özellikleri sergiler. Paslanmaz çelik imalatı için kaynak işlemi uygulanan yaygın yöntemlerdendir. Fakat ark kaynağı işlemi ile ITAB'daki tane sınırları boyunca kaba taneler ve karbür oluşumu meydana gelir. Krom açısından zengin olan daha kaba yapı ve karbürler kaynağın mekanik özelliklerini kötü etkiler [13]. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak birleştirilecek malzemeler genellikle TIG kaynağı ile birleştirilirler. Temel olarak sarf olmayan tungsten elektrot ve iş parçası arasında bir ark üretimi oluşur. Genellikle argon olan inert bir gaz, ark, elektrot ve erimiş havuzu atmosferik kontaminasyondan korur. TIG kaynağı, paslanmaz çeliklerden demir dışı alaşımlara kadar uzanan malzemeler için kaliteli kaynaklar elde etmek amacıyla, aynı zamanda kalın malzemelerin yanı sıra, diğer malzemelerin birleştirilmesine de eşit derecede uygundur [15].

Bu çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik ve 1040 orta karbonlu çelik levhaların TIG/MIG kaynak işleminin ITAB'ın mikroyapısı, gerilme mukavemeti ve sertliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Metaller ile ısıdan etkilenen bölge arasında sertlik, gerilme ve mikroyapıları karşılaştırılıp, mikroyapıdaki gözenekler veya çatlaklar gibi kusurları gözlemlenmenin yanı sıra sertlik değerlerindeki farklılıkları da değerlendirilmiştir. Sertlik ve mikroyapının nasıl değiştiğini görmek için iki farklı metal ve iki farklı kaynak (TIG ve MIG) yöntemi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

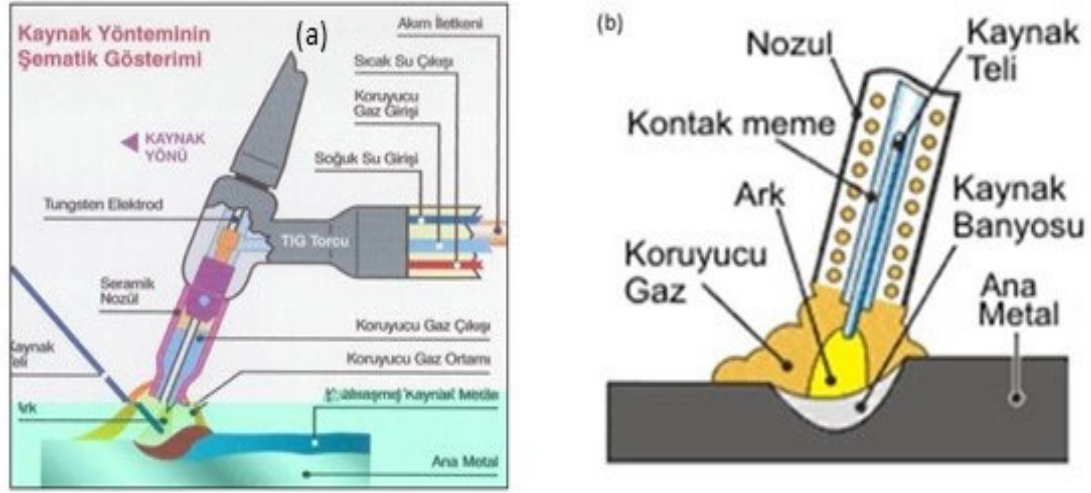
Bu çalışmada, 220x100x6 mm ebatlarında AISI 1040 ve AISI 304 çelik levhalar kaynak işlemi gerçekleştirilerek proses parametrelerinin kaynaklanabilirliğine ve mekanik özelliklere etkisi test edilmiştir. V kaynak ağzı açılarak üretilmiş olan kaynaklı numunelerde, kaynak kalitesini

belirlemek amacıyla gözle muayene, mikroyapı, mikrosertlik ölçümleri ve mekanik özellik tayini testler yapılmıştır. Kullanılan AISI 1040 ve AISI 304 çeliklerin kimyasal bileşim (% ağırlık olarak) değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Kaynak yapılan malzemeler açık havada soğutulduktan sonra, curufları ince zımpara ile temizlenmiştir. Birleştirme işlemlerinde; TIG kaynağında Inverter tipi, MIG kaynağında MIG RV 500 tipi kaynak makineleri kullanılmıştır. TIG kaynağı darbeli akımda gerçekleştirilmiş olup akım olarak 85A seçilmiştir. Deneyler esnasında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Kaynaklı parçaların başlangıç ve bitiş kısımlarından 20 mm metak kesme makinesi ile kesilerek atılmıştır. Kalan kısımlarından çekme deneyi, mikrosertlik deneyi ve mikroyapı incelemeleri için numuneler hazırlanmıştır. Çekme numuneleri TS EN 895 standartına göre her bir kaynaklı bağlantıdan 3'er adet hazırlanmış ve Instron 8802 mekanik test cihazında 2 mm/dk ilerleme hızında çekilmiştir. Mikrosertlik test numuneleri (Esas metaller, kaynak metalleri ve birleştirmelerin ITAB'ı) Şekil 1'de verilen ölçülerde ve standarda göre her bir numuneden 2 veya 3'er adet hazırlanmıştır.

Mikroyapı numuneleri, bakalite alma işleminden sonra standart metalografik numune hazırlama işlemlerine (zımparalama, parlatma) tabi tutulmuştur. Hazırlanan numunelerin mikroyapı çalışmaları optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan mikroyapı numuneleri aynı zamanda mikrosertlik ölçümü için de kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Futuretech 7000 marka cihaz ile 500 g yük uygulanarak sonuçlar her bir bölgede gerçekleştirilen 5 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.

Instron 8802 servohidrolik çekme test cihazında çekme deneyleri yapılmıştır. Birinci grup %0,08 oranına sahip düşük karbonlu (304) paslanmaz, ikinci grup ise %0,4 oranına sahip orta karbonlu çeliklerdir. Üçer adet iki farklı numune grubuna TIG ve MIG gibi iki farklı tipte kaynak yöntemi uygulandı. Uygulanan kaynak tiplerinin şematik olarak gösterimi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. TİG ve MİG kaynak yöntemlerinin şematik gösterimi (a)TIG kaynak yöntemi (b) MIG kaynak yöntemi

Bu çalışma kaynak tekniğinin dezavantajlarını azaltarak endüstri için daha iyi ve kullanışlı yöntemler sağlamayı amaçlamaktadır. Aşağıda Çizelge 1’de anılan farklı kaynak yöntemleri ile birleştirilecek olan malzemelerin spektral analizleri görülmektedir.

Çalışılacak kaynak işlemlerinde kullanılacak iki farklı malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Kaynak işleminde kullanılan özellikli birleştirme elektrodlarına ait kimyasal bileşimi Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 1. Kaynak edilecek metallerin kimyasal bileşimleri

Kimyasal Bileşim (%)							
Malzemeler	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
AISI 1040	0,44	0,74	0,032	0,041	0,30	-	-
AISI 304	0,07	1,92	0,041	0,024	0,71	19,1	9,2

Çizelge 2. Kaynak edilecek metallerin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikleri				
Malzemeler	Çekme Mukavemeti MPa	Akma Mukavemeti MPa	Sertlik Değeri (HV)	%Uzama
AISI 1040	580	320	226	16
AISI 304	515	205	210	40

Çizelge 3. Ek (Elektrod) kaynak metallerin kimyasal bileşimleri

Kimyasal Bileşim (%)								
Elektrodlar	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
ER308L (TIG)	0,021	1,50	0,03	0,04	0,40	18,5	11,5	2,44
ER308L Si (MIG)	0,030	1,75	0,03	0,03	0,85	19,5	10	-

Birleştirme işlemi için kaynak parametreleri Çizelge 4’te verilmiştir.

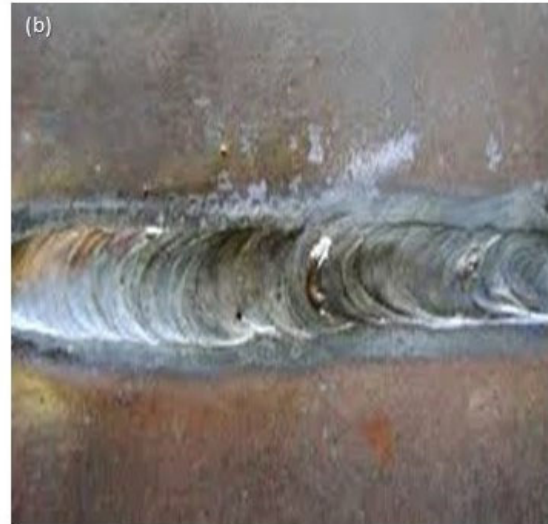
Çizelge 4. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri

Kaynak Yöntemi	Kaynak akımı (A)	Kaynak Hızı (cm/dak)	Isı Girdisi (kJ/mm)	Kullanılan Gaz	Ek metal Çapı (mm)	Akım türü
TIG	85	9,5	1,2	%99 Argon	2,4	DC (-)
MIG	85	9,5	0,72	Argon ve CO ²	0,8	DC (+)

Hem AISI 1040 çeliği hemde AISI 304 paslanmaz çelik levhaların metal inert gaz, tungsten inert gaz (MIG/TIG) kaynakları ile sırasıyla alın kaynakları yapıldı. Kaynaklanan iki farklı çelik malzemenin TIG ve MIG kaynaklı eklemnin malzeme karakterizasyonu ile ilgili çalışmalar sunulmaktadır. Kaynak işlemleri sonrası sırasıyla MIG ve TIG kaynak işlemlerinin mekanik özellikleri incelenmiş ve metalografik incelemeleri yapılmıştır.

Paslanmaz çelik elektrotlar kaynağında kullanılacak olan esas metal bileşiminin seçiminde, çevrenin özellikleri, sıcaklık ve mekanik stres ortamı göz önünde bulundurulmuştur. Paslanmaz

tip elektrotlar 250-300°de 2 saat kurutuldu. Paslanmaz çelikler için farklı bileşim ve farklı yapılarda olan farklı elektrot tipleri bulunmaktadır. Örneğin, 308L, 308Mo, 316L, 309L, 310, 312, 316i, 347, 410, 318, 308, 318M-R gibi birçok elektrod tipi bulunmaktadır. Çalışmada bu elektrod tipleri içinden amaca uygun olarak 308L paslanmaz çelik kaynak elektrod serisi kullanıldı. Öncelikle, 304 ve 1040 çelik sac metal kesme makinesi ile 100mmx100mmx4 mm'ye kadar kesim yapıldı. 1040 çelik sert malzemedir ve 4 mm kalınlıkta bulunması oldukça zordur dolayısı ile bulunan levhalar vargel de soğutucu sıvı kullanılarak ısıdan etkilenmeyecek şekilde 4 mm ye indirgenmiştir.



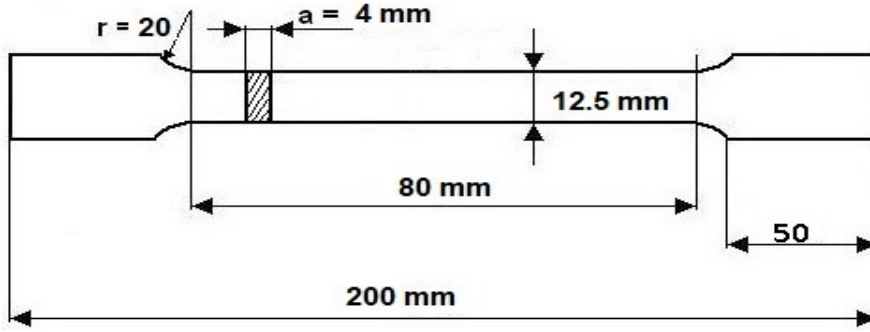
Şekil 2. (a)Kaynak öncesi 1040 orta karbonlu çelikler (b) Kaynak sonrası 1040 orta karbonlu çelik numune

TIG/MIG kaynak uygulamaları için yapılacak olan çekme test numuneleri ilgili ulusal ve uluslararası

standartlar göz önüne alınarak (ISO 6892-1(2016) ve ASTM E8/8M (2016)) ikişer adet test numunesi

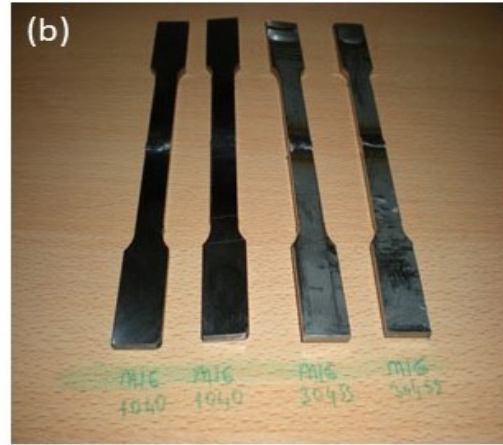
üretimiştir. Üretilen test numunelerinin boyutsal detayları Şekil 3'te verilmiştir. Testler Instron 8802 servohidrolik test cihazında 23 °C oda

sıcaklığında ve uygun nem koşullarında (ISO 6892-1(2016) ve ASTM E8/8M (2016)) standartlarına göre test edilmiştir.



Şekil 3. TSE 138 e göre standart çekme test numunesi teknik resmi

İlgili TSE ve ASTM standardına göre üretilmiş olan çekme çubukları Şekil 4'te görülmektedir.



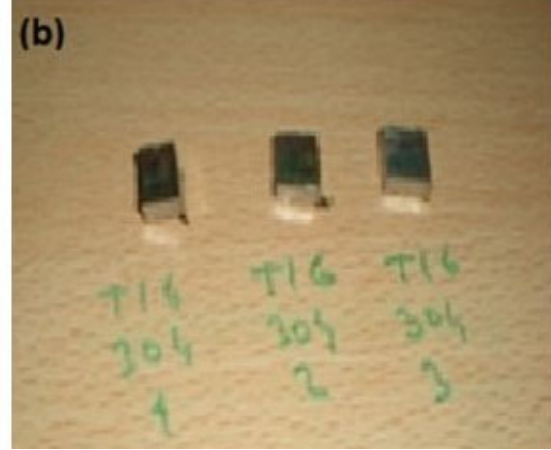
Şekil 4. 304/1040 malzemelerinin TIG ve MIG kaynağı yapılmış çekme test numuneleri

Her uygulama için ikişer adet test numunesi üretilmiştir. Elde edilmiş olan sonuçlar iki adet çekme testi sonucunun aritmetik ortalamasıdır. İki farklı malzeme ve iki farklı kaynak yöntemi ile üretilmiş olan kaynak parçasından kesilerek sırası ile numaralandırılmıştır. Numaralandırılmış olan kaynak numuneleri sıcak kalıplama ile bakalite alınarak metalografik incelemeler ve sertlik testleri için numuneler hazırlanmıştır. Bakalite alınarak hazırlanan bütün numuneler sırasıyla 400, 600, 800 ve 1000 tane boyutlu SiC zımpara ile

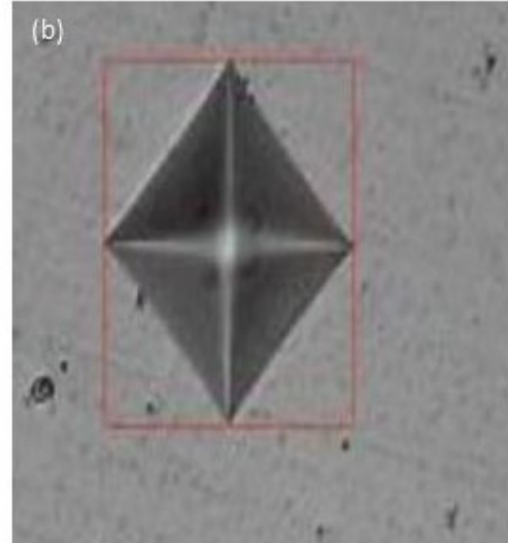
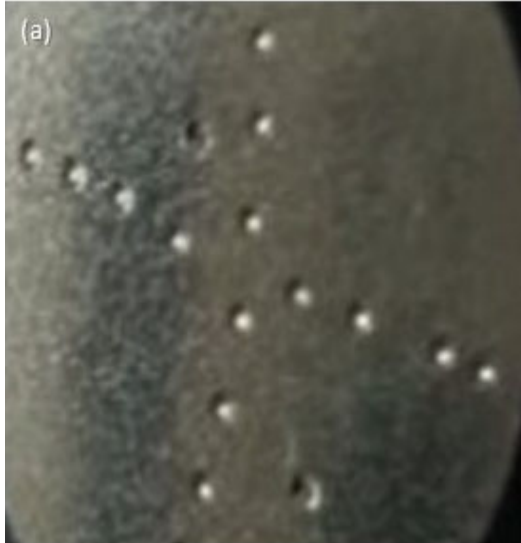
özenle zımparalandıktan sonra Al_2O_3 pasta kullanılarak çuha ile parlatılmıştır. Bakalite alınarak parlatılmış olan bu numuneler sertlik ölçüm testleri için Future Tech. FM-7000 mikro sertlik ölçüm cihazında test edilmiştir. Kaynaklı numunelerin Mikro sertliği Vickers 136°'lik elmas uç ile 500 gr ağırlık kullanılarak HV (0.5) Vickers yöntemi ile yapılmıştır. Her örnek için test yükü 500 g ve bekleme süresi 15 saniyedir. Sertlik ölçme testinde her numune üzerinde yaklaşık olarak beş adet ardışık ölçüm yapılmış olup nihai olarak elde edilmiş olan beş değer

aritmetik ortalaması sertlik değeri olarak kabul edilmiştir. Hazırlanmış olan mikrosertlik test numuneleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

ITAB bölgesinden başlanarak belirli aralıklarla ölçümü yapılan sertlik numunesi ve izleri Şekil 6 da gösterilmiştir.



Şekil 5. ITAB bölgesi (1-2-3) TIG kaynaklı 304/1040 malzemeleri sertlik testi numuneleri

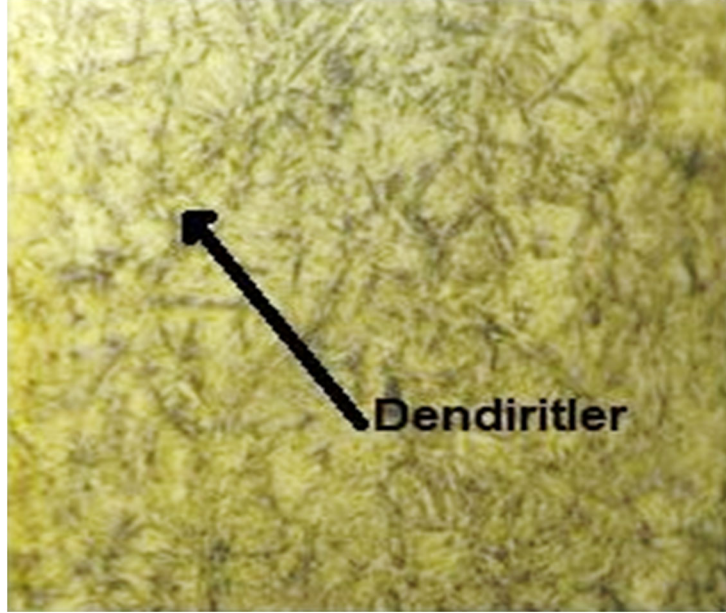


Şekil 6. ITAB bölgesi (1-2-3) MIG kaynaklı 304/1040 malzemesi sertlik testi numuneleri

Metalografik muayene için kullanılan numunelerin her biri TIG/MIG kaynağı ile kaynak parametrelerine titizlikle bağlı kalınarak üretilmiş olan numunelerdir. Optik incelemeler gerçekleştirmek içinde aynı yöntemlerle hazırlanmış numunelerin dağlanması için kroll reaktifi (3 mL HF, 100 mL H₂O içinde 6 mL HNO₃) kullanıldı [13]. İncelenen numuneler

kaynak bölgesinden kesilerek ITAB ve çevre kesitlerinden metalografik numuneler hazırlanmıştır. Tüm numuneler, 240, 500, 800 ve 1000 tane yapılı SiC zımpara kâğıtları ile hafifçe zımparalanıp ardından kroll solüsyonları ile dağlanmıştır. Parçaların mikroyapıları optik mikroskopu ile incelendi. Numune hazırlama işlemi sonrası (X200) hazırlanmış olan numuneye

metalografik olarak düşey kesitlerden bakıldı. Şekil 7'de görüleceği üzere mikroyapı incelendiğinde yapıda ince dendiritik yapıların oluştuğu net olarak görülmektedir.



Şekil 7. MIG kaynaklı birleştirilen 304 numunenin mikroyapı görüntüsü

3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Ülkemizde sık rastlanmayan fakat sanayimizde uygulanmaya başlandıktan sonra çok yaygınlaşan TIG ve MIG kaynakları ile ilgili çok yönlü çalışmalar yapılmıştır. Fakat yapılan bu çalışmada sanayiye dönük düşük karbonlu çelikler ve paslanmaz çelik kaynaklı malzemelerin mekanik özellikleri yapılan literatür taramalarında fazlaca

deneysel olarak bir arada yapılmadığı kanısına varılmıştır. Düşük karbonlu çelik (1040) ve paslanmaz çeliklerin (304) farklı kaynak yöntemleri kullanılarak üretilmiş olan kaynaklı numunelerin mikosertlik testleri yapılmıştır. MIG/TIG kaynağı yapılmış malzemelerin ITAB bölgesinden kaynak bitimine doğru olan bölgelerden edilen sertlik test sonuçları Çizelge 5 ve Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. MIG kaynaklı malzemelerin sertlik ölçümleri

1040 Orta Karbonlu Çelik	304 paslanmaz Çelik	ITAB
358 HV	392 HV	1
312 HV	351 HV	2
275 HV	304 HV	3

Çizelge 6. TIG kaynaklı malzemelerin sertlik ölçümleri

1040 Orta Karbonlu Çelik	304 paslanmaz Çelik	ITAB
332 HV	372 HV	1
192 HV	341 HV	2
186 HV	291 HV	3

Ark, sürekli olarak kaynak metali ve sarf malzemesi olan elektrot teli arasındadır. Genel olarak, bir kaynak bağlantısının kalitesi, kaynak sırasında giriş parametrelerinden doğrudan etkilenir. Kaynak prosesleri birçok parametreye sahip karmaşık uygulamalardır. Bu nedenle kabul edilebilir standartlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılmış olan kaynak işlemi sonucunda mikro yapıda geçiş ve ısıdan etkilenen bölgelere doğru taneler arası ostenit oluşturuldu. Meydana gelen bu mikroyapısal faz değişimi kaynaklı TIG, MIG kaynağının en yüksek sertlik değerleri 392 HV ve 372 HV olarak bulunmuştur. Mikro sertlik ölçümleri değerleri ITAB bölgesi ve dışında farklılık gösterdi. ITAB bölgesinde düşük bu bölge dışında ise daha hızlı soğutulması sonucunda da daha yüksektir. Mikro sertlik değerleri sırası ile ITAB bölgesi sağ ve soluna merkezden uzaklaşarak sırasıyla azalmıştır. Mikroyapı değişimi de söz konusu farklı ısı değişimlerinden dolayı ITAB bölgesi merkezli olarak belirtilen

numunelerde daha büyük dendritler meydana gelmiştir. Kaynaklı yapıların mikro sertlik değerleri ITAB bölgesinden uzaklaştıkça azalmıştır. Ayrıca kaynaklı örneklerin sertlik değerleri ana metallerden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kaynak sırasında ısının mikroyapının yeniden kristalleşmesini hızlandırdığını, bunun da deformasyon derecesine bağlı olduğunu göstermektedir. Artan deformasyon miktarı sonucunda mukavemetin ve sertlik değerlerinin artmaktadır ve bu bilinen genel bir doğrudur.

İki farklı kaynak yöntemi kullanılarak oluşturulan kaynaklı birleştirmelerden elde edilen çekme numunelerine yapılan çekme testleri sonuçları Çizelge 7'de görülmektedir. Numunelerin tümünde kopma işlemi kaynaklı bağlantı esas metal tarafında ve kaynak ergime sınırına bitişik olan ITAB'ın iri taneli bölgesinde meydana gelmiştir.

Çizelge 7. Çekme testi sonuçları

	MIG304	MIG1040	TIG304	TIG1040
Çekme Dayanımı MPa	678	651	662	631
Akma Dayanımı MPa	397	382	377	367
E Modül MPa	5142	4340	5579	4020
%Uzama	53,99	25,0	46,64	12,5

Çizelge 7 incelendiğinde iki değişik kaynak yöntemiyle birleştirilmiş bağlantılardan en yüksek çekme dayanımı (678 N/mm²) MIG kaynağı ile birleştirmiş 304 paslanmaz çeliklerde elde edilmiştir. Çok büyük bir fark olmamakla beraber TIG kaynağı ile birleştirilmiş 304 paslanmaz çeliklerde ölçülen çekme dayanımı da 662 N/mm² olarak bulunmuştur. MIG/TIG kaynakları ile birleştirilen 304 paslanmaz çelik çekme dayanımlarının 1040 orta karbonlu çeliğin çekme dayanımından daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çekme deneyi sonucunda elde edilen %uzama değerleri incelendiğinde, TIG kaynaklı bağlantı ortalama %15 (1040) ve %46,64 (304) MIG kaynaklı bağlantı ortalama %25 (1040) ve %59,99 (304) uzama değeri elde edilmiştir. Kaynaklı bağlantıların %uzama değerlerinin birbirlerine çok

yakın olduğu görülmektedir ve iki farklı kaynak yöntemiyle birleştirilen iki farklı materyel bağlantılarından 1040 çeliğini TIG kaynağındaki ortalama %uzama değerlerinin her iki esas malzemeden daha düşük olduğu görülmüştür. Kaynaklı bağlantılardaki %uzama miktarının azalmasının nedeni, kaynak esnasında sertliği artarak deforme olmayan bölgelerin varlığına bağlanabilir[16].

4. SONUÇ

Bu çalışmada, 304 ve AISI 1040 orta karbonlu çeliklerin kaynaklanabilme özelliklerini incelenmiştir. İki farklı çeliğin mikroyapıları, mikrosertlik ve çekme testi özelliklerini inceleyerek söz konusu malzemelerin mekanik davranışları hakkında bilgi edinmektedir. Isıdan

etkilenen bölge, kaynaklı çeliğin performansını nasıl etkileyeceği konusuna açıklık getirmektedir;

- i) Yapılan TIG ve MIG kaynak yöntemleri sonucunda birleştirilmiş numunelerin çekme testleri sonucunda, en yüksek çekme dayanımı (678 MPa/662 MPa) TIG/MIG kaynağı ile birleştirmiş 304 paslanmaz numunelerden elde edilmiştir.
- ii) Kaynaklı numunelerin hepsinde kopma işlemi kaynaklı bölgenin ve ITAB'ın dışındaki iri taneli bölgede meydana gelmiştir. Kopmanın ITAB bölgesi dışında oluşması bu da çalışmanın doğruluğunu teyit etmektedir. Ayrıca 1040 orta karbonlu çeliğin düşük kaynak kabiliyeti sergilediği kolayca görülebilir.
- iii) Yapılan mikrosertlik ölçümlerinde, en yüksek sertlik değerini TIG AISI 304 kaynaklı birleştirmelerin ITAB bölgelerinden (392 HV) ölçülmüştür.
- iv) Optik mikroskop çalışması sonucunda, ergiyip katılmış kaynak metalinin eş eksenli dendritik tanelerden meydana geldiği belirlenmiştir.
- v) Mikroyapı ile mekanik özellikler birbiri ile uyumlu bir seyir izlemektedir. Bu etkilerin anlaşılması, çeliklerin performansının optimize edilmesi için kritik öneme sahiptir. Şüphesiz, kaynak endüstrisi yükselecek ve mekanik özelliklerini geliştirecek malzemelerin incelenmesini sağlayacak şekilde gerçekleşeceği öngörülmektedir.
- vii) Yapılan bütün incelemeler sonucunda MIG kaynak yöntemi ile yapılan bütün birleştirmeler TIG kaynak yöntemine göre daha iyi mekanik sonuçlar vermiştir. Bundan dolayı MIG (Metal Inert Gas) genelde otomatik kaynak yöntemi ile toprak altı ana çelik boru hatlarında istenen mekanik özelliklere cevap verdiği için hem daha işlevsel hemde seri yönetime uygun olduğu için tercih edilir. TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi de NDT gerektiren kullanılan boru çap 4"e kadar olan kök-dolgu kaynakları gibi uygulamalar da kullanılır.

5. KAYNAKLAR

1. Bilici, M.K., Bakir, B., Bozkurt, Y., Çalış, Ç., 2016. Taguchi Analysis of Dissimilar Aluminum Sheets Joined by Friction Stir Spot Welding, DOI: 10.5505/pajes.2015.06641.
2. Çalgülü, U., Dikbaş, H., Taşkın, M., 2012. Microstructural Characteristic of Dissimilar Welded Components (AISI 430 Ferritic-AISI 304 Austenitic Stainless Steels) by CO₂ Laser Beam Welding (LBW) Gazi University Journal of Science, 25(1), 35-51.
3. Taskin, M., Ozan, S., Kolukisa, S., 2006. The Effect of the Process Temperature on the Bondability in Diffusion Bonding of AISI 430 with Nodular Cast Iron, Practical Metallography, 43(6), 293-305.
4. Ozan, S., Taskin, M., Kolukisa, S., 2006. The Effect of the Process Temperature on the Bondability in Transient Liquid Phase (TLP) Diffusion Bonding of AISI 430 Ferritic Stainless Steel with Nodular (Spheroid) Cast Iron Using A Copper Interlayer, Practical Metallography, 43(11), 575- 585.
5. Tabish, T.A., Abbas, T., Farhan, M., Atiq, S., Butt, T.Z., 2014. Effect of Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of the TIG Welded Joints of AISI 304 Stainless Steel International Journal of Scientific & Engineering Research, 5(7), 1532.
6. Tanaka, M., Shimizu, T., Terasaki, T., Ushio, M., Koshiishi, F., Yang, C.L., 2006. Effects of Activating Flux on Arc Phenomena in Gas Tungsten Arc Welding, Science and Technology of Welding & Joining, 5 (6), 397-402.
7. Tseng, K.H., Hsu, C.Y., 2014. Performance of Activated TIG Process in IJSER International Journal of Scientific & Engineering Research, 5(7), 1541.
8. Kurt, H.İ., Samur, R., 2013. Study on Microstructure, Tensile Test and Hardness 304 Stainless Steel Jointed by TIG Welding, International Journal of Science and Technology, 2:163-168.
9. Yan, J., Gao, M., Zeng, X., 2010. Study on Microstructure and Mechanical Properties of 304 Stainless Steel Joints by TIG, Laser and

- Laser-TIG Hybrid Welding Optics and Lasers in Engineering, 48, 512–517.
10. Sakthivel, T., Vasudevan, M., Laha, K., Parameswaran, P., Chandravathi, K.S., Mathew, M., Bhaduri, A.K., 2011. Comparison of Creep Rupture Behaviour of Type 316L(N) Austenitic Stainless Steel Joints Welded by TIG and Activated TIG Welding Processes, *Materials Science and Engineering A*, 528, 6971–6980.
 11. Sathiya, P., Aravindan, S., Haq, A.N., 2007. Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Metallurgical Properties of Ferritic Stainless Steel, *the International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31(11-12), 1076-1082.
 12. Fujii, H., Sato, T., Lua, S., Nogi, K., 2008. Development of an Advanced A-TIG (AA-TIG) Welding Method by Control of Marangoni Convection, *Materials Science and Engineering A*, 495, 296–303.
 13. Topcu, I., Gulsoy, H.Ö., Kadıoğlu, N., Gulluoglu, A.N., 2009. Processing and Mechanical Properties of B4C Reinforced Al Matrix Composites-*Journal of Alloys and Compounds*, 482(1-2), 516-521.
 14. Kaya, Y., 2010. AISI 304 ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark Kaynağıyla Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 549-557.
 15. Gençalp İrizalp, S., Saklakoğlu, N., İldaş, G., Demirok, S., 2018. 1.2714 Çeliği Üzerine Sert Dolgu Kaynağı ile Kaplanmış Fe-Cr-V Esaslı Alaşımın Malzeme Özelliklerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1), 35-46. DOI: 10.21605/cukurovaummfd.420400
 16. Topcu, İ., Güllüoğlu, A.N., Bilici, M.K., Gülsoy, H.Ö., 2018. Investigation of Wear Behavior of Ti-6Al-4V/CNT Composites Reinforced with Carbon Nanotubes, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* (2018), <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.460542>.

Enerji Etkin Bina Tasarımında Güneş Enerjisinden Pasif Yararlanma: Karataş Açık Ceza Evi Tekstil Atölyesi Projesi

Mustafa YEĞİN^{*1}

¹Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 05.09.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada Karataş Kadın Açık Ceza Evi Tekstil atölyesi projesi tanıtılmaktadır. Yazar tarafından Haziran 2017 tarihinde Tekstil Atölyesi projesinin tasarımına başlanmış Aralık 2017'de tamamlanarak Karataş Kadın Açık Ceza İnfaz Kurumu Müdürlüğü'ne teslim edilmiştir. Çalışmada, projeye ilişkin tasarım süreci, tasarımda öne çıkan unsurlar, ergonomik faktörler, mekan kullanımları, alansal büyüklükler ve pasif tasarım ilkeleri ile elde edilen mekan kalitesi sunulmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tekstil atölyesi mimari projesi, Cezaevi tekstil atölyeleri, Atölye bina programı, İş çevresi tasarımı, Adana

Passive Solar Energy Utilization in Energy Efficient Building Design: Karataş Open Prison Textile Workshop Project

Abstract

In this study, Karataş Women's Open Prison Textile workshop project was introduced. June December 2017, the design of the textile workshop project was started by the author and completed in December 2017 and handed over to the Directorate of Karataş Women Open Penitentiary Institution. In the study, the design process related to the project, prominent elements in the design, ergonomic factors, space uses, space sizes and passive design principles and the quality of the obtained space were tried to be presented.

Keywords: Textile workshop architectural project, Prison textile workshops, Workshop building program, Business environment design, Adana

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa YEĞİN, myegin@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Genel olarak, enerjinin etkin kullanımı, kalite ve konfor koşullarından, istenilen performans düzeyinden ödün verilmeksizin, hizmet elde etmekte daha az miktarda enerji kullanılmasıdır. Bir tasarım anlayışı olarak 'Enerji Etkin Tasarım Yaklaşımları' disiplinler arası çalışmalarda önemli bir konumdadır.

Yapılaşma faaliyetleri bir binanın inşa sürecini de içinde barındıran yapının yaşam döngüsünü (inşa, kullanım, yıkım) kapsayan faaliyetler bütünüdür. Bu faaliyetler içinde enerji tüketimin önemli bir bölümü, yapının tüketici tarafından kullanılırken bina içi konfor koşullarının (aydınlatma, iklimlendirme, havalandırma) oluşturulması ve korunmasıdır. Bu koşulları sağlayan ve denetleyen cihazların büyük bir kısmı fosil yakıtları kullanarak çalışmaktadır.

İnşaat sektörü dünya genelinde toplam enerji tüketiminde öncüdür ve sorumludur. İmar faaliyetleri her yıl küresel olarak kullanılan enerjinin %40'ını tüketmektedir [1].

2. YÖNTEM

Yazarın tasarım sorumlusu olarak görevlendirildiği işlevsel ve ergonomik atölye projesi tasarımı, 'Yapılarda Performansı Artırmak İçin Yeni Metotların Modellenerek Geliştirilmesi' Ar-Ge projesi kapsamında imar durumuna uygun iklimsellik ve ergonomik koşullar dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Enerji etkin tasarım prensipleri bağlamında yatay sirkülasyonlar, atölye çalışma ve ofis yönetim odaları, depolar, ıslak hacimler, kapı ve pencere genişlikleri vb. tasarlanmış olup sonradan yapılacak emsallerine örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır.

Bina ihtiyaç programı ve ergonomik konfor düzeyleri de dikkate alınarak tekstil atölyesi tasarımı ve uygulama projesi tamamlanmıştır. Tasarlanan binanın çizimleri ve modelleri üzerinden değerlendirmeler yapılarak, güneşlenme

verileri için 'Dialux Programı' kullanılmıştır. Programa koordinat verileri girilerek yapı modellenmiş, yapılan modelleme üzerinden de belirli tarihler için gün ışığı analizleri program yardımıyla hesaplanarak doğal aydınlatma performansı sunulmuştur.

Rüzgar etkisi ve yapı ile etkileşimi şematik olarak değerlendirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Rüzgar etkisinin tespitinde etkin rüzgar yönü ve hava hareketleri birer parametre olarak ele alınmış, yapı içerisinde havanın açıklıklara göre hareketleri ve pasif tasarım ilkelerinin yapının performansı üzerindeki etkileri sunulmuştur.

2.1. Enerji Etkin Bina Tasarımı

Enerji etkin bina tasarımı ile aşağıdaki ilkeler amaçlanmıştır.

- Enerji korunumunun binada yükseltilmesi ile gereksiz ısı kazanç ve kayıplarının önlenmesi,
- Aktif ve pasif iklimlendirmenin tasarımda kullanılması,
- İklim dengesizlikleri, çevresel kirlenme ve çevreyle ilgili bozulmaların engellenmesi,
- Çevreyle dost verimli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bina tasarımında kullanılması sağlanmıştır.

Enerji etkin bina tasarımı sürecinde etkili olan parametreler; bina aralıkları, binanın yönlendirilişi binanın konumu, bina kabuğu, bina formu ve doğal havalandırma düzeni olarak gruplandırılabilir.

Bu parametrelerden yararlanılarak binaların aktif ve pasif sistemler aracılığıyla enerji etkin olarak planlanması ve tasarımı mümkündür.

Türkiye, yenilenebilir enerji kullanımı için çok uygun bir ülkedir; örneğin güneş kuşağı üzerinde bulunmakta ve 2651,5 saat güneşlenmektedir bu da 1344,5 kWh/m² güneş enerjisine karşılık gelir [2].

Pasif tasarım ilkeleri iş atölyesi tasarımında, tasarımcıların ve yönlendiricilerin, fiziksel çevre verilerini temel alarak; enerji korunumunu, geri dönüşümünü sağlamayı hedefleyen tasarım problemlerine ürettikleri çözümler bütünüdür. Bina

tasarımına yönelik tasarım ilkeleri ve planlama süreci gerektirir.

Çizelge 1. Coğrafi bölgelere göre güneş ışınımı dağılımı [2]

Coğrafi Bölgeler	Yıllık Ortalama Güneş Işınım Şiddeti (kWh/m ²)	Yıllık Ortalama Güneşlenme Süreleri (Saat)
Güney Doğu Anadolu Bölgesi	1491,2	3015,8
Akdeniz Bölgesi	1452,7	2923,2
İç Anadolu Bölgesi	1432,6	2711,5
Ege Bölgesi	1406,6	2726,1
Doğu Anadolu Bölgesi	1398,4	2692,5
Marmara Bölgesi	1144,2	2525,7
Karadeniz Bölgesi	1086,3	1965,9

3. KADIN AÇIK CEZA İNFAZ KURUMLARINDA ÜRETİM FAALİYETLERİ

Açık ceza infaz kurumlarındaki üretim faaliyetleri kurumda kadrolu olarak görev yapan atölye şefleri tarafından yönlendirilmekte, ayrıca bu kurumlarda gerek görüldüğü takdirde serbest işçi statüsünde de eleman istihdam edilmektedir. Kadrolu personel aynı zamanda hükümlülerin bir meslek ve sanat öğrenmesini de sağlamaktadır. İş esası üzerine kurulmuş bulunan açık ceza infaz kurumlarında amaç üretime yöneliktir. Bu nedenle bu kurumlarda iş atölyeleri bulunmakta ve hükümlüler bu atölyelerde çalıştırılmaktadır. Atıl durumdaki hükümlü iş gücü, üretime kanalize edilmekte ve aynı zamanda tahliye sonrası bu hükümlülerin bir meslek ve sanat öğrenmeleri de sağlanmaktadır [3].

Cezaevleri, suç işleyen kişilerin toplum yaşamından kopmadan eğitilerek, topluma kazandırılması yolunda çalışan kurumlardır [4].

CGTİHK (Ceza ve Güvenlik Tedbirlerinin İnfazı Hakkında Kanun) Haziran 2005'te yürürlüğe girmiştir. Bu kanuna göre; Açık ceza infaz kurumları, hükümlülerin çalıştırılmalarına, meslek edindirilmelerine ve iyileştirilmelerine öncelik verilen, dış güvenlik görevlisi bulunmayan, güvenlik bakımından kurum görevlilerinin gözetim ve denetimi ile yetinilen kurumlardır. Açık cezaevindeki hükümlülerin bir işte çalışmaları zorunludur. Emekleri karşılığı olarak gündelik ve prim alırlar. İaşe bedelleri kendilerinin kazançlarından tahsil olunduktan sonra geriye kalan tasarrufları tahliyelerinde kendilerine, vefatlarında mirasçılara ödenir [5].

13/12/2004 tarihli ve 5275 sayılı Ceza ve Güvenlik Tedbirlerinin İnfazı Hakkında Kanununun 121 inci maddesi hükümlerine göre ve yine çıkarılan tüzüğün 3. maddesine göre ceza infaz kurumları içerisinde olması gerekli birimler tanımlanmıştır. Bu birimler, kapalı, yüksek güvenlikli kapalı, kadın kapalı, çocuk kapalı, gençlik kapalı, açık ceza infaz kurumları ile gözlem ve sınıflandırma merkezleri ve çocuk eğitim evlerinden oluşmaktadır [6].

Ceza infaz kurumlarındaki hükümlülerin var olan mesleklerini korumak veya meslek öğretmek amacıyla 1997 yılında 4301 sayılı Ceza İnfaz Kurumları ile Tutukevleri İşyurtları Kurumuna İlişkin Bazı Mali Hükümlerin Düzenlenmesi Hakkında Kanun'la işyurtları kurumu kurulmuştur. Anılan kanuna göre 'işyurdu' kavramı; hükümlü ve tutuklulara bir meslek ve sanat öğretmek veya meslek ve sanatlarını koruyup geliştirmek suretiyle üretilen ekonomik değerleri pazarlamak için ceza infaz kurumları ile tutukevleri bünyesinde oluşturulan atölye, tesis ve benzeri üniteleri ifade etmektedir. İş yurtlarının misyonu, hükümlü ve tutukluların işyurdu faaliyetlerine katılımını sağlamak onları topluma yeniden kazandırma, onlara meslek edindirmek ya da var olan mesleklerini geliştirmektir.

3.1. İşyurtları Kurumunun Tekstil Üretim Faaliyetleri

Ceza İnfaz Kurumları ile Tutukevleri İşyurtları Kurumu bünyesinde, hükümlülere bir meslek veya

sanat öğretmek, meslek ve sanatlarını koruyup geliştirmek amaçları ile tekstil alanında 302 adet iş yurdu müdürlüğü mevcuttur. Tekstil alanında, kalıpcı, makineci, ara elemanı gibi tekstil sektörünün ihtiyaç duyduğu eleman yetiştirilmeye çalışılmaktadır. Ceza infaz kurumlarında tekstil, ayakkabı, deri, konfeksiyon ve terzi gibi alanlarda faaliyet sürdürülmektedir.

Bu kapsamda tekstil alanında, makineci, kalıpcı, ara elemanı gibi tekstil sektörünün ihtiyacı olan nitelikli eleman ihtiyacı karşılanmaktadır. Hareket Ekonomisi Prensipleri doğrultusunda öncelikli olarak verime doğrudan etkisi olması sebebi ile ekipman boyut ve büyüklükleri belirlenmiştir. Genel duruş ve görev değerlendirmesi çalışma alanında her eylem ve aktivite için ele alınmıştır.

Tekstil atölyesinde enerji tasarrufu, konfor temini, yönetim esnekliği gibi çağdaş organizasyonların bulunmasına önem verilmiştir. ÇSGB'nın İSG normlarına uygun olarak aydınlatma, havalandırma, yangın tesisatları ve kurulumları ile tavan ve zemin döşeme/kaplama malzemeleri belirlenmiştir.

4. FİZİKSEL ÇEVRE KONTROLÜ

Fiziksel çevre; doğal ve yapay çevre olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal çevre bünyesinde; iklim, coğrafya/topoğrafya, güneş ışınımı/gün ışığı, rüzgar, bitki örtüsü, sıcaklık, nem verilerini barındırır.

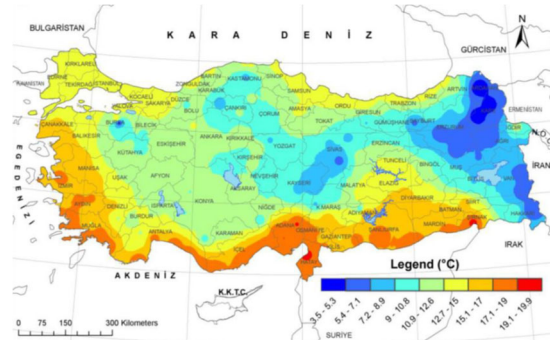
Yapay çevre ise; komşu binalar/yüzeyler, gölgelenme/engeller, şehirleşme/altyapı, yerleşim/konum/yönlenme verilerini barındırır.

4.1. Fiziksel Çevre Kontrolünde Pasif Tasarım Parametreleri

4.1.1. Yapının Konumu

Konum, iklimlendirme, güneşlenme ve hava temizliği ile alakalı verilere taban oluşturan bir parametredir.

Yapı Akdeniz bölgesinde Adana ili, Karataş İlçesinde yer almaktadır. Akdeniz bölgesi Türkiye'nin ortalama güneş süresi en yüksek ikinci bölgedir. Adana Bölgesi Şekil 1 ve 2'de gösterildiği gibi sıcak nemli iklim bölgesindedir.

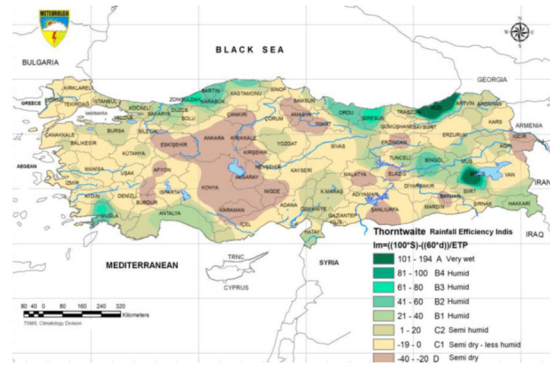


Şekil 1. Türkiye sıcaklık haritası [7]

4.1.2. Çevredeki Yapılar

Çevre yapılar ile yapı arasındaki mesafe ve yükseklik farkı, rüzgar ve güneş ışınımı verilerini etkileyebilmektedir.

Yakın çevrede az katlı düşük yoğunluklu yapılar yer almaktadır. Binanın konumlanacağı alan Adana İli, Karataş İlçesi'nde ceza evi yerleşkesinde bulunmaktadır.



Şekil 2. Türkiye nemlilik haritası [7]

Yerleşke içinde yer alan diğer yapılarla da ilişkilendirilen atölye binası yüksek duvarlarla çevrili kampüs alanı içindedir. Peyzaj projesiyle de rezerv yapılanma ve iş atölyesi bina alanları gelecekte yapılmak üzere önerilmiştir.



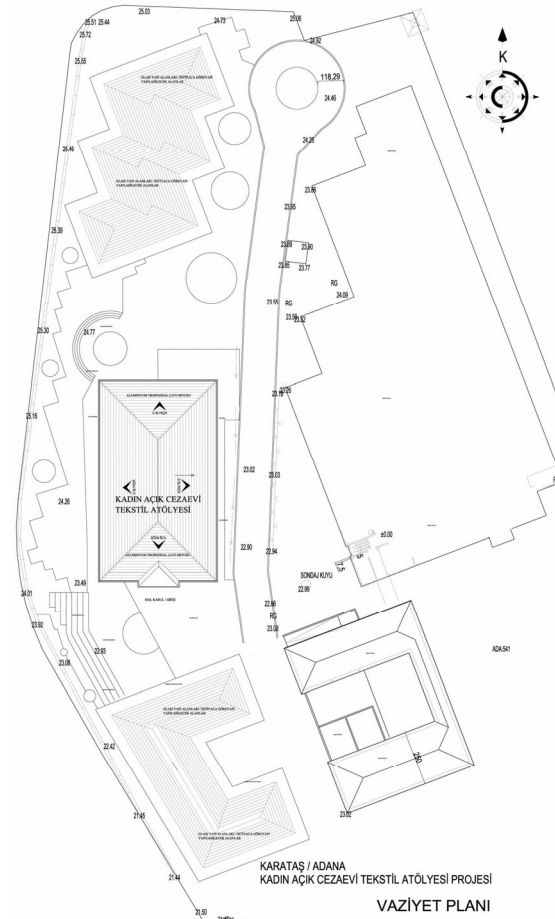
Şekil 3. Kadın Açık Ceza Evi vaziyet planı 2019 tarihli hava fotoğrafı Google Earth

4.1.3. Yönlenme

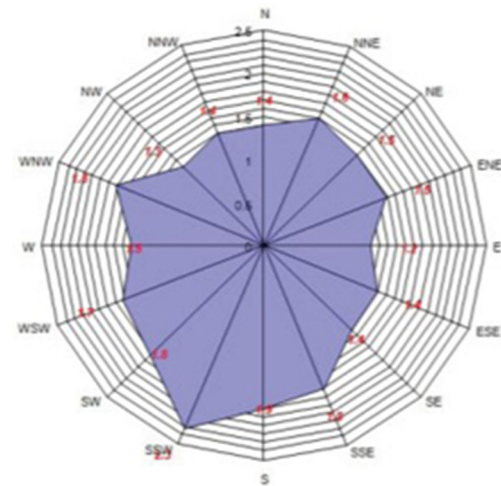
Hakim rüzgar yönü yönlendirici olmuştur. Güney, güney batı yönü yazın serinletici rüzgara sahiptir. Kışın, kuzey- kuzey doğudan esen soğuk rüzgar binaları olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla yapının ana cephesi güney olarak seçilmiştir.

Bu yönelim ile doğudan gelecek olan güneş ışınlarının etkisi azaltılarak güneyden gelecek olan ışık ile gün içerisinde güneşten maksimum fayda sağlanarak yapıdaki iç mekanların aydınlık kalması hedeflenmektedir. Atölye yapılarında (metabolik hız 1m/s giyinme katsayısı ise 0,4 olarak ele alınmıştır) yapılan analizlerde (Şekil 6) ısı konforun 25 santigrat derece olduğu sonucuna ulaşılmıştır

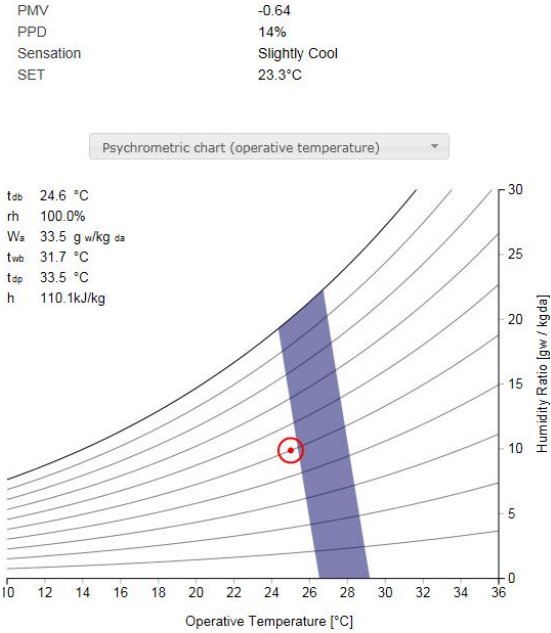
Atölye inşaat alanı toplam 592 m²'dir. Yapının toplam yüksekliği 3,75 m'dir. Nemden ve yüksek sıcaklıklardan kaçınmak ilk hedef olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Atölye çevre düzenlemesi ve vaziyet planı



Şekil 5. Adana Bölgesi etkin rüzgar yönü [8]







Şekil 6. Binada ısı konfor aralığı [9]

Bölgede yaz aylarında ortalama sıcaklık otuz derecenin üstündedir. Dolayısıyla etkin rüzgar (Şekil 5) yapının içerisine alınarak, hava sirkülasyonu sağlanmakta, iç mekanlarda nemin ve aşırı ısınmanın önüne geçilerek, ısı konforun sağlanması, yapının soğutulması için gerekli olan enerjinin azaltılması hedeflenmektedir.

4.1.4. Cephe Açıklıkları

Çizelge 2. Cephe açıklıkları yüzdeleri

Cephe	Açıklık %
 Kuzey	(61,2 m ² /11,52 m ²) %19
 Güney	(61,2 m ² /11,56 m ²) %19
 Doğu	(112 m ² /29,66 m ²) %26,16
 Batı	(112 m ² /29,3 m ²) %26,48

Yapıda bulunan açıklıklar tasarlanırken bina içerisindeki hava dolanımı ve güneş ışınımı göz

önünde bulundurulur, yapıda ısı ve görsel konfor sağlamak hedeflenmektedir. Yapıda batı ve doğu cephesindeki açıklık oranları yüksek tutulmuştur, bununla birlikte gün içerisinde güneş ışığından ve hakim rüzgardan maksimum fayda elde edilmesi hedeflenmiştir. Batı cephesi açıklıkları ise akşam güneşinden ve hakim rüzgardan faydalanmak için yüksek tutulmuştur (Şekil 10).



Şekil 7. Güney cephesi



Şekil 8. Doğu cephesi



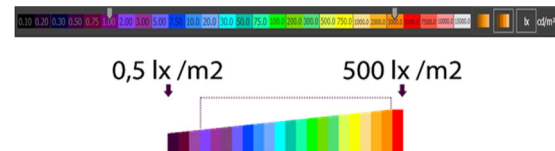
Şekil 9. Kuzey cephesi



Şekil 10. Batı cephesi

Kuzey cephesinde bulunan açıklıklar hava sirkülasyonunu sağlamak için oluşturulmuştur. Açıklık oranları yüzde olarak Çizelge 2'de yer almaktadır.

4.2. Görsel Konfor



Şekil 11. Görsel konfor aralığı

Dialux programı kullanılarak iç mekanlardaki gün ışığı miktarları gösterilmiştir. Cephelerde kullanılan açıklıklarla karanlık bölgelerin oluşması önlenip ışık iç mekanlara ve çalışma ortamlarına düzenli bir şekilde ulaştırılmıştır.

Görsel konfor aralığı Şekil 11’de belirtildiği sınırlar arasındadır. Belirtilen aralığın altında kalan mekanlar ışıklandırmaya, üstünde kalan mekanlar ise parlaklık önleyici mat yüzeylere veya cephelerinde güneş kırıcılara gereksinim duyar.

Atölye çalışma alanlarında sürekli ışık alarak gündüz aydınlanma için gerekli olan enerji ihtiyacı minimuma indirilmiştir. Parlama güneş ışığının yoğun miktarda iç mekanda bulunması ile yüzeylerin okunamaz hale gelmesi durumudur aynı zamanda yoğun ışığa direkt maruz kalan göz retinalarında aşınmalar ve göz duvarında hasarlara sebep olmaktadır. Çalışma ortamları bu kriterler dikkate alınarak düzenlenmiştir.

4.3. Atölye Çalışma Ortamı Gün Işığı Analizleri

Personelin verimi, motivasyonu ve göz sağlığı için sağlıklı ve doğru bir ofis ve çalışma ortamı aydınlatması önerilmelidir. Yapılan çalışmalarda en iyi ışığın beyaz ışık, gün ışığı olduğu bilinmektedir. Beyaz ışıktan maksimum düzeyde yararlanmak esas olmalıdır. Tasarımda gün ışığından yararlanmak adına yeterince pencere konulmaya çalışılmıştır. Aydınlatmada daha çok floresan veya kompakt floresanlı armatürler tercih edilmiştir. Çalışma ortamında eşit aydınlatma düzeyi sağlanmasına dikkat edilmiştir. Yeterli aydınlatma ortamı ile verimli ve kaliteli çalışmanın gerçekleşebilmesi mümkündür. Çalışılan nesnenin renkleri, şekilleri ve ayrıntıları yeterli aydınlatmaya sahip ortam da net olarak seçilebilmektedir.

Tekstil ve konfeksiyon atölyelerinde kumaş/aksesuar veya ürün üzerinde özellikle kalite kontrol işlemi sırasında çok dikkat gerektiren işlemler yapılmaktadır. Gerekli olan aydınlık düzeyi yapılan imalatın ve çalışılan parçaların özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.

Çizelge 3. Çeşitli görsel görevler için önerilen en düşük aydınlık düzeyi [10]

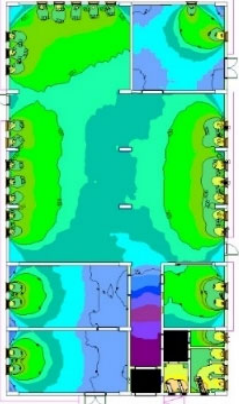

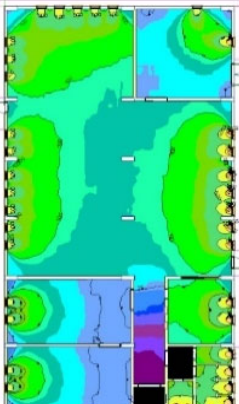

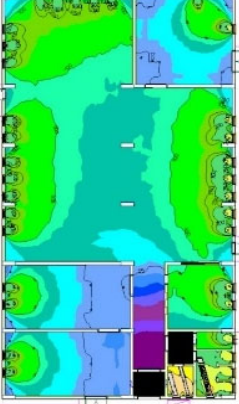

Görsel Görev Sınıfları	Aydınlık Düzeyi (Lüks)	Örnekler
Çok kaba işler	20-100	Çok az trafiği olan koridorlarda güvenle hareket etmek için
Kaba işler	150	Kaba, ara sıra yapılan tezgah ve makine işleri; kaba yoklama ve stokların sayımı, ağır makinelerin montajları
Oldukça hassas işler	300	Orta derecede hassas tezgah ve makine işleri; montaj ve yoklamalar; okuma kayıt ve dosyalama gibi büro işleri.
Hassas işler	700	Hassas tezgah ve makine işleri, montaj ve yoklamalar; çok hassas boyama ve püskürtmeler, koyu renkli malların dikişi.
Çok hassas işler	1500	Hassas mekanizmaların montaj ve yoklamaları, takım ve kalıp yapımı; ölçme; hassas taşlama işleri.
Olağan dışı zor önemli işler	3000-yukarısı	Saat yapımı ve onarımı

Çizelge 3’de yapılacak imalatın tanımına göre gerekli minimum aydınlatma şiddetleri verilmiştir. Tekstil sektöründe aydınlık düzeyi konusunda yapılacak işlemlerle ilişkili literatürde verilen değerler doğrultusunda Çizelge 4’de yer alan gruplama yapılmıştır [9].

Çizelge 4. Bir konfeksiyon işletmesinin üretim bölümlerinde olması gereken minimum aydınlık düzeyi [11]

Departmanlar	En Düşük Aydınlik Düzeyi (Lüks)
Numune	300
Kesimhane	300
Dikimhane	500
Kalite kontrol	900
Model Kalıp	500
Depolar	300
Katlama Poşet	300
Ütü	500
Tasnif	500

Çizelge 5. 31 Mart, 30 Haziran ve 31 Aralık tarihlerinde gün ışığı analizi

Gün Işığ Analizi	Atölye Mekan Organizasyonu
 31 Mart	
 30 Haziran	
 31 Aralık	

Başarılı bir aydınlatma sisteminde birçok faktör dikkate alınmalıdır. Işığın miktarı, yönü, yayılması, rengi ve aydınlatılan yüzeyin yapısı önemlidir.

Açık renkli yüzeyler üzerine düşen ışığın %90'nını yansıtırken koyu gri ve kirli yüzeyler ancak %10'unu yansıtılabilmektedir. Aydınlatma kolayca görmeyi sağlayacak derecede yüksek olmalıdır.

Doğrudan pasif güneş sistemlerinde bina, güneş ışınlarını alarak doğrudan iç mekanlara aktaracak şekilde tasarlanmaktadır.

Tasarım doğrultusunda güneş ışınları ara bir sisteme gerek olmadan cam yüzeylerden geçerek mekana alınmakta ve depolanması sağlanmaktadır. Çizelge 5'de 31 Mart, 30 Haziran ve 31 Aralık tarihlerinde gün ışığı analizi yapılarak mekanların gün ışığını kullana bilme performansları gösterilmiştir.

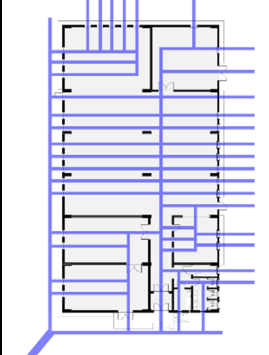

Atölye mekanlarında günışığı aydınlık düzeyleri değişik gün ve saatler için Dialux programı ile belirlenmiştir. Doğrudan pasif güneş sistemlerinde pencereler, duvar yüzeyi veya çatıdan geçen ışımla iç mekan yüzeyinde depolanan enerjinin sera etkisi oluşturarak binanın bir enerji toplayıcı gibi kullanılması amaçlanmaktadır. Bu sistem, binanın kendisi dışında ek bir sistem ve maliyet gerektirmemesi nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Sistemde, ısının toplandığı ve depolandığı pencere açıklıkları ile duvar ve çatı yüzeylerinin güneş enerjisi girdisinin yeterli ve ısı kaybının en düşük olacak şekilde yönlendirilmesi ve boyutlandırılması önem kazanmıştır. Tüm mekanların çalışma ve üretim alanlarında gerekli aydınlık düzeyini sağladığı Çizelge 5'de görülmektedir.

4.4. Isıl Konfor

Binanın yer aldığı Adana İli, Akdeniz iklim özelliklerini taşır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Yağışlar %51 kış mevsiminde, %26 ilkbaharda, %18 sonbaharda, %5 yazın düşer. Bina tasarlanırken özellikle iklim ile uyumlu olmasına dikkat edilmiştir. Güneşlenme süresinin fazla olması ve sıcaklıkların özellikle yaz aylarında

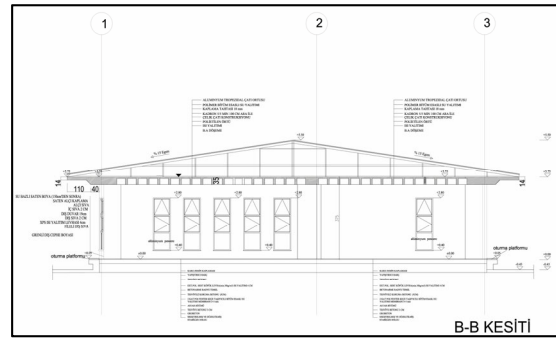
uzun olması nedeniyle cam yüzeylerde Solar Low-E camlar yani güneş ışığı geçirme katsayısı düşük olan camlar tüm cephede önerilmiştir. Low-E cam kullanımı kış aylarında içeride oluşan ısının pencereden tekrar içeriye yansıtılmasını, yaz aylarında ise güneşten gelen kızılötesi ısı yayımının dışarıda kalarak iç mekanın serin kalmasını sağlayarak pencerelerin verimini önemli ölçüde artıracakları değerlendirilmektedir. Bina cepesinde ısı yalıtımı yapılarak ısı köprülerinin oluşumu önlenmiş ve ısı kontrolü ve enerji tasarrufu sağlanmıştır. Low-E kaplamalı cam yüzeylerin geniş olması içeriye giren ısı miktarını önemli ölçüde azaltırken, doğal aydınlatmayı engellememektedir. Tüm mekanlar doğal aydınlatma konforuna sahiptir ve bu aydınlatma yüklerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bina hakim rüzgar yönünde yerleştirilmiş olup tüm mekanlarda doğal havalandırma yapılabilir. Enerji etkin bir yapı tasarımında iç ve dış mekanı birbirinden ayıran yapı elemanlarından oluşan ve enerjinin korunmasında, ısı konforunun sağlanmasında önemli rol oynayan yapı kabuğunun kullanımı tercih edilmiştir. Güneybatıdan alınan rüzgar yapı içinde dağılmaktadır. Yaz aylarında aşırı ısınmanın önüne geçilmesi için rüzgar doğrudan yapı içerisine alınmak yerine belirli bir açıyla alınmıştır bununla birlikte hava yapı içerisinde dolanabilmektedir.

Çizelge 6. Binada rüzgar etkisi ve yapı ile etkileşim analizi

Rüzgar Etkisi ve Yapı Etkileşimi	Atölye Mekan Örgütlenmesi
	

Birbirleriyle iletişim içerisinde kurgulanan açıklıklar sayesinde rüzgar kontrollü bir şekilde yapı içerisinde kesintisiz olarak dolaşabilmekte, bu

sayede iç mekanların soğutulması için kullanılan enerji düşmekte yapı içerisinde hava sirkülasyonu kesintisiz olarak sağlanmış olmaktadır (Çizelge 6). Yapının kuzeyinde bulunan açıklıklar küçültülerek kuzeyden gelen rüzgarın içe alınmasının önüne geçilmiştir. Planda gösterildiği gibi güney batıya yönlendirilmiş olan pencereler ile güneye cephesi olmayan odalar da bu rüzgardan faydalanmaktadır. Yapının bulunduğu iklim kuşağından dolayı temel sorun yapının soğutulmasıdır. Akşam güneşi ise istenilen ısı konforu oluşturulabilmektedir.



Şekil 12. Binanın enine kesiti ve ısı iletimi [12]

Bölgede nem yoğun olduğu için gün içerisinde yapı kabuğu aşırı ısınacak ve geceleri aşırı soğuyacaktır.

5. YAPI FORMU VE MEKAN ÖRGÜTLENMESİ

Atölye binasını oluşturan başlıca mekanlar işlevlerine göre atölye üretim alanı, malzeme deposu, postal kesim, ürün deposu, şef ve yönetici ofisleri gibi gruplar halinde örgütlenmişlerdir. Ana ve destek fonksiyonlar, gürültülü-gürültüsüz mekanlar, geniş açıklıklı-dar açıklıklı mekanlar, ana girişe ve servis girişine yakın olması gereken mekanlar yönlenme özelliklerine göre konuşlandırılarak tasarlanmıştır.

Mekanlar arasında eylemlerin etkin şekilde sürdürülmesi aktivitelerin biri birinin devamı olacak şekilde gerçekleşmesi esastır. Şekil 13'de hazırlanan ilişkiler şeması fonksiyonel ilişkileri de tanımlamaktadır. Mekanlarda gerçekleştirilecek aktiviteler için gerekli eylem alanları

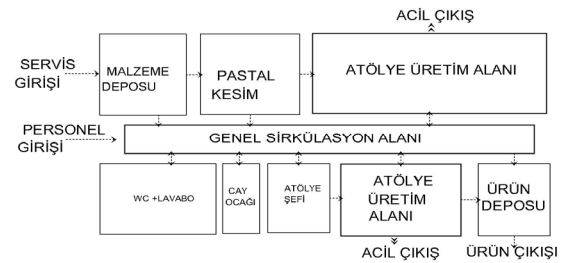
belirlenmiştir. Eylemler için gerekli donanım ve dolaşım alanlarına bağlı olarak alansal gereksinimler tespit edilmiştir. Betonarme iskelet yapım sistemi seçilerek açıklıklar kaset döşemelerle kapatılmıştır. Aydınlatma, havalandırma, güvenlik vb. sistemler asma tavan sistemi içinde çözümlenmiştir. Çizelge 7’de hazırlanan bina ihtiyaç programı ve mekan özellikleri görülmektedir. Makine ve teçhizatın değerlendirilmesi yapılarak, paketleme, ütü-pres, kesim, boya, overlok, dikiş makinası gibi ekipmanların boyut ve büyüklükleri tasarımda ele alınmıştır.

Çizelge 7. Tekstil atölyesi bina program özeti

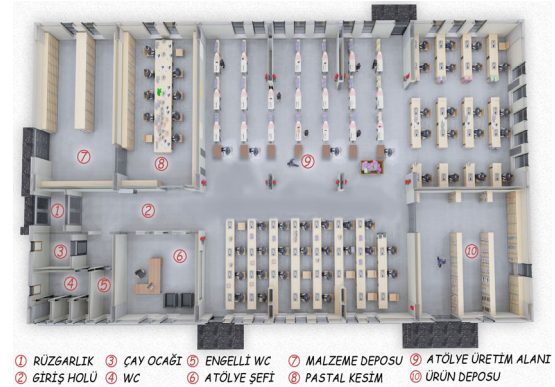
Birim	Mekan Özelliği	Kapasite	Alan m ²
Giriş	Rüzgarlık		5 m ²
Giriş Holü	Çay ocağı, wc’ler ile bağlantılı		21,70 m ²
Çay Ocağı	Hazırlama yıkama ve seviş imkanı	2	5 m ²
WC-Lavabo	Biri engelli olmak üzere dört adet	3+1	14,20 m ²
Atölye Şefi	Atölye üretim alanı ile görsel bağlantılı, ofis masa düzeninde	1	26 m ²
Mal Kabul Girişi	Malzeme deposu, postal kesimle direk bağlantılı, geniş kapılı		51 m ²
Pastal Kesim	Depo ve giriş holüyle ilişkili geniş kapılı	15	51 m ²
Atölye Üretim Alanı	2 adet acil çıkışı, depoya ve atölye şefi ile direk ilişkili açık ve aydınlık alan (Max güneşliği)	82	322 m ²
Ürün Deposu	Geniş kapılı, atölye ve dış mekan bağlantılı.		54 m ²
Toplam Net Alan		100 kişi	550 m ²

Bu ekipmanların boyut ve büyüklükleri de çalışan güvenliğini maksimum düzeyde sağlayacak ölçütlerde tasarlanmıştır. Atölye çalışma mekanlarında mekan örgütlenmesinin daha iyi

kurulabilmesi için büyük açıklık geçilerek taşıyıcı kolonların sayısı azaltılmıştır. Atölyede seçilecek olan koltuk, masa vb. donatıların çalışma ergonomisine, kullanıcıların yaş grubuna, fiziksel özelliklerine uygun olmasına dikkat edilmiştir. Mimari tasarım yoluyla enerji kazanımının artırılması hedeflenmiştir. Bina tasarımında, mekan ve yapı bileşeni ölçeğinde ısıtma enerjisi kazancının artırılması için tasarım parametreleri seçilmiştir. Bina plan organizasyonu düzenlemesi, bina formunun seçilmesi ve pencerelerin düzenlenmesi bina tasarım ölçeğinde düşünülen başlıca parametrelerdir (Şekil 14, 15).



Şekil 13. Tekstil atölyesi ilişkiler şeması



Şekil 14. Atölye yerleşim planı



Şekil 15. Bina'nın güney batı görünüşü



Şekil 16. Binanın güney doğu görünüşü



Şekil 20. Atölye iç mekanı



Şekil 17. Pastal kesim ve hazırlık

Mekânların plan organizasyonundaki yerleri, mekân boyutu, mekânların yönlendirilmesi, mekân tasarımı ölçeğinde değerlendirilerek kararlar verilmiştir (Şekil 14, 16-20).

Yapı bileşeni ölçeğinde iç mekânlarda hava dolaşımı, ısı geri kazanımı için duvar ve döşeme elemanları ve pasif güneş enerjisi kullanımına ek sistemler önerilmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada tekstil atölyesi tasarımında ergonomi-tasarım ilişkisi ve uygulaması daha konforlu çalışma ortamları elde etmek adına ele alınmıştır. İnsan makine ilişkilerini anlamak ve sürdürülebilir bir yönetim için bu ilişkilerin doğru kurgulanması önemlidir. Tutuklu ve hükümlülerin iş organizasyonunun ve iş verimliliğinin ele alındığı ergonomik faktörlerin değerlendirildiği birçok çalışma mevcuttur. Sonuç olarak bu çalışmada ergonominin temel prensiplerine dayalı yöntemler kullanılarak mekânların örgütlenmesi ve organizasyonu yapılmıştır.

Tutuklu çalışanların konfor ihtiyaçları ve çalışma verimlerinin artırılması için örnek bir iş yurdu atölyesi tasarımı hedeflenmiş kullanıcı görüşleri de alınarak sonuçlandırılmıştır. Ceza infaz kurumlarında verilen mesleki eğitim çalışmaları günümüzün ekonomik ihtiyaçları doğrultusunda düzenlenmeli, gereken önem verilerek hükümlülerin toplumsal yaşama katılmalarını sağlayacak iş atölyelerinde meslek edindirme çalışmaları artırılmalıdır.



Şekil 18. Atölye üretim alanı



Şekil 19. Atölye üretim ve çalışma alanları

Atölye binalarında enerji bilinçli yenilikçi sistemler de kullanılmalıdır. Bu amaçla enerji etkin yapı tasarımı mimari tasarım sürecinin planlama, programlama, ön tasarım, tasarım, uygulama, kullanım, yıkım ve yeniden planlama evrelerinin tümünü kapsayacak biçimde uzun vadede değerlendirilmelidir. Çevre sorunlarını gidermek, yapı sektöründe enerji kullanımını minimize etmek amacıyla, yapılarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik çalışmaların desteklenerek enerji kullanımına yönelik ilkelerin belirlenmesine ve uygulanmasına öncelik verilmelidir. Artık işlevsellik sadece yapının kullanım amacına uygun biçimin tasarlanması değil, işlevi yerine getirirken doğayı daha az tahrip eden, çevreyle dost, enerji kullanımını denetleyen veya enerji üreten biçimlerin tasarlanmasıdır.

Mimaride güneş enerjisinden pasif olarak yararlanmak tasarım ve inşaat ile mümkündür. Yapılan atölye tasarımında güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanılmaktadır. Yapıların estetik olması tek başına yeterli değildir. Enerji etkin yapı tasarımı, uzun vadede yapı maliyetini düşüren ve yapı ömrünü uzatan girişimler içermesi nedeniyle ekonomi de sağlamaktadır. Bu anlamda teknolojinin olanaklarını kullanarak yapı ekonomisi sağlayan ve çevreyle dost biçimler üreten mimari tercih edilmeye başlamıştır. Türkiye'nin güneşlenme yönünden ne kadar zengin olduğu düşünüldüğünde, bu konudaki maliyet ve estetik problemlerin aşılması güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Adana ve Karataş bölgesinde tekstil atölyesi için örnek teşkil eden tasarım bu konu alanında gerçekleştirilecek binalardan biridir.

7. KAYNAKLAR

1. Engin, N., 2012. Enerji Etkin Tasarımda Pasif İklimlendirme: Doğal Havalandırma, Tesisat Mühendisliği, 129, 62-70.
2. Özbalta, N., 2001. Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Uygulamalar, Yerel Gündem 21 Birlikteliğinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları, İzmir.
3. http://www.cte.adalet.gov.tr/bilgidata/tip_kadin_acik.asp
4. Önal, H.İ., 1978. Cezaevlerine Halk Kütüphanesi Hizmetleri. <http://www.bby.hacettepe.edu.tr/yayinlar/dosyalar/Cezaevlerine%20halk%20k%C3%BCt%C3%BCphanesi%20hizmetleri.pdf> [Erişim Tarihi: 10.10.2018].
5. CTE, 2018. Ceza ve Tevkif Evleri Genel Müdürlüğü, <http://www.cte.adalet.gov.tr>
6. Resmi Gazete, 2018a. Ceza ve Güvenlik Tedbirlerinin İnfazı Hakkında Kanun. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/04/20060406-1.htm>
7. Sensoy, S., 2016. Climate of Turkey. Türkiye Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <http://www.mgm.gov.tr/files/en-us/climateofturkey.pdf>
8. <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/haberler/Turkiye-U-degerleri-haritasi-raporu-2016-Turkce.pdf>
9. <http://comfort.cbe.berkeley.edu/> [Erişim Tarihi: 11.09.2019].
10. Kanawaty, G., Çev: Akal, Z., 1997, MPM Yayınları / ILO : 29, Ankara, 470.
11. Güner M., İllez A.A., 2007. Konfeksiyon İşletmelerindeki Çalışma Koşullarının Tespiti ve Değerlendirilmesi, Ege Üniversitesi Araştırma Fon Saymanlığı Projesi, İzmir
12. Yeğin, M., 2017. Yapılarda Performansı Artırmak İçin Yeni Metotların Modellenerek Geliştirilmesi, Ar-Ge projesi, Çukurova Teknokent, Adana.

İnşaat Proje Organizasyonlarında Kişiler Arası Çatışma Çözüm Yaklaşımları ile Kişilik Özellikleri Arasındaki İlişki

Tülay ÇİVİCİ*¹

¹Balikesir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Balikesir

Geliş tarihi: 24.05.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada, inşaat proje organizasyonlarında kişilerarası çatışma çözüm yaklaşımları ile kişilik özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bunun için mimarlık/mühendislik ofisi ve şantiyede (yüklenici/tedarikçi) çalışan mimar ve inşaat mühendisine yönelik anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışmasında çatışma çözüm yaklaşımı ölçeği ve beş faktör kişilik özellikleri ölçeği kullanılmış, veriler istatistiksel olarak incelenmiş, kişilik özellikleri ile çatışma çözüm yaklaşımları arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Bulgular, katılımcıların yüksek düzeyde problem çözme ve uzlaşma çatışma çözüm yaklaşımlarını benimsediklerini göstermektedir. Ayrıca bulgular, katılımcıların dışadönük, sorumluluk sahibi ve deneyime açık kişilik özellikleri gösteren bireyler oldukları yönündedir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat sektörü, Çatışma çözüm, Kişilik özellikleri

The Relationship between Conflict Resolution Approaches and Personality Characteristics of Construction Project Organization

Abstract

In this study, the relationship between conflict resolution approaches and personality characteristics of architects and civil engineers working in construction sector was investigated. For this purpose, a survey was conducted for architect and civil engineer working in architecture/engineering office and construction site (contractor/supplier). In the questionnaire, conflict resolution approach scale” and “five-factor personality characteristics scale” were used and the data were analyzed statistically. The findings show that the personality characteristics an important role in the adoption of conflict resolution approaches.

Keywords: Construction industry, Conflict resolution, Personality characteristic

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tülay Çivici, tulay@balikesir.edu.tr

1. GİRİŞ

Bireyler birbirinden farklı algı, bilgi, amaç, ihtiyaç, değer, inanç, kişilik özelliklerine sahiptir. Bu farklılıklara bağlı olarak, çalışma ortamında benzer durum/olaylar karşısında farklı tepkiler vermektedir [1]. Bu durumda kişilerarası çatışmayı kaçınılmaz olmaktadır. Kişilerarası çatışma ise, insan faktörünün ağırlıklı olduğu çalışma ortamlarının bir parçasıdır.

İnşaat sektörü, farklı bakış açıları, yetenekleri ve bilgi düzeyindeki katılımcıların birlikte çalıştığı proje temelli organizasyon yapısıyla karmaşık ve rekabetçi bir çalışma ortamıdır [2,3]. Çatışma bu çalışma ortamında inşaat projelerinin başarılı bir şekilde tamamlanmasını engelleyen etkenlerden biridir [4,5]. Proje organizasyonlarında iletişim ve koordinasyon eksiklikleri, bilgi paylaşımının yetersizliği, yönetimde denetim ve koordinasyon yetersizliği, takım ruhunun zayıf olması, teknolojik değişimler, yasal düzenlemeler, çalışma ortamının belirsizlik ve risk içermesi, sözleşme şartlarının belirsizliği, kıt kaynak nedeniyle malzeme tedarik aşamasında karşılaşılan zorluklar, tasarımların ve yapım arasındaki uyumsuzluk, profesyonellikten yoksunluk ve proje ekibi stresinin gibi pek çok etken paydaşlar arasında çatışmanın nedenleri olabilmektedir [4-7].

İnşaat projelerinde tasarım aşamasından yapım aşamasına kadar insan faaliyetleri ağırlıklıdır. Bu bakış açısıyla inşaat insan faaliyetidir [6-10]. İnsan faktörünün etkin rol oynadığı inşaat sektöründe paydaşlar (mal sahipleri, yükleniciler, meslek profesyonelleri, vb.) arası ilişkiler inşaat projelerinin başarısında önemli bir unsurdur. İnşaat projelerinde esas amaçlarının planlanan zaman, kabul edilen kalite ve bütçelenen maliyet kapsamında üretim sürecinin planlanması, yaşam döngüsünün tamamlanmasıdır [2,8-10]. Fakat proje yaşam döngüsünde yer alan aktörlerin birbirinden farklı yetenekleri, kültürü, bilgisi, deneyimi, bireysel/mesleki disiplini, amaç ve hedefleri, beklentileri, algıları, vb. çatışma zemini olabilmekte, inşaat projelerinin başarılarını da etkileyebilmektedir. İnşaat projelerinin başarısında kritik bir öneme sahip olan çatışmanın kontrol edilmesi, yönetilmesinde ilk adım paydaşların

çözüm yaklaşımlarının bilinmesidir. Bir inşaat projesinin yaşam döngüsü içinde farklı aşamalarında ortaya çıkabilecek kişiler arası çatışmalar aktörlerin deneyim düzeyi, eğitim altyapıları, kültürel özellikleri, işe karşı tutumları, davranışları, çalışma yöntemleri [9], duygularını ifade biçimleri, algı ve inançlarındaki farklılıklar [10] ve olay/durumları algılarındaki farklılıklar, değişiklikler, çelişkiler, vb. birbirinden farklı bireysel özellikleri gibi çatışma nedenleri arasındadır [11-13].

Çatışma yapım yönetim alanında yapılan çalışmalarda sıklıkla incelenen konulardandır. Literatürde yoğun olarak anlaşmazlıkların nedenlerine [7,14], çatışma ortaya çıktığında nasıl çözülebileceğine odaklanıldığı, inşaat sektöründe çatışmanın kaçınılmaz olduğu, etkin olarak yönetiminin önemi vurgulanmaktadır [5]. Bu çalışmada, inşaat proje organizasyonlarında kişiler arası çatışma çözüm yaklaşımları ve kişilik özellikleri ile ilişkisi incelenmiştir. Bunun için Türk inşaat sektöründe rol alan meslek profesyonellerinden mimar ve inşaat mühendislerini kapsayan bir anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışmasında katılımcıların çatışma çözüm yaklaşımlarını ölçmek üzere Rahim [15]'in geliştirdiği Örgütsel Çatışma Envanteri (Organizational Conflict Inventory)'den esinlenerek Özarallı [16] tarafından geliştirilen ve Kuşçuluoğlu [17]'nin çalışmasında kullandığı ölçek kullanılmıştır. Kişilik özelliklerinin incelenmesi için ise John ve Srivastava [18]'nin beş faktör kişilik ölçeği kullanılmıştır. Yapılan anket çalışması sonucunda inşaat sektöründe mimarlık/mühendislik ofisi ve yüklenici/tedarikçi firma (şantiye) çalışanı mimar ve inşaat mühendislerinin benimsedikleri çatışma çözüm yaklaşımlarının kişilik özellikleri ile ilişkisi saptanmıştır. Çalışma sonuçlarının inşaat projelerinin ana bileşeni olan insanın etkinliği ve verimliliğini arttırmaya yönelik araştırmalara katkı sunacağı düşünülmektedir.

1.1. Çatışma Çözüm Yaklaşımı

Çatışma, uyumsuzluk, anlaşmazlık veya sosyal varlıklar (bireyler, gruplar, organizasyonlar, vb.) arasında kendi ihtiyaçlarına veya çıkarlarına uygun

olmayan bir faaliyete katılması gerektiğinde, herkesin isteklerinin tam olarak karşılanamaması, davranışsal tercihlerde bulunması ile ortaya çıkan etkileşimli bir süreçtir [15]. Kumaraswamy [7] çatışmanın bireyler arasında yaşanan inanç, fikir ayrılıkları, anlaşmazlıklar olduğunu ifade etmiştir. Rahim [15] ile Rahim ve Bonoma [19], interaktif bir süreç olarak değerlendirdiği çatışmanın, bireyler/grupların amaç, davranış, inanç, değerleri arasındaki farklılıklardan ortaya çıktığını, bireyler/gruplar içinde veya arasındaki uyumsuzluk olarak kendini gösterdiğini öne sürmüştür. Basım ve arkadaşları [20]'a göre kişiler arası çatışmalar davranışsal, bilişsel, duygusal unsurlar içermekte, karşılıklı bağımlı tarafların hedeflerine ulaşmada müdahale, uyumsuzluk hissetmeleri, engelleme algılamaları sonucunda oluşabilmektedir. Jaffar ve arkadaşları [14] inşaat sektörü özelinde incelediği çatışma nedenlerini davranışsal nedenler, sözleşmeden doğan çatışmalar, teknik problemler olmak üzere üç kategoride değerlendirmiş, kişilerarası çatışmanın bireylerin ihtiyaçları, beklenti, çıkarları, değerleri, kaygıları, inançları, algıları arasındaki farklılıklar gibi birçok nedeni barındırabileceğini öne sürmüştür. Bir başka bakış açısına göre ise, çatışma sosyal ve bireysel değişimin temelinde yatmaktadır, kaçınılmazdır, seçimlere ve bulunulan ortama bağlı olarak etkileme/etkilenmenin sonucudur [20].

Araştırmacılar çatışmanın olumsuz olarak ele alınmasının her zaman doğru olmadığı, iyi yönetilmesi halinde yaratıcı fikirlerin, problem çözümlerinde uyarıcı olabileceği, çalışan performansını arttırabileceğini öne sürmektedir [15,19,21]. Fenn ve arkadaşları [4]'e göre çatışma risk alma, girişim ve rekabet ile ilgili olumlu yönleri bulunmaktadır ve çıkar uyumsuzluğunun olduğu her yerde olabilecek bir durumdur.

Çatışmanın yönetilmesi için çatışmanın bireyler tarafından nasıl algılandığı, çatışmanın çözümünde benimsedikleri yaklaşımlar önem kazanmaktadır. Fakat burada üzerinde durulması gereken noktalardan biri, çatışma çözüm yaklaşımlarının bireylerin sabit davranışları olarak algılanmasının yanıltıcı olabileceğidir. Bu nedenle duruma yada ilişkilere göre seçilen bir strateji yada niyet olarak algılanmalıdır [5,22].

Çatışma çözümüne yönelik yapılan çalışmalardan [örn; 21] ilki Follett [23] tarafından yapılmıştır. Follett [23]'a göre organizasyonel çatışmanın üstesinden gelmenin hükmetme, uzlaşma, işbirliği olmak üzere üç yolu bulunmaktadır [19]. Blake ve Mouton [24] ise, kavramsal bir çerçeve çizerek kişilerarası çatışmaların yönetim yaklaşımlarını sınıflamıştır. Blake ve Mouton [24] kişilerarası çatışma çözüm yaklaşımlarını zorlamak, geri çekmek, yumuşatmak, ödün vermek ve problem çözmek olmak üzere beş boyut ile tanımlamıştır [19].

Çatışma sırasında birey kendi endişesini gidermeye çalışabilmekte veya diğer bireyleri kaygılarını giderme isteğiyle yönelimlerini iki temel boyutta farklılaştırmaktadır. [16,19]. Bu iki yönelimin birleşimi sonucu kişiler arası çatışma beş boyut ile ele alınmaktadır [18]. Literatürde Rahim [15] ile Rahim ve Bonoma [19] tarafından yapılan çalışma yaygın kabul görmektedir. Rahim [15] ile Rahim ve Bonoma [19] çatışma çözüm yaklaşımlarını problem çözme, uzlaşma, zorlama, uyma, kaçınma olmak üzere beş boyut ile sınıflamıştır:

Problem çözme yaklaşımı: Çatışma taraflarının iş birliği [15] içinde bilgi alışverişinde bulunarak her birinin kabul edeceği ortak çözüm yollarını bulmaya yönelik davranışlarıdır [16]. Problem çözebilmek için ise tarafların açık ve doğrudan iletişimi öncelikli gerekliliklerdendir. Bu yaklaşımda da, çatışmanın tarafları arasında iş birliği, birbirine karşı niyetlerinde açıklık ve netlik, bilgi alışverişini içermektedir [15]. Uzlaşma yaklaşımı: Çatışma taraflarının çatışmaya konu olan sorun ile ilgili bir karara varabilmek için karşılıklı olarak kendi çıkarlarından, hedeflerinin bir bölümünden vazgeçerek uzlaşmaya varma davranışlarıdır [16]. Bireylerin çatışma içinde olduğu karşı tarafın hedeflerinin bir bölümünden vazgeçmeye ikna ederek uzlaşma zemini oluşturma çabasını içermektedir [16,17].

Zorlama yaklaşımı: Bu çözüm yaklaşımı, bireyin karşı tarafla olan ilişkisine önem vermeden kendi çıkarını gözeterek, çıkarları doğrultusunda ne pahasına olursa olsun karşı tarafın çözümü kabul etmesi için zorlama, kendi amacını gerçekleştirilmeye çalışma davranışlarıdır [16]. Birey

rekabet halinde bulunduğu karşı tarafın ihtiyaç ve beklentilerini önemsemeyerek göz ardı etmesi, kendi hedef ve amaçları doğrultusunda davranış yaklaşımları sergilemesidir [16,19].

Kaçınma yaklaşımı: Bu yaklaşımda birey var olan veya potansiyel çatışmayı fark etmesine rağmen, konuyu/durumu görmezden gelme, erteleme veya kadere boyun eğme, yüzleşmekten kaçınma, geri çekilme davranışı göstermesidir [16,19,25]. Kaçınma yaklaşımı bireyin içinde bulunduğu durumdan daha uygun bir zamana kadar sorumluluğu başkasına yüklemektedir [16,25].

Uyma yaklaşımı: Bu çatışma yaklaşımında birey karşılıklı ilişkinin korunması için tavizkar davranışlar göstererek, karşı tarafın isteklerine boyun eğerek kendi hedeflerinden vazgeçmektedir [16]. Bu yaklaşım problem çözme yaklaşımı gibi iş birliğine teşvik etse de dolaylı ve pasif bir uygulamadır [22].

Bazı araştırmacıların [örn; 24, 25] problem çözme yaklaşımının çatışmayı yönetmek için en uygun yaklaşım olduğunu öne sürmelerine rağmen, farklı durumlarda bir yaklaşımın diğerinden daha uygun olabileceği literatürde yer bulmaktadır [15,19,25]. Friedmann ve arkadaşları [26], çatışmanın zorlama veya kaçınma yaklaşımıyla çözmeye çalışmanın rol çatışması olasılıklarını yükselttiğini ileri sürmektedir.

1.2. Kişilik Özellikleri

Kişilik kavramı, sosyal yaşamın bir parçası olarak insanın sosyal yaşantısının bir parçası olarak yüzyıllar boyunca ilgi görmesine rağmen bilimsel gelişimine 1930'lu yıllarda kişilik psikolojisinin diğer sosyal bilim alanlarından ayrı bir bilimsel disiplin olarak ortaya çıkmasıyla başlamıştır [27]. Bireyin edindikleri deneyimlere dayanan algıları ve davranışları kişilik özelliklerine katkılar sağlamakta, bireyler arasında farklı kişilik yapılarının oluşumunu hazırlamaktadır. Bireyin özel ilgi alanlarından, çevresiyle kurduğu diyaloga kadar birey ve bulunduğu çevresini etkileyen kişilik kavramı doğuştan gelen ve yaşamın kazandırdığı bedensel, zihinsel ve ruhsal özellikler bütünüdür [28,29].

Kişilik özellikleri bireyden bireye değişkenlik göstermesi ve çeşitlenmesine rağmen loretatürde kişilik özelliklerinin sınıflaması ve kişilik özelliklerinin belirlenmesine yönelik ölçek geliştirme çalışmaları güncelliğini korumaktadır [18].

McCrea ve Costa [30]'nın çalışması, kişilik özelliklerinin beş temel boyut ile ölçülebilmesi için ölçek geliştirmeye yönelik öncü çalışmalardan biridir [31]. McCrea ve Costa [30] geliştirdikleri ölçekte kişilik özelliklerini dışadönüklük, geçimlilik, duygusal dengelilik, sorumluluk, deneyime açıklık olmak üzere beş boyut tanımlamıştır.

Dışadönüklük: Bireyin kişiliğinin sosyallik, cana yakınlık düzeyini tanımlamaktadır [32]. Birey kendisine duyduğu güvenle çevresiyle rahat etkileşime girmektedir. Grup çalışmasına yatkın olan dışadönük bireyler girişken, heyecan arayan, atılgandır ve olumlu duygular yaşamaya meyillidirler [32-34].

Geçimlilik: Kişiler arası ilişkilerde rekabetten uzak iş birliğine, uzlaşmaya yatkın olan geçimli bireyler olup sosyal ve güvenilir kişilik özellikleri gösterme eğilimindedir [33,34].

Duygusal Dengelilik: Rahat ve sakin kişilik yapısına sahip bu bireyler iyi stres yönetme becerilerine sahiptirler [32]. Olaylar karşısında duygularını kontrol edebilen, tutarlı tepkiler verebilen bireylerdir [33,34].

Sorumluluk: Genel olarak dikkatli, güvenilir ve sorumluluk sahibi olan bireyler, planlı düzenlidir [33,34].

Deneyime açıklık: Entelektüel ilgisi, hayal gücü yüksek bireyler değişime adaptasyonda esnekler [34,35]. Kişilik özellikleri bireyin davranışlarına yansıyan, yönlendiren, bireysel ve organizasyonel ilişkileri etkileyen önemli bir faktördür. Buradan hareketle çatışma çözüm yaklaşımları ile kişilik özellikleri arasındaki ilişki farklı alanlarda araştırmacılar tarafından sıklıkla incelenen araştırma konuları içindedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Basım ve arkadaşları [20] çalışmasında kişiler arası çatışma çözüm yaklaşımlarına etki eden kişilik yaklaşımlarını incelemiştir. Çatışma çözüm yaklaşımları ölçeği ve beş faktör kişilik özellikleri ölçeğini kullanılmıştır. Araştırmanın sonuçları, gelişime açıklık ve uyumluluk kişilik özelliklerinin, tüm çatışma çözme yaklaşımları ile ilişkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca dışadönüklük ve özdisiplin kişilik özellikleri çatışma çözüm süreçlerinde önemli rol oynadığını vurgulanan çalışmada nörotiklik (duygusal dengelilik) kişilik özelliği ile çatışma çözme yaklaşımları arasında ilişki ortaya konulmuştur.

Göktekin [35] çalışmasında inşaat sektöründe çatışmaların tanımlanmasını, nedenlerinin ortaya konulmasını ve çatışma yönetim biçimlerinin saptanmasını amaçlamıştır. İnşaat sektöründe verimlilik, işgücü ve kaynak kaybına neden olan proje süreçlerinin uzaması veya durmasıyla sonuçlanabilecek çatışma çözüm yaklaşımlarının önemini vurgulamıştır. Yapılan çalışmada Türkiye’de inşaat firmalarında çalışanların çalışma giderim biçimlerinin saptanabilmesi için Rahim’in geliştirdiği çatışma çözüm yaklaşımı ölçeğinin kullanıldığı alan çalışması yapılmıştır. Sonuçlar, inşaat çalışanlarının yüksek oranda problem çözme çözüm biçimini tercih ettiğini göstermiştir.

Balcı [9] çalışmasında, Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren genel yüklenici firmada çalışanların çatışma çözüm yaklaşımlarının belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışma kapsamında uluslararası havaalanı projesinde çalışanların çatışma çözüm yaklaşımlarının katılımcıların demografik değişkenleri ve kültürün alt başlıkları olan bağımlı/bağımsız benlik kurgusu arasındaki ilişki incelenmiştir. Çatışma çözüm yaklaşımlarının belirlenmesi için Rahim tarafından geliştirilen ölçek kullanılmıştır. Sonuçlar, katılımcıların çoğunlukla çatışma giderim biçimlerinden işbirliğine yöneldiği, bağımsızlık eğilimi gösteren kişilerin çatışma giderim biçimi ağırlıklı olarak zorlama yaklaşımını tercih ettiği, bağımlılık gösteren kişilerin çatışma giderim yaklaşımının kaçınma olduğu yönündedir.

Gül ve Acar [36] çalışmasında, büyük ve orta ölçekli inşaat firmalarının yurtiçi/yurtdışı pazarda karşılaştıkları uyumsuzluk konuları ve karşılaşma sıklıklarını incelemiş, en sık kullanılan uyumsuzluk çözüm yaklaşımlarını ortaya koymuştur. Araştırma bulguları, yüklenici firmaların haklara, güce dayalı çatışma çözüm yaklaşımları benimsedikleri yönündedir.

Genç [37], çalışmasında inşaat projelerinde çalışan mimar ve mühendislerin çatışma nedenleri ve çatışmanın boyutlarını incelemiştir. Çalışma kapsamında yapılan anket çalışması 142 katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, inşaat projelerinde en sık yaşanan çatışmaların proje bölümü ve saha uygulamaları arasında olduğu tespit edilmiştir. Bunu planlama ve saha uygulamaları bölümlerinin izlediğini ortaya koymuştur.

Jaffar ve arkadaşları [14], çalışmasında, çatışmanın inşaat projeleriyle eş anlamlı görüldüğünü, proje maliyetlerinin artması, proje gecikmeleri, verimin düşmesi, elde edilen karın düşmesi, iş ilişkilerinin bozulmasının bir yansıması olabileceğini öne sürmektedir. Çalışmada çatışma kaynakları davranış problemleri, sözleşme problemleri ve teknik problemler olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir. Davranışsal faktörlerden kaynaklanan çatışma faktörleri, proje takımında yapıcılık, netlik ve bütünlük ve zayıf iletişimi kontrol etmek konusunda isteksizdir. Sözleşmeden doğan sorunları, geç teslim alma, müşteriden geçici ödemenin gecikmesi ve sözleşmeden doğan sözleşmelerin netleşmemesidir. Yüklenici, mimar veya mühendisden gelen talimatların gecikmesi teknik sorunlar nedeniyle ortaya çıkan çatışma faktörleridir.

Lu ve Wang [38] çalışmasında, inşaat sektöründe mal sahipleri ve sözleşmeciler arasındaki ilişkinin proje performansında etkili bir faktör olduğunu ileri sürdüğü çalışmasında çatışma yönetim yaklaşımları ve ilişki kalitesi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. İnşaat sektöründe 165 mal sahibi ve sözleşmeci ile gerçekleştirdiği anket çalışmasında sonuçlar bütünlleştirici yaklaşım, ilişki kalitesi ile pozitif ilişkiliyken, ödün vermeyen yaklaşım negatif ilişkili bulunmuştur.

Tabassi ve arkadaşları [39] çalışmasında, Malezya inşaat sektöründe çok kültürlü çalışma ortamında takım liderlerinin çatışma çözüm yaklaşımlarını incelediği çalışmada iş birliğinin takım performansı ve takım koordinasyonunda olumlu etkisinin olduğunu ileri sürmüştür.

Zhang ve arkadaşları [40], duygusal zekâ, çatışma yönetim yaklaşımı ve yenilik performansı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışma sonuçları duygusal zekanın yenilik performansının yanı sıra bütünleştirme, ödün verme ve baskın olma yaklaşımları ile pozitif anlamlı bir ilişkisinin olduğu yönündedir. Ayrıca duygusal zekâ ile yenilik performansı arasındaki ilişki üzerinde aracılık etkisinin olduğunu öne sürmüştür.

Wu ve arkadaşları [41], Çin inşaat sektöründe organizasyonlar arası çatılmanın çatışmanın proje üzerindeki etkisini ve çatışma yönetim stratejileri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; görev çatışması, ilişki çatışması ve süreç çatışması proje paydaşlarının karakteristik özelliklerinden, ikili ilişkilerden, projenin içerik özelliğinden etkilenmektedir.

Maiti ve Choi [42], Çatışmalar organizasyonun kaçınılmaz bir parçasıdır ancak önemli olan organizasyonun çatışmaların nedenini belirlemesi ve onları yönetmesidir. Bu çalışma, inşaat sektöründeki çatışmaları en aza indirmek için çatışma yönetimi stratejilerinin uygulanmasını araştırmayı amaçlamaktadır. Literatür taraması ve 80 inşaat uzmanından veri elde etmek için bir anket çalışması da dahil olmak üzere metodolojik üçgenleme uygulanmıştır. Sonuçlar, çalışanların farkındalığının inşaat endüstrisindeki en büyük çatışma nedeni olduğunu ortaya çıkarırken, sendika yönetimi çatışmasının en büyük çatışma türü olduğu ortaya çıktı. Toplu pazarlık stratejisinin çatışmayı yönetmede daha etkili olduğu bulundu. Organizasyon performansı ile çatışma yönetimi teknikleri arasındaki korelasyon katsayısı analizi, organizasyonel performans ile uzlaşma, toplu pazarlık ve konaklama gibi çatışma yönetimi stratejileri arasında pozitif bir ilişki olduğunu gösterirken, diğer stratejilerin organizasyonel performans üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu göstermektedir.

3. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın örneklemini Türk inşaat sektöründe mimarlık/mühendislik ofisinde ve yüklenici/tedarikçi firma (şantiye) çalışan mimar ve inşaat mühendisleri oluşturmaktadır. Kişiler arası çözüm yaklaşımları Anket çalışması yardımıyla toplanan 254 adet anket değerlendirmeye alınmıştır.

İnşaat proje organizasyonlarında rol alan meslek profesyonellerinden mimar ve inşaat mühendislerinin çatışma çözüm yaklaşımlarının kişilik özellikleri ile ilişkisini ölçmek için bir anket formu geliştirilmiştir. Veri toplamak amacıyla hazırlanan anket formunda katılımcıların demografik özellikleri, beş faktör kişilik ölçeği, çatışma çözüm yaklaşımı ölçeğini içermektedir. Anketin demografik özellikler ile ilgili bölümünde katılımcıların cinsiyeti, yaşı, eğitim durumu, mesleki tecrübeleri, kurumsal faaliyet alanları, mesleklerine ilişkin veri toplamak amacıyla geliştirilen sorular yer almaktadır. Anketin sonraki bölümünde kişilik özellikleri için beş faktör kişilik ölçeği yer almaktadır. John ve Srivastava [18] tarafından geliştirilen beş faktör kişilik ölçeği kullanılmıştır. Beş faktör kişilik ölçeği dışadönüklük, geçimlilik, dengelilik, sorumluluk ve deneyime açıklık kişilik özelliklerini beş faktörle açıklamaktadır. Çalışmada katılımcıların çatışma çözüm yaklaşımlarını ölçmek için Rahim [15] tarafından bireyler, grup ve gruplar arası çatışmayı ele alan beş yaklaşımın ölçülmesi için geliştirdiği ölçekten yararlanılarak Özarallı [16]'nın Türk çalışanlarına yönelik geliştirdiği, 25 ifadeden oluşan ölçek kullanılmıştır. Ölçekte katılımcılara çalışma ortamında yaşadıklarında çatışmaları çözmek için hangi davranışları gösterdiklerine ilişkin ifadeler yer almaktadır. Anket formunda yer alan soru/ifadelere ne derece (1=Hiç Katılmıyorum, 5=Tamamen Katılıyorum) katıldıkları sorulmuştur. Elde edilen verilerin analizi SPSS 22 programı ile gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Katılımcıların demografik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bulgular katılımcıların %47'sininin

kadın, %53'ünün erkek olduğunu göstermektedir. Katılımcılar ağırlıklı olarak 17-26 yaş aralığında (%39) ve lisans düzeyinde (%85) eğitim düzeyine sahiptir. Katılımcıların %4'si 1-4 yıl, %28'i 5-9 yıl, %6'sı 10-12, %7'si 13-15, %6'sı ise 16- üstü mesleki tecrübeye sahiptir. Kurumsal faaliyet alanları ise % 62 mimarlık/mühendislik ofisi, %38 şantiye (yüklenici/tedarikçi firma)'dir. Katılımcıların %54'ünü mimarlar oluştururken, %46'sı inşaat mühendislerinden oluşmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Katılımcıların demografik özellikleri

	Frekans	Yüzde (%)
Cinsiyet		
Kadın	120	47
Erkek	134	53
Yaş		
17-26	100	39
27-36	99	39
37-46	41	16
47-üstü	14	6
Eğitim Durumu		
Lisans	217	85
Yüksek lisans/Doktora	37	15
Mesleki Tecrübe		
1-4	107	42
5-9	72	28
10-12	16	6
13-15	17	7
16-üstü	42	7
Kurumsal Faaliyet		
Mimarlık/Mühendislik Ofisi	158	62
Yüklenici/Tedarikçi Firma (şantiye)	96	38
Meslek		
Mimar	136	54
İnşaat Mühendisi	118	46

4.1. Kullanılan Ölçeklerin Güvenilirlikleri

Çatışma çözüm yaklaşımı ölçeği Özarallı [16] çalışmasında 5 boyutlu ölçeğin faktör analizi sonucunda uzlaşma ve problem çözme boyutlarının aynı faktör altında toplanmıştır. Türk çalışanlarının bu iki boyutu tek bir boyut gibi algıladıklarını öne sürmüştür. Benzer bir sonuç Altıntaş [43]'ün çalışmasında yer almaktadır. Bu çalışmada da bu

durumun tekrarlanıp tekrarlanmadığını incelemek amacıyla çatışma çözüm yaklaşımı ölçeği için faktör analiz uygulanmıştır. Faktör analizi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Analiz sonuçları Çatışma çözüm yaklaşımı ölçeği ne ilişkin ifadeleri 5 boyut ile algıladığı görülmüştür.

Çizelge 2. Çatışma çözüm yaklaşımları faktör analizi

	Madde	Faktör yükleri
Faktör 1 Problem çözme	Madde 22	0,657
	Madde 4	0,688
	Madde 14	0,724
	Madde 19	0,678
	Madde 12	0,705
Faktör 2 Uzlaşma	Madde 17	0,592
	Madde 9	0,500
	Madde 3	0,672
Faktör 3 Zorlama	Madde 24	0,654
	Madde 16	0,596
	Madde 6	0,771
	Madde 11	0,826
Faktör 4 Kaçınma	Madde 21	0,819
	Madde 1	0,766
	Madde 25	0,662
	Madde 15	0,769
	Madde 20	0,670
Faktör 5 Uyma	Madde 10	0,432
	Madde 5	0,447
	Madde 13	0,795
	Madde 8	0,749
	Madde 18	0,647
	Madde 3	0,686
	Madde 24	0,636

Çalışmada kullanılan ölçeklerin güvenilirlikleri Cronbach Alpha (α) katsayıları hesaplanarak incelenmiştir. Çatışma çözüm yaklaşımları ölçeği, kişilik özellikleri ölçeği ve alt boyutlarına ilişkin elde edilen Cronbach Alpha (α) değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Cronbach Alpha (α) değerlerinin yorumlanmasında güvenilirlik katsayılarına ilişkin değerler aşağıda verilmiştir.

$0,00 \leq \alpha \leq 0,40$ değerleri arasında ölçek güvenilir değildir,

$0,40 \leq \alpha \leq 0,60$ değerleri arasında ölçeğin güvenilirliği düşüktür,

$0,60 \leq \alpha \leq 0,80$ değerleri arasında ölçek oldukça güvenilirdir,

$0,80 \leq \alpha \leq 1,00$ değerleri arasında ise ölçek yüksek derecede güvenilir [44, Akt., 45].

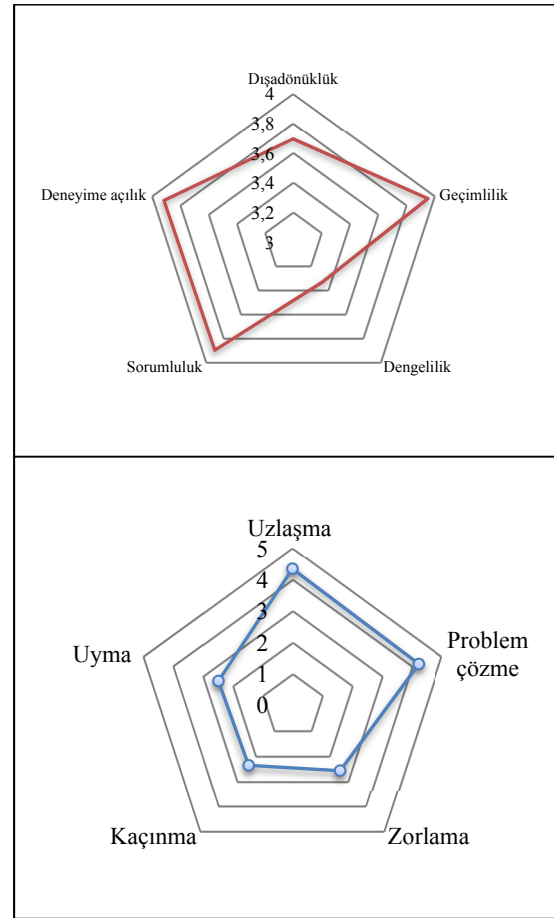
Bu durumda kişilik özellikleri ($\alpha=0,851$) ve çatışma çözüm yaklaşımları ($\alpha= 0,809$) ölçeği için α değerleri yüksek derecede güvenilir. Yanı sıra deneyime açıklık ($\alpha=0,810$), zorlama ($\alpha=0,842$) ve uyma ($\alpha=0,818$) boyutları için hesaplanan α değerleri yüksek derece güvenilir. Ayrıca dışadönüklük ($\alpha=0,717$), geçimlilik ($\alpha=0,608$), sorumluluk ($\alpha=0,666$), dengelilik ($\alpha=0,702$), problem çözme ($\alpha=0,776$), kaçınma ($\alpha=0,784$) boyutlarına ilişkin α değerleri oldukça güvenilir. Fakat uzlaşma ($\alpha=0,555$) boyutuna ilişkin güvenilirlik değeri düşüktür. Bunun nedeni uzlaşma boyutunun az sayıda soru (3 soru) ile ölçüm yapılmasına bağlı olabilir [46].

Çizelge 3. Ankette kullanılan ölçeklerin soru sayıları, ortalamaları ve güvenilirlikleri

Anket	Ortalama (μ)	Güvenilirlik (α)
Kişilik özellikleri	3,839	0,851
Dışadönüklük	3,699	0,717
Geçimlilik	3,956	0,608
Dengelilik	3,332	0,702
Sorumluluk	3,898	0,666
Deneyime açıklık	3,916	0,810
Çatışma çözümü yaklaşımları	3,107	0,809
Problem çözme	4,249	0,776
Uzlaşma	4,357	0,557
Zorlama	2,592	0,842
Kaçınma	2,379	0,784
Uyma	2,486	0,818

Çizelge 3'deki kişilik özelliklerine ilişkin ortalamalar değerlendirildiğinde, bulgular katılımcıların yüksek düzeyde dışadönük ($\mu=3,839$), geçimli ($\mu=3,956$), sorumluluk sahibi ($\mu=3,898$) ve deneyime açık ($\mu=3,916$) bireyler olduklarını göstermektedir. Elde edilen bulgular katılımcıların orta düzeyde dengeli ($\mu=3,332$) bireyler oldukları yönündedir.

Çatışma çözüm yaklarına ilişkin bulgular değerlendirildiğinde ise; katılımcıların yüksek düzeyde problem çözme ($\mu=4,296$), uzlaşma ($\mu=4,357$) yaklaşımlarını benimsedikleri, zorlama ($\mu=2,592$), kaçınma ($\mu=2,379$), uyma ($\mu=2,486$) yaklaşımlarını ise düşük düzeyde uyguladıkları görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Katılımcıların çatışma çözüm yaklaşımları ve kişilik özellikleri

Değişkenler arası ilişkileri incelemek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde bulgular problem çözme ile sorumluluk ($r=0,261$; $p \leq 0,01$), geçimlilik ($r=0,382$; $p \leq 0,001$), deneyime açıklık ($r=0,295$; $p \leq 0,001$) arasında pozitif anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca çatışma çözüm yaklaşımlarından uzlaşma boyutu ile geçimlilik

($r=0,313$; $p\leq 0,001$), deneyime açıklık ($r=0,301$; $p\leq 0,001$) ve sorumluluk ($r=0,246$; $p\leq 0,001$) kişilik özellikleri ile arasında pozitif anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu bulgular; işbirliğine yatkın, sorumluluk sahibi sosyal, entelektüel birikimi ve hayal gücü yüksek bireylerin çatışma durumunda problem çözme ve uzlaşma gibi işbirliğine açık ve her iki tarafın çıkarlarına uygun çözüm arayışında oldukları yönündedir.

Elde edilen bulgular zorlama ile deneyime açıklık ($r=-0,177$; $p\leq 0,001$), geçimlilik ($r=-0,307$; $p\leq 0,001$), duygusal denge ($r=-0,208$; $p\leq 0,001$), sorumluluk ($r=-0,226$; $p\leq 0,001$), geçimlilik ($r=-0,307$; $p\leq 0,001$), deneyime açıklık ($r=-0,177$;

$p\leq 0,001$); kaçınma ile dışadönüklük ($r=-0,207$; $\leq 0,001$), sorumluluk ($r=-0,176$; $\leq 0,001$), geçimlilik ($r=-0,227$; $\leq 0,001$) negatif anlamlı ilişkinin var olduğunu göstermektedir. Araştırma bulgularında çatışma çözüm yaklaşımlarından uyma boyutunun herhangi bir kişilik özelliği ile anlamlı ilişkisi elde edilememiştir (Çizelge 4). Bu bulgular doğrultusunda; çatışma durumunda karşı tarafla ilişkisini önemsemeyerek kendi amaçları doğrultusunda yaklaşımlar gösteren veya çatışma ile yüzleşmeden kaçınma davranış yaklaşımları gösteren bireylerin değişime adaptasyonda zorlanan, rekabetçi, sorumluluk almaktan kaçınan bireysel özellikler göstermektedir.

Çizelge 4. Korelasyon analizi

		Kişilik Özellikleri				
		Dışadönüklük	Duygusal Denge	Sorumluluk	Geçimlilik	Deneyime Açıklık
Çatışma Çözüm Yaklaşımları	Problem çözme	0,115	0,014	0,261***	0,382***	0,295***
		0,069	0,823	0,000	0,000	0,000
	Uzlaşma	0,500	0,046	0,246***	0,313***	0,301***
		0,431	0,471	0,000	0,000	0,000
	Zorlama	-0,031	-0,208***	-0,226***	-0,307***	-0,177*
		0,625	0,001	0,000	0,000	0,005
	Kaçınma	-0,207***	-0,114	-0,176*	-0,227***	-0,145*
		0,001	0,072	0,005	0,000	0,022
	Uyma	-0,068	-0,162**	-0,169*	-0,049	-0,119
		0,285	0,010	0,007	0,442	0,061

$p^{***}\leq 0,001$; $p^{**}\leq 0,01$; $p^*\leq 0,05$

5. SONUÇLAR

İnşaat sektörü için önemli bir bileşen olan “insan” faktörü inşaat projelerinin yaşam döngüsü içinde proje başarısında önemlidir. Farklı bireysel özelliklere sahip bireylerin amaç ve hedefleri doğrultusunda belirli bir süre için bir araya gelerek hayata geçirdiği proje organizasyonlarında çatışma yaşanması kaçınılmazdır. Ortaya çıkan çatışmaların yönetiminde uygun yöntemlerin kullanılmaması halinde proje maliyetlerinin yükselmesi, sürelerinin uzaması, işçilik, ürün, vb. kalite kayıplarına kadar uzanan olumsuzluklar yaşanabilmektedir. Çeşitli faktörlere bağlı olarak ortaya çıkan çatışmaların çözüm yaklaşımları farklı bireysel özelliklerle değişebilmektedir.

Bu çalışmada inşaat sektöründe proje organizasyonlarında çalışma ortamında paydaşların kişilik özelliklerinin çatışma çözüm yaklaşımlarında önemli bir bileşen olarak değerlendirilmiş, bireysel özelliklerinin çatışma çözüm yaklaşımları ile ilişkisinin araştırılması amacıyla ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, bireylerin çatışma çözüm yaklaşımları benimsemesinde kişilik özelliklerinin önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır. Yapılan çalışmalar [örn; 14,19] kişilik özellikleri ile çatışma çözüm yaklaşımları arasında anlamlı ilişkinin olduğunu desteklemektedir. Çalışmada kullanılan ölçeklerin güvenilir bulunması ölçeklerin örneklem grubu tarafından anlaşıldığını göstermektedir. Çalışmada çatışma çözüm yaklaşımları ölçeği için yapılan faktör analizi mimar ve inşaat mühendislerinin

Rahim [15] tarafından geliştirilen, Özarallı [16] tarafından Türkçeye çevrilerek Türk çalışanlarına uyarlanan ölçekte problem çözme ve uzlaşma iki boyutun tek bir boyut gibi algılandığı yönündeki bulgu bu çalışmada çatışma çözüm yaklaşımlarının beş boyut olarak elde edilmiştir. Bu durum “problem çözme” ve “uzlaşma” boyutlarının bu çalışmanın örnekleme alanı olan ofis ve şantiyede çalışan mimar ve inşaat mühendislerden oluşan katılımcı grubu tarafından farklı boyutlar olarak algılandığını göstermektedir. Çalışmanın kişilik özellikleri ile ilgili bulguları, örnekleme alanı mimar ve inşaat mühendislerinin dışadönük, sorumluluk sahibi ve deneyime açık kişilik özellikleri gösteren bireyler olduklarını göstermektedir. Çelik ve Oral [34] tarafından yapılan çalışmada benzer sonuçlar ortaya konulmuştur.

Araştırma bulguları mimar ve inşaat mühendislerinden oluşan örneklem grubunun en fazla problem çözme ve uzlaşma çatışma çözüm yaklaşımlarını benimsediklerini göstermektedir. Göktekin [35] çalışmasında benzer sonuçlar elde etmiş, inşaat çalışanlarının yüksek oranda problem çözme çözüm biçimini tercih ettiğini ileri sürmüştür. Bulgulara göre, çatışma yaşayan mimar ve inşaat mühendislerinin kendi çıkarlarının bir bölümünden vazgeçip karşı tarafla anlaşmaya varma yaklaşımı sergilemektedir. Genel olarak dikkatli, güvenilir, sorumluluk sahibi olan planlı ve düzenli rekabetten uzak işbirliğine ve değişime yatkın kişilik özelliklerine sahip örneklem grubunun yüzleşme gerektiren, etkin yaklaşımlar benimsedikleri görülmektedir.

Elde edilen bulgular, mimar ve inşaat mühendislerinin inşaat projelerinin organizasyonunda kişilik özelliklerinin çatışma çözüm yaklaşımlarının önemli etken olduğu ortaya koymaktadır. Çalışma bulgularının inşaat sektöründe ana bileşen olan insanın etkinliğini ve verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalara katkı sunacağı, bundan sonra yapılacak çalışmalar için zemin oluşturacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular örneklem ile sınırlıdır. Örnekleme alanı projede rol alan diğer paydaşları (mal sahipleri, yükleniciler, vb.) kapsayacak şekilde genişletilmesiyle

değerlendirilmesi daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilecektir. Ayrıca çalışma kapsamında temel odak mimar ve inşaat mühendisleridir. Farklı çalışma alanlarında faaliyet gösteren bu meslek profesyonellerinin çalışma ortamlarına (şantiye, ofis, kamu, eğitim kurumları, vb.) özel koşulların ortaya konularak araştırmalar yapılmasıyla öznel sonuçlar elde edilebilir.

Çalışmada çatışma çözüm yaklaşımlarıyla kişilik özellikleri arasındaki ilişkiye yoğunlaşmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda çatışma çözüm yaklaşımlarının açıklama gücünü arttırabilecek cinsiyet, yaş, kurumsal faaliyet, vb. faktörlerle birlikte ele alınması ile daha geniş kapsamlı sonuçlara ulaşılabilecektir.

6. KAYNAKLAR

1. Çam, O., Akgün, E., 2007. Kişilerarası çatışma Yönetimi, Ege Üniversitesi Hemşirelik Yüksek Okulu Dergisi, 23(2), 207-221.
2. Çakmak, F.P., 2016. Causes of Disputes in the Turkish Construction Industry Case of Public Sector Projects, AZ ITU Journal of the Faculty of Architecture, 13(3), 109-118.
3. Ergen, E., Genç, M.İ., Uzunçarşılı Ü., 2009. İnşaat Projelerinde Örgüt İçi Çatışmanın Nedenlerinin ve Boyutlarının Belirlenmesi, 5. Yapı İşletmesi/Yapım Yönetimi Kongresi, 22-23 Ekim, 317-327.
4. Fenn, P., 1997. Conflict and Dispute in Construction, Construction Management and Economics, 15(6), 513-518.
5. Loosemore, M., Galea N., 2007. Genderlect and Conflict in the Australian Construction Industry, Construction Management and Economics, 26, 125-135.
6. Kale, S., 1994. Conflicts in the construction Project in Turkey: Client, Designer and Contractor Interface, Harriot-Watt University Department of Building, Yüksek Lisans Tezi, Edinburg.
7. Kumarasway M.M., 1997. Conflic, Claims and Disputes in Construction Engineering, Construction and Architectural Management, 4(2), 95-111.

8. Çakmak, E., Çakmak, P.I., 2014. An Analysis of Causes of Disputes in the Construction Industry Using Analytical Network Process, *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 109 (88), 183-187.
9. Balcı, D. 2010. İnşaat Sektörü Çalışanlarının Çatışma Giderim Yaklaşımları Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
10. İlban, T., 2008. İnşaat Sektöründe Çatışma Yönetiminin Kültürel Boyutu., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
11. Cheung, S., Suen H.C.H., 2002. A Multi-Attribute Utility Model for Dispute Resolution Strategy Selection, *Construction Management and Economics*, 20, 557-568.
12. Jehn K. A., Mannix E. A. 2001. The Dynamic Nature of Conflict: A Longitudinal Study of Intragroup Conflict and Group Performance, *Academy of Management Journal*, 44(2), 238-251.
13. Fawzy, S.A., El-Adaway, I.H., 2012. Contact Administration Guidelines for Managing Conflicts, Claims and Disputes under Work Bank-Funded Projects, *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 4(4), 101-110.
14. Jaffar, N., Abdul A.H., Tharim M.N., 2011. Factors of Conflict in Construction Industry, a Literature Review *Procedia Engineering*, 20, 193-202.
15. Rahim, M.A., 2002. Toward a Theory of Managing Organizational Conflict, the *International Journal Conflict Management*, 13(3), 206-235.
16. Özarallı, N., 2015. Örgüt Kültürü ve İşe İlişkin Duygusal İyilik Algısının Çalışanların Çatışma Çözümü Tarzları Üzerindeki Etkisi, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 7-37.
17. Kuşçuluoğlu, S., 2004. A Study on Conflict Management Styles in Relation to the Dominant Personality Factors, *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
18. John, O.P., Srivastava S., 1999. The Big-five Trait Taxonomy: History, Measurement and Theoretical Perspective. *Handbook of Personality: Theory and Research*, 2, 102-138.
19. Rahim, M.A., Bonoma, T.V., 1979. Managing Organizational Conflict: A Model for Diagnosis and Intervention, *Psychological Reports*, 44, 1323-1344.
20. Basım, H.N., Çetin F., Tabak A., 2009. Beş Faktör Kişilik Özelliklerinin Kişilerarası Çatışma Çözümü Yaklaşımlarıyla İlişkisi, *Türk Psikoloji Dergisi* 24(63), 24-34.
21. Chen, M.N., 2006. Understanding the Benefits and Detriments of Conflict on Team Creativity and Innovation, *Proces, Creativity and Innovation Management*, 15(1), 105-116.
22. Knapp, M.L., Putman, L.L., Davis, L.L., 1998. Measuring Interpersonal Conflict in Organizations: Where so we Go from here?, *Management Communication Quarterly*, 3, 414-429.
23. Follett, M. P., 1940. *Constructive Conflict.*, H. C. Metcalf & L. Urwick (Eds.), *Dynamic Administration: The Collected Papers of Mary Parker Follett*, 30-49. New York, N.Y.: Harper & Row.
24. Blake, R.R., Mouton, J.S., 1964. *The Managerial Grid: Key Orientations for Achieving Production through People.* Houston, Texas: Gulf Publishing Company.
25. Rahim, M.A., Psenicka C., 2002. Model of Emotional Intelligence and Conflict Management Strategies: A Study in Seven Countries. *International Journal of Organizational Analysis*, 10(4), 302-326.
26. Friedman, R.A., Currall S.C., Tsai J.C. 2000. What Goes Around Comes Around: the Impact of Personnel Conflict and Stress, the *International Journal of Conflict Management*, 11(1), 32-55.
27. Yelboğa, A., 2006. Kişilik Özellikleri ve İş Performansı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, *İş, Güç, Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi*, 8(2), 196-217.
28. Cüceloğlu, D., 1999. *İnsan ve Davranış: Psikolojinin Temel Kavramları*, Remzi Kitabevi, 9. Basım, İstanbul.
29. Soysal, A., 2008. Çalışma Yaşamında Kişilik Tipleri: Bir Literatür Taraması, *Çimento İşveren Dergisi*, 22(1), 5-19.
30. Mc Crea, R.R., Costa, P.T., 1986. Clinical Assessment can Benefit from Recent Advances in the Personality Psychologist, 41, 1001-1003.

31. Kavas, E., 2016. Stress Coping Attitudes Based on Perceived Religiousness and Received, Religious Education Psychology, 7, 382-398.
32. Horzum, M.B., Ayas T., Padır, M.A., 2017. Beş Faktör Kişilik Ölçeğinin Türk Kültürüne Uyarlanması, Sakarya University Journal of Education, 7(2), 398-408.
33. Barrick, M.R., Stewart, G.L., Piotrowski, M. 2002, Personality and Job Performance: Test of the Mediating Effects of Motivation Among Sales Representatives, Journal of applied psychology, 87(1), 43-51.
34. Çelik, G.T., Oral, E. L., 2013. Türk İnşaat Sektöründe Çalışanların Kişilik Özelliklerinin, Örgütsel Bağlılık ve İş Tatmini ile İlişkisi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(2), 15-26.
35. Göktekin, M., 2009. Organizasyonlarda Çatışma ve İnşaat Sektörü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
36. Gül, G.D., Acar, E., 2010. Yüklenici İnşaat Firmaları Tarafından Başvurulan Çatışma Çözüm Yaklaşımları ve Alternatif Uyuşmazlık Çözüm Yolları, 1. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara.
37. Genç, M.İ., 2008. İnşaat Projelerinde Örgüt İçi Çatışmanın Nedenleri ve Boyutlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
38. Lu, W., Wang J., 2017. The Influence of Conflict Management Styles on Relationship Quality: The Moderating Effect of the Level of Task Conflict, International Journal of Project Management, 3, 1483-1494.
39. Tabassi, A.A., Roufehaei, K.M., Abu Bakar, A.H., Yusof, N., 2017. Linking Team Condition and Team Performance: A Transformational Leadership Approach. Project Management Journal, 48 (2), 22-38.
40. Zang, Z., Liu, T., Chen, D., Zhang, W., 2014. Novel Algorithm for Identifying and Fusing Conflicting Data in Wireless Sensor Networks Sensors, 14 (6), 9562-9581.
41. Wu, G., Zhao, J., 2017. Effects of Inter-Organizational Conflict on Construction Project Added Value in China, International Journal of Conflict Management, 28(5), 695-723.
42. Maiti, S., Choi, J., 2018. Investigation and Implementation of Conflict management Strategies to Minimize Conflict in Construction Industry, International Journal of Construction Management.
43. Altıntaş, T., 2007. İş Doyumu ve Çatışma Çözüm Stillerini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
44. Özdamar, K., 1999. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi 1. Kaan Kitabevi, Eskişehir.
45. Yaşar M., 2014. İstatistiğe Yönelik Tutum Ölçeği: Geçerlilik ve Güvenilirlik Çalışması, Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 36, Temmuz, 59-75.
46. Kılıç S. 2016. Cronbach Alfa Güvenlik Katsayısı, Journal of Mood Disorders, 6(1), 47-48.

Jet Lüle ile İklimlendirmesi Yapılan Bir Ofis Modelinde Konfor Seviyesinin (PMV/PPD) Sayısal Olarak Belirlenmesi

Alper YILDIRIM¹, Coşkun ÖZALP^{*2}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 18.02.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada, içerisinde insan, buzdolabı, lamba ve bilgisayar bulunan ve boyutları 3*4*3,5 m olan bir ofise jet lüle ile üfleme yapılmıştır. Ofisin Osmaniye ilinde yaz şartlarında olduğu varsayılmış ve içerisine %100 taze hava verildiği düşünülerek ısı kaybı kazancı hesabı yapılmıştır. Bu hesaba göre debi ve üfleme sıcaklığı bulunmuştur. Duvarlara, tabana, tavana ısı kaybı ve kazancı hesabına göre ısı akısı verilmiştir. Ayrıca; insan, dolap, lamba ve bilgisayara ısı akısı verilmiştir. Ofise yerleştirilen jet lülenin hız ve sıcaklık dağılımı ANSYS-FLUENT programı ile sayısal olarak elde edilmiştir. Sayısal hesaplamada sürekli koşullarda; kütle korunumu, türbülanslı momentumun korunumu, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjisinin yayılım hızı (ε) denklemleri kullanılmıştır. Buradan elde edilen değerler ile zeminden 0,1, 0,6, 1,1 metre yüksekliğinde Isıl Çevreden Memnuniyet (Predicted Mean Vote-PMV) ve Isıl Çevreden Memnuniyetsizlik (Predicted Percentage Dissatisfied-PPD) değerleri hesaplanmıştır. Oluşturulan PMV ve PPD konturlarında jet lüle ile üfleme yapılan oda içerisindeki termal memnuniyet ve memnuniyetsizlik alanları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: HVAC, Jet lüle, PMV, PPD

Numerical Determination of Comfort Level (PMV/PPD) in an Office Model with Jet Nozzle

Abstract

In this study, the air is blown to an office room which has dimensions 3*4*3,5 m by a jet nozzle. Office room includes a human, a refrigerator, a light and a computer, The office conditions were assumed to be in summer in Osmaniye province and the heat loss gain was calculated by considering 100% fresh air flow rate and blowing temperature were found according to this evaluation,. Heat flux is given to the all office walls with heat loss and gain calculation. The velocity and temperature distribution of the jet nozzle are simulated with the ANSYS-FLUENT program. The conservation of mass, the conservation of turbulent momentum, the kinetic energy of the turbulence (k), and the velocity of propagation (ε) of the kinetic energy of the turbulence equations are used. The Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Coşkun ÖZALP, coskunozalp@osmaniye.edu.tr

Percentage Dissatisfied (PPD) values at 0.1, 0.6, and 1.1 meters above the ground level of office were calculated from these values. The areas of thermal satisfaction and dissatisfaction in the room were determined with PMV PPD contours

Keywords: HVAC, Jet nozzle, PMV, PPD

1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojinin ilerlemesi ve çalışma şartlarının değişmesi ile birlikte insanların çalışma ortamları genellikle kapalı alanlar olmaya başlamıştır. Bu nedenle çalışma ortamındaki hava kalitesinin iyileştirilmesi insan konforu ve sağlığı açısından önem arz etmektedir. İnsanların bulunduğu ortamın hava kalitesinin kötü olması sadece sağlık olarak değil, işyerinde verimsizlik, huzurlu çalışmama gibi etkilere de sebep olmaktadır. BS EN ISO 7730, termal rahatlığı “termal ortamdan memnuniyeti ifade eden zihnin durumu” olarak tanımlamaktadır, yani birisinin çok sıcak veya çok soğuk hissetmemesi durumu olarak tanımlamıştır. Termal konfor sadece sıcaklığa değil birçok etkene bağlıdır ve insandan insana değişiklik göstermektedir. Aynı odada bulunan iki kişiden biri terlerken diğeri üşüyebilir. Bu nedenle termal konfor için bir değer değil, ölçüm aralığı belirlenmiştir [1]. Termal konforu etkileyen faktörler çevresel ve kişisel faktörler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

1.1. Çevresel Faktörler

- **Hava Sıcaklığı:** Bir kişinin temas ettiği havanın sıcaklığı, kuru termometre sıcaklığı (DBT) ile ölçülür.
- **Hava Hızı:** Kişinin temas ettiği havanın hızı (m/s cinsinden ölçülür). Hava ne kadar hızlı hareket ederse, kişi ve hava arasındaki ısı değişimi o kadar büyük olur.
- **Radyan Sıcaklık:** Bir çevrenin sıcaklığı (yüzeyler, ısı üreten ekipmanlar, güneş ve gökyüzü dahil) olarak ifade edilir. Bu genellikle ortalama radyan sıcaklık (MRT, bir kişiyi çevreleyen yüzeylerin sıcaklığının ortalaması) ve güneşten gelen radyasyon gibi herhangi bir güçlü tek yönlü radyasyon olarak ifade edilir.
- **Hava rutubeti (Hava nemi):** Havadaki gerçek su buharı miktarı ve havanın o hava sıcaklığında

tutabileceği maksimum su buharı oranı olarak tanımlanmakta ve yüzde olarak ifade edilmektedir.

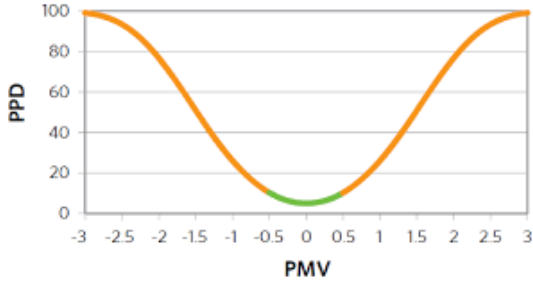
1.2. Kişisel Faktörler

- **Giyim:** Kıyafetler, bir kişinin çevredeki hava ve yüzeyler ile ısı alışverişi yapmasının yanı sıra ter buharlaşması yoluyla ısı kaybını etkilemesini sağlar. Kıyafetler bir kişi tarafından doğrudan kontrol edilebilir.
- **Metabolik ısı:** Fiziksel aktivite ile ürettiğimiz ısıdır. Sabit bir kişi, egzersiz yapan bir kişiden daha soğuk hissetme eğiliminde olacaktır.
- **Refah ve hastalıklar:** 37 °C bir vücut sıcaklığını muhafaza etme kabiliyetimiz olarak ifade edilmektedir.

Konforsuzluk durumu ısı yüküne bağlıdır ve konfor şartlarında ortalama deri sıcaklığı ve terleme miktarına sahip olan insan için; iç ısı üretimi ile çevreye olan ısı kaybı arasındaki fark olarak tanımlanmıştır [2]. Büyük bir grubun ısı algılarını takip eden yedi noktalı ısı duyarlılık derecelendirme ölçeği ile oluşturulan verilere göre PMV (Predicted Mean Vote) için bir denklem oluşturulmuştur. Çizelge 1’de termal konfor için ısı duyarlılık ölçeği ölçüm aralıkları ve Şekil 1’de PMV ve PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) sayısal değerleri gösterilmektedir [3,4]. PPD konfor durumundan memnun olmayanların tahmini sayısını vermektedir.

Çizelge 1. Temal konfor için ısı duyarlılık ölçeği ölçüm aralıkları [3,4]

-3	Soğuk
-2	Serin
-1	Biraz Serin
0	Nötr
1	Sıcak
2	Ilık
3	Sıcak



Şekil 1. PMV'nin fonksiyonu olarak PPD sayısal değerleri

İç ortam kabul edilebilir konfor aralıkları ASHRAE 55'de tek kategoride, ISO 7730'da A, B ve C olarak üç kategoride belirtilmiştir. Bu değer aralıkları Çizelge 1'de verilmiştir [3,4]. Şekil 1 incelendiğinde en konforlu ortamda bile insanların yüzde 5'inin ortamdaki memnuniyetsiz olduğu görülmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Verimli bir HVAC sistem tasarımı, bir odadaki geometrik yapılandırma, iç ortam ısı kaynaklarının dağıtımı ve iç ortamdaki termal koşullara göre besleme giriş ve egzoz çıkışının doğru şekilde yerleştirilmesini gerektirmektedir [5-9]. İç ortamın kalitesini iyileştirmek için kullanılan enerjideki artışla [10-12], kabul edilebilir bir kapalı ortamı korurken etkin havalandırma stratejileri kullanmak gerekir. Çoğu hava dağıtım sisteminde, havalandırma performansı ve enerji tasarrufu; besleme, geri dönüş ve egzoz difüzör konumlarının düzenlemelerinden büyük ölçüde etkilenmektedir [13].

Fong ve arkadaşları [9], bu sistemlerin kapalı termal ortam ve enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştırmak için altı farklı egzoz yapılandırma ile üç farklı havalandırma sistemini kullanan deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, egzoz açıklığı tavan seviyesinde (arka-orta seviye) konumlandırıldığında, termal konforda önemli iyileşmelerin ve enerji tüketiminde azalma sağlandığını göstermektedir. Ayrıca Kuo ve Chung tarafından [14], belirlenen bir alanda üfleme ve çıkış difüzör pozisyonlarının etkisini farklı

havalandırma şartlarını kullanarak oda termal konforuna etkisini incelemişlerdir. Simülasyon sonuçlarına dayanarak, belirlenen alana üfleme havasının ne kadar uzun süre verilirse iç ortamdaki termal konforun o kadar iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Daha sonra He ve diğerleri [6] egzoz havalandırma pozisyonunun hava akış modelini büyük ölçüde etkilemediğini, ancak iç ortamın maruz kalma seviyesini önemli ölçüde etkileyebileceğini belirtmişlerdir.

Liu ve Novoselac [15] çalışmalarında difüzör seçimi için bir Hava Yayılım Performans İndeksi (ADPI) modelini hava ısıtma modunda iken önermişlerdir. Modelde ısı çevreden memnuniyet (PMV) yöntemini ve iç ortam hava sıcaklığı ve hız arasındaki ilişkiyi geliştirmek için kullanılan ANSI/ASHRAE Standard-55 standardını uygulamışlardır. Çalışmalarında ayrıca yaygın olarak kullanılan 13 adet slot menfez türünün seçiminde kullanılmak üzere hava yayılım performans indeksi seçim rehberi geliştirmişlerdir.

Ahmad ve arkadaşları [16] kapalı soğutma alanı içinde dağıtım olan hava için üç boyutlu türbülanslı sirkülasyonunu teorik olarak incelemişlerdir. Üç boyutlu bir bilgisayar programı (FLUENT6.3.26) kullanarak k-ε ve SST k-ω yöntemleri ile odadaki karmaşık akışı modellemişlerdir. Irak için tasarım şartları ele alınmıştır. Çıkan teorik sonuçlar önceki yıllarda yapılan deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Havalandırılan odadaki hava akımı slot, kare ve ızgara menfez kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlarla ölçülen veriler karşılaştırıldığında basitleştirilmiş metodolojinin mühendislik uygulamalarında bir odadaki hava akımı ve sıcaklık tahmini için kullanılmasının iyi sonuçlar vereceğini belirtmişlerdir.

Hee-Jin Park [17] bir amfi ortamında, hem sıcak hem de soğuk noktalar ve durgun alan bulunan bir akış modelini hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile sayısal olarak göstermiştir. Çalışmada, üfleme ve emiş menfezlerinin doğru montaj yeri tespit edilmiş olup, bu sayede fazla hava akışının engellendiği vurgulanmıştır.

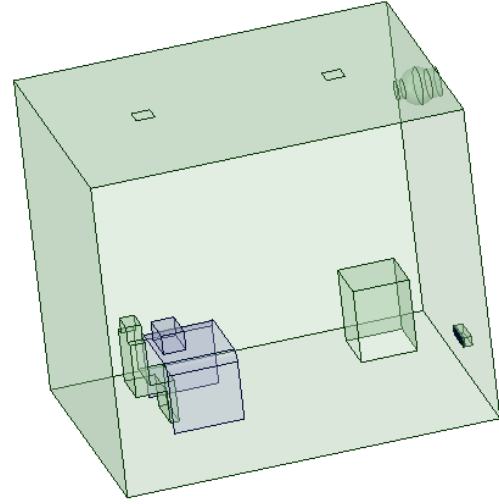
Literatürde ofislerde ve iş merkezlerinde termal konforun incelenmesi ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Memon ve arkadaşları [18] Pakistan’da bir üniversitenin sınıflarındaki termal konfor şartlarını soğutma yükü durumunda PMV modelini kullanarak değerlendirmiş ve insanların %80’inden fazlasının konfor sıcaklığının 6,5 °C üstündeki 32,5 °C’lik bir etkin sıcaklıktan memnun olduklarını ifade etmişlerdir. Stamou ve arkadaşları [19]), CFX CFD kodunu kullanarak Galatsi Arena stadyumunun içindeki üç boyutlu türbülanslı akış alanını hesaplamışlardır. Stadyumun farklı bölgelerinde PMV değerlerini sayısal olarak hesaplanan hız ve sıcaklık alanlarına bağlı olarak hesaplamışlardır. Song ve arkadaşları [20] Kore’de bir üniversite sınıfında bulunan split klamanın soğutma modundaki korelasyonunu öğrencilerin ortalama cilt sıcaklıkları üzerine çalışmışlardır. Öğrencilerin değişken oda sıcaklığını sabit bir sıcaklıkta tercih ettiklerini belirtmektedirler. Muhi ve Butala [21], PMV-PPD modelini uygulayan mekanik havalandırmalı idari ofislerde termal çevre ve hava kalitesi seviyesinin çalışanlar üzerindeki etkisini incelemişler ve çalışanlar ile memnuniyet anketi yapmışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Sayısal Yöntem

Sayısal çalışma üç boyutlu, zamandan bağımsız yaklaşımı kabulleri ile incelenmiştir. Sayısal analizde sonlu hacimler yöntemi ANSYS_FLUENT R 18.0 kullanılmıştır. Sonlu hacimler yönteminde, çözümü yapılacak model parçalara bölünerek bu parçaların her biri için çözüm yapma ve daha sonra bu çözümleri birleştirerek problemin genel çözümünü bulma esasına dayanmaktadır.

Hazırlanabilecek en uygun ağ yapısı için hız ve sıcaklık değişiminin fazla olduğu bölgelerde daha sık ağ yapısı oluşturulmalıdır. Bu nedenle, lüenin çıkış kısmı ile ofis modeli içerisinde bulunan geometriler çevresindeki yüzeyler en sık ağ yapısının olduğu kısımlardır ve diğer bölgelerde daha seyrek ağ yapısı tercih edilmiştir Ofis modelinin şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Ofisin şematik gösterimi

Modellemesi yapılan ofisin ölçüleri Uzunluk (X) x Genişlik (Z) x Yükseklik (Y) = 4 m x 3 m x 3,5 m olarak seçilmiştir. Oda içerisinde insan, buzdolabı, lamba ve bilgisayar bulunduğu kabul edilmiştir. Bunların sayıları ve soğutma yükleri Çizelge 2’de verilmiştir. Ofiste kapı ve pencere bulunmadığı kabul edilmiştir.

Çizelge 2. Modellenen ofis odası için soğutma yükü.

Isı Kaynağı	Soğutma Yükü (W/m ²)
İnsan (ofiste oturan)	70
Buzdolabı	50
Lamba 2	15
Bilgisayar	35
Batı Duvar	4
Doğu Duvar	20
Kuzey Duvar	4
Güney Duvar	21
Taban	10
Tavan	10

Isı kaybı hesabına göre soğutma yükleri duvarlara verildiğinden duvarların sıcaklıkları aynı değildir. Batı ve kuzey duvar 27 °C, güney ve doğu duvar 31 °C, taban ve tavan 29 °C iç ortam 26 °C olmuştur. Oda içerisinde sıcaklık farkları

olduğundan çözümdede doğal konveksiyon oluşmuştur. Çalışmada Ra sayısının etkisi incelenmemiştir.

Bina yönüne göre soğutma yükü Çizelge 3'de verilen değerlere göre hesaplanmış ve buna göre de ofis duvarları, taban ve tavanına ısı yükü verilmiştir. İnsan, buzdolabı, lamba ve bilgisayara soğutma yükleri ASHRAE temel el kitabından alınmıştır [22].

Çizelge 3. Yapı elemanlarının ısı iletim katsayısı değerleri

İşaret	Yön	A (m ²)	U (W/m ² K)
Güney	G	14	1,03
Batı	B	10,5	1,03
Doğu	D	10,5	1,93
Kuzey	K	14	1,93
Tavan		12	1,2
Zemin		12	0,31

Sayısal çözümleme için sabit referans hava girişi hızı (V_{in})=2,5 m/s ve hava girişi besleme sıcaklığı (T_{in})=286 K kabul edilmiştir. Dış hava sıcaklığı 311 K olarak alınmıştır. Bina yönüne göre soğutma yükü hesaplanmış ve buna göre de ofis duvarları, taban ve tavanına ısı yükü verilmiştir.

Üç boyutlu Kartezyen koordinat sistemi türbülanslı, kararlı akış için korunum denklemleri aşağıda gösterilmiştir.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u_i u_j} \right] \quad (2)$$

Burada ρ akışkanın yoğunluğu, u_i , x_i yönündeki ortalama hız bileşenlerini, P basınç, μ dinamik viskozite ve u' da hızın çalkantı bileşenidir. i ve j indisleri de her bir boyutu göstermektedir.

Enerji denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] \quad (3)$$

Burada μ_t türbülans viskozitesidir. Bu modelde türbülans stresi $-\overline{\rho u_i' u_j'}$ 'nin de modellenmesi gerekir. Boussinesq yaklaşımı ile:

$$-\overline{\rho u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \quad (4)$$

Burada k türbülans kinetik enerjisidir ve $k = \frac{1}{2} \overline{u_i' u_i'}$ ile ifade edilir. Bu çalışmada k-ε türbülans modelinin iyileştirilmiş duvar fonksiyonu kullanılmıştır. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve enerji yayılım oranı (ε) aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - \rho \epsilon \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon \quad (6)$$

Burada, α_k ve α_ϵ , RENG k-ε türbülans modelinde k ve ε için gerekli ters etkili Prandtl sayılarıdır. G_k ortalama hız gradyanlarından dolayı oluşan türbülans kinetik enerjisidir ve aşağıdaki gibi bulunur:

$$G_k = -\overline{\rho u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (7)$$

μ_{eff} efektif türbülans viskozitesi:

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (8)$$

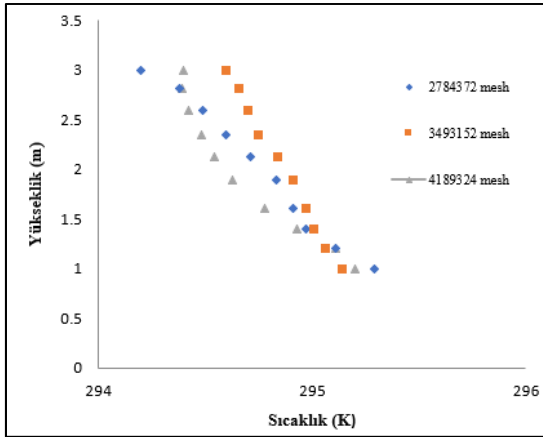
μ_t türbülans viskozitesi

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (9)$$

Sıcaklık farklarından kaynaklanan hava yoğunluğundaki değişimi hesaplamak için Boussinesq varsayımı kullanılmıştır. Basınç ve hız

bağlantısı için yarı örtülü basınca bağlı denklemlerde (SIMPLE) algoritması kullanılmıştır. Yakınsama kriteri olarak süreklilik ve momentum eşitlikleri için 10^{-4} , enerji eşitliği içinse 10^{-7} alınmıştır.

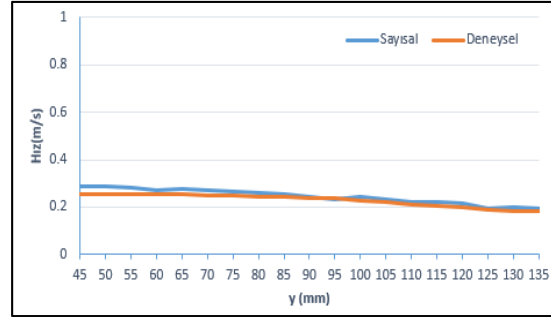
Çalışmada elde edilen sonuçlarının ağ yapısından olan bağımsızlığını belirlemek için, Şekil 3'de gösterildiği gibi ağ eleman sayısı değiştirilerek farklı yükseklik sonuçlarının değişimi incelenmiştir. Üç farklı mesh sayısı kullanılarak sayısal çözümler elde edilmiştir. Oda içerisine 2,5 metre uzunluğunda "doğru" oluşturulmuş ve bu doğru üzerindeki 10 noktadaki sıcaklık değerleri alınmıştır. 3 farklı mesh sayısındaki geometrinin sayısal çözümünden alınan sıcaklık değerleri kıyaslanmıştır. Model kesitinde yaklaşık 3493152 adet elemanın olduğu ağ yapısının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. (4189324 adet elemanın olduğu sonuçlarla karşılaştırıldığında fark %1 daha azdır).



Şekil 3. Ağ bağımsızlığı

Şekil 4'te sayısal çalışmanın doğruluğunu göstermek için Parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniğini kullanılarak deneysel veriler elde edilmiş ve sayısal çalışma ile karşılaştırılmıştır. Sayısal çalışma ile deneysel çalışmanın karşılaştırılmasında geometrik ve Reynolds sayısının benzerliği kullanılmıştır. Re sayısı hesaplanırken lüle çapı esas alınmıştır. Benzerlik analizi sonuçlarına göre $Re=41723$ olarak hesaplanmış ve doğrulmada akış hızı 3,09 m/s

olarak bulunmuştur. Grafikten de görüldüğü gibi sonuçlar birbiriyle uyumludur ve bu nedenle sayısal sonuçların doğru ve kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. Deneysel sonuçlar ile Sayısal sonuçların karşılaştırılması

3.2. PMV ve PPD Değerlerinin Hesaplanması

Isıl çevreden memnuniyet (Predicted Mean Vote - PMV) ve Isıl Çevreden Memnuniyetsizlik (Predicted Percentage Dissatisfied-PPD) değerlerinin nasıl hesaplandığı, hesaplamalarda kullanılan semboller ve açıklamaları aşağıda belirtilmiştir.

M: Metabolik oran (W/m^2)

W: Efektif mekanik güç (W/m^2)

I_{cl} : Kıyafet yalıtımı ($m^2 \cdot K/W$)

f_{cl} : Kıyafet yalıtım faktörü

t_a : Kuru hazne (hava) sıcaklığı ($^{\circ}C$)

t_r : Ortalama radyal sıcaklık ($^{\circ}C$)

V_{ar} : Hava akım hızı (m/sn)

p_a : Kısmi buhar Basıncı (p_a)

h_c : Konvektif ısı transferi katsayısı ($W/(m^2 \cdot K)$)

t_{cl} : Kıyafet yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)

$$PMV = [0,303e^{-0,036M} + 0,028] \times \{ (M-W) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6,99(M-W) - p_a] - 0,42 \times [(M''-W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^{-4} - (t_r + 273)^{-4}] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \} \quad (10)$$

$$PPD = \left\{ 35,7 - 0,028(M-W) - I_{cl} \left\{ 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^{-4} - (t_r + 273)^{-4}] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\} \right\} \quad (11)$$

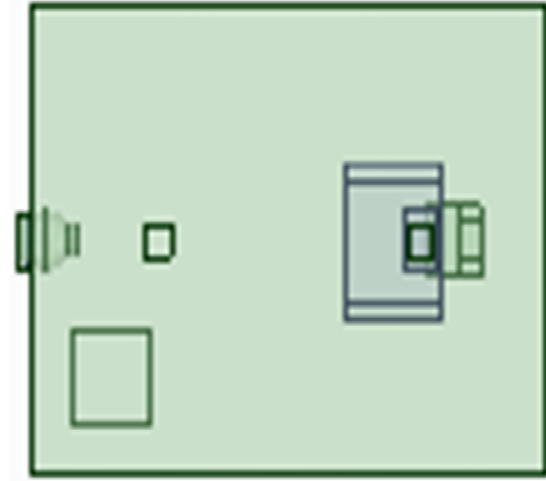
$$h_c = \begin{cases} 2,38(t_{cl}-t_a)^{0,25} & \text{için } 2,38(t_{cl}-t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}} \\ 12,1\sqrt{v_{ar}} & \text{için } 2,38(t_{cl}-t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (12)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00+1,290 I_{cl} & \text{için } I_{cl} < 0,078 \text{ m}^2\text{°C/w,} \\ 1,05+0,645 I_{cl} & \text{için } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2\text{°C/w,} \end{cases} \quad (13)$$

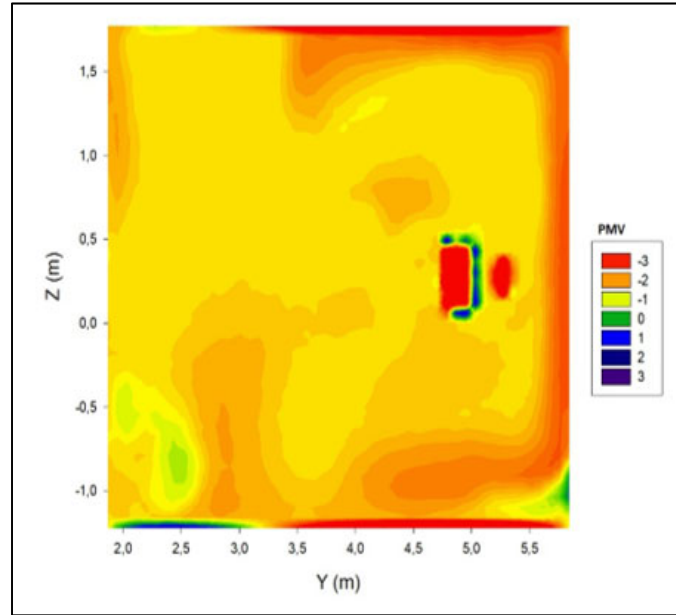
$$PPD = 100 - 95 * e^{(-0,3353 * PMV^4 - 0,219 * PMV^2)} \quad (14)$$

4. SONUÇ VE BULGULAR

Ehab Foda ve Kai Sirén çalışmalarında [23] PMV PPD değerlerinin verilerini yerden 0,1, 0,6 ve 1,1 metre yükseklikte almışlardır. Bu çalışmada da benzer şekilde hız ve sıcaklık değerleri kullanılarak PMV ve PPD değerlerinin verileri aynı yükseklikte hesaplanmıştır.



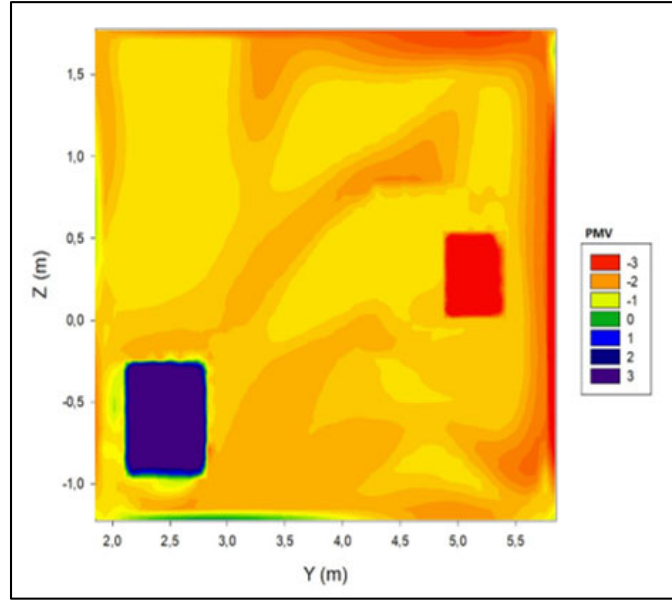
Şekil 5. Odanın üstten görünümü



Şekil 6. Yerden 0,1 m yükseklik için PMV değeri

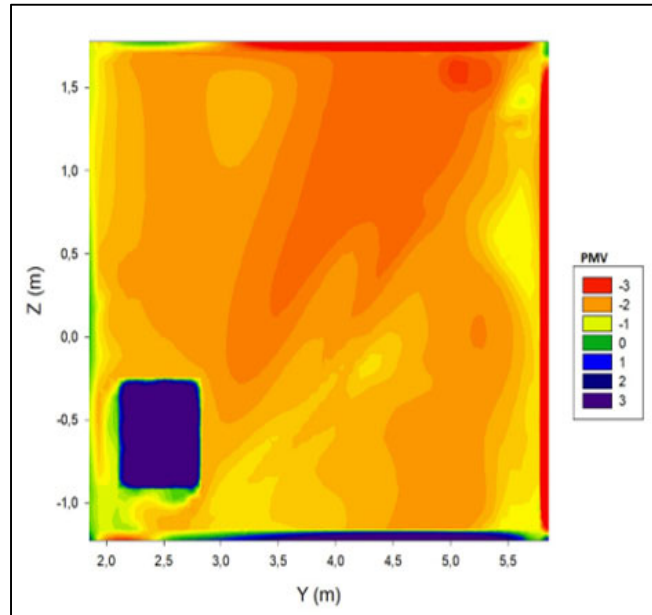
Şekil 6'da PMV değeri ofisin orta bölgelerinde -2,5 değerini almakta buzdolabının bulunduğu yer olan lümenin alt kısmında 0 ile -1,5 değerleri arasında değişmektedir. Bu nedenle PMV değerlerine göre ofisin orta kısımları çok serin

diğer kısımları daha az serin bölgeleri göstermektedir. Lümenin etkisinin en az olduğu yer olan buzdolabının bulunduğu kısım diğer bölgelere göre termal konfora yakın serinliktedir.



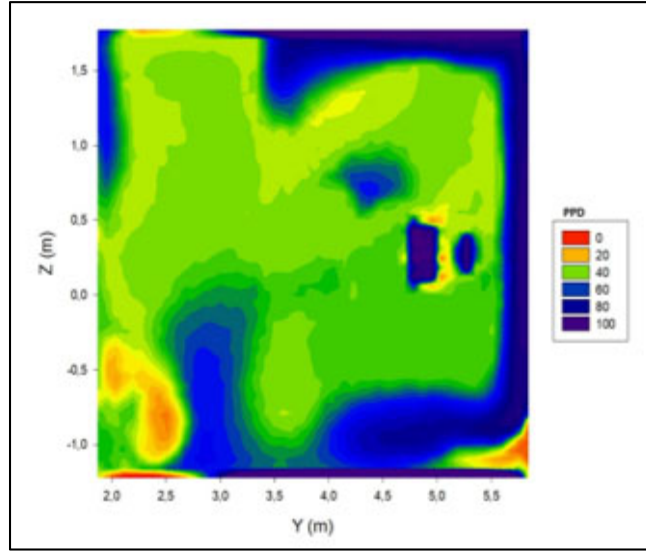
Şekil 7. Yerden 0,6 m yükseklik için PMV değeri

Şekil 7’de üfleminin olduğu yer çok serin, orta nispeten konfor şartlarına yakındır. Buzdolabı olan kısımlar serindir. Duvar kenarlarına yakın bölgeler nispeten konfordadır.



Şekil 8. Yerden 1,1 m yükseklik için PMV değeri

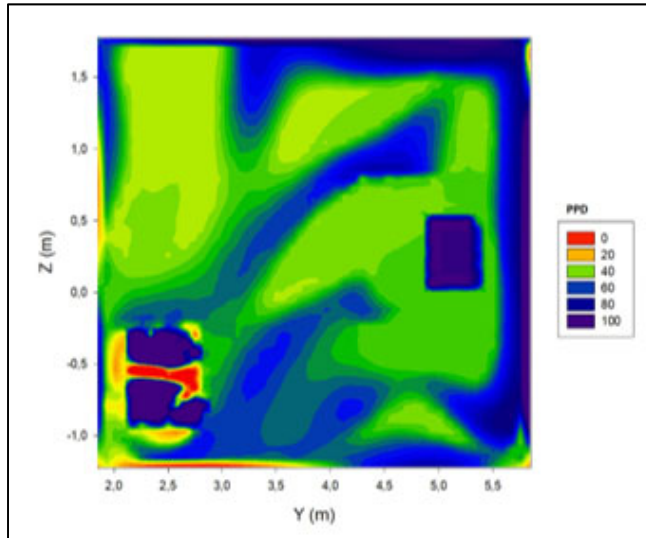
Şekil 8’de üfleminin olduğu yer ve orta kısımlar nispeten serindir. Duvar kenarlarına yakın bölgeler çok serindir.



Şekil 9. Yerden 0,1 m yükseklik için PPD değeri

Şekil 9'da PPD değeri oda genelinde %20 ile %100 arasında değişmektedir. Üfleminin olduğu kısımlarda %20 ile %50 arasındadır. Odanın orta

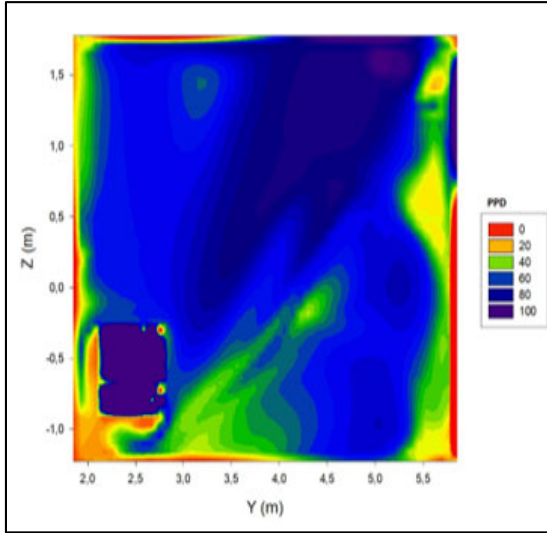
kisimlerinde PPD değeri %80 ile %100 arasında olup termal konfordan çok uzaktır. Duvar kenarlarında PPD değeri %50 ile %70 arasındadır.



Şekil 10. Yerden 0,6 m yükseklik için PPD değeri

Şekil 10'da yerden 0,6 m yükseklik için PPD değerleri verilmiştir. Ofis genelinde %0 ile %100 arasında değişmektedir. Üfleminin olduğu kısımlarda PPD değeri %0 ile idealdir. Odanın orta kısımlarında PPD değeri %90 ile %100

arasında olup termal konfordan çok uzaktır Duvar kenarlarında ise PPD değeri %60 civarındadır. Bu yükseklik için ofisin bütününe yakın kısmında %60 ve üzeri memnuniyetsizlik hesaplanmıştır.



Şekil 11. Yerden 1,1 m yükseklik için PPD değeri

Şekil 11’de PPD değeri oda genelinde %0 ile %100 arasında değişmektedir. Üfleminin olduğu kısımlarda PPD değeri %0 ile idealdir. PNV değerinin -1,0 ile -1,5 olduğu bölgelerde diğer bölgelere göre memnuniyetsizlik oranı daha düşük çıkmıştır. 1,1 m yükseklik için ofisin büyük kısmında yüzde 50’nin üzerinde memnuniyetsizlik olduğu görülmektedir. Odanın orta kısımlarında PPD değeri %90 ile %100 arasında olup termal konfordan çok uzaktır. Duvar kenarlarında PPD değeri %50 ile %70 arasındadır.

5. SONUÇLAR

Isıl Çevreden Memnuniyetsizlik (Predicted PercentageD issatisfied-PPD) değerlerine bakıldığında genel olarak PPD değeri ofisin genelinde çok yüksektir. Bu da bize termal konfor şartlarını sağlanmadığını göstermiştir. Genel olarak PPD değerlerine bakıldığında orta bölgeler konfordan epey uzaktır. Isı akısının olduğu duvar ve buzdolabı gibi yerlerde termal konfora nispeten yaklaşmıştır.

Sonuç olarak küçük ofis odaları için jet lülenin çok ideal menfez olmadığı anlaşılmıştır. Diğer menfez türleri ile sonuçlar kıyaslanırsa küçük boyuttaki ofisler için en uygun menfez seçilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Thermal_comfort_in_buildings
2. Mihliyanlar, H., Kartal, S., Erten, Ş.Y., 2017. Yükseköğretim Yapılarında Isıl Konfor Şartlarının Araştırılması; Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(3), 917-927.
3. ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55, 2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Ventilating and Air-conditioning Engineers, Atlanta.
4. ISO Standard 7730, 2005. Ergonomics of the Thermal Environment-analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, International Organisation for Standardisation, Genova
5. Parsons, K., Human, 2002. Thermal Environments, the Effects of Hot Moderate and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance, Third Edition, CRC Press, Taylor&Francis Group. 257-268.
6. He, G., Yang, X., Srebric, J., 2005. Removal of Contaminants Released from Room Surfaces by Displacement and Mixing Ventilation: Modeling and Validation. Indoor Air. 15, 367-380.
7. Budaiwi, I., Abdou, A., 2013. HVAC System Operational Strategies for Reduced Energy Consumption in Buildings within Termitten Occupancy: the Case of Mosques. Energy Conversion and Management. 73, 37-50.
8. Schiavon, S., Melikov, A.K., Sekhar, C., 2010. Energy Analysis of the Personalized Ventilation System in Hot and Humid Climates. Energy and Buildings, 42, 699-707.
9. Fong, M., Hanby, V., Greenough, R., Lin, Z., Cheng, Y., 2015. Acceptance of Thermal Conditions and Energy Use of Three Ventilation Strategies with Six Exhaust Configurations for the Classroom. Building and Environment, 94, 606-619.
10. Salvalai, G., Pfaffertott, J., Sesana, M.M., 2013. Assessing Energy and Thermal Comfort of Different Low-energy Cooling Concepts for

- Non-residential Buildings, *Energy Conversion and Management*, 76, 332-341.
11. Wong, L., Mui, K., 2009. An Energy Performance Assessment for Indoor Environmental Quality (IEQ) Acceptance in Air-conditioned Offices. *Energy Conversion and Management*, 50, 1362-1367.
 12. Kharseh, M., Altorkmany, L., Al-Khawaj, M., Hassani, F., 2014. Warming Impact on Energy Use of HVAC System in Buildings of Different Thermal Qualities and in Different Climates. *Energy Conversion and Management*, 81, 106-111.
 13. Ahmed, A.Q., Gao, S., 2015. Thermal Comfort and Energy Saving Evaluation of a Combined System in an Office Room Using Displacement Ventilation, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 9(6).
 14. Kuo, J.Y., Chung, K.C., 1999. The Effect of Diffuser's Location on Thermal Comfort Analysis with Different Air Distribution Strategies. *Journal of Building Physics*, 22, 208-29.
 15. Liu, S., Novoselac, A., 2015. Air Diffusion Performance Index (ADPI) of Diffusers for Heating Mode Building and Environment, 87, 215-223.
 16. Ahmad, S.T., Mahdi, A.A., Husein, H.M.A., 2013. A Theoretical Study for Cold Air Distribution to Different Supply Patterns, *International Journal of Engineering Technology IJET-IJENS* 13, 04.
 17. Park, H., 2005. CFD Analysis Assists in Optimization of Thermal Displacement Ventilation for an Elementary School Auditorium, Design Solution Section, HPAC Engineering.
 18. Memon, R., Chirarattananon, S., Vangtook, P., 2008. Thermal Comfort Assessment and Application of Radiant Cooling: A Case Study. *Building and Environment*, 43(7), 1185-1196.
 19. Stamou, A.I., Katsiris, I., Schaelin, A., 2008. Evaluation of Thermal Comfort in Galatsi Arena of the Olympics "Athens 2004" Using a CFD Model. *Applied Thermal Engineering* 28(10), 1206-1215.
 20. Song, G.S., Lim, J.H., Ahn, T.K., 2012. Air Conditioner Operation Behaviour Based on Students' Skin Temperature in a Classroom. *Applied Ergonomics* 43(1), 211-216.
 21. Muhio, S., Butala, V., 2004. The Influence of Indoor Environment in Office Buildings on Their Occupants: Expected-unexpected. *Building and Environment*, 39(3), 289-296.
 22. ASHRAE Handbook 1997. Fundamentals, Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations, Atlanta, USA.
 23. Foda, E., Sirén, K., 2014. Evaluating the Thermal Comfort Performance of Heating Systems Using a Thermal Manikin with Human Thermo Regulatory Control, 25(1), 191-202.

Kitosan-Vişne Çekirdeği Kabuğu Pirolitik Çarı Kompozit Boncuklarının Sentezi ve Karakterizasyonu: Cr(VI) Gideriminde Kullanılması

Türkan ALTUN¹, Hüseyin ECEVİT*¹

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği
Bölümü, Konya

Geliş tarihi: 16.01.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada, vişne çekirdeği kabuğu pirolitik çarı (VÇKÇ) elde edilmiş ve bu pirolitik çarın kitosanla karıştırılarak boncukların oluşturulması yoluyla kitosan/pirolitik çar kompozit boncukları (K-VÇKÇ) sentezlenmiştir. Sonrasında VÇKÇ ve K-VÇKÇ boncuklarının sulu çözeltilerden Cr(VI) adsorpsiyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kesikli adsorpsiyon deneyleri sonucunda; Cr(VI) giderimi için optimum adsorban miktarı VÇKÇ için 5 g/L, K-VÇKÇ için ise 1,5 g/L; optimum pH VÇKÇ için 1,56, K-VÇKÇ için 2, optimum temas süresi 120 dk olarak belirlenmiştir. VÇKÇ ve K-VÇKÇ adsorbanları için adsorpsiyona, Langmuir İzoterm modelinin en uygun model olduğu görülmüştür. Bu izotermden, maksimum adsorpsiyon kapasiteleri VÇKÇ için 14,455 mg/g ve K-VÇKÇ için 86,298 mg/g olarak hesaplanmıştır. Termodinamik hesaplamalar, adsorpsiyonun endotermik ve istemli olduğunu göstermiştir. Adsorpsiyon kinetiği üzerine yapılan hesaplamalar sonucunda adsorpsiyonun yalancı ikinci mertebeden kinetik model ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sentezlenen adsorbanların karakterizasyonu SEM/EDX, BET, FTIR ve elementel analiz ile gerçekleştirilmiştir. SEM/EDX ve FTIR analizleri ile Cr(VI)'nın adsorplandığı kanıtlanmıştır. Bu çalışma, VÇKÇ ve K-VÇKÇ'nin sulu çözeltilerden Cr(VI) gideriminde düşük maliyetli ve etkili bir adsorban olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Cr(VI), Çar, Vişne çekirdeği kabuğu, Kitosan

Synthesis and Characterization of Chitosan-Cherry Kernel Shell Pyrolytic Charcoal Composite Beads: Using at the Cr(VI) Removal

Abstract

In this study, cherry kernel shell pyrolytic charcoal (CKSC) was obtained and chitosan/pyrolytic charcoal (C-CKSC) composite beads were synthesized by mixing this pyrolytic charcoal with chitosan and forming beads. Then, Cr(VI) adsorption of CKSC and C-CKSC beads from aqueous solutions has been studied comparatively. As a result of batch adsorption experiments; the optimum adsorbent amounts for Cr(VI) adsorption are 5 g/L for CKSC and 1.5 g/L for C-CKSC; optimum pHs are 1.56 and 2 for CKSC and C-CKSC respectively; optimum contact time is 120 minutes. The adsorption equilibrium data fitted well with Langmuir isotherm model for CKSC and C-CKSC adsorbents. The maximum adsorption capacities from this isotherm model were calculated as 14.455 mg/g for CKSC and 86.298 mg/g for C-CKSC. Thermodynamic calculations have shown that the adsorption is endothermic and has

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Hüseyin ECEVİT, huseyin.ecevit@hotmail.com

spontaneous nature. As a result of calculations on the adsorption kinetics, adsorption was found to be consistent with the pseudo second order kinetic model. Characterizations of the synthesized adsorbents were performed by SEM/EDX, BET, FTIR and elemental analysis. SEM/EDX and FTIR analysis proved that Cr(VI) was adsorbed. This study has shown that CKSC and C-CKSC can be effective adsorbents at low cost for Cr(VI) removal from aqueous solutions.

Keywords: Adsorption, Cr(VI), Charcoal, Cherry kernel shell, Chitosan

1. GİRİŞ

Ağır metallerin varlığı belirli sınırların üzerindeki miktarlarda bulunursa canlıların sağlığı açısından olumsuz etkilere ve ölümlere sebep olur. Canlı yaşamına etki edecek şekilde, ağır metallerin doğaya karışmasının beşeri sebepleri (madencilik, döküm, elektrokaplama, boyama gibi) ve doğal sebepleri (Volkanik faaliyetler, mineral ve kayaların ayrışması ve erozyonu gibi) vardır. Günümüzde sanayileşmenin artması sebebiyle beşeri kaynaklardan doğaya salınarak canlılara nüfuz eden ağır metallerin miktarı artmaktadır. Bu sebeple ağır metal derişimlerinin belirlenen sınırların altına düşürülmesi insan ve tüm canlıların sağlığını korumak için önemlidir [1].

Bu ağır metallerin arasındaki krom, doğada üç ve altı değerlikli katyonlar halinde Cr(III) ve Cr(VI) formlarında bulunmaktadır. Kromun en yaygın kullanıldığı alanların başında paslanmaz çelik üretimi, deri sanayi ve kaplama/elektrokaplama sanayi gelir [2]. Dünder ve arkadaşları [2] deri, tekstil, kaplama ve otomotiv yan sanayi atık sularının ağır metal derişimlerini belirledikleri çalışmada toplam krom derişimlerinin; deri sanayi kuruluşunun atık suyunda 1,23 mg/L, tekstil sanayi kuruluşunun atık suyunda 0,19 mg/L, kaplama sanayi kuruluşunun atık suyunda 72,61 mg/L, otomotiv yan sanayi kuruluşunun atık suyunda 0,27 mg/L olduğunu raporlamışlardır. Canlı ve arkadaşları [3] deri sanayi kuruluşunun atık suyundan aldıkları numunenin Cr(VI) derişiminin 7,50 mg/L, toplam krom derişiminin ise 7,78 mg/L olduğunu, ayrıca tekstil boyalarının da en az 500 mg/kg serbest krom içerdiğini raporlamışlardır. Bu değerler canlıların sağlığı için belirlenmiş sınır değerlerin oldukça üzerindedir. Yüksek krom derişimlerine sahip olan atık suların alıcı ortama deşarj edilmeden önce mutlaka krom giderimi işlemlerinden geçirilmeleri ve içerdikleri

kromun sınır değerlerin altına düşürülmesinin sağlanması gerekmektedir. Krom elementinin Cr(VI) formu Cr(III) formuna göre çok daha toksik bir bileşendir ve toprak ve sucul ortamlardan kolaylıkla hareket ederek cilde nüfuz edebilir.

Cr(III) özellikle glukoz metabolizması için olmak üzere insan sağlığı açısından gereklidir. Buna karşın Cr(VI) oldukça toksik, tahriş edici ve kanserojendir. Cr(VI) biyolojik olarak parçalanamaz ve canlı vücudunda birikir [4,5]. Cr(VI)'nın zararlı etkilerinden insan ve diğer canlıların korunabilmesi için içilebilir sulardaki Cr(VI) derişimi en fazla 0,05 mg/L olmalıdır [4].

Sulu çözeltilerden ağır metallerin giderilmesinde uygulanan yöntemler arasında adsorpsiyon, iyon değişimi, membran filtrasyon, kimyasal çöktürme yöntemleri sayılabilir. Bu metotların arasında adsorpsiyon, Cr(VI) giderimi için etkili bir yöntemdir. Ayrıca adsorpsiyon, düşük maliyetli adsorbanlar kullanıldığında, diğer yöntemlerden daha ekonomik bir yöntemdir [6].

Adsorpsiyon, bir katı adsorban yüzeyinde akışkan fazda bulunan bazı bileşen ya da bileşenlerin (adsorbat) tutunarak ayrılması işlemidir. Adsorbanlar akışkan fazda çözünmeme, ekonomik olma, geri dönüştürülebilme, kolay elde edilebilme, ayrılması istenen bileşeni adsorplama kapasitesi yüksek olma gibi özelliklere sahip olmalıdır [7].

Son dönemde sudan ağır metallerin giderilmesi için düşük maliyetli adsorbanların kullanılması üzerine bilimsel çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu düşük maliyetli adsorbanlar genellikle tarımsal ve endüstriyel süreçlerden veya gıda üretimi süreçlerinden bol miktarda elde edilen atık ürünlerdir [8]. Bazı atık ürünler adsorban olarak doğrudan kullanılabilirken, bazılarının adsorpsiyon

performanslarının artırılması için aktifleştirme, pirolitik çar ya da aktif karbon haline getirme gibi muamelelerden geçirilmesi ya da kompozitlerinin oluşturulması gerekli olmaktadır.

Bu çalışmada Cr(VI) adsorpsiyonunda kullanılan pirolitik çarın hammaddesi olan vişne çekirdeği, vişne meyvesinin ağırlığının %14,6'sını oluşturan tarımsal bir atıktır. Vişne meyvesi Türkiye'de oldukça fazla üretilen bir üründür. Türkiye'de 2017 yılında toplam vişne üretimi 181.874 ton'dur [9]. Bu yüzden vişnenin işlenmesi sırasında yüksek miktarda vişne çekirdeği atık olarak ortaya çıkmaktadır [10]. Vişne çekirdeğinden üretilen pirolitik çarın adsorban olarak kullanımı sağlanabilirse ekonomik bir değer kazanarak katma değer sağlayacaktır.

Vişne çekirdeği kabuğunun Cr(VI) adsorpsiyonunda kullanımı ile ilgili Altun [11] tarafından yapılan çalışmada vişne çekirdeği kabuğunun iyi derecede Cr(VI) adsorplama kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir (Cr(VI) adsorpsiyon kapasiteleri: ham halde 13,57 mg/g, kitosan kaplı halde 24,492 mg/g). Bu çalışma kapsamında da vişne çekirdeği kabuğunun sahip olduğu adsorpsiyon kapasitesinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Vişne çekirdeği gibi biyolojik kökenli maddelerden pirolitik çar elde edilebilir. Pirolitik çar, organik malzemenin pirolizi sonrasında kalan karbon oranı yüksek katı kalıntıdır [12]. Pirolitik çar üretiminde hammadde herhangi bir kimyasal katkı maddesi ile muamele edilmez. Yalnızca 400-1000 °C sıcaklıklarında piroliz işlemine tabi tutulan hammaddenin içerisindeki uçucu maddeler uzaklaştırılmış, karbon oranı, yüzey alanı ve gözenekliliği artırılmış olur. Bu sayede bazı malzemelerin adsorpsiyon performansı artırılabilir [7,13].

Kitosan, adsorpsiyon uygulamalarında tek başına adsorban olarak kullanılabilmesinin yanında, çeşitli malzemelerle oluşturulan kompozitlerde matris görevi üstlenerek malzemelerin mekanik ve adsorpsiyon özelliklerini iyileştiren bir madde olarak kullanılmaktadır. Kitosan, doğada selülozdan sonra en fazla bulunan biyopolimer

olan kitinin deasetilasyonu ile elde edilir [14,15]. Deasetilasyon reaksiyonu Nomanbhay ve Palanisamy [4] tarafından yapılan çalışmada sunulmuştur.

Kitosanın yapısında bulunan reaktif amino grupları düşük pH'larda protonlanarak anyonik boyalar ve metal anyonları ile elektrostatik etkileşime girerler. Bu sebeple kitosan atıksulardan metal anyonların giderilmesinde etkili olmaktadır [14,16].

Bu çalışmada da vişne çekirdeği kabuğundan elde edilmiş olan pirolitik çarın (VÇKÇ) ve bu pirolitik çar ile kitosandan elde edilen kompozit boncukların (K-VÇKÇ) sulu çözeltilerden Cr(VI)'nın adsorpsiyon ile giderimindeki verimlilikleri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Yapılan laboratuvar çalışmalarında vişne çekirdeği kırılıp içindeki yağlı çekirdek ayrılmıştır. Kalan kabuk azot atmosferinde piroliz işleminden geçirilerek pirolitik çar haline getirilmiştir. Piroliz şartları şu şekildedir: 25 °C başlangıç sıcaklığı, 10 °C/dk ısıtma hızı, 500 °C piroliz sıcaklığı ve 30 dakika alıkonma süresi. Bu yolla elde edilen pirolitik çar (VÇKÇ) adsorban olarak kullanılmıştır. Diğer kimyasal malzemelerden kitosan ve kitosanın çapraz bağlanmasında kullanılan glutaraldehit Sigma Aldrich firmasından; potasyum dikromat, asetik asit, sodyum hidroksit, hidroklorik asit ve etanol Merck firmasından temin edilmiştir.

2.2. Adsorbanların Hazırlanması

VÇKÇ Retsch RM 100 model öğütücü ile öğütülüp elenmiş ve tanecik boyutu 125 µm altına düşürülmüştür. Pirolitik çar-kitosan kompozit boncuklarının (K-VÇKÇ) hazırlanmasında, 3 g kitosan 150 mL %3'lük asetik asit çözeltisine eklenerek 24 saat karıştırıldı. Bu karışıma 1,5 g pirolitik çar ilave edilerek 2 saat daha karıştırıldı. Elde edilen sıvı karışım 3 M 250 mL NaOH çözeltisine damlatılarak boncuk oluşumu sağlandı. Boncuklar, sertleşmeleri için bir gece çözelti

içerisinde bekletildi ve sonra çözültiden ayrılarak pH'sı 7 olana kadar yıkandı. Yıkanan boncuklar 30 mL etanol ve 0,3 mL glutaraldehit içeren çözelti içerisinde 70 °C'de 5 saat karıştırılarak boncukların glutaraldehit ile çapraz bağlanması sağlandı. Şahin [16] tarafından yapılan çalışmada kitosanın glutaraldehit ile çapraz bağlanma reaksiyonu sunulmuştur. Çapraz bağlanan boncuklar süzülüp önce etkileşmemiş glutaraldehitin uzaklaştırılması için etanol ile yıkandı, daha sonra pH'sı 7 olana kadar ultra saf su ile yıkandı ve oda sıcaklığında 24 saatte kurutuldu [17].

2.3. Adsorbanların Karakterizasyonları

VÇKÇ ve K-VÇKÇ'nin elementel analiz (LECO CHNS-932), FTIR (Nicolet 380, 4000-550 cm⁻¹ dalga boyu aralığında), SEM/EDX (Hitachi-SU 1510) ve BET yüzey alanı (Quantachrome-Quadrasorb Evo 4) analizleri ile karakterizasyonları yapılmıştır. Pirolitik çar ve kompozit boncuk adsorbanlarının elementel analizi Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarında, SEM/EDX ve BET analizleri ise Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

2.4. Kesikli Adsorpsiyon Çalışmaları

Adsorpsiyon için optimum şartların belirlenmesi için sırasıyla adsorban miktarı, başlangıç Cr(VI) derişimi, temas süresi, pH ve sıcaklık parametreleri değiştirilerek adsorpsiyon denemeleri kesikli olarak yapılmıştır. Kullanılacak olan Cr(VI) çözülteleri K₂Cr₂O₇'ın ultra saf suda çözdürülmesi ile hazırlanmıştır. Hazırlanan çözültelerden adsorpsiyon denemeleri için 10³ ar mL ölçülerek adsorbanlar ile karıştırılmıştır. Çözelti pH'larının ayarlanmasında 0,1 M HCl ile 0,1 M NaOH çözülteleri ve GLP 22 pH ölçüm cihazı kullanılmıştır. Adsorpsiyonun ardından çözülteler, mavi bant süzgeç kağıdı kullanılarak adsorbandan uzaklaştırılmış ve çözültelerdeki Cr(VI) derişimi UV-Visible spektrometre (Shimadzu UV-1700) ile ölçülmüştür. Her parametre çalışmasında elde edilen optimum sonuç bir sonraki parametre çalışmasında kullanılmıştır.

Birim adsorban kütlesi başına uzaklaştırılan Cr(VI) miktarı (q_e) Eşitlik 1 kullanılarak, adsorpsiyon yüzdesi ise Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{w} \quad (1)$$

$$\% \text{ adsorpsiyon} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

Burada; C₀ çözültedeki başlangıç Cr(VI) derişimini (mg/L), C_e adsorbanla çözültinin temas süresi sonunda çözültide kalan Cr(VI) derişimini (mg/L), V çözelti hacmini (L) ve w adsorban miktarını (g) ifade etmektedir.

2.4. İzoterm Çalışmaları

Başlangıç Cr(VI) derişimi çalışmasından elde edilen veriler Langmuir, Freundlich, Scatchard, Dubinin-Radushkevich ve Temkin izotermine uygulandı. Bu izotermilerin eşitlikleri sırasıyla Eşitlik 3-7'de verilmiştir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{A_s} + \frac{1}{A_s K_b} \quad (3)$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

$$\frac{q_e}{C_e} = Q_s K_s - q_e K_s \quad (5)$$

$$\ln q_e = \ln X_m - K\epsilon^2 \quad (6)$$

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln A_T + \frac{RT}{b} \ln C_e \quad (7)$$

Burada; Langmuir eşitliğindeki A_s yüzeyde tam bir tek tabaka oluşturmak için adsorbanın birim kütlesinde adsorplanan madde miktarını, K_b adsorpsiyon enerjisi ile ilgili bir sabiti ifade eder. Freundlich eşitliğindeki K_F adsorpsiyon kapasitesini, n izoterm sabitini ifade eder. Scatchard eşitliğindeki K_s bağlanma sabiti ve Q_s maksimum adsorpsiyon kapasitesidir. D-R eşitliğindeki X_m adsorbanın maksimum adsorpsiyon kapasitesini, K adsorpsiyon enerjisi sabitini ve ε ise polanyi potansiyelini ifade eder. Temkin eşitliğindeki b adsorpsiyon ısısı ile alakalı

Temkin sabitini, A_T Temkin izoterm sabitini, R evrensel gaz sabitini ve T sıcaklığı ifade eder. Bu parametreler, izotermelerin lineer eşitliklerinden elde edilen izoterm grafiklerinin kesim noktasından ve eğiminden hesaplanmıştır.

Eşitlik 6'da verilen D-R izoterm eşitliğindeki ϵ (polanyi sabiti) Eşitlik 8 ile hesaplanabilir. Ayrıca yine D-R izoterm eşitliğindeki K değeri kullanılarak adsorpsiyon enerjisi (E) değeri Eşitlik 9 ile hesaplanmıştır.

$$\epsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e} \right) \quad (8)$$

$$E = (2K)^{-1/2} \quad (9)$$

Eşitlik 8'deki R evrensel gaz sabitini ve T ise sıcaklığı ifade eder.

2.5. Kinetik Çalışmaları

Temas süresinin etkisinin belirlenmesi çalışmalarından elde edilen veriler yalancı birinci mertebeden kinetik model (Lagergren kinetik model) ve yalancı ikinci mertebeden kinetik modellerine uygulanarak adsorpsiyon mekanizması aydınlatılmaya çalışıldı. Bu kinetik modellerin doğrulanmış eşitlikleri sırasıyla Eşitlik 10 ve 11'de verilmiştir.

$$\log(q - q_t) = \log q - \left(\frac{k_{ad} t}{2,303} \right) \quad (10)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{h} + \left(\frac{1}{q} \right) t \quad (11)$$

Yalancı ikinci mertebeden kinetik model eşitliğinde yer alan h değeri sorpsiyon başlangıç hızını ifade eder ve Eşitlik 12 ile hesaplanır.

$$h = k_2 q^2 \quad (12)$$

Kinetik model eşitliklerinde; q , denge durumunda adsorbanın birim kütlesi başına adsorpladığı madde miktarını; q_t , herhangi bir t anında adsorbanın birim kütlesi başına adsorpladığı madde miktarını ve k_{ad} ile k hız sabitlerini ifade etmektedir.

2.6. Termodinamik Çalışmalar

Adsorpsiyona sıcaklığın etkisinin belirlenmesi çalışmasından elde edilen veriler kullanılarak adsorpsiyon sırasındaki entalpi değişimi (ΔH), entropi değişimi (ΔS) ve Gibbs serbest enerjisinin değişimleri hesaplanmıştır. Bu termodinamik parametrelerin hesaplanmasında Eşitlik 13 ve 14 kullanılmıştır.

$$\log K_D = \frac{0,434}{R} \Delta S - \frac{0,434}{RT} \Delta H \quad (13)$$

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (14)$$

Bu eşitliklerde; K_D termodinamik denge sabitini ifade eder ki Eşitlik 15'teki şekilde hesaplanmaktadır. R evrensel gaz sabitini, T ise sıcaklığı ifade eder.

$$K_D = \frac{q_e \text{ (mmol)}}{C_e \text{ (mmol)}} \quad (15)$$

Burada ise; q_e adsorplanan madde miktarını ve C_e temas süresi sonunda çözeltide kalan madde miktarını ifade eder.

3. SONUÇLAR

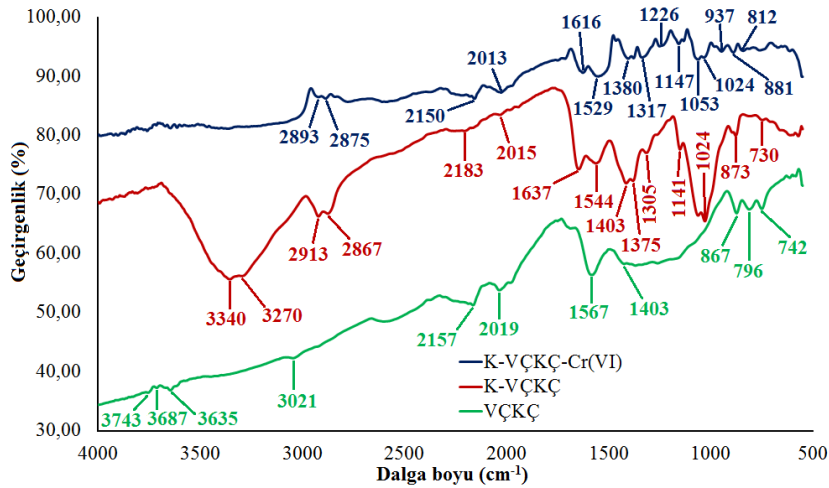
3.1. Adsorbanların Karakterizasyonları

Adsorpsiyon öncesi VÇKÇ ve K-VÇKÇ ile adsorpsiyon sonrası K-VÇKÇ için FTIR spektrumları Şekil 1'de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda 3600-3750 cm^{-1} aralığındaki bant O-H gerilmesinden, 3270-3350 cm^{-1} aralığındaki bant ise O-H ve N-H gerilmesinden kaynaklanmaktadır [18-20]. 2850-3021 cm^{-1} aralığındaki bant alifatik C-H gerilmesinden kaynaklanır [20]. 2000-2200 cm^{-1} aralığındaki bant alkinlerin $\text{-C}\equiv\text{C-}$ üçlü bağından kaynaklanmaktadır [21]. 1540-1570 cm^{-1} aralığındaki $\text{C}=\text{C}$ titreşim bandı aromatik yapıların varlığına işaret eder [13]. 1403 cm^{-1} civarlarında görülen bant -CH , -CH_2 ve -CH_3 fonksiyonel gruplarının deformasyon gerilmesine işaret etmektedir [19]. 730-875 cm^{-1} aralığındaki bant C-H eğilmesine aittir [22].

K-VÇKÇ grafiklerinde görülen 1616-1637 cm^{-1} 'deki bant aromatik halka yapılarının N-H eğilmesine aittir [23]. 1360-1375 cm^{-1} aralığındaki bant alkol grubundaki -CH titreşimlerine aittir [24]. 1125-1141 cm^{-1} aralığındaki kitosanın karakteristik bandı glikozidik (C-O-C) bağlarının gerilme titreşimi sebebiyle oluşmuştur [5]. 1041-1051 cm^{-1} aralığındaki bant kitosan yapısındaki CH-OH bağlarının gerilme titreşimine ait banttir [18]. 1022-1024 cm^{-1} aralığındaki bant ise amino gruplarının C-N bağlarının gerilme titreşimlerine aittir [25]. Bu sonuçlar VÇKÇ adsorbanının kitosan ile kompozitinin oluşturulması sonrası yapısında hidroksil, amin vb. fonksiyonel gruplarda artışın meydana geldiğini göstermektedir.

K-VÇKÇ için 3200-3400 cm^{-1} aralığında görülen bant adsorpsiyon sonrasında oluşmamıştır. 2875-2900 cm^{-1} aralığında, 1300-1650 cm^{-1} aralığında, 1020-1060 cm^{-1} aralığında bantların şiddetlerinde düşüşler görülmektedir. Bunun yanında 1100-1300 aralığında da bantların şiddetlerinde artışlar görülmektedir. 2913, 1637, 1544 ve 1403 cm^{-1} 'deki bantların şiddetleri azalarak sırasıyla 2893, 1616, 1529 ve 1380 cm^{-1} 'e kaymıştır. 2183 cm^{-1} 'deki bant ise şiddeti artarak 2150 cm^{-1} 'e kaymıştır.

Adsorpsiyon sonrasında C-H, C-N, O-H, N-H yapılarına işaret eden bantlarda meydana gelen bu değişimler Cr(VI)'nın yüzeye tutunmasında bu grupların etkili olduklarına işaret etmektedir [26].



Şekil 1. Vişne çekirdeği kabuğu pirolitik çarının (VÇKÇ), kitosan/pirolitik çar kompozitinin (K-VÇKÇ) ve bu kompozitin Cr(VI) yüklenmiş halinin FTIR spektrumları

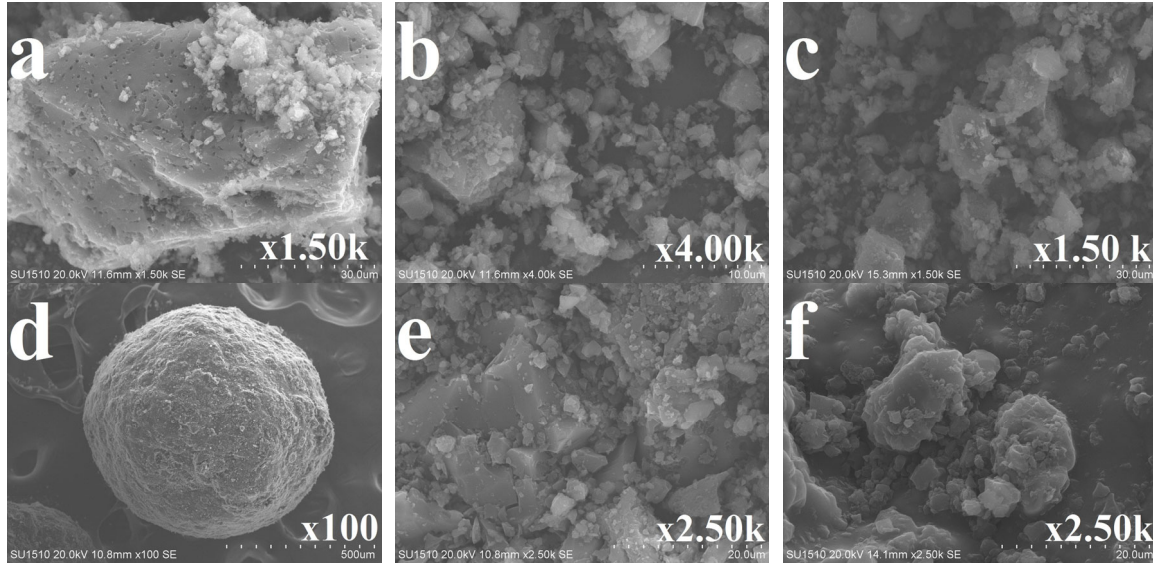
Adsorbanların elementel analiz sonucuna göre pirolitik çarın kitosana kompozitinin oluşturulması sonrası yapıdaki karbon oranı %85,20'den %51,66'ya düşmüş, oksijen oranı %10,45'ten %36,94'e, azot oranı %1,42'den %5,16'ya, hidrojen oranı %2,93'ten %6,24'e yükselmiştir. Kitosan yapısındaki -NH₂, -OH gruplarının varlığından dolayı, VÇKÇ'nin kitosana kaplanması sonrasında fonksiyonel grup miktarı artmıştır. Yapılan elementel analiz sonuçları da bu sonucu desteklemektedir.

Şekil 2'de VÇKÇ ve K-VÇKÇ adsorbanlarının adsorpsiyon öncesi ve sonrasındaki SEM görüntüleri, Şekil 3 ve 4'te de EDX analizi sonuçları verilmiştir.

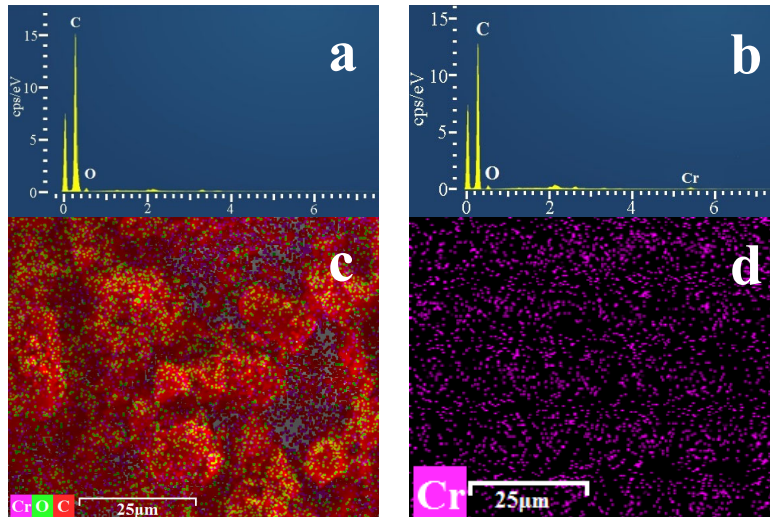
Şekil 2(a), (b) ve (c)'deki VÇKÇ için adsorpsiyondan önce ve sonraki SEM görüntüleri incelendiği zaman; adsorpsiyondan önce daha düz olan adsorban yüzeyinin Cr(VI) adsorpsiyonundan sonra dolduğu ve yüzeyde parçacıklı yapı oluştuğu görülmüştür.

Şekil 2(d) ve (e)'deki K-VÇKÇ adsorbanının SEM görüntülerinde yüzeyin homojen olduğu görülmektedir. Bu da kitosanın yüzeyde homojen dağıldığını göstermektedir. K-VÇKÇ için adsorpsiyondan önceki ve sonraki SEM görüntüleri incelendiğinde; Cr(VI) yüklemesinden

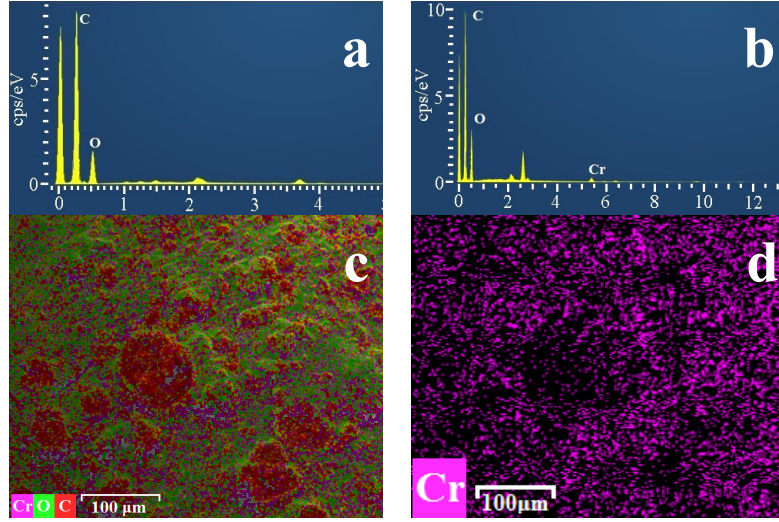
önce yüzeylerde daha küçük parçacıklar varken, Cr(VI) yüklemesinin ardından yüzeylerde daha iri parçacıkların oluştuğu ve yüzeydeki boşlukların dolduğu görülmektedir. Bu da adsorbanların yüzeylerinde Cr(VI) adsorpsiyonunun gerçekleştiğini desteklemektedir.



Şekil 2. SEM görüntüleri; (a) ve (b): adsorpsiyon öncesi VÇKÇ, (c): adsorpsiyon sonrası VÇKÇ (d) ve (e): adsorpsiyon öncesi K-VÇKÇ, (f): adsorpsiyon sonrası K-VÇKÇ



Şekil 3. VÇKÇ için; (a) adsorpsiyon öncesi EDX spektrumu, (b) adsorpsiyon sonrası EDX spektrumu, (c) adsorpsiyon sonrasında elementlerin yüzey üzerindeki dağılım haritası, (d) adsorpsiyon sonrasında Cr iyonlarının yüzey üzerindeki dağılım haritası



Şekil 4. K-VÇKÇ için; (a) adsorpsiyon öncesi EDX spektrumu, (b) adsorpsiyon sonrası EDX spektrumu, (c) adsorpsiyon sonrasında elementlerin yüzey üzerindeki dağılım haritası, (d) adsorpsiyon sonrasında Cr iyonlarının yüzey üzerindeki dağılım haritası

EDX analizi ile; her iki adsorbanın yapılarındaki karbon ve oksijenin varlığı teyit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar elementel analiz sonuçları ile de uyumludur.

Adsorpsiyon sonrasındaki numunelerin analizinde; yapıda krom bulunmuş olması, kromun adsorbanlara tutunmuş olduğunu göstermektedir. Ayrıca element haritası verilerinden, kromun adsorban yüzeyine homojen bir şekilde dağıldığı da görülebilmektedir.

3.2. Adsorpsiyon Çalışmaları

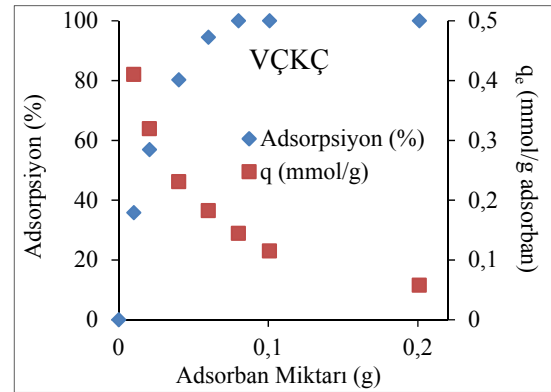
3.2.1. Adsorban Miktarının Etkisi

Adsorpsiyon için optimum adsorban miktarını belirlemek amacıyla farklı miktarlardaki adsorbanların üzerine 55 mg/L'lik ve pH'ı 2'ye ayarlanmış Cr(VI) çözeltisinden eklendi ve 2'şer saat karıştırıldı. Şekil 5 ve 6'da adsorban miktarlarına karşılık adsorpsiyon yüzdesi ve birim adsorban kütlesi başına tutulan madde miktarı (q_e) değişimleri grafiğe geçirilerek verilmiştir.

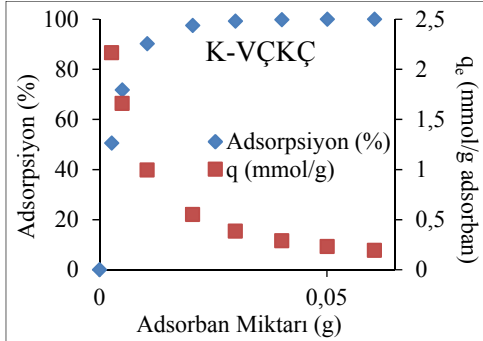
Şekil 5 ve 6 incelendiğinde adsorban miktarının arttıkça adsorpsiyon yüzdesinin arttığı görülmektedir. Belli bir değere ulaştıktan sonra

adsorban miktarının artırılması adsorpsiyon yüzdesini fazla etkilememektedir. Adsorpsiyon yüzdesindeki artış, adsorban miktarının artırılması ile adsorban yüzeyindeki aktif bölge sayısının artması ile açıklanabilir [27].

Adsorban miktarının artması ile birim adsorban kütlesi başına tutulan madde miktarının (q_e) azalmasının sebebi ise; çözelti konsantrasyonu sabit olduğu halde adsorban miktarının artışından dolayı, her bir adsorban taneciği başına düşen adsorbat miktarının azalmasıdır.



Şekil 5. VÇKÇ için Cr(VI) adsorpsiyonuna adsorban miktarlarının etkisi



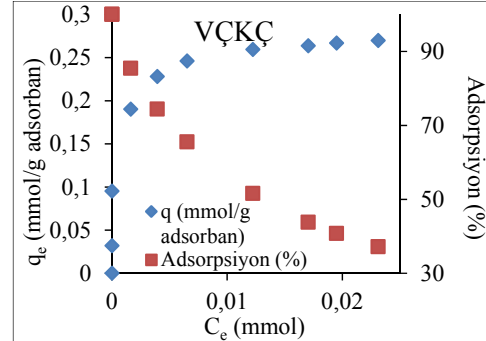
Şekil 6. K-VÇKÇ için Cr(VI) adsorpsiyonuna adsorban miktarlarının etkisi

Deney sonuçlarına göre optimum adsorban miktarları VÇKÇ için 5 g/L ve K-VÇKÇ için 1,5 g/L olarak belirlenmiştir.

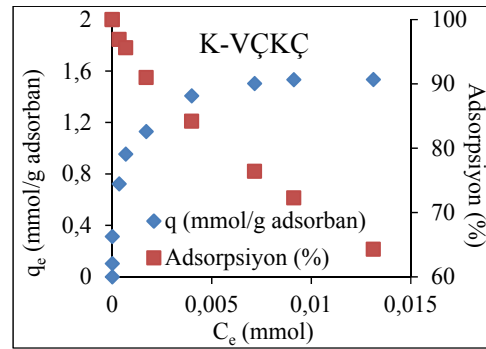
3.2.2. Adsorpsiyon İzotermi

Farklı konsantrasyonlardaki, pH'ları 2'ye ayarlanmış Cr(VI) çözeltileri, optimum miktarlardaki adsorbanlar ile karıştırılarak adsorpsiyon denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda elde edilen veriler ile hazırlanan adsorpsiyon izotermi ve Cr(VI) adsorpsiyon yüzdesi değişimleri Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.

Şekil 7 ve 8'de Cr(VI) başlangıç derişiminin artırılmasıyla birim adsorban kütlesi başına tutulan madde miktarının (q_e) arttığı, Cr(VI) adsorpsiyon yüzdesinin ise azaldığı görülmektedir. Konsantrasyon artışı ile adsorpsiyon yüzdesinin azalmasının sebebi; adsorban miktarı sabit olduğu için, adsorban üzerinde bulunan her bir aktif bölge başına düşen adsorbat miktarının artmasıdır. Bu sebeple konsantrasyon artışı ile adsorban tarafından tutulmayan adsorbat miktarı da artış göstermektedir. Birim adsorban kütlesi başına tutulan madde miktarının (q_e) artmasının sebebi ise; adsorbandaki her bir aktif bölge başına düşen adsorbat miktarı arttığı için, bu bölgelerdeki tutunma miktarlarının da artmasıdır. Bu da adsorbanın maksimum kapasitesine yaklaşmasını sağlar ve birim adsorban kütlesi başına tutulan madde miktarı da bu yüzden artış gösterir. Bu sonuçtan hareketle, sistem tasarımı yapılırken en uygun giderim verimi ile adsorban performansı arasında optimum bir seçim yapılması gereklidir.



Şekil 7. VÇKÇ için adsorpsiyon izotermi ve Cr(VI) adsorpsiyon yüzdesinin değişimi



Şekil 8. K-VÇKÇ için adsorpsiyon izotermi ve Cr(VI) adsorpsiyon yüzdesinin değişimi

Elde edilen verilerin Langmuir, Freundlich, Scatchard, Dubinin-Radushkevich ve Temkin izotermine uygulanması sonucunda elde edilen izoterm parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

İzoterm parametrelerine göre adsorpsiyonun, en yüksek R^2 değerinin elde edildiği Langmuir izotermine uygun olduğu, genellikle adsorpsiyon mekanizmasının tek tabakalı ve adsorban yüzeyinin homojen olduğu söylenebilir [28]. Freundlich izotermi için R^2 değerlerinin 0,94'ten daha büyük değerlerde bulunması, denemelerde fiziksel adsorpsiyonun da meydana geldiğine işaret etmektedir. Scatchard izotermi için elde edilen 0,95'in üzerindeki R^2 değerleri adsorpsiyonun Langmuir izotermine uygunluğunu desteklemektedir. Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterminden hesaplanan adsorpsiyon enerjisi (E) değerlerinin 8-16 kJ/mol aralığında olması adsorpsiyonda kimyasal adsorpsiyon

mekanizmasının daha baskın olduğuna işaret etmektedir. D-R izotermi için R^2 değerlerinin 0,97'nin üzerinde bulunmuş olması, adsorpsiyonlarda etkili olan mekanizmaların bu modelle belirlenebileceğine işaret etmektedir. Temkin izoterm modeli için R^2 değerlerinin 0,95'ten daha büyük olarak elde edilmiş olması adsorban katmanlarında bulunan tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısının lineer olarak azaldığına işaret etmektedir.

Çizelge 1. İzoterm, kinetik ve termodinamik parametreler

Parametreler		VÇKÇ	K-VÇKÇ
Freundlich	K_F	0,443	4,062
	n	7,981	4,869
	R^2	0,942	0,9519
Langmuir	K_b	1199	2080,7
	A_s (mmol/g)	0,278	1,602
	R^2	0,9999	0,9995
Scatchard	K_s	1315,7	2290,5
	Q_s (mmol/g)	0,276	1,569
	R^2	0,9932	0,9553
Dubinin-Radushkevich	X_m	0,329	0,8077
	K	0,0021	0,0028
	E (kJ/mol)	15,430	13,363
	R^2	0,9712	0,9766
Temkin	b (J/mol)	1649,6	206,0
	A_T (L/g)	110,4	15,6
	R^2	0,9610	0,9578
Yalancı 1. mertebeden kinetik model	R^2	0,9797	0,987
	k_{ad}	0,050	0,039
Yalancı 2. mertebeden kinetik model	q (mmol/g)	0,145	0,562
	R^2	0,9993	0,9996
	h	0,0282	0,0789
	k_2	0,0707	0,1112
	q (mmol/g)	0,200	0,842
ΔH° (J/mol)		6.801,6	61.762,2
ΔS° (J/K.mol)		35,0	252,0
ΔG° (J/mol)	T=298,15 K	-3.638,46	-13.368,3
	T=308,15 K	-3.988,6	-15.888,2
	T=318,15 K	-4.338,8	-18.408,1
	T=328,15 K	-4.689,0	-20.928,0

Langmuir izotermine göre hesaplanan adsorpsiyon kapasiteleri VÇKÇ için 14,455 mg/g (0,278 mmol/g), K-VÇKÇ için 86,298 mg/g (1,602 mmol/g) olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Langmuir modelinin uygunluğunu destekleyen Scatchard modelinden hesaplanan maksimum

adsorpsiyon kapasiteleri (Q_s) de bu değerlere yakın olarak bulunmuştur. Çizelge 2'de, literatürde Cr(VI) adsorpsiyonu için kullanımı önerilen bazı adsorbanların maksimum adsorpsiyon kapasiteleri verilmiştir. D-R modeli ile adsorpsiyon enerjileri VÇKÇ için 15,430 ve K-VÇKÇ için 13,363 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bu değerlerin 8-16 kJ/mol aralığında olması adsorpsiyon mekanizmasında kompleks oluşumu ve iyon değişiminin daha etkili olduğuna işaret eder [29,30].

Çizelge 2. Literatürdeki bazı adsorbanların Cr(VI) adsorpsiyon kapasiteleri

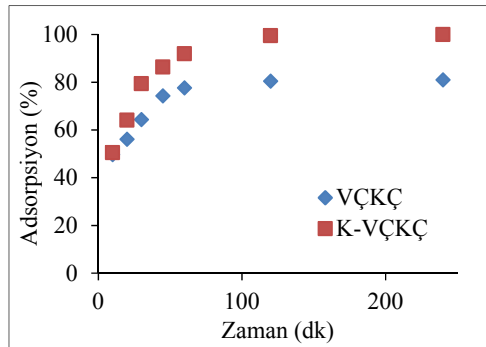
Adsorban	Adsorpsiyon kapasitesi	Kaynak
VÇKÇ	14,46 mg/g	Bu çalışma
K-VÇKÇ	86,30 mg/g	
Vişne çekirdeği kabuğu	13,57 mg/g	[11]
Kitosan kaplı vişne çekirdeği kabuğu	24,50 mg/g	
Kitosan	35,60 mg/g	[31]
Kitosan kaplı kuşburnu çekirdeği kabuğu	34,13 mg/g	[32]
Manyetik siklodekstrin-kitosan/grafen oksit	67,66 mg/g	[33]
Hindistan cevizi ağacı kabuğu aktif karbonu	3,46 mg/g	[34]
Yağ palmyesi kabuğu aktif karbonu	44,68 mg/g	[4]
Kitosan kaplı yağ palmyesi kabuğu aktif karbonu	52,68 mg/g	
Sülfürik asit ile muamele edilmiş kitosan kaplı yağ palmyesi kabuğu aktif karbonu	60,25 mg/g	
Fe ₃ O ₄ -Kitosan kompoziti	90,9 mg/g	[5]
Çapraz bağlı manyetik kitosan boncukları	69,4 mg/g	[18]
Hindistan cevizi kabuğu ticari aktif karbonu	4,72 mg/g	[35]
Nitrik asit ile oksitlenmiş Hindistan cevizi kabuğu ticari aktif karbonu	10,44 mg/g	
Hindistan cevizi kabuğu çarı	2,18 mg/g	
Kitosan kaplı sülfürik asit ile oksitlenmiş Hindistan cevizi kabuğu çarı	8,95 mg/g	
Nitrik asit ile oksitlenmiş Hindistan cevizi kabuğu çarı	10,88 mg/g	

Çizelge 2’de bazı ham malzemeler ve kitosan kaplanmış adsorbanların Cr(VI) tutma kapasiteleri görülmektedir. Buradan, ham malzemelerin kapasitelerinin kitosan kaplı adsorbanlardan daha düşük olduğu görülmüştür. Bizim çalışmamızda kullandığımız kompozit adsorbanımız (K-VÇKÇ) için hesaplanan kapasitenin ise; Çizelge 2’de verilen kompozit adsorbanların birçoğunun kapasitesinden daha yüksek olduğu bulunmuştur.

3.2.3. Temas Süresinin Adsorpsiyona Etkisi ve Adsorpsiyon Kinetiği

55 mg/L’lik pH’sı 2’ye ayarlanmış Cr(VI) çözeltisi, belirlenmiş olan optimum adsorban miktarlarında tartılan adsorbanların üzerine ilave edilerek farklı temas süreleri için adsorpsiyon denemeleri yapılmıştır. Temas süresinin değişimine göre Cr(VI) adsorpsiyon yüzdelerinin değişimleri Şekil 9’da verilmiştir.

Deneyler sonucunda adsorban yüzeyinin tamamen yüklenmiş olmasından dolayı 120. dakikadan itibaren adsorpsiyonun dengeye ulaştığı görülmüştür.



Şekil 9. Temas süresi ile Cr(VI) adsorpsiyon yüzdesinin değişimi

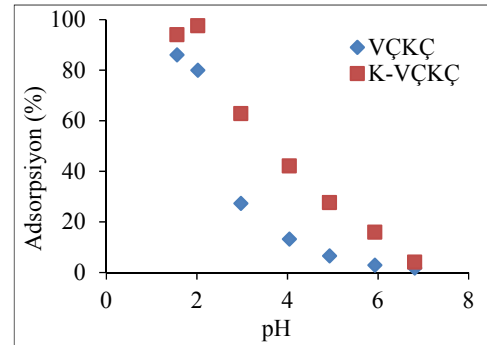
Temas süresi çalışması ile elde edilen verilerin yalancı birinci mertebeden ve yalancı ikinci mertebeden kinetik modellere uygulanması ile hesaplanan kinetik model sabitleri ile adsorpsiyon kapasiteleri ve modellerin korelasyon katsayıları Çizelge 1’de verilmiştir. Burada hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi (q) değerleri görülmektedir. 2 saatlik temas süresi sonunda deneysel olarak bulunan adsorpsiyon kapasiteleri (q_e) ise VÇKÇ

için 0,192 mmol/g ve K-VÇKÇ için 0,785 mmol/g olmuştur.

Kinetik modellerin, korelasyon katsayılarının büyüklüğü ve hesaplanan adsorpsiyon kapasitelerinin deneysel adsorpsiyon kapasitelerine olan yakınlığı karşılaştırıldığında sistemin yalancı ikinci mertebeden kinetik modele daha uygun olduğu görülmüştür. Bu da adsorpsiyon mekanizmasında kimyasal adsorpsiyonun daha etkili olduğuna işaret etmektedir [36].

3.2.4. Çözelti pH’sının Adsorpsiyona Etkisi

Farklı pH’larda ayarlanmış 55 mg/L’lik Cr(VI) çözeltileri, optimum miktarlardaki adsorbanların üzerine eklenerek 120 dakika temas süresi boyunca adsorpsiyon denemeleri gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlarla pH’nın adsorpsiyona etkisi grafiği Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. pH değişimine karşılık Cr(VI) adsorpsiyon yüzdesinin değişimi

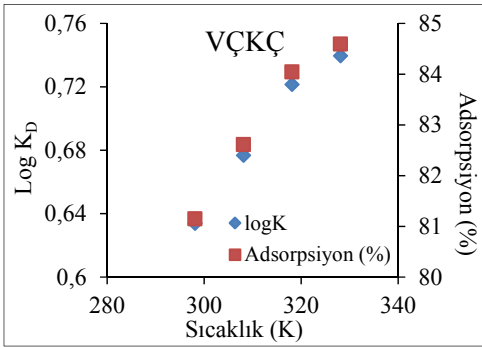
Deneyler sonucunda VÇKÇ için 1,56, K-VÇKÇ için ise 2 pH değerlerinde adsorpsiyon yüzdesinin en yüksek olduğu görülmüştür. Devamında da pH arttıkça adsorpsiyon yüzdesi düşmüştür.

Adsorpsiyonun düşük pH’larda verimli olmasının sebebi adsorban yüzeyinde bulunan karboksil, amin vb. fonksiyonel grupların düşük pH’larda protonlanmasıdır. Cr(VI) iyonları çözelti içerisinde HCrO_4^- , CrO_4^{2-} ve $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ formlarında anyon olarak bulunduğu için protonlanarak pozitif yüklenmiş olan adsorban yüzeyi tarafından çekilir

[37]. Ayrıca düşük pH'larda Cr(VI)'nın Cr(III)'e indirgenmesi de oldukça düşük düzeydedir. Ancak yüksek pH'larda çözeltideki Cr(VI) iyonları katyonik halde bulunan Cr(III)'e indirgenir [38].

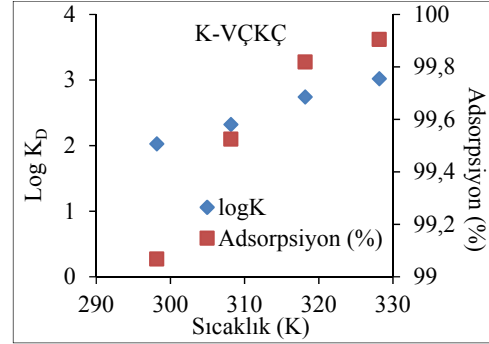
3.2.5. Sıcaklığın Adsorpsiyona Etkisi ve Termodinamik Hesaplamalar

Cr(VI) adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimini incelemek amacıyla pH'sı 2'ye ayarlanmış 55 mg/L'lik Cr(VI) çözeltisi, optimum miktarda tartılan adsorbanların üzerine ilave edilerek 120 dakika'lık temas süresi boyunca farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon denemeleri yapıldı. Elde edilen sonuçlardan hazırlanan, sıcaklığa karşılık termodinamik denge sabitinin logaritmasının ve Cr(VI) adsorpsiyon yüzdesinin logaritmasının ve Cr(VI) adsorpsiyon yüzdesinin değişimini gösteren grafikler Şekil 11 ve 12'de verilmiştir.



Şekil 11. VÇKÇ için sıcaklığa karşılık termodinamik denge sabitinin logaritması ve Cr(VI) adsorpsiyon yüzdesinin değişimi

Şekil 11 ve 12'de görülmektedir ki, sıcaklığın artırılması Cr(VI) adsorpsiyonunu az da olsa artırmıştır. Adsorpsiyon yüzdesinin artışının az olması sebebiyle ve adsorpsiyonu yüksek sıcaklıklarda işletmenin beraberinde getireceği ek maliyetler de göz önünde bulundurularak 25 °C optimum sıcaklık seçilmiştir. Adsorpsiyon yüzdesinin sıcaklıkla artış göstermesi, reaksiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Adsorpsiyonun sıcaklıkla artması adsorban ile adsorbat arasında kimyasal etkileşimler meydana geldiğine işaret edebilir [39].



Şekil 12. K-VÇKÇ için sıcaklığa karşılık termodinamik denge sabitinin logaritması ve Cr(VI) adsorpsiyon yüzdesinin değişimi

Sıcaklığın adsorpsiyona etkisinin belirlenmesi deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak $1/T$ 'ye karşılık $\log K_D$ grafiği çizilmiş ve bu grafik yardımıyla Eşitlik 13 ve 14 kullanılarak termodinamik parametreler hesaplanmıştır. Bu parametreler Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Termodinamik parametrelerden entalpi değişiminin (ΔH°) pozitif olması adsorpsiyon reaksiyonunun endotermik olduğu sonucunu doğrulamaktadır [40]. Entropi değişiminin (ΔS°) pozitif olması adsorpsiyon süreci boyunca adsorban ve çözelti arayüzeyinde düzensizliğin artış gösterdiğine işaret eder [41]. Son olarak Gibbs serbest enerjisinin (ΔG°) negatif olması sürecin belirtilen sıcaklıklarda istemli olduğunu ifade etmektedir [42]. Ayrıca belirlenen entalpi ve entropi değişimleri Eşitlik 14'te yerine konulduğunda, VÇKÇ adsorbanı için $-78,9$ °C ve K-VÇKÇ adsorbanı için -28 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda sürecin istemli olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada vişne çekirdeği kabuğundan üretilmiş olan pirolitik çarın (VÇKÇ) ve bu pirolitik çarın kitosanla kompozitinin oluşturulması ile elde edilen boncuk adsorbanın (K-VÇKÇ) Cr(VI) giderimindeki performansı incelenmiştir.

Optimum adsorban miktarları VÇKÇ için 5 g/L ve K-VÇKÇ için 1,5 g/L olarak bulunmuştur. Adsorpsiyonun tüm izoterm modelleri ile uyum içerisinde olmasına karşın en uygun modelin Langmuir izotermi olduğu bulunmuş ve bu izoterminden, maksimum adsorpsiyon kapasiteleri VÇKÇ için 14,455 mg/g (0,278 mmol/g), K-VÇKÇ için 86,298 mg/g (1,602 mmol/g) olarak hesaplanmıştır. Cr(VI) gideriminin asidik pH'larda yüksek olduğu ve pH artışı ile giderimin azaldığı görülmüştür. En yüksek giderimin elde edildiği pH değerleri VÇKÇ için 1,56 ve K-VÇKÇ için 2'dir. Adsorpsiyon 120 dakika'lık temas süresi sonunda dengeye ulaşmıştır. Ayrıca çalışmada adsorpsiyon kinetiğinin yalancı ikinci dereceden kinetik modele daha uygun olduğu ifade edilmiştir. Cr(VI) gideriminin sıcaklık artışı ile doğru orantılı olduğu görülmüş bu sebeple reaksiyonun endotermik olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca termodinamik hesaplamalar da bu sonucu doğrulamasının yanında Gibbs serbest enerjisinin negatif değerlerde bulunmasından dolayı adsorpsiyonun istemli olduğu da belirtilmiştir.

İzoterm çalışmaları, kinetik ve termodinamik hesaplamalar ile adsorpsiyonda kimyasal adsorpsiyon mekanizmasının daha baskın olduğu sonucuna varılmıştır.

Adsorbanların karakterizasyonları için yapılan FTIR, SEM ve EDX analizleri de Cr(VI)'nın adsorbanların yüzeylerine yüklendiğini göstermiştir. BET yüzey alanı analizi sonucunda VÇKÇ adsorbanının yüzey alanının 224,148 m²/g, K-VÇKÇ adsorbanının yüzey alanının 7,353 m²/g olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda ekonomik bir değeri olmayan vişne çekirdeğinin pirolitik çar haline getirilerek ve bu pirolitik çarın kitosanla kompozitinin oluşturularak atık suların Cr(VI) gideriminde adsorban olarak verimli bir şekilde kullanılabilceği ortaya konmuştur.

5. KAYNAKLAR

1. Srivastava, S., Agrawal, S.B., Mondal, M.K., 2015. A Review on Progress of Heavy Metal Removal Using Adsorbents of Microbial and Plant Origin, Environ Sci Pollut R, 22(20), 15386-15415.
2. Dündar, M.Ş., Altundağ, H., Kaygaldurak, S., Şar, V., Acar, A., 2015. Çeşitli Endüstriyel Atık Sularda Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi, Sakarya University Journal of Science, 16(1), 6-12.
3. Canlı, M., Abalı, Y., Öztekin, B., Şirin, K., 2014. Deri Sanayi Atık Sularından Krom (VI) İyonunun Adsorbsiyonu-Removal of Chromium (VI) Ion From Leather Wastewaters By Adsorption, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10(1), 11-24.
4. Nomanbhay, S.M., Palanisamy, K., 2005. Removal of Heavy Metal from Industrial Wastewater Using Chitosan Coated Oil Palm Shell Charcoal, Electron. J. Biotechn., 8(1), 43-53.
5. Ravi, T., Jabasingh, S.A., 2018. Preparation and Characterization of Higher Degree-deacetylated Chitosan-coated Magnetic Adsorbent for the Removal of Chromium (VI) from its Aqueous Mixture, J. Appl. Polym. Sci., 135(9).
6. Dinari, M., Haghighi, A., 2018. Ultrasound-Assisted Synthesis of Nanocomposites Based on Aromatic Polyamide and Modified ZnO Nanoparticle for Removal of Toxic Cr(VI) from Water, Ultrason Sonochem, 41, 75-84.
7. Sezer, K., 2010. Şeker Pancarı Küspesinden Elde Edilen Aktif Karbonun Atıksulardaki 2,4-D ve Metribuzin Pestisitlerinin Adsorpsiyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
8. Lim, A.P., Aris, A.Z., 2014. A Review on Economically Adsorbents on Heavy Metals Removal in Water and Wastewater, Rev. Environ. Sci. Bio., 13(2), 163-181.
9. TÜİK: 'Kaynak: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>, (Erişim Tarihi: 11.07.2018)
10. Yılmaz, C., Gökmen, V., 2013. Compositional Characteristics of Sour Cherry Kernel and its Oil as Influenced by Different Extraction and Roasting Conditions, Ind. Crop. Prod., 49, 130-135.

11. Altun, T., 2019. Chitosan-coated Sour Cherry Kernel Shell Beads: an Adsorbent for Removal of Cr (VI) from Acidic Solutions, *Journal of Analytical Science and Technology*, 10(1), 14.
12. Alvarez, J., Lopez, G., Amutio, M., Bilbao, J., Olazar, M., 2016, Preparation of Adsorbents from Sewage Sludge Pyrolytic Char by Carbon Dioxide Activation, *Process Safety and Environmental Protection*, 103, 76-86.
13. Kar, H., 2010. *Styrax officinalis L.* Maki Bitkisi Tohumlarından Aktif Karbon Üretimi ve Cr (VI) İyonu Sorpsiyonunun İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
14. Kutlu, P., 2015. Modifiye Kitosan Kompozitleri Üzerinde Lakkaz İmmobilizasyonu, Karakterizasyonu ve İmmobilize Enzim ile Tekstil Boyalarının Giderim Kinetiğinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.
15. Yang, S., Luo, S., Liu, C., Wei, W., 2012. Direct Synthesis of Graphene-chitosan Composite and its Application as an Enzymeless Methyl Parathion Sensor, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 96, 75-79.
16. Şahin, M., 2007. Kitosanın Schiff Baz Türevlerinin Sentezi ve Metal Komplekslerinin İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
17. Sargın, I., Kaya, M., Arslan, G., Baran, T., Ceter, T., 2015. Preparation and Characterisation of Biodegradable Pollen-chitosan Microcapsules and its Application in Heavy Metal Removal, *Bioresource Technol*, 177, 1-7.
18. Huang, G.L., Zhang, H.Y., Shi, J.X., Langrish, T.A.G., 2009. Adsorption of Chromium(VI) from Aqueous Solutions Using Cross-Linked Magnetic Chitosan Beads, *Ind Eng Chem Res*, 48(5), 2646-2651.
19. Pap, S., Radonic, J., Trifunovic, S., Adamovic, D., Mihajlovic, I., Miloradov, M.V., Sekulic, M.T., 2016. Evaluation of the Adsorption Potential of Eco-friendly Activated Carbon Prepared from Cherry Kernels for the Removal of Pb²⁺, Cd²⁺ and Ni²⁺ from Aqueous Wastes, *J Environ Manage*, 184, 297-306.
20. Vanamudan, A., Pamidimukkala, P., 2015. Chitosan, Nanoclay and Chitosan-nanoclay Composite as Adsorbents for Rhodamine-6G and the Resulting Optical Properties, *Int. J. Biol. Macromol*, 74, 127-135.
21. Kolodynska, D., Bak, J., Koziol, M., Pylypchuk, L.V., 2017. Investigations of Heavy Metal Ion Sorption Using Nanocomposites of Iron-Modified Biochar, *Nanoscale Res. Lett.* 12.
22. Guo, J., Lua, A.C., 2000. Effect of Heating Temperature on the Properties of Chars and Activated Carbons Prepared From Oil Palm Stones, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 60(2), 417-425.
23. Altun, T., Parlayıcı, S., 2017. Sepiolit-Kitosan Kompozitlerinin Sentezi ve Bu Kompozit ile Sulu Çözeltilerden Cr(VI) Adsorpsiyonunun İncelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 242-254.
24. Chen, Y.W., Wang, J.L., 2012. Removal of Radionuclide Sr²⁺ Ions from Aqueous Solution Using Synthesized Magnetic Chitosan Beads, *Nucl. Eng. Des.*, 242, 445-451.
25. Parlayıcı, S., Altun, T., 2017. Kitosan Kaplı Kaolin Boncukların Sulu Çözeltilerden Krom(VI) Uzaklaştırılmasında Adsorban Olarak Kullanımı, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 140-151.
26. Sharma, G., Naushad, M., Al-Muhtaseb, A.H., Kumar, A., Khan, M.R., Kalia, S., Shweta, Bala, M., Sharma, A., 2017. Fabrication and Characterization of Chitosan-crosslinked-poly (alginic acid) Nanohydrogel for Adsorptive Removal of Cr(VI) Metal Ion from Aqueous Medium, *Int J Biol Macromol*, 95, 484-493.
27. Moussavi, G., Mahmoudi, M., 2009. Removal of Azo and Anthraquinone Reactive Dyes from Industrial Wastewaters Using MgO Nanoparticles, *J Hazard Mater*, 168(2-3), 806-812.
28. Nameni, M., Moghadam, M.R.A., Arami, M., 2008. Adsorption of Hexavalent Chromium from Aqueous Solutions by Wheat Bran, *Int J Environ Sci Te*, 5(2), 161-168.
29. Altun, T., 2009. Düşük Maliyetli Bazı Doğal Adsorbanlar Kullanılarak Ağır Metallerin Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyonunun İncelenmesi.

- Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
30. Gübbük, İ.H., 2006. Tek Moleküllü Tabakaların Fonksiyonelleştirilmesi ve Uygulamaları. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
31. Jung, C., Heo, J., Han, J., Her, N., Lee, S.-J., Oh, J., Ryu, J., Yoon, Y., 2013. Hexavalent Chromium Removal by Various Adsorbents: Powdered Activated Carbon, Chitosan and Single/multi-walled Carbon Nanotubes, Separation and Purification Technology, 106, 63-71.
32. Parlayıcı, S., Pehlivan, E., 2018. Chitosan Based a New Bio-Composite Adsorbent for the Removal of Cr (VI) from Aqueous Solution, Annals of Ecology and Environmental Science, 2(4), 30-35.
33. Li, L., Fan, L., Sun, M., Qiu, H., Li, X., Duan, H., Luo, C., 2013. Adsorbent for Chromium Removal Based on Graphene Oxide Functionalized with Magnetic Cyclodextrin-Chitosan, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 107, 76-83.
34. Selvi, K., Pattabhi, S., Kadirvelu, K., 2001. Removal of Cr (VI) from Aqueous Solution by Adsorption Onto Activated Carbon, Bioresource Technol, 80(1), 87-89.
35. Babel, S., Kurniawan, T.A., 2004. Cr(VI) Removal from Synthetic Wastewater Using Coconut Shell Charcoal and Commercial Activated Carbon Modified with Oxidizing Agents and/or Chitosan, Chemosphere, 54(7), 951-967.
36. Acharya, J., Sahu, J.N., Sahoo, B.K., Mohanty, C.R., Meikap, B.C., 2009. Removal of Chromium (VI) from Wastewater by Activated Carbon Developed from Tamarind Wood Activated with Zinc Chloride, Chem. Eng. J., 150(1), 25-39.
37. Mor, S., Ravindra, K., Bishnoi, N., 2007. Adsorption of Chromium from Aqueous Solution by Activated Alumina and Activated Charcoal, Bioresource Technol, 98(4), 954-957.
38. Farooq, U., Kozinski, J.A., Khan, M.A., Athar, M., 2010. Biosorption of Heavy Metal Ions Using Wheat Based Biosorbents-A Review of the Recent Literature, Bioresource Technol, 101(14), 5043-5053.
39. Karthikeyan, T., Rajgopal, S., Miranda, L.R., 2005. Chromium (VI) Adsorption from Aqueous Solution by Hevea Brasilensis Sawdust Activated Carbon, J. Hazard Mater., 124(1-3), 192-199.
40. Li, Y.H., Di, Z.C., Ding, J., Wu, D.H., Luan, Z.K., Zhu, Y.Q., 2005. Adsorption Thermodynamic, Kinetic and Desorption Studies of Pb²⁺ on Carbon Nanotubes, Water Res., 39(4), 605-609.
41. Ajmal, M., Rao, R.A.K., Ahmad, R., Ahmad, J., 2000. Adsorption Studies on Citrus Reticulata (fruit peel of orange): Removal and Recovery of Ni(II) from Electroplating Wastewater, J. Hazard Mater., 79(1-2), 117-131.
42. Naiya, T.K., Chowdhury, P., Bhattacharya, A.K., Das, S.K., 2009. Saw Dust and Neem Bark as Low-cost Natural Biosorbent for Adsorptive Removal of Zn(II) and Cd(II) Ions from Aqueous Solutions, Chem. Eng. J., 148(1), 68-79.

İçme Sularında Bulunan *E. Coli* Bakterilerinin Görüntü İşleme Yöntemleriyle Tespiti

Evren DEĞİRMENCİ^{*1}, Ahmet Hilmi KALOĞLU¹, Emre GÜVEN¹,
Samet DURAK¹, Hakan ORBUK¹

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 16.03.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Yaşamsal faaliyetlerdeki önemi düşünüldüğünde, kullanılacak suyun temiz olması, içerisinde hastalık yapıcı bakterileri bulundurmaması gerekmektedir. Suyun içinde bulunan hastalık yapıcı bakterilerden birisi, Enterobacteriaceae familyasına ait *Escherichia coli* (*E. coli*) bakterisidir. *E. coli* bakterilerinin tespiti için günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntemde su numunesinden damıtılan bakteri endo agar besi yerine ekilmekte ve bakterilerin metabolik faaliyetleri sonucunda besi yerinin renginde oluşan değişim çıplak gözle incelenmektedir. Bu renk değişiminin insan gözü ile görülebilecek düzeye gelmesi yaklaşık olarak 22±2 saat sürmektedir. Bu çalışmada *E. coli* bakterilerinin daha kısa sürede ve pratik şekilde tespit etmeyi sağlayacak bir düzenek ve görüntü işleme yöntemleri temelli yeni bir analiz yöntemi önerilmiştir. Önerilen teknik, farklı ekim yöntemleri ile test edilmiştir. Elde edilen bulgular, önerilen yöntemle bakteri tespitinin 8-10 saat aralığında yapılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Escherichia coli*, *E. coli*, Görüntü işleme, Bakteriyolojik inceleme

Determination of *E. Coli* Bacteria in Drinking Waters Using Image Processing Techniques

Abstract

Considering the importance on vital activities, the water to be used should be clean and not contain disease-causing bacteria. One of the pathogenic bacteria found in water is the bacterium *Escherichia coli* (*E. coli*) belonging to the family Enterobacteriaceae. In the commonly used method for the detection of *E. coli* bacteria, the bacteria distilled from the water sample are planted on endo agar medium and the change in the color of the medium as a result of the metabolic activities of the bacteria is examined by the naked eye. This color change can be recognizable with the human eye in approximately 22 ± 2 hours. In this study, a hardware and a new analysis method which is based on image processing techniques to enable the detection of *E. coli* bacteria in a shorter time and in a practical way is proposed. The proposed technique is tested with different sowing methods. Results have shown that the detection of bacteria can be done within 8-10 hours with the proposed method.

Keywords: *Escherichia coli*, *E. coli*, Image processing, Bacteriological examination

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Evren DEĞİRMENCİ, evrendegirmenci@mersin.edu.tr

1. GİRİŞ

İnsanların, hayatlarını sürdürebilmeleri için en önemli ihtiyaçlarından birisi sudur. Su, vücudumuzun ısı dengesinin sağlanması, vücuda alınan besinlerin taşınması, sindirilmesi ve temel besin öğelerinin kana karışması gibi metabolik faaliyetlerde önemli bir yere sahiptir [1].

Vücudumuzun neredeyse tüm reaksiyonlarında aktif rol oynaması göz önünde bulundurulduğunda, kullandığımız suyun temiz olması, içerisinde hastalık yapıcı bakterileri bulundurmaması gerekmektedir. Türk Standartları Enstitüsü'nün TS 266 içme ve kullanma suları standardında (2005) suların sahip olması gereken kalite kriterleri belirtilmiştir. Burada da bildirildiği üzere, sularda dikkat edilmesi gereken en önemli kriterlerden birisi mikrobiyolojik parametrelerdir [2].

Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2013-2020 yılları için hazırlanan "Su kalitesi ve Sağlık Stratejisi" başlıklı raporuna göre, 2011 yılında dünya genelinde 58 ülkede toplam 589.854 adet su kaynaklı enfeksiyon vakası bildirilmiştir [3].

Suyun içinde bulunan hastalık yapıcı bakterilerden birisi, Enterobacteriaceae familyasına ait Avusturyalı Doktor Theodor von Escherich tarafından keşfedilen *Escherichia coli* (*E. coli*) bakterisidir. *E. coli*, aslında canlıların kalın bağırsaklarında yaşayan bakteri türlerinden birisidir. Ancak, canlıların dışkıları ile kaynak sularına bulaşıp su kirliliğine de yol açmakta ve çevre koşullarına bağlı olarak 4-12 hafta kadar hayatta kalabilmektedir [4].

E. coli sebep olduğu hastalıklara göre farklı patotiplere ayrılmaktadır. Başlıca patotipleri Enterotoksijen *E. coli* (ETEC), Enteroinvazif *E. coli* (EIEC), Enteropatogenik *E. coli* (EPEC), Enterohemorajik *E. coli* (EHEC), Enteroaggregatif *E. coli* (EAEC), Diffusely Adherent *E. coli* (DAEC) ve Üropatojenik *E. coli* (UPEC)' dir [5].

Her patotip farklı hastalık semptomlarına sebep olmaktadır. Bunların en ünlüsü sayılan hemolitik üremik hastalık tablosu (HÜS) etmeni O157:H7

adlı serotip, kanlı ishale ve ölüme yol açabilmektedir. WHO, 22 Temmuz 2011 tarihli raporunda 16 Avrupa Ülkesi ve Kuzey Amerika için 4.075 adet *E. coli* bulaşması ve HÜS vakası ile 50 ölüm vakası bildirmiştir [6].

Sebebi olduğu hastalıklar göz önünde bulundurulduğunda *E. coli* bakterilerinin hızlı ve etkili tespiti, salgın hastalıkların önüne geçilmesi ve ölümlerin azaltılması açısından ciddi önem arz etmektedir. Bu sebepten içme ve kullanma sularının güvenilir olmasını sağlayacak her türlü tedbir Türkiye ve Dünya için artı bir değer olmaktadır [7].

Bakterilerin tespiti genellikle besi yeri kullanılarak yapılmaktadır [8]. Besi yerleri mikroorganizmaların gelişmesi için uygun hale getirilmiş ortamlardır. Mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerini gerçekleştirmek için ihtiyaç duydukları bileşenleri içerirler. Bu besi yerlerinin kullanımı yoluyla, mikroorganizmaların geliştirilmesi, izolasyonu, tanımlanması, sayımı ve duyarlılık testlerinin yapılmasıyla, klinik örneklerin incelenmesi, gıda, su ve çevre kontrolleri gibi farklı birçok amaca ulaşılabilir. Bakterilerin tespitinde kullanılan besi yerlerine eklenen çeşitli indikatörler ve kimyasal maddeler yardımıyla, üreyen kolonilerin aldıkları renge göre mikroorganizmaları tanımlamak mümkün olmaktadır. Örneğin bir su numunesi besi yeri kullanılarak analiz edilmek istendiğinde, öncelikle su numunesindeki bakteri membran filtre yardımıyla izole edilmekte, ardından da besi yerine sürülerek veya damlatılarak uygun ortam koşullarında belirli süre bekletildikten sonra çeşitli analizlere tabi tutulmaktadır. Ayrıca bakterilerin, manyetik nanopartiküller yardımıyla su, yeşil yapraklı bitkiler veya et ve süt ürünleri gibi gıda maddelerinden izole edilip daha sonra çeşitli özelliklere sahip besi yerleri kullanılarak analiz edildiği çalışmalar literatürde mevcuttur [9-11].

E. coli bakterilerinin tespit edilmesi için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin arasında bakterilerin ışına yayan kimyasallar ile etiketlenerek veya mangan katkılı çinko gibi çeşitli mineraller kullanıldıktan sonra mikroskop altında incelendiği çalışmalar mevcuttur [12-16]. Ayrıca *E. coli* bakteri tespitinin mikroskop kullanılmadan

büyütmesiz olarak yapılması da mümkündür. Bunun için doğrudan insan gözü ile besi yerindeki *E. coli* bakterileri için karakteristik olan bazı değişimlerin incelenmesi mümkün olduğu gibi hiperspektral görüntüleme, termal görüntüleme veya optik görüntüleme gibi çeşitli görüntüleme teknikleri kullanılarak bakteri varlığının tespiti de imkan dahilindedir [16-20]. Ancak bu yöntemler genellikle yüksek maliyetli veya özel donanımlar gerektirmekte ve bu yüzden de günlük hayatta kullanımları sınırlı kalmaktadır.

E. coli bakterilerinin tespitinde en sık kullanılan yöntem *E. coli*'nin endo agar katı besi yerine ekilmesi ve tepkimenin izlenmesidir. *E. coli* bakterileri besi yeri içinde bulunan laktozu, asit ve aldehit oluşturarak metabolize ederler [21]. Oluşan aldehit, fuksin-sülfite bileşiğindeki fuksini serbest bırakır ve böylece koloni rengi kırmızı olur. *E. coli* ve diğer bazı koliform grup üyelerinde bu reaksiyon çok kuvvetli olarak gerçekleşir ve kolonideki fuksin kristalleri koloni renginin metalik parlak yeşil (metalik röfle) olmasını sağlar. *E. coli* gelişimi için en uygun sıcaklık 37 °C olduğu için inkübasyon çoğunlukla 37 °C'de ve aerobik koşulda yapılır. Metalik röfle oluşumunun gözle görünür hale gelmesi yaklaşık 22±2 saat süresinde olmaktadır [22-24]. Düşük maliyetli, dolayısıyla yaygın kullanılan bir yöntem olmasına karşın bakteri tespit süresinin bu denli uzun olması, kirlenmiş suların tüketiciye ulaştıktan ve hatta kullanıldıktan sonra *E. coli*'nin tespit edilmesi gibi ciddi problemleri beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada su numunelerinin analizinde kullanılabilir, suya bulaşmış *E. Coli* bakterilerinin katı besi yerinde meydana getirdiği renk değişimini görüntü işleme teknikleri kullanarak daha hızlı şekilde tespit etmek amaçlanmıştır. Bu amaçla donanımsal bir düzenek kurulmuş ve incelenecek numune besi yerine ekildikten sonra besi yeri tasarlanan donanım içerisine yerleştirilmiştir. Klasik yöntemlerde gözle izlenen süreç, 24 saat boyunca besi yerinin fotoğrafı çekilerek ve görüntü işleme teknikleriyle analiz edilerek incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

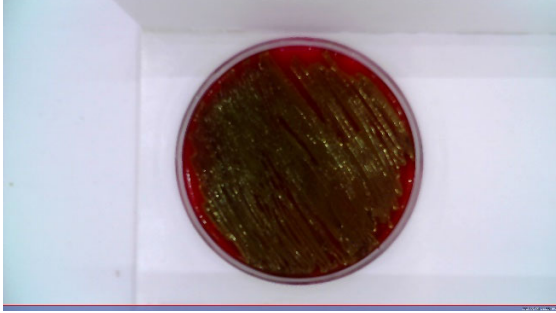
2.1. Besi Yerlerinin Hazırlanması ve Bakteri Ekimi

Çalışmada *E. coli* bakterilerinin tespiti için endo agar katı besi yeri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan besi yerleri Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında, laboratuvarında çalışan araştırmacılar tarafından hazırlanmıştır. Bu kapsamda 1000 ml distile suya eklenen 39 gr endo agar besi yeri otoklavda 121 °C'de 15 dakika sterilize edilmiş, ardından 50 °C'ye soğutulup petri kutularına 12,5 ml olarak dökülmüş ve soğutulmuştur. Hazırlanan besi yerleri hazırlandıkları ilk anda saydam ve soluk pembe renktedir. Besi yeri zamanla havada bulunan oksijenle tepkimeye girerek koyulaşmaktadır. Besi yerinin yaklaşık bir hafta boyunca havayla temas etmesi sonucunda koyu kırmızı renkler yeşil renge doğru dönmektedir. *E. coli* bakterilerinin tespit edilebilmesi için metalik röfle denilen parlak yeşil renge ihtiyaç olması sebebiyle bu besi yerlerinin çok uzun bir süre havayla temas ettirilmeden kullanılması, deneylerin sağlıklı sonuç vermesi açısından önemlidir. Gerçek hayattaki su analizlerinde besi yerinin taze olarak hazırlanacağı göz önünde bulundurularak bu çalışmadaki besi yerleri deneyler öncesi yenilenmiştir.

Yapılacak deneyler için iki farklı bakteri ekim türü kullanılmıştır. İlk etapta bakteriler besi yerinin yüzeyine dağıtılarak yaygın şekilde ekilmiş ve bakteri yoğunluğunun metalik röfle oluşumu üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.

Diğer ekim türü olarak ise besi yerinin herhangi bir noktasına, yaygın yöntemine göre daha az miktarda olacak şekilde bakteri ekilmiş ve metalik röfle oluşumu gözlemlenmiştir.

Şekil 1'de çalışma kapsamında kullanılmış olan yaygın ekim yapılmış bir besi yerinin 24 saat bekledikten sonra gözle görülür derecede metalik röfle oluştuktan sonraki örnek görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan, bakteri ekilmiş bir besiyerinin 24 saat sonundaki görüntüsü

2.2. Besi Yerini Görüntülemek için Tasarlanan Düzenek ve Görüntülerin Eldesi

Besi yerinin görüntülenmesi için kullanılacak olan, özel tasarım fotoğraf stüdyosu olarak da adlandırılabilir dikdörtgenler prizması şeklinde bir düzenek tasarlanmış, çekimlerin dış ışık koşullarından etkilenmemesi için ışık geçirmeyen malzeme kullanılarak imal edilmiştir. Düzenekün üst kısmına, görüntü çekimi amacıyla 1920x1080 (full HD) çözünürlüğe sahip bir kamera yerleştirilmiştir. Düzenekün yüksekliği kameranın odaklanma durumu da göz önünde bulundurularak 20 cm olarak tasarlanmıştır. Besi yerinin rahatça yerleştirilebilmesi için düzenekün ön tarafına bir çekmece konumlandırılmıştır. Bu sayede düzeneğe yerleştirilen besiyerinin her deney için aynı noktaya yerleştirilmesi ve yapılan bütün deneylerde aynı kamera görüş alanı ile görüntüler toplanması sağlanmıştır. Düzenekün tavan kısmına ise görüntü toplama sırasında ihtiyaç duyulan ortam aydınlatmasını sağlayabilmek için RGB şerit led yerleştirilmiştir. Her ne kadar bu çalışmada çekimler beyaz renk aydınlatma altında yapılmış olsa da, ilerleyen çalışmalarda farklı aydınlatma koşulları altında denemeler yapılabileceği düşünülerek RGB led tercih edilmiştir.

Bakteri tespit işleminin su deposu vb. gibi yerlerde yapılacağı ve bu yerlerde her zaman uygun sıcaklık koşullarını sağlayacak cihazların bulunamayacağı göz önüne alınarak deneylerin 37 °C’de değil de oda sıcaklığında yapılmasına karar verilmiştir. Bu durumun elde edilen bulgulara etkisi, ilgili başlık altında tartışılmıştır. Sistemin kontrol edilmesini sağlayan elektronik devrenin ortam koşullarına etki

etmemesi ve ayrıca inkübatör içerisinde yapılması muhtemel çalışmalarda inkübatör içerisindeki sıcak ve nemli ortam koşullarından etkilenmemesi için ikinci bir kutu tasarlanmış, güç kaynağı, mikrodenetleyici kartı ve hazırlanan kontrol devresi bu kutuya yerleştirilerek besiyeri yerleştirilecek olan kutunun dışında tutulmuştur. Tasarlanan görüntüleme sistemi donanımının son hali Şekil 2’de gösterilmiştir.

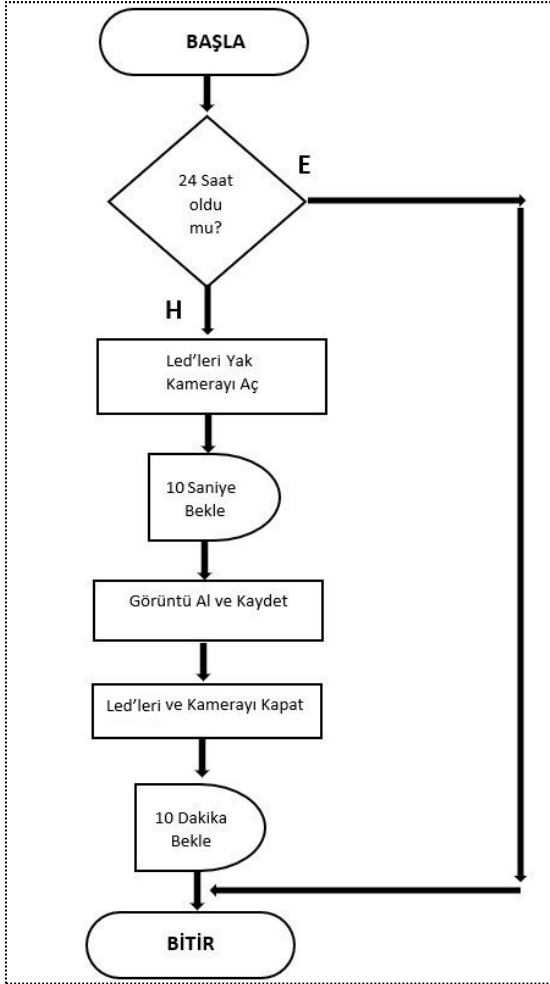


Şekil 2. Tasarlanan görüntüleme sistemi

Besi yerinin görüntülenmesi için kullanılan kameranın ve ortam aydınlatması için kullanılan RGB şerit led’in kontrolü için kullanılan Raspberry Pi 3 mikrodenetleyici kartı kullanılmıştır. Mikrodenetleyici kartının istenen görüntü ayarlarıyla besiyerinin fotoğraflarını çekip tarih ve saat etiketleriyle hafıza kartı birimine kaydetmesini sağlayan yazılım, bu çalışma kapsamında hazırlanmıştır. Bu yazılımın akış diyagramı Şekil 3’te verilmiştir.

Fotoğraf çekimi sırasında ortamın aydınlatılması için düzenekte kullanılan RGB şerit led 12V ile çalışmaktadır. Hem RGB led’lerin hem de mikrodenetleyici kartının güç ihtiyacının karşılanması için 12V 10A güç kaynağı kullanılmıştır.

Led aydınlatmanın deney süresince açık kalması ortam sıcaklığını az da olsa etkileyebileceği için yalnızca çekimler sırasında, kamerayla beraber açılıp geri kalan süreçte kapalı tutulmasının daha yararlı olacağı değerlendirilmiştir. Bunun için led aydınlatmanın RGB kanalları bir mosfet yardımıyla mikrodenetleyici kartı üzerinden anahtarlansmıştır.

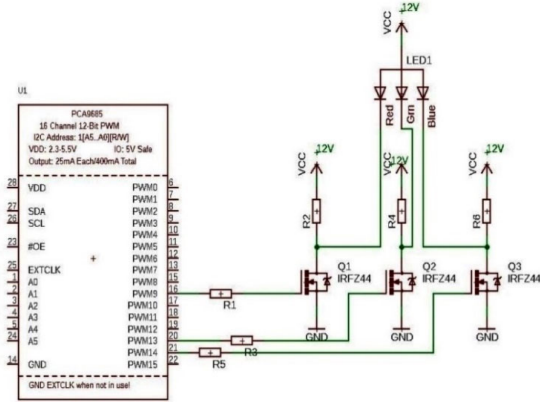


Şekil 3. Mikrodenetleyici kartı kontrolü için hazırlanan algoritmaya ait akış diyagramı

Tasarlanan anahtarlama devresi Şekil 4'te gösterilmiştir. Tasarlanan devre gerçekleştirilerek sisteme entegre edilmiştir. Led'lerin ve kameranın açılması sırasında kameranın ışık ve odak ayarlaması yapacağı, bunun da görüntüler arasında parlaklık ve netlik farkı yaratabileceği göz önünde bulundurularak çekimler, ledlerin enerjilenmesinin ardından 10 sn geciktirilerek yapılmıştır.

Tüm sistem hazırlandıktan sonra, bakteri ekimi yapılan besi yeri sistem içine yerleştirilmiş ve görüntü toplanmasına geçilmiştir. Görüntüler her bir besi yeri için 24 saat boyunca ve her 10 dakikada bir görüntü olacak şekilde çekilmiştir. Çekilen

görüntülerin isimleri, çekildiği tarih ve saat olacak şekilde programlanmıştır.



Şekil 4. Tasarlanan anahtarlama devresi

2.3. Görüntülerin İşlenmesi

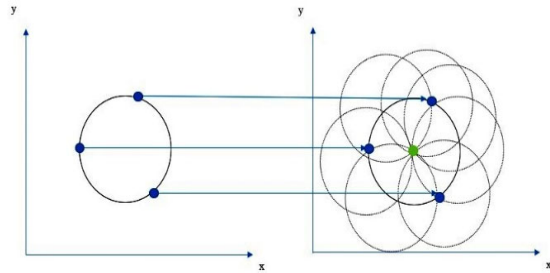
Tasarlanan sistem ile toplanan görüntüler analiz edilmek için öncelikle hafıza kartından bilgisayara aktarılmıştır. Çekilen fotoğraflar incelendiğinde, besi yerinin dışında kalan alanların görüntü işleme yoluyla yapılacak analizler üzerinde olumsuz etkiler doğurabileceği değerlendirilmiştir; bu yüzden besi yerinin konumunun fotoğraf görüntülerinde belirlenmesine karar verilmiştir. Belirlenmek istenen kısım dairesel bir yapıya sahip olduğundan, görüntüler üzerinde Dairesel Hough Dönüşümü (CHT) işlemi uygulanmıştır [25]. Dairesel Hough Dönüşümü ile Eşitlik (1)'de verilen genel çember denklemi kullanılarak görüntülerdeki dairesel nesnelerin belirlenmesi mümkündür [26]:

$$r^2 = (x-a)^2 + (y-b)^2 \quad (1)$$

Burada a ve b noktaları çemberin merkez koordinatları, x ve y çember üzerindeki herhangi bir noktanın koordinatları, r ise yarıçap değeridir.

CHT işlemi uygulanırken Şekil 5'te de gösterildiği gibi görüntü üzerindeki çemberlerin sınırlarındaki her bir piksel için, bu pikseli merkez kabul eden ve bu çember ile aynı yarıçap değerine sahip yeni çemberler çizilir. Çizilen tüm bu çemberlerin kesişim noktalarının en fazla olduğu yer ise tespit

edilmek istenen çemberin merkez koordinatına karşılık gelmektedir. Yarıçapın bilinmediği durumlarda ise yarıçap için bir aralık belirlenir ve bu aralıktaki her değer için bu işlem merkez belirlenene kadar tekrarlanır. Bu çalışmada, kullanılan beherler standart ölçüde olduğundan, yarıçap bilgisi girilerek dönüşüm koşturulmuştur.



Şekil 5. Dairesel Hough Transformu'nun uygulama gösterimi

Çalışmada, çekilen her bir fotoğraf için, CHT yöntemi kullanılarak belirlenen ve fotoğraftaki beherin konumuna karşılık gelen koordinatlar yardımıyla birer görüntü maskesi hazırlanmıştır. Bu sayısal maskenin elde edilen görüntüler üzerine uygulanması ile hem besi yerinin dışında kalan alanların sonuçlara etki etmesi engellenmiş, hem de RGB şerit led'lerden kaynaklanan yansımaların ortadan kaldırılması sağlanmıştır.

Görüntüler maskelenerek analiz edilmeye uygun hâle getirildikten sonra metalik röfle tespiti işlemlerine geçilmiştir. Bunun için, öncelikle metalik röfle renginin piksel değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Yapılan test çekimleri üzerinde analizler yapılarak, metalik röfle rengi için piksel değeri belirleme çalışmaları yapılmıştır. Bu işlem birçok görüntüde tekrarlanmış ve metalik röfle piksel değeri için bir aralık belirlenmiştir. Aynı zamanda bu değer aralığının görüntünün kırmızı, yeşil ve mavi katmanındaki karşılığı da tespit edilmiştir. Daha sonra, kaydedilen görüntülerin kırmızı, yeşil ve mavi katmanları Matlab® ortamında birbirinden ayrılmış, daha önce elde edilmiş olan metalik röfle piksel değer aralığının ilgili kanaldaki karşılığı kullanılarak bir oylama (voting) işlemi [27] yapılmıştır. Çalışmadaki bu işlemin matematiksel karşılığı Eşitlik (2)'de verilmiştir:

$$v = \begin{cases} v+1 & \text{eğer } 130 \leq f(x,y)_{\text{kırmızı}} \leq 220 \\ & \text{eğer } 35 \leq f(x,y)_{\text{yeşil}} \leq 120 \\ & \text{eğer } 0 \leq f(x,y)_{\text{mavi}} \leq 65 \\ v & \text{eğer diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2)$$

Burada $f(x, y)_l$ kaydedilmiş görüntünün ilgililenen l katmanıdır (l : RGB katmanları; Kırmızı, Yeşil, Mavi) ve tüm katmanlardaki değer belirlenen metalik röfle renk aralığına düşmesi durumunda v sayacı bir arttırılmaktadır. Bu işlem kullanılarak metalik röfle piksel sayısının peş peşe çekilen görüntülerdeki değişimine bağlı, bir başka deyişle zamana bağlı değişimini gösteren grafik hazırlanarak incelenmiştir. Metalik röfle renginin oluşumu, besi yerine ekilen bakterilerin metabolik faaliyetleri sonucunda gerçekleştiğinden, metalik röfle olan piksel sayısının düzenli olarak artması beklenmektedir. Ancak, hazırlanan grafik incelendiğinde, bazı görüntülerde zaman ilerlerken metalik röfle olan piksel sayılarının azaldığı görülmektedir. Görüntüler üzerinde yapılan incelemelerden sonra bu sorunun sebebinin besi yerinin yüzeyinde oluşan yansımalar ve gölgelenmeler olduğu tespit edilmiştir. Bunların ortadan kaldırılması için görüntüler üzerinde RGB normalizasyonu işlemi yapılmıştır [28]. RGB normalizasyonu, her renk değerinin Eşitlik (3)'te verilen işlemler yardımıyla yeniden elde edilmesiyle yapılan ve görüntüler üzerindeki yansımalar ve gölgelenmelerin bastırılmasını sağlayan bir yöntemdir.

$$R' = \frac{R}{R+B+G}, \quad G' = \frac{G}{R+G+B}, \quad B' = \frac{B}{R+G+B} \quad (3)$$

RGB normalizasyonu yapıldıktan sonra elde edilen görüntüler üzerinde metalik röfle piksel sayısı tespit işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem yoluyla metalik röfleye karşılık gelen piksellerin konumları da elde edilebilmiştir. Başka çalışmalarda işe yarayabileceği düşünülerek, yalnızca metalik röfle renginde olan piksellerin kendi konumlarında bulunduğu bir görüntü de oluşturulmuştur. Bu görüntünün metalik röflenin yeşile yakın bir renk olması sebebiyle yeşil renkte gösteriminin daha uygun olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla, elde edilen metalik röfle piksellerinin bulunduğu görüntü, oluşturulacak görüntünün yeşil katmanı olacak şekilde konumlandırılmıştır. Kırmızı ve

mavi kanallar için ise sıfır dolgulama (zero padding) işlemi yapılmış ve böylece elde edilen görüntünün yalnızca yeşil bileşenin olması sağlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

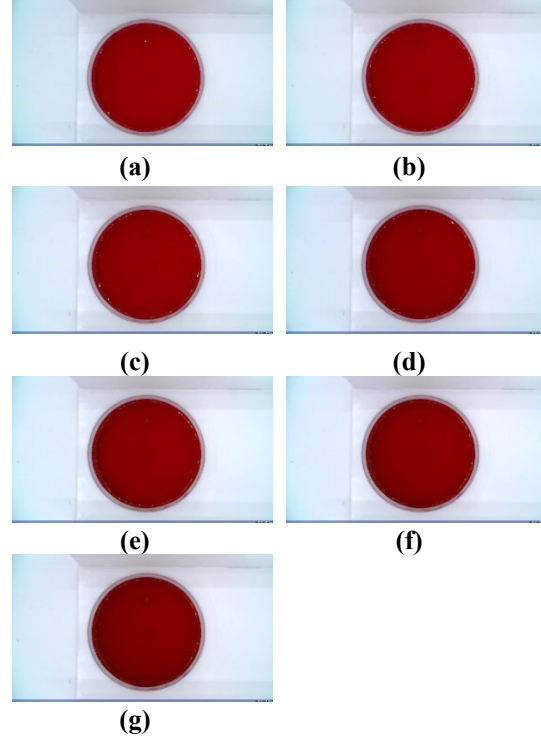
Besi yerinin zamanla renk değişim miktarının görülmesi ve bu durumun bakteri ekildikten sonra yapılacak analizlere etkisinin incelenebilmesi için bakteri ekimi yapılmamış bir besi yeri, 24 saat boyunca 10'ar dakika arayla görüntülenerek kontrol grubu verileri olarak toplanmıştır. 4'er saat arayla bu görüntülerden seçilen örnekler, Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'da verilen kontrol grubu görüntüleri incelendiğinde, bakteri ekilmemiş besi yeri üzerinde metalik röfle oluşmadığı, 24 saat süresinde az miktarda renk koyulaşması meydana geldiği görülmektedir.

Çalışmada, hem ekim işleminin besi yerinin yüzeyine yaygı şeklinde yapılmasının, hem de besi yerinin herhangi bir noktasına yaygı ekime göre daha az olacak şekilde yapılmasının sonuçlara etkisi incelenmiştir. Yaygı ekim yöntemiyle hazırlanan besi yerinden 4'er saat arayla çekilen ham görüntülerden birer tanesi Şekil 7'de verilmiştir.

Yaygı ekime kıyasla daha az miktarda olacak şekilde, besi yerinin sol üst köşesine damlatma yoluyla bakteri ekilmiş besi yerinden çekilen ham görüntülerden 4'er saat arayla birer tanesi ise Şekil 8'de verilmiştir.

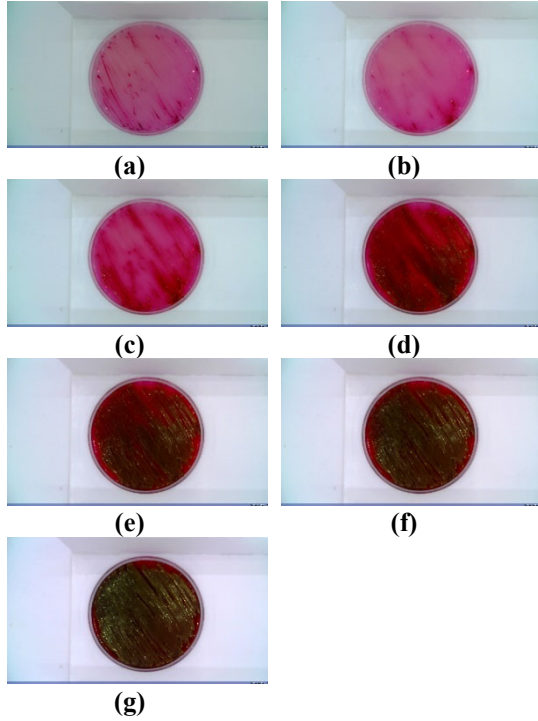
Bu noktada şunu belirtmek önemlidir: Şekil 7 ve Şekil 8 (d)'den itibaren fotoğraflarda görülen motif değişimleri, bakterinin girdiği reaksiyon sonucu oluşan değişimlerdir. Ancak, özellikle Şekil 8 (d) ve 8 (e)'de verilen fotoğraflarda hala gözle net olarak görülebilen metalik röfle oluşumu söz konusu değildir. Metalik röfle oluşumu, özellikle 20. saate ulaşıldığında çekilen görüntülerde gözle net görülebilir hale gelmektedir ve bu durum da Şekil 7 ve 8'deki (f) ve (g) görüntülerinde görülebilmektedir.



Şekil 6. Bakteri ekimi yapılmamış besi yerinin: (a) başlangıç görüntüsü, (b) 4. saatteki görüntüsü, (c) 8. saatteki görüntüsü, (d) 12. saatteki görüntüsü, (e) 16. saatteki görüntüsü, (f) 20. saatteki görüntüsü ve (g) 24. saatteki görüntüsü

Çekilen görüntülerin analizini kolaylaştırmak ve sonuçların doğruluğunu arttırmak amacıyla, CHT yöntemiyle hazırlanan görüntü maskesinin tek başına görüntüsü Şekil 9 (a)'da, bu maskenin çekilen besi yeri fotoğrafına uygulanması sonucu elde edilen maskelenmiş besi yeri görüntüsü örneği ise Şekil 9 (b)'de verilmiştir.

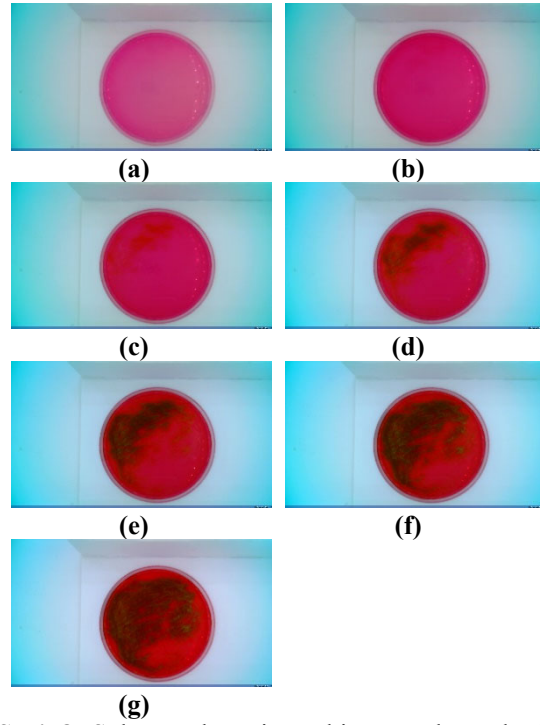
Bu aşamaların ardından görüntülerin analizine geçilmiştir. Yöntem kısmında da anlatıldığı şekilde, maskelenmiş görüntülerdeki metalik röfle rengine olan pikseller tespit edilmiş ve bu piksellerin sayısının zamana göre değişimleri ardışık görüntüler incelenerek tespit edilmiştir. Öncelikle bakteri oluşumunun incelenmesi için kontrol verisi olması amacıyla, bakteri ekilmemiş besi yerindeki metalik röfle rengine piksellerin zamana göre



Şekil 7. Yaygı ekim yöntemiyle bakteri ekilmiş besi yerinin: (a) başlangıç görüntüsü, (b) 4. Saatteki görüntüsü, (c) 8. Saatteki görüntüsü, (d) 12. Saatteki görüntüsü, (e) 16. Saatteki görüntüsü, (f) 20. Saatteki görüntüsü, (g) 24. Saatteki görüntüsü

değişimi incelenmiştir (Şekil 10). Maskelenmiş besi yeri görüntüsünün yaklaşık 1 milyon piksel sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bakteri ekilmiş sonuçlara kıyasla çok az denebilecek sayıda, yaklaşık 100 adet (% 0,1 oranında) pikselin metalik röfle rengine sahip olduğu ve bu sayının 24 saat boyunca yaklaşık olarak sabit kaldığı görülmüştür. Bu pikseller tüm alana dağılmış durumda olduğundan gözle seçilmesi mümkün değildir. Yaklaşık 100 pikselde bu değer görülmemesinin kullanılan kamera sensörlerinin kalitesiyle alakalı olabileceği değerlendirilmiştir. Piksel sayısının 24 saatin sonuna doğru hafif artmasının ise besi yerinin zamanla çok yavaş şekilde eskimesi ve yüzeyinin oksijenle ve ortam koşullarıyla tepkimeye girmesi olarak düşünülmüştür. Ancak 24 saat civarındaki sürelerin çalışmanın hedeflediği bakteri tespit süresinin çok

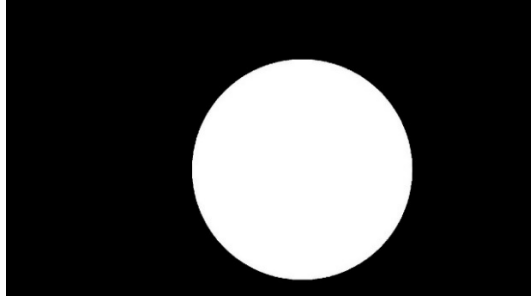
üstünde olması sebebiyle, bu sürelerde meydana gelen metalik röfle rengi piksel sayısı artışının elde edilen tespit süresi sonuçlarına etkisinin olmayacağını söylemek mümkündür.



Şekil 8. Sol üst köşesine ekim yapılmış besi yerinin: (a) ilk görüntüsü, (b) 4. Saatteki görüntüsü, (c) 8. Saatteki görüntüsü, (d) 12. Saatteki görüntüsü, (e) 16. Saatteki görüntüsü, (f) 20. Saatteki görüntüsü, (g) 24. Saatteki görüntüsü

Şekil 11'de yaygı ekim yöntemi kullanılarak hazırlanan besi yerindeki metalik röfle rengindeki piksel sayısının 24 saat boyunca değişimi grafik halinde sunulmuştur. Şekil 11'de verilen grafik incelendiğinde, önerilen yöntem ile metalik röfle oluşumunun 8-9 saat aralığında tespit edilmeye başlandığı görülmektedir. Ancak, önemli olan nokta şudur ki; 9. saatte bu oluşum hala gözle görülebilir düzeyde değildir. 9. saatteki maskelenmiş görüntü Şekil 12 (a)'da verilmektedir. Klasik, çıplak gözle incelemeli yöntemlerde bakteri ekilmiş besi yeri 24 saat süreyle bekletilmekte ve daha sonra incelenmektedir. 24 saatin sonunda *E. coli* bakterisi

kaynaklı metalik röfle oluşumu çıplak gözle rahat şekilde görülebildiği maskelenmiş görüntü Şekil 12 (b)'de verilmiştir.

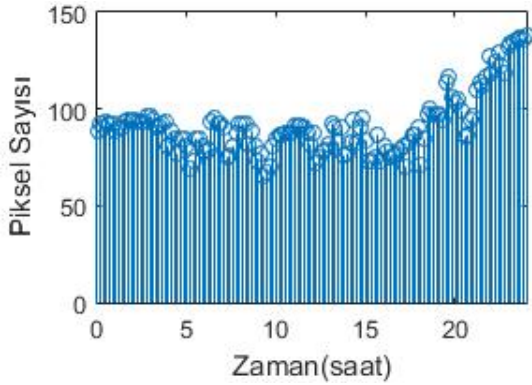


(a)



(b)

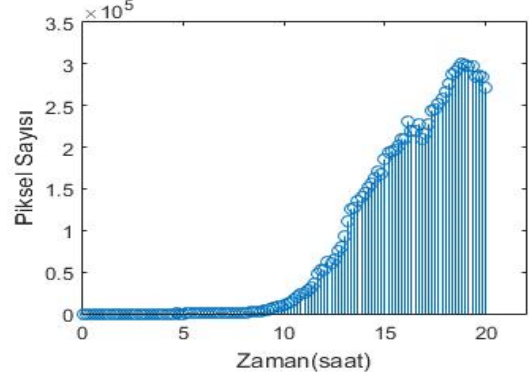
Şekil 9. (a) CHT yöntemiyle hazırlanmış görüntü maskesi, (b) Maskelenmiş besi yeri görüntüsü



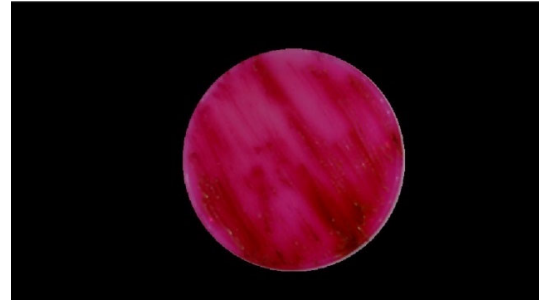
Şekil 10. Bakteri ekilmemiş besi yeri için metalik röfle rengindeki piksel sayısının zamana göre değişimi

Besi yerinin sol üst tarafına damlatma yoluyla bakteri ekimi yapılan numune metalik röfle rengindeki piksel sayısının zamana göre değişimini

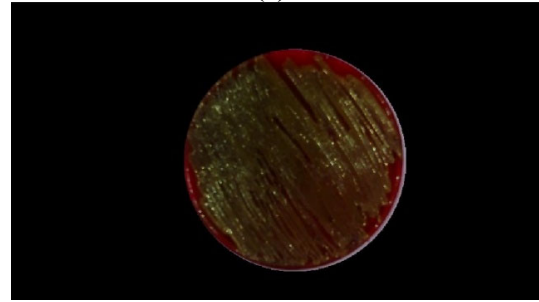
gösteren grafik, Şekil 13'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde, besi yerine tek noktadan ekim yapılması durumunda da bakteri kaynaklı metalik röfle oluşumunun 10. saatten itibaren tespit



Şekil 11. Yaygı ekim yöntemiyle hazırlanan besi yeri için metalik röfle rengindeki piksel sayısının zamana göre değişimi



(a)



(b)

Şekil 12. Yaygı ekim yöntemiyle hazırlanan besi yerinin: (a) 9. saatteki maskelenmiş görüntüsü, (b) 24. saatteki maskelenmiş görüntüsü

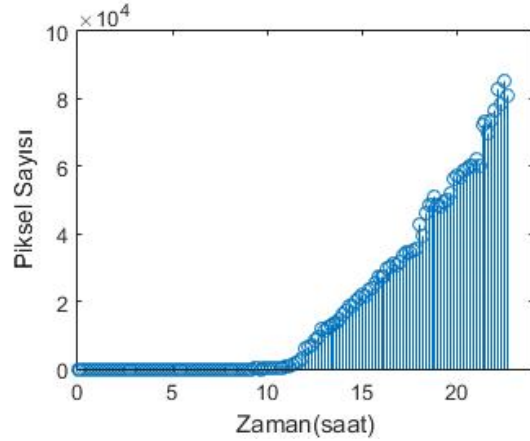
edilebildiği söylenebilmektedir. Ancak, yaygı ekimdeki duruma benzer şekilde, bu ekim

teknğinde de 10. saatte çıplak gözle metalik röfle rengini tespit edebilmek mümkün değildir. 10. saatteki maskelenmiş görüntü Şekil 14 (a)'da verilmiştir. Metalik röflenin çıplak gözle net şekilde görülebildiği 24. saat görüntüsü ise Şekil 14 (b)'de verilmiştir. Bu ekim yönteminde, 24 saatin sonunda oluşan metalik röfle rengindeki piksel sayısının yaygın ekim yöntemine göre daha az olduğu da grafiklerden görülebilmektedir.

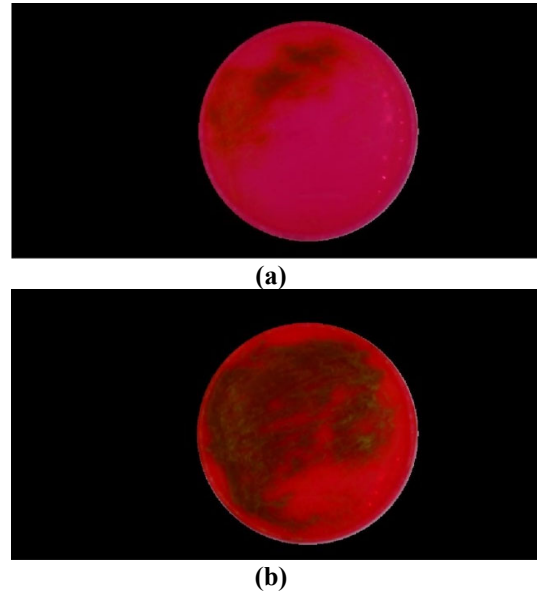
4. SONUÇ

Hastalık yapıcı etkisi göz önüne alındığında *E. coli* bakterilerinin herhangi bir su kaynağına bulaştığında hızlı bir şekilde tespit edilebilmesi hayati öneme sahiptir. Günümüzde kullanılan teknikler ile bu işlem yaklaşık olarak 22 ± 2 saat sürmektedir. Özellikle belediyelerin şehirlere dağıtım yaptıkları su depolarında bu testler yapıldığında, sonuç alınmaya kadar kirlenmiş sular son kullanıcının musluklarına ulaşmakta ve hastalık oluşturacak sular içilebilmektedir. Dolayısıyla suyun bakteriyolojik analizini hızlandırabilecek, aynı zamanda bunu kırsalda da kolay şekilde yapılabilir hale getirecek her türlü çalışma çok önemlidir. Bu çalışmada bakteri tespit işlemini kolay ve hızlı şekilde yapabilecek bir analiz düzeneği ve görüntü işleme tabanlı bir analiz yöntemi önerilmiştir. Düzenek ve yöntem, farklı şekilde bakteri ekilmiş besi yerleri kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde, bakteri tespit işleminin 8-10 saat sürede gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Ayrıca her zaman inkübatör gibi uygun donanımın bulunmama ihtimali göz önünde bulundurularak, önerilen yöntem oda sıcaklığında yapılan deneylerle sınanmıştır. Deneylerin 37°C 'de ve bakteri üremesi için daha uygun nem koşullarına sahip inkübatör ortamında yapılması durumunda bakteri tespit süresinin daha da kısılacağı öngörülmektedir. Bu çalışmada elde edilen veriler derin öğrenme algoritmalarıyla birlikte kullanıldığında bakteri oluşumunu otomatik olarak tespit edebilen ve kullanıcıyı uyarabilen bir yapay zekâ algoritmasının da geliştirilebileceği düşünülmektedir. Gelecekte bu yönde çalışmalara devam edilmesi ve insan sağlığı için çok önemli olan bakteriyolojik su incelemesinin hızlı, kolay ve

otomatik şekilde yapılmasını sağlayacak bir düzenek ve yöntem ortaya çıkarılması planlanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar gelecekteki çalışmalar için oldukça umut verici niteliktedir.



Şekil 13. Sol üst tarafına damlatma yoluyla ekim yapılan besi yeri için metalik röfle rengindeki piksel sayısının zamana göre değişimi



Şekil 14. Sol üst tarafa damlatma yoluyla ekim yapılan besi yerinin: (a) 10. saatteki maskelenmiş görüntüsü, (b) 24. saatteki maskelenmiş görüntüsü

5. TEŞEKKÜR ve BİLGİLENDİRME

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 1139B411701880 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar çalışma süresince sağladığı destek için TÜBİTAK'a ve Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Ali ÜNYAYAR, Aslı CON ve Özlem SANSARCI'ya teşekkür ederler.

Çalışmanın yapıldığı dönemde yazarlardan Ahmet Hilmi KALOĞLU, Emre GÜVEN, Samet DURAK ve Hakan ORBUK, Mersin Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü lisans son sınıf öğrencileri olup, Evren DEĞİRMENCİ projenin akademik sorumlusu, bu çalışmanın ise hem başlıca yazarı, hem de sorumlu yazarıdır.

6. KAYNAKLAR

1. Dedekayoğulları, H., Önal, A., 2009. Çevre-İnsan Sağlığı İlişkisi Açısından Su ve Su Analizinin Önemi. İstanbul Tıp Fakültesi Dergisi, 72(2), 65-70.
2. Anonim, TS 266 Sular-İnsanî Tüketim Amaçlı Sular, Türk Standartları Enstitüsü, 2005.
3. WHO, 2013, Water Quality and Health Strategy 2013-2020.
4. Edberg, S.C., Rice, E.W., Karlin, R.J., Allen, M.J., 2000. *Escherichia Coli*: The Best Biological Drinking Water Indicator for Public Health Protection, J.Appl. Microbiol., 88(S1), 106-116.
5. Marrs, C.F., Zhang, L., Foxman, B., 2005. *Escherichia coli* Mediated Urinary Tract Infections: Are there Distinct Uropathogenic *E. coli* (UPEC) Pathotypes? FEMS Microbiol Lett, 252(2), 183-190.
6. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/emergencies/international-health-regulations/news/news/2011/07/outbreaks-of-e.-coli-o104h4-infection-update-30> (En son görüldüğü tarih: 20.08.2019).
7. Akyar, I., 2011. Kütle Spektrometrisinin Mikrobiyolojide Kullanımı, Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 2(4), 177-183.
8. Alemdar, S., Kahraman, T., Ağaoğlu, S., Alişarlı, M., 2009. Bitlis İli İçme Sularının Bazı Mikrobiyolojik ve Fizikokimyasal Özellikleri, Ekoloji Dergisi, 19(73), 29-38.
9. Pérez Rodríguez, F., Campos, D., Ryser, E. T., Buchholz, A.L., Posada-Izquierdo, G.D., Marks, B.P., Todd, E., 2011. A Mathematical Risk Model for *Escherichia coli* O157:H7 Cross-contamination of Lettuce During Processing, Food Microbiology, 28(4), 694-701.
10. Prachaiyo, P., Mclandsborough, L.A., 2000. A Microscopic Method to Visualize *Escherichia coli* Interaction with Beef Muscle, Journal of Food Protection, 63(4), 427-433.
11. Adeyanju, G., Ishola, O., 2014. Salmonella and *Escherichia coli* Contamination of Poultry Meat from a Processing Plant and Retail Markets in Ibadan, Oyo State, Nigeria, SpringerPlus, 3(1), 139.
12. Xie, J., Khan, S., Shah, M., 2008. Automatic Tracking of *Escherichia coli* Bacteria, Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI, New York.
13. Noguera, P.S., Posthuma-Trumpie, G.A., Van Tuil, M., Van der Wal, F.J., Boer, A. De Moers, A.P.H.A., Van Amerongen, A., 2011. Carbon Nanoparticles as Detection Labels in Antibody Microarrays. Detection of Genes Encoding Virulence Factors in Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli*. Analytical Chemistry, 83(22).
14. Golberg, A., Linshiz, G., Kravets, I., Stawski, N., Hillson, N.J., Yarmush, M.L., Konry, T. 2014. Cloud-Enabled Microscopy and Droplet Microfluidic Platform for Specific Detection of *Escherichia coli* in Water, PLOS One, 9(1).
15. Jakobs, S., Subramaniam, V., Schönle, A., Jovin, T.M., Hell, S.W., 2000. EGPF and DsRed Expressing Cultures of *Escherichia coli* Imaged by Confocal, Two-Photon and Fluorescence Lifetime Microscopy, FEBS Letters, 479, 131-135.
16. Baruah, S., Ortinero, C., Shipin, O.V., Dutta, J., 2011. Manganese Doped Zinc Sulfide Quantum Dots for Detection of *Escherichia coli*, Journal of Fluorescence, 22(1), 403-408.
17. Zeinhom, M.M.A., Wang, Y., Song, Y., Zhu, M.J., Lin, Y., Du, D., 2018. A Portable Smartphone Device For Rapid and Sensitive

- Detection of *E. coli* O157:H7 in Yoghurt and Egg, *Biosensors and Bioelectronics*, 99, 479-485.
18. Vadivambal, R., Jayas, D.S., 2011. Applications of Thermal Imaging in Agriculture and Food Industry – A Review, *Food Bioprocess Technol*, 4, 186-199.
 19. Windham, R.W., Yoon, S., Ladely, S.R., Haley, J.A., Heitschmidt, J.W., Lawrence, K.C., Park, B., Narrang, N., Cray, W.C., 2013. Detection by Hyperspectral Imaging of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* Serogroups O26, O46, O103, O111, O121 and O145 on Rainbow Agar, *Journal of Food Protection*, 76(7), 1129-1136.
 20. Siripatrawan, U., Makino, Y., Kawagoe, Y., Oshita, S., 2011. Rapid Detection of *Escherichia coli* Contamination in Packaged Fresh Spinach Using Hyperspectral Imaging, *Talanta*, 85, 276-281.
 21. <http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFA79D6F5E6C1B43FF2B0AD73D1B0C3DA3> (En son görüldüğü tarih: 20.08.2019).
 22. Alisharlı, M., Ağaoğlu, S., Alemdar, S., 2007. Van Bölgesi İçme ve Kullanma Sularının Mikrobiyolojik Kalitesinin Halk Sağlığı Yönünden İncelenmesi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 18(1), 66-77.
 23. Kumbur, H., Erkurt, E.A., Gülçiçek, O., 2007. Mersin Üniversitesi Çiftlikköy, Yenişehir ve Tece Kampüs Sularının Mikrobiyolojik Yönden İncelenmesi, *Ulusal Çevre Sempozyumu, Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çiftlikköy Kampüsü, Mersin*.
 24. Kireççi, E., Savaşçı, M., Uslu, H., 2006. Kars ve Sarıkamış Çevresindeki İçme Suyu Kaynaklarından Membran Filtrasyon Yöntemi ile *Escherichia coli* İzolasyonu, *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 1(1-2), 29-32.
 25. Duda, R.O., Hart, P.E., 1972. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures, *Communications of the ACM*, 15(1), 11-15.
 26. Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 2007. *Digital Image Processing Third Edition*, 1, Pearson/Prentice Hall, NY.
 27. Boiangiu, C.A., Simion, M., Lionte, V., Mihai, Z., 2014. Voting Based Image Binarization, the Proceedings of Journal ISOM, 8, 343-351.
 28. Finlayson, G.D., Schiele, B., Crowley, J.L., 1998. *Comprehensive Colour Image Normalization*, European Conference on Computer Vision. Springer, Berlin, Heidelberg.

Karayolu Temel/Alttemel Zemin Uygulamaları: Çorum/Merzifon Ayrımı-Mecitözü-Amasya/Turhal Ayrımı

Özen KILIÇ¹, Eren ÖZDAMAR*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 16.09.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada, 2017 yılında yapımına başlanmış (Çorum-Merzifon) Ayrımı -Mecitözü- (Amasya-Turhal) Ayrımı 0+000-61+841,27 km arası bölünmüş yol yapımı işi bünyesinde, Karayolu temel/alttemel zemin uygulamaları araştırılmıştır. Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) gözetilerek, yol yapımında kullanılmakta olan materyaller ile çalışılmıştır. İlk olarak Km: 23+600 üzerinde zemin analizleri yapılmıştır. Sonuçlara göre temel/alttemel katmanları oluşturulmuştur. Sağlamlık kontrolü için yapılan kum konisi deneyleri sonucunda, Km: 11+500-23+600 arasında %98,4-100 sıkışma ile dolgu-terasma kotunda, Km: 17+280-19+600 arasında %98,0-99,8 sıkışma ile Plent Mix Alttemel (PMAT) kotunda, Km: 17+280-19+600 arasında %100 sıkışma ile Plent Mix Temel (PMT) kotunda, Karayolları Teknik Şartnamesi'ne (KTŞ) göre elde edilen veriler neticesinde çalışmalar tamamlanarak, optimum zemin stabilizasyonu sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mecitözü yolu, Zemin, Karayolu, Temel/alttemel, Üstyapı

Highway Foundation/Subbase Soil Applications: Çorum/Merzifon Road Junction-Mecitözü-Amasya/Turhal Road Junction

Abstract

In this study, construction started in 2017 (Çorum-Merzifon) Road junction -Mecitözü- (Amasya-Turhal) Road junction Road base/subbase soil applications were investigated within the scope of divided road construction work between 0+000-61+841,27 km. Considering the Technical Specifications of Highways (HTS), the materials used in road construction were studied. Firstly, ground analyzes were performed on Km: 23+600. According to the results, the base/sub-base layers were formed. As a result of sand cone tests for strength control, 98.4-100% compaction between Km: 11+500-23+600 at filling-terrace elevation, Km: 17 + 280-19 +600 between 98,0-99,8% at the Plent Mix Subbase (PMAT) elevation, Km: 17+280-19+600 Plent Mix Basic (PMT) with 100% compaction, according to the data obtained (according to HTS), optimum ground stabilization was achieved.

Keywords: Mecitözü road, Soil, Highway, Foundation/subbase, Superstructure

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Eren ÖZDAMAR, erenozdamar@fernas.com.tr

1. GİRİŞ

Zemin, kayaların fiziksel ve kimyasal olaylarla parçalanarak ufalanması sonucu oluşan, kazma kürekle bir yerden diğerine taşınabilen malzemelerdir [1]. Mühendislik biliminde zemin olarak isimlendirilen değişik boyutlu malzemeler, doğada sert ve masif kaya kütlelerinin fiziksel ve kimyasal yollarla ayrışması sonucu oluşurlar [2].

Zeminler, baraj ve karayolu dolguları gibi çoğu alanlarda malzeme olarak kullanılmaktadır. Zeminlerin dayanımı, rijitliği, stabilitesi (duraylılığı, dengesi), erozyona ve sulamaya karşı direnci, söz konusu zemin üzerinde yapılacak deneyler ile belirlenebilmektedir. Yol kaplamalarının altında kullanılan zeminler, dolgular ve diğer toprak dolgu yapılarında zeminler inşaat süresince kompaksiyon ve karışım oranları açısından deneylerle sürekli olarak kontrol edilmelidir. Deneylerin yapılmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde evrensel olarak yaygın sistemler kullanılır [2]. Yol, hava alanı, toprak baraj, toprak dolgu inşaatlarında, zemin belli bir kalınlıkta serilerek, belli bir su muhtevasında, uygun bir sıkıştırma aracı ile sıkıştırılır. Kompaksiyonla, zeminin sabit, hareketli, dinamik yükler altında yapacağı oturmalar azalır. Kompaksiyon; zemin tabaka serilerek, silindirme, vibrasyon (titreşim) uygulama, tokmaklama gibi işlemlerle yapılmaktadır. Bu işlemlerle, zemin taneleri daha az boşluklu yerleşerek, zeminin boşluk oranı azaltılır. Yol, hava alanı, toprak baraj, toprak dolgu inşaatlarında, zemin belli bir kalınlıkta serilerek, belli bir su muhtevasında, uygun bir sıkıştırma aracı ile sıkıştırılır [3].

Bu çalışmada, (Çorum-Merzifon) Ayrımı-Mecitözü- (Amasya-Turhal) Ayrımı 0+000-61+841,27 km arası bölünmüş yol yapımı işi dahilinde, Karayolu temel/alttemel zemin uygulamaları incelenmiştir. Zemin analizleri neticesinde belirlenen zayıf zemin sonucunda yapılması gereken yarma dolgu ve iyileştirme kısımlarıyla devam edilmiştir. Km: 11+500-23+600 arasında dolgu ve terasman kotunda optimum zemin stabilizasyonu değerlerine ulaşılmıştır. Daha sonra çalışılan program dahilinde, agrega deneyleri, üstyapı dizaynı olan Plant Mix Alt Temel (PMAT)

ve Plent Mix Temel (PMT) belirlenmiş ve yapılan çalışmalar sonucunda Km: 17+280-19+600 arasında optimum zemine ulaşılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada, Yedigöze İnş. San. Oto. İç ve Dış Tic. Ltd. Şti. ve Sigma İnş. ve Tur. İşl. Tic. A.Ş. İş Ortaklığı'nın ana yüklenici, Fernas Şirketler Grubu bünyesindeki Simtek End. Tes. ve Tic. A.Ş.'nin alt yüklenici olarak yürüttüğü (Çorum-Merzifon) Ayrımı -Mecitözü- (Amasya-Turhal) Ayrımı 0+000-61+841,27 km arası bölünmüş yol yapımı işi dahilinde yürütülmüştür. Yapımına 2017 yılında başlanmış ve halen devam etmekte olan proje çalışmaları kapsamında Karayolu temel/alttemel zemin uygulamaları üzerine yoğunlaşmıştır.

Çalışma alanının, projenin başlangıç yeri olan KM: 0+000 noktasının Çorum'a olan uzaklığı 17, bitiş kısmı olan KM: 61+847'nin Amasya'ya olan uzaklığı ise 13 kilometre'dir. Mecitözü İlçesi'nin batısında Çorum il merkezi, doğusunda Amasya İli, güneyinde Ortaköy İlçesi ve kuzeyinde ise Amasya'nın Merzifon ilçesi yer almaktadır. İlçe genel olarak doğu-batı doğrultusunda uzanan hafif dalgalı bir sahada yer almaktadır. Çalışma sahası kahverengi toprakların yayılış alanı olmakla birlikte, akarsuların çevresinde alüvyal topraklara, yamaçlarda ise kolüvyal topraklara rastlanmaktadır.

2.2. Metot

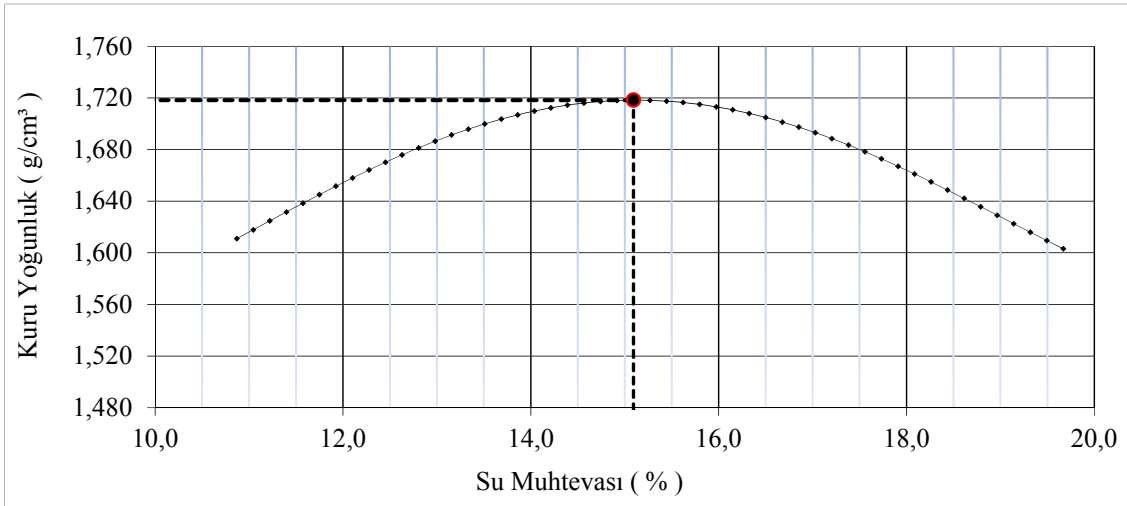
Bu çalışmada KTS baz alınarak; sırasıyla zemin analizleri ve deneylerinin yapılması (elek analizi, likit limit-plastite indeksi, standart ve modifiye proktor, cbr, şişme) yarma-dolgu-iyileştirme çalışmaları, reglaj (sıfırlama), agrega deneyleri, PMAT (plent mix alttemel) ve PMT (plent mix temel) bölümleri üzerinde durulmuştur. İlk olarak zemin analizleri için km:23+600'den 40 kg numune alınarak laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre zayıf zemin tespit edilerek kontrollü dolgu şeklinde farklı bölgelerden filtre, taş ve ariyet (kum-çakıl) malzemesi getirilerek zemin iyileştirilmesi yapılmıştır.

Kompaksiyon yöntemi kullanılarak; buldozer, greyder ve silindir vasıtasıyla, proktor deneyi sonucu bulunan optimum su verilerek serme-sıkıştırma işlemleri yapılmıştır. Reglaj çalışmaları tamamlanan bölümlere kum konisi deneyi ve kamyon testi yapılarak KTSŞ'ye göre, dolgu-terasma kotunda %97-100 arasında sıkışma sağlanıp sağlanmadığı test edilmiştir. Yedigöze-Sigma İnş. A.Ş [4] bünyesindeki laboratuvarda elek analizi, Los Angeles aşınma ve metilen mavisi deneyleri yapılarak agrega davranışı izlenmiştir. Alttemel/temel çalışmaları için agrega dizaynları belirlenmiştir. Bu oranlar sabit tutularak ve optimum su muhtevası gözetilerek serme-sıkıştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sağlık kontrolü için yapılan kum konisi deneyleri sonucunda, Km: 11+500-23+600 arasında %98,4-100 sıkışma ile

dolgu-terasma kotunda, km: 17+280-19+600 arasında %98,0-99,8 sıkışma ile PMAT kotunda, km: 17+280-19+600 arasında %100 sıkışma ile PMT kotunda, (KTSŞ'ye göre) elde edilen veriler neticesinde çalışmalar tamamlanarak, optimum zemin stabilizasyonu sağlanmıştır.

3. BULGULAR

Zemin analizleri için Km:23+600 noktasından alınan numuneye yapılan elek analizi sonucu A-7-6 killi topraklar olduğu belirlenmiştir. Buna göre; likit limit (LL) 42, plastisite indeksi (PI)20, Kaliforniya taşıma gücü (CBR) 2,6, şişme %5,37, maksimum kuru birim hacim ağırlık 1,718 g/cm³ ve optimum su muhtevası %15,09 olarak bulunmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Km: 23+600, kompaksiyon testi; kuru yoğunluk ve su muhtevası grafiği

Bu çalışma KTSŞ [5] gözetilerek yürütülmüştür. Zemin iyileştirme çalışmaları için proje ilerleyişine göre, Km: 11+820 kesiminde açılan araştırma çukurunda yapılan elek analizleri sonucunda, A-2-7 siltli veya killi çakıl ve kuma rastlanmıştır. Çizelge 1'e göre uygun nitelikli kazı malzemesi olsa da, kontrol şefi tarafından bölgesel olarak zayıf zeminler olduğu gerekçesiyle dışarıya aktarılmıştır. Doğal su içeriği %15,2 olduğundan su alması zeminin taşıma gücü sebebiyle düşmektedir. Km:

11+530-12+180 arasında yol platformu yol platformu taban alanındaki bitki, toprak, ağaç kökleri, vs sıyırılarak 75 cm yarma (zayıf zemin kazısı) ile oluşturulmuştur. Bu verilere göre Km: 11+530-12+180 arasında zayıf zemin kazısı yapılan bölüme 75 cm dona hassas olmayan malzeme niteliğinde koruyucu tabaka getirilmiştir. Maksimum kuru birim hacim ağırlığı 2,018 g/cm³, optimum su muhtevası %9,29'dur. Yapılan diğer laboratuvar çalışmaları sonucu Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Uygun nitelikli kazı malzemesi [5]

Deney	Şartname Limiti	Km:11+820 Deney Sonuçları
Likit Limit, (LL)	≤ 60	48
Plastite İndeksi, (PI)	≤ 35	28
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (Standart Proktor)*	≥ 1,450 t/m ³	1,475
* PI ≤ 6 VE CBR >10 olan doğal cüruf ve tüflerde bu şart aranmayacaktır.		

Çizelge 2. Dona hassas olmayan malzemelerin özellikleri [5]

Deney	Şartname Limiti	Mecitözü Ariyet Ocağı (A.C.-1), Deney Sonuçları
0,075 mm Elekten Geçen, %	≤ 12	12,1
Likit Limit, (LL)	≤ 25	NP
Plastite İndeksi, (PI)	≤ 6	NP
Kaba Agregada Su Absorbsiyonu, (%)	≤ 3	0,58

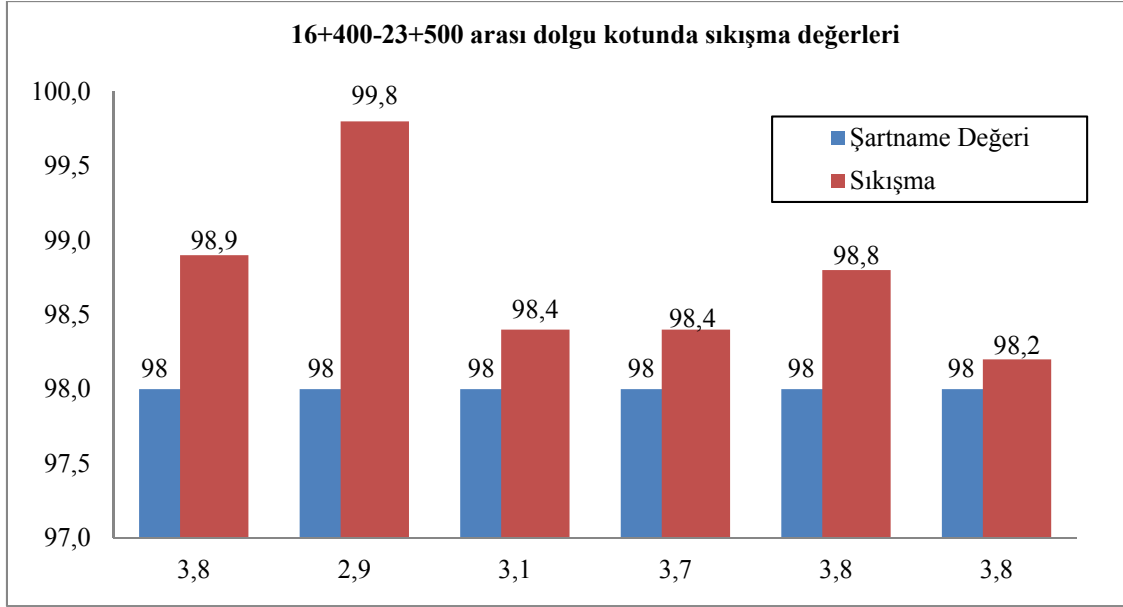
Malzeme 20-30 cm kalınlığında, yatay tabakalar halinde, çalışma ağırlığı 20,021 kg olan 6-8 km/saat hızında olan paletli dozer ile serilmiş, 11.000 kg, statik çizgisel yükü 30 kg/cm'den fazla olan, iki frekanslı vibrasyon sistemli düz bandajlı silindirle sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma sırasında, malzemenin su içeriği, proktor (modifiye) metodu ile bulunan Wopt ±2 değerleri arasında kalmasına dikkat edilmiştir

Arazide proktor deneylerinden elden edilen kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasına göre serilen malzemeye yapılan deneme çalışmaları sonucu Şekil 2'de gösterildiği gibi 3 ile 5 pass arasında çalışıldığında, istenilen düzeyde sıkışma elde edilmiştir. Buna göre sıkıştırma işlemi, KTŞ dolgularda sıkışma kriterleri de baz alınarak, ortalama 3-5 pass (ileri-geri) atılarak yapılmıştır. Zemin iyileştirme çalışmaları projenin ilerleyişi gözetilerek Km: 11+500 ile Km: 23+600 arasında devam ederek tamamlanmıştır.

Terasman kotunda Km: 11+560-19+600 arasında muhtelif yerlerde yapılan kum konisi deneyi sonucunda, bu aralığın tamamında %100 sıkışma değerleri elde edilmiştir. KTŞ'ye göre %100 olması

gereken sıkışma değerine ulaşıldığı için, optimum zemin değerleri elde edilmiştir. Dolgu kotunda Km: 16+400-23+500 arasında muhtelif yerlerde yapılan kum konisi deneyi sonucunda %98,4 ile 99,1 arasında sıkışma değerleri elde edilmiştir. KTŞ'ye göre en az %95 olması gereken sıkışma değerinden büyük olduğu için, optimum zemin değerleri elde edilmiştir.

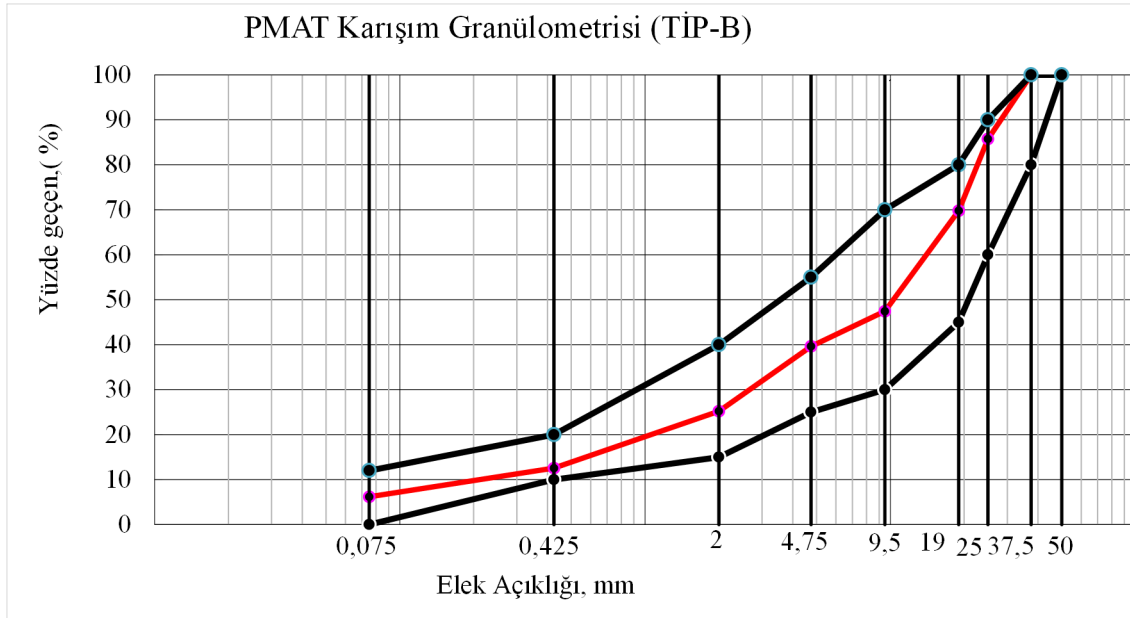
Plent Mix Alttemel (PMAT) ve Plent Mix Temel (PMT) tabakası oluşturulmadan önce agrega deneyleri yapılmıştır. Los Angeles aşınma %19, Metilen mavisi (MB) 1,0-2,0 ml/g arasında bulunmuştur. Proje için gerekli alttemel/temel dizaynları oluşturulmuştur. Buna göre laboratuvarımızda yapılan çalışmalar neticesinde (Karışım oranları-karışım gradasyonu-tolerans limitleri); Km: 2+640'da bulunan Elvançelesi taş ocağında üretilen (38-19 mm), (19-12 mm), (12-5 mm) ve (5-0 mm) dane boyutu grubu agregalardan 15 adet şantiye elek analizi ortalamaları dizayna esas alınmıştır. KTŞ'ne göre; PMAT Tip-B [5] gradasyon limitleri içinde kalmak koşuluyla, PMAT için; %37 (38-19 mm), %14 (19-12 mm), %12 (12-5 mm), %37 (5-0 mm) oranı belirlenmiştir.



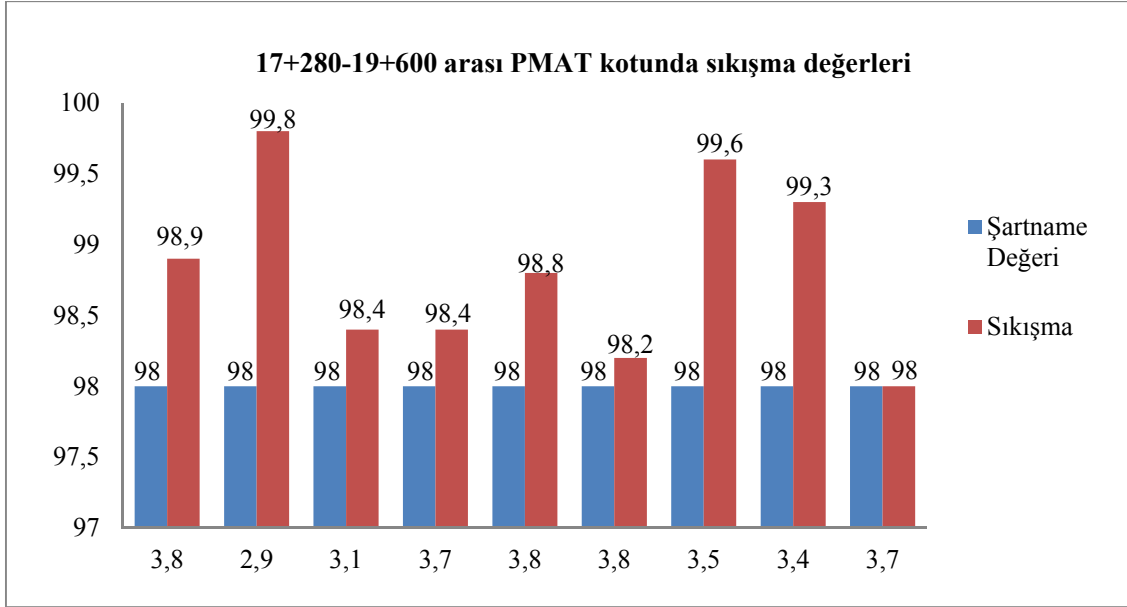
Şekil 2. Km: 16+400-23+500 arası dolgu sıkıştırma, grafik gösterimi (yatay eksen: arazi su içeriği, (%), düşey eksen sıkıştırma değerleri, (%) verilmiştir)

Sıkıştırma, çalışma ağırlığı en az 11.000 kg statik çizgisel yükü 30 kg/cm²'den büyük, iki frekanslı vibrasyon sistemli düz bandajlı silindir ve lastik başına düşen yükü 3.500 kg'dan az olmayan lastik

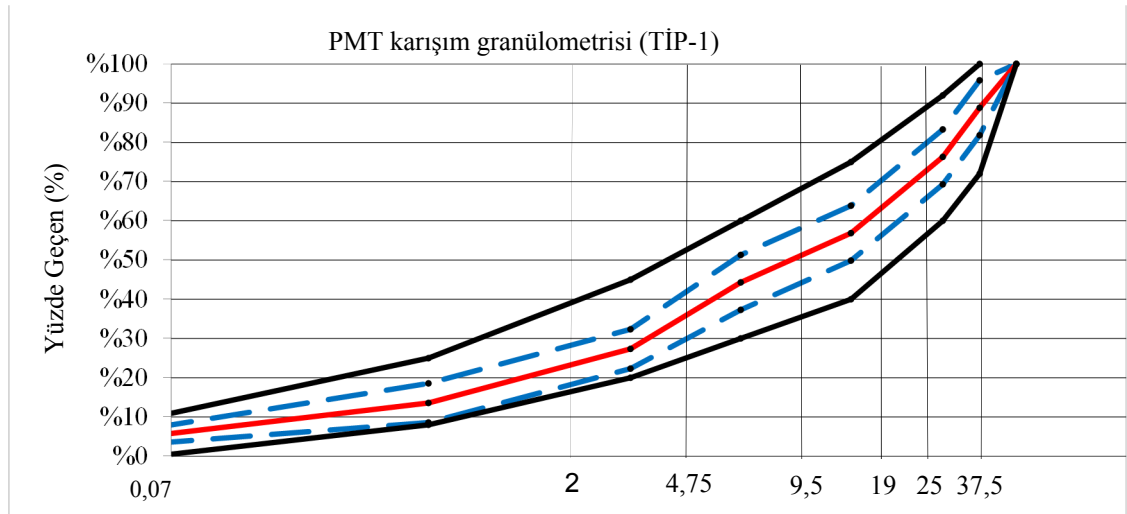
tekerlekli 9.000 kg vabil silindire yapılmıştır. Kullanılan malzeme ve serilen tabaka kalınlığına uygun sıkıştırma tekniği, 4-5 pass arasında deneme çalışmaları yapılarak bulunmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. PMAT karışım granülometrisi (TİP-B)



Şekil 4. Km: 17+280-19+600 arası dolgu sıkışma, grafik gösterimi (yatay eksen: arazi su içeriği (%), dikey eksen sıkışma değerleri (%), verilmiştir)



Şekil 5. PMT karışım granülometrisi (TİP-1)

5. SONUÇLAR

Yapılan kum konisi deneyleri sonucunda yol zemininde %98-100 varan sıkışmalar gözlenmiştir. Km: 11+500-23+600 arasında yapılan zemin analizleri neticesinde tamamına yakını (KTS'ye göre) zayıf zemin olarak tespit edilmiştir. Bu

verilere göre projenin devamında Km: 61+841'e kadar güzergah boyunca aynı formasyon (kuvaterner yaşlı alüvyon) devam ettiği için zayıf zeminlere rastlanacaktır. Öyle ki daha önceden yapılan Km: 38+600'deki zemin analizleri sonucunda zayıf zeminin tespit edilmesi, öngörülerini doğrulamaktadır.

Bu çalışmanın ana teması olan, Karayolu temel/alttemel zemin uygulamaları kapsamında, optimum zemin değerlerine; kum konisi deneyi sonucunda, Km: 11+500-23+600 arasında %98,4-100 sıkışma ile dolgu-terasman kotunda ulaşılmıştır. Terasman seviyesinde hazırlanmış olan Km: 12+180-12+220 arasında, (17.5.2019 tarihinde) hızı 6 km/saat, ağırlığı 36 ton olan 10 tekerli kamyon yolun sağ platformun sağ taraf, eksen ve sol tarafından geçecek şekilde hareket ettirilerek “Doğrulama (kamyon) Testi” yapılmıştır. Yapılan test sonucunda lokal olarak esneme, defleksiyon, çökme vb. unsurlar gözlenmiştir. Maksimum kuru birim ağırlık $2,018 \text{ g/cm}^3$, optimum su muhtevası %9,29 olan dona hassas olmayan nitelikteki malzeme sökülüştür. Bir süre havalandırılarak kurutulduktan sonra tekrar iyileştirme yapılarak optimum verilere ulaşılmıştır.

Dona hassas olmayan malzeme niteliğindeki, maksimum kuru birim ağırlık $2,018-2,172 \text{ g/cm}^3$, optimum su muhtevası %7,00-9,29 arasında değerlere sahip ariyet malzemesi temini konusunda birkaç hafta aksaklıklar yaşanmıştır. Aynı zamanda ariyet ocağında, özellikle tabana inildikçe (basınçlı akiferlerden su çıkışları nedeniyle) optimum su muhtevasındaki değişimlerden dolayı yapılan iyileştirme çalışmalarında sorunlar gözlenmiştir.

Kompaksiyon yöntemiyle yapılan sıkıştırma işleminde, yapılan arazi kuru birim ağırlık tayini, deneme sıkıştırmaları ve gözlemler sonucu (11.000 kg, statik çizgisel yükü 30 kg/cm'den fazla olan, iki frekanslı vibrasyon sistemli düz bandajlı silindir ve lastik başına düşen yükü 3.500 kg'dan az olmayan lastik tekerlekli 9.000 kg vabil silindirle) 3-5 pass arasında sıkışma değerleri elde edilmiştir.

Kuvaterner yaşlı alüvyonlar güzergah boyunca devam ettiği için, araştırma raporlarına ve elde edilen bulgulara göre zayıf zeminler mevcuttur. Yarma yapılan bölümlerden çıkan malzemeler KTŞ'ye göre uygun nitelikli kazı malzemesi özelliğini taşımadığı görülmüştür.

Mekanik kısım olan PMAT ve PMT bölümlerine başlanmadan önce yapılan hazırlık çalışmalarında MB 2,5-3,5 arasında çıkmasından dolayı, konkasör tesisindeki taş-toprak ayırımını yapan bypas eleği

(24 mm) büyütülerek (38 mm) kirlilik oranı MB 1,0-2,0 değerleri arasına çekilmiştir. Mekanik kısımda çalışılmadan önce MB kirlilik oranı ayarlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı, Ocak, 1989. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, 1-3.
2. Kılıç, A. M., 2012. Zemin Mekaniği, Ders Notu, Adana.
3. Uzuner, B., 2000. Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi, Trabzon, 205.
4. Yedigöze İnş. San. Oto. İç ve Dış Tic. Ltd. Şti.+Sigma İnş. ve Tur. İşl. Tic. A.Ş. İş Ortaklığı'nın ana yüklenici, Fernas Şirketler Grubu bünyesindeki Simtek End. Tes. ve Tic. A.Ş.'nin alt yüklenici, Laboratuvar verileri, deney formatları, 2018-2019. Amasya.
5. Karayolları Teknik Şartnamesi. 2013, KGM yayını, Ankara. Kısım, 203/1, 206/1-2, 206/9, 401/1-6, 402/2-3, 402/7-8, 402/10.

Metal İçerikli Örme Kumaşların Mukavemet ve Uzama Özelliklerinin İncelenmesi

İlkan ÖZKAN*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 24.07.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada, metal içerikli örme kumaşların aksel gerilmeler karşısındaki mukavemet ve uzama davranışları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında çelik, bakır ve gümüş teller eş karıştırma tekniği ile 2 adet poliamid 6.6 filament ile birleştirilerek metal içerikli iplikler üretilmiştir. Üretilen iplikler kullanılarak 1x1 Rib dokusunda örme kumaşlar üretilmiştir. Karşılaştırma amacıyla %100 poliamid örme kumaşlar da üretilmiştir. Üretilen kumaşların sıra ve çubuk doğrultusundaki kopma mukavemeti ve uzama özellikleri TS EN ISO 13934-1 standardına göre test edilmiş ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak metal içerikli kumaşlar ile kontrol kumaşının mukavemet değerleri arasında anlamlı bir fark yoktur. Kumaşların çubuk yönündeki uzamalarında ise anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metal içerikli iplik, Kopma mukavemeti, Kopma uzaması, Örme Kumaş, 1x1 Rib

Investigation of Strength and Elongation Properties of Metal Containing Knitted Fabrics

Abstract

In this study, breaking strength and elongation behavior of the knitted fabrics including metal wire under axial forces were investigated. For this aim, Stainless steel, copper and silver wires were commingled with two polyamide 6.6 filament yarns. Produced yarns were knitted to 1x1 Rib fabrics. 100% polyamide knitted fabrics were also produced for comparison. Breaking strength and elongation properties of samples were tested at course and wale directions according to TS EN ISO 13934-1 standard. Obtained results were examined statistically. According to the results, there is no significant difference between the strength values of fabrics containing metal wires and control samples. Significant differences were observed in the elongation of the fabrics in the course direction.

Keywords: Metal containing yarn, Breaking strength, Breaking elongation, Knitted fabric, 1x1 Rib

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İlkan ÖZKAN, iozkan@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Teknolojideki gelişmeler ve değişen insan ihtiyaçları birçok yeni ürünün hayatımıza girmesinin yolunu açmıştır. Bu gelişmelere tekstil ürünleri de dahil olmuş endüstriyel uygulamalar, tıbbi tekstiller, askeri tekstiller ve akıllı giysiler gibi birçok alanda kendisine yer bulmaya başlamıştır. İletken özelliğe sahip tekstil malzemeleri elektromanyetik kalkanlama, ısıtma, güç transferi, veri transferi, sensörler gibi birçok farklı ihtiyaca cevap vermektedir [1]. Metal kompozit tekstil yapıları ucuz olmaları kolay üretilebilmeleri, hafif ve esnek yapılı olmaları gibi avantajları sayesinde salt metallerin kullanıldığı elektromanyetik kalkanlama, iletkenlik vb. uygulamalarda da hızla kendisine yer bulmaktadır [2,3].

Patlama mukavemeti konvansiyonel örme kumaşlara uygulanan performans testlerinden biridir ve literatürde bulunan birçok çalışmada kullanılmıştır [4-6]. Bu test yönteminde deney numunesi pnömatik ya da hidrolik bir sistem vasıtasıyla kontrollü olarak arttırılan bir basınca maruz bırakılır ve patladığı andaki basınç ve patlama yüksekliği üzerinden patlama mukavemeti değerlendirilir [7,8].

Bu çalışmada, örme kumaşlar için literatürde yaygın olarak araştırılmış olan patlama mukavemeti özelliğinden farklı olarak, teknik amaçlarla kullanılacak metal içerikli örme kumaşların farklı doğrultudaki gerilmeler karşısındaki mukavemet ve uzama davranışları araştırılmıştır. Mukavemet ve uzama verileri metal içermeyen standart numuneler ile kıyaslanmış, elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde metal içerikli tekstil yapıları üzerine birçok araştırma bulunmakta olup bu araştırmalar örme kumaş [9-11], dokuma kumaş [12-16], dokusuz yüzey [17] ve son zamanlarda halılar olmak üzere [18-19] çok çeşitli tekstil yapılarını kapsamaktadır.

Önceki araştırmalarda tekstil malzemesine elektromanyetik kalkanlama, antibakteriyel aktivite, antifungal aktivite, antistatik özellik vb. özelliklerden bir ya da birkaçını kazandırmak temel amaç olarak karşımıza çıkmakta ve çalışmalar genellikle bu fonksiyonlara odaklanmaktadır. Bedeloğlu (2013) yaptığı çalışmada çelik tel içeren kompozit dokuma kumaş yapılarında bu fonksiyonlara ek olarak kullanım özelliklerini de incelemiştir. Sonuçlar çelik tel kullanımının kumaşa fonksiyonel özellikler kazandırdığını buna karşın eğilme dayanımını da arttırdığını ortaya koymuştur [20].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. İplik ve Kumaş Numunelerinin Üretimi

Çalışmada, puntalama tekniği ile 3 bileşenli metal içerikli iplikler üretilmiştir. İplik yapısında kullanılan gümüş, bakır ve paslanmaz çelik metal tellerin basınçlı hava etkisiyle kırılmasının önlenmesi için bu teller işlem sırasında iki adet polyamid iplik arasında ortalanmıştır. Üretimler 5 bar basınç ve 150 m/dak üretim hızında gerçekleştirilmiştir. Filamentlere ait özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan ipliklere ait özellikler

Filamet Türü	Özellikler
Polyamid 6.6 (PA)	78 denye/ 68 filament
Gümüş Monofilament (Ag)	107 denye (Ø 47 µ)
Bakır Monofilament (Cu)	157 denye (Ø 50 µ)
Paslanmaz Çelik Monofilament (SS)	144 denye (Ø 50 µ)
Metal İçerikli İplikler	
PA + SS + PA (PSSP)	222 denier/ 137
PA + Ag + PA (PAgP)	261 denier/ 137
PA + Cu + PA (PCuP)	306 denier/ 137

Paslanmaz çelik, bakır ve gümüş tel içerikli iplikler kullanılarak Shima Seiki SFF152 düz örgü makinesinde 1x1 Rib kumaşlar örülmüştür. Karşılaştırma amacıyla %100 PA kontrol numunesi

de üretilmiştir. Kumaşlara ait özellikler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Kumaş özellikleri

Numune	İplik Türü	Çubuk/cm	Sıra/cm
Kontrol	PA	12	14
CuS	PCuP	12	11
SS	PSSP	11	12
AgS	PAgP	12	11

3.2. Mukavemet ve Uzama Testi

Eksenel kuvvetler altında örme kumaşların mukavemet ve uzama özelliklerinin belirlenmesi için TS EN ISO 13934-1 (100 mm 100 mm-dak) standardı kullanılmıştır [21]. Testler Titan Universal test cihazı kullanılarak ilmek ve çubuk doğrultularında 5’er tekrar şeklinde gerçekleştirilmiştir. Örme kumaşların esnek yapısından dolayı tam kopmanın sağlanabilmesi için kopma algılama hassasiyeti %25 olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Rib örgü yapısına sahip kumaşlar sıra yönünde daha elastiktir. Metal içerikli kumaşların eksenel gerilmelere karşı davranışlarının bilinmesi, malzemenin kullanım alanına uygunluğunu belirleme açısından önemlidir. Bu amaçla, metal içerikli numunelere ve kontrol numunesine kopma mukavemeti ve uzama testi uygulanmış test sonuçlarına ait ortalama değerler Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Kopma mukavemeti ve uzama sonuçları

Mukavemet (N)		
Numune Türü	Çubuk Yönü	Sıra Yönü
Kontrol	866,30	329,41
Bakır İçerikli	867,09	350,21
P. Çelik İçerikli	845,77	330,48
Gümüş İçerikli	804,65	363,32
Uzama (%)		
Kontrol	171,10	261,56
Bakır İçerikli	119,09	300,09
P. Çelik İçerikli	127,01	248,72
Gümüş İçerikli	123,04	277,74

İstatistiksel analizlerin ilk kısmında verilerin normal dağılıma uygunluğunu tespit etmek amacıyla Kolmogrov Simirnov testi uygulanmıştır. Yapılan analiz sonuçları 0,05’den büyük anlamlılık değeriyle kopma mukavemeti ve uzaması verilerin normal dağılım gösterdiğini ortaya koymuştur.

Analizin ikinci kısmında gruplar arasında mukavemet ve uzama açısından anlamlı bir fark olup olmadığının tespiti için varyans analizi (ANOVA) testi yapılmıştır. Test sonuçları farklı kumaş grupları arasında kopma mukavemeti açısından çubuk ($p=0,324$) ve sıra ($p=0,344$) doğrultularında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir.

Test sırasında uygulanan gerilim karşısında ilk olarak düşük uzama kabiliyetine sahip metal filamentler kırılmakta ve testin devamında yükü metal içerikli ipliğin diğer birleşeni olan polyamid filamentler taşımaktadır. Bu yüzden %100 PA kontrol kumaşı ile metal içerikli kumaş numunelerinin mukavemetleri arasında anlamlı bir fark görülmemektedir.

Diğer taraftan metal filament kullanımı kumaşın sıra ve çubuk yönündeki yüzde uzama değerleri üzerinde anlamlı farklar meydana getirmiştir ($p<0,05$). Farkın hangi kumaş numuneleri arasında olduğunun tespiti amacıyla Tamhane çoklu karşılaştırma testi yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Bağımlı Değişken	Numune Türü (I)	Numune Türü (J)	Ort. Fark (I-J)	Anlamlılık
Çubuk Yönü	Kontrol	Bakır	52,014*	0,001
		P. Çelik	44,096*	0,002
		Gümüş	48,060*	0,003
	Bakır	P. Çelik	-7,918	0,331
		Gümüş	-3,954	0,779
Sıra Yönü	Kontrol	Bakır	-38,528	0,337
		P. Çelik	12,836	0,972
		Gümüş	-16,178	0,955
	Bakır	P. Çelik	51,364*	0,014
		Gümüş	22,350	0,493

* Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

Çizelge 4 incelendiğinde, kontrol numunesinin çubuk doğrultusundaki uzama değerinin metal içerikli kumaşlardan istatistiksel olarak anlamlı

düzeyde daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni metal içerikli iplik yapısından bulunan metal tellerin çubuk doğrultusunda uzamayı sınırlandırmasıdır.

Sıra doğrultusundaki sonuçlar değerlendirildiğinde metal tel kullanımının bu doğrultudaki uzama özelliği üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığı görülmektedir. Bunun nedeni rib örgü kumaşların bu doğrultuda daha esnek olmaları ve örgü yapısından gelen bu esneklikle belli bir uzunluk değerine kadar metal tellere yük binmemesidir. Testin devamında metal teller polyamid filamentlerden önce kopmakta ve uzamanın geri kalanı kontrol kumaşında olduğu gibi polyamid filamentler tarafından sağlanmaktadır. Sonuç olarak sıra doğrultusunda benzer bir uzama davranışı görülmektedir. Metal içerikli numuneler kendi aralarında karşılaştırıldığında en düşük uzama değerini ise paslanmaz çelik içeren numune göstermiştir.

5. SONUÇ

Yapılan çalışma kapsamında gümüş bakır ve çelik tel içeren ipliklerden üretilmiş rib örgü kumaşların eksenel gerilmeler karşısında gösterdiği mukavemet ve uzama davranışları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir.

- Kumaş yapısında metal tel kullanımının çubuk ve sıra doğrultularında kopma mukavemeti açısından anlamlı bir fark yaratmadığı tespit edilmiştir.
- Uygulanan gerilim karşısında ilk olarak düşük uzama kabiliyetine sahip metal filamentler kırılmakta olduğu ve testin devamında yükü metal içerikli ipliğin diğer birleşeni olan polyamid filamentlerin taşıdığı gözlenmiştir. Bu yüzden %100 PA kontrol kumaşı ile metal içerikli kumaş numunelerinin mukavemetleri arasında anlamlı bir fark ortaya çıkmamıştır.
- Metal filament kullanımı kumaşın sıra ve çubuk yönündeki yüzde uzama değerleri üzerinde anlamlı farklar meydana getirmiştir.
- İplik yapısında bulunan metal tellerin çubuk doğrultusunda uzamayı sınırlandırmasının

etkisiyle kontrol numunesinin çubuk doğrultusundaki uzama değerinin metal içerikli kumaşlardan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek çıkmıştır.

- Rib örgü kumaşların bu doğrultuda daha esnek olmaları ve örgü yapısından gelen bu esneklikle belli bir uzunluk değerine kadar metal tellere yük binmediği için sıra doğrultusundaki kopma uzaması değerleri arasında anlamlı bir fark görülmemiştir.
- Metal içerikli kumaşlar için tespit edilen kopma ve uzama değerleri, bu kumaşların teknik amaçlarla kullanılması durumunda karşılaştıkları eksenel yükler karşında işlevlerini yerine getirebilecekleri sınırları ortaya koyması bakımından önemlidir.

6. KAYNAKLAR

1. Bedeloğlu, A., Sünter, N., Bozkurt, Y., 2010. Elektriksel Olarak İletken Tekstil Yapıları, Üretim Yöntemleri ve Kullanım Alanları, Tekstil ve Mühendis, 17, 7-17.
2. Roh, J.S., Chi, Y.S., Kang, T.J., Nam, S. W., 2008. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Multifunctional Metal Composite Fabrics, Textile Research Journal, 78(9), 825-835.
3. Brzeziński, S., Rybicki, T., Karbownik, I., Malinowska, G., Śledzińska, K., 2012. Textile Materials for Electromagnetic Field Shielding Made With the Use of Nano-and Micro-technology, Open Physics, 10(5), 1190-1196.
4. Mezarcıöz, S., Oğulata, R.T., 2010. Süprem Kumaşlarda Patlama Mukavemeti Değerinin Taguchi Ortogonal Dizayna Göre Optimizasyonu, Tekstil ve Konfeksiyon, 20(4), 320-328.
5. Demiryürek, O., Uysaltürk, D., 2016. Viloft/Polyester Karışımli Örne Kumaşların Patlama Mukavemeti ve Boncuklanma Özelliklerinin Araştırılması, Tekstil ve Mühendis, 23(102), 105-111.
6. Akaydın, M., Yahya, C.A.N., Önder, Ö.R.E.N., Özerdoğan, M.A., 2009. Ring Penye ve Kompakt İpliklerden Örülen Temel Atkılı Örne Kumaşların Patlama mukavemetleri Üzerine Bir Araştırma, Tekstil ve Mühendis, 16(74), 17-20.

7. TS 393 EN ISO 13938-1, 1999. Patlama Mukavemetinin ve Patlama Gerilmesinin Tayini için Hidrolik Metot.
8. TS 393 EN ISO 13938-2, 1999. Patlama Mukavemetinin ve Patlama Gerilmesinin Tayini için Pnömatik Metot.
9. Ortlek, H.G., Gunesoglu, C., Okyay, G., Turkoglu, Y., 2012. Investigation of Electromagnetic Shielding and Comfort Properties of Single Jersey Fabrics Knitted from Hybrid Yarns Containing Metal Wire, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 22(2), 90-101.
10. Ceken, F., Kayacan, Ö., Özkurt, A., Uğurlu, Ş. S., 2012. The Electromagnetic Shielding Properties of Some Conductive Knitted Fabrics Produced on Single or Double Needle Bed of a Flat Knitting Machine, *Journal of The Textile Institute*, 103(9), 968-979.
11. Su, C., Chern, J., 2004. Effect of Stainless Steel-containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness, *Textile Research Journal*, 74(1), 51-54.
12. Cheng, K.B., Cheng, Ta-Wui, Nadaraj, R.N., Giri Dev, V.R., Ramalingam, N., 2006. Electromagnetic Shielding Effectiveness of the Twill Copper Woven Fabrics, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(7), 699-709.
13. Ortlek, H.G., Saracoglu, Ö.G., Saritas, Ö., Bilgin, S., 2012. Electromagnetic Shielding Characteristics of Woven Fabrics Made of Hybrid Yarns Containing Metal Wire, *Fibers and Polymers*, 13(1), 63-67.
14. Rajendrakumar, K., Thilagavathi, G., 2012. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Copper/PET Composite Yarn Fabrics, *Indian Journal of Fiber and Textile Research*, 37(2), 133-137.
15. Duran, D., Kadoğlu, H., 2012. A Research on Electromagnetic Shielding With Copper Core Yarns. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 22(4), 354-359.
16. Duran, D., Kadoğlu, H., 2015. Electromagnetic Shielding Characterization of Conductive Woven Fabrics Produced With Silver-containing Yarns, *Textile Research Journal*, 85(10), 1009-1021.
17. Ozen, M.S., Sancak, E., Soin, N., Shah, T.H., Soares, E., 2016. Investigation of Electromagnetic Shielding Effectiveness of Needle Punched Nonwoven Fabric Produced from Conductive Silver Coated Staple Polyamide Fibre, *The Journal of The Textile Institute*, 107(7), 912-922.
18. Özkan, İ., Duru Baykal, P., Karaaslan, M., 2019. Investigation of Electromagnetic Shielding Properties of Metal Composite Tufted Carpet. *The Journal of The Textile Institute*, Doi: 10.1080/00405000.2019.1643213
19. Özkan, İ., Duru Baykal, P., Gülnaz, O., 2019. Investigation of Antibacterial and Antifungal Properties of Tufting Carpets Containing Metal Composite Yarns, *The Journal of The Textile Institute*, 110(5), 756-763.
20. Bedeloğlu, A., 2013. Investigation of Electrical, Electromagnetic Shielding, and Usage Properties of Woven Fabrics Made from Different Hybrid Yarns Containing Stainless Steel Wires, *The Journal of The Textile Institute*, 104(12), 1359-1373.
21. TS EN ISO 13934-1, 2013. *Tekstil- Kumaşların Gerilme Özellikleri-Bölüm 1: En Büyük Kuvvetin ve En Büyük Kuvvet Altında Boyca Uzamanın Tayini-Şerit Metodu.*

Yüksek pH Dayanımlı Yeni Tip Demir Şelat Formülünün Hazırlanması ve Yerfıstığı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

İlyas GÖNÜL*¹, Anıl DELİKANLI¹, Selahattin SERİN¹

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 19.07.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Bu çalışmada daha ucuz olan sitrik asit ve trietanolamin gibi ligandlarla oluşturulan demir şelatının yüksek pH'lardaki kararlılıkları incelenmiştir. Bitkiler için önemli bir besin elementi olan demir, kireçli ve yüksek pH değerine sahip topraklarda suda çözünmeyen demir hidroksit veya demir karbonat bileşiklerini oluşturarak bitkiler için yararlı hale gelmemektedir. Demir iyonunun bitki bünyesine alınması ve bitkilerdeki demir iyonu eksikliğinin giderilmesi bu iyonun suda çözünür formda olmasıyla mümkündür. Bitki bünyesine demir iyonunun alınmaması veya yetersiz alınması bitkinin demir eksikliği klorozu olmasına neden olmaktadır. Ülkemiz topraklarında rahatlıkla kullanılabilen demir şelat çözeltisi hazırlanmış ve bu demir şelat çözeltisinin NC-7 ve ÇOM yerfıstığı çeşitlerinin büyümesi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Demir eksikliği klorozu, Demir şelatı, NC-7 ve ÇOM yerfıstığı, Yüksek pH'lardaki kararlılık

Preparation of New Type Iron Chelate Formula with High pH Resistance and Investigation of its Effects on Peanut

Abstract

In this study, the preparation of iron chelate solution by using ligands such as citric acid and triethanolamine, which are cheaper, and their stability at high pH were investigated. Iron which is an important nutrient for plants is becoming useless for plants by forming water-insoluble iron hydroxide or iron carbonate compounds in soils having a high pH and chalky. Receiving a plant body of iron ions and elimination of iron ion deficiency in plants is possible with that it is in water-soluble form of this iron ion. Not receiving the iron ion to plant body or inadequate intake causes to which is becoming Iron deficiency chlorosis of the plant. The iron chelate solution which is comfortably usable in the soil of our country were prepared and the effects of this iron chelate solution on the growth of NC-7 and ÇOM peanut varieties were investigated.

Keywords: Iron deficiency chlorosis, Iron chelate, NC-7 and ÇOM peanut, High pH stability

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İlyas GÖNÜL, ilyasgonul01@gmail.com

1. GİRİŞ

Demir, yer kabuğunda en bol bulunan ve çok çeşitli sektörlerde kullanılan çok önemli bir metaldir. Her yıl Dünya demir üretiminin yarısına yakını korozyon yolu ile heba olmaktadır. Korozyona uğramış veya hurdaya çıkmış demirlerden ve demir yüzey temizleme işlemlerinden ortaya çıkan atıklardan demir bileşikleri üretilebilmektedir. Yine titandioksit üretim tesislerinde yan ürün olarak demir bileşikleri oluşmakta ve dünya pazarlarında satılmaktadır. Demir (II) sülfat çimento katkısı olarak ve su arıtma sistemlerinde floklaştırıcı olarak, demir şelatları gübre olarak kullanılmaktadır. Demir (II) sülfat'ın önemli bir kısmı, demir şelatlarının ise tamamı ithal yollarla temin edilmektedir.

Demir (II) sülfat tetrahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) kristalleri dört sulu olarak üretilmekte ve çimento sektöründe krom (VI)'yı krom (III)'e indirgemek için kullanılmaktadır. Ancak demir sülfatın heptahidrat hali çimento sektöründe kabul görmemekte olup, kısmen kurutulup kısmen de katkılandırılarak kullanıma sunulmuş hali tercih edilmektedir.

Demir, hemen hemen tüm canlı organizmaların büyümesi ve hayatta kalması için en önemli unsurdur [1]. Yosun gibi organizmaların sitokrom ve katalaz gibi enzimler ile hemoglobin ve miyogloblin gibi oksijen taşıyan proteinlerin hayati bileşenlerinden biridir. Demir (Fe^{2+} ve Fe^{3+}) iyonları arasındaki dönüşümden dolayı çeşitli biyolojik redoks reaksiyonları için önemli bir geçiş metalidir [2].

Türkiye'de demir eksikliği toprak ve insan nüfusu için önemli bir sorundur. Demir eksikliği, bağışıklık sistemindeki anemi ve dengesizliklerin bir nedeni olmasının yanı sıra hayvanlarda büyüme ve zihinsel gelişim sorunları ile bitkiler ve toprak için ise önemli bir beslenme problemidir.

Demir eksikliği, bitkilerin alkali toprak veya sulama suyu alanlarındaki en büyük sorunlarından biridir. En önemli bahçecilik ve tarım bitkilerinin çoğu, demir eksikliğine karşı hassastır. Demir

eksikliğinin düzeltilmesi için şu anda mevcut demir içeren gübreler ya etkisizdir ya da eğer etkiliyse çok pahalıdır. Bu nedenle, etkili ancak ekonomik bir demir gübresine ihtiyaç oldukça önem arz etmektedir [3].

Bitkilerdeki var olan demir eski yapraklardan yeni yapraklara aktarılmadığı ve büyüyen organların demir ihtiyacının sürekli olarak demir alımı ile karşılanması gerektiği düşünüldüğünde, bitki üretiminde toprak ve yaprak gübreleri vasıtasıyla demir eksikliğini önlemek için en önemli hususlardan birisi kullanılabilir demir içeriğinin zenginleştirilmesidir.

Yüksek pH ve bikarbonat konsantrasyonlarından kaynaklı kalkerli topraklarda yetişen bitkileri etkileyen demir eksikliği klorozu (IDC), bitkilerin ortak bir beslenme bozukluğudur [4]. Özellikle sulamayla değerlendirilen kurak ve yarı kurak bölgelerde kalkerli topraklarda demir klorozu yaygın bir problemdir. Genellikle, kireçli topraklarda, apoplastın yüksek pH ortamı tarafından engellenen yapraklarda ferrik şelat redüktaz tarafından Fe (III)'ün Fe (II)'ye indirgenmesi, ancak yeterli miktarda demir'in köklerden yapraklara aktarılması ile mümkün olmaktadır [5]. Demir klorozunun yaprak fotosentetik pigment konsantrasyonlarındaki, özellikle klorofildeki azalmaya bağlı olarak ürün ve meyve kalitesinin düşmesine neden olduğu bildirilmiştir [6].

Demir klorozuna neden olan şartlar özetle; 1. Demirce fakir topraklar, 2. Kireç oranı yüksek topraklar, 3. Toprakların aşırı sulanması, 4. Aşırı miktarda ağır metaller (Mn, Cu ve Zn) içeren topraklar, 5. Özellikle kireçli, topraklarda potasyumun noksanlığı, 6. Nitratça zengin azotlu gübre uygulamaları, 7. Nematod ve diğer organizmalar tarafından köklerin zarar görmesi gibi birçok neden sıralanabilir [7].

Demir iyonunun bitki bünyesine alınması ve bitkilerdeki demir iyonu eksikliğinin giderilmesi demirin suda çözünür formda olmasıyla mümkündür. Kalkerli topraklarda demir iyonunun

çözünmeyen bileşiklerine ($\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ gibi) dönüşmesi bitki tarafından bu demirin besin olarak kullanılamamasına neden olmaktadır. Demir gübrelerinin bütün katı uygulamaları arasında sentetik Fe(II) şelatları temel olarak Etilendiamin di(o-hidroksifenil asetik asit) (EDDHA) ve etilendiamin di(2-hidroksi-4-metilfenil asetik asit) (EDDHMA) gibi fenolik gruplar ile poliamin-karboksilik asitlerinin yüksek pH değerlerinde suda çözünür Fe (II) şelatları şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu moleküller ve diğer homolog moleküller örneğin etilendi (2-hidroksi-5-sülfofenil asetik asit), 15. yüzyılda ilk kez sentezlenmiş ve daha sonra bitkilerdeki demir eksikliğini gidermek için bunların Fe (II) komplekslerinin oldukça etkili olduğu öne sürülmüştür.

Bu proje kapsamında daha ucuz olan sitrik asit ve trietanolinin gibi ligandlarla oluşturulan demir şelatının bazik pH'lardaki kararlılıkları incelenmiştir. Ülkemiz topraklarında rahatlıkla kullanılabilir özellikte demir şelatları belirlenmeye çalışılmış ve bunların ekonomik üretilebilirlikleri incelenmiştir. Bazik ortamda kararlı olan ve suda rahat çözülebilen demir-şelat formülü hazırlanıp bitkiler arasında en çok demire ihtiyaç duyan yerfıstığı bitkisi kullanılarak faydalı veya zararlı etkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Sitrik Asit, demir sülfat heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), potasyum hidroksit (KOH) ve trietanolinin bileşiklerinin tamamı yüksek saflıkta ticari olarak temin edilmiştir.

Hassas terazi olarak Ohaus Adventurer marka terazi, kurutma ve nem tayini için Elektro-mag EV-018 marka etüv, demir tayini için Perkin-Elmer Optima 2100DV ICP marka ICP-OES cihazı, Organik madde ve kül tayini için Nüve marka kül fırını, pH ölçümü için Hanna 210 marka pH metre ve azot tayini için Velp Scientifica marka cihazlar kullanılmıştır.

2.2. Metod

2.2.1. Şelatlanmış Demir Çözelti Karışımının Hazırlanması

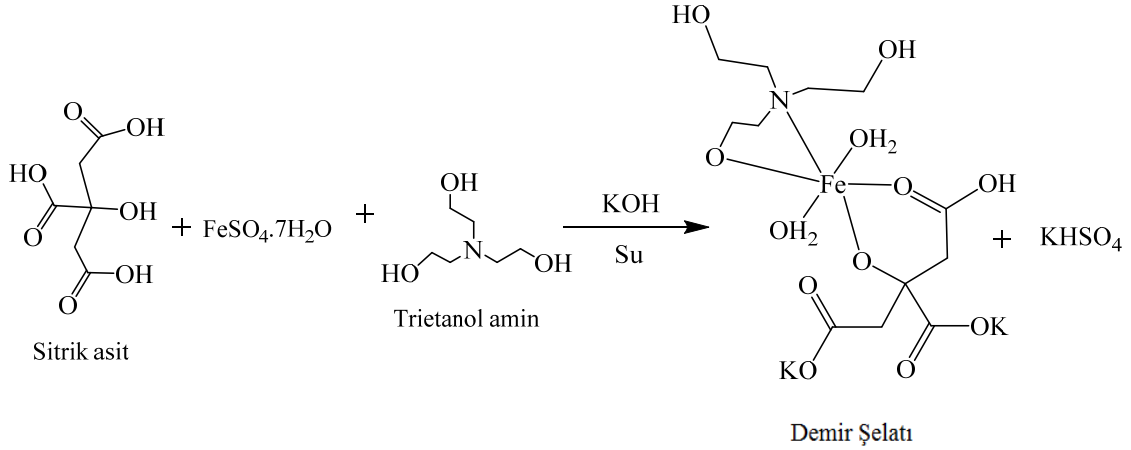
Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda mekanik karıştırıcı 500 mL'lik bir balon içerisinde sırasıyla 200 mL su üzerine 0.1 mol (19.21 g) sitrik asit eklenerek çözülmüştür. Daha sonra 0.3 mol (16.83 g) KOH katı olarak parça parça dikkatli bir şekilde ilave edilmiş ve karıştırmaya devam edilmiştir. Elde edilen potasyum sitrat çözeltisi üzerine 0.1 mol (27.8 g) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve 0.1 mol (14.9 g) trietanolinin eklenerek iyice karıştırılan Sitrik Asit: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: KOH: Trietanolinin 1:1:3:1 mol oranlarında koyu kahve renkli yoğun bir çözelti halinde elde edilmiştir [8]. Karışımın %78,2'si su ve %2'si de Fe^{2+} iyonu olacak şekilde çözelti hazırlanmıştır. Elde edilen çözelti aşırı koyu kahverengi olduğundan çözümlerin daha net görülmesi ve çökeltinin olmadığına da anlaşılabilmesi için çözelti 1/10 kat seyreltilmiştir. Burada hazırlanan ürünün yoğun çözelti formunun pH: 10'da kararlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen demir kompleksinin önerilen molekül yapısı Şekil 1'de ve 1/10 oranında seyreltme sonrası görünüm Şekil 2'de verilmiştir. Ayrıca yukarıda verilen oranlarda çalışılarak hazırlanan demir şelatının istenirse kurutulup toz halinde şelatlanmış demir kompleksi olarak Fe^{+2} içeriği değişmeden uzun süre saklanabilirliği de belirlenmiştir.

Karşılaştırmak amaçlı hazırlanan demir sitrat çözeltisi: Hazırlanan yeni demir şelat çözeltisi ile kıyaslanmak amaçlı tri etanol amin kullanılmadan hazırlanan 500 mL'lik bir balon içerisinde sırasıyla 215 mL su içerisine 0.1 mol (19.21 g) sitrik asit eklenerek çözülmüştür. Üzerine 0.3 mol (16.83 g) KOH katı olarak dikkatli bir şekilde parça parça ilave edilip karıştırılmıştır. Elde edilen potasyum sitrat çözeltisi üzerine trietanolinin olmaksızın 0.1 mol (27.8 g) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ eklenmiş ve iyice karıştırılmıştır. Sitrik Asit: KOH: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ karışımı 1:3:1 molar oranlarında yine koyu kahve renkli yoğun bir çözelti olarak elde edilmiştir. Karışımın %83-84'ü su ve %2'si Fe^{2+} iyonu olacak şekilde hazırlanmış ve 50 mL toplam hacminde

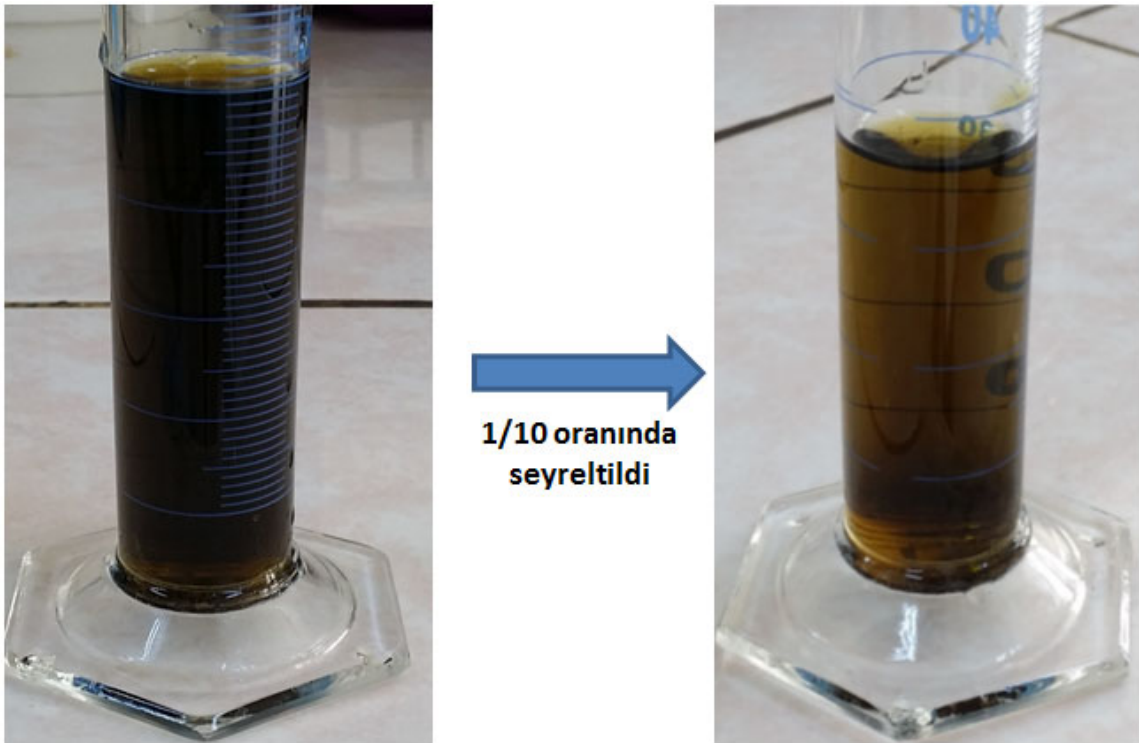
hazırlanan çözeltinin verilen metoda uygun olarak pH dayanımı test edilmiştir.

Karşılaştırmak amaçlı hazırlanan Demir sülfat (FeSO₄.7H₂O) çözeltisi: Karşılaştırmak amaçlı

hazırlanan 45 mL su içerisine 0.018 mol (5.00 g) FeSO₄.7H₂O eklenerek çözülmüştür. Yine %2'si Fe²⁺ iyonu olacak şekilde hazırlanmış olan demir sülfat çözeltisi pH dayanım aralığı metoduna göre test edilmiştir.



Şekil 1. Yüksek pH dayanımlı yeni demir şelatın üretim şeması



Şekil 2. 1/10 oranında seyreltilerek hazırlanan çözeltide çökelmenin olmadığı ve berrak olduğu görülmektedir

2.2.2. Sentezlenen Demir Sitrata Şelatının Karakterizasyonunda Kullanılan Yöntemler

2.2.2.1. ICP-OES ile Toplam Demir (Fe) Analizi

Tamamen çözünebilir şelatlanmış demir kompleksinden 0.1 g tartılmış ve 10 mL derişik nitrik asit ile tek boyunlu bir balon içerisinde 2 saat reflüks edilmiştir. Bu aşamada kompleks yapı parçalanıp içerisindeki organik bileşiklerden kurtulmak için yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen asitli çözelti soğutulmuş ultra saflaştırılmış su ile 100 mL'lik balon jöjeye süzülerek aktarılmıştır. Standart çözelti derişim aralığına göre uygun seyreltmeler yapılarak ICP-OES cihazında analiz değerleri belirlenmiştir. Her analiz 3 kez tekrarlanmış ve gerekli seyreltmeler göz önüne alınıp hesaplamaların ortalaması alınarak yüzde değerleri belirlenmiştir [9].

2.2.2.2. Kjeldal ile Toplam Azot (N) Miktarı

1-2 g numune tartılarak ve kjeldahl azot tayin cihazının tüpüne konulmuştur. Üzerine 40 mL salisilik asit + sülfürik asit karışımından eklenerek üzeri kapatılıp ve bir gece bekletilmiştir. Bekleme süresinden sonra numunenin üzerine 4 g Na₂S₂O₃ eklenmiş ve 5 dakika 150 °C'yi geçmeyecek şekilde yakma işlemi yapılmıştır. Numune işleminden sonra üzerine Se-reaktif tablet ve 0.5-0.7 g CuSO₄ eklenmiştir (inorganik yapı çözümlüğü yüksek gübrelerde 0.5 g tercih edilmektedir). 2 saat kadar daha yüksek ısıda yakılmıştır (Bu süreç spesifik olarak ve numunede kristallenme gözlenene kadar yakmaya devam edilmiştir). Yanan numune soğutulup üzerine 100 mL saf su eklenmiş ve daha sonra numune 250 mL'ye tamamlanmıştır. Seyreltilen numune filtre edilerek süzütünden 50 mL alınmıştır (Süzme işleminde süzütünün ilk 50 mL'si atılır). Hazırlanan numune Kjeldahl cihazına yerleştirilmiş ve %35'lik NaOH ile doyurulmuştur. Kjeldahl cihazına azot topladığımız erlene %4'lük borik asitten 100 mL eklenmiş ve destile edilmiştir. Destile işlemi destilat 250 mL'yi buluncaya kadar devam edilmiştir. Son olarak destilat 0.1 M HCl ile titre edilmiş ve gerekli

seyreltme faktörleri hesaba katılarak azot miktarı belirlenmiştir.

2.2.2.3. % Nem

Sabit tartıma getirilen petri kabı veya nikel kurutma kaplarının içerisine 4-5 g homojen hale getirilmiş örnekten tartılarak alınmıştır (M₁). Kurutma kabı etüve yerleştirilip etüven sıcaklığı yavaş yavaş 105±2 °C'a getirilmiştir. 3-4 saat sonunda kurutma kapları desikatöre alınıp soğuması beklenmiştir. Soğuyan kabın tartımı alınmıştır (M₂). Hesaplamalar, %Nem=[(M₁-M₂)/m]x100 formülü kullanılarak yapılmıştır. M₁= Alınan örnek ağırlığı+sabit tartıma getirilen kurutma kabının ağırlığı, M₂= Kurutulmuş örnek+ sabit tartıma getirilen kurutma kabının ağırlığı ve m= Alınan örneğin ağırlığı olarak simgelenmektedir.

2.2.2.4. % Organik Madde

İyi temizlenmiş porselen kroze 550 °C'de sabit tartıma getirilerek krozenin darası kaydedilmiştir. Sabit tartıma getirilen kroze içerisine numuneden 3-5 g örnek tartılıp sıcaklığı 550 °C'a ayarlanan kül fırınında 7-8 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda krozeler desikatöre alınarak oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiş ve soğuyan krozenin tartımı alınarak hesaplamalar yapılmıştır. %Kül=[(M₂-M₁)/m]x100 formülü kullanılarak hesaplanmıştır. M₂=Yakmadan sonraki kroze+kül ağırlığı, M₁=Sabit tartıma getirilen krozenin ağırlığı ve m=Alınan örnek ağırlığı olarak simgelenmiştir. %Organik=100-(%Kül+%Nem) formülü kullanılarak hesaplanmaktadır.

2.2.2.5. pH Dayanım Aralığının Belirlenmesi

%2 Fe²⁺ iyonu içeren demir şelat çözeltisinin 50 mL'si bir behere eklenerek önceden hazırlanmış olan %4'lük NaOH çözeltisi damla damla ilave edilip iyice karıştırılmıştır. Çökelme gözlenene kadar eklemeye devam edilmiş ve çökeltmenin oluştuğu pH kaydedilmiştir. Aynı işlemler %2 Fe²⁺ iyonu içeren FeSO₄.7H₂O ve Sitrata Asit: KOH: FeSO₄.7H₂O: 1:3:1 mol oranlarında hazırlanan 50 mL'lik çözeltiler içinde tekrarlanmıştır [10]. Tüm veriler Şekil 1-3'de görülmektedir.

2.2.3. Yerfıstığı Üzerine Demir Şelatının Etkisi

Deneme öncesi toprak analizi yapılmış ve Çizelge 1’de verilmiş olan Karaburun toprak serisi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada 4 ayrı demir uygulaması 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Test bitkileri olarak NC-7 ve ÇOM yerfıstığı çeşitleri kullanılmıştır. Deneme sera koşullarında plastik saksılarda yürütülmüştür. Her saksıya 4 mm’lik elek kullanılarak elenmiş 8 kg toprak konulmuştur. Temel gübreleme olarak her saksıya 100 ppm azot içeren amonyum sülfat ve 125 ppm fosfor içeren TSP bileşikleri kullanılmıştır.

Saksılara demir kaynağı olarak demir şelat çözeltisi, demir sitrat ve demir sülfat 20 ppm Fe²⁺ iyonu içerecek şekilde uygulanmıştır. Ayrıca demir sülfat + çiftlik gübresi (160 g/saksı) ve demir sülfat + kompost (160 g/saksı) uygulanmıştır. Başlangıçta her saksıya 8 adet yer fıstığı ekilmiş ve çimlenmeden sonra 4 adet olacak şekilde seyreltilmiştir. Saksılar saf su ile sulanmıştır. Ekim işlemi 22.03.2018 tarihinde yapıp hasat işlemi ise 15.05.2018 tarihinde yapılmıştır. Deneme deseni Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme alanı toprağının ekim öncesi bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Toprak Serisi	Tekstür Sınıfı	P ₂ O ₅	K ₂ O	Organik Madde (%)	pH	CaCO ₃ (%)	Tuz (%)	Fe	Zn	Cu
		kg/da						mg/kg		
Karaburun	CL	1.87	62	1.3	7.63	51.2	0.025	6.02	0.212	0.534

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Elde edilen yeni tip demir şelatının karakterizasyonunda kullanılan ICP-OES ile toplam Fe ve K⁺ analizi, Kjeldal ile toplam Azot (N), % Nem, % organik madde ve pH dayanım aralığının belirlenmesi yöntemlerinin sonuçları değerlendirildiğinde elde edilen veriler aşağıdaki Çizelge 2’de görülmektedir. Deneysel sonuçlar teorik verilerle uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Şelatlanmış demir sitrat çözelti analizi

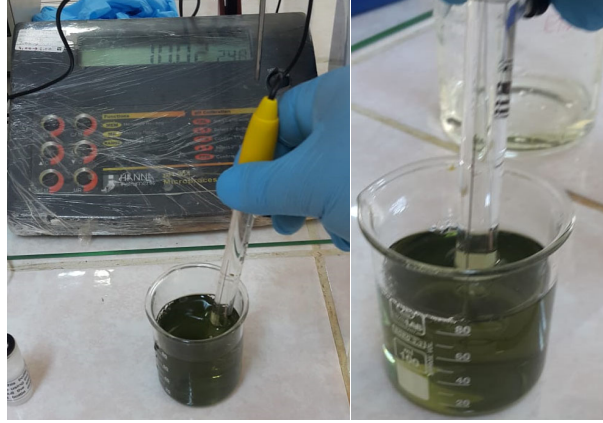
Analiz cinsi:	Deneysel/Teorik % Değerler
Su	76.9/78.2
Toplam Fe	1.96/2.00
K ₂ O	4.85/5.06
Toplam N	0.57/0.50
Organik Madde	10.22/8.92
pH	6.71
pH Dayanım Aralığı	10-11

3.1. pH Kararlılık Bulgularının Değerlendirilmesi

%2 Fe²⁺ iyonu içeren ve pH’sını 6.71 olarak belirlediğimiz yüksek pH dayanımlı yeni tip hazırlanan demir şelat çözeltisinin 50 mL’si bir behere alınmıştır. Bu çözelti üzerine %4’lük NaOH çözeltisi damla damla ilave edilerek karıştırılmıştır. pH: 10.02’de çökeltme gözlenmediği kaydedilmiştir.

Trietanol amin olmaksızın 1:3:1 molar oranında Sitrik Asit: KOH: FeSO₄.7H₂O 50 mL’lik çözeltiler hazırlanmış ve ilk pH’sı 4.28 olarak belirlenmiştir. Daha sonra çözelti üzerine NaOH çözeltisi damla damla eklenerek çökeltmenin olduğu pH aralığı 8.50-8.85 olarak belirlenmiştir.

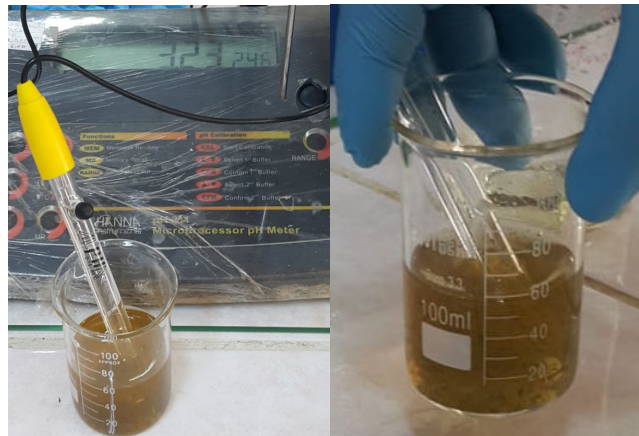
Aynı işlemler ticari olarak alınan katı FeSO₄.7H₂O’nün çözünmesi sonrası pH’sı 2.9 olarak belirlenen ve %2 Fe²⁺ içeren 50 mL’lik FeSO₄.7H₂O çözeltisi hazırlanmıştır. 4-5 damla sonra NaOH çözeltisinin eklenmesi ile çökeltmenin pH 3.23’de olduğu kaydedilmiştir. Bu değerler ışığında sentezlenmiş olan yeni tip demir şelatının pH:10 değerlerinde çökeltme olmadan suda çözünür formda bulunduğu görülmüştür. Tüm veriler Şekil 3-5’de görülmektedir.



Şekil 3. Demir şelat çözeltisinin pH dayanımının incelenmesi



Şekil 4. Trietanol amin eklenmeden hazırlanan demir sitrat çözeltisinin pH dayanımının incelenmesi



Şekil 5. Ticari olarak satın alınan ve suda doğrudan çözümlenerek hazırlanan demir sülfat çözeltisinin pH dayanımının incelenmesi

3.2. Hazırlanan Demir Şelatının Yerfıstığı Üzerine Uygulamalarının Değerlendirilmesi

Yapılan fenolojik gözlemlerde çıkıştan 1 ay sonra NC-7 çeşidinde kontrol saksılarında (demir uygulanmamış) şiddetli kloroz görülmeye başlanmış ancak bu durum ÇOM çeşidinde gözlenmemiştir. Demir şelatlı çözelti uygulanan saksılarda sadece 1-2 bitkide hafif kloroz gözlenmiş ve demir sitrat çözeltisini (trietanol amin kullanılmadan) uyguladığımızda daha fazla

sayıda bitki de kloroz gözlenmiştir. Demir sülfat tek başına uygulanmış ancak etkili olmadığından dahil edilmemiştir. Ancak demir sülfat + kompost ve demir sülfat + çiftlik gübresi ile karıştırılarak uygulanan saksılarda ise hafif kloroz gözlenmiş ve bu durum hasata kadar devam etmiştir. Demir şelat çözeltisi uygulanan bitkilerin diğer demir uygulamalarına göre daha iyi gelişimleri belirlenmiş ve bu gelişim Şekil 6'da ortaya konulmuştur.

Çizelge 3. Yer fıstığına ait deneme deseni

Çeşit	Uygulamalar	Saksı No
NC-7	Kontrol	0
	Demir Şelatı	1
	Demir Sitrat	2
	Demir Sülfat+ Kompost	3
	Demir Sülfat +Hayvan gübresi	4
ÇOM	Kontrol	0
	Demir Şelatı	1
	Demir Sitrat	2
	Demir Sülfat+ Kompost	3
	Demir Sülfat +Hayvan gübresi	4





Şekil 6. Saksılarda NC-7 ve ÇOM yerfıstığı çeşitlerinde demir denemeleri

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yüksek pH dayanımlı yeni tip demir şelat çözeltisi güçlü şelat ajanı olarak seçilen sitrik asit ve tri etanol amin kullanılarak hazırlanmıştır. Analitik ve spektroskopik analizler yapılarak elde edilen demir şelat çözeltisinin bileşenleri belirlenmiştir. Türkiye toprakları yüksek alkali özellikli olduğunda elde edilen demir şelat çözeltisinin ve bu çözeltiyi oluşturan demir sülfat çözeltisi ile demir sitrat kompleksinin (trietanolamin olmadan) maksimum pH dayanımları incelenmiştir. pH dayanımları karşılaştırıldığında elde edilen demir şelat

çözeltisinin pH:10'da içerisindeki şelat ajanlarının demir iyonunun çökmesini engelleyecek kadar güçlü demir iyonuna koordine olduğunu göstermiştir. Şelatlanmadan kullanılan demir sülfat çözeltisinin pH'daki çok küçük değişimlerde dahi çökme göstermiştir. Sadece sitrik asit ile şelatlandığında ise pH dayanımının 8.5-8.85 aralığında çökme gözlemlendiği ve en yüksek pH değerinde kararlı olarak kalabilen optimum çözelti formunun hazırlanmış olduğu belirlenmiştir. Yüksek pH aralığındaki kararlılığı belirlenen yeni tip demir şelat çözeltisinin NC-7 ve ÇOM yerfıstığı çeşitlerinin büyümesi üzerine etkileri incelenmiş ve demir şelat çözeltisi kullanıldığında

demir eksikliği kloroz oluşumu diğer kullanılmadığı denemelere göre önemli ölçüde az görüldüğü belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya yaptığı katkılardan dolayı “Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Emekli Öğretim Üyesi Prof. Dr. Zülküf KAYA’ya teşekkürü bir borç biliriz.

6. KAYNAKLAR

1. Valko, M., Morris, H., Cronin, M.T., 2005. Metals, Toxicity and Oxidative Stress. *Curr. Med. Chem.*, 12(10), 1161-1208.
2. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., Beeregowda, K.N., 2014. Toxicity, Mechanism and Health Effects of Some Heavy Metals.; *Interdiscip Toxicol.* 7(2), 60–72.
3. Reed, D.W., Lyons, C.G., McEachern, G.R., 1988. Field Evaluation of Inorganic and Chelated Iron Fertilizers as Foliar Sprays and Soil Application. *Journal of Plant Nutrition*, 11(6-11), 1369-1378.
4. Chakraborty, B., Singh, P.N., Kumar, S., Srivastava, P.C., 2014. Uptake and Distribution of Iron from Different Iron Sources Applied as Foliar Sprays to Chlorotic Leaves of Low-Chill Peach Cultivars. *Agric. Res.* 3(4), 293-301.
5. Chen, H., Hu, Z., Li, X., Zhang F., Chen J., Zhang, M., 2016. Iron Fertilizers Applied to Calcareous Soil on the Growth of Peanut in a Pot Experiment. *Arch. Agron. Soil Sci.* 62(12), 1753-1764.
6. Abadía, J., Vázquez, S., Rellán-Álvarez, R., El-Jendoubi, H., Abadía, A., Álvarez-Fernández, A., López-Millán, AF., 2011. Towards a Knowledge-based Correction of Iron Chlorosis. *Plant Physiol Biochem.* 49, 471-482.
7. Horuz, A., Korkmaz, A., Akınoğlu, G., Boz, E., 2016. Bitkilerde Demir Klorozunun Nedenleri ve Giderilme Yöntemleri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 4(1), 32-42.
8. Hernandez-Apaolaza, L.H., García-Marco, S., Nadal, P., Lucena, J.J., 2006. Structure and Fertilizer Properties of Byproducts Formed in the Synthesis of EDDHA. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 4355-4363.
9. Ferrari, V., Taffarel, S.R., Espinosa-Fuentes, E., Oliveira, M.L.S., Saikia, B.K., 2019. Oliveira, L.F.S., Chemical Evaluation of By-Products of the Grape Industry as Potential Agricultural Fertilizers. *Journal of Cleaner Production.* 208, 297-306.
10. De Luca, A., Dantas, R.F., Esplugas, S., 2014. Assessment of Iron Chelates Efficiency for Photo-fenton at Neutral pH. *Water Research.* 61, 232-242.

Van İlindeki Tehlikeli Atıkların Mevcut Potansiyelinin Belirlenmesi

Dilara ÖZTÜRK*¹

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Van

Geliş tarihi: 31.07.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

Öz

Hızla artan insan nüfusu ile paralel olarak gelişen bilim ve teknolojinin bir sonucu olarak ortaya çıkan endüstrileşme, beraberinde çevre kirliliğini de getirmektedir. Çevre kirliliğine sebep olan ve yaşamsal faaliyetleri doğrudan etkileyen en önemli kirleticilerden biri de tehlikeli atıklardır. Bu çalışmanın amacı Van ilindeki tehlikeli atıkların mevcut potansiyelini belirlemek, şehrin tehlikeli atık yönetimi ile ilgili sorunlarını tespit etmek ve çözüm önerileri sunmaktır. Elde edilen veriler ışığında kentte atık madeni yağların neredeyse tamamının geri kazanıldığı, kazanılan atık yağın büyük miktarının tesis içi atık minimizasyonu ile sağlandığı; 2018 yılına kadar tıbbi atıkların bir sterilizasyon tesisinde evsel nitelik kazandırıldıktan sonra vahşi depolama alanlarında bertaraf edildiği ancak kurulumuna başlanan katı atık entegre tesisinde daha güvenli bertarafının planlandığı; kentin atık elektrikli ve elektronik eşyalar için herhangi bir eylem planının bulunmadığı; Ayrıca, toplanan atık pil ve akümülatörlerin ve ömrünü tamamlamış lastiklerin sayısı göz önüne alındığında tam bir geri dönüşümün sağlanmadığı sonucuna varılmıştır. Atık elektrikli ve elektronik eşyaların geri dönüşüme kazandırılması için çevre mevzuatı kapsamında gerekli izin ve lisansları bulunan firmalar ile iş birliği içerisinde girilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca toplanan atık pil ve akümülatörlerin ve ömrünü tamamlamış lastiklerin il genelinde etkin toplanması için; büyük şehir belediyesinin, ilçe belediyelerinin çalışmalarını koordine etmesi ve konuyla ilgili yürütülen bilgilendirme ve eğitim faaliyetlerini desteklemesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bertaraf, Geri dönüşüm, Tehlikeli atık, Van

Determination of Current Potential of Hazardous Wastes in Van Province

Abstract

Industrialization, which emerged as a result of science and technology developing in parallel with rapidly increasing human population, brings environmental pollution with it. One of the most important pollutants that cause environmental pollution and directly affect vital activities is hazardous waste. The aim of this study is to determine the existing potential of hazardous wastes in Van province, identify problems related to hazardous waste management of the city and offer solutions. In the light of the data obtained, almost all of the waste mineral oils are recovered in the city and the large amount of waste oil obtained is provided by in-plant waste minimization; Until 2018 medical wastes were disposed of in a wild landfill site after being qualified as a household in a sterilization facility, but the safer disposal of the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Dilara ÖZTÜRK, dozturk@yyu.edu.tr

solid waste integrated plant was planned; Also, it is concluded that the city does not have any action plan for waste electrical and electronic equipment and considering the number of waste batteries and accumulators collected and the tires that have reached the end of their life, no complete recycling is provided. It is concluded that in order to recycle waste electrical and electronic materials, it should be entered into cooperation with the companies with the necessary permits and licenses within the scope of environmental legislation. Also, for the efficient collection of waste batteries and accumulators and out of-life tires throughout the province; It is concluded that the metropolitan municipality should coordinate the work of the district municipalities and support the information and training activities carried out on the issue.

Keywords: Disposal, Recycling, Hazardous waste, Van

1. GİRİŞ

Değişen zamana paralel olarak gelişen dünyada endüstrileşmenin getirdiği en önemli problemlerden birisi de çevre kirliliğidir [1]. Günümüzde üretim ile neredeyse eş anlama gelmiş endüstrileşme, ülkelerin refah düzeyini artırması ve dışa bağımlılığını azaltması sebebi ile büyük önem taşımaktadır. Ancak ekolojik ve ekonomik kalkınmanın sağlanması ve sürdürülmesi için endüstri ve çevre entegrasyonunun sağlıklı bir çerçevede olması gerekmektedir. Dünya gündemini meşgul eden bu sorunun çözümü için yalnız gelişmiş ülkeler değil, aynı zamanda gelişmekte olan ülkeler de bazı ekonomik, teknik ve hukuki tedbirler alma mecburiyeti duymaktadırlar. Gerekli önlemlerin alınmadığı takdirde, sonsuz olmayan su kaynaklarının kirlenmesi ve tükenmesi, yine su kaynaklarının öz yenileme ve temizleme özelliklerini kaybetmesi, toksik birikimle üretme yeteneğini kaybetmiş ve kullanılamaz hale gelmiş toprak yapısı, solunması tüm canlı hayatı için artık zarar vermeye başlayan hava kompozisyonu ile sonuçlanacaktır.

Çevre kirliliğine sebep olan ve yaşamsal faaliyetleri doğrudan etkileyen en önemli kirleticilerden biri de tehlikeli atıklardır. Tehlikeli atıklar, geniş kapsamlı üretim işletmelerinden (üniversiteler, hastaneler, endüstriler vb.) küçük işletmelere kadar (laboratuvarlar, ev ve işyerleri, kuru temizleyiciler vb.) çeşitli kaynaklardan çıkan tehlikeli ve zararlı maddelerdir [2]. Atığın kimyasal kompozisyonu, miktarı, kimyasal reaktivliği, fiziksel yapısı ve çevre üzerindeki etkileri incelenerek tehlikeli olup olmadığına karar

verilir. Ancak asıl belirleyici olan söz konusu atığın tehlikeli bir atığın dört özelliğinden (tutuşabilirlik, aşındırıcılık, reaktivite ve toksisite) herhangi birini sergileyip sergilemediğidir, bu özelliklerden herhangi birini sergileyen atık tehlikeli atık sınıfına dâhil olabilir [3].

1.1. Atık Madeni Yağlar

Atık yağlar, atık olarak oluşan ve kısmen veya tamamen mineral yağdan, sentetik veya biyojenik yağdan oluşan yağlardır [4]. Madeni yağlar mekanik araç ve gereçlerde özellikle yağlama amacı ile kullanılırlar belli bir süre sonra madeni yağ sürtünme, katı içerik oluşumu vb. gibi kimyasal ve fiziksel özellikleri bozulur ve yenileri ile değiştirilmesi gerekir. Bu bağlamda Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 19 Kasım 2008 tarihli ve 2008/98/EC sayılı atık yönergesinde, atık yağların ayrı toplanması, uygun bir atık yönetimi stratejisinin kabul edilmesi ve atık depolamadan kaynaklanan çevresel zararların önlenmesi gibi konular vurgulanmıştır. Ayrıca Atık yağların kontrolü yönetmeliği ile de bazı düzenlemeler yapılmıştır. Yönetmelik; I. II. ve III. kategori atık yağların üretimi, geçici depolanması, toplanması, taşınması, işlenmesi, bertarafı, ithalat ve ihracatı ile transit geçişine ilişkin yasak, sınırlama ve yükümlülükleri, alınacak önlemleri, yapılacak denetimleri kapsamaktadır [5].

2010-2011 yılları arasında yapılan araştırmalara göre [2], Türkiye'de yıllık ortalama 400-450 bin ton mineral yağ tüketilmektedir, tüketim sonrası yaklaşık 200-250 bin tonu ise atık mineral yağ olarak ortaya çıkmaktadır. Kalan 200 bin ton yağ satın alınarak toplanmakta, 10 numara madeni yağ

adı altında yakıt olarak kullanılmakta veya kontrolsüz ortamlarda ısıtılmak üzere bir araya getirilerek elden çıkarılan diğer yakıtlarla karıştırılarak piyasaya kalifiye olmayan yağ olarak sunulmaktadır. Böylesi yağların tekrar kullanımı sonucu SO₂, NO₂ oranı çok yüksek emisyonlar atmosfere salınmakta ve hava kirliliğine ciddi katkıda bulunmaktadır. Ayrıca bu atıkların alıcı su ve toprak ortamına deşarjları sonucu alıcı ortamın fiziksel ve kimyasal yapılarının bozulmasına sebep olmakla beraber alıcı ortamda bulunan canlıların yaşamını tehdit etmektedirler.

1.2. Bitkisel Atık Yağlar

Bitkisel yağlar gıda sanayinde sıvı ve katı halde kullanıldığı gibi, deterjan, yem ve boya sanayinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bitkisel yağların kullanılması sonucu bitkisel atık yağların bertarafına ilişkin önlemler almak Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin ek-4 atık listesinde yer alan; "20 01 26*- 20 01 25 dışındaki sıvı ve katı yağlar (A)" kodu kapsamında değerlendirilen kullanılmış kızartmalık yağlar ile "20 01 25- Yenilebilir sıvı ve katı yağlar" kodu kapsamında değerlendirilen diğer bitkisel atık yağları kapsayan yönetmelik yürürlüğe konulmuştur [6].

Ülkemizin yıllık bitkisel yağ kullanımı yaklaşık olarak; 950.000 ton sıvı yemeklik, 550.000 ton margarin, 200.000 ton civarında da yem, boya ve sabun sanayi olmak üzere yaklaşık 1,7 milyon tondur [7]. Bitkisel atık yağlar oldukça yüksek kaloriye sahiptir. Bu atık yağlar, alıcı ortama ya da kanalizasyon sistemlerine deşarj edildiği zaman su yüzeyinde oksijen transferini engelleyen bir tabaka oluştururlar ayrıca suda zamanla bozunmaya uğrayarak sudaki mevcut oksijenin tükenmesine sebep olurlar. Su yüzeyinden oksijen geçişi engellendiğinde ortamdaki canlı yaşam (balıklar, su bitkileri ve su canlıları) tehlikeye girer ve belirli bir süre sonra anaerobik türlerin baskın gelmesi ile sonuçlanır. Ayrıca kanalizasyon sistemleri ile atıksu arıtma tesisine ulaşan yağlı atıksular kanal borularına yapışarak boru kesitinin daralmasına ve tıkanmasına neden olarak tesisin işletme maliyetini artırır. Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağlar atık su kirliliğinin %25'ini oluşturmaktadır [7].

1.3. Atık Pil ve Akümülatörler

Teknolojinin hızla gelişmesine paralel olarak teknolojik aletlerin üretimi ve kullanımı da artmıştır. Bu bağlamda 'Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği' ile pil ve akümülatör ürünlerinin etiketlenmesi ve işaretlenmesi, üretilmesinde zararlı madde miktarının azaltılması, kullanıldıktan sonra atıklarının evsel ve diğer atıklardan ayrı olarak toplanması, taşınması, bertarafı ile ithalat, transit geçiş ve ihracatına ilişkin yasak, sınırlama ve yükümlülükleri, alınacak önlemleri, yapılacak denetimleri ve sorumlulukları düzenlenmiştir [8]. Pil ve akümülatör benzeri materyallerde ağır metal ve kimyasal maddeler gibi insan ve çevre sağlığını tehdit eden bileşenler bulunmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Pillerin içerdiği elementlerin ağırlıklı % kompozisyonu [9]

Pil Türü	Kadmium	Civa	Gümüş	Çinko
Alkali	0,01	0,025	0,01	8-18
Çinko-karbon	0,03	0,01	-	12-20
Civa oksit	-	30-50	-	10-15
Gümüş oksit	-	0,5-1	30-45	30-35
Çinko-hava	-	1-2	-	35-40
Lityum	-	-	-	-

Pil ve akümülatörlerin içerdiği ağır metaller insanlarda merkezi sinir sisteminin tahribine, kansere, böbrek, karaciğer, beyin dokularının tahribine ve sakat doğumlara neden olmaktadır [10]. Ağır metallerin yanında akümülatörlerin içeriğinde bulunarak elektrolit görevi yapan sıvılar (KOH, H₂SO₄ vb.) ekolojik sistemde bulunan tüm canlı yaşamı negatif yönde etkilemekte, alıcı ortam ve toprak kirliliğine sebep olmaktadır. Örneğin kullanılmış bir civa oksit pili 800.000 litre içme suyunu kirletmektedir [9].

1.4. Ömrünü Tamamlamış Lastikler

Artan araç sayısı ile lastik üretiminin artması hatta lastik kullanımının hayatın birçok alanına dâhil olması ile atık lastik miktarı da gittikçe artan bir

potansiyele sahip olmuştur. Lastikler kimyasal kompozisyonu sebebi ile tehlikeli ve biyobozunmaz maddeler içermektedir. Lastiklerin en çok kullanıldığı alan olan otomobil lastiklerinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 2’de verilmiştir [11].

Çizelge 2. Otomobil lastiklerinin kimyasal kompozisyonu [11]

Malzeme	% Bileşim
Kauçuk/Elastomer	47
Karbon Siyahı/Silika	21,5
Metal	16,5
Tekstil ürünü	5,5
Çinko oksit	1
Kükürt	1
Katkı maddeleri	7,5

Çizelge 2’den de görülen biyobozunmaz bu maddelerin çevre ve insan sağlığına zararlarını önlemek için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından ‘Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği’ yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, ömrünü tamamlamış lastiklerin, çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı olarak alıcı ortama verilmesinin önlenmesi, yeniden kullanımı veya bertarafı için toplama ve taşıma sisteminin kurulması, yönetim planının oluşturulması konularını kapsamaktadır [12].

ÖTL’lerin bertarafı kontrollü bir şekilde sağlanmadığı müddetçe bünyesinde bulunan bu tehlikeli bileşenleri zamanla çevreye salmakta ve bu tehlikeli maddeler ekolojik döngüye dahil olmaktadır.

1.5. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar (AEEE)

Gelişen ve değişen teknolojiye eş olarak artan elektronik eşyaların kullanımı bir taraftan insan hayatını kolaylaştırırken diğer taraftan tehdit etmektedir.

Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliğine göre AEEE; büyük ev eşyaları, küçük ev aletleri, bilişim ve telekomünikasyon ekipmanları, tüketici ekipmanları, aydınlatma

ekipmanları, elektrikli ve elektronik aletler (büyük ve sabit sanayi aletleri hariç olmak üzere), oyuncaklar, eğlence ve spor aletleri, tıbbi cihazlar (emplantasyon ürünleri ve hastalık bulaşıcı temaslarda bulunan ürünler hariç), izleme ve kontrol aletleri ve otomat sınıflarına dâhil olan elektrikli ve elektronik eşyalar ile elektrik ampulleri ve evsel amaçlı kullanılan aydınlatma gereçlerini kapsamaktadır[13].

Ömrünü tamamlamış elektronik ürünlerin kullanımı enerji sarfiyatını arttırırken, AEEE’ lerin uygun şekilde geri dönüştürülmemesi bu atıkların içeriğinde bulunan kurşun, civa, brom ve krom gibi ağır metallerin zamanla atmosfere, toprağa ve alıcı su ortamlarına salınmasına ve ekolojik döngü için toksik tehdit oluşturmasına sebep olmaktadır.

1.7. Tıbbi Atıklar

Tehlikeli atıklar sınıfına giren en önemli atıklardan biri de tıbbi faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıklardır. Bu atıkların kaynak noktaları olan sağlık kurumları, oluşan atıkların hem yerinde hem de dışında etkilenen/etkilenen olacak olan kişilerin sağlığına ve çevreye sebep olacakları zararları minimize edebilmek için sınıflandırma, kaynağında ayırma, geçici depolama, taşıma, işleme ve nihai bertaraf aşamalarında uyulması gereken kurallar kapsamında ‘Tıbbi atıkların kontrolü Yönetmeliği’ yürürlüğe girmiştir [14]. Tıbbi atıklar enfekte olmalarının yanında ilaçlar, radyoaktif maddeler, kesici-delici materyaller, toksinler ve tehlikeli kimyasallar gibi maddeleri de ihtiva etmektedirler.

Tıbbi atıkların kontrolsüz bir şekilde veya evsel nitelikli atıklarla beraber alıcı ortama bertaraf edilmesi sonucunda ekolojik döngüdeki her canlı sınıfı yaşamsal risk altına girmektedir.

Su kaynaklarının giderek kirlenmesi, tükenmesi, toprak yapısının bozulması, bazı hayvan türlerinin yok olması vb. gibi birçok çevre sorununun sorumlusu insanlardır. Enerji kaynaklarının ve su kaynaklarının sonsuz olmaması çevre sorunlarına bir çözüm bulunması hususunda devletlerin önlemler almasını gerektirmiştir. Tüm dünyada son yıllarda uygulanan önlemler ülkemizde de

uygulanmaktadır. Türkiye de atık kaynaklı çevre kirliliği genellikle insan nüfusunun fazla olduğu ve sanayinin geliştiği bölgelerde yoğunlaşmıştır. Ancak bu durum ülkenin geri kalanında gelişmekte olan sanayi şehirlerini de kapsamaya başlamıştır. Van Türkiye'nin en kalabalık on dokuzuncu ilidir. Van bölgesi göller bakımından da önemli bir bölgedir. Hoşap Suyu, Memedik Çayı, Karasu, Bendimahi Çayı, Deliçay, Irşat Çayı ve Zilan Çayı gibi irili ufaklı birçok gölden başka Türkiye'nin en büyük gölü olan Van Gölü bu ildir [15]. Van gerek alıcı ortamların sayısı ve önemi gerekse turizm alanındaki konumu itibari ile öncelikli alanlar içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı Van ilindeki tehlikeli atıkların mevcut potansiyelini belirlemek, şehrin tehlikeli atık yönetimi ile ilgili sorunlarını tespit etmek ve çözüm önerileri sunmaktır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın yapılmasında, tehlikeli atıklar konusunda tamamlanmış projelerden [16], Van ili için daha önce kamu kuruluş ve kurumlarınca hazırlanmış çevre durum raporlarından [17,21] yararlanılmıştır. Kentin güncel atık potansiyeli ve verileri ile ilgili diğer bilgiler çeşitli haber sitelerinden [19,22] elde edilmiştir. Ayrıca Türkiye ve Van genelindeki tehlikeli atıklar ile ilgili istatistiki bilgiler Türkiye İstatistik Kurumunun raporlarından [23] elde edilmiştir.

Çalışmanın objektif açıdan değerlendirilebilmesi için elde edilen bilgilerin doğruluğu kıyaslamalı olarak tartışılmıştır. Ayrıca, çalışmanın sürdürülebilirliği ve uygulanabilirliği için geçerli olan yönetmelik ve kanunların uygulanma şekilleri incelenmiştir.

Atık yağların toplanması, depolanması ve bertarafı hususunda Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 19 Kasım 2008 tarihli ve 2008/98/EC sayılı atık yönergesinden yararlanılmıştır.

Bitkisel yağların kullanılması sonucu bitkisel atık yağların bertarafına ilişkin Atık Yönetimi Yönetmeliğinden yararlanılmıştır [5]. ÖTL'lerin alıcı ortama deşarjının önlenmesi, yeniden

kullanılması ve bertarafı hususunda Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliğinden yararlanılmıştır [12]. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların yeniden kullanılması ve bertarafı hususunda Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliğinden yararlanılmıştır [13].

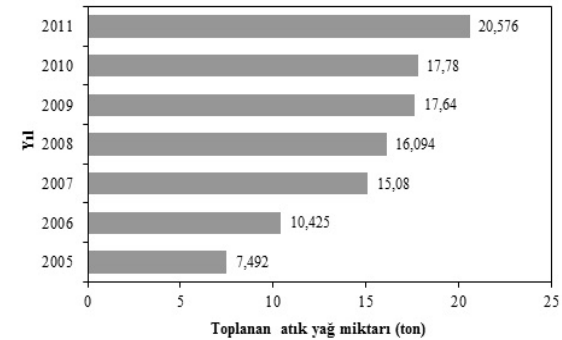
Atık Pil ve Akümülatörlerin yeniden kullanılması ve bertarafı hususunda Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliğinden faydalanılmıştır [8].

Tıbbi atıkların toplanması, depolanması ve bertarafı konusunda Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinden faydalanılmıştır [14].

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Atık Madeni Yağlar

Miktarı gitgide artan atık madeni yağların Türkiye bilançosunu araştırmak için Petrol Sanayi Derneği (PETDER) tarafından gerçekleştirilen 'Atık Madeni Yağ Arıtma Projesi için En Uygun Teknolojinin Seçimi' isimli proje kapsamında toplanan atık mineral yağların yıllık miktarları hesaplanmış ve Şekil 1'de verilmiştir [16].

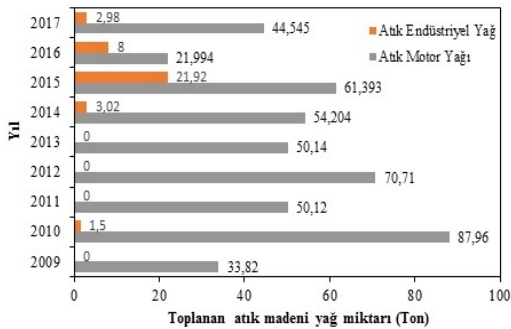


Şekil 1. PETDER Tarafından toplanan atık mineral yağların yıllık miktarları (ton) [16]

Şekil 1'den de görüleceği üzere gelişen teknoloji, hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak gitgide kullanımı artan madeni yağların minimizasyonu, yeniden kullanılabilirliği ve zararsız bertarafı önem kazanmaktadır.

Van ilinde bulunan işletme ve tesislerden kaynaklanan sentetik motor, makine, şanzıman, hidrolik ve gres gibi madeni atık yağların tehlikeli atık sınıfına girmeleri sebebi ile yönetmeliğe uygun bir şekilde toplanması, taşınması, depolanması, bertaraf edilmesi ve geri dönüşümünün sağlanması hususunda madeni atık yağların sınıflarına ayrılarak geri kazanımına ya da bertarafına ilişkin kontrolü, denetlenmesi ve atık yağ beyan formlarının üretici tarafından Çevre il müdürlüğüne teslim edilmesi ve müdürlükçe izlenmesi çalışmaları yürütülmektedir.

Kentte organize sanayi bölgesinde bulunan ve kota uygulamasına dâhil olan bir adet işletme (Wanoil) mevcuttur. Ayrıca, kentte makine parkı bulunan işletme ve kurumlara işletmelerinden çıkan atık yağların geçici depolanması ve sadece yetkisi bulunan kuruluşlara teslimi konusunda resmi yazı ile bilgilendirme yapılmış olup bu husustaki kontroller yapılmaktadır. 2009-2017 yılları arasında kentte toplanan atık madeni yağ miktarları Şekil 2’de gösterilmiştir [17].



Şekil 2. Van İli’nde atık madeni yağ toplama miktarları [17]

Şekil 2’den görüldüğü gibi atık motor yağ miktarı ve atık endüstriyel yağ miktarı 2009-2017 yılları arasında değişkenlik göstermiş, toplanan atık yağ miktarı 2010 yılında en yüksek, 2016 yılında ise en düşük değere sahiptir. 2013-2015 yılları arasında toplanan atık yağ miktarı gittikçe artmış takip eden 2016-2017 yıllarında nispeten azalmıştır. 2013-2015 yılları arasında toplanan atık madeni yağ miktarları artması kentteki sanayi kurumlarının sayısının artması ile ilgili iken takip eden 2016-2017 yılları arasında toplanan atık

madeni yağ miktarının nispeten azalması geri kazanılan atık madeni yağların artması ile ilişkilidir. Çizelge 3’te 2009-2017 yılları arasında atık madeni yağ geri kazanım ve bertaraf miktarları verilmiştir.

Çizelge 3. Van İli’nde 2009-2017 yılları arasında atık madeni yağ geri kazanım ve bertaraf miktarları [17]

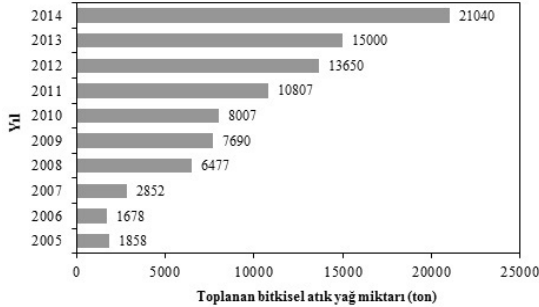
Yıl	Geri kazanım (kg)	Nihai bertaraf (kg)	İhracat (kg)	Stok (kg)	Atık minimizasyonu (Tesis içi) (kg)
2009	33,820	950	-	-	33,820
2010	89,456	-	-	2044	89,456
2011	60,960	-	-	174	60,960
2012	70,713	-	-	115	70,713
2013	50,140	-	-	300	50,140
2014	63,384	1700	-	430	63,884
2015	86,313	-	-	4985	83,313
2016	20,002	-	-	5118	21,193
2017	47,525	-	-	300	50,140

Çizelge 3’ten görüleceği üzere 2009 ile 2017 yılları arasında toplamda tesislerden çıkacak olan atık madeni yağ miktarının 537,085 kg olduğu, tesis içi minimizasyonu sağlanan atık yağ miktarının 523,619 kg olduğu, geri kazanılan miktarın 522,313 kg olduğu, nihai bertarafı sağlanan atık yağ miktarının 2650 kg olduğu görülmektedir. Elde edilen veriler ışığında, 2009 yılından 2017 yılına kadar toplanan atık yağ miktarının %97,25’inin geri kazanıldığı, %0,25’inin nihai bertarafının sağlanabildiği %2,5’inin ise geri kazanım ya da bertarafının sağlanamadığı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak toplanan atık madeni yağların 2009-2017 yılları arasında neredeyse tamamının geri kazanıldığı ve buna ek olarak tesis içi geri kazanım ile atık yağ miktarının büyük miktarının tesis içi atık minimizasyonu ile sağlandığı açıktır.

3.2. Bitkisel Atık Yağlar

Atık yağların kontrolü yönetmeliğinin yürürlüğe girmesinden önce ülkemizde atık yağların yeniden kullanılabilirliğine ilişkin yapılmış çalışmalar neticesinde 2005 yılından 2014 yılına kadar toplanan atık bitkisel yağların miktarı 1858 ton dan yaklaşık 21.000 tona artmıştır (Şekil 3) [18].



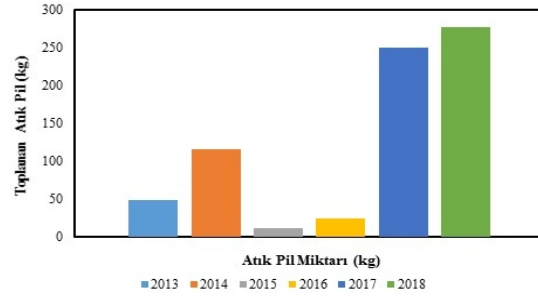
Şekil 3. Yıllara göre toplanan bitkisel atık yağ miktarı [18]

Kente bitkisel atık yağların geçici depolanması, bertarafı ya da geri kazanımına ilişkin bir tesis mevcut değildir. Ancak kentin farklı noktalarında, restoranlarında, okullarında, dinlenme tesislerinde, kurum ve kuruluşlarında bulunan atık yağ depolarından toplanan bitkisel nitelikli atık yağların toplanması ve taşınması faaliyetleri DEHA Bitkisel Atık Yağ Toplama ve Geri Kazanım San. ve Tic. A.Ş. ile KOLZA Biyodizel yakıt ve Petrol ürünleri San. Tic. A.Ş. lisanslı firmaları tarafından 2016 yılından itibaren yürütülmektedir. 2016 yılı içerisinde toplanan bitkisel nitelikli atık yağ miktarı 16,359 kg'dır [17]. Söz konusu tesislerin her birinin 50.000 ton biyodizel üretimi kapasitesi bulunmakla birlikte biyodizel üretiminde bitkisel ham yağ ve atık bitkisel yağ ham madde olarak kullanılmaktadır. Kente en yakın geçici depolama merkezi Diyarbakır'da bulunmaktadır.

3.3. Atık Pil ve Akümülatörler

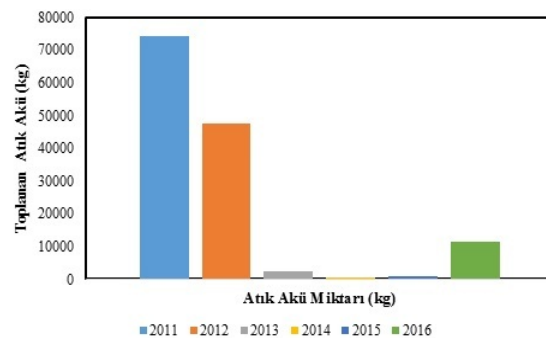
Atık pillerin yerinde, ayrı toplanması, depolanması, taşınması ve bertarafında Çevre ve Şehircilik bakanlığı tarafından 2013 yılında imzalanmış protokol ile yetki sahibi olan tek kuruluş TAP (Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği)'dir. TAP 2013 yılından itibaren atık nitelikteki pillerin toplanması faaliyetlerine başlamıştır. Faaliyetler kapsamında atık pillerin geri dönüşümünün önemi hakkında eğitim seminerleri verilmiş ve 450 adet atık pil toplama kutusu MEB (Milli Eğitim Bakanlığı)'e bağlı tüm okullarda, bazı özel okullarda ve Van yüzüncü yıl üniversitesinin tüm fakültelerine koyulmuştur [19]. Ayrıca şehir merkezinin farklı

noktalarına da atık pil toplama kutuları bırakılmıştır. TAP tarafından 2013 yılından 2019 yılına kadar ülke genelinde 178.556 kg atık pil toplanmıştır bunun 725 kg'ı kentimizden toplanan atık pil miktarıdır [19] (Şekil 4).



Şekil 4. 2013-2018 yılları arasında kentte toplanan atık pil miktarının dağılımı

Şekil 4'ten de görüleceği üzere her ne kadar 2015-2016 yıllarında toplanan atık pil miktarında düşüş gözlenmişse de genel itibari ile artan bir ivme ile geri dönüşüme kazandırılan pil miktarı kentte artış göstermektedir. Toplanan piller TAP tarafından yetkilendirilmiş 'Exitcom Recycling, Anel Doğa ve Ekoden' firmalarının lisanslı araçları tarafından geri kazanım ve bertaraf tesislerine ulaştırılmaktadır. Ayrıca kentte atık mahiyetinde bulunan akümülatörler de aynı şekilde lisanslı araçlarla ayrı olarak toplanmaktadır. Şekil 5'te 2011-2016 yılları arasında kentte toplanan atık akü miktarı gösterilmektedir [20].



Şekil 5. 2011-2016 yılları arasında kentte toplanan atık akü miktarının dağılımı [20]

Şekil 5'ten görüldüğü gibi toplanan atık akü miktarının en yüksek olduğu yıl 2011 onu takiben 2012 yılıdır. Bu durum 2011 yılından önceki

yıllarda toplanan ve bertaraf ya da geri kazanımı sağlanamamış hurda niteliğinde biriktirilen atık akü miktarı ile ilişkilidir. 2013-2015 yılları arasında ise toplanan atık akü miktarının düşük olması bu atıkların düzenli olarak toplanması ile ilgili iken 2016 yılında 11.514 kg'a yükselen bu durum kentin aldığı göçler (Suriye, Afganistan vb. ülkelerden gelen göçmenler) ile artan yerel kent nüfusu ve buna bağlı olarak artan motorlu araç kullanımı ile ilişkilidir. Kentte bertaraf/geri kazanım tesisi bulunmamaktadır.

3.4. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar (AEEE)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2015 verilerine göre [21] ülkemizde yaklaşık 28 bin ton evsel elektronik atık geri dönüştürülmüştür.

Kentte AEEE İşleme Tesisi bulunmamaktadır. Bu nitelikteki atıklar ömrünü tamamlamış atık elektronik eşyaları toplayan firmalar (Arçelik, Beko, Vestel vb.) dışında bu atık elektronik aletlerin içerisinde bulunan ve tekrar kullanılabilir nitelikteki malzemeleri ayrıştıran şahıs ya da küçük esnaf tarafından gerçekleştirilmektedir.

3.5. Ömrünü Tamamlamış Lastikler (ÖTL)

Kentte "Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği" kapsamında lisanslı geri kazanım tesisi bulunmamaktadır. Ancak toplanan ÖTL'ler lisanslı geri dönüşüm tesislerinde enerji

ve hammaddeye dönüştürülerek ekonomiye kazandırılmaktadır. Ayrıca geri dönüşüme kazandırılan lastiklerin traşlanması sırasında çıkan hammadde yürüyüş parkuru, ayakkabı tabanı ve paspas yapımında kullanılması için fabrikalara gönderilmektedir, bu şekilde kent ekonomisine yılda ortalama 2,5 milyon lira kazandırılmaktadır [22]. Ömrünü tamamlamış bir lastiğin geri kazanım sürecinde; yaklaşık %73 oranında granül kauçuk malzemesi, %19 oranında çelik tel, %8 oranında ise tekstil ve diğer maddeler geri kazandırılmaktadır. Ayrıca ömrünü tamamlamış atık lastikler ilçe belediyeleri tarafından toplanarak çeşitli tasarım ve peyzaj uygulamalarında da kullanılmaktadır. 2016 yılında kentte 2443 kg ÖTL beyanı yapılmıştır. LASDER Lastik Sanayicileri Derneği İktisadi İşletmesi tarafından, 01 Ocak 2019-31 Aralık 2019 tarihleri arasında, ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) toplama ve taşıma işlerini Van için 'Umut Atık Toplama' ve 'Mesut Emek İletişim' isimli firmaların yapacağı belirlenmiştir.

3.6. Tıbbi Atıklar

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2010-2014 verilerine göre (Çizelge 4) hasta başına çıkan ortalama tıbbi atık miktarı (kamu-özel-üniversite hastaneleri) 2010 yılında 0,20 kg, 2012 yılında 0,20 kg ve 2014 yılında 0,19 kg'dır [23]. Bu atık oranı gelişmiş ülkelerde, hasta başına 1,1 ile 1,2 kg olup bunun yaklaşık 0,4 ile 0,5 kg'ı tehlikeli atık özelliğindedir [24].

Çizelge 4. Türkiye'de hasta başına çıkan ortalama tıbbi atık miktarı [23]

Sağlık kurumu	Tıbbi atığı yerinde ve ayrı toplanan kuruluş sayısı			Tıbbi atık miktarı (kg/yıl)			Hasta başına ortaya çıkan ortalama tıbbi atık miktarı (kg/gün)		
	2010	2012	2014	2010	2012	2014	2010	2012	2014
Sağlık bakanlığı	866	869	894	322,63	303,83	752,83	0,14	0,14	0,13
Özel hastaneler	470	515	538	806,81	542,31	910,51	0,25	0,27	0,28
Üniversite hastaneleri	62	65	66	837,11	82,71	831,71	0,72	0,56	0,53
Toplam	1398	1449	1498	966,55	928,86	495,07	0,20	0,20	0,19

Çizelge 4'ten elde edilen veriler den de anlaşılacağı üzere Türkiye'nin tıbbi atık miktarının gelişmiş ülkelerdeki kadar yüksek olmadığı ancak artan insan nüfusu ve buna bağlı olarak artacak hasta sayısı da göz önüne alındığında tıbbi

atıkların yönetiminin oldukça önemli bir yere sahip olduğu açıktır.

Van İli, merkez Tuşba İlçe'si, Bey Üzümlü Mah., Özalp yolu üzeri hoş geldik mevkiindeki Rohan

temizlik peyzaj otm.tic.ve san. Ltd. Şti tarafından kurulan tıbbi atık sterilizasyon tesisi 2009 yılında faaliyete alınmıştır (Şekil 6). Yaklaşık 3000 m² alana kurulu olan tesise Şırnak ve Hakkâri illerinden gelen tıbbi atıklar sterilize edilmektedir.



Şekil 6. Tıbbi atık sterilizasyon tankı (sol), Tesis içi genel görünüm (sağ)

Kent merkezindeki tıbbi atık üreten tüm kuruluşlardan (Çizelge 5) her gün, kentteki diğer ilçelerden ortalama haftada 3 defa (Pazartesi, Çarşamba ve Cuma) tıbbi atık toplanmaktadır.

Çizelge 5. Kent merkezinde bulunan ve Tıbbi atıkların toplamının gerçekleştiği kuruluşlar ve sayıları [17]

Kurum Adı	Sayısı
Acil sağlık hizmeti kurumu	28
Toplum sağlık merkezi	14
Aile sağlık merkezi	83
Devlet hastanesi	9
Dal Hastanesi	1
Ağız-Diş Sağlığı Merkezi	1
Tıp Fakültesi	1
Diş Hekimliği Fakültesi hastanesi	1
Özel Hastane	4
Ağız Diş Sağlığı polikliniği	34
Diş Protez Laboratuvarı	14
Biyokimya Laboratuvarı	1
Eczane	143
İşitme Merkezi	6
Optik İşletmesi	16
Güzellik Salonu	8
Röntgen Görüntüleme merkezi	5
Özel Muayene	119
Ecza Deposu	5

Günlük 8-10 ton atık sterilizasyon kapasiteli tesiste işlemler Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine uygun olarak yürütülmektedir. Toplanan tıbbi atıklar öncelikle radyoaktivite ölçer cihazlar ile kontrol edilerek tartıldıktan sonra tesise tıbbi atık toplayan toplam lisanslı araçlar (6 adet) ile getirilmektedir, tesis girişinde tekrar radyo aktifliği ölçülen atıkların kontrolü yapıldıktan sonra radyoaktif içerikli atıkların tesise girişi engellenmektedir. Tesise girişi sağlanan tıbbi atıklar 150 °C'deki su buharı ile sterilize edilmektedir. Sterilize edilip evsel atık niteliği kazandırılan atıklar kentte bulunan vahşi depolama alanına taşınarak bertaraf edilmektedir. Tesiste bir günde yaklaşık 2,5-3 ton arasında tıbbi atık sterilizasyonu yapılmaktadır. Van Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı tarafından rutin olarak tesisin proses işleyişi, çalışanların periyodik eğitim çizelgeleri ve tıbbi atık yönetim planları denetlenmektedir. Ayrıca çalışanların sağlık kontrollerinin yapıp yapılmadığı, sterilizasyon işleminin geçerliliği ve sterilizasyon cihazının basınç/sıcaklık değerlerinin uygunluğu da denetlenmektedir. Sterilizasyon işleminin verimliliği hususunda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 3 ayda bir 'biyolojik indikatör testi' neticesinde ve tesis içinde yapılan 'kimyasal indikatör testi' sonucunda tesisin %99,99 oranında mikrobiyolojik faaliyetleri durdurduğu sonucuna varılmıştır. Tıbbi atık sterilizasyon tesisinin henüz faaliyete geçmediği 2009 yılının ilk yarısına kadar diğer evsel atıklardan ayrı bir şekilde kireçle gömme yöntemine göre bertaraf edilmekte idi. Çizelge 6'da 2010-2017 yılları arasında kentte toplanan tıbbi atık miktarları gösterilmiştir [17].

Çizelge 6. Van İli'nde yıllara göre tıbbi atık miktarı (ton) [17]

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
972	822	977	828	892	1196,3	989,7	907,6

Çizelge 6'da görüldüğü gibi 2010-2017 yılları arasında toplanan tıbbi atık miktarları dalgalanma gösterse de kentte yıllık ortalama 800-1000 ton aralığında tıbbi atık toplanmaktadır. Kentte hali hazırda bulunan katı atık vahşi depolama sahasının şehre verdiği zararlardan ötürü (Rüzgarla çöplerin şehre dağılması, deponi sahası yakınında bulunan

yeraltı su kaynaklarına ve yüzey suyu kaynaklarına (Sihke gölü) sızıntıların olması, koku vb.), yeni bir düzenli katı atık deponi sahasının kurulması için 31 Kasım 2018 tarihinde ihale yapılmış ve elektrik enerjisinin de üretilebileceği yeni katı atık entegre tesisi kurulması hususunda Panda Alüminyum A.Ş.-Üreğen Taahhüt İnşaat Mühendislik Danışmanlık Madencilik Sanayi İç ve Dış Tic. Ltd. şirketi ortaklığı işi üstlenmiştir. İki aşamada hayata geçirilmesi planlanan projenin ilk aşamasında mevcut vahşi depolama alanının ıslah edilerek yeşillendirilmesi ve alanın üzeri kapatılarak elde edilen lentfil gazının (Çöp Gazı) elektrik enerjisine dönüştürülmesi planlanmaktadır. İkinci aşamada ise atık alanında Avrupa Birliği (AB) standartlarına uygun entegre tesis kurulacaktır. Ayrıca buraya getirilen organik atıklar, fermantasyon sistemi ile büyük tanklarda 55 °C sıcaklıkta bekletilerek oluşan biyogazdan elektrik enerjisi elde edilecek. Atıklardan geriye kalan malzemelerin ise kompost yapılarak gübre yapımında kullanılması sağlanacak. Bu sayede sıfır atık ile işlemler devam edecek. Tehlikeli atık sınıfına giren tıbbi atıkların ‘tıbbi atık sterilizasyon tesisi’ de sterilize edildikten sonra Tuşba İlçesi, Beyüzümü Mahallesinde yapılacak olan 3,2 milyon m³ düzenli depolama bölümüne sahip olan ‘katı atık entegre tesisi’ ne daha güvenli bir şekilde bertarafı sağlanacaktır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kentte atık madeni yağların neredeyse tamamının geri kazanıldığı, kazanılan atık yağın büyük miktarının tesis içi atık minimizasyonu ile sağlandığı göz önünde bulundurularak ilerleyen yıllarda taşıma, geçici depolama vb. gibi süreçlerden kaynaklanan masrafları minimize etmek ve kent ekonomisine katkı sağlayabilmek adına ‘Atık Yağ Geri Kazanım Tesisi’ kurulumu hususunda gerekli çalışmaların başlatılması çözüm teşkil edebilir. Beslenmenin insanlığın temel ihtiyacı olduğu göz önünde bulundurulduğunda kayıtlara geçen kentten toplanan bitkisel atık yağ miktarının tüketilen bitkisel yağlardan az olması sebebi ile restoran, kafe, devlet kurum ve kuruluşlarının yemekhaneleri, otel, hastaneler vb. gibi yerlerin daha çok teşvik edilmesi, gerek halkın gerekse kurum ve kuruluşların bilinçlendirilmesi

konusunda eğitim ve seminerlerin verilmesi, atık yağ toplama noktalarının kentin tüm ilçe ve köylerine konulması, toplanan atık yağ karşılığında teşvik amaçlı ödüllerin verilmesi gerekmektedir. Bu şekilde geri dönüştürülebilir nitelikli toplanan atık bitkisel yağ miktarı artacak ve biyodizel gibi çevre dostu yakıtlara dönüşümün oranı artacaktır, böylelikle ülke ekonomisine katkı sağlanmış olacaktır. Kentte 2013 yılından 2019 yılına kadar toplanan atık pil ve akümülatörlerin sayısı (edinilen verilere göre) zaman içerisinde artış gösterse de kent nüfusunun 1.123.784 olduğu göz önüne alındığında bu verilerin çerçekte harcanan atık pil ve akümülatör sayısını yansıtmadığı öngörülmektedir. Kentin 2019 yılı planlaması dikkate alındığında atık pil ve akümülatörlerin değerlendirilebileceği tesis kurulmasının söz konusu olmadığı görülmektedir. Bu bağlamda atık pil ve akümülatörlerin kullanımının ve ayrı toplanmasının öneminin kent halkına seminer ve eğitimlerle vurgulanması gerekmektedir. Bilinçlenen halk atık pil ve akümülatörlerin gerçeği yansıtacağı sayıda toplanmasına katkı sağlayacaktır böylelikle taşınabilir türdeki atık pillerin geri dönüşümünden çinko ve çinko bileşikleri, manganez bileşikleri, ferromangan, ferronikel, nikel, kadmiyum ve kadmiyum bileşikleri, lityum, gümüş, kobalt ve büyük kapasiteli birkaç tesiste de az miktarlarda nadir toprak elementlerinin geri dönüştürülmesi mümkün olacak ve ülke ekonomisine pozitif katkı sunulacaktır.

Kentte AEEE işleme tesisi bulunmamasıyla birlikte bu nitelikteki atıklar ömrünü tamamlamış atık elektronik eşyaları toplayan firmalar (Arçelik, Beko, Vestel vb.) dışında bu atık elektronik aletlerin içerisinde bulunan ve tekrar kullanılabilir nitelikteki malzemeleri ayrıştıran şahıs ya da küçük esnaf tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu durumla beraber atık malzemedeki tam bir yeniden kullanımı sağlamamakla beraber AEEE içerisindeki bakır, altın ekipmanların, motor vb. gibi kıymetli sayılabilecek malzemelerin alınması nihayetinde kalan atık, herhangi bir plan ve yönetmelik dışında evsel atık niteliğindeki çöplere atılmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak kontrolsüz ve emniyetsiz tehlikeli atıklar ekolojik döngüye katılmaktadır. Kentteki bu soruna çözüm

olarak ülkemizde çevre mevzuatı kapsamında gerekli izin ve lisansları bulunan firmalar ile iş birliği içerisinde girilerek bir protokol imzalanması ve AEEE'lerin il genelinde etkin toplanması için; büyük şehir belediyesinin, ilçe belediyelerinin çalışmalarını koordine etmesi ve konuyla ilgili yürütülen bilgilendirme ve eğitim faaliyetlerini desteklemesi gerekmektedir. Bu şekilde AEEE'lerin işlenmesinde ana hammadde olarak hurdaya çıkmış işlemciler, atık kablolar ve elektronik kartların işlenerek ihtiva ettikleri değerli metallerin (demir içerikli/altın bakır içerikli malzemeler) külçe, granül veya levha haline getirilmesi ve satışa sunulması mümkün olacak böylece ülke kalkınmasına katkı sağlanarak, kentte tehlikeli atık niteliğinde tehdit oluşturan ve bertarafı bir sorun haline gelen AEEE'ler için bir çözüm üretilmiş olacaktır.

Kentte ÖTL'in geri kazanım tesisi bulunmama birlikte 01 Ocak 2019–31 Aralık 2019 tarihleri arasında, ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) toplama ve taşıma işlerinin kent için lisanslı firmaların yapacağı belirlenmiştir. Ancak kentte trafiğe kayıtlı araç sayısının 2018 Kasım ayı sonu itibarıyla 79.196 olduğu göz önüne alındığında geri dönüşüme dâhil olması gereken daha fazla ÖTL olduğu sonucu çıkmaktadır. Bu hususta Van otomobil sanayi sitesinde ÖTL toplayan ve kendi çabalarıyla yeniden kullanım sağlayan/depolayan kuruluşların bilgilendirilmesi, broşürler ve afişler ile görsel olarak desteklenen eğitimlerle aynı zamanda halkta farkındalık yaratılması, lisanslı araçların ücretsiz ve ayın belirli günlerinde periyodik olarak toplama işlemlerini gerçekleştirmesi ve bu kuruluşların geri dönüşüme katkı sağlamaları neticesinde kg ÖTL başına belirli miktarlarda maddi destek sağlanması gerekmektedir. Bu şekilde ÖTL'in toplanması konusunda halk teşvik edilmiş olacaktır.

Tehlikeli atık sınıfına giren tıbbi atıkların kentte aktif olarak faaliyet gösteren 'tıbbi atık sterilizasyon tesisi' de sterilize edildikten sonra vahşi depolanan bu atıkların sebep olduğu sorun çözülmüş olup yapımına başlanan 'katı atık entegre tesisi' ne daha güvenli bir şekilde bertarafı sağlanacaktır. Kente çevre illerden de tıbbi atık girişinin olduğu göz önüne alındığında kentin

ekolojik döngüye pozitif yönde mühim katkıları olduğu açıktır.

Sonuç olarak kentin geri dönüştürülebilir nitelikli tehlikeli atık potansiyelinin iyi olduğu, büyük şehir belediyesi-Çevre ve Şehircilik Bakanlığı iş birliğinde öncelikli olarak potansiyeli yüksek atık elektrikli-elektronik eşyalar ve atık yağlar için geri dönüşüm tesisinin kurulması faydalı olacaktır. Lisanslı firmalar tarafından toplanan diğer tehlikeli ve geri kazanılabilir nitelikli atıklar için ise şu aşamada eğitici seminer ve atık başına teşvik gibi uygulamalarla bu atıkların toplanma miktarları artırılabilir.

Ayrıca yazarın yapmış olduğu araştırmalara göre Van İli için kentsel nitelikli tehlikeli atık envanteri hakkında kapsamlı bir çalışma mevcut değildir. Ancak kentte kurulmakta olan katı atık entegre tesisi için yapılan evsel nitelikli katı atık envanter çalışmaları mevcuttur. Atıkların envanteri oluşturulurken mevcut durum itibarıyla konutlar, işyerleri vs. şeklinde bir ayrıma gidilmemiştir. Dolayısıyla Van büyük şehir belediyesinin kentsel nitelikli tehlikeli atık kompozisyon çalışması yaparak böyle bir veriyi elde etmesi atık yönetimi konusunda önemli planlar yapılmasının önünü açacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Hill, M.K., 2010. Understanding Environmental Pollution. Cambridge University Press.
2. Schaefer, M.E., 1991. Hazardous Waste Management, Dental Clinics of North America, 35(2), 383-390.
3. Chaaban, M. A., 2001. Hazardous Waste Source Reduction in Materials and Processing Technologies. Journal of Materials Processing Technology, 119(1-3), 336-343.
4. Muralidharan, K., Vasudevan, D., 2011. Performance, Emission and Combustion Characteristics of a Variable Compression Ratio Engine Using Methyl Esters of Waste Cooking Oil and Diesel Blends. Applied Energy, 88(11), 3959-3968.

5. Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği, 2008. Resmi Gazete, Resmî Gazete Tarihi: 30.07.2008 Resmî Gazete Sayısı: 26952.
6. Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015. Resmi Gazete, Resmi Gazete Tarihi: 02.04.2015, Resmi Gazete Sayısı: 29314.
7. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2010. Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Bitkisel Atık Yağların Yönetimi.
8. Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği, 2004. Resmi Gazete, Resmi Gazete Tarihi: 31.08.2004, Resmi Gazete Sayısı: 25569.
9. Öztürk, M., 2005. Pil/Akü Kullanımı ve Atık Piller ile Akülerin Zararları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre ve Orman Bakanlığı, <http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler/piller.pdf>.
10. Ozturk, D., Şahan, T., Dişli, E., Aktaş, N., 2014. Optimization with Response Surface Methodology (RSM) of Adsorption Conditions of Cd (II) ions from Aqueous Solutions by Pumice, Hacettepe Journal of Biology and Chemistry, 42(2), 183-192.
11. Batır, B., 2002. Türkiye için Kullanılmış Lastik Yönetimi Araştırması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 23, İstanbul.
12. Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği, 2006. Resmi Gazete, Resmi Gazete Tarihi: 25.11.2006, Resmi Gazete Sayısı: 26357.
13. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği, 2012. Resmi Gazete, Resmi Gazete Tarihi: 22.05.2012, Resmi Gazete Sayısı: 28300.
14. Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2017. Resmi Gazete, Resmi Gazete Tarihi: 25.01.2017, Resmi Gazete Sayısı: 29959.
15. Yiğit, A., İrak, Z. T., Öztürk, D., Öztürk, E., Alpaslan, D., Şahan, T., Aktaş, N., 2017. Van Gölü Suyunun İyon Karakterizasyonu ile Su Kalitesinin Belirlenmesi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(4), 169-179.
16. Petrol Sanayi Derneği (PETDER), 2012. Selection of the Most Appropriate Technology for Waste Mineral Oil Refining Project, Technical Research Report.
17. Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2018. Van İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu, Çevre Yönetimi ve Denetimi Şube Müdürlüğü Van.
18. Yanmaz, V., 2016. Bitkisel Atık Yağların Yönetimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
19. <https://www.tap.org.tr/campaigns/tap-okul-kampanyasi-2018-van/> (erişim tarihi: 01.04.2019).
20. Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2017. Van İli 2016 Yılı Çevre Durum Raporu, Çevre Yönetimi ve Denetimi Şube Müdürlüğü, Van.
21. Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı, 2016. Türkiye Çevre Durum Raporu, Ankara.
22. <http://www.hurriyet.com.tr/vanda-omrutamamlanmis-lastikler-ekonomiye-kaz-40882146> (erişim tarihi: 01.02.2019).
23. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2015. Sağlık Kuruluşları Atık İstatistikleri, 18781.
24. Akbolat, M., Işık, O., Dede, C., Çimen, M., 2011. Sağlık Çalışanlarının Tıbbi Atık Bilgi Düzeylerinin Değerlendirilmesi, Acıbadem Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Dergisi, 2(3), 131-140.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirimleri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayımlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar**,

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtılabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin (bildirinin veya kitabın) tam başlığı; Makale ise:, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, yıl. Kitap ise: cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, yayımlandığı yıl. Bildiri ise: konferansın adı, yapıldığı yer, yıl. Elektronik ortamdan alınmış ise: Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanmış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı (CD/DVD), yapıldığı yer, yıl. "Konferansın adından hemen sonra parantez içerisinde CD/DVD olduğu belirtilecektir." Tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, yıl. Rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer, yıl. Web Sitesi ise: Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. Kurum/Kuruluşlara ait ise: Kurum adı, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. Elektronik kitap/rapor ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl.

Dergi İletişim Adresleri

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı 01330 ADANA

E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr
Tel: (322) 3387050

cu.mmfdergi@gmail.com
Faks: (322) 3386126

