

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
NEVŞEHİR BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ

Nevşehir Hacı Bektaş Veli University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Nevşehir Journal of Science and Technology

Cilt/Volume : 10
Sayı/Issue : 2
e-ISSN: 2148-4651

Aralık 2021
December 2021

EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK - Nevşehir HBV Üniversitesi sahlan.ozturk@nevsehir.edu.tr
Yardımcı Editor/Co-Editor
Dr.Öğrt Üyesi Musa KAR - Nevşehir HBV Üniversitesi musa.kar@nevsehir.edu.tr
Dil Editörü
Öğrt. Gör. Erçin ÖZZADE- Nevşehir HBV Üniversitesi
Editör Kurulu/ Editorial Board
<u>FİZİK</u>
Prof. Dr. Bayram DEVİREN - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Orhan BAYRAK – Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Gül GÜLPINAR – Dokuz Eylül Üniversitesi
<u>KİMYA</u>
Prof. Dr. Yüksel ALTUN - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Aslıhan KARATEPE - Nevşehir HBV Üniversitesi
<u>BİYOLOJİ</u>
Prof. Dr. Beril AKIN - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Zehra Nur YÜKSEKDAĞ - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Zeliha Leblebici - Nevşehir HBV Üniversitesi
Doç. Dr. Hikmet KATIRCIOĞLU - Gazi Üniversitesi
Assit. Prof. Dr. Adi Jassim Abd Al_Rezzaq - University of Babylon
<u>MATEMATİK</u>
Prof. Dr. Ahmet ARIKAN - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Sezer SORGUN - Nevşehir HBV Üniversitesi
<u>FEN BİLGİSİ EĞİTİMİ</u>
Doç. Dr. Şeyma AKKAYA DEVİREN - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Salih ATEŞ – Gazi Üniversitesi
MÜHENDİSLİK- MİMARLIK
<u>GIDA MÜHENDİSLİĞİ</u>

Prof. Dr. Nesimi AKTAŞ - Nevşehir HBV Üniversitesi
Doç. Dr. Abdullah DİKİCİ – Uşak Üniversitesi
<u>ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ</u>
Doç. Dr. Meryem SEFERİNOĞLU - Sinop Üniversitesi
Prof. Dr. Şükrü ÇELİK – Sinop Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ – Erciyes Üniversitesi
<u>ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ</u>
Prof. Dr. Ersan KABALCI - Nevşehir HBV Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN – Erciyes Üniversitesi
<u>ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ</u>
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK - Nevşehir HBV Üniversitesi
Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA - Nevşehir HBV Üniversitesi
<u>METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ</u>
Prof. Dr. Bülent KURT - Nevşehir HBV Üniversitesi
Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Abdullah ALGAN – Pamukkale Üniversitesi
<u>JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ</u>
Dr. Öğretim Üyesi - Ahmet ORHAN - Nevşehir HBV Üniversitesi
<u>İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ</u>
Dr. Öğretim Üyesi Ömer BİLHAN - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Okan KARAHAN – Erciyes Üniversitesi
<u>BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ</u>
Prof. Dr. Halil İbrahim OĞUZ - Nevşehir HBV Üniversitesi
Doç. Dr. Üyesi M. Cüneyt BAĞDATLI - Nevşehir HBV Üniversitesi
<u>HEMSİRELİK</u>
Dr.Öğrty.Üye. Şefika Dilek GÜVEN

İçindekiler/Contents	Sayfa /Page
Araştırma Makelesi (Research Article) Reçine 3D yazıcı ürünlerinin biyo-uyumluluk incelemesi Biocompatibility investigation of resin 3D printer products Bünyamin ÇİÇEK, Tuna AYDOĞMUŞ , Yavuz SUN,	67-72
Derleme Makalesi (Review Article) Atık Madeni Yağlar ve Yağlı Atıksu Arıtma Yöntemlerine Dair Bir Araştırma A Research on Waste Mineral Oils and Oily Wastewater Treatment Methods Ezgi GÜNEŞ GÜRDAL	73-84
Araştırma Makelesi (Research Article) Döküm Mg+%15Al12Si alaşımının mikroyapı ve sertlik incelemesi Microstructure and hardness investigation of cast Mg-Al-Si alloy Bünyamin ÇİÇEK, Yavuz SUN	85-91
Araştırma Makelesi (Research Article) Co-pyrolysis of Heavy Aromatic Waste and Polystyrene: Analysis of Liquid Product via GC-MS Ağır Aromatik Atık ve Polistirenin Eş-pirolizi: Sıvı Ürünün GC-MS ile Analizi Mesut ARDIÇ, Gamze ÖZÇAKIR, Ali KARADUMAN	92-100
Araştırma Makelesi (Research Article) Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinde Tasarım ve Mevcut Durum Karşılaştırması Comparison of Design and Current Situation of Kayseri Organized Industrial Zone Wastewater Treatment Plant Mehmet KARAKAYA, Hakan DULKADİROĞLU	101-110
Araştırma Makelesi (Research Article) Poliamidoamin Dendrimeri ile Modifiye Edilen Demir Oksit Nanopartiküllerle Hazırlanmış MNPs-G1-Mu Adsorbantı Tarafından Cr(III) İyonlarının Adsorpsiyonunun İncelenmesi Investigation of the Adsorption of Cr (III) Ions by MNPs-G1-Mu Adsorbent Prepared with Iron Oxide Nanoparticles Modified with Polyamidoamine Dendrimer Selma EKİNCİ, Zülfiye İLTER	111-123

<p>Araştırma Makelesi (Research Article)</p> <p>Aritılmış Atıksuların Tarımda Kullanımı ve İnsan Sağlığı Yönünden Risk DeğerlendirmesiA Treated Wastewater Reuse in Agriculture and Its Risk Assessment for Human Health</p> <p>Sümeýra CAN, Hakan DULKADİROĞLU</p>	124-134
<p>Araştırma Makelesi (Research Article)</p> <p>Hastane Çalışanlarının Halkla İlişkiler Uygulamalarına Yönelik Görüşleri: Bir Kamu Hastanesi Örneği Views Of Hospital Personnel On Public Relations Practices: A Public Hospital Sample</p> <p>Gözde YEŞİLAYDIN, Bayram GÖKTAŞ, Deniz Tugay ARSLAN</p>	135-143
<p>Araştırma Makelesi (Research Article)</p> <p>İzmir İli Konak İlçesinde Sıfır Atık UygulamasıA Zero Waste Project and Zero Waste In Konak District of Izmir Province</p> <p>Seval ARAS Berkay ÖLMEZ</p>	144-156
<p>Araştırma Makelesi (Research Article)</p> <p>Yer Karosu Bünye Reçetesine Cüruf Atığı İlavesinin Mekanik ve Fiziksel Özelliklere Etkisinin İncelenmesi Investigation of Effect on Mechanical and Physical Properties by Adding Slag Waste to Floor Tile Body</p> <p>Gamze KARAKEDİ SAKARYA Elif UBAY</p>	157-166
<p>Araştırma Makelesi (Research Article)</p> <p>Çeşitli Gıda Ürünlerinden İzole Edilen Mayalardan Lipit Üretimi Production of Lipids From Yeast Isolated From Various Food Products</p> <p>Mehmet Ali BOZKURT, Şahlan ÖZTÜRK</p>	167-179



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: **10.17100/nevbiltek.1000337**

Geliş Tarihi:27-09-2021

Kabul Tarihi:05-11-2021



Reçine 3D yazıcı ürünlerinin biyo-uyumluluk incelemesi

Bünyamin ÇİÇEK *, Tuna AYDOĞMUŞ ², Yavuz SUN ³,

¹Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri, Çorum

ORCID ID: 0000-0002-6603-7178

²Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Çorum

ORCID ID: 0000-0002-8736-2949

³Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Karabük

ORCID ID: 0000-0002-7336-5591

Öz

Bu çalışmada katmanlı imalat yönteminin bir uygulaması olarak son yıllarda endüstrideki birçok alanda kullanılan reçine 3D yazıcı kullanılmıştır. UV ışın etkisiyle kürlenerek sertleşen reçine yapılar prototip üretiminde önemli rol oynamaktadır. Reçine 3D yazıcı ürünlerinin bu çalışmada biyo konusundaki temel incelemesi yapılmıştır. 3D yazıcıda monomer temelli bir epoksi reçineden üretilen bir numunenin önce SEM incelemesi yapılmış ve sonrasında temel biyo – uyumluluğu üzerine çalışma yapılmıştır. Belirli kürlenme ve son işlem şartlarında üretilen epoksi reçine ürününün temel biyo uyumluluk incelemesi adına üretilen numunelere sitotoksikite testi uygulanmıştır. L929 hücre tipi kullanılarak canlılık takip edilmiş ve ISO 10993-5 standardı çerçevesinde akredite laboratuvar şartlarında deney yapılmıştır. Uygulanan bu deneyin sonucu olarak malzemenin biyo uyumlu olduğu raporlanmıştır. Deney sonucunda canlılık oranı %140 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Epoksi reçine; 3D yazıcı; biyo-uygunluk; sitotoksikite.

Biocompatibility investigation of resin 3D printer products

Abstract

In this study, as an application of the additive manufacturing method, a resin 3D printer, which has been used in many areas in the industry in recent years, has been used. Resin structures that cure and harden with the effect of UV light wavelength play an important role in prototype production. In this study, a basic review of the resin 3D printer products on bio was conducted. A sample produced from a monomer-based epoxy resin in a 3D printer was first analyzed by SEM and then studied on basic biocompatibility. To examine the basic biocompatibility of the epoxy resin product produced under certain curing and finishing conditions, cytotoxicity test was applied to the produced samples. Viability was monitored using L929 cell type and experiments were carried out in accredited laboratory conditions within the framework of ISO 10993-5 standard. As a result of this experiment, it has been reported that the material is biocompatible. As a result of the experiment, the viability rate was obtained as 140%.

Keywords: Epoxy resin; 3D printer; biocompatibility; cytotoxicity.

*Sorumlu yazar: cicekbunyamin78@gmail.com

1. Giriş

Katmanlı imalatın temel çalışma prensibi ile ürün üretebilen reçine tipi 3D yazıcılar son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. Reçine 3D yazıcılar; klasik filaman üzerinden eritme yaparak ürün elde eden 3D yazıcıların aksine daha iyi yüzey kalitesi ve daha hassas bir geometrik form sağlamaktadır [1, 2]. Bu yüzden hassas döküm alanında kalıp olarak ve/veya hızlı üretilmek istenen prototiplerin imalatında kullanılmaktadır [1, 3]. Son yıllarda bu epoksi reçine yapılar biyo alanda modelleme ve/veya direk ürün üretiminde kullanılmaktadır [4, 5].

Bazı monomer ve polimerler belli adhesif etkilerle ve/veya aktivatör yapılarla bulunan formlarından daha katı yapılara dönüşebilmektedirler [1]. Bu etkiler sıcaklık, güneş ışığı, yapay ışınlar, lazer ışınları ve özel sıvılar olabilmektedir [6]. UV ışınını aktivatör bir etki olarak kabul eden özel reçine sıvılarına belli sürelerde verilen ışın bu reçinenin katlaşmasını sağlamaktadır [7]. UV ışını ile kürlenene bu yapılar katmanlı şekilde bir form oluşturabilmektedir [7, 8]. Çünkü UV ışını ile katlaşan ve dolayısıyla kürlenene bu yapılar bir sonraki aşamada tekrar katlaşmaya uygun olamazlar [9]. Böylece katmanların μm seviyesinde oluşması uygulanabilir duruma gelmektedir [9, 10]. Böylece çizim olarak hazırlanan ürünün μm hassasiyetinde üretilmesi mümkün olmaktadır [11].

UV ışınını bir LCD ekran üzerinden “*g-code*” yardımı ile kontrollü şekilde sağlayabilen reçine 3D yazıcılar bu işlemden son yıllarda başarılı bir süreç izlemişlerdir [3, 8]. Her katmanın çizimden gelen detaylarını μm ölçüsünde UV ışın demetine ve eşit dalga boyuna çeviren sistemler bir makine halini almıştır [3]. Böylece üretim hızı artmış ve hassasiyet üst seviyelere ulaşmıştır [10, 11].

Reçine 3D yazıcı ürünleri hızlı prototipleşme konusunda son yıllarda kullanılmaktadır. Bu hızlı prototipleşme süreci biyo, uzay ve havacılık konularında endüstride kolaylık sağlamaktadır [5, 12, 13]. Bu ürünlerin hammaddesi olan epoksi reçineler ise biyo uyumlu malzemeler olarak bilinmektedir [14-16]. Bu yüzden bu çalışmanın amacıyla bu iki temel olgunun (hızlı prototip + biyo uyum) birleştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada reçine sıvısı üzerinden UV ışını ile katılaştırma yapabilen bir 3D yazıcı kullanılmıştır. Belirlenen UV ışını dalga boyu, ışın bekleme süresi, katman kalınlığı gibi parametrelerin kontrol edilmesi ile dikdörtgen prizmatik bir ürün üretilmiştir. Numunenin katmanlı durumunu izlemek adına SEM incelemesi yapılmıştır. Son olarak üretilen ve kürlenene numunenin biyo uygunluğunu tespit edebilmek için sitotoksitesite testi yapılmıştır. Sonuç olarak katmanlı imalat yöntemi ile üretilen numunenin 1/1 konsantrasyonda % 140 seviyesinde % canlılık gösterdiği tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmamızda kullanılan Creality LDR-002 marka reçine 3D yazıcı ve Dokuz Kimya tarafından üretilen Alias model genel amaçlı epoksi reçine Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan reçine 3D yazıcı ve sıvı reçine

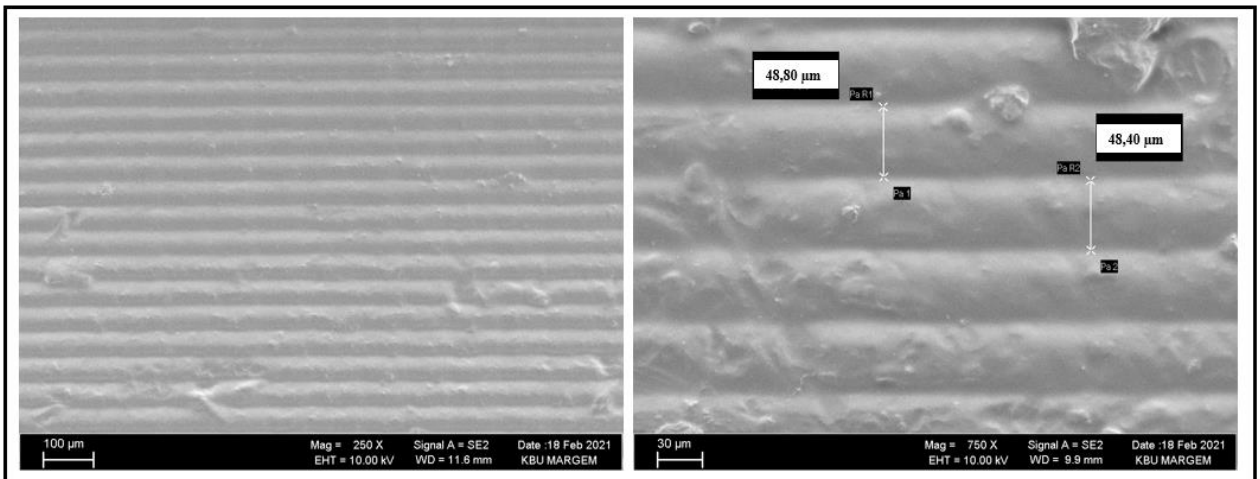
Numunelere uygulanacak SEM ve sitotoksisite testlerinin uygulanmasına imkân veren 10x10x20 mm ölçülerinde numuneler üretilmiştir. Çizimler ve yazıcıya aktarma işlemlerinde cihaz firmasına ait “*chitubox*” yazılımı kullanılmıştır. Üretilen numunelerde 5 s bekleme süresi ile her basamakta 50 µm katman kalınlığı oluşturulmuştur. Başlangıçtaki ilk 10 katmanda yüzeye tutunması amacıyla bekleme süreleri 10 s olarak uygulanmıştır. Numuneler de %100 doluluk seviyesi kullanılmıştır. Bu yöntemle 10 adet numune üretilmiş ve geometrik formu korunan yapılar incelemeye alınmıştır. Elde edilen numuneler pH oranı 8 olarak ölçülen bir temizleme sıvısında yıkamaya tabi tutulmuştur. Son olarak numuneler 395-400 nm dalga boyuna sahip bir UV LED lamba altında karanlık ortamda askı pozisyonunda 600 s kürlenmiştir.

Son aşamada numune SEM çalışmasına alınmak üzere Quorum Q150R ES marka kaplama cihazında 180 s sürede Pt metali ile kaplanmıştır. SEM incelemesinde farklı büyütmelerde katmanlar izlenmiştir ve rapor edilmiştir.

Numunenin biyo uygunluğu üzerine akredite laboratuvarında sitotoksisite deneyi uygulanmıştır. Test sırasında ISO 10993-12 standardına göre özütlenme yapıldı [17]. Numuneler standartta belirtilen miktarda tartılarak serum içermeyen hücre kültürü ortamı içerisinde 24 saat ve 37C şartlarında 50 rpm hızda salınım yapan su banyosunda bekletildi. Bu özütlenme işlemi sonrasında özüt 24 saat içerisinde kullanıldı. Deney elde edilen özüt ile devam ettirilmiştir. Uygun besi yerinde hücrelerin çoğalması üzerine % canlılık oranı farklı konsantrasyon derecelerinde rapor edilmiştir. İşlemden önce hücre hattı olarak L929 cilt altı bağ dokusu hücresi (Fibroblast) ve “*American Type Culture Collection (ATCC)*” kullanılmıştır. Deneyde hücre vasatı ise “*DMEM (1gr/L glukoz)+L-Glutamin+pirivat+fetal bovine serum+penisilin+streptomisin*” bileşimi olarak uygulanmıştır. Deney sırasında rapor edildiğine göre pozitif kontrol olarak doğal kauçuk kullanılırken negatif kontrol için PE polimeri işleme alınmıştır. Pozitif ve negatif kontrollerde oluşan koloni sayımları dikkate alınarak numunenin % canlılık oranı elde edilmiştir. Sitotoksisite testi akredite olarak hizmet veren Hitit Üniversitesi HÜBTUAM araştırma merkezinde yaptırılmıştır.

3. Bulgular

Epoksi reçinenin UV ışını ile katılaştırılması sonucu elde edilen numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 2’de farklı büyütmelerde verilmiştir. Katman kalınlıkları da SEM ortamında ölçülmüştür.

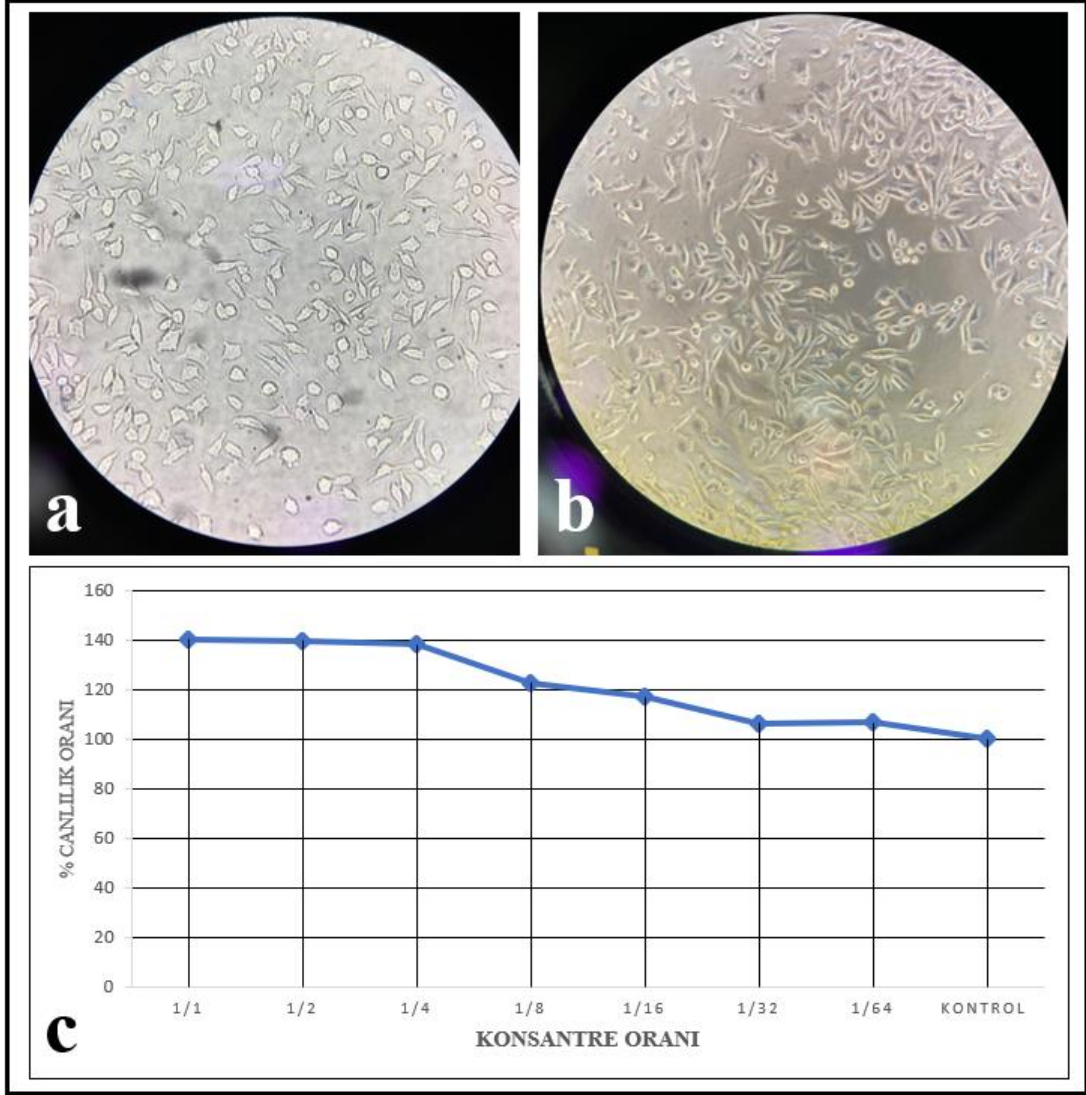


Şekil 2. Farklı büyütmelerde katmanlı numunenin SEM görüntüleri ve katman kalınlığı ölçümü

Numuneler üzerinden alınan SEM görüntülerinde yüzeyin temiz ve harici bir yapı olmaksızın oluştuğu görülmüştür. Katman kalınlıklarının birbirine yakın kalınlık miktarı gösterdiği izlenmiştir. 50 µm olarak hazırlanan

çizimlerde %5 oranında katman kalınlığı farkı olduğu görülmektedir. Katmanların birbirine boşluksuz bağlandığı ve süreklilik izlediği sonucuna varılmıştır.

Biyo uygunluk incelemesi sonucunda elde edilen preparat hücre görüntüsü ve % canlılık oranlarını gösteren grafik Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Sitotoksisite testi sonuçları (a) Deney öncesi preparat görüntüsü, (b) Deney sonrası preparat görüntüsü ve (c) % canlılık oranı

Sitotoksisite deneyi sonrasında elde edilen preparat görüntülerine göre hücre miktarının artışı net olarak izlenmektedir. % canlılık oranı ise 1/1 konsantrasyon ortamında %140 seviyesine kadar çıkmıştır ve hücrelerin çoğaldığı görülmüştür. İçerisinde epoksi reçine bekletilen çözeltinin herhangi bir toksik etki oluşturmadığı sonucuna varılmıştır. “TS EN ISO 10993-5/EK-CMTT Sitotoksisite Deneyi” standardı detaylarına göre % canlılık %70 ve üzeri değer gösterdiğinde yapı biyo uyumlu kabul edilmektedir [18]. Buradan yola çıkarak deney süresince belirtilen şartlarda üretilen epoksi reçinenin bu şartlarda uygulanan sitotoksisite testi çerçevesinde biyo uyumlu olduğu sonucu elde edilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Gelişen teknolojinin içinde yer alan katmanlı imalat teknolojisi aşamasında kullanılan epoksi reçine ürünler bu çalışmada belirli şartlarda üretilmiştir. Üretilen numuneler malzeme bilimi açısından incelenmiş ve biyo uyumlulukları üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Numunelerin üretimi sonrasında elde edilen SEM resimlerine bakıldığında literatürde yer alan bazı makalelere göre benzer mikro görüntüler elde edilmiştir [2, 3, 7, 19]. Katmanlar arası birleşmelerin sürekli ve boşluksuz oluşması da kabul edilebilir bir üretim şartı uygulandığını göstermektedir. Epoksi reçine ile üretilen numunelere uygulanan sitotoksisite testi sonucunda yapının uygulama standardına göre biyo uyumlu olarak raporlandığı görülmüştür. Sitotoksisite testinin biyo uyumluluk üzerine verdiği sonuçlar göz önünde bulundurularak çalışmada hazırlanan numunelerinde biyo ortamlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [4, 18, 19].

Bu çalışmada genel sonuç olarak belirtilen şartlarda üretilen katmanlı imalat ürünü epoksi reçinenin biyo uyumlu olduğu görülmüştür. Böylece basit yöntemlerle biyo uyumlu yapıların üretimi ve/veya modellenmesi bu tip 3D yazıcılarla yapılabilecektir.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

Çalışmanın hazırlanması aşamasında yazarlar; **B.Ç.:** Deneğin düzenlenişinin hazırlanması, laboratuvar çalışmaları, raporlama **T.A.:** Deneğin düzenlenişinin hazırlanması, laboratuvar çalışmaları, mizanpaj, raporlama, **Y.S.:** Raporlama ve yorumlama görevlerinde bulunmuşlardır.

6. Kaynaklar

- [1] Weng, Z., Zhou, Y., Lin, W., Senthil, T., Wu, L., "Structure-property relationship of nano enhanced stereolithography resin for desktop SLA 3D printer", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 88, 234-242, 2016
- [2] Liska, R., Schuster, M., Inführ, R., Turecek, C., Fritscher, C., Seidl, B., Schmidt, V., Kuna, L., Haase, A., Varga, F., "Photopolymers for rapid prototyping", *Journal of Coatings Technology and Research*, 4, 505-510, 2007
- [3] Joseph, V. S., Calais, T., Stalin, T., Jain, S., Thanigaivel, N. K., Sanandiya, N. D., Y Alvarado, P. V., "Silicone/epoxy hybrid resins with tunable mechanical and interfacial properties for additive manufacture of soft robots", *Applied Materials Today*, 22, 100979, 2021
- [4] Zahedi-Tabar, Z., Bagheri-Khoulenjani, S., Mirzadeh, H., Amanpour, S., "3D in vitro cancerous tumor models: Using 3D printers", *Medical hypotheses*, 124, 91-94, 2019
- [5] Mehmet, G., "Biyomedikal Mühendisliğinde Kullanım Amaçlı 3D Yazıcı Geliştirilmesi", *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2, 85-92, 2018
- [6] Can, A., Aslan, İ., "Katmanlı üretim ile elde üretilmiş kum döküm kalıpların incelenmesi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 1269-1282, 2018
- [7] Borrello, J., Nasser, P., Iatridis, J. C., Costa, K. D., "3D printing a mechanically-tunable acrylate resin on a commercial DLP-SLA printer", *Additive manufacturing*, 23, 374-380, 2018
- [8] Postiglione, G., Natale, G., Griffini, G., Levi, M., Turri, S., "Conductive 3D microstructures by direct 3D printing of polymer/carbon nanotube nanocomposites via liquid deposition modeling", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 76, 110-114, 2015
- [9] Shah, S., Megat-Yusoff, P., Karuppanan, S., Choudhry, R., Ahmad, F., Sajid, Z., Gerard, P., Sharp, K., "Performance comparison of resin-infused thermoplastic and thermoset 3D fabric composites under impact loading", *International Journal of Mechanical Sciences*, 189, 105984, 2020
- [10] Trofimov, A., Le-Pavic, J., Ravey, C., Albouy, W., Therriault, D., Lévesque, M., "Multi-scale modeling of distortion in the non-flat 3D woven composite part manufactured using Resin Transfer Molding", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 106145, 2020
- [11] Zhang, Y., Yin, M.-J., Ouyang, X., Zhang, A. P., Tam, H.-Y., "3D μ -printing of polytetrafluoroethylene microstructures: A route to superhydrophobic surfaces and devices", *Applied Materials Today*, 19, 100580, 2020

- [12] Chatwin, C., Farsari, M., Huang, S., Heywood, M., Young, R., Birch, P., Claret-Tournier, F., Richardson, J., "Characterisation of epoxy resins for microstereolithographic rapid prototyping", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15, 281-286, 1999
- [13] Dziubek, T., Oleksy, M., "Application of ATOS II optical system in the techniques of rapid prototyping of epoxy resin-based gear models/Zastosowanie systemu optycznego ATOS II w technikach szybkiego prototypowania modeli kol zebatych otrzymywanych na bazie żywicy epoksydowej", *Polimery*, 62, 44-53, 2017
- [14] Huang, T.-H., Yang, J.-J., Li, H., Kao, C.-T., "The biocompatibility evaluation of epoxy resin-based root canal sealers in vitro", *Biomaterials*, 23, 77-83, 2002
- [15] Cintra, L. T. A., Benetti, F., De Azevedo Queiroz, Í. O., Ferreira, L. L., Massunari, L., Bueno, C. R. E., De Oliveira, S. H. P., Gomes-Filho, J. E., "Evaluation of the cytotoxicity and biocompatibility of new resin epoxy-based endodontic sealer containing calcium hydroxide", *Journal of endodontics*, 43, 2088-2092, 2017
- [16] Çelebi, A., Tosun, H., Önçağ, A. Ç., "Hasarlı bir kafatasının üç boyutlu yazıcı ile imalatı ve implant tasarımı", *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1, 27-35, 2017
- [17] Wallin, R. F., "A Practical Guide to ISO 10993-12: Sample Preparation and Reference Materials", *MDDI: Los Angeles, CA, USA*, 1998
- [18] Wallin, R. F., Arscott, E., "A practical guide to ISO 10993-5: Cytotoxicity", *Medical Device and Diagnostic Industry*, 20, 96-98, 1998
- [19] Elomaa, L., Keshi, E., Sauer, I. M., Weinhart, M., "Development of GelMA/PCL and dECM/PCL resins for 3D printing of acellular in vitro tissue scaffolds by stereolithography", *Materials Science and Engineering: C*, 110958, 2020



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi (Review Article)

Makale Doi: 10.17100/nevbiltek.1005367

Geliş Tarihi:06-10-2021

Kabul Tarihi:18-11-2021



Atık Madeni Yağlar ve Yağlı Atıksu Arıtma Yöntemlerine Dair Bir Araştırma

Ezgi GÜNEŞ GÜRDAL

Lubratech Endüstriyel Yağlar ve Kim. Mad. San. Tic. A.Ş., Kocaeli, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-0311-1350

Öz

Endüstriyelleşme ile birlikte dünyadaki madeni yağ talebi her geçen gün büyük artış göstermektedir. Bu artış çeşitli kaynaklara göre ortalama olarak yaklaşık 36 milyon ton/yıldır. Artan talep atık yağın artışına sebep olmaktadır ve insan sağlığı ile çevre için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu tehdidi önlemek için yağ atıklarının bertarafının kontrollü bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada madeni yağ üretimi, çeşitleri ve yağ içeren atıksuların bertaraf yöntemleri araştırılmıştır. Elde edilen literatür sonuçlarına göre atık yağ ile kirlenmiş suların arıtımında kullanılan en etkili yöntemler elektrokoagülasyon ve membran filtrasyonudur. Membran filtrasyonunda ise membran gözenek çapı azaldıkça arıtım verimi artış göstermiştir. Uygun koagülant seçimi yapılan elektrokoagülasyon yöntemi ve membran filtrasyonunda nanofiltrasyon yada hibrit sistemler kullanıldığında yüzde yüze varan giderim verimleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte tek başına uygulanan konvansiyonel yöntemlerin giderim verimleri, ileri arıtım teknolojileri ve hibrit sistemlere göre daha düşüktür.

Anahtar Kelimeler: Atık yağ; elektrokoagülasyon; flotasyon; madeni yağ; membran filtrasyonu.

A Research on Waste Mineral Oils and Oily Wastewater Treatment Methods

Abstract

With industrialization, the demand for mineral oil in the world is increasing day by day. According to various sources, this increase is approximately 36 million tons/year on average. Increasing demand causes an increase in waste oil and poses a significant threat to human health and the environment. In order to prevent this threat, the disposal of oil wastes should be done in a controlled manner. In this study, mineral oil production, types and disposal methods of oil-containing wastewater were investigated. According to the results of the literature, the most effective methods used in the treatment of waste oil-contaminated water are electrocoagulation and membrane filtration. In membrane filtration, the treatment efficiency increased as the membrane pore diameter decreased. Removal efficiencies of up to one hundred percent were determined when nanofiltration or hybrid systems were used in membrane filtration and electrocoagulation method with appropriate coagulant selection. However, the removal efficiencies of conventional methods applied alone are lower than advanced treatment technologies and hybrid systems.

Keywords: Electrocoagulation; flotation; membrane filtration; mineral oil; waste oil.

*Sorumlu yazar: ezgi.gurdal@lubratech.com.tr

1. Giriş

Madeni yağlar, farklı viskoziteye sahip olan mineral veya petrol esaslı olmayan yağlara, talep edilen koşulları karşılamak amacıyla seçilen çeşitli katkı maddelerinin katılmasıyla elde edilen yağlardır. Aşınma, paslanma, köpük önleyici katık, viskozite ayarlayıcı, yüksek basınca dayanıklılık gibi fiziksel ve kimyasal özellikler kazandıran performans katıklarının harmanlaması sonucu elde edilmektedir [1]. Mineral yağlar petrolden elde edilir. Sentetik yağlar ise kimyasal sentezler sonucunda elde edilen yağlardır [2].

Günümüzde madeni yağ endüstrisine talep gün geçtikçe artmaktadır. Madeni yağ endüstrisi önemli, karlı ve bir o kadar da karmaşık bir sektör olarak bilinmektedir. Dünya çapında büyükten küçüğe değişen üreticiler sayesinde 90'lı yıllarda Avrupa'da 300'den fazla ve dünyada 1700' den fazla yağlayıcı olmasına rağmen bu sayı her yıl %50 oranında artış göstererek, dünya çapında madeni yağların kullanım oranları artmıştır [3]. 2011 yılında dünyada 35,1 milyon ton yağlayıcı tüketilirken bu sayının Avrupa'da 7 milyon ton civarında olduğu kaydedilmiştir [2]. Yağlayıcıların tüketim alanlarına göre dağılımları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yağlayıcıların tüketim alanlarına göre dağılımları [4]

Kullanım yeri	Tüketim oranı (%)
İçten yanmalı motor	42
Dışli Yağları	7
Kimyasallar	10
Gresler	3
Deniz Yağları	10
Diğer endüstriyel yağlayıcılar	28

Günümüzde madeni yağ kullanımının artması atık madeni yağ miktarını da artırmaktadır. Kullanılmış madeni yağın geri dönüşümü ile dünya çapında güç kaynaklarının korunması iyi bilinen bir alternatiftir. Atık madeni yağlar genel olarak otomotiv, tarım endüstrisi, makina sanayi, tekstil endüstrisi ve enerji dağıtım ağından elde edilmektedir. Endüstriyel yağlama amaçlı kullanılan ve/veya kullanım ömrü tamamlanmış yağlar, atık yağ olarak açığa çıkmaktadırlar ve çevreye zarar vermeden bertarafı yada geri kazanımı gerekmektedir. Madeni yağ endüstrisinde çok miktarda su kullanılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkan atıksu miktarı da fazla olmaktadır. Sudaki bu yağ, en önemli ve alıcı ortamdaki en zor uzaklaştırılan kirleticilerden biridir. Bu yağlar çevreye gelişigüzel bırakıldığında ciddi çevre sorunlarına sebep olmaktadır. Endüstriyel işletmelerde ise mineral yağın çoğunu geri kazanmak ve suyu yeniden kullanabilmek için arıtmak en önemli unsurdur [1].

2. Madeni Yağlar

2.1. Madeni Yağların Üretimi

Baz yağlar, madeni yağların ham maddesini oluşturmaktadır ve ham petrolün rafinerilerde atmosferik olarak işlenmesi ve uygulanan çeşitli yöntemlerle elde edilmektedir. Madeni yağ sektöründe taleplere uygun olarak üretilen çok çeşitli markalar mevcuttur. Kullanım yerlerine ve istenilen performansa göre farklı viskoziteli baz yağlar elde edebilmek için, farklı katkı maddeleri ile modifikasyon yapılmaktadır. Baz yağlara korozyon önleyici katıklar, oksidasyon önleyici katıklar, deterjan katıkları, dispersan katıklar, köpük önleyici katıklar, pas önleyici katıklar, akma noktası düşürücü katıklar ve viskozite geliştirici katıklar eklenmektedir [5]. Ancak tüm madeni yağların ham maddesi aynı olmasına rağmen, talebe uygun gerçekleştirilen katık maddesi sentezi sebebiyle bu yağlar arasında belirgin farklar mevcuttur. Bu farkların iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi tercih edilen baz yağların kimyasal özelliklerinin farklılığı ile kullanılan katık maddelerinin cinsidir. İkincisi ise kullanılan katık madde miktarlarının farklı olmasıdır [6].

2.2. Madeni Yağların Sınıflandırılması

Madeni yağlar, grup (Grup I, Grup II, Grup III, Grup IV ve Grup V), baz stok (mineral bazlı yağlayıcılar, sentetik yağlayıcılar, yarı sentetik yağlayıcılar ve biyo-bazlı yağlayıcılar), ürün tipi (motor yağı, şanzıman ve hidrolik sıvısı, metal işleme sıvısı, genel endüstriyel yağ, dişli yağı, gres, proses yağı ve diğer ürün çeşitleri), son kullanıcı sanayi (enerji üretimi, otomotiv ve diğer taşımacılık, iş makinaları, yiyecek ve içecek, metalurji ve metal işleme, kimyasal imalat ve diğer son kullanıcı endüstrileri) ve coğrafyaya (Asya-Pasifik, Kuzey Amerika, Avrupa, Güney Amerika, Orta Doğu ve Afrika) göre sınıflandırılmaktadır (Tablo 2) [7].

Tablo 2. Madeni yağların sınıflandırılması [7]

Baz Yağları	Baz Stok	Ürün Tipine Göre	Son Kullanıcı Sanayi	Coğrafyaya Göre
<ul style="list-style-type: none">• GRUP I• GRUP II• GRUP III• GRUP IV• GRUP V	<ul style="list-style-type: none">• Mineral Bazlı Yağlayıcılar• Sentetik Yağlayıcılar• Yarı Sentetik Yağlayıcılar• Biyo-bazlı yağlayıcılar	<ul style="list-style-type: none">• Motor Yağı• Hidrolik yağı• Metal İşleme Sıvısı• Genel Endüstriyel yağlar• Dişli yağları• Gres• Proses Yağları	<ul style="list-style-type: none">• Enerji Üretim• Otomotiv• İş Makineleri• Metalurji ve Metal İşleme• Kimyasal İmalat	<ul style="list-style-type: none">• Asya-Pasifik• Kuzey Amerika• Avrupa• Güney Amerika• Orta Doğu• Afrika

Mineral bazlı yağlar, ham petrolden elde edilir. Her molekülünde 30 karbon atomu bulunan hidrokarbon içerir. Dünya çapında oldukça fazla kullanılan ekonomik ve popüler bir yağlayıcıdır. Viskozite indeksi yüksektir. Hayvansal yağlar, bitkisel yağlar ve sentetik yağlayıcılar ile karıştırılarak kullanılabilir. Sülfür içeriği ve kimyasal formuna göre (alifatikler (a-Parafinik, b-Naftanik) ve aromatikler) iki grupta sınıflandırılır [8]. Sentetik yağlar ise, kimyasal sentez yöntemleriyle elde edilen petrol esaslı olmayan yağlardır. Sentetik yağlar, düşük sıcaklık, minimum sürtünme gibi özelliklere sahip olması açısından oldukça fazla kullanılan bir yağ çeşididir. Düşük sıcaklıkta yüksek akışkanlık özelliğine sahip olup çok yüksek sıcaklıkta ise incelmeme gibi avantajları mevcuttur. Çalışılabilir sıcaklık aralığının ve oksidasyonunun yüksek olması kullanım ömrünün de yüksek olmasını sağlamaktadır. Bu özellikleri ve yüksek basınç dayanımı mineral yağlara oranla bir üstünlük sağlamaktadır. Başlıca sentetik baz yağlar; polialfaolefin (PAO), alkali aromatik, polibütan, alifatik diester, polyeşter, polialken glikol ve fosfat esterleridir [5].

Sentetik yağların ham maddesi olan sentetik baz yağ, ileri teknolojik yöntemlerle elde edilebildiğinden dolayı yüksek maliyetlidir. Bu nedenle sentetik yağlar mineral yağlara göre daha pahalıdır ve geri kazanımının sağlanması ekonomik açıdan avantaj sağlamaktadır.

Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği'ne göre atık yağlar, A ve B olmak üzere iki gruba ayrılmıştır [9]. Yönetmeliğe göre metallerin ve plastiklerin fiziki ve mekanik yüzey işlemlerinden ve biçimlendirilmesinden kaynaklanan atıklar, atık hidrolik yağlar, atık yalıtım ve ısı iletim yağları, yağ/su ayırıcısı içerikleri ile atıkların fiziksel/kimyasal arıtımından kaynaklanan atıklar A grubunda, atık motor ile şanzıman ve yağlama yağları ise B grubunda yer almaktadır. Ayrıca yönetmeliğe göre, toplam klor (mg/kg), toplam (Mg, Na, Ba, Cu, B, Pb, Mn, Ni, Si, Al, As, Cd, Ca, Fe, P, Zn, Cr, Sn) (mg/kg), arsenik (As) (mg/kg), kadmium (Cd) (mg/kg), krom (Cr) (mg/kg), kurşun (Pb) (mg/kg), glikol (mg/kg), poliklorlu bifeniller (PCB) (mg/kg), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) (% (m/m)), viskozite indeksi, doymuş hidrokarbon içeriği (% (m/m)), hidrokarbon içeriği (% (m/m)), kükürt içeriği (% (m/m)), parlama noktası (°C), akma noktası (°C), uçuculuk (%), asit sayısı (mg KOH/g), baz sayısı (mg KOH/g) ve su (mg/kg) atık yağların analizindeki parametrelerdir [9].

2.3. Atık Madeni Yağların Çevresel ve Sağlık Etkileri

Atık madeni yağlar, çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehdit unsurudur. İçeriğinde yüksek miktarda yağ, renk ve KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) içermektedir [10]. Bu sebeple, madeni yağ atıklarının bertarafının kontrollü bir şekilde

yapılması gerekmektedir. Kontrolsüz deşarjlar, su, toprak ve hava kirliliğine yol açarak çevre, insan ve diğler canlıların sağlığı için ciddi tehlikelere sebep olmaktadır.

Ham petrolün içeriğinde yağlayıcılar ve petrokimyasal ürün türevleri bulunmaktadır. Petrol ürünlerinden açığa çıkan atıksu, toksik etkisi ve arıtılabilirliğinin zor olması gibi sebeplerden dolayı sucul çevre için kirletici özelliği en yüksek olan atıksudur [11].

Atık yağlar kullanıldığı yere bağlı olarak değışen miktarlarda ağır metaller içerebilir. Ham ağır metaller ve işlem gördükten sonra ağır metallerin bozunmuş yapısı biyolojik olarak arıtma yapan tesisler için ek bir kirlilik yükü oluşturmakta ve arıtımda ek ünitelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yağlama yağları, her şeyden önce kullanıldığı alana uygun olmalıdır. Yağ sızıntısı, yağ buharı görünümü ve kasıtlı ya da yanlışlıkla dökülme gibi uygun olmayan depolama koşullarında atık yağlar ciddi derecede tehlike meydana getirmektedir. İnsan sağlığına ek olarak petrol sızıntısı aynı zamanda mali kayıplara da yol açmaktadır.

Yağlama yağları herhangi bir biçimde potansiyel olarak insan sağlığına ve çevreye zarar verebilmektedir. Yağlayıcılarda her şeyden önce doğru yağın doğru yerde kullanılması çok önemlidir. Buna rağmen kontaminasyon tehdidiyle insan sağlığı için risk oluşturması olası bir problemdir. Gerekli önlemler alınmadığı taktirde yağ sızıntısı, yağ buharı, dökülme gibi sebeplerden dolayı uzun süre atık madeni yağa maruz kalan kişilerde nefes darlığı, ciltte kanser, ciltte pigmentlerin bozukluğu (renk gitmesi), egzamatik sorunlar, deride ve yağ bezlerinde çürükler, araç sürütülerinde sinir sisteminde titreme, baş ağrısı, yağ ve benzinle 5-35 yıl arası çalışanlarda akciğer ve bronşlarda dinlenmeyi önleyici olumsuzluklar, kanserojen etki, ayak tabanında siğiller ve anemi gibi belirtiler meydana gelmiştir.

Ekotoksik özelliklerinden dolayı, atık yağ içeren atıksular deşarj alanını kirleterek burada bulunan canlıların yaşamsal faaliyetlerinin sona ermesine ve yüzeyde birikerek alıcı ortamdaki oksijenin azalmasına sebep olur. Böylece insan ve çevreye verdiği zararların yanı sıra atık su arıtma tesislerine de zarar verir ve işletme maliyetini artırarak ekonomik kayıp oluşturur.

Yağ içeren atıksuların arıtma tesisinde oluşturduğu problemler ise biyolojik arıtım faaliyetlerinde rol oynayan mikroorganizmaların yüzeylerini kaplayarak aktivitelerini engellemesi, parçalanmaya karşı direnç oluşturması, çamur çürütücülerde aşırı köpüklenmeye sebep olması ve filtrasyonda filtre gözeneklerini tıkeleyebilmesi olarak sıralanabilir.

3. Atık Madeni Yağların Geri Kazanımı ve Yağ İçeren Atıksuların Bertaraf Yöntemleri

3.1. Atık Madeni Yağların Geri Kazanımı

Madeni yağlar kullanım amacına bağlı olarak çeşitli katkı maddeleri ile muamele edilerek piyasada tüketilmektedir. Madeni yağların kullanımı sonucunda içeriğinde bulunan katkı maddeleri ve yağın yüksek ısıda işlem görmesi nedeniyle oluşan safsızlıkların geri kazanım işlemleri vasıtasıyla giderilmesi gerekmektedir. Yağ katkı maddeleri genel olarak; antioksidant (yükseltgenme önleyici), dispersing (homojenasyon), antiwear (aşınma önleyici), antirust (pas önleyici), detergents (köpük kesici), extreme pressure (yüksek basınç) şeklinde süksinimidler, aminler, poliüre, fosfatlar, fosfonatlar, naftenatlar, sülfonatlar şeklinde çeşitli kükürt, kurşun, çinko, sodyum, silisyum vb. organometalik bileşiklerden oluşmaktadır.

Atık yağlama yağlarının geri dönüşümü uzun yıllardan beri süregelen bir işlemdir ve esas olarak baz yağları ile bağlantılıdır. Oluşan çevre sorunları ile birlikte geri dönüştürülmüş yağın kalitesinin artırılması ve yağ hacimlerini arttırmak amacıyla atık yağ arıtımına ilgi oldukça artış göstermektedir.

Bazı özel endüstriyel yağlar, kaynağında kolayca ayrılır ve yeniden kullanıma hazır hale getirilir. Bunun için tipik işleme yöntemleri, filtreleme, su veya uçucu bozunma ürünlerinin vakum altında uzaklaştırılmasıdır. Kaynağında geri kazanılamayan yağlar için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Asit/kil arıtımı bunlardan bir tanesidir [12, 13]. Fakat

arıtım esnasında kullanılan kimyasalların tehlike oluşturmaması ve geri kazanımda istenilen verimi sağlamaması gibi nedenlerle yerini yeni teknolojilere bırakmıştır. Bir başka yöntem olan çözücü ekstraksiyonu yönteminde, atık yağdan baz yağı çıkarabilmek için propan gibi çözücüler kullanılmaktadır. Katıkları içeren yüksek kaynama noktalı asfaltik bir kalıntı oluşmakta ve baz yağ bu kalıntıdan geri kazanılmaktadır. Ayrılan baz yağ için düşük şiddette asit/kil muamelesi, tek başına kil muamelesi yada hidrofinisaj (hidrolik sonlandırma) işlemi ile bitirme yapmak gerekebilir [14]. Bir diğer yöntem distilasyon/kil arıtımı yöntemidir. Yüksek vakum altında ince film damıtma ile asfaltik kalıntıdan gaz yağı, yağlayıcı yağı, katkı maddeleri ve kirleticiler uzaklaştırılır. Kil işlemi ile bitirme yapılır ve baz yağın %70-80'i geri kazanılır [15]. En yüksek kalitede baz yağın elde edildiği diğer yöntem ise distilasyon/hidroarıtım yöntemidir [16]. Ön işlem ve ince film damıtımından sonra baz yağ fraksiyonu hidroarıtıma tabi tutulur. Son bir damıtma adımı uygulandığında %90-95'e varan baz yağ geri kazanılır. Tüm bu geri kazanım yöntemlerinden sonra, düşük kaynama noktalı distilat, gaz yağı ve tehlikeli olmayan asfaltik kalıntı yan ürün olarak açığa çıkar. Oluşan emisyon ve atık buhar sınırlıdır. Distilasyon/hidroarıtım ile geri kazanılan baz yağlar diğer yöntemlere göre daha kalitelidir. İşletme maliyeti yüksek olmasa da ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve vasıflı işletim gerektirmesi dezavantajlarından [17].

3.2. Yağ İçeren Atıksuların Bertaraf Yöntemleri

Geri kazanımı sağlanamayan ve atıksu içerisine karışan yağlayıcıların arıtımında kullanılan başlıca yöntemler elektrokimyasal arıtım, membran filtrasyonu, biyolojik arıtım, adsorpsiyon, flotasyon (yüzdürme), flokülasyon ve kimyasal koagülasyon (ultrasonla dağılmış nano ölçekli sıfır değerlikli demir parçacıkları, titanyum dioksit, vakumlu ultraviyole ve doğal mineraller) ve birden fazla yöntemin uygulandığı hibrit teknolojilerdir.

Elektrokimyasal arıtımda elektrokoagülasyon ve elektroflokülasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Flokülasyon süspansiyon oluşturma, koagülasyon ise çöktürme esasına dayanmaktadır [18]. Flokülasyon işlemi, mineral işlemeden kaynaklanan bir ayırma yöntemidir. Su ve atık su için kullanılan flokülasyon, yüzdürme ile karşılaştırıldığında daha geniş uygulamalarda kullanılmaktadır. Aynı zamanda ağır metal içeren madeni yağ atıklarında da flokülasyon işlemi uygulanabilir ki, bu durumda devreye elektroflokülasyon yöntemi girer.

Flotasyon işlemi, basit yağ tutucular, çözülmüş hava flotasyonu (CHF), dispers hava yüzdürmesi ve vakum yüzdürmesi olmak üzere dört farklı biçimde uygulanabilmektedir. Basit yağ tutucularda, atıksu belirli bir alıkonma süresine tabi tutulur ve sudan daha küçük yoğunluğa sahip yağ partikülleri yoğunluk farkına bağlı olarak yüzeyde toplanır. Ardından toplanan yağlar flotasyon yöntemi ile yüzeyden uzaklaştırılır. Diğer sistemlerde ise, atıksu içine hava kabarcıklarının yollanarak, yağ partiküllerinin yoğunluklarının azaltılması ve yüzeye doğru yol alması ve yüzeyde toplanması sağlanır.

CHF yönteminde öncelikle atıksuyun pH'ı dengeye getirilir. Ardından koagülant eklenerek basınçla mikrobaloncuk ardından da partikül ve hava kabarcık kümelerinin köpük haline gelmesi sağlanır. Oluşan köpük, mekanik sıyrıcı ile yüzeyden alınır. Yağ depolama bölgesine gönderilir. Tekrar koagülant uygulanarak ağırlaşan partiküllerin dibeye çökmesi sağlanır.

CHF'nin uygulandığı bir çalışmada yağlı atıksu bir limanın akaryakıt tesisi yağından temin edilmiş olup sırasıyla asit kraking, CHF ve aktif çamur üniteleri kullanılarak %98 oranında yağ-gres giderimi sağlanmıştır [19]. Wang, çöktürme ve flotasyon uygulayarak yağ içeren atıksudan %90 oranında yağ giderimi sağlamıştır [20]. Sıyrıcı flotasyonunun uygulandığı bir çalışmada rafineri yağına arıtım uygulanmıştır. Zhu ve Zheng bu çalışmada %81,4 yağ giderimi elde etmişlerdir [21]. Sentetik endüstriyel yağ üzerinde CHF yöntemini uygulayan Al-Shamrani ve diğ. %90 oranında yağ giderimi sağlamışlardır [22, 23].

Lin ve Wen 2003 yılında geliştirdikleri ve CAX adını verdikleri kompozit malzemesini kullandıkları koagülasyon yönteminde yağ endüstrisi atıksuyundan %98 oranında yağ giderimi sağlamışlardır [24]. Koagülant olarak çinko silikat ve poliakrilamidin kullanıldığı bir çalışmada rafineri yağında %99 [21] ve poli alüminyum çinko silikat klorürün kullanıldığı başka bir çalışmada ise %71,8 olarak yağ giderimi tespit edilmiştir [23, 25]

Elektrokimyasal arıtım ile yapılan çalışmalarda Körbahti ve Artut elektrokimyasal reaktörde Pt/Ir anotları ve demir katotları kullanmış, temizlik maddesi, solvent, yağlayıcı ve hidrolik yağ içeren sintine sudan %93,2 [26], Ngamlerdpokin ve diğ. kimyasal ve elektrokoagülasyon ile protonasyon uyguladıkları bitkisel yağdan oluşan biyodizelden %99,36 [27] Jaruwat ve diğ. kimyasal arıtım ve elektrokimyasal arıtım (Ti/RuO₂) uyguladıkları ham biyodizelden %98 [28], Sekman ve diğ. Al elektrotları uyguladıkları elektrokoagülasyon metodunda çamur, kirli balast suyu, atık yağ karışımı içeren sintine sudan %80 [29], Ahmadi ve diğ. polialüminyum klorür ile elektrokoagülasyon uyguladıkları biyodizel fabrikasından temin ettikleri karışımdan %100 [30] ve Xu ile Zhu, elektrokoagülasyon uyguladıkları restoran atıksuyundan %95 [31] oranında atık yağı giderebilmişlerdir [18].

Membran filtrasyon yönteminde ise membran materyali olarak polimer yada seramik seçilerek genel olarak mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz yöntemleri uygulanmaktadır.

Membran filtrasyonu ile yapılan çalışmalarda ise Sun ve diğ. biyofilm ve membran biyoreaktör (MBR) konfigürasyonundan oluşan arıtım ünitesinde gri su, siyah su ve sintine su içeren gemi atıksuyunu arıtarak %98,9 [32], Soltani ve diğ. hollow fiber (HF) propilen (PP) membran kullanarak membran biyoreaktör ünitesinde yüksek oranda tuz, yağ ve deniz sedimenti içeren atıksuyu arıtarak %100 [33], Salahi ve diğ. çapraz akışlı membran filtrasyonunda beş farklı polimerik membran kullanarak (2 mikrofiltrasyon (MF) polisülfon (PSf), 2 ultrafiltrasyon (UF) poliakrilonitril (PAN), 1 UF PSf) Amerikan Petrol Endüstrisi'nden temin ettikleri atıksudan %97,2 [34], Nandi ve diğ. kaolin, kuvars, feldspar, sodyum karbonat, borik asit ve sodyum metasilikat maddelerinden düşük maliyetli ürettikleri seramik membranlar ile sentetik sudan yapılan yağ-su arıtımında %98,8 [35], Yang ve diğ. kaolin/MnO₂ çift katmanlı kompozit dinamik membran olarak porlu seramik tübüler membran kullandıkları çalışmalarında kerosen, yüzey aktif madde ve musluk suyu içeren bir karışımdan %99 [36], Abadi ve diğ. tübüler seramik MF membran kullanarak Amerikan Petrol Endüstrisi'nden temin ettikleri yağlı atıksudan %85 [37], Mittal ve diğ. hidrofilik seramik polimerik kompozit membran kullanarak bir rafinerideki ham petrolden %93 [38], Pendashteh ve diğ. polivinilden florür (PVDF) ve poliamid (PA) polimerlerini kullanarak bir petrol yatağından aldıkları su ve hipersalin yağlı sentetik atıksu karışımından %98,9 [39], Madaeni ve diğ. hidrofilik MF-UF polimerik membran kullanarak yağlı atıksu ve gaz yağını karıştırdıkları atıksudan %95 [40], Noshadi ve diğ. ise farklı basınç ve farklı çıkış hızlarında UF PSf membranlar ile arıtım sağlamışlar ve yağ, gres, sabun, renkli bileşenler, deterjan, sodyum fosfat, sodyum silikat gibi mineral bileşenleri içeren karışımdan %97'lik [41] yağ giderimi elde etmişlerdir. Karakulski ve Marawski ise PVDF polimeri kullanarak UF membranla %98, nanofiltrasyon (NF) membranla ise %100 oranında arıtım gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları atıksu, bakır fabrikası atıksuyudur ve içeriğinde askıda katı maddeler, yağ, yağlayıcılar ve bakır iyonları bulunmaktadır [18, 42]. MF uygulanan çalışmalardan birinde ham petrol ve musluk suyunun 10 dakika boyunca 5000 rpm hızında karıştırılmasıyla oluşturulan atıksu için karbon bazlı membran ile ekstrüzyon yöntemi ve karbonizasyon uygulanması sonucunda %97 [43] ve zeolit/seramik çapraz akışlı membran sisteminde dinamik membran filtrasyonunun uygulandığı bir çalışmada ise yağlayıcı, distile su ve yüzey aktif madde karışımından %99 [44] oranında yağ giderimi elde edildiği belirlenmiştir [23].

Yağ içeren atıksuların bertarafında uygulanan biyolojik arıtımda, mikroorganizmalar vasıtasıyla biyoçözünür organik maddelerin yıkımına dayanan bir lipaz enzimi üretim aşaması söz konusudur. Adsorpsiyon yönteminde polipropilen, aktif karbon ve kitosan bazlı poliakrilamid adsorbent olarak kullanılabilir [18].

Biyolojik olarak yağ içeren atıksuların arıtımı için yapılan çalışmalarda Song ve diğ. mantar lipazı sergileyen tam hücreli bir katalizör yapısı kullanmıştır ve aktif çamur ünitesinde arıtım sağlayarak glukoz, pepton ve fosfat içeren sentetik yağlı sudan %96,9 [45], Dumore ve Mukhopadhyay aktif çamur ünitesinde triasilgliserin lipaz kullanarak adsorpsiyon hidrolizine dayalı çalışmalarında yağlayıcı üreten bir şirketin atıksuyundan %48 [46], Tang ve diğ. Bio-Amp adı verilen bir biyolojik katkı maddesi kullanarak (nütrient karışımı, beş adet *Pseudomonas* ve *Bacillus* zincirli) bir üniversitenin yemekhanesinden temin ettikleri atıksudan %40 [47], Zhao ve diğ. konvansiyonel aktif çamur ünitesi kullanarak batık biyolojik havalandırma vasıtasıyla bir petrol sahasının drenaj kuyusundan %95 [48], Xie ve diğ. küçük ölçekli sabit film biyolojik havalandırma filtre vasıtasıyla bir rafineri tesisinin atıksuyundan %94 [49], İbrahim ve diğ. biyosorbent kullanarak standart mineral yağ, su ve emülgatör içeren atıksudan adsorpsiyon yöntemiyle %90 [50] ve Srinivasan ve Viraraghavan biyokütle kullanarak uyguladıkları biyosorpsiyon sonrasında standart mineral yağ, bitkisel yağ ve kesme yağı karışımından %99'a [51] varan oranda yağ giderimi sağlamıştır. Nopcharoenkul ve diğ. *Pseudoxanthomonas* sp. RN402 kullanarak uyguladıkları biyobozunma ile dizel yağın %89'unu ve ham petrol yağının %83'ünü [52], Chanthamalee ve diğ. ise *Gordonia* sp. JC11 bakterisi ile biyolojik bozunma uygulayarak petrollü hidrokarbon içeren sintine suyun %50'sini [53] biyolojik arıtım yöntemleri ile arıtmayı başarmışlardır [18]. Ayrıca havalandırma biyolojik filtrasyon reaktörü vasıtasıyla yapılan bir çalışmada %94 oranında yağ giderimi sağlanmıştır [48].

Hibrit teknolojilerin kullanıldığı çalışmalar incelenecek olursa, Otadi ve diğ. laboratuvar ölçekli bir çalışmada fiziksel arıtım, kimyasal arıtım (CHF) ve biyolojik arıtım (aktif çamur, durultucu, çöktürme tankı) kombinasyonunu kullanarak bir petrol rafinerisinin atıksuyunda %29,7 [54] ve Rattanapan ve diğ. CHF, asidifikasyon ve koagülasyon ile palmye yağı, yağ mahsulü araştırma-geliştirme biriminden aldıkları biyodizelden %95 [55] arıtım elde ettiklerini belirtmişlerdir. McLaughlin ve diğ. yerçekiminden faydalanarak yağ-su ayırıcısı kullanmış ve liman atığı akaryakıtları, damıtılmış yakıt yağı ve yağ emülsiyon karışımından %97 [56], PAN ve PA polimerleri kullanılarak uygulanan hibrit UF/ters osmoz (RO) membran arıtımı ile Salahi ve diğ. yağlı bir atıksudan %100 [57], hibrit PVDF MF/polietersülfon (PES) UF membranlar ile Masoudnia ve diğ. yağlı bir atıksudan %99,9 [58] ve batık fotokatalitik reaktör vasıtasıyla UV radyasyonu altında PVDF TiO₂ ile Ong ve diğ. ticari kesme yağı ve distile yağ karışımından oluşan sentetik yağlı atıksudan %90'a [59] varan oranlarda yağ giderimi elde etmişlerdir [18]. Literatür çalışmalarına ait olan bilgilerin özeti, Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Literatür özeti

Arıtım Yöntemleri	Atıksu İçeriği	Giderim Verimi
<i>Flotasyon</i>		
CHF	Rafineri yağı	%81,4 [21]
CHF	Sentetik endüstriyel yağ	%90 [22]
<i>Koagülasyon</i>		
Koagülasyon (CAX)	Yağ endüstri atıksuyu	%98 [24]
Koagülasyon (çinkosilikat-poliakrilamid)	Rafineri yağı	%99 [21]
Koagülasyon (polialüminyum çinko silikat)	Yağlı atıksu	%71,8 [23]
Elektrokoagülasyon (Pt/Ir ve Fe)	Temizlik maddesi, solvent, yağlayıcı, hidrolik yağ	%93,2 [26]
Elektrokoagülasyon	Bitkisel yağ karışımı	%99,36 [27]
Kimyasal koagülasyon + Elektrokoagülasyon (Ti/Ru ₂)	Biyodizel	%98 [28]
Elektrokoagülasyon (Al elektrodu)	Çamur, kirli balast suyu, atık yağ karışımından oluşan sintine su	%80 [29]
Elektrokoagülasyon (polialüminyum klorür)	Biyodizel	%100 [30]
Elektrokoagülasyon	Restoran atıksuyu	%95 [31]
<i>Membran Filtrasyonu</i>		

Tablo 3 (Devamı). Literatür özeti

Biyofilm+ MBR	Gemi atıksuyu	%98,9 [32]
MBR (HF PP)	Tuz, yağ, deniz sedimenti içeren karışım	%100 [33]
Çapraz akışlı membran filtrasyonu (MF-UF PS-PAN)	Amerikan Petrol Endüstrisi atıksuyu	%97,2 [34]
Membran filtrasyonu (düşük maliyetli seramik membran)	Sentetik atıksu	%98,8 [35]
Dinamik membran filtrasyonu (kompozit seramik)	Kerosen, yüzey aktif madde, musluk suyu karışımı	%99 [36]
Membran filtrasyonu (hidrofilik tübüler seramik membran)	Amerikan Petrol Endüstrisi atıksuyu	%85 [37]
Membran filtrasyonu (hidrofilik seramik kompozit membran)	Ham petrol endüstrisi	%93 [38]
Membran filtrasyonu (PVDF/PA)	Petrol yatağı + hipersalin içeren yağlı sentetik su	%98,9 [39]
Membran filtrasyonu (hidrofilik polimerik MF-UF membran)	Yağlı atıksu + gaz yağı	%95 [40]
Membran filtrasyonu (UF PSf)	Yağ, gres, sabun, deterjan, sodyum fosfat, sodyum silikat karışımı	%97 [41]
Membran filtrasyonu (UF PVDF-NF PVDF)	Bakır fabrikası atıksuyu	%98 - %100 [42]
Membran filtrasyonu + ekstrüzyon + karbonizasyon	Ham petrol + musluk suyu	%97 [43]
Dinamik çapraz akışlı membran filtrasyonu (zeolit/seramik)	Yağlayıcı + distile su + yüzey aktif madde karışımı	%99 [44]
<i>Biyolojik Artım</i>		
Aktif çamur (mantar lipazı)	Glukoz + pepton + fosfat içeren sentetik atıksu	%96,9 [45]
Aktif çamur (triasilgliserin lipaz) + adsorpsiyon	Yağlayıcı üreten bir şirketin atıksuyu	%48 [46]
Aktif çamur (biyolojik katkı maddesi – Bio-Amp)	Bir üniversitenin öğrenci yemekhanesi atıksuyu	%40 [47]
Konvansiyonel aktif çamur + batık biyolojik havalandırma	Petrol drenajı kuyusu	%95 [48]
Küçük ölçekli biyolojik sabit film havalandırılmalı filtre	Rafineri tesisi atıksuyu	%94 [49]
Biyosorpsiyon	Standart mineral + yağ + emülgatör içeren atıksu	%90 [50]
Biyosorpsiyon	Standart mineral yağ + bitkisel yağ + kesme yağı karışımı	%99 [51]
Biyobozunma (<i>Pseudoxanthomonas</i> sp. RN402)	Dizel – ham petrol	%89- %83 [52]
Biyobozunma (<i>Gordonia</i> sp. JC11)	Petrollü hidrokarbon içeren sintine su	%50 [53]
Havalandırılmalı biyolojik filtrasyon reaktörü	Petrol sahası drenaj kuyusu	%94 [48]
<i>Hibrit Sistemler</i>		
Asit kreaking + CHF + aktif çamur	Liman akaryakıt tesisi	%98 [19]
Çöktürme + flotasyon	Yağ içeren atıksu	%90 [20]
Fiziksel artım + kimyasal artım (CHF) + biyolojik artım (aktif çamur + durultucu + çöktürme tankı)	Petrol rafinerisi atıksuyu	%29,7 [54]
CHF + asidifikasyon + koagülasyon	Palmiye yağı + yağ mahsulü biyodizel	%95 [55]
Yerçekimli yağ-su ayırıcısı	Tersane atık suyu + damıtılmış yakıt yağı + yağ emülsiyonu	%97 [56]
Membran filtrasyonu (UF/RO- PAN/PA)	Yağlı atıksu	%100 [57]
Membran filtrasyonu (MF/UF-PVDF/PES)	Yağlı atıksu	%99,9 [58]
Batık fotokatalitik reaktör + UV (PVDF + TiO ₂)	Ticari kesme yağı + distile yağ karışımı	%90 [59]

4. Tartışma ve Sonuç

Endüstriyel üretimin artmasıyla madeni yağların kullanımı da artmıştır. Hem ekonomik açıdan hem de atık olarak oluşturabilecekleri kirlilik yükü açısından madeni yağlar iyi değerlendirilmeli ve atık oluşumu mümkünse kaynağında önlenmelidir. Ekonomik açıdan incelendiğinde endüstride kullanılan atık yağların uygun yöntemlerle geri kazanımı mümkündür ve geri kazanımdaki amaç madeni yağın esasını oluşturan baz yağı geri kazanabilmektir. Geri kazanım yöntemlerinden en ideali olan distilasyon/hidroartım yöntemi ile atık yağdan %90-95 oranında ve yüksek kalitede baz

yağın elde edilebildiğini söylemek mümkündür. Çevre, insan ve diğer canlıların sağlığı açısından inceleme yapıldığında ise atık yağların sulara karıştığı durumlarda sudaki yağın en yüksek verimlilikle giderildiği yöntemler tercih edilmelidir. Atıksulardan atık yağ giderimi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, en yüksek yağ arıtımını elektrokoagülasyon yöntemi ile nanofiltrasyon (NF) membran ve/veya ultrafiltrasyon/ters osmoz (UF+RO) membran filtrasyonunun sağladığını söylemek mümkündür. Bu arıtım yöntemleri uygulanarak atıksudan %100 oranında atık yağ uzaklaştırılabilmektedir.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

Çalışmaya olan desteklerinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Sevgi GÜNEŞ DURAK'a teşekkürlerimi sunarım. E.G.G.: Literatür taraması ve makale yazımı.

6. Kaynaklar

- [1]. Tetteh, E. K., Rathilal, S., "Effects of a polymeric organic coagulant for industrial mineral oil wastewater treatment using response surface methodology (RSM)," *Water SA*, 44(2), 155–161, 2018.
- [2]. Gosalia, A., "Sustainability and the Global Lubricants Industry," *The European Lubricants Industry Magazine*, 109, 2012.
- [3]. Tetteh, E. K., Rathilal, S., Chollom, M. N., "Treatment of Industrial Mineral Oil Wastewater-Optimisation of Coagulation Flotation process using Response Surface Methodology (RSM)," *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(23), 13084–13091, 2017. Retrieved from <http://www.ripublication.com>.
- [4]. Özbey, A., Metin, E., (n.d.) "Atık Yağların Yönetimi," *PETDER*, Retrieved November 12, 2021, from <https://www.petder.org.tr/Uploads/Document/02cfc115-a858-49ad-98b0-0c1a0f4c1a8e.pdf?v=636450635310213718>.
- [5]. Neftçi, A., "Petrol Rafineri Tipleri", 2015. Retrieved October 1, 2021, from <http://docplayer.biz.tr/6268450-Petrol-rafineri-tipleri.html>.
- [6]. Rac, A., Vencl, A., "Ecological and Technical Aspects of the waste Oils Influence on the Environment," *Tribology*, 18(1), 2012.
- [7]. Mordor Intelligence, "Lubricants Market | Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021- 2026), 2020. Retrieved October 1, 2021, from <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/lubricants-market>.
- [8]. Hirani, H., *Fundamentals of Engineering Tribology with Applications*. Delhi: Cambridge University Press, 2016.
- [9]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, December 21 "Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği," *Resmi Gazete*, 2019. Retrieved September 28, 2021, from <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/yon-30985at-kyagyonynt-20201224171101.pdf>.
- [10]. O, A. A., Jameel, A. T., Muyubi, S. A., Karim, M. I. A., Alam, and Md. Z., "Removal of Oil and Grease as Emerging Pollutants of Concern (EPC) in Wastewater Stream," *IJUM Engineering Journal*, 12(4), 2011.
- [11]. Aljuboury, D. A. D. A., Palaniandy, P., Abdul Aziz, H. B., Feroz, S., "Treatment of petroleum wastewater by conventional and new technologies - A review," *Global Nest Journal*, 19(3), 439–452, 2017.
- [12]. Emam, E. A., Shoaib, A. M., "Re-refining of Used Lube Oil, II-by Solvent/Clay and Acid/Clay-Percolation Processes," *ARNP Journal of Science and Technology*, 2(11), 2012. Retrieved from <http://www.ejournalofscience.org>.

- [13]. Abu-Ellella, R., Ossman, M. E., Farouq, R. M., Abd-Elfatah, M., “Used Motor Oil Treatment: Turning Waste Oil Into Valuable Products,” *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 7(2015), 57–67, 2015. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.714.8676&rep=rep1&type=pdf>
- [14]. Rincón, J., Cañizares, P., García, M. T., Gracia, I., “Regeneration of Used Lubricant Oil by Propane Extraction,” *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42(20), 4867–4873, 2003.
- [15]. Vural, U. S., “Waste Mineral Oils Re-Refining with Physicochemical Methods,” *Turkey Turkish Journal of Engineering (TUJE)*, 4(2), 62–69, 2020.
- [16]. Kumar, S., Bajwa, N. S., Rana, B. S., Nanoti, S. M., Garg, M. O., “Desulfurization of gas oil using a distillation, extraction and hydrotreating-based integrated process,” *Fuel*, 220, 754–762, 2018.
- [17]. Betton, C. I., “Lubricants and Their Environmental Impact,” In R. Mortier, M. F. Fox, & S. T. Orszulik (Eds.), *Chemistry and Tech of Lubricants* (3rd ed., pp. 435–457). London: Springer Science and Business Media B.V., 2010.
- [18]. Jamaly, S., Giwa, A., Hasan, S. W., “Recent improvements in oily wastewater treatment: Progress, challenges, and future opportunities,” *Journal of Environmental Sciences*, 37, 15–30, 2015.
- [19]. Erol Nalbur, B., Karaelli, E., “Petrol İçeren Atıksuların Arıtılabilirliği ve Arıtım Sisteminin Tasarlanması,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt*, 24(1), 231–242, 2019.
- [20]. Wang, T., “Improve the efficiency of the sewage settling tank degreasing with flotation,” *Oil-Gasfield Surface Engineering*, 26(7), 26–27, 2007. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85006561078&origin=inward&txGid=b99ec0606118e5822166ec9311914c42>.
- [21]. Zhu, D. H., Zheng, Z. H., “Application of MAF Air Flotation Technology in Refinery Wastewater Treatment,” *Environment Protection in Petrochemical Industry*, 25(3), 16–18, 2002. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85006575501&origin=inward&txGid=d01d192f641769264835456a2a95560e>.
- [22]. Al-Shamrani, A. A., James, A., Xiao, H., “Separation of oil from water by dissolved air flotation,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 209(1), 15–26, 2002.
- [23]. Yu, L., Han, M., He, F., “A review of treating oily wastewater,” *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1913–S1922, 2017.
- [24]. Lin, Z. S., Wen, W., “Study on Oily Wastewater Treatment with CAX Composite Coagulator,” *Mar. Environ. Sci.*, 22, 15–19, 2003. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84958168708&origin=inward&txGid=9d3e30509bad1485de31db773650a5b0>.
- [25]. Cong, L. N., Liu, Y. J., Hao, B., “Synthesis and application of PAZSC in oily wastewater treatment,” *Chem. Eng.*, 1(1), 5–9, 2011. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85006629907&origin=inward&txGid=cf2e17382f90cadede3f5c33731ac9ed>.
- [26]. Körbahti, B. K., Artut, K., “Electrochemical oil/water demulsification and purification of bilge water using Pt/Ir electrodes,” *Desalination*, 258(1–3), 219–228, 2010.
- [27]. Ngamlerdpokin, K., Kumjadpai, S., Chatanon, P., Tungmanee, U., Chuenchuanom, S., Jaruwat, P., ... Hunsom, M., “Remediation of biodiesel wastewater by chemical- and electro-coagulation: A comparative study,” *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2454–2460, 2011.
- [28]. Jaruwat, P., Kongjao, S., Hunsom, M., “Management of biodiesel wastewater by the combined processes of chemical recovery and electrochemical treatment,” *Energy Conversion and Management*, 51(3), 531–537, 2010.

- [29]. Sekman, E., Top, S., Uslu, E., Varank, G., Bilgili, M. S., "Treatment of Oily Wastewater From Port Waste Reception Facilities by Electrocoagulation," *International Journal of Environmental Research*, 5(4), 1079–1086, 2011.
- [30]. Ahmadi, S., Sardari, E., Javadian, H. R., Katal, R., Sefti, M. V., "Removal of oil from biodiesel wastewater by electrocoagulation method," *Korean Journal of Chemical Engineering* 2012 30:3, 30(3), 634–641, 2012.
- [31]. Xu, X., Zhu, X., "Treatment of refractory oily wastewater by electro-coagulation process," *Chemosphere*, 56(10), 889–894, 2004.
- [32]. Sun, C., Leiknes, T. O., Weitzenböck, J., Thorstensen, B., "Development of a biofilm-MBR for shipboard wastewater treatment: The effect of process configuration," *Desalination*, 250(2), 745–750, 2010.
- [33]. Soltani, S., Mowla, D., Vossoughi, M., Hesampour, M., "Experimental investigation of oily water treatment by membrane bioreactor," *Desalination*, 250(2), 598–600, 2010.
- [34]. Salahi, A., Gheshlaghi, A., Mohammadi, T., Madaeni, S. S., "Experimental performance evaluation of polymeric membranes for treatment of an industrial oily wastewater," *Desalination*, 262(1–3), 235–242, 2010.
- [35]. Nandi, B. K., Moparthy, A., Uppaluri, R., Purkait, M. K., "Treatment of oily wastewater using low cost ceramic membrane: Comparative assessment of pore blocking and artificial neural network models," *Chemical Engineering Research and Design*, 88(7), 881–892, 2010.
- [36]. Yang, T., Ma, Z. F., Yang, Q. Y., "Formation and performance of Kaolin/MnO₂ bi-layer composite dynamic membrane for oily wastewater treatment: Effect of solution conditions," *Desalination*, 270(1–3), 50–56, 2011.
- [37]. Abadi, S. R. H., Sebzari, M. R., Hemati, M., Rekabdar, F., Mohammadi, T., "Ceramic membrane performance in microfiltration of oily wastewater," *Desalination*, 265(1–3), 222–228, 2011.
- [38]. Mittal, P., Jana, S., Mohanty, K., "Synthesis of low-cost hydrophilic ceramic–polymeric composite membrane for treatment of oily wastewater," *Desalination*, 282, 54–62, 2011.
- [39]. Pendashteh, A. R., Abdullah, L. C., Fakhru'L-Razi, A., Madaeni, S. S., Zainal Abidin, Z., Awang Biak, D. R., "Evaluation of membrane bioreactor for hypersaline oily wastewater treatment," *Process Safety and Environmental Protection*, 90(1), 45–55, 2012.
- [40]. Madaeni, S. S., Gheshlaghi, A., Rekabdar, F., "Membrane treatment of oily wastewater from refinery processes," *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 8(1), 45–53, 2013.
- [41]. Noshadi, I., Salahi, A., Hemmati, M., Rekabdar, F., Mohammadi, T., "Experimental and ANFIS modeling for fouling analysis of oily wastewater treatment using ultrafiltration," *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 8(4), 527–538, 2013.
- [42]. Karakulski, K., Morawski A. W., "Recovery of process water from spent emulsions generated in copper cable factory," *Journal of Hazardous Materials*, 186(2–3), 1667–1671, 2011. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410016213>.
- [43]. Song, C., Wang, T., Pan, Y., Qiu, J., "Preparation of coal-based microfiltration carbon membrane and application in oily wastewater treatment," *Separation and Purification Technology*, 51(1), 80–84, 2006.
- [44]. Cui, J., Zhang, X., Liu, H., Liu, S., Yeung, K. L., "Preparation and application of zeolite/ceramic microfiltration membranes for treatment of oil contaminated water," *Journal of Membrane Science*, 325(1), 420–426, 2008.
- [45]. Song, H., Zhou, L., Zhang, L., Gao, B., Wei, D., Shen, Y., ... Jiang, Z., "Construction of a whole-cell catalyst displaying a fungal lipase for effective treatment of oily wastewaters," *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 71(3–4), 166–170, 2011.

- [46]. Dumore, N. S., Mukhopadhyay, M., "Removal of oil and grease using immobilized triacylglycerin lipase," *International Biodeterioration & Biodegradation*, 68, 65–70, 2012.
- [47]. Tang, H. L., Xie, Y. F., Chen, Y. C., "Use of Bio-Amp, a commercial bio-additive for the treatment of grease trap wastewater containing fat, oil, and grease," *Bioresource Technology*, 124, 52–58, 2012.
- [48]. Zhao, X., Wang, Y., Ye, Z., Borthwick, A. G. L., Ni, J., "Oil field wastewater treatment in Biological Aerated Filter by immobilized microorganisms," *Process Biochemistry*, 41(7), 1475–1483, 2006.
- [49]. Xie, W., Zhong, L., Chen, J., "Treatment of slightly polluted wastewater in an oil refinery using a biological aerated filter process," *Wuhan University Journal of Natural Sciences* 2007 12:6, 12(6), 1094–1098, 2007.
- [50]. Ibrahim, S., Ang, H.-M., Wang, S., "Adsorptive separation of emulsified oil in wastewater using biosorbents," *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 7(SUPPL. 2), S216–S221, 2012.
- [51]. Srinivasan, A., Viraraghavan, T., "Oil removal from water by fungal biomass: A factorial design analysis," *Journal of Hazardous Materials*, 175(1–3), 695–702, 2010.
- [52]. Nopcharoenkul, W., Netsakulnee, P., Pinyakong, O., "Diesel oil removal by immobilized *Pseudoxanthomonas* sp. RN402," *Biodegradation*, 24, 387–397, 2013.
- [53]. Chanthamalee, J., Wongchitphimon, T., Luepromchai, E., "Treatment of Oily Bilge Water from Small Fishing Vessels by PUF-Immobilized *Gordonia* sp. JC11," *Water, Air, & Soil Pollution* 2013 224:7, 224(7), 1–13, 2013.
- [54]. Otadi, N., Hassani, A. H., Javid, A. H., Khiabani, F. F., "Oily compounds removal in wastewater treatment system of pars oil refinery to improve its efficiency in a lab scale pilot," *Journal of Water Chemistry and Technology* 2010 32:6, 32(6), 370–377, 2011.
- [55]. Rattanapan, C., Sawain, A., Suksaroj, T., Suksaroj, C., "Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation processes," *Desalination*, 280(1–3), 370–377, 2011.
- [56]. McLaughlin, C., Falatko, D., Danesi, R., Albert, R., "Characterizing shipboard bilgewater effluent before and after treatment," *Environmental Science and Pollution Research* 2014 21:8, 21(8), 5637–5652, 2014.
- [57]. Salahi, A., Badrnezhad, R., Abbasi, M., Mohammadi, T., Rekabdar, F., "Oily wastewater treatment using a hybrid UF/RO system," *New pub: Balaban*, 28(1–3), 75–82, 2012.
- [58]. Masoudnia, K., Raisi, A., Aroujalian, A., Fathizadeh, M., "A hybrid microfiltration/ultrafiltration membrane process for treatment of oily wastewater," *New pub: Balaban*, 55(4), 901–912, 2014.
- [59]. Ong, C. S., Lau, W. J., Goh, P. S., Ng, B. C., Ismail, A. F., "Investigation of submerged membrane photocatalytic reactor (sMPR) operating parameters during oily wastewater treatment process," *Desalination*, 353, 48–56, 2014.



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: 10.17100/nevbiltek.999773

Geliş Tarihi:23-09-2021

Kabul Tarihi:02-12-2021



Döküm Mg+%15Al₁₂Si alaşımının mikroyapı ve sertlik incelemesi

Bünyamin ÇİÇEK*, Yavuz SUN²

¹Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri, Çorum

ORCID ID: 0000-0002-6603-7178

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Karabük

ORCID ID: 0000-0002-7336-5591

Öz

Bu çalışmada Mg metaline Al ve Si elementlerinin ilavesi ile bir döküm yapılmıştır. Döküm sırasında atmosfer kontrollü bir fırın kullanılmıştır. Potaya saf Mg metaline ilave olarak ağırlıkça %15 Al₁₂Si ingot alaşımı eklenmiştir. Elde edilen alaşım homojenleştirme ısı işlemi sonrasında numune haline getirilmiştir. Mg-Al-Si üçlü bileşiği şeklinde hazırlanan alaşıma döküm sonrası SEM ile mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Ek olarak alaşıma elementel analiz uygulanmıştır. Son olarak alaşım Vickers tipinde sertlik testi ölçümüne alınmıştır. Elde edilen verilerle alaşım mikro yapısında oluşan intermetalik fazların dağılımı ve yapıları incelenmiştir. Sonuç olarak 116 HV seviyesinde sertlik gösteren seramik partikül takviyeli bir kompozit malzeme üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum; döküm; alaşım; mikroyapı, kompozit.

Microstructure and hardness investigation of cast Mg-Al-Si alloy

Abstract

In this study, a casting was made with the addition of Al and Si elements to Mg metal. Atmosphere controlled furnace was used during casting. In addition to the pure Mg metal, 15% by weight Al₁₂Si ingot alloy was added to the crucible. The obtained alloy was sampled after homogenization heat treatment. After casting, the microstructure analysis of the alloy prepared in the form of Mg-Al-Si ternary compound was carried out by SEM. In addition, elemental analysis was applied to the alloy. Finally, the alloy was measured in Vickers type hardness test. The distribution and structures of the intermetallic phases formed in the alloy microstructure were investigated with the obtained data. As a result, a ceramic particle reinforced composite material with a hardness of 116 HV was produced.

Keywords: Magnesium; cast; alloy; microstructure, composite.

* Sorumlu yazar: cicekbunyamin78@gmail.com

1. Giriş

Yoğunluk değerinin düşük olması sebebiyle Magnezyum (Mg) birçok alanda kullanılan bir metaldir. Ancak Mg elementinin düşük yoğunluğu yanı sıra düşük mukavemet ve sertliği bu elementin alaşımlarını ön plana çıkarmıştır. Mg alaşımları literatürde son yıllarda biyo, uzay ve savunma gibi alanlarda birçok farklı özellikte kullanılmaktadır. Bu kullanım durumlarında saf Mg yerine birçok element ile alaşımlandırılmış malzemeler kullanılmaktadır [1, 2].

Mg elementi genelde Al, Si, Ca, Mn, RE, vb. elementlerle alaşım halini almaktadır. Mg alaşımları standartlara bağlı olarak farklı alaşım elementlerinde farklı harflerle isimlendirilerek kullanılmaktadır (Al=A, Si=S, Ca=X, Mn=M gibi). Örneğin AZ91 alaşımında %9 Al bulunurken %1 oranında Zn yer almaktadır [2-4].

Saf Mg metaline eklenen alaşım elementleri; genelde termal etkiler altında Mg ile alaşım elementi arasındaki denge diyagramlarına göre farklı bileşikler oluşturmaktadır. İkili denge diyagramları yanında üçlü ve daha fazla element ile oluşturulan denge diyagramları da mevcuttur. Elementler arası tepkimelerle oluşan bu fazlar α -Mg içerisinde dağılmış β -fazında ve farklı geometrilere yapılar oluşturmaktadır. Örneğin bir Mg-Al alaşımında sıklıkla β -faz olarak $Mg_{17}Al_{12}$ fazı oluşurken bu faz bir ağ formasyonunda ve tane sınırlarında bir intermetalik olarak yer almaktadır. Bir Mg-Si alaşımında ise genelde oluşan β -Mg₂Si fazı partikül şeklinde ve çok sert bir formda (Si elementinin etkisiyle bir seramik fazı) oluşmaktadır. Böylece alaşım elementlerinin ilavesi ile Mg saf özelliklerinden çok farklı sonuçlar göstermekte ve birçok alanda daha kullanılabilir hale gelmektedir. Bunların sonucu olarak fazların durumu ve geometrik yapıları dikkate alınarak malzemeler alaşım yerine kompozit olarak da adlandırılmaktadır [5-8].

Bu çalışmada AS serisi olarak isimlendirilen ve Mg metaline Al ve Si elementlerinin ilavesi ile oluşturulan bir alaşım üretilmiştir. Bu çalışmanın amacı oluşan fazların durumları ile bir kompozit yapının elde edilmesidir. Bu çalışmada ağırlıkça %85 Mg elementi ile %15 Al₁₂Si alaşımı-bir döküm potasına eklenmiştir. Atmosfer kontrollü bir fırında gerçekleştirilen döküm işlemi sonrasında numunelere mikroyapı durumları için SEM incelemesi, elementel analiz için EDX-XRF ve sertlik testi uygulanmıştır. Sonuç olarak AS14-1 alaşımı üretilmiş ve temel verileri elde edilmiştir. Rapor edilen sonuçlara göre yapı, bu çalışmanın amacında barınan metal matrisli seramik takviyeli bir kompozit olarak üretilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ilk basamakta döküm işlemi CO₂+SF₆ karışım gazı ile ortam oluşturulmuş bir atmosfer kontrollü fırında yapılmıştır. İlk olarak potaya Mg metali şarj edilmiş ve ergime sıcaklığında ilave alaşım (Al₁₂Si) yapıya eklenmiştir. Sıvı metal yüzeyinde cüruf oluşturması için koruyucu flaks [9] yapıları ilave edilmiştir. Döküm fırınında “*in-stu*” sistemle seramik bir kapatıcı kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı 740°C seviyelerinde iken seramik kapatıcı açılarak sıvı metal kalıba aktarılmıştır. Çelikten imal edilen silindirik bir iç boşluğa sahip bir kalıp kullanılmıştır. Çelik kalıp döküm işlemi öncesinde ani soğuma etkisi oluşmaması için 350°C sıcaklıkta tutulmuştur. Kalıp iç boşluğu yine aynı karışım gazı ile doldurulmuştur. Kalıp içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulan döküm ürünü tekrar fırına alınarak 400°C sıcaklıkta 6 saat kadar homojenleştirme için fırında bekletilmiştir. Homojenleştirme sonrası oda sıcaklığına kadar serbest şekilde soğutulmuştur ve 20 mm çapında çubuk numuneler üretilmiştir. Dökümü yapılan malzemelerin ve elde edilen alaşımların makro resimleri Şekil 1’de verilmiştir.



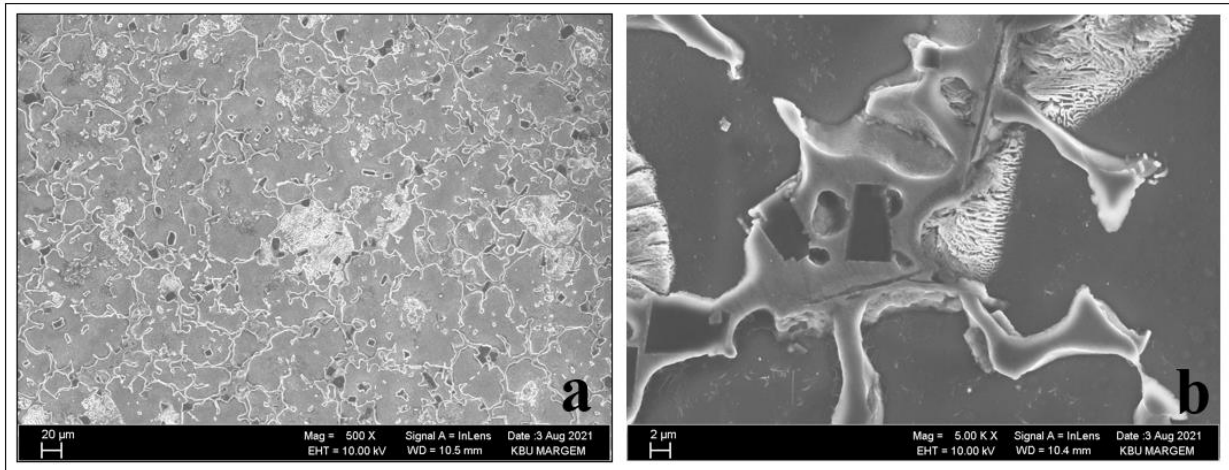
Şekil 1. Döküm malzemeleri ve yeni alaşıma ait makro görüntüler

İkinci aşamada elde edilen yeni alaşım ($Mg+Al_2Si$ / AS14-1) numune hazırlığına alınmıştır. SEM incelemesi için yapı klasik metalografik hazırlığa tabi tutulmuş ve %5 Picral (pikrik asit + alkol) reaktifi ile dağlanmış [6, 10]. Dağlanan yüzeyden farklı büyütme görüntüleri alınmıştır. SEM cihazında bulunan EDX analizi ile farklı fazların elementel analizleri incelenmiştir. Ayrıca numunenin XRF analizi de yapılmıştır.

Deneylerin son aşamasında ise alaşıma 1000gr yük altında 10 s süre ile Vickers sertlik testi uygulanmıştır. Sertlik testi 5 ölçüm olarak ve batma ucu izleri (d) arasındaki minimum mesafe ($>6d$) takip edilerek yapılmıştır [11]. Elde edilen 5 değerlerin ortalaması alınarak rapor edilmiştir. Alaşım elementleri ile yapıda oluşan intermetalik fazların sertlik değerine etkisi incelenmiştir. Batma ucu izi fotoğrafı olarak alınmış ve görüntü analizi ile kırılma tokluğu yorumları yapılmıştır.

3. Bulgular

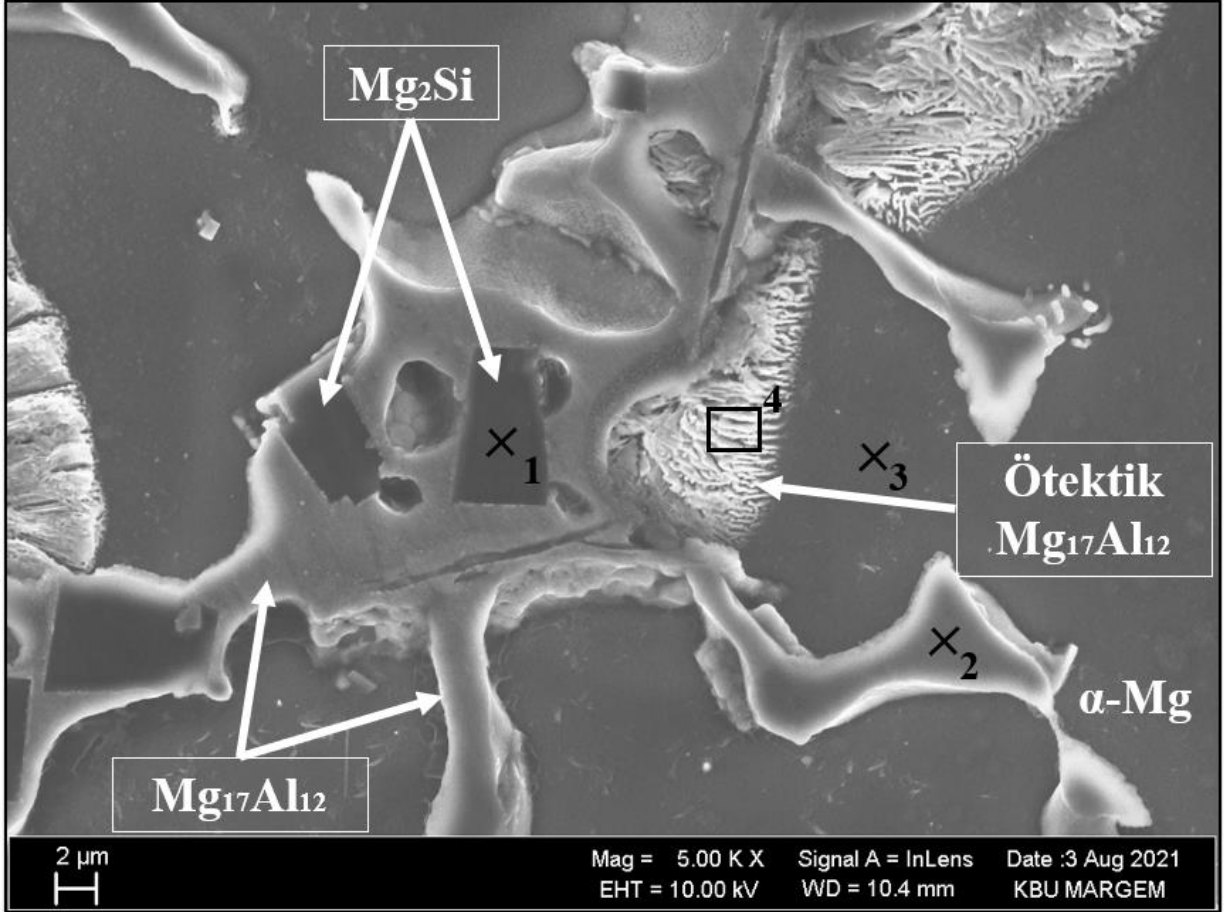
Üretilen AS14-1 alaşımı SEM incelemesine alınmış ve mikro yapılar elde edilmiştir. Seramik partiküllerin ve intermetalik yapıların takibi için farklı büyütme görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Alaşıma ait mikroyapı görüntüleri (a) 500x büyütme ve (b) 5000x büyütme

Mikro yapı incelemesi sonrasında SEM cihazında alınan EDX taraması sonrası elde edilen analiz sonuçları Şekil 3 ve Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’e ek olarak numunenin XRF sonuçları da eklenmiştir. Şekil 3’te Şekil 2b’de verilen yüksek büyütme görüntüsü üzerinden oluşan fazların literatür temelli işaretlemeleri yapılmıştır [6, 8, 12]. Buradan yola

çıkarak yapıda α -Mg temel matrisinin yanı sıra intermetalik yapılar oluşmuştur. İntermetalik yapılar Mg-Al arasında $Mg_{17}Al_{12}$ şeklinde ve Mg-Si arasında Mg_2Si formunda meydana gelmiştir. Ayrıca $Mg_{17}Al_{12}$ fazı yapıyı örümcek ağı formasyonunda sarmalarken Mg_2Si yapısı partiküller halinde homojen şekilde dağılmıştır. Mg_2Si partikülleri genelde $Mg_{17}Al_{12}$ fazı içerisinde veya temas şeklinde oluşmuştur. Son olarak elementel analiz ve mikroyapı görüntüleri incelendiğinde α -Mg içerisinde dağılmış Al elementinin varlığı izlenmiştir.

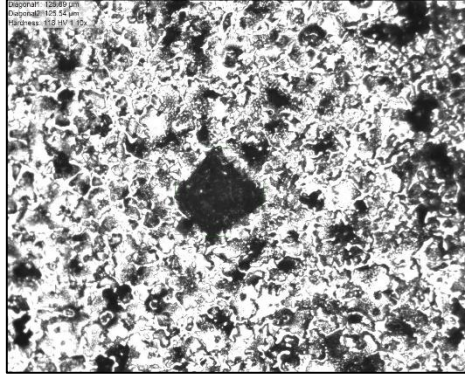


Şekil 3. Yüksek büyütmede fazların durumu ve EDX analiz bölgeleri

Tablo 1. EDX analiz bölgelerinde elementel oranlar ve XRF sonucu

EDX No	Mg	Al	Si
1	51,51	0,41	48,08
2	61,74	38,25	0,01
3	98,13	1,82	0,05
4	76,01	23,65	0,34
XRF	84,33	14,42	1,25

SEM ve EDX incelemeleri sonrasında numuneye sertlik testi uygulanmıştır. Sertlik testi sonucunda ortalama değer $116 \text{ HV}_1 \pm 8$ olarak tespit edilmiştir. Sertlik testi sonucunda oluşan batma ucu izi üzerinden iz köşegenlerinde oluşan veya oluşabilecek çatlakların analizi ile kırılma tokluğu hesaplamaları yapılması bilinen bir yöntemdir [13-15]. Mikro sertlik test yönteminde ve Mg temelli alaşımların sertlik ölçümünde genelde düşük ağırlıklarda ölçüm yapılmaktadır. Ancak bu çalışmada bir Mg alaşımı için yüksek olan 1000 gr. yük kullanılmıştır. Sertlik testinde yüksek yük miktarının kullanılmasıyla sert seramik takviyesinin yapıdaki etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla sertlik testi sonrasında elde edilen bir batma ucu izi Şekil 4'te verilmiştir. Yüksek yük miktarı sonucunda oluşan Şekil 4 incelediğinde iz köşegenlerinde sertlik testi sonrasında bir çatlak formu izlenmemiştir.



Şekil 4. Vickers sertlik batma ucu izi

4. Tartışma ve Sonuç

Mg-Al-Si üçlü alaşımından elde edilen temel incelemeleri kapsayan çalışmamızda SEM, EDX, XRF ve sertlik incelemesi bu raporda sunulmuştur.

SEM incelemesi sonucunda elde edilen mikro yapılarda farklı faz formasyonları görülmüştür. İlk olarak yapıda koyu kontrastta bulunan α -Mg yapısı matris faz olarak bilinmektedir. Çalışmamız bu fazın durumu ile ilgili tutarlılık göstermiştir [8, 16-18].

İncelemeler sonucunda görülen $Mg_{17}Al_{12}$ fazı ise literatürle benzer yönde yapıda homojen şekilde dağılmıştır. Bunun yanı sıra EDX incelemelerinde bu fazın hem ötektik hali hem de ötektik sonrası hali izlenmiştir. Bu faz alaşımda bir ağ formunda iskelet bir yapı şeklinde oluşmuştur. Literatürde benzer alaşımların içerdiği alaşımlar göz önünde bulundurulduğunda çalışmamız benzer sonuçlar vermiştir. Bu faz aynı zamanda intermetalik formda oluştuğu için sertlik değerini arttırdığı bilinmektedir [6, 10, 12, 19].

Mg-Si arasında oluşan Mg_2Si fazı ise yapıda köşeli partiküller şeklinde oluşmuştur. Bazı çalışmalarda bu fazın Si temelli bir yapı olduğu için seramik olarak değerlendirilmesi yapılmıştır [20]. Bu yönden düşünüldüğünde yapı metal matrisli ve seramik partikül takviyeli bir kompozit olarak değerlendirilmiştir [20, 21]. Ayrıca bu faz literatürde çok sert bir faz olarak bilinmekte ve yaklaşık 1000 HV kadar sertlik göstermektedir. Böylece yapıda sertlik değerini arttıran bir değişken olarak bulunmaktadır [6, 8, 10, 17].

Elementel analiz sonuçlarına bakıldığında ise farklı fazlar elementel oranları karşılamaktadır. Ayrıca XRF sonucunda döküm başlangıcında planlanan elementel oranların (%85+%15) sağlandığı görülmüştür. Böylece döküm aşamasından son aşamaya kadar elementel oranlar başarılı şekilde sonuçlandırılmıştır.

Son olarak yapıdan alınan sertlik değerlerine bakıldığında sertlik ortalama değerinin 116 HV olduğu görülmüştür. Temel bir saf Mg metalinin sertlik değeri düşünüldüğünde 50-60 HV sertlik oranının intermetalik yapıların etkisiyle 116 HV seviyesine çıktığı izlenmiştir [2, 5, 6, 8]. Böylece oluşan fazların yapının sertliğini arttırdığı görülmüştür.

Kırılma tokluğu; çatlak içeren veya çatlak oluşturmaya yatkın malzemelerde kırılmaya direnme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Kırılma tokluğu seviyesini ölçmek için bir çok yöntem mevcuttur [15, 22]. Sert ve kırılğan yapıların veya sert kaynaklı malzemelerin sertlik izi köşegenlerinde oluşabilecek çatlak formu kırılma tokluğu seviyesini ve durumunu açıklamaktadır [14, 22]. Bu çalışmada ise sertlik batma ucu izi görüntüsünden yola çıkarak elde edilen temel sonuca göre malzemenin kırılma tokluğu üzerine sert seramik yapılar etkili değildir. Çatlak formunun oluşmaması ile bu sert yapıların alaşımın kırılma tokluğunu etkilemediği sonucuna varılmaktadır. Böylece yapıda oluşan sert seramik temelli fazın kırılma tokluğunu düşürecek kadar etkili olmadığı görülmüştür [13-15, 22].

Bu çalışmanın genel sonucu olarak üretilen AS14-1 alaşımının temel mikroyapı özellikleri ve sertlik değerleri rapor edilmiştir. İntermetalik yapıların dağılımları, tipleri ve elementel analizleri incelenmiştir. Mg-Al-Si üçlü faz diyagramı altında oluşan Mg₁₇Al₁₂ ve Mg₂Si fazları yapıda izlenmiştir. Böylece seramik partikül takviyeli metal matrisli bir kompozit malzemenin döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilmiştir.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

Çalışmanın hazırlanması aşamasında yazarlar; **B.Ç.:** Deneyin düzeneğinin hazırlanması, laboratuvar çalışmaları, raporlama **Y.S.:** Raporlama ve yorumlama görevlerinde bulunmuşlardır. Çalışmanın hazırlanmasında katkı sağlayan Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM laboratuvarına teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- [1]. Froes, F., D. Eliezer, and E. Aghion, "The science, technology, and applications of magnesium", *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)*, 50, 30, 1998
- [2]. Mordike, B. and T. Ebert, "Magnesium: properties—applications—potential", *Materials Science and Engineering: A*, 302, 37-45, 2001
- [3]. Wang, Q., et al., "Effect of Sb on the microstructure and mechanical properties of AZ91 magnesium alloy", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 32, 787-794, 2001
- [4]. Unal, M., *An investigation of casting properties of magnesium alloys*, in *Metallurgical Engineering*. 2008, Gazi University: Ankara, Turkey. p. 138.
- [5]. Chakraborti, N. and H. Lukas, "Thermodynamic optimization of the Mg-Al-Si phase diagram", *Calphad*, 16, 79-86, 1992
- [6]. Çiçek, B., H. Ahlatçı, and Y. Sun, "Wear behaviours of Pb added Mg–Al–Si composites reinforced with in situ Mg₂Si particles", *Materials & Design*, 50, 929, 2013
- [7]. Miao, J., et al., "Interphase boundary segregation of silver and enhanced precipitation of Mg₁₇Al₁₂ Phase in a Mg-Al-Sn-Ag alloy", *Scripta Materialia*, 154, 192-196, 2018
- [8]. Korgiopoulos, K., B. Langelier, and M. Pekguleryuz, "Mg₁₇Al₁₂ Phase Refinement and the Improved Mechanical Performance of Mg-6Al alloy with trace Erbium Addition", *Materials Science and Engineering: A*, 141075, 2021
- [9]. Çiçek, B., "Mg₂Si Partikül Takviyeli Mg Alaşımlarının Aşınma ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi", *KÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2011
- [10]. Çiçek, B. and Y. Sun, "A study on the mechanical and corrosion properties of lead added magnesium alloys", *Mater. Design*, 37, 369, 2012
- [11]. Herrmann, K., *Hardness testing: principles and applications*. 2011: ASM international.
- [12]. Kannan, M.B., E. Koc, and M. Unal, "Biodegradability of β-Mg₁₇Al₁₂ phase in simulated body fluid", *Materials letters*, 82, 54-56, 2012
- [13]. Anstis, G., et al., "A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness: I, direct crack measurements", *Journal of the American Ceramic Society*, 64, 533-538, 1981
- [14]. Roebuck, B., et al., *Palmqvist toughness for hard and brittle materials*. 1998: National Physical Laboratory.
- [15]. TOPUZ, P., et al., "Borlanmış AISI 316 Üzerinde Oluşmuş FexB Tabakalarının Kırılma Tokluklarının İncelenmesi", *Journal of Steel Research and Development*, 12, 16, 2020
- [16]. Elen, L., et al., "Effects of alloying element and cooling rate on properties of AM60 Mg Alloy", *Materials Research Express*, 2019

- [17]. Cicek, B., T. Aydogmus, and Y. Sun, "A basic study on artificial aging in Mg-10Al12Si+ 1Pb alloy", *Materials Research Express*, 7, 016588, 2020
- [18]. Zhu, L., et al., "Multiscale design of α -Al, eutectic silicon and Mg₂Si phases in Al-Si-Mg alloy manipulated by in situ nanosized crystals", *Materials Science and Engineering: A*, 802, 140627, 2021
- [19]. Koç, E., "Corrosion behaviour of as cast β -Mg₁₇Al₁₂ phase in 3.5 wt% NaCl solution", *Acta Physica Polonica A*, 135, 881-883, 2019
- [20]. Sun, Y. and H. Ahlatci, "Mechanical and wear behaviors of Al-12Si-XMg composites reinforced with in situ Mg₂Si particles", *Materials & Design*, 32, 2983-2987, 2011
- [21]. Zhang, J., et al., "Microstructure and mechanical properties of in situ Al-Mg₂Si composites", *Materials science and technology*, 16, 913-918, 2000
- [22]. Feng, Y. and T. Zhang, "Determination of fracture toughness of brittle materials by indentation", *Acta Mechanica Solida Sinica*, 28, 221-234, 2015



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: 10.17100/nevbiltek.1005599

Geliş Tarihi:06-10-2021

Kabul Tarihi:06-12-2021



Co-pyrolysis of Heavy Aromatic Waste and Polystyrene: Analysis of Liquid Product via GC-MS

Mesut ARDIÇ¹, Gamze ÖZÇAKIR^{2,*}, Ali KARADUMAN³

¹Ankara University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Ankara, Turkey
ORCID ID: [0000-0001-8252-9511](https://orcid.org/0000-0001-8252-9511)

²Bilecik Şeyh Edebali University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Bilecik, Turkey
ORCID ID: [0000-0003-0357-4176](https://orcid.org/0000-0003-0357-4176)

³Ankara University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Ankara, Turkey
ORCID ID: [0000-0003-1061-8288](https://orcid.org/0000-0003-1061-8288)

Abstract

Plastic wastes form 18.46 % of total municipal solid wastes in 2018 around the world. Heavy hydrocarbons occur as the waste of refinery processes. In this study co-pyrolysis of waste polystyrene foam (PS) and heavy aromatic waste (HAW) which can be accepted as a derivative of an oily sludge was carried out for the first time in literature. It was aimed to investigate the effect of temperature (420, 450, 480 °C) and mixing ratio (1/5, 3/5, 1/1) on liquid product yield and compound distribution in the pyrolytic liquids. Whole experiments were done in semi-batch reactor configuration under nitrogen atmosphere. Gas chromatography-Mass spectrometry (GC-MS) was utilized to analyze the pyrolytic liquids. At 480 °C it was obtained maximum liquid yield was 87.24 % in 1/5 HAW/PS feedstock ratio. Compared to pure PS pyrolysis, it was achieved relatively low styrene, toluene yield. However, yields of ethylbenzene and cumene increased with HAW added to the feed. Naphthalene was not detected in the liquid of PS pyrolysis. Maximum naphthalene yield was taken as 12.71% at 480 °C with a 1/5 HAW/PS feedstock ratio.

Keywords: Co-pyrolysis, GC-MS, heavy aromatic waste, plastic wastes, polystyrene

Ağır Aromatik Atık ve Polistirenin Eş-pirolizi: Sıvı Ürünün GC-MS ile Analizi

Öz

Plastik atıklar dünya çapında 2018 yılındaki toplam kentsel katı atıkların %18,46'sını oluşturur. Ağır hidrokarbonlar rafineri proseslerinin atığı olarak meydana gelir. Bu çalışmada, literatürde ilk defa atık polistiren köpük (PS) ve bir petrol çamuru türevi olan ağır aromatik atığın (HAW) eş-pirolizi yürütülmüştür. Sıcaklık (420, 450, 480 °C) ve karıştırma oranının (1/5, 3/5, 1/1) sıvı ürün verimi ve pirolitik sıvıların bileşik dağılımı üzerindeki etkisini incelemek amaçlanmıştır. Tüm deneyler yarı-kesikli reaktör konfigürasyonunda azot atmosferi altında yapılmıştır. Gaz kromatografi-Kütle spektrometresi (GC-MS) pirolitik sıvıları analiz etmek için kullanılmıştır. 480 °C'de 1/5 HAW/PS besleme oranında maksimum sıvı verimi %87.24 olarak elde edilmiştir. Saf PS pirolizi ile karşılaştırıldığında, nispeten düşük stiren ve toluene verimi edinilmiştir. Bununla birlikte, etilbenzen ve kümen verimleri beslemeye HAW katılmasıyla artmıştır. Naftalin PS pirolizinin sıvısında tespit edilmemiştir. Maksimum naftalin verimi 480 °C'de 1/5 HAW/PS besleme oranında % 12,71 olarak alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eş-piroliz, GC-MS, ağır aromatik atık, plastik atıklar, polistiren

* Corresponding author: gamze.ozcakir@bilecik.edu.tr

1. Introduction

Municipal solid waste (MSW) means that a mixture of solid wastes which is thrown by people in the urban and rural areas [1]. According to the World Bank, it is expected that the amount of municipal solid waste will be up 3.4 billion tonnes by 2050 [2]. According to the United States Environmental Protection Agency, 146.1 million tonnes of MSW was landfilled in 2018 around the world. Plastic wastes form 18.46 % of this value [3]. The reason for this high amount originates from several advantages of plastics. Plastics have thermal and electrical insulation properties, hygienic for food packaging, resistance against chemicals and water, low weight for reducing transportation costs, durability, and longevity feature. But, they have some disadvantages too. Stabilizers, colorants, and phthalates are harmful materials that are used in plastic production. They occur as a threat to human life. In an environmental view, plastics are non-degradable, their breaking down can take a long time. Besides that, landfilling of plastic wastes occur a problem [4]. Recycling plastic wastes can occur in three ways: mechanical recycling, energy recovery, and chemical recovery. In the mechanical recycling route, it is benefited from expensive machines. In the energy recovery route, carbon dioxide (CO₂) which is the main greenhouse gas is released. Thus, the chemical recovery route comes to the forefront [5].

Pyrolysis is by far the most studied chemical recovery technique compared to liquefaction and gasification. In the pyrolysis technique, liquid fuel, solid residue, and gas products are obtained from several materials at the same time under an oxygen-free atmosphere. The pyrolytic product distribution majorly depends on the reaction temperature, heating rate, residence time, and reactor type [6].

Polystyrene is a thermally and mechanically stable material uses in food packaging, electronic, medical, and toy sectors [5]. From past to present, polystyrene pyrolysis in several reactor configurations has taken place in literature. Karaduman et al. (2001) carried out polystyrene pyrolysis in a free-fall reactor under vacuum to investigate the effect of particle size and temperature on liquid product yield and composition. They obtained a maximum liquid yield of 32 % at 750 °C. At this temperature toluene, styrene, naphthalene yields were nearly 10, 20, 50 % respectively. They found also that large particle size (300-212 µm) maximized the liquid yield at 825 °C [7]. Nisar et al. (2019) investigated the effect of reaction time and temperature on the liquid yield of polystyrene by using a pyrex glass reactor. They found that 410 °C and 70 min at which liquid yield was almost 90 % were the ideal reaction conditions. Styrene/ethylbenzene yield at this condition was 35 % [8]. Park et al. (2020) studies two-step pyrolysis set up which included an auger reactor and a fluidized reactor. They aimed to increase benzene-toluene-ethyl benzene-xylene (BTEX) yield in the liquid product. They obtained a maximum BTEX yield of 26 % at 780 °C in a fluidized bed reactor and 300°C in an auger reactor. They found liquid yield as 86 % under these conditions [9]. In the last years, researchers have studied on co-pyrolysis of polystyrene with various materials such as low-rank coal [10], pinewood [11], sawdust [12], grape seeds [13], macroalgae [14], rubber seed [15], coffee grounds [16], other polymers [17] to determine synergistic effect between them.

Oily sludge is an industrial waste. It can occur during the production, refining, storage, and transportation of petroleum. Oily sludge is an emulsion that consists of a solid and liquid part. Because it includes components like heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), oily sludge is accepted as hazardous and toxic for human health and the environment [18]. The hydrocarbon content of oily sludge can be between 5 and 86 % by mass. It can be possible to find anthracene, alkanes, cycloalkanes, benzene, toluene, xylenes, naphthalene, phenols in oily sludge [19]. There are several methods to dispose of oily sludge such as freeze/thaw method, ultrasonic/microwave irradiation, water/thermochemical cleaning, solvent extraction, centrifugation, biological treatment, advanced oxidation, solidification/stabilization, landfill, and thermochemical methods. Thermochemical methods which were used in oily sludge treatment are hydrothermal liquefaction, gasification, pyrolysis, incineration, thermal desorption. Hydrothermal liquefaction requires high temperature (200-600 °C) and pressures (5-40 MPa), In thermal desorption which was seemed like the first stage of pyrolysis recovery of all hydrocarbons don't occur completely. In gasification, syngas product has

high impurity. In incineration, harmful gas emissions and high operating costs are disadvantages. In comparison with the other thermochemical methods, pyrolysis provides to obtain maximum oil recovery and less pollutant emission by far [20].

In refinery processes, components in crude oil are separated with respect to their boiling points. Heavy hydrocarbons forms as the waste of this process. They are converted to gas, naphtha, and light cycle oil via further treatments like catalytic cracking, alkylation, and hydrogenation [21]. To the best of our knowledge, there is no study about heavy aromatic waste which can be accepted as a derivative of an oily sludge and polystyrene pyrolysis in literature. This study it was aimed to investigate the effect of temperature and mixing ratio on liquid product yield and compound distribution in the liquid of these two materials.

2. Material and methods

Heavy aromatic waste (HAW) was supplied from a Turkish petrochemical company, TÜPRAŞ. Waste polystyrene foam (PS) was used in experiments. The experimental set-up was the same as our previous research [5]. Pyrolytic experiments were carried out pyrex glass reactor in the homemade ceramic furnace under a nitrogen atmosphere. The pyrolytic setup was shown in Fig. 1. The temperature was changed between 420-480 °C with 30 °C step size. The residence time was selected as 60 min. The weight percentage of HAW/PS was 1/5, 3/5, 1/1. Liquid product yield was calculated as follows:

$$\text{Liquid product yield (\%)} = [\text{collected liquid after the experiment, g}/\text{initial feedstock amount in the reactor, g}] * 100$$

Liquid products were collected by using a phase separator and sent to Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS) equipment. The brand and model of GC-MS were ThermoFinnigan and DSQ-250 respectively. Rtx-5 capillary column was used in the equipment. Helium whose flow rate was 0.7 mL/min was utilized as carrier gas. The temperature program of the column was started at 50 °C. The column stayed at this temperature for 5 min. Then, the column temperature was increased by 270 °C with a 5 °C/min heating rate. And finally, the column was kept at this temperature for 20 min.

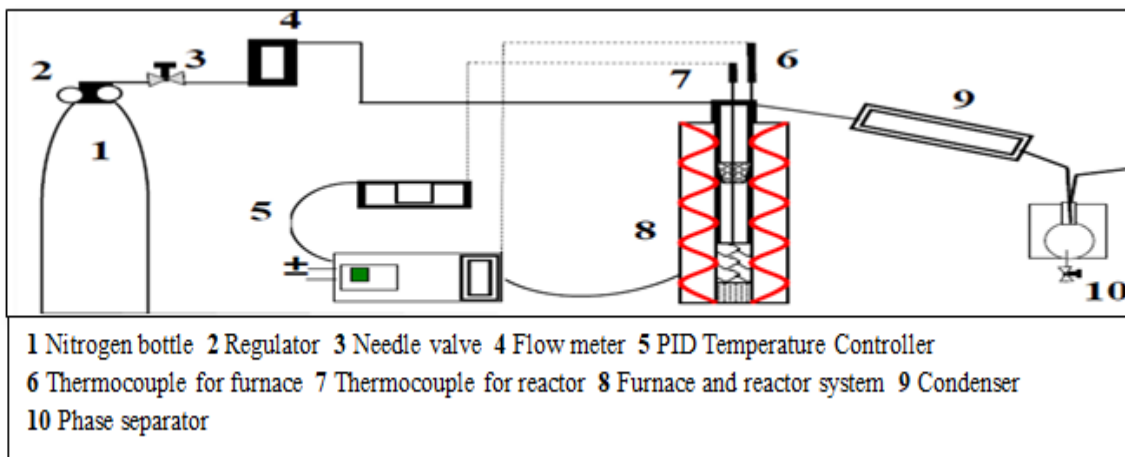


Figure 1. Experimental pyrolysis set-up [5]

3. Results and discussion

As shown in Fig. 2, it was found that liquid yield affected both temperature and feedstock composition. At 420 °C it was obtained maximum liquid yield was 78.67 % in 1/5 feedstock ratio. This matter did not change at other temperatures. 480 °C and 1/5 feedstock ratio formed the optimum condition for liquid yield. At this condition, the liquid yield was found as 87.24 %. It can be also said that there was no liquid yield difference between 480 and 450 °C. Then, it was not tried further temperatures to investigate liquid yield. At 480 °C PS pyrolytic liquid yield was found as 87.02 % which was lower than co-pyrolysis yield.

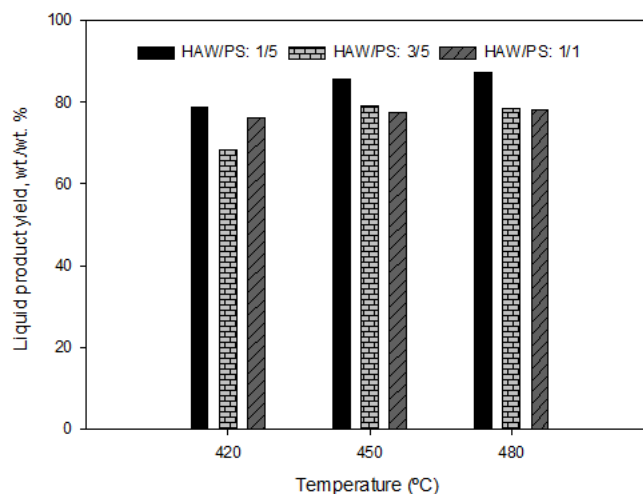


Figure 2. Changing in liquid yield with temperature and feedstock ratio

At the optimum condition, liquid product composition was investigated comprehensively and was compared to PS pyrolytic liquid at 480 °C. The Chromatogram of PS pyrolytic liquid was shown in Fig. 3. Determined compounds in pyrolytic liquid of PS were given in Table 1. As shown in Table 1, the liquid product of polystyrene pyrolysis formed mainly C7-C17 hydrocarbons. There were some components whose peak areas were bigger than others. For example, Styrene yield was found as 43.74 %. Besides that, ethylbenzene and toluene yields were obtained as 4.16 and 6.15 % respectively. These components can be occurred because of further decomposition of styrene at 480 °C [8].

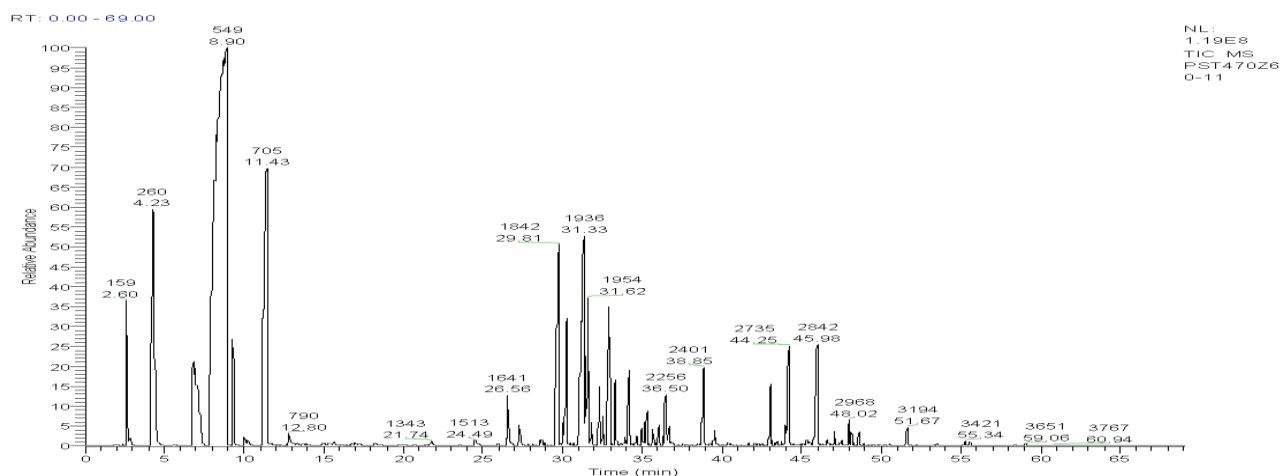


Figure 3. Chromatogram of the liquid product of PS at 480 °C

Because maximum liquid yield was taken at 480 °C and 1/5 HAW/PS ratio, this liquid was analyzed comprehensively. The results were given in Fig.4 and Table 2. As shown in Table 2, the liquid is composed of C5-C14 hydrocarbons mainly. With adding HAW to the feed, the styrene amount decreased to 8.08 % while the ethylbenzene amount increased a little bit. The main component of the liquid was found as naphthalene with a 12.71 percentage of peak area. It has been known that 2-methyl naphthalene which was in liquid with a relatively high amount can be utilized in polyethylenaphthalate (PEN) production. PEN is a material that can be a rival to polyethylene terephthalate (PET) [22]. Toluene amount decreased with co-pyrolysis compared to PS pyrolysis.

Table 1. Compounds in PS pyrolytic liquid at 480 °C

Retention time, min	Component	Formula	Peak area, %
4.23	Toluene	C ₇ H ₈	6.15
6.82	Ethyl benzene	C ₈ H ₁₀	4.16
8.90	Styrene	C ₈ H ₈	43.74
9.31	Cumene	C ₉ H ₁₂	0.86
11.43	Alpha-methyl styrene	C ₉ H ₁₀	7.58
26.56	bibenzyl	C ₁₄ H ₁₄	0.66
29.81	1,3-Diphenyl propane	C ₁₅ H ₁₆	5.63
31.33	1,2,3,4-Tetrahydro-1-phenyl naphthalene	C ₁₆ H ₁₆	6.10
31.62	1,2-Diphenyl cyclo propane	C ₁₅ H ₁₄	2.36
32.98	1,3-Diphenyl-1-Butene	C ₁₆ H ₁₆	3.20
33.30	1,2-Dihydro-1-phenyl naphthalene	C ₁₆ H ₁₄	0.78
34.22	1,1-Diphenyl-1,3-Pentadien	C ₁₇ H ₁₆	0.90
35.31	1,5-Diphenyl-1-Penten	C ₁₇ H ₁₈	0.66
36.50	2-phenyl naphthalene	C ₁₆ H ₁₂	1.17
38.85	1-benzyl naphthalene	C ₁₇ H ₁₄	1.06

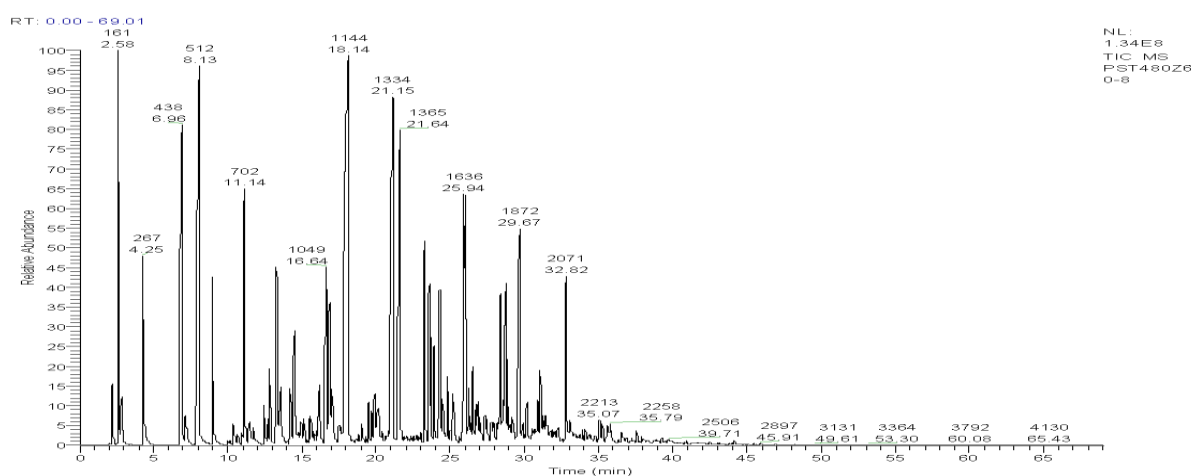


Figure 4. Chromatogram of the liquid product of 1/5 HAW/PS at 480 °C

To see the effect of the HAW/PS ratio and temperature on liquid composition, a group of the component was selected to compare. Detected compounds were given in Fig. 5. At 420 °C, it was observed that naphthalene, 2-methyl naphthalene, and 1-methyl naphthalene yield increased with increasing HAW ratio in feed. However, styrene and alpha-methyl styrene yield decreased with this rising. This was an expected situation because naphthalene derivatives and styrene derivatives originated from HAW and PS respectively. It was observed that increasing HAW amount in HAW/PS mixture effect on toluene yield was ignorable. Samely, Shelves et al. determined that adding petroleum waste to the feed did not affect Benzene-Toluene-Xylene yield in the pyrolytic liquid [23]. Maximum ethyl benzene yield was found as 15.88 % in 3/5 HAW/PS ratio at 420 °C. At 450 °C, styrene and alpha-methyl styrene peak area in the liquid was also decreased with increasing HAW in the feed. But if it comes to 480 °C, styrene yield increased while naphthalene yield

decreased with HAW adding. Because at high temperatures pyrolysis products of HAW is mainly gaseous compounds like light olefins which don't easily undergo aromatization reactions [23]. This result was commented also on as synergistic interaction between the two feedstock materials. At 1/5 HAW/PS ratio, it was determined that naphthalene, 2-methyl naphthalene, and 1-methyl naphthalene yields increased with increasing temperature (from 420 to 480 °C). This situation was clarified that polycyclics converted to the aromatics for petroleum residue [24].

Table 2. Compounds in co-pyrolytic liquid of HAW and PS at 480 °C

Retention time, min	Component	Formula	Peak area, %
2.21	1,3-cyclo pentadien	C ₅ H ₆	0.51
4.25	toluene	C ₇ H ₈	2.17
6.96	Ethyl benzene	C ₈ H ₁₀	6.32
8.13	styrene	C ₈ H ₈	8.08
8.99	cumene	C ₉ H ₁₂	1.47
11.14	Alpha-methyl styrene	C ₉ H ₁₀	2.84
12.85	indane	C ₉ H ₁₀	0.69
13.30	indene	C ₉ H ₈	2.05
13.53	2-Ethyl-1,4-Dimethyl Benzene	C ₁₀ H ₁₄	0.56
16.16	2,5-dimethyl styrene	C ₁₀ H ₁₂	0.86
16.64	Methyl indene	C ₁₀ H ₁₀	2.48
16.86	1-methyl-4-(1-propenyl) benzene	C ₁₀ H ₁₂	2.37
18.14	naphthalene	C ₁₀ H ₈	12.71
20.17	1,2-dihydro-6-methyl naphthalene	C ₁₁ H ₁₂	0.8
21.15	2-methyl naphthalene	C ₁₁ H ₁₀	7.3
21.64	1-methyl naphthalene	C ₁₁ H ₁₀	5.31
23.27	biphenyl	C ₁₂ H ₁₀	2.08
23.58	2-ethyl naphthalene	C ₁₂ H ₁₂	2.18
23.89	1,6-dimethyl naphthalene	C ₁₂ H ₁₂	0.87
24.30	1,2-dimethyl naphthalene	C ₁₂ H ₁₂	2.55
24.76	1,8-dimethyl naphthalene	C ₁₂ H ₁₂	0.69
25.94	3-methyl 1,1' biphenyl	C ₁₃ H ₁₂	4.32
26.51	Isopropyl naphthalene	C ₁₃ H ₁₄	0.67
26.84	2,3,6-trimethyl naphthalene	C ₁₃ H ₁₄	0.89
28.39	Fluoren	C ₁₃ H ₁₀	1.87
28.75	1,4-dihydro fluoren	C ₁₃ H ₁₂	2.96
29.67	1,3-diphenyl propane	C ₁₅ H ₁₆	2.63
31.10	2-methyl fluorene	C ₁₄ H ₁₂	1.23
32.82	anthracene	C ₁₄ H ₁₀	2.28

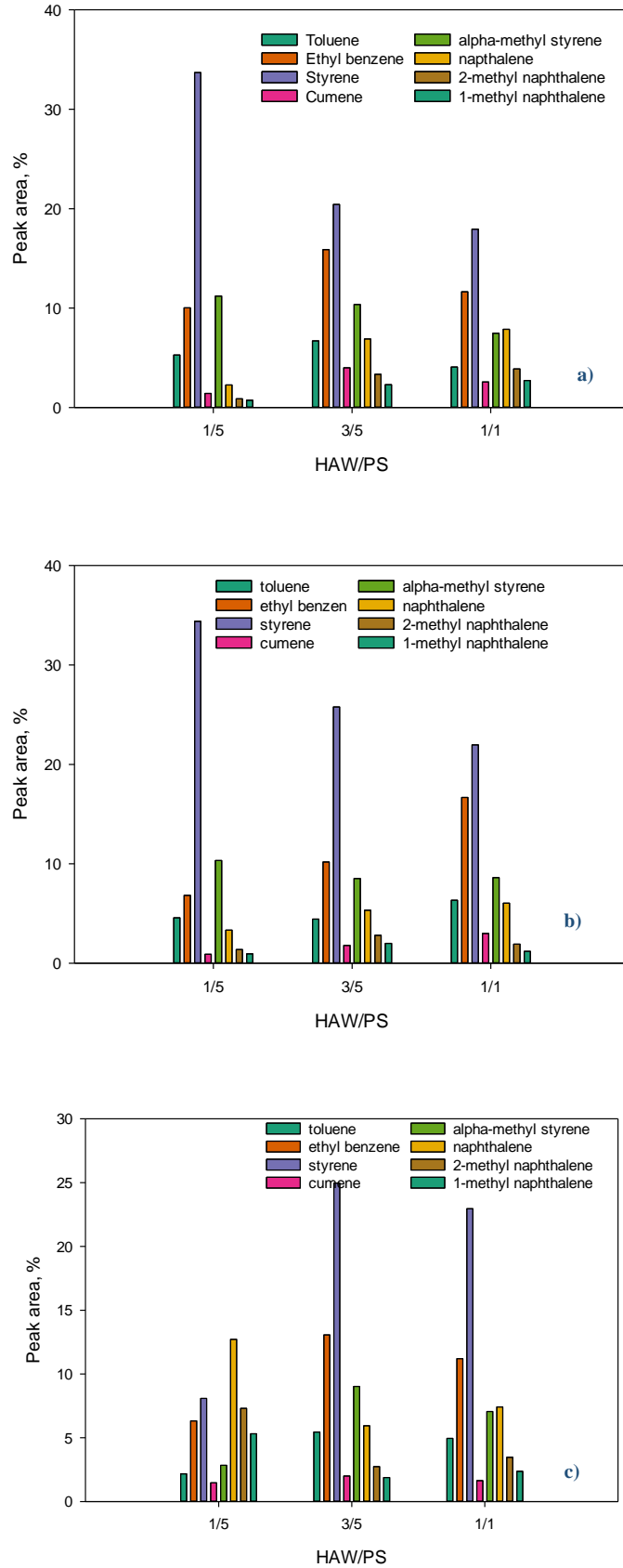


Figure 5. Component distribution of pyrolytic liquid obtained at a) 420, b) 450, c) 480 °C

4. Conclusion

It was performed co-pyrolysis of heavy aromatic waste and polystyrene in a semi-batch glass reactor at 420, 450, 480 °C with 1/5, 3/5, and 1/1 HAW/PS weight ratios. Product yields were computed and pyrolytic liquids were detected via GC-MS. Maximum liquid product yield was obtained as 87.24 % at 480 °C for thermal degradation of HAW/PS (1/5). At that temperature liquid yield of pure PS, pyrolysis was found as 87.02 %. Considering that result, it was concluded that liquid yield did not affect HAW adding to the feed. The liquid of HAW/PS (1/5) at 480 °C is composed of mainly naphthalene derivatives and aromatic hydrocarbons like toluene, ethylbenzene, styrene. The liquid product of polystyrene pyrolysis formed mainly C7-C17 hydrocarbons. However C5-C14 hydrocarbons formed a liquid product of HAW/PS (1/5) at 480 °C. Naphthalene was not found in PS pyrolytic liquid. However, it was observed at the ratio of 12.71 % in HAW/PS (1/5) pyrolytic liquid at 480 °C. At 480 °C, styrene yield increased while naphthalene yield decreased with HAW adding. This result was commented as synergistic interaction between the two feedstock materials. Besides that, because of HAW aromatization reactions in high temperatures can not occur easily. At 1/5 HAW/PS ratio, it was determined that increasing temperature affected positively naphthalene, 2-methyl naphthalene, and 1-methyl naphthalene yields. However, at 1/5 HAW/PS ratio, it was observed that increasing temperature affected negatively toluene, ethylbenzene, and alpha-methyl styrene yields. With that study, two waste materials combined to give a valuable hydrocarbon-rich product that can be a fuel.

5. Contribution of researchers

In this study; M.A.: as the undergraduate thesis student contributed to do pyrolysis study, analyzing the products, discussing the results, and writing the paper. G.Ö.: as the graduate student contributed to do pyrolysis study, analyze the products, discuss the results and write the paper. A.K.: the supervisor proposed the idea, developed the methodology, and contributed to doing pyrolysis study, analyzing the products, discussing the results, and writing the paper.

6. References

- [1] Nanda, S., Berruti, F., "Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review" *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1433-1456, 2021.
- [2] The World Bank. https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html. Date accessed October, 6 2021.
- [3] United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials>. Date accessed October 6, 2021.
- [4] Siddique, R., Khatib, J., Kaur, I., "Use of recycled plastic in concrete: A review" *Waste management*, 28(10), 1835-1852, 2008.
- [5] Özçakır, G., Karaduman, A., "Chemical recovery from polystyrene waste and low density polyethylene via conventional pyrolysis" *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 155-163, 2020.
- [6] Nanda, S., Berruti, F., "Thermochemical conversion of plastic waste to fuels: a review" *Environmental Chemistry Letters*, 19(1), 123-148, 2021.
- [7] Karaduman, A., Şimşek, E. H., Cicek, B., Bilgesü, A. Y., "Flash pyrolysis of polystyrene wastes in a free-fall reactor under vacuum" *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 60(2), 179-186, 2001.
- [8] Nisar, J., Ali, G., Shah, A., Iqbal, M., Khan, R. A., Anwar, F., Akhter, M. S., "Fuel production from waste polystyrene via pyrolysis: Kinetics and products distribution" *Waste management*, 88, 236-247, 2019.

- [9] Park, K. B., Jeong, Y. S., Guzelciftci, B., Kim, J. S., “Two-stage pyrolysis of polystyrene: Pyrolysis oil as a source of fuels or benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes” *Applied Energy*, 259, 114240, 2020.
- [10] Wu, Y., Zhu, J., Zhao, S., Wang, D., Jin, L., Hu, H., “Co-pyrolysis behaviors of low-rank coal and polystyrene with in-situ pyrolysis time-of-flight mass spectrometry” *Fuel*, 286, 119461, 2021.
- [11] Burra, K. R. G., Liu, X., Wang, Z., Li, J., Che, D., Gupta, A. K., “Quantifying the sources of synergistic effects in co-pyrolysis of pinewood and polystyrene” *Applied Energy*, 302, 117562, 2021.
- [12] Stančin, H., Šafář, M., Růžicková, J., Mikulčić, H., Raclavská, H., Wang, X., Duić, N., “Co-pyrolysis and synergistic effect analysis of biomass sawdust and polystyrene mixtures for production of high-quality bio-oils” *Process Safety and Environmental Protection*, 145, 1-11, 2021.
- [13] Sanahuja-Parejo, O., Veses, A., Navarro, M. V., López, J. M., Murillo, R., Callén, M. S., García, T., “Drop-in biofuels from the co-pyrolysis of grape seeds and polystyrene” *Chemical Engineering Journal*, 377, 120246, 2019.
- [14] Kositkanawuth, K., Bhatt, A., Sattler, M., Dennis, B., “Renewable energy from waste: investigation of co-pyrolysis between sargassum macroalgae and polystyrene” *Energy & Fuels*, 31(5), 5088-5096, 2017.
- [15] Reshad, A. S., Tiwari, P., & Goud, V. V., “Thermal and co-pyrolysis of rubber seed cake with waste polystyrene for bio-oil production” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 139, 333-343, 2019.
- [16] Van Nguyen, Q., Choi, Y. S., Choi, S. K., Jeong, Y. W., Han, S. Y., “Co-pyrolysis of coffee-grounds and waste polystyrene foam: Synergistic effect and product characteristics analysis” *Fuel*, 292, 120375, 2021.
- [17] Odejobi, O. J., Oladunni, A. A., Sonibare, J. A., Abegunrin, I. O., “Oil yield optimization from co-pyrolysis of low-density polyethylene (LDPE), polystyrene (PS) and polyethylene terephthalate (PET) using simplex lattice mixture design” *Fuel Communications*, 2, 100006, 2020.
- [18] Hui, K., Tang, J., Lu, H., Xi, B., Qu, C., Li, J., “Status and prospect of oil recovery from oily sludge: A review” *Arabian Journal of Chemistry*, 13(8), 6523-6543, 2020.
- [19] Hu, G., Li, J., Zeng, G., “Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: a review” *Journal of hazardous materials*, 261, 470-490, 2013.
- [20] Li, J., Lin, F., Li, K., Zheng, F., Yan, B., Che, L., Yoshikawa, K., “A critical review on energy recovery and non-hazardous disposal of oily sludge from petroleum industry by pyrolysis” *Journal of Hazardous Materials*, 406, 124706, 2021.
- [21] Senneca, O., Chirone, R., Cortese, L., Salatino, P., “Pyrolysis and combustion of a solid refinery waste” *Fuel*, 267, 117258, 2020.
- [22] Güleç, F., Sher, F., Karaduman, A., “Catalytic performance of Cu-and Zr-modified beta zeolite catalysts in the methylation of 2-methylnaphthalene” *Petroleum Science*, 16(1), 161-172, 2019.
- [23] Suelves, I., Moliner, R., Lazaro, M. J., “Synergetic effects in the co-pyrolysis of coal and petroleum residues: influences of coal mineral matter and petroleum residue mass ratio” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 55(1), 29-41, 2000.
- [24] Ma, Z., Xie, J., Gao, N., Quan, C., “Pyrolysis behaviors of oilfield sludge based on Py-GC/MS and DAEM kinetics analysis” *Journal of the Energy Institute*, 92(4), 1053-1063, 2019.



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: [10.17100/nevbiltek.975225](https://doi.org/10.17100/nevbiltek.975225)

Geliş Tarihi:27-07-2021

Kabul Tarihi08-11-2021



Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinde Tasarım ve Mevcut Durum Karşılaştırması^A

Mehmet KARAKAYA^{1*}, Hakan DULKADİROĞLU²

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir
ORCID ID: 0000-0002-2402-4651

²Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir
ORCID ID: 0000-0002-2110-1332

Öz

Organize Sanayi Bölgeleri (OSB)'nde atıksu arıtma tesisinin projelendirilmesi aşamasında genellikle kapasite doluluk oranı düşük olmakta ve boşlukların hangi sektörden, kaç işletme ile doldurulacağı belli olmamaktadır. Ölçümlerle ya da benzer örneklere göre belirlenen atıksu miktar ve özellikleri, OSB doluluk olarak tam kapasiteye ulaştığında ve/veya işletmelerde değişiklikler olduğunda değişebilmekte ve deşarj limitlerinin sağlanmasında sorunlar yaşanabilmektedir. Bu çalışmada, OSB'lerde ortak atıksu arıtma tesislerinin proje aşamasında esas alınan atıksu miktar ve özelliklerinin zamanla işletme sayı ve sektörlerine bağlı olarak değişimi ve bunun arıtma tesisi performansı üzerine etkileri Kayseri OSB örneği üzerinden incelenmiştir. 1999'da kurulan bölgede özellikle 2013 sonrasında önemli gelişme sağlanmış, 353 olan toplam işletme sayısı 2017 yılında 1165'e yükselmiştir. Bununla birlikte, tasarımda ilk etap için 40.000 m³/gün olarak esas alınan debi değerine henüz ulaşılmadığı ve mevcut debinin 28.000 – 30.000 m³/gün aralığında değiştiği, atıksu karakterizasyonu için de 2008'de tespit edilen değerlerin son 5,5 yılda ölçülen değerlerle büyük oranda uyumlu olduğu ve deşarj limitlerinin sağlanmasında herhangi bir sorun yaşanmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: OSB, endüstriyel atıksu, atıksu arıtımı

Comparison of Design and Current Situation of Kayseri Organized Industrial Zone Wastewater Treatment Plant

Abstract

In the stage of wastewater treatment plant design, the fullness ratio of the capacity of Organized Industrial Zones (OIZ) are generally low and it is not known that how many and what kind of installation will take place there. Wastewater amount and characterization, which are determined based on measurements or similar cases, could change when OIZ reaches full capacity and/or installations change, so some problems in fulfilling discharge standards maybe occur. In this study, changes in the wastewater amount and characterization taken into account for treatment plant design depending on the changes in number and sectors of installations with time and its effects on treatment plant performance was investigated on Kayseri OIZ example. The zone established in 1999 developed especially after 2013, and the total installation number increased from 353 to 1165. However, it was determined that wastewater flowrate has not been reached the design value of 40.000 m³/d of the first stage and it is changing between 28.000 – 30.000 m³/d. Also, wastewater characterization determined in 2008 is largely similar to the values measured in the last 5,5 years. Therefore, there is not any problem encountered in fulfilling discharge standards.

Keywords: OIZ, industrial wastewater, wastewater treatment

^ANevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü "Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinde Tasarım ve Mevcut Durum Karşılaştırması" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Sorumlu yazar e-mail: karakaya-mehmed@hotmail.com

1. Giriş

Sanayi devrimiyle birlikte 20. yüzyılın başlarında sanayicilerin altyapılı arsa ihtiyaçlarını karşılayarak kar elde etmek üzere özel firmaların başlattığı Organize Sanayi Bölgesi (OSB) uygulamaları, 2. Dünya Savaşı sonrası daha çok devlet yatırımı olarak devam etmiştir. İlk OSB İngiltere’de kurulmuş ve ardından başta ABD olmak üzere diğer gelişmiş ülkelerde de yaygınlaşmıştır. Türkiye’de ise 1960 yılında planlı kalkınma çalışmalarının başlamasıyla alınan pek çok teşvik önlemlerinden biri olarak 1962 yılında ilk OSB Bursa’da kurulmuştur. Bugün gelinen noktada ise Türkiye genelinde çeşitli kentlerde toplam 190 adet OSB hizmettedir; planlama ve kuruluş aşamasındakilerle birlikte toplam sayı 350’yi bulmaktadır [1].

OSB’lerin amaç ve hedefleri şu şekilde sıralanmaktadır:

1. Sanayinin disipline edilmesi,
2. Şehrin planlı gelişmesine katkıda bulunulması,
3. Birbirini tamamlayıcı ve birbirinin yan ürününü teşvik eden sanayicilerin bir arada ve bir program dahilinde üretim yapmalarıyla, üretimde verimliliğin ve kar artışının sağlanması,
4. Sanayinin az gelişmiş bölgelerde yaygınlaştırılması,
5. Tarım alanlarının sanayide kullanılmasının disipline edilmesi,
6. Sağlıklı, ucuz, güvenilir bir altyapı ve ortak sosyal tesisler kurulması,
7. Müşterek arıtma tesisleri ile çevre kirliliğinin önlenmesi,
8. Bölgelerin devlet gözetiminde, kendi organlarınca yönetiminin sağlanması [1].

Sayılan amaç ve hedefler arasında yer alan ve atıksuların ortak bir arıtma tesisinde arıtımını vurgulayan 7. madde çevrenin korunması açısından öne çıkmaktadır. Çevre Kanunu, Madde 11:“Üretim, tüketim ve hizmet faaliyetleri sonucunda oluşan atıkların alıcı ortamlara doğrudan veya dolaylı vermeleri uygun görülmeyen tesis ve işletmeler ile yerleşim birimleri atıklarını yönetmeliklerde belirlenen standart ve yöntemlere uygun olarak arıtmak ve bertaraf etmekle veya ettirmekle ve öngörülen izinleri almakla yükümlüdürler.” hükmünü içermektedir [2]. Bu hüküm özellikle maliyet anlamında işletmeler için yük oluşturmakta [3] ve işletmelerin de bundan kaçınmaya çalışmaları söz konusu olabilmektedir. Oysa OSB Uygulama Yönetmeliği Madde 66 (1), OSB yönetimini atıksu altyapı tesislerinin inşası, bakımı ve işletilmesinden sorumlu tutmaktadır [4]. Böylece birçok işletmenin atıksularının arıtımı ve denetimi aynı çatı altında toplanarak çok daha etkin bir çevre koruma faaliyeti yürütülebilmektedir. Nitekim Trakya Bölgesi’ndeki çarpık sanayileşme sonucu Ergene Havzası’nda yaşanmakta olan büyük çevre sorunlarının ana kaynağı işletmelere ait münferit atıksu arıtma tesislerinin verimli işletilememesi, denetlenmesindeki zorluklar ve yasadışı deşarjlardan kaynaklanmıştır. Günümüzde bu sorunun çözümüne yönelik olarak bu bölgedeki işletmelerin ıslah OSB’ler halinde birleştirilerek, atıksularının toplanması ve ortak arıtma tesislerinde arıtılması yönünde çalışmalar sürmektedir [5].

OSB’ler “karma” ve “ihtisas” olmak üzere iki farklı şekilde yapılandırılabilir. Farklı sektörlerde faaliyet gösteren tesislerin yer aldığı OSB’ler “karma” olarak isimlendirilirken; aynı sektör grubunda ve bu sektör grubuna dahil alt sektörlerde faaliyet gösteren tesislerin yer aldığı veya lojistik amacıyla kurulan OSB’ler “ihtisas OSB” olarak anılmaktadır [4]. Birbirinden farklı sektörlerde üretim yapan işletmelerin atıksularının da miktar ve özellik açısından sahip olacağı farklılıklar atıksu arıtımında önemli zorluklara neden olabilmektedir. Bu bakımdan ihtisas OSB’lerin daha avantajlı durumda olduğunu söylemek mümkündür. Diğer taraftan; gerek karma, gerekse ihtisas olsun, OSB Uygulama Yönetmeliği Madde 66’ya göre “Katılımcıların faaliyetleri sonucu açığa çıkan atıksuların OSB kanalizasyonuna deşarj edilebileceği sınır değerlerini belirleyen Kanala Deşarj Standartları OSB yönetimlerince tespit edilir” [4]. Dolayısıyla kanal ve arıtma sistemini güvenle işletilebilmek için OSB yönetimleri gereken durumlarda ön arıtma yapılmasını isteyebilir ve işletmeleri denetleyebilir. Böylece ortak arıtma tesisinde yaşanabilecek sorunların önüne kısmen de olsa geçilebilir.

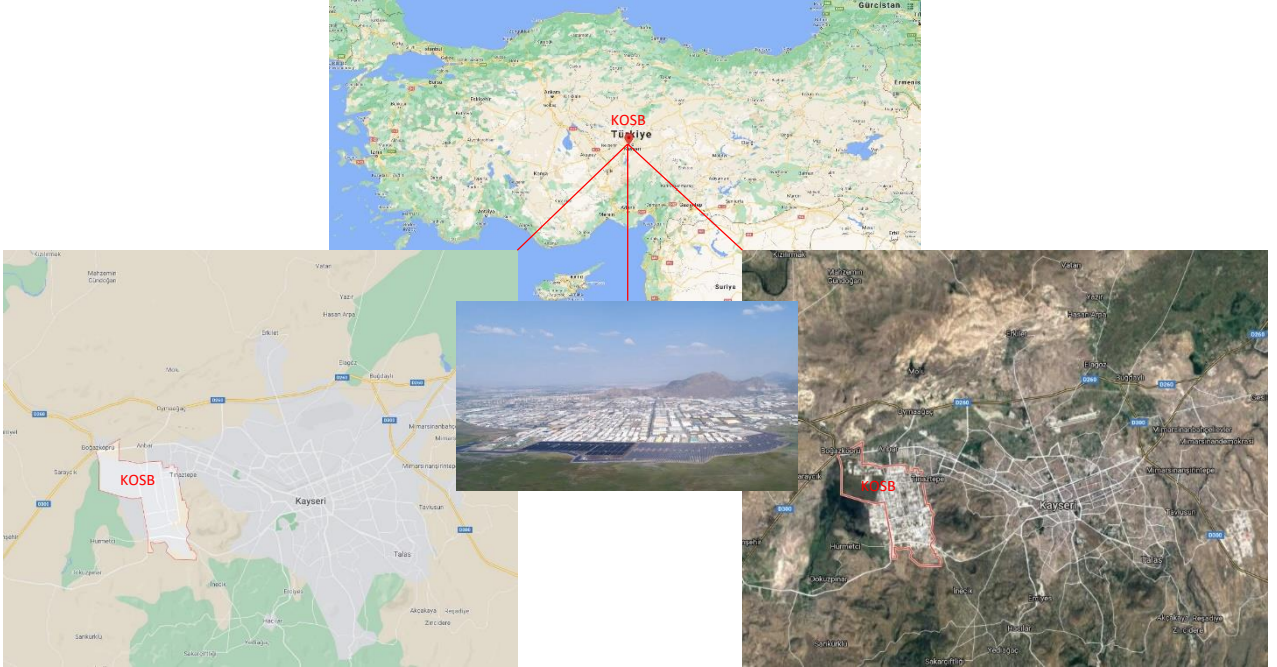
Özellikle karma OSB'lerde atıksu arıtımı açısından bir diğer zorluk da, bölgedeki işletmelerin sayı ve sektörlerinin zaman içerisinde değişim göstermesidir. Özellikle atıksu arıtma tesisinin projelendirilmesi aşamasında genellikle OSB'lerde kapasite doluluk oranı düşük olmakta ve bu boşlukların hangi sektörden, kaç işletme ile doldurulacağı da belli olmamaktadır. Dolayısıyla bir takım tahminler üzerinden atıksu miktar ve özellikleri belirlenip, arıtma tesisi de bu değerler üzerinden tasarlanmaktadır. OSB doluluk olarak tam kapasiteye ulaştığında veya zaman içerisinde bazı işletmeler kapanıp başkaları üretime başladığında, başlangıçta yapılan tahminlerden çok farklı durumlarla karşılaşabilmektedir. Bu durumda atıksuların deşarj limitlerini sağlayacak şekilde artırılmasında gerek arıtma tesisinin kapasitesi, gerekse uygulanan arıtma prosesleri açısından zorluklar yaşanabilmektedir.

Bu çalışmada, OSB'lerde ortak atıksu arıtma tesislerinin proje aşamasında esas alınan atıksu verileri ile zaman içerisinde işletme sayı ve sektörlerinde ve dolayısıyla atıksu miktar ve özelliklerinde meydana gelen değişimlerin karşılaştırması ve buna bağlı işletme sorunları Kayseri OSB atıksu arıtma tesisi örneği üzerinden incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

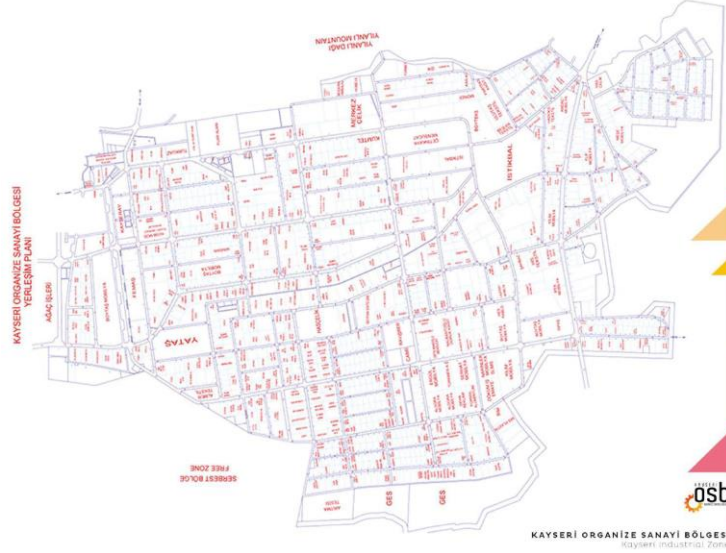
2.1. Kayseri OSB

Kayseri ilindeki üç OSB'nin ilki ve en büyüğü olan Kayseri OSB 1976 yılında kurulmuş, 1980 yılında faaliyete geçmiştir. Karma tipte bir OSB'dir. Şehir merkezine 13 km mesafede, 2199 hektar toplam alanda kurulu olan OSB'de sanayiye ayrılan alan 1578 hektardır (Şekil 1). Toplam parsel sayısı 1248 adet olup, 01.12.2020 tarihi itibarıyla sanayiye tahsis edilen 1211 adet parselin 1119'u üretimde, 39'u ise inşaat aşamasındadır [6,7]. Toplam 1179 sanayi tesisinde yaklaşık 70 bin kişi çalışmaktadır. Günde yaklaşık 25 bin araç giriş-çıkışının olduğu Kayseri OSB, Türkiye'deki tüm OSB'ler içerisinde yatırım, istihdam, üretim ve ihracat bakımından ilk 10 içerisinde yer almaktadır [8].



Şekil 1. Kayseri OSB'ye ait harita ve görseller [9]

Kayseri OSB'nin elektrik enerjisi ihtiyacını düşük maliyetle ve kesintisiz olarak sağlamak üzere sanayi parseli olmayan 900 bin m² alanda, toplam 50,6 MWp kapasiteye sahip Türkiye'nin en büyük güneş enerji santrali (GES) kurulmuştur. Bu kapasite yaklaşık 60 bin konutu aydınlatmaya yetecek ölçüdedir (Şekil 2) [10].



Şekil 2. Kayseri OSB yerleşim planı [10]

2.2. Kayseri OSB Atıksu Arıtma Tesisi

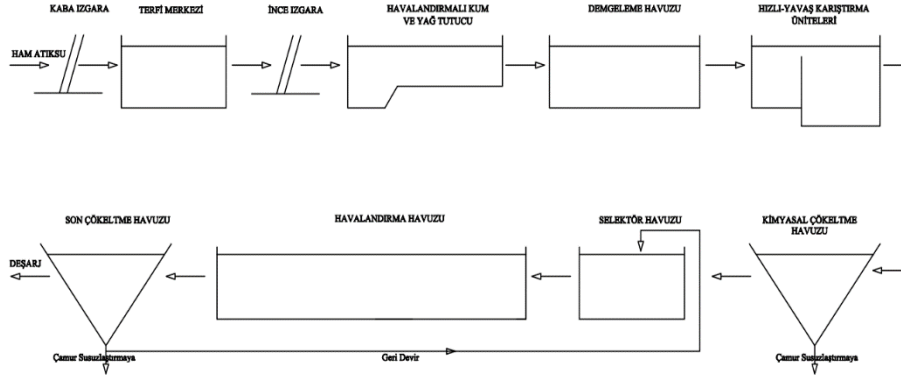
Kayseri OSB'den kaynaklanan evsel ve endüstriyel atıksular 2008 yılına kadar Kayseri Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'ne verilmiş, fakat OSB'nin büyümesiyle kendi atıksu arıtma tesisini kurma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Böylece 2008 yılında sözleşmesi imzalanan ortak atıksu arıtma tesisinin temeli 2009 yılında atılmış, inşaatı 2012 yılında tamamlanmış ve 2013 yılında işletmeye alınmıştır (Şekil 3). OSB'deki tüm evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuları arıtmak üzere tasarlanan tesis 52.500 m² alan üzerine kuruludur [8]. Tesisin ilk aşaması 40.000 m³/gün, ikinci aşaması 20.000 m³/gün olmak üzere toplam proje debisi 60.000 m³/gün olarak planlanmıştır. Tesis, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Tablo 19'da verilen deşarj kriterlerine tabi olup [11], arıtılan atıksular 2,5 km'lik bir deşarj hattı ile Kızılırmak Havzası'nda bulunan Vanvanlı (Karasu) Deresi'ne deşarj edilmektedir.



Şekil 3. Kayseri OSB Atıksu Arıtma Tesisi (AAT)'nin görünümü

Arıtma tesisi fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerden oluşmaktadır (Şekil 4) [12]. Giriş yapısı, kaba ve ince izgaralardan sonra havalandırılmalı kum ve yağ tutucuya giren atıksu dengeleme tankında biriktirilmektedir. Sonrasında kimyasal arıtma ünitelerine gelen atıksu önce nötralizasyon, daha sonra koagülasyon ve flokülasyona tabi tutulmaktadır. Bu işlemler sonucunda oluşan floklar bir çöktürme tankında ayrıldıktan sonra biyolojik arıtmaya geçilmektedir. Karbon, azot ve fosfor giderimi yapmak üzere, sırasıyla anaerobik, anoksik ve aerobik bölgelerden oluşan biyolojik reaktörden

sonra son çöktürme tankında arıtılmış atıksu katı maddelerden ayrılarak deşarj edilmektedir. Sistemden atılan fazla çamur ise stabilize edilmek ve susuzlaştırılmak üzere çamur proseslerine verilmektedir.



Şekil 4. Kayseri OSB AAT'ne ait proses akım şeması [12]

2.3. Yöntem

Bu çalışmada öncelikle Kayseri OSB ve atıksu arıtma tesisine ait bilgi ve veriler OSB yönetimi ve arıtma tesisi yetkilileri ile görüşülerek ve literatür araştırması yapılarak toplanmıştır. Daha sonra elde edilen tüm bulgular zaman içinde işletme sayı ve türlerindeki değişimleri, bunların atıksu miktar ve özellikleri ile arıtma tesisi performansına etkilerini ortaya koymak üzere değerlendirilmiştir.

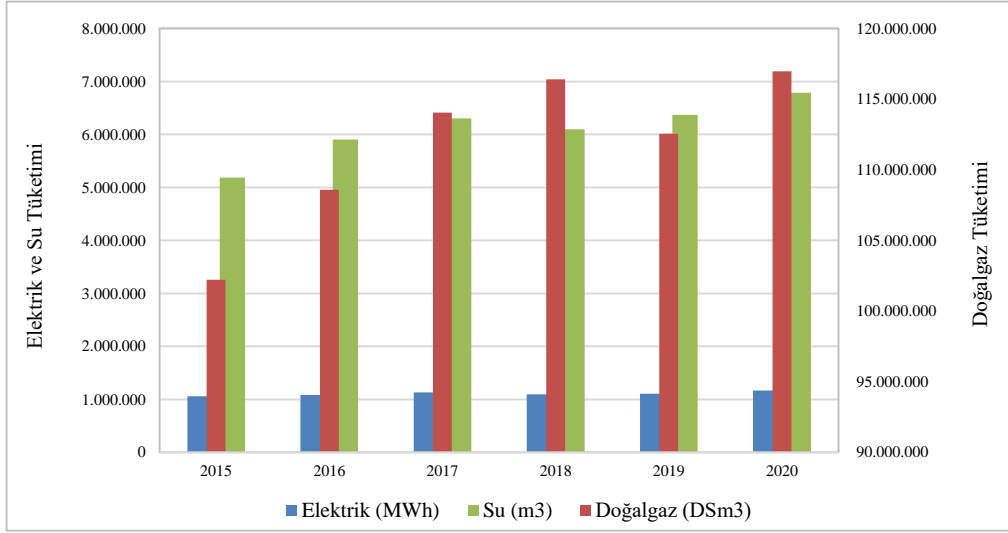
3. Bulgular

3.1. İşletme Sayı ve Türleri

Kayseri OSB'de faaliyet gösteren işletmelerin farklı yıllardaki toplam sayısı ve sektörlere göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, geçmişe dönük olarak yeterli sayıda kayda ulaşmak mümkün olmadığı gibi, çeşitli kaynaklardan sağlanan veriler de sektörel sınıflandırmada farklılıklar içermektedir. Bununla birlikte, genel anlamda 1999'dan 2019'a, 20 yıllık bir süreç içerisinde işletme sayısının 295'ten 1219'a çıktığı, ağırlıklı sektörlerin ise "ev eşyaları, elektrikli ev aletleri ve metal ürünler", "mobilya-ahşap ürünler", "inşaat yapı malzemeleri", "ambalaj-plastik" ve "tekstil" olduğu görülmektedir. Ayrıca, atıksu arıtma tesisinin işletmeye alındığı 2013 yılı ile 2021 yılı karşılaştırıldığında, çeşitli sektörlerden 835 firmanın daha faaliyete geçmesiyle OSB'nin 3 katın üzerinde büyüme kaydettiği anlaşılmaktadır. Şekil 5'te ise 2015'ten 2020'ye OSB'deki yıllık toplam elektrik, su ve doğalgaz tüketimlerdeki değişim görülmektedir. Grafikteki verilere göre 6 yıl içerisinde elektrik tüketimi %10,4, doğalgaz tüketimi %14,4 ve su tüketimi %30,9 oranında artmış, en yüksek artış su tüketiminde meydana gelmiştir.

Tablo 1. Kayseri OSB'de farklı yıllara ait sektörel dağılım

Sektör	1999 [13]	2013 [14]	2017 [15]	2019 [12]	2021 [8]
Ambalaj - Plastik	20	-	123	124	122
Boya, kimya, kaplama ve temizlik ürünleri	7	-	23	48	18
Elektrik - Elektronik	-	-	40	46	46
Ev eşyaları, elektrikli ev aletleri ve metal ürünler	97	-	312	327	327
Gıda	16	-	51	53	53
İnşaat yapı malzemeleri	-	-	135	122	122
Kağıt-baskı ve reklam	-	-	37	34	34
Makina	11	55	54	51	51
Mobilya-ahşap ürünler	39*	216	258	279	279
Otomotiv yan sanayi	-	-	21	15	15
Tekstil	-	82	111	120	121
Diğer	105	-	-	-	-
Toplam	295	353	1165	1219	1188



Şekil 5. Kayseri OSB’de elektrik, su ve doğalgaz tüketimlerinin yıllara bağlı değişimi [16]

3.2. Atıksu Özellikleri

Kayseri OSB atıksu arıtma tesisi yetkililerinden alınan bilgi ve verilere göre; tesise gelen toplam kirlilik yükü %10-20 oranında evsel, %30 oranında tekstil ve %30 oranında kağıt fabrikaları ve geri dönüşüm tesislerinin atıksularından oluşmaktadır. 1. kademe atıksu debisi 40.000 m³/gün olarak projelendirilen tesise mevcut durumda gelen ortalama atıksu debisi 28.000 – 30.000 m³/gün aralığında değişmektedir [12]. Dolayısıyla mevcut kapasite ile tesise gelen atıksu debisi rahatlıkla karşılanmaktadır.

Arıtma tesisinin tasarımı için 2008 yılında Kayseri OSB’deki mevcut işletmelerden kaynaklanan ve belediye atıksu arıtma tesisine iletilen atıksulardan örnekler alınmış ve karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda tesis tasarımında esas alınmak üzere belirlenen atıksu özellikleri ve SKKY Tablo 19’a göre tabi olunan deşarj limitleri Tablo 2’de verilmiştir [11].

2015 Ocak ayı ile 2020 Temmuz ayı arasındaki dönemde atıksu arıtma tesis girişinde ölçülen pH, Askıda Katı Madde (AKM), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Azot (TN) ve Toplam Fosfor (TP) parametrelerine ait aylık ortalama değerler ve genel ortalamaları Şekil 6’da grafikler halinde verilmiştir. Ancak belirtilen dönem içerisinde 2017 yılına ait veriler temin edilememiştir. Atıksu özellikleri incelendiğinde; ölçüldüğü dönem boyunca pH değerinin 6,9 – 7,8 arasında değiştiği ve ortalama değer 7,4 olduğu görülmektedir. Ölçülen en yüksek ve en düşük pH değerleri arasında sadece 0,9 birim fark oluşmuş ve büyük bir değişkenlik göstermemiş, ayrıca tüm değerler arıtma öncesinde bile SKKY Tablo 19’da verilen deşarj limitleri olan pH 6-9 aralığında ölçülmüştür. Ölçülen AKM değerleri 830 – 1629 mg/L aralığında olup, sadece 2015 yılında artış meydana geldiği, sonrasında belirli bir artış veya düşüş eğilimi göstermediği söylenebilir. Ortalama konsantrasyon olan 1261 mg/L ile tasarımda esas alınan 1000 mg/L arasında %26 oranında fark olduğu görülmektedir. 870 – 1776 mg/L arasında değişen KOİ değerlerinin ortalaması 1418 mg/L olup, tasarımda esas alınan 1750 mg/L’den %19 kadar düşüktür. TN konsantrasyonları 23,1 – 45,1 mg/L arasında değişmiş ve ortalama değer 30,4 mg/L olarak gerçekleşmiştir. Her ne kadar tasarım TN değil, Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) üzerinden yapılmış olsa da, ham atıksuda okside olmuş azot türleri genellikle çok düşük olduğundan, bu iki parametreyi birbirine denk kabul edip karşılaştırmak büyük bir hata doğurmayacaktır. Dolayısıyla tasarım değeri olan 30 mg/L TKN ile ham atıksudaki ortalama 30,4 mg/L TN’un hemen hemen birbirine eşit olduğu ve isabetli bir öngöründe bulunduğu söylenebilir. TP konsantrasyonlarına bakıldığında ise, 3,53 – 16,85 mg/L arasında değişen değerlerin ortalamasının 7,8 mg/L olduğu ve tasarım değeri olan 11 mg/L’den %29 daha düşük gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 2. Atıksu arıtma tesisi tasarımında esas alınan atıksu özellikleri

Parametre	Ham Atıksu Tasarım Değeri	SKKY Tablo 19 Deşarj Limiti (2 saatlik kompozit)
pH	-	6-9
Askıda Katı Madde (AKM), (mg/L)	1000	200
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), (mg/L)	1750	400
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅), (mg/L)	630	-
Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), (mg/L)	30	20
Toplam Fosfor (TP), (mg/L)	11	2
Yağ ve Gres, (mg/L)	130	20

**Şekil 6.** Atıksu arıtma tesisi giriş atıksuyu özellikleri [12]

Tablo 3'te farklı OSB'lerin atıksu özelliklerini karşılaştırılmıştır. Tespit edilen değerlere göre, Kayseri OSB'nin atıksuyu organik maddeler açısından Aksaray, Manisa ve Sivas OSB'lerden sonra 4. en yüksek kirliliğe sahip atıksudur. 2007'de ölçülen 1504 mg/L KOİ, 1301 mg/L AKM konsantrasyonları ile 2015 – 2020 arasında ölçülen ortalama 1418 mg/L KOİ ve 1261 mg/L AKM değerleri birbirine oldukça yakındır ve OSB'deki işletme sayısındaki değişimlere rağmen atıksu özelliklerindeki değişimlerin önemsiz seviyede olduğu görülmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, AKM dışındaki parametrelerde atıksudaki konsantrasyonların, tasarımda esas alınan değerlere eşit ya da daha düşük olduğu, AKM'nin ise daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun arıtma verimi ve deşarj limitlerini sağlamak açısından önemli bir sorun yaratmayacağı söylenebilir.

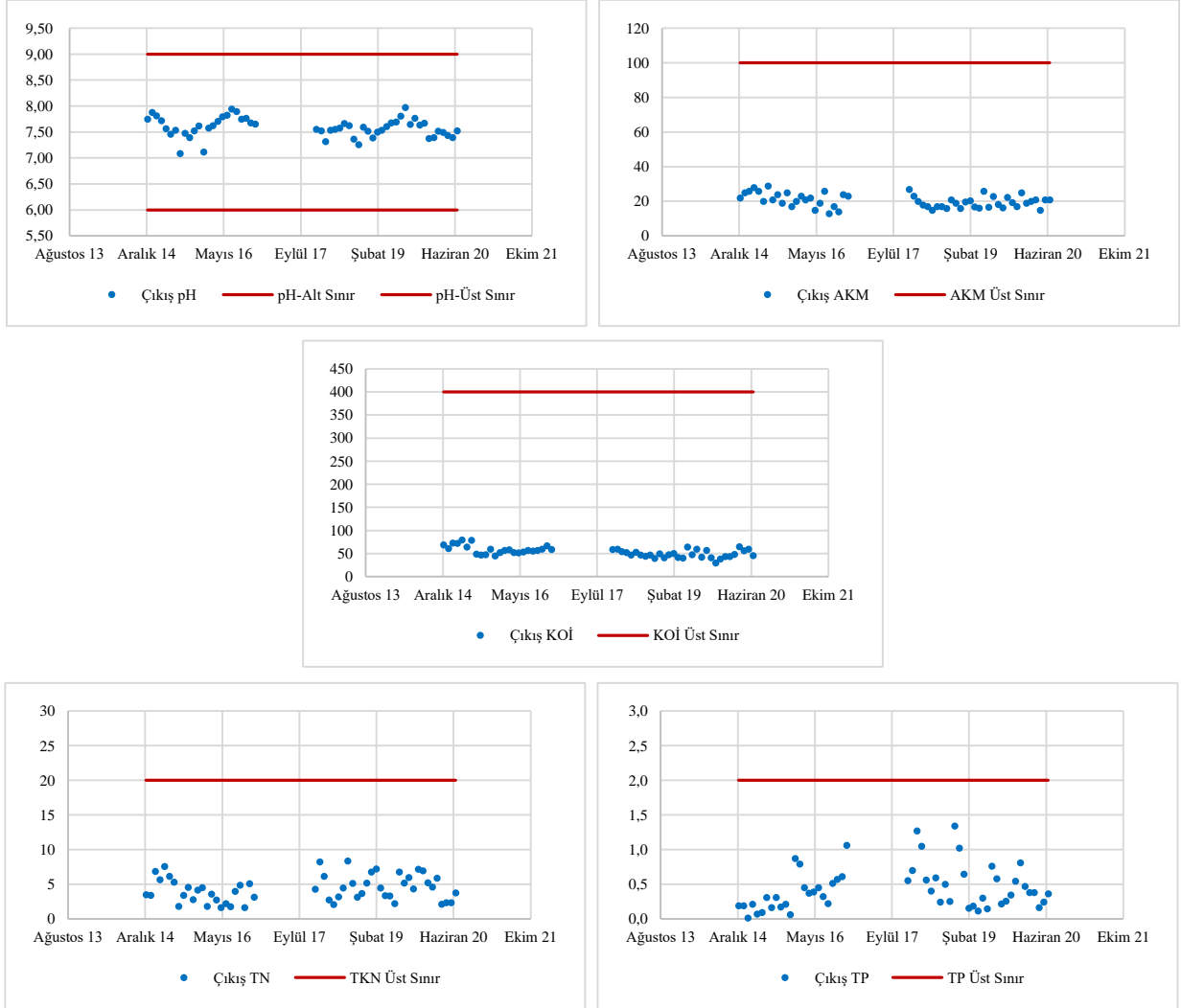
Tablo 3. Farklı OSB'lerin atıksu karakterizasyonlarının karşılaştırması

Parametre	Kayseri*	Elazığ [18]	Konya [17]	Bursa [17]	Manisa [17]	Sivas [17]	Aksaray [18]
pH	7.2	6.38-6.65	7.27- 7.61	7.8-9.2	7.6	7.68-10.3	6-9
KOİ, (mg/L)	1504	180-540	906-1191	690- 1050	1970	520-1540	2100
BOİ ₅ , (mg/L)	-	150-440	320-506	270-460	1096.7	135-665	600
AKM, (mg/L)	1301	170-260	615-1191	40-390	1254.7	125-1090	800
TKN, (mg/L)	-	-	2.26- 7.72	43.69	-	4.5-34.5	20
TP, (mg/L)	8	5.07-7.98	1.26- 6.14	5.9-8.9	-	0.24-2.8	20
Yağ-Gres, (mg/L)	42	25-92	131-230	45-135	77.4	18.4-63.6	300

*2020 yılı ilk 7 ayın ortalama değerleri

3.3. Arıtma Verimi

Atıksu arıtma tesisi çıkışında 2015 – 2020 yılları (2017 yılı hariç) arasında ölçülen pH, AKM, KOİ, TN ve TP parametrelerine ait aylık ortalama değerler ve deşarj limitleri Şekil 7’de grafikler halinde verilmiştir.



Şekil 7. Atıksu arıtma tesisi çıkış atıksuyu özellikleri ve deşarj limitleri [12]

Atıksu arıtma tesisi çıkışında 5,5 yıl boyunca ölçülen pH değerleri 7,09 ila 7,98 arasında değişmiş ve deşarj sınırları olan pH 6-9 aralığının dışına çıkmamıştır. Giriş AKM değerleri tasarımda esas alınan konsantrasyonun üstünde olsa da deşarj limitlerini sağlamada sorun yaşanmamış ve 13 – 29 mg/L arasında değişen değerler ile deşarj sınırı olan 100 mg/L'nin oldukça altında seyretmiştir. Benzer şekilde KOİ değerleri de deşarj limiti olan 400 mg/L'yi hiç aşmamış ve 30 – 80 mg/L arasında değişmiştir. Çıkış TN konsantrasyonları 1,60 – 8,34 mg/L arasında ölçülüp ve 20 mg/L limitini aşmazken, TP değerleri de 0,01 – 1,34 mg/L aralığında değişerek 2 mg/L deşarj limitini sağlamıştır. Arıtma verimleri ortalama olarak AKM için %98, KOİ için %96, TN için %86 ve TP için %94 şeklinde gerçekleşmiştir. 5,5 yıllık periyotta

OSB'deki işletme sayı ve türlerindeki değişimlerin atıksu özelliklerine ve atıksu arıtma tesisi performansına önemli bir etkide bulunmadığı görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada karma OSB'lerde zaman içerisinde bölgenin gelişimi ve faaliyetlerdeki işletmelerin sayı ve türlerindeki değişimlerin atıksu özellikleri ve atıksu arıtma tesisinin performansı üzerine etkisi Kayseri OSB örneği üzerinden incelenmiştir. Bu amaçla bölgenin kuruluşu itibarıyla zaman içerisinde işletmelerin sayıları ve sektörel bazda dağılımı incelenmiştir.

Bölgenin atıksuları daha önce büyükşehir belediyesine ait kentsel atıksu arıtma tesisinde arıtılırken, bölgenin gelişmesiyle ayrı bir atıksu arıtma tesisine ihtiyaç duyulmuş ve 2009 yılında temeli atılan tesis 2013 yılında devreye alınmıştır. Tesisin tasarımı için atıksu miktar ve karakterizasyonu yaklaşık 300 işletmenin faaliyette olduğu yıllarda elde edilen verilere göre belirlenmiştir. Özellikle 2013 sonrasında bölgede önemli gelişme sağlandığı tespit edilmiştir: 2013 yılında 353 olan toplam işletme sayısı 4 yıl içerisinde hızla artarak 2017 yılında 1165'e yükselmiştir. Bununla birlikte, sektörel dağılıma bakıldığında, "makine" ve "mobilya-ahşap sektörlerinde" 2013 ve 2017 yılları arasında büyük bir fark görülmemekte, yeni açılan işletmelerin daha çok "ambalaj-plastik", "ev eşyaları, elektrikli ev aletleri ve metal ürünler" ve "inşaat yapı malzemeleri" sektörlerinde olduğu, "tekstil", "gıda" gibi sektörlerde de bir miktar artış meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca yeterli veri bulunmamakla birlikte, bölgede çalışan kişi sayısının da işletme sayısına paralel olarak önemli oranda artmış olduğu tahmin edilmekte ve 2021 itibarıyla 70.000 kişiye ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla evsel nitelikli atıksuların özellikleri çok değişmese de debisinde önemli artış olduğu düşünülmektedir.

Atıksu verilerine bakıldığında ise, tasarımda ilk etap için 40.000 m³/gün olarak esas alınan debi değerine henüz ulaşılmadığı ve mevcut durumda 28.000 – 30.000 m³/gün aralığında değiştiği görülmektedir. Atıksu karakterizasyonu için de 2008'de tespit edilen değerlerin son 5,5 yılda ölçülen değerlerle büyük oranda uyumlu olduğu ve deşarj limitlerinin sağlanmasında da herhangi bir sorun yaşanmadığı söylenebilir. İleriki dönemlerde ise OSB işletmelerindeki değişim ve gelişmelere bağlı olarak arıtmada gerekli önlemler alınabilir. Ayrıca su kaynaklarının korunması amacıyla geri kazanıma yönelik çalışmalar yapılması faydalı olacaktır [19, 20]. Sonuç olarak, Kayseri OSB'de atıksu arıtma tesisinin tasarımı esas alınan atıksu debi ve karakterizasyonu oldukça isabetli şekilde öngörülmüş, tesis başarılı şekilde kurulup işletilmiş ve OSB'deki işletmelerin sayı ve türlerindeki değişimlere rağmen deşarj kriterleri uzun dönem boyunca başarılı şekilde sağlanmıştır. Bu bağlamda, diğer OSB'ler için iyi bir örnek teşkil etmektedir.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

İnceleme ve araştırma yapmak üzere işletmelerini bize açan, ihtiyacımız olan bilgi ve verileri bizimle paylaşarak bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde büyük katkı sağlayan Kayseri OSB Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

M.K.: Literatür araştırması, veri toplanması, H.D.: Verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesi, makale yazımı ve düzenleme.

6. Kaynaklar

- [1] OSB Üst Kuruluşu, Türkiye'de ve Dünyada OSB Uygulamaları, <https://osbuk.org/turkiyede-ve-dunyada-osb-uygulamalari/> (Erişim: 23.07.2021)
- [2] Resmî Gazete Tarihi: 11.08.1983 Resmî Gazete Sayısı: 18132, "Çevre Kanunu"
- [3] Koç S., Bulmuş C., "Organize Sanayi Bölgelerinin Bölge Ekonomilerindeki Etkinliklerinin Karşılaştırılması: Kayseri ve Sivas Örneği" *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4, 1, 177-215, 2014

- [4] Resmî Gazete Tarihi: 02.02.2019 Resmî Gazete Sayısı: 30674, “Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği”
- [5] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Web Sitesi, Haberler, <https://www.csb.gov.tr/bakan-kurum-turkiye-nin-en-buyuk-cevre-projesiyle-ergene-eski-haline-donecek-bakanlik-faaliyetleri-25346>, 2018, (Erişim: 23.07.2021)
- [6] OSB Üst Kuruluşu, “Organize Sanayi Bölgeleri Güncel Envanter Tablosu, 08.07.2021” <https://osbuk.org/wp-content/uploads/2021/07/envantertemmuz2021.pdf>, 2021 (Erişim: 23.07.2021)
- [7] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Organize Sanayi Bölgeleri Envanteri, 2018” <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjX0fj56vjxAhWpsaOKHAIqAbMQFjAAegQICBAD&url=https%3A%2F%2Fwebdosya.csb.gov.tr%2Fdb%2Fcygm%2Ficerikler%2F%2F2018-organize-sanayi-bolgeleri-envanteri-20181112091121.xls&usg=AOvVaw0eWPJxhUT0QK5ekNAUdo2B>, 2018 (Erişim: 23.07.2021)
- [8] Kayseri OSB, Web sitesi, Firmalar, <https://www.kayseriosb.org/tr/5/Firmalar.html>, (Erişim: 23.07.2021)
- [9] TRT Haber, Web sitesi, Fotoğraf: <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/kayseri-osbnin-yillik-uretim-hacmi-40-milyar-liraya-yaklasti-519788.html> (Erişim: 23.07.2021)
- [10] Kayseri OSB, Web sitesi, “Firma Rehberi”, <https://www.kayseriosb.org/Media/Dokuman/KayseriOSBRehber05ed5fe099804c14b3a34c4aac5300fc.pdf>, 2018 (Erişim:23.07.2021)
- [11] Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004, Resmi Gazete Sayısı: 25687, “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”
- [12] Kayseri OSB, Çevre Yönetim Müdürlüğü, (Yüzyüze Görüşme), 2021
- [13] Çelik T., “Kayseri Ekonomisinin Üretim Yapısı: Değişme, Gelişme ve İleriye Yönelik Tahminler” *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi XL*, 1, 7-19, 2016
- [14] Ünlü F., Yıldız R., “Kayseri Organize Sanayi Bölgesindeki Firmaların Yenilik Faaliyetleri Üzerine Bir Alan Çalışması” *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 8, 2, 69-87, 2013
- [15] Kaya D., Eyidoğan M., Çoban V., Çağman S., Sert M. Ö., Bilgin H., Sandal C., Bahadır M., “Kayseri OSB Endüstriyel Simbiyoz Olanaklarının Araştırılması Projesi Raporu” ORAN Orta Anadolu Kalkınma Ajansı, Kayseri OSB, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Melikgazi, Kayseri, 2017
- [16] Kayseri OSB, Web sitesi, Rakamlarla OSB, <https://www.kayseriosb.org/tr/313/Rakamlarla-OSB.html>, (Erişim: 23.07.2021)
- [17] Çiner F., Eker A., “Characterization and Chemical Treatment of a Medium-Large Scale Mixed-Organized Industrial Estate (OIE)”, *Desalination*, 211, 102-112, 2007
- [18] Şimşek F., “Aksaray Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Atıksu Yönetimi ve Çözüm Önerileri” Aksaray Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 71 s, Aksaray, 2016
- [19] Solmaz Akal S. K., Üstün G. E., Çiner F., “Treatability Studies for an Organized Industrial District (OID) Effluent in Bursa, Turkey For Agricultural Irrigation Purposes”, *Desalination and Water Treatment*, 33(1-3),156-163, 2011, DOI:10.5004/dwt.2011.2626.
- [20] Eker A., Çiner F., “Sivas Organize Sanayi Bölgesi’nde Kirlenme Profili ve Arıtma Alternatifleri”, *DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6, 3, 97-112, 2004



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: 10.17100/nevbiltek.934874

Geliş Tarihi:08-05-2021

Kabul Tarihi:25-08-2021



Poliamidoamin Dendrimeri ile Modifiye Edilen Demir Oksit Nanopartiküllerle Hazırlanmış MNPs-G1-Mu Adsorbantı Tarafından Cr(III) İyonlarının Adsorpsiyonunun İncelenmesi ^A

Selma EKİNCİ^{1,*}, Zülfıye İLTER²

¹Batman Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Batman Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-7835-4832

²Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Elazığ, Türkiye

ORCID ID:0000-0002-2135-0347

Öz

Bu çalışmada daha önceden sentezlenmiş bir nano adsorbant olan MNPs-G1-Mu tarafından Cr (III) metal iyonlarının adsorpsiyon işlemi ile sudan uzaklaştırılması amaçlanmıştır. MNPs-G1-Mu adsorbantı; Pamam dendrimeri ile modifiye edilmiş demir oksit nanopartiküllerden sentezlenmiştir. Cr (III) iyonlarının MNPs-G1-Mu üzerindeki adsorpsiyonunu etkileyen faktörler (denge temas süresi, pH, adsorbant miktarı, Cr (III) iyonları çözeltisinin başlangıç konsantrasyonu) incelenmiştir. Daha sonra adsorpsiyon kinetiğinin anlaşılması için kinetik çalışma yapılmıştır. Kinetik deney sonuçlarından elde edilen veriler yalnızca birinci ve ikinci derece kinetik denklemlerinde değerlendirilmiş ve adsorpsiyonun her iki kinetik denkleme de uyduğu belirlenmiştir. Yalnızca ikinci derece kinetik denklemden üç sıcaklık için (298, 308 ve 318 K) elde edilen hız sabitleri Arrhenius denkleminde uyarlanmış olup adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi 2.58 kJ mol⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Son olarak adsorpsiyona ait izoterm çalışması yapılmıştır. Adsorpsiyonun, Freundlich adsorpsiyon izotermine uyduğu görülmüştür. Freundlich izoterm sabitleri olan "k" ve "n" sabitleri sırasıyla 26.964 ve 0.8899 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, MNPs-G1-Mu adsorbantının Cr (III) iyonlarını etkili bir şekilde sudan uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanoadsorbant; Cr (III); adsorpsiyon; demir oksit nanopartiküller

Investigation of the Adsorption of Cr (III) Ions by MNPs-G1-Mu Adsorbent Prepared with Iron Oxide Nanoparticles Modified with Polyamidoamine Dendrimer

Abstract

In this study, it was aimed to remove Cr (III) metal ions from water by MNPs-G1-Mu, a nano adsorbent previously synthesized. MNPs-G1-Mu adsorbent was synthesized from iron oxide nanoparticles modified with Pamam dendrimer. Factors affecting the adsorption of Cr (III) ions on MNPs-G1-Mu (equilibrium contact time, pH, adsorbent amount, initial concentration of Cr (III) ions solution) were investigated. Then, a kinetic study was conducted to understand the adsorption kinetics. The data obtained from the kinetic experiment results were evaluated in pseudo first and second order kinetic equations. It has been determined that adsorption fits both kinetic equations. The rate constants obtained from the pseudo second order equation at three temperatures (298, 308 and 318 K) were adapted to the Arrhenius equation and the activation energy of adsorption was calculated as 2.58 kJ mol⁻¹. Finally, the isotherm study of adsorption has been done. It has been determined that the adsorption is suitable with the Freundlich adsorption isotherm. Freundlich isotherm constants "k" and "n" were calculated as 26.964 and 0.8899 respectively. As a result, it was determined that MNPs-G1-Mu adsorbent effectively removes Cr (III) ions from water.

Keywords: Nanoadsorbent; Cr (III) ions; adsorption; iron oxide nanoparticles

* **Sorumlu yazar:** selma.ekinci@batman.edu.tr

A: Bu makale Sema EKİNCİ'nin doktora tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

Sanayileşmenin hızla artışı, büyük ekonomik faydalar getirirken, öte yandan çevreye de büyük zarar vermektedir. Özellikle toksik ağır metal iyonları içeren büyük miktarlarda atık su, kimya endüstrileri tarafından su kaynaklarımıza deşarj edilmektedir [1-3]. Su akımlarından boşaltılan ağır metaller, toksik yapıları nedeniyle insanlar ve çevre için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Krom, toksik ağır metallere biridir, farklı oksidasyon durumlarında bulunabilir, ancak çoğunlukla Cr (III) ve Cr (VI) olarak bulunur [4]. Spesifik miktarda Cr (III), insan vücudu tarafından glikoz metabolizması için gereklidir. Ancak, insan vücudunda aşırı krom birikimi, sindirim sistemi kanseri, mide veya akciğer tahrişi gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir [5]. Krom metali, metal eritme, elektro kaplama, metal kaplama, metalurji, deri imalatı ve kurşun pil geri dönüşümü gibi birçok endüstrinin atık sularında kromat iyonları şeklinde bulunabilir [6-11]. Cr (III), Cr (VI)'ya göre daha az toksik olmasına rağmen, doğası gereği kanserojen ve mutajenik olan oldukça toksik altı değerlikli Cr (IV) durumuna kolayca oksitlenebilir. Ayrıca krom metali, atık suda aminopolikarboksilik asitler, tartarik asitler, sitrik asitler ve diğer organik maddelerle kararlı şelatlar oluşturabilir [12].

Krom metalini sudan uzaklaştırmada farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında, fotokatalitik oksidasyon [13], membran filtrasyonu [14], kimyasal indirgeme [15], iyon değişimi [16], elektrodializ [17] ve adsorpsiyon [18] gibi yöntemler bulunur. Yüksek verimliliğe sahip ve düşük maliyetli olması nedeniyle düşük konsantrasyondaki ağır metallerin giderilmesi için adsorpsiyon yöntemi yaygın olarak benimsenmiştir [17,19]. Adsorpsiyon yöntemi, uzun süredir çeşitli teknolojik süreçlerin bir parçası olmasına rağmen, asıl önemini, değerli malzemelerin geri kazanılmasını sağlayarak ekonomiye sunduğu katkı payından alır. Adsorpsiyon işlemlerinin önemli bir diğer avantajı da atık sudan istenmeyen bileşenlerin uzaklaştırılması esnasında çevrenin de korunuyor olmasıdır [20-22].

Son yıllarda, Fe₃O₄ bazlı süper paramanyetik nanopartiküller (MNP), geniş spesifik yüzey alanları ve manyetik geri kazanılabilirlikleri nedeniyle ümit verici ağır metal adsorbanları olarak kabul edilmiştir. Bu partiküller özellikle kullanımdan sonra sudan ayrılması zor olan küçük partikül adsorbanlarının dezavantajının üstesinden de gelmiştir [23-26]. Ayrıca, demir oksit manyetik nanopartiküllerin, kimyasal modifikasyon ile yüzey işlevselliği artırılarak, yüksek yoğunluklu veri depolama, manyetik rezonans görüntüleme (MRI), ilaç dağıtımı, tedavi, tanı, biyoayırma ve enzim immobilizasyonu gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir olduğu kanıtlanmıştır [27-29]. Manyetik çekirdekler, kolay sentezlenmeleri, düşük maliyetleri ve iyi kimyasal stabiliteyi nedeniyle genellikle demir oksit nanopartiküller olmaktadır [30].

Bu çalışmada, daha önce tarafımızca sentezlenen MNPs-G1-Mu adsorbanı ile sulu çözeltiden Cr (III) iyonlarını adsorpsiyon yöntemiyle uzaklaştırmak amaçlanmıştır. MNPs-G1-Mu adsorbanı, demir oksit nanopartiküllerin sentezlenip poliamidoamin dendrimeri ve amonyum purpurat (müreksit) ile modifiye edilmesiyle elde edilmiştir. Uzun sentez basamakları referans çalışmalarda verilmektedir [31,32]. Adsorpsiyon işlemi çalkalama yöntemiyle yapılmış olup, denge temas süresi, pH, Cr (III) iyonları çözeltisinin başlangıç konsantrasyonu ve adsorban miktarının adsorpsiyona etkileri üzerinde çalışılmıştır. Adsorpsiyon kinetiği ve adsorpsiyon izotermelerinin de incelenmesi çalışma kapsamındadır. Bu amaçla kinetik deneylerden elde edilen veriler yalancı birinci ve ikinci derece kinetik denklemlere uyarlanmıştır. Ayrıca, adsorpsiyonun temsil ettiği izoterm belirlenmiştir.

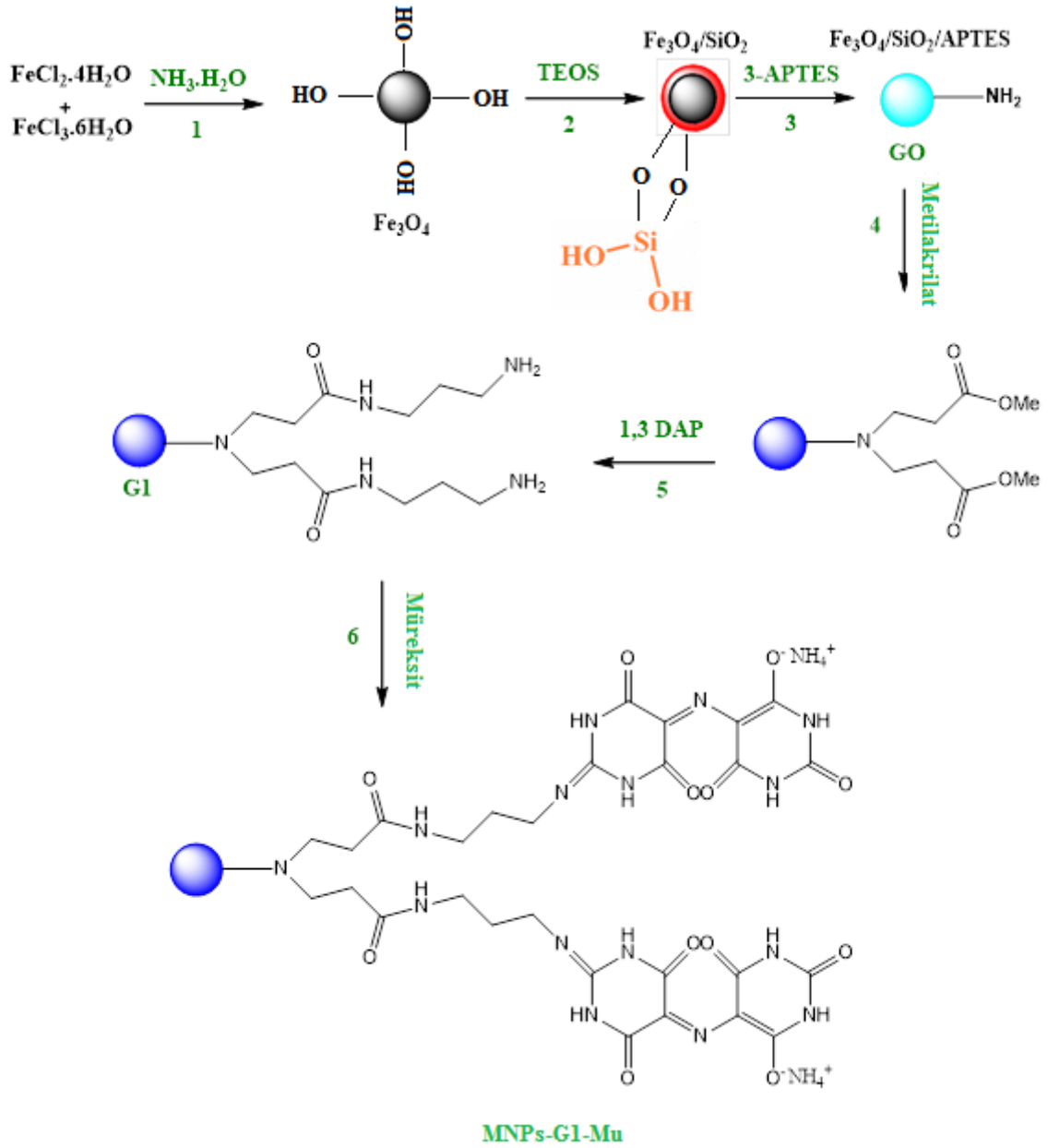
2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Materyaller

Cr (III) iyonları çözeltisi Krom (III) nitrat nanohidrat (Cr(NO₃)₃.9H₂O) (Sigma-Aldrich) kullanılarak hazırlanmıştır. Adsorpsiyon işlemlerinde, JP Selecta marka UR 6032011 model su banyolu çalkalayıcı kullanılmıştır. Ağır metal tayini, Agilent ICP-OES 725 cihazı ile analiz edilmiş ve çözeltilerin pH değerleri ise Hanna Instrument HI 221 marka pH metre kullanılarak 0.1 M'lık NaOH ve HCl (Sigma-Aldrich) çözeltileri yardımıyla ayarlanmıştır.

2.2. Adsorban Sentezi:

Çalışmada adsorban olarak kullanılan MNPs-G1-Mu nano materyalinin sentez basamakları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. MNPs-G1-Mu adsorbanının sentez basamakları [32].

İlk olarak demir oksit nanopartiküller, birlikte çöktürme yöntemiyle sentezlenmiştir. Buna göre; 3.1736 g FeCl₂·4H₂O ile 7.5684 g FeCl₃·6H₂O 320 ml saf suda çözülmüş ve azot atmosferi altında 80 °C’de bir saat karıştırılmıştır. Daha sonra 40 ml NH₄OH bu karışıma hızlıca ilave edilmiş ve bir saat daha azot atmosferinde karıştırılmıştır. Bu sürenin sonunda çöken siyah renkteki partiküller süzülüp pH’ı 7 olana kadar saf su ile defalarca yıkanmıştır. Mıknatıs yardımıyla ayrılan partiküller 70 °C’de kurutulmuştur [32,33]. Hazırlanan demir oksit nanopartiküller Şekil 1’de görülen ikinci aşamada Tetraetil ortosilikat (TEOS) ile [34] üçüncü aşamada ise 3-Aminopropil trietoksisilan (3-APTES) [35] ile

etkileştirilmiştir. Dördüncü ve beşinci aşamalarda metil akrilat ve 1,3- Diaminopropan (1,3-DAP) ile reaksiyona tabi tutularak Poliamidoamin dendrimeri ile modifiye edilmiş oldu [36]. Bu basamakların sonunda elde edilen madde, birinci jenerasyon Poliamidoamin dendrimeri ile modifiye edilen demir oksit nanopartiküller anlamında MNPs-G1 olarak adlandırılmıştır. Son aşamada ise MNPs-G1 nanopartiküllerine, amonyum purpurat (mürekkit) bağlanarak MNPs-G1-Mu olarak adlandırdığımız adsorban elde edilmiştir [32].

2.3. Adsorpsiyon Süreçleri

Adsorpsiyon deneylerine başlamadan önce Cr (III) iyonlarının 1000 mg L⁻¹'lik stok çözeltisi hazırlanmıştır. Bunun için, 7.69 g Cr(NO₃)₃.9H₂O tartılarak 1 L'lik balon jojede saf suyla çözüldükten sonra hacmi 1 L'ye tamamlanmıştır. Sonraki deneylerde bu çözelti seyreltilerek kullanılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri çalkalama yöntemiyle yapılmıştır.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2.1)$$

$$\% A = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2.2)$$

Çalkalama sonucunda çözeltilerde adsorplanmadan geriye kalan ağır metal konsantrasyonu ICP-OES cihazı ile belirlenmiş olup, adsorplanan madde miktarı (q_e) Denklem 2.1, adsorpsiyon yüzdesi (% A) ise Denklem 2.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

Denklemlerde;

q_e: adsorban üzerinde dengede adsorplanmış madde miktarı (mg g⁻¹); C₀: metal çözeltisinin başlangıç konsantrasyonu (mg L⁻¹); C_e: metal çözeltisinin dengedeki konsantrasyonu (mg L⁻¹); V: çözeltinin hacmi (L); m: adsorbanın kütlesi (g)'ni ifade etmektedir.

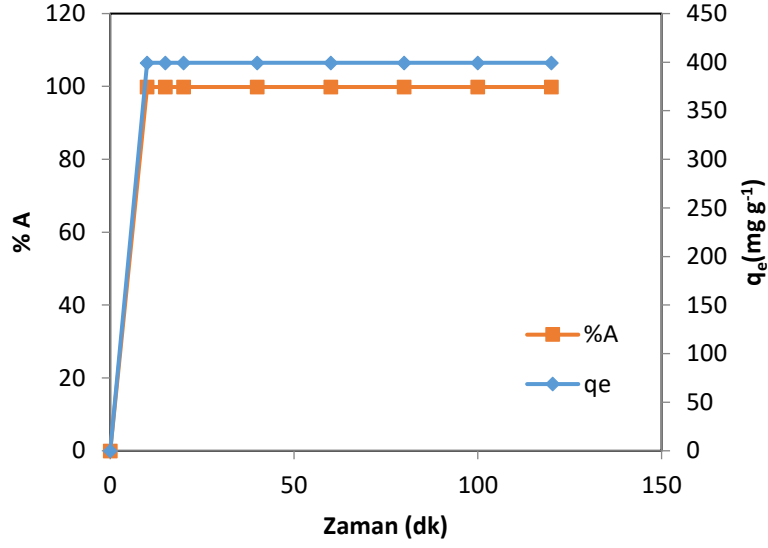
Cr (III) metal iyonlarının MNPs-G1-Mu üzerinde adsorpsiyonunun denge temas süresini belirlemek için stok çözeltilerden seyreltilerek hazırlanmış 100 mg L⁻¹'lik 200 mL metal çözeltisine 0.05 g adsorban ilave edilmiştir. Farklı zaman dilimlerinde çözeltilerden alınan numunelerde bulunan metal konsantrasyonu ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir. Cihazdan elde edilen C_e değerleri yardımıyla adsorplanan madde miktarı (q_e) hesaplanmış ve temas süresine karşılık % A ve q_e değerleri grafiğe geçirilmiştir. Adsorban miktarı, pH, başlangıç Cr (III) iyonlarının adsorpsiyona etkisini belirleme deneylerinde ise 50'şer mL'lik metal çözeltileri (100 mg L⁻¹) ile 0.05 g adsorban kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiğe geçirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Denge Temas Süresi

Cr (III) metal iyonlarının MNPs-G1-Mu üzerindeki adsorpsiyonuna ait denge temas süresinin belirlenmesi için 200 mL metal çözeltisi (pH 2) ile 0.05 g MNPs-G1-Mu adsorbanı karıştırılıp 2 saat boyunca oda sıcaklığında (298 K) çalkalanmıştır. Çözeltilerden farklı zamanlarda alınan numunelerde kalan Cr (III) iyonları konsantrasyonu (C_e) ICP-OES

cihazı ile ölçülmüştür. q_e ve % A değerleri de Denklem 2.1 ve 2.2 sırasıyla kullanılarak hesaplanmış ve zamana karşı q_e ve % A grafiği (Şekil 2) çizilmiştir.

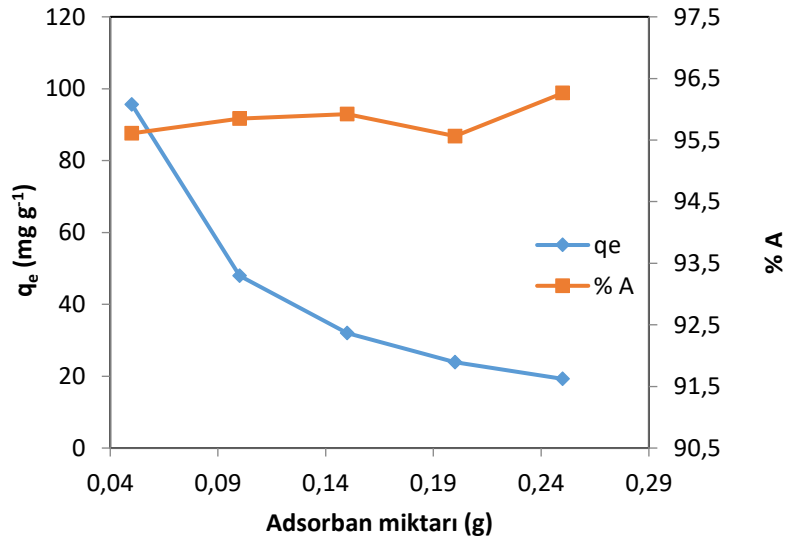


Şekil 2. Cr (III) iyonlarının MNPs-G1-Mu adsorbantı üzerindeki adsorpsiyonuna temas süresinin etkisi

Şekil 2'ye göre; adsorpsiyon 10. dakikada dengeye ulaşmıştır. Maksimum adsorplanan Cr (III) miktarı (q_e) 399.364 mg g⁻¹ olmuştur. Adsorpsiyon yüzdesi ise % 99.8'dir.

3.2. Adsorbant Miktarının Etkisi

Cr (III) iyonlarının MNPs-G1-Mu üzerindeki adsorpsiyonuna adsorbant miktarının etkisini incelemek için pH'ı 2 olan 50 mL'lik 100 mg L⁻¹ konsantrasyonundaki Cr (III) iyonu çözeltilerine 0.05; 0.1; 0.15; 0.2; 0.25 g miktarlarında adsorbant ilave edilip yarım saat boyunca çalkalanmıştır. Çalkalama işleminden sonra numunelerde kalan Cr (III) iyonları miktarı yine ICP-OES cihazı ile belirlenmiş olup, q_e ve % A değerleri hesaplanıp grafiğe (Şekil 3) geçirilmiştir.

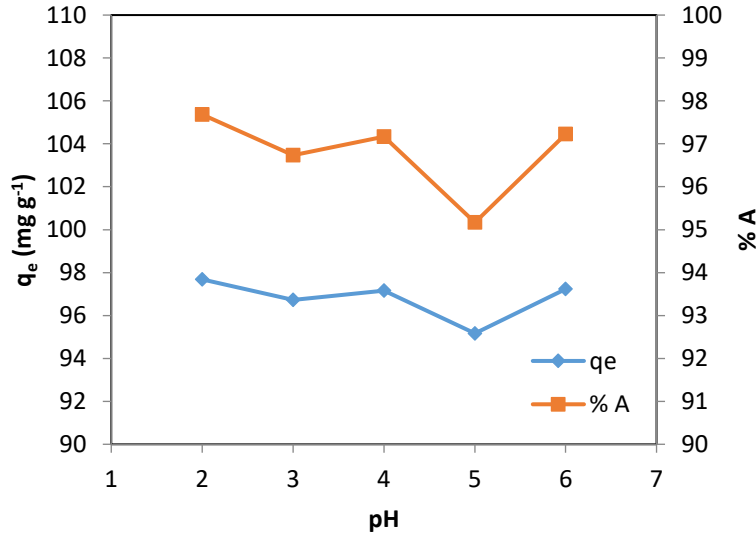


Şekil 3. Cr (III) iyonlarının MNPs-G1-Mu adsorbantı üzerindeki adsorpsiyonuna adsorbant miktarının etkisi

Şekil 3'e göre; adsorban miktarının artmasıyla adsorpsiyon yüzdesi % 95 ile 96 civarında seyretmiştir. Yani, önemli oranda değişiklik göstermemiştir. Buna karşılık adsorplanan Cr (III) iyonları miktarı azalmıştır. 0.05 g adsorban kullanıldığında 95.61 mg g^{-1} ile q_e , en yüksek değerine ulaşmıştır. 0.25 g adsorban kullanıldığında ise 19.252 mg g^{-1} ile q_e , en düşük değerindedir. Daha önceki bir çalışmada da benzer şekilde artan adsorban dozu ile birim adsorpsiyondaki azalmanın, temel olarak adsorpsiyon reaksiyonu sırasında doymamış kalan adsorpsiyon bölgelerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır [37].

3.3. pH'in Etkisi

pH'in etkisi incelenirken, Cr (III) iyonlarının 2, 3, 4, 5 ve 6 pH değerlerinde beş farklı çözeltisi hazırlanmıştır. Çözeltilerin pH'ı 0.1 M HCl veya NaOH çözeltileri yardımıyla ayarlanmıştır. Bu çözeltiler yine 0.05 g adsorbanla etkileştirilip adsorpsiyona tabi tutulmuştur. Sonuçta pH değerlerine karşı q_e ve % A değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 4 elde edilmiştir.

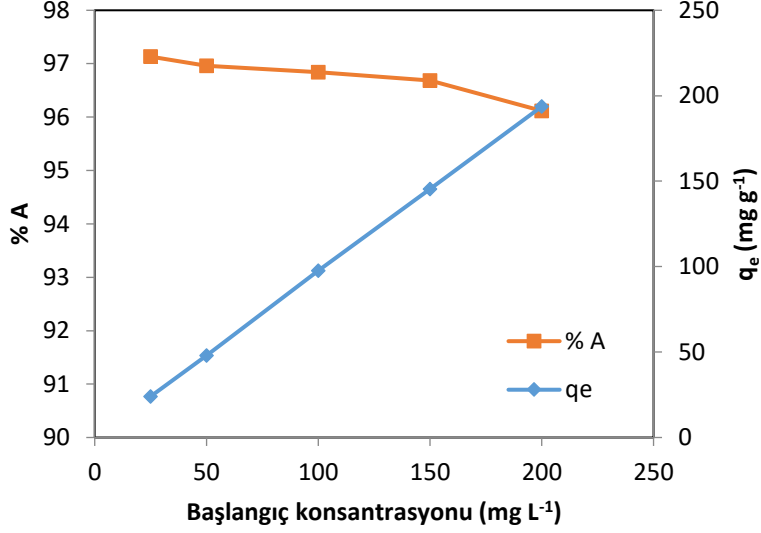


Şekil 4. Cr (III) iyonlarının MNPs-G1-Mu adsorbanı üzerindeki adsorpsiyonuna pH'in etkisi

Şekil 4 incelendiğinde, pH'ın 2 ile 6 aralığındaki değişiminin adsorpsiyonu önemli oranda etkilemediği görülebilmektedir. pH 2 iken, adsorpsiyon yüzdesi % 97.68, adsorplanan Cr (III) miktarı (q_e) ise 97.683 mg g^{-1} ve pH 6 iken bu değerler % 97.23 ile 97.23 mg g^{-1} olmuştur. pH'ın artması ortamın negatif yükünün artmasını sağlar. Cr (III) iyonlarının adsorpsiyonu elektrostatik çekim kuvvetinden dolayı gerçekleşir. Öte yandan pH yükseldikçe hidroliz reaksiyonları sonucu ortamda Cr(OH)^{+2} , Cr(OH)_2^+ , $\text{Cr}_2(\text{OH})_2^{+4}$ ve $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{+5}$ gibi yeni türler oluşur [32,38]. Toplam Cr(III) iyonu konsantrasyonu 100 mg L^{-1} ve pH 3 olduğunda çözünmüş türlerin oranı Cr^{+3} (%87), Cr(OH)^{+2} (%11) ve $\text{Cr}_2(\text{OH})_2^{+4}$ (%2) şeklindedir. pH 4 olduğunda ise bu türlerin oranı şu şekilde değişir: Cr^{+3} (%30), Cr(OH)^{+2} (%40), $\text{Cr}_2(\text{OH})_2^{+4}$ (%26) ve $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{+5}$ (%4). Adsorban yüzeyi hidroksilli Cr iyonlarına daha fazla ilgi göstereceğinden pH 6'dan sonra adsorpsiyon azalacaktır. Bu yüzden Cr (III) iyonlarının adsorpsiyon çalışmaları genellikle pH 2-6 arasında yapılır [32,39].

3.4. Cr (III) iyonlarının Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi

Cr (III) iyonlarının 25, 50, 100, 150 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında pH'ı 2 olan beş farklı çözeltisi hazırlanmış ve 0.05 g adsorbanla karıştırılıp adsorpsiyon işlemine geçilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen q_e ve % A verileri başlangıç konsantrasyonlarına karşı grafiğe (Şekil 5) geçirilmiştir.



Şekil 5. Cr (III) iyonlarının başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyona etkisi

Şekil 5'e göre, Cr (III) iyonlarının başlangıç konsantrasyonu arttırıldığında adsorplanan Cr (III) iyonları miktarı (q_e) artmıştır, adsorpsiyon yüzdesi ise çok az miktarda azalmıştır. Başlangıç Cr (III) iyonları konsantrasyonunun artması ile ortamda daha fazla metal iyonu bulunduğu için q_e değerleri artmıştır. Adsorpsiyon yüzdesindeki hafif düşüş ise adsorban yüzeyinde zamanla aktif adsorpsiyon bölgelerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Buna benzer bir sonuç referans makalede de verilmiştir [40].

3.5. Adsorpsiyon Kinetiği

Cr (III) iyonlarının MNPs-G1-Mu üzerinde adsorpsiyonuna ait kinetik veriler iki kinetik denklemde değerlendirilmiştir. Bunlar; yalancı birinci derece kinetik denklemi (Denklem 3.1) ve yalancı ikinci derece kinetik denklemi (Denklem 3.2)'dir. Denklemlerin çizgisel ifadeleri aşağıdaki gibidir.

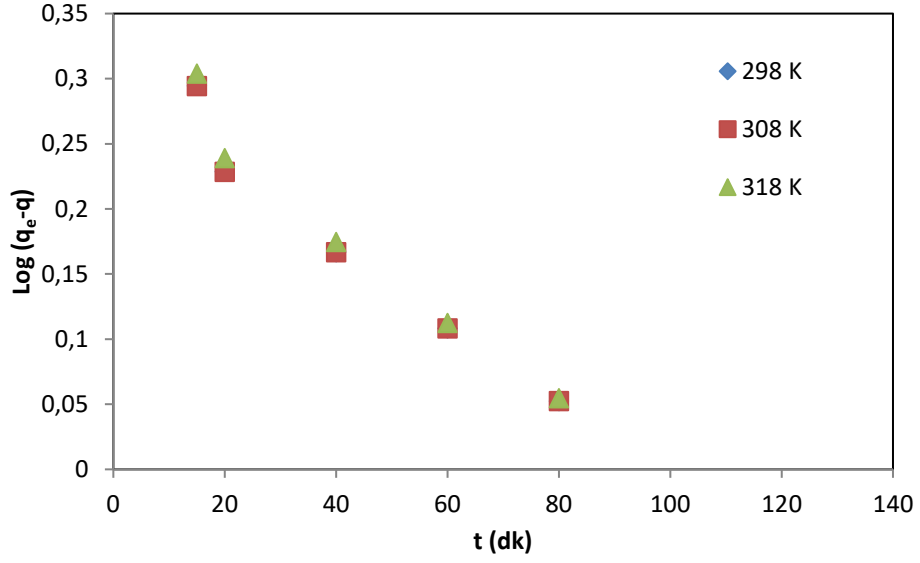
$$\log(q_e - q) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} \cdot t \quad (3.1)$$

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3.2)$$

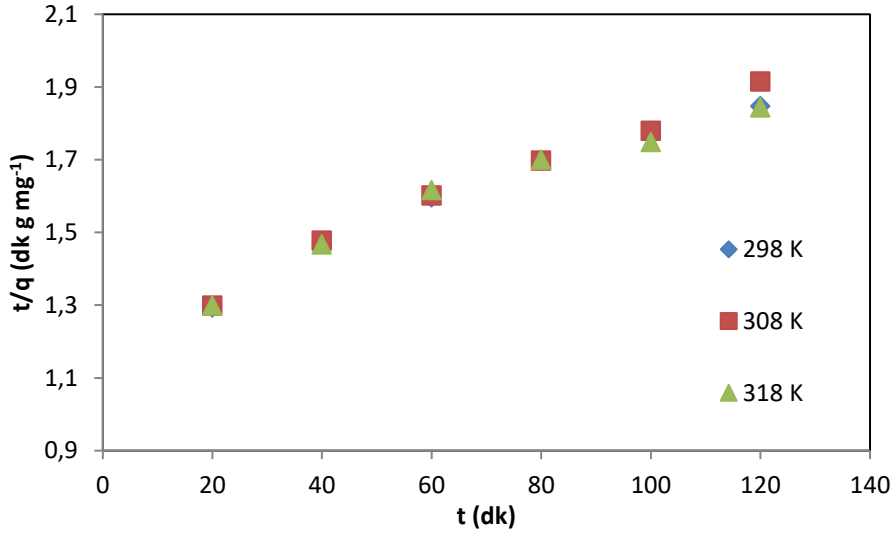
Burada; q_e (mg g⁻¹): dengede adsorlanan madde miktarı; q (mg g⁻¹): herhangi bir anda adsorplanan madde miktarı; k₁ (dk⁻¹): yalancı birinci derece hız sabiti; k₂ (g mg⁻¹ dk⁻¹): yalancı ikinci derece hız sabiti ve t (dk): zaman ifade etmektedir.

Adsorpsiyona ait üç sıcaklıkta (298, 308 ve 318 K) elde edilen kinetik verilerin her iki kinetik denkleme de uyduğu Şekil 6 ve 7'deki grafiklerden ve Tablo 1'de verilen R² değerlerinden anlaşılmaktadır. Bu grafiklerin eğim ve kayma değerlerinden hesaplanan hız sabitleri (k_{ads,1} ve k_{ads,2}) ile grafiklere ait R² değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Hız

sabitlerinin değerlerine bakıldığında sıcaklık artınca hız sabitinin sayısal değeri de küçüldüğü için adsorpsiyon hızının sıcaklıkla azaldığı söylenebilir.



Şekil 6. MNP-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait yalancı birinci derece kinetik denkleminin grafiği



Şekil 7. MNP-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait yalancı ikinci derece kinetik denkleminin grafiği

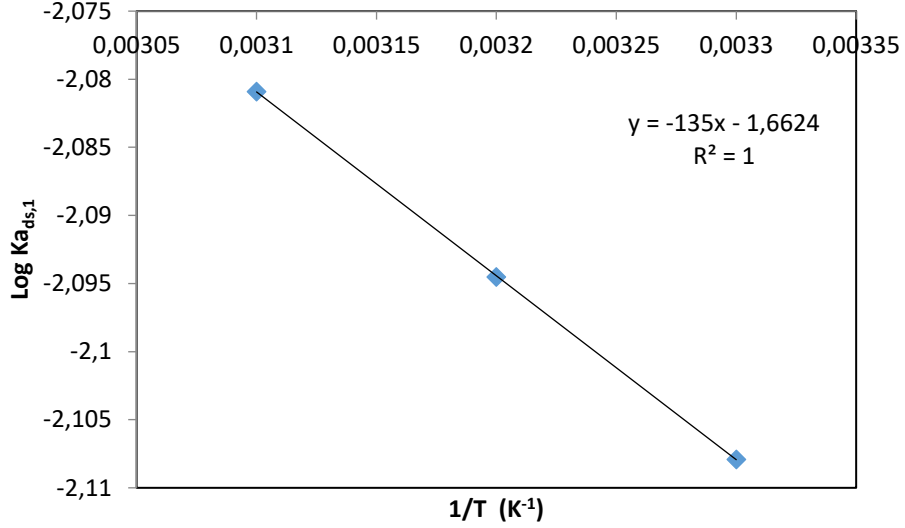
Tablo 1. Yalancı birinci ve ikinci derece hız sabitleri

T (K)	$k_{ads,1}$ (dk ⁻¹)	R ²	$k_{ads,2}$ (g mg ⁻¹ dk ⁻¹)	R ²
298	0.0083	0.9588	$2.7 \cdot 10^{-5}$	0.9691
308	0.0078	0.9587	$2.3 \cdot 10^{-5}$	0.9848
318	0.0076	0.9636	$2.1 \cdot 10^{-5}$	0.9566

$k_{ads,1}$ hız sabitleri Arrhenius denkleminde (Denklem 3.3) değerlendirilerek Şekil 8'de görülen grafik elde edilmiştir. Arrhenius denkleminin çizgisel şekli aşağıda verilmiştir.

$$\log k_{ads,1} = \log A - \frac{E_a}{2,303R} \times \frac{1}{T} \quad (3.3)$$

A; adsorpsiyon olayının frekans faktörü, R; evrensel gaz sabiti (8.314 J mol⁻¹ K⁻¹), T; mutlak sıcaklık (K) ve E_a ise adsorpsiyonun aktivasyon enerjisidir. 1/T değerleri log k_{ads,1} değerlerine karşılık grafiğe geçirildiğinde, elde edilen doğrunun eğiminden, adsorplanan maddenin adsorplanabilme enerjisine karşılık gelen aktivasyon enerjisi (E_a) belirlenir. Arrhenius denkleminin ait grafik Şekil 8’de gösterilmiştir. Bu grafiğin eğiminden adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi 2.58 kJ mol⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisinin büyüklüğü adsorpsiyonun fiziksel olduğunu göstermektedir.



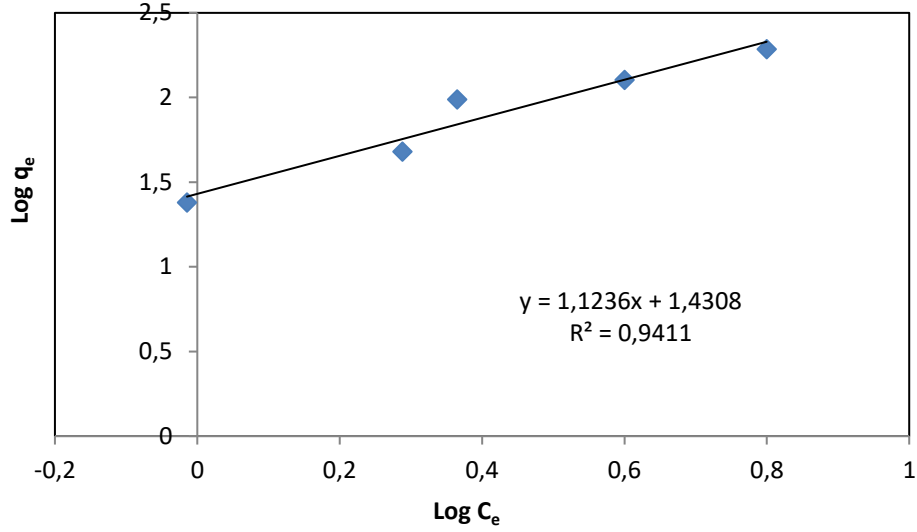
Şekil 8. MNPs-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait Arrhenius denkleminin grafiği

3.6. Adsorpsiyon İzotermi

İzoterm çalışmasına ait deneysel veriler hem Langmuir hem de Freundlich adsorpsiyon izotermelerinin denklemlerinde değerlendirildi. Ancak deneysel verilerin sadece Freundlich adsorpsiyon izotermi ile uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. Freundlich izotermine çizgisel denklemi aşağıda verilmektedir.

$$\log q_e = \log k + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3.4)$$

Denklemden “k” ve “n” Freundlich sabitleridir. Freundlich izoterm grafiğinin (Şekil 9) eğim ve kayma değerlerinden bu sabitler sırasıyla 26.964 ve 0.8899 olarak hesaplanmıştır. Freundlich izotermi; adsorpsiyonun tek tabaka değil çok tabaka üzerinde gerçekleştiğini ve heterojen olduğunu ifade eder.



Şekil 9. MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

4. Sonuç ve Tartışma

Sonuç olarak; Cr (III) metal iyonlarının MNPs-G1-Mu adı verilen nano adsorban üzerinde sudan etkin şekilde uzaklaştırılmasına ait araştırmadan elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

- Adsorpsiyon 10 dakikada dengeye ulaşmış ve % 99,8 verimle gerçekleşmiştir.
- Adsorpsiyon, pH 2’de, 0.15 g adsorban miktarıyla ve 100 mL başlangıç Cr (III) konsantrasyonunda en yüksek performansla gerçekleştirilebilir.
- Adsorpsiyon her iki kinetik denkleme de uygunluk göstermiştir. $k_{ads,2}$ hız sabitinin değerinin sıcaklığın artmasıyla azalması adsorpsiyon hızının sıcaklıkla azaldığını göstermektedir.
- Üç sıcaklıkta elde edilen $k_{ads,2}$ hız sabitlerinin Arrhenius denkleminde değerlendirilmesi ile adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi 2.58 kJ mol^{-1} olarak hesaplanmış ve bu değerden de adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon olduğu sonucu çıkarılmıştır.
- Adsorpsiyon izotermi, Freundlich izotermine uyum sağlamıştır. Freundlich sabitleri k ve n ise sırasıyla 26.964 ve 0.8899 olarak hesaplanmıştır.
- MNPs-G1-Mu adsorbani, Cr (III) metal iyonlarının adsorpsiyon yöntemi ile sudan uzaklaştırılmasında çok etkili olmuştur denilebilir.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü (FÜBAP) tarafından desteklenmiştir (FF.1638). S.E: Deneylerin yapılması, makale yazımı.Z.İ: Çalışmanın yürütülmesi, sonuçların değerlendirilmesi, makale yazımı düzenleme.

6. Kaynaklar

- [1] Karezani E., Hallajisani A., Asgarpour Khansary M., “A quantum mechanics/molecular mechanics (QM/MM) investigation on the mechanism of adsorptive removal of heavy metal ions by lignin: single and competitive ion adsorption” *Cellulose*, 24 (8), 3131-3143, 2017
- [2] Shang J., Yanni G., He D., Qu W., Tang Y., Zhou L., Zhu R., “A novel graphene oxide-dicationic ionic liquid composite for Cr(VI) adsorption from aqueous solutions” *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125706, 2021
- [3] Ayati A., Ranjbari S., Tanhaei B., Sillanpää M., “Ionic liquid-modified composites for the adsorptive removal of emerging water contaminants: a review” *Journal of Molecular Liquids*, 275, 71-83, 2019
- [4] Wang J., Mao M., Atif S., Chen Y., “Adsorption behavior and mechanism of aqueous Cr(III) and Cr(III)-EDTA chelates on DTPA-chitosan modified $Fe_3O_4@SiO_2$ ” *Reactive and Functional Polymers*, 156, 104720, 2020
- [5] Habibi Z., Karimi Dehkordi S., Kargar S., Sadeghi M., “Grain source and chromium supplementation: effects on health, metabolic status, and glucose-insulin kinetics in Holstein heifer calves” *Journal of Dairy Science*, 102, 8941-8951, 2019
- [6] Li W., Xue X., “Emission reduction research and formation of hexavalent chromium in stainless steel smelting: cooling rate and boron oxide addition effects” *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 131-143, 2019
- [7] Ishfaq A., Ilyas S., Yaseen A., Farhan M., “Hydrometallurgical valorization of chromium, iron, and zinc from an electroplating effluent” *Separation and Purification Technologies*, 209, 964-971, 2019
- [8] Almotairi A., Farhat Z., Warkentin A., “Thermal damage of conventional hard chromium coatings on 416 stainless steel” *Engineering Failure Analysis*, 105, 1118-1130, 2019
- [9] Wang X., Gao D., Chen B., Meng Y., Fu Z., Wang M., “A clean metallurgical process for separation and recovery of vanadium and chromium from V-Cr-bearing reducing slag” *Hydrometallurgy*, 181, 1-6, 2018
- [10] Zhang C., Xia F., Long J., Peng B., “An integrated technology to minimize the pollution of chromium in wet-end process of leather manufacture” *Journal of Cleaner Production*, 154, 276-283, 2017
- [11] Peng H., Gou J., Li B., Liu Z., Tao C., “High-efficient recovery of chromium (VI) with lead sulfate” *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 85, 149-154, 2018
- [12] Wang J., Tong X., Chen Y., Sun T., Liang L., Wang C., “Enhanced removal of Cr(III) in high salt organic wastewater by EDTA modified magnetic mesoporous silica” *Microporous Mesoporous Materials*, 303, 110262, 2020
- [13] Zhao X., Guo L., Qu J., “Photoelectrocatalytic oxidation of Cu-EDTA complex and electrodeposition recovery of Cu in a continuous tubular photoelectrochemical reactor” *Chemical Engineering Journal*, 239, 53-59, 2014 (fotokatalitik oksidasyon)
- [14] Barbosa R.F.S., Souza A.G., Maltez H.F., Rosa D.S. “Chromium removal from contaminated wastewaters using biodegradable membranes containing cellulose nanostructures” *Chemical Engineering Journal*, 395,125055, 2020
- [15] Li X., Ai L., Jiang J., “Nanoscale zerovalent iron decorated on graphene nanosheets for Cr(VI) removal from aqueous solution: Surface corrosion retard induced the enhanced performance” *Chemical Engineering Journal*, 288, 789-797, 2016
- [16] Wang H., Song X., Zhang H., Tan P., Kong F., “Removal of hexavalent chromium in dual-chamber microbial fuel cells separated by different ion exchange membranes” *Journal of Hazardous Materials*, 384, 121459, 2020
- [17] Dos Santos C.S.L., Miranda Reis M.H., Cardoso V.L., de Resende M.M., “Electrodialysis for removal of chromium (VI) from effluent: Analysis of concentrated solution saturation” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7 (5), 103380, 2019

- [18] Liu L., Liu J., Zhao L., Yang Z., Lv C., Xue J., Tang A., “Synthesis and characterization of magnetic Fe₃O₄@CaSiO₃ composites and evaluation of their adsorption characteristics for heavy metal ions” *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 8721-8736, 2019
- [19] Li X., Ai L., Jiang J., “Nanoscale zerovalent iron decorated on graphene nanosheets for Cr(VI) removal from aqueous solution: Surface corrosion retard induced the enhanced performance” *Chemical Engineering Journal*, 288, 789-797, 2016
- [20] Wang K., Wu Y., Li N., Cai N., Huang S., Li H., Xiao Q., “No Access γ -Al₂O₃ yolk-shell porous microspheres with superior Congo red removal performance” *Surface Innovations*, 8 (1-2), 65-75, 2020
- [21] Braniša J., Jomova K., Lapčík L., Porubská M., “Testing of electron beam irradiated sheep wool for adsorption of Cr(III) and Co(II) of higher concentrations” *Polymer Testing*, 107191, 2021
- [22] Zhou S.Y., Yao Z.Y., Qie L.M., Xie S.B., Yang Q., Qi J.H., “Pb (II) adsorption by nanogoethite loaded with chestnut shell pigment” *Emerging Materials Research*, 9 (2), 410-418, 2020
- [23] Gomez-Pastora J., Bringas E., Ortiz I., “Recent progress and future challenges on the use of high performance magnetic nano-adsorbents in environmental applications” *Chemical Engineerig Journal*, 256, 187-204, 2014
- [24] Lin S., Xu M., Zhang W., Hua X., Lin K., “Quantitative effects of amination degree on the magnetic iron oxide nanoparticles (MIONPs) using as adsorbents to remove aqueous heavy metal ions” *Journal of Hazardous Materials*, 335, 47-55, 2017
- [25] Mandavian A.R., Mirrahimi M.A.S., “Efficient separation of heavy metal cations by anchoring polyacrylic acid on superparamagnetic magnetite nanoparticles through surface modification” *Chemical Engineering Journal*, 159, 264-271, 2010
- [26] Xu H., Yuan H., Yu J., Lin S., “Study on the competitive adsorption and correlational mechanism for heavy metal ions using the carboxylated magnetic iron oxide nanoparticles (MNPs-COOH) as efficient adsorbents” *Applied Surface Science*, 473, 960-966, 2019
- [27] Gaihre B., Khil M.S., Lee D.R., Kim H.Y., “Gelatin-coated magnetic iron oxide nanoparticles as carrier system: drug loading and in vitro drug release study” *International Journal of Pharmaceutics*, 365, 180-189, 2009
- [28] Lu A.H., Salabas E.L., Schuth F., “Magnetic nanoparticles: synthesis, protection, functionalization, and application” *Angew Chemie International Edition*, 46, 1222-1244, 2007
- [29] Yong Y., Bai Y.X., Li Y.F., Lin L., Cui Y.J., Xia C.G., “Characterization of Candida rugosa lipase immobilized onto magnetic microspheres with hydrophilicity” *Process Biochemistry*, 43, 1179-1185, 2008
- [30] Lai B.H., Yeh C.C., Chen D.H., “Surface modification of iron oxide nanoparticles with polyarginine as a highly positively charged magnetic nano-adsorbent for fast and effective recovery of acid proteins” *Process Biochemistry*, 47 (5), 799-805, 2012
- [31] Ekinci S., İltar Z., Ercan S., Çınar E., Çakmak R., “Magnetite nanoparticles grafted with murexide-terminated polyamidoamine dendrimers for removal of lead (II) from aqueous solution: synthesis, characterization, adsorption and antimicrobial activity studies” *Heliyon*, 7, e06600, 2021
- [32] Ekinci, S. “Poliamidoamin dendrimerleri ile modifiye edilmiş süperparamagnetik demir oksit nanopartiküllerin hazırlanması ve bazı ağır metallerin ve boyar maddelerin adsorpsiyonunda kullanılması” Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 2019
- [33] Özmen, M., Can, K., Arslan, G., Tor, A., Cengeloğlu, Y., Ersöz, M., “Adsorption of Cu(II) from aqueous solution by using modified Fe₃O₄ magnetic nanoparticles” *Desalination*, 254, 162-169, 2010
- [34] Rahimi, R., Maleki, A., Maleki, S., Morsali, A., Rahimi, M.J., “Synthesis and characterization of magnetic dichromate hybrid nanomaterials with triphenylphosphine surface modified iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄@SiO₂@PPh₃@Cr₂O₇⁻²)” *Solid State Sciences*, 28, 9-13, 2014

- [35] Mirzabe, G.H., Keshtkar, A.R., "Application of response surface methodology for throum adsorption on PVA/Fe₃O₄/SiO₂/APTES nanohybrid adsorbent" *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 26, 277-285, 2015
- [36] Wang, T., Yang, W.L., Hong, Y., Hou, Y.L., "Magnetic nanoparticles grafted with amino-riched dendrimer as magnetic flocculant for efficient harvesting of oleaginous microalgae" *Chemical Engineering Journal*, 297, 304-314, 2016
- [37] Baysal, Z., Çinar, E., Bulut Y., Alkan H., Dogru M., "Equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of Pb(II) onto Candida albicans biomass" *Journal of Hazardous Materials*, 161 (1), 62-67, 2009
- [38] Pan J.J., Jiang J., Xu R.," Adsorption of Cr(III) from acidic solutions by crop straw derived biochars" *Journal of Environmental Science*, 25, 1957-1965, 2013
- [39] Bernardo G.R., Rene R.M., Ma Catalina A.D.T., "Chromium(III) uptake by agro-waste biosorbents: chemical characterization, sorption-desorption studies, and mechanism" *Journal of Hazardous Materials*, 170, 845-854, 2009
- [40] Yi Y., Wang X., Ma J., Ning P., "Fe (III) modified Egeria najas driven-biochar for highly improved reduction and adsorption performance of Cr (IV)" *Powder Technology*, 388, 485-495, 2021



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi:10.17100/nevbiltek.969541

Geliş Tarihi:12-07-2021

Kabul Tarihi:13-08-2021



Artırılmış Atıksuların Tarımda Kullanımı ve İnsan Sağlığı Yönünden Risk Değerlendirmesi^A

Sümevra CAN¹, Hakan DULKADİROĞLU^{2*}

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir
ORCID ID: 0000-0001-9894-6758

²Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir
ORCID ID: 0000-0002-2110-1332

Öz

Bu çalışmada artırılmış atıksuların tarımda kullanılması ve bunun insan sağlığı üzerinde oluşturduğu riskler incelenmiştir. Artırılmış atıksuyun tarımda kullanılması alternatif su kaynağı olarak temiz su kaynaklarının korunması yanında, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarında kirliliğin önlenmesine katkıları sağlayabilmektedir. Bu avantajlarının yanı sıra tarımsal sulama ile birlikte atıksuyun içindeki yararlı mikroorganizmalar ve besinler sayesinde topraktaki gübre gereksinimi de karşılanmaktadır. Ancak artırılmış atıksuyun tarımsal sulamada yeniden kullanılması ile içerisindeki hastalık yapıcı patojen mikroorganizmalar ve kimyasallardan kaynaklı olarak doğal bazı riskler bulunmaktadır. Bu riskler insan sağlığı açısından da önemli sonuçlar doğurabilir. Bu çalışmada artırılmış atıksuların tarımsal kullanımı nedeniyle insan sağlığı açısından oluşabilecek riskler, *What If?* risk analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizden elde edilen bulgulara göre, toprak ve ürün kalitesi açısından olumsuz etkilerle karşılaşılması için gerek atıksu özellikleri, gerekse toprak yapısı ve ürün hassasiyetleri göz önünde bulundurularak uygun arıtma yöntemlerinin uygulanması durumunda, risklerin önemli ölçüde azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtımı; yeniden kullanım; tarımsal sulama; risk değerlendirme, What If?

Treated Wastewater Reuse in Agriculture and Its Risk Assessment for Human Health

Abstract

In this study, reuse of treated wastewater in agriculture and its risks on human health have been investigated. While reuse of treated wastewater in agriculture is protecting clean water resources as an alternative water resource, it is also preventing the pollution of underground and surface water resources. In addition to these advantages, the fertilizer requirement of soil is provided by beneficial microorganisms and nutrients contained by wastewater. However, there are some risks arising from the reuse of treated wastewater in agricultural irrigation due to pathogenic microorganisms and chemicals in it. These risks have important consequences for human health. In this study, the risk assessment in terms of agricultural use of treated wastewater and human health was evaluated by What If? risk assessment method. As a conclusion; in the reuse of treated wastewater for agricultural irrigation, if appropriate treatment methods in terms of wastewater characteristics, soil structure and crop weaknesses are applied, the negative impacts on human health, soil and crop can be decreased.

Keywords: Wastewater treatment; reuse; irrigation; risk assessment, What If?

* Sorumlu yazar e-mail: hakandulkadiroglu@nevsehir.edu.tr

^ANevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü "Artırılmış Atıksuların Tarımda Kullanımı ve İnsan Sağlığı Yönünden Risk Değerlendirmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

İlk defa 1980’lerde ortaya atılan “sürdürülebilirlik” kavramı ve buna yönelik politikaların, tarım ve sanayide üretimi daima artırma hedeflerinin karşısında aradan geçen on yıllara rağmen beklenen faydayı sağlamaktan çok uzakta olduğu görülmektedir. Nüfus artışının da tetiklemeyle, doğal kaynakların bir taraftan artan tüketimi ve diğer taraftan da artan tahribatı gelecek nesiller için önemli tehditler ortaya çıkarmaktadır. Yaşamın ana kaynağı olan su, aynı zamanda üzerinde en fazla baskı bulunan doğal kaynaktır. Diğer taraftan, her geçen gün etkisi daha fazla hissedilen küresel iklim krizi birçok bölgede su kıtlığına doğru gidişi hızlandırmaktadır. Su tüketimini azaltıcı ve kaynakların verimli kullanımını arttırıcı tedbirler yanında, bütünsel bir yaklaşımla çevre kirliliği, yani iklim değişikliği de dahil olmak üzere kirleticilerin su kaynaklarına doğrudan ve dolaylı olarak karışmasının önüne geçilmesi tüm canlılar için hayati önem taşımaktadır.

Su kıtlığını değerlendirmede faydalanılan önemli göstergelerden birisi Su Kullanım İndeksi (WEI – *Water Exploitation Index*)’dir ve tatlı sulardan çekilen ortalama yıllık toplam su miktarının ülke seviyesinde ortalama toplam yıllık yenilenebilir tatlı su kaynaklarına bölünmesi ile elde edilir [1]. Türkiye’deki durumu değerlendirmek için genel hidrolojik çevrimi özetlemek faydalı olacaktır. Yıllık ortalama değerler olarak yağış miktarı yaklaşık 643 mm ve buna karşılık gelen hacim 501 milyar m³’tür. Bunun yaklaşık 274 milyar m³’ü buharlaşma yoluyla atmosfere dönerken, 69 milyar m³ yeraltularını beslemekte, 158 milyar m³ ise yüzeysel akış ile akarsulara, denizlere ve göllere ulaşmaktadır. Yeraltularına karışan 69 milyar m³ suyun 28 milyar m³’ü pınarlar vasıtasıyla yüzeysel sulara katılmaktadır. Komşu ülkelerden gelen yaklaşık 7 milyar m³ su da ilave edildiğinde, ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m³, yeraltularını ile birlikte toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m³ olarak hesaplanmaktadır [2].

Diğer taraftan, Türkiye’de su kullanımının yıllara göre değişimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye’de su kullanımının yıllara göre değişimi [2]

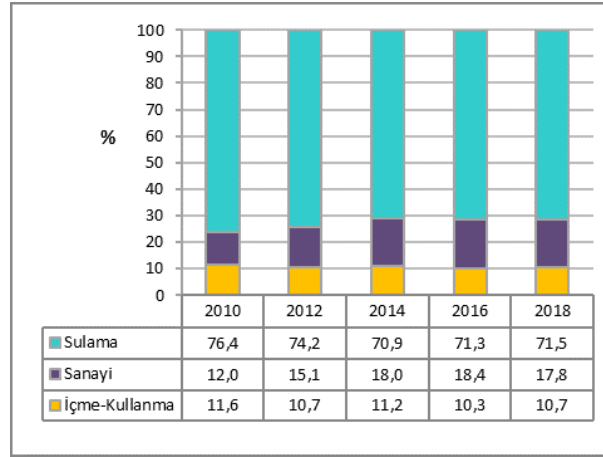
Yıllar	Su Kaynaklarından Çekilen Su Miktarı (10 ⁹ m ³ /yıl)					
	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Belediyeler	4,55	4,78	4,94	5,23	5,83	6,19
Köyler	1,22	1,01	1,04	0,43	0,38	0,39
İmalat sanayi işyerleri	1,31	1,56	1,79	2,20	2,12	2,68
Termik santraller	4,54	4,27	6,40	6,53	8,61	7,87
Organize sanayi bölgeleri	0,11	0,11	0,14	0,14	0,15	0,16
Maden işletmeleri	... (*)	0,05	0,11	0,21	0,23	0,24
Sulama	33,77	38,15	41,55	35,85	43,06	43,95
Toplam		49,95	55,96	50,59	60,38	61,48
WEI (%)	-	21,3	23,9	21,6	25,8	26,3

(*) Bilgi yoktur.

Su kullanım indeksi için %20 değeri uyarı limitidir ve bunun üzerinde ise kıtlık olduğunu, %40’ın üzerinde ise şiddetli kıtlık ve su yönetiminin sürdürülebilir olmadığını ifade eder [1]. Tablo 1’deki değerlere göre Türkiye’de su kıtlığının söz konusu olduğu ve su kaynakları yönetiminde önlemler alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

Gerekli önlemleri almak için çalışmalara tüketimin en fazla olduğu kullanımlardan başlanması gerektiği açıktır. Bu durumda öncelikle dünyada ve Türkiye’deki su kaynakları ve bunların kullanım oranları incelenmelidir. Şekil 1’de Türkiye’de 2010 – 2018 yılları arasında sektörlere göre su kullanım miktarları görülmektedir. 2010’dan 2018’e gelindiğinde sanayinin payı %12’den yaklaşık %18’lere yükselse de, sulamanın %70’in altına düşmeyen payı diğer kullanımlardan çok daha yüksektir.

Dolayısıyla sulama amaçlı su tüketiminde gerek sulama yöntemlerinin iyileştirilmesi, gerekse alternatif kaynaklara yönelme ile su kullanım indeksinde önemli aşamalar kaydedilebileceği görülmektedir.



Şekil 1. Türkiye’de sektörlere göre su kullanım miktarları [2]

Türkiye’de üretilen tarımsal ürünlere bakıldığında, ağırlıklı olarak buğday, şeker pancarı, arpa, patates, pamuk, ayçiçeği ve mısır yetiştirildiği görülmektedir. Bu ürünlerin yetiştirilmesinde büyük miktarda suya ihtiyaç vardır [3]. Su sıkıntısı yaşanan havzalarda, iklimi elverişli olmayan bölgelerde yüksek miktarda sulama gerektiren ürünlerin yetiştirilmesi su varlıklarının yok olmasına neden olup, uzun vadede üretime zarar vermektedir ve su kıtlığı ile ürün verimi düşerken bu havzalarda kırsal göç başlamaktadır.

2020 yılı verilerine göre Türkiye’deki toplam 37,75 milyon hektarlık tarım arazisinin 15.62 milyon hektarı ekili, 3,17 hektarı nadastadır. Geri kalan alanlar ise sebze, süs bitkileri, meyve-baharat bahçeleri ve çayır-mera arazilerinden oluşmaktadır [4]. Devlet Su İşleri (DSİ)’nin 2019 yılı verilerine göre, sulamalı tarım yapılan alanların %61,6’sında salma sulama, %21,5’inde yağmurlama ve %16,9’unda ise tasarruflu bir yöntem olan damla sulama olmak üzere, DSİ’ce geliştirilen sulamalarla sulanan toplam tarım arazisi 1,66 milyon hektardır [5]. Tarımda tasarruflu sulama sistemlerinin kullanılması su kaybının önlenmesinde büyük rol oynamaktadır.

Tablo 1’de sulama dışındaki kullanımların toplamına bakıldığında 2018 yılında 17,5 milyar m³ olduğu görülmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, bu suyun %56,2’si denizlerden, %15,1’i barajlardan, %14’ü kuyulardan, %8,7’si kaynaklardan, %3,9’u akarsulardan, %1,8’i göl/göletlerden, %0,2’si ise diğer su kaynaklarından çekilmiştir [6]. Sulama dışındaki su kullanım ve buna karşılık deşarj edilen atıksu miktarları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kaynaklardan çekilen su ve doğrudan alıcı ortama deşarj edilen atıksu miktarları, 2018 [3]

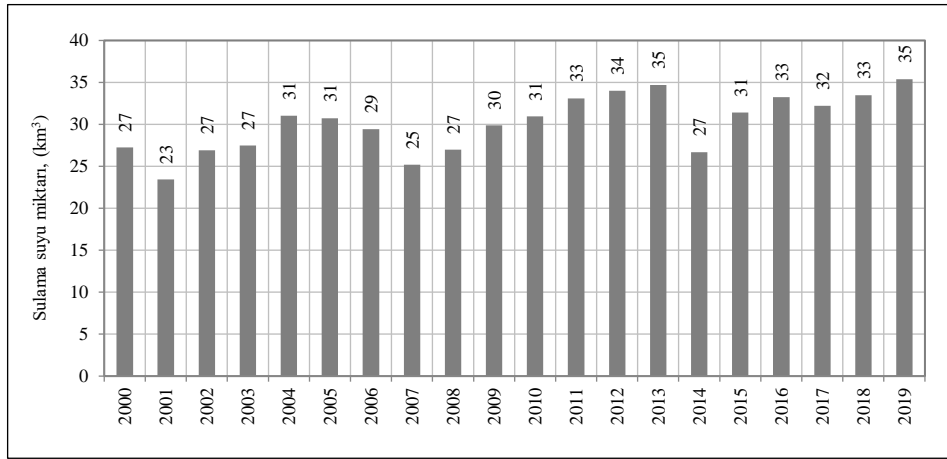
Su kullanım alanı	Çekilen su miktarı, (10 ³ m ³)	Deşarj edilen atıksu miktarı, (10 ³ m ³)	Soğutma suyu hariç deşarj edilen atıksu miktarı, (10 ³ m ³)	Soğutma suyu hariç artırılarak deşarj edilen atıksu oranı, (%)
Belediyeler	6 190 224	4 548 657	4 548 657	88,4
Köyler	394 824	123 117	123 117	19,9
İmalat sanayi işyerleri	2 675 606	2 165 373	209 771	85,8
Termik santraller	7 867 738	7 527 047	257 477	3,8
Organize sanayi bölgeleri *	159 469	235 651	235 651	98,7
Maden işletmeleri	240 928	159 613	159 613	4,6
Toplam	17 528 789	14 759 458	5 534 286	80,9

* Organize sanayi bölgeleri (OSB) tarafından deşarj edilen atıksuyun çekilen sudan fazla olması, suyunu kendi imkanları ile temin eden işyerlerinin atıksularını OSB kanalizasyon şebekesine deşarj etmelerinden kaynaklanmaktadır.

Doğrudan alıcı ortamlara deşarjların %77,4’ü denizlere, %18,7’si akarsulara, %1,1’i barajlara, %0,9’u fosseptiklere, %0,5’i göl/göletlere, %0,2’si araziye, %1,2’si ise diğer alıcı ortamlara yapılmıştır [6]. Dolayısıyla, artırılmış atıksuların dörtte üçünden yani 4 milyar m³’ten fazlasının doğrudan veya dolaylı yararlanma imkanı değerlendirilmeden

denizlere deşarj edildiği görölmektedir. Buna karşılık Şekil 2’de yüzeysel sulardan karşılanan sulama suyu miktarının yıllık 30 – 35 milyar m³ aralığında değiştii görölmektedir [7]. Bu durumda, artırılmış atıksuların sulama için miktar açısından önemli bir alternatif kaynak olabileceği ortaya çıkmaktadır.

Diğer taraftan, artırılmış atıksuların sulama açısından kalitesi ve uygunluğu da çok önemlidir ve değerlendirilmesi gerekir. Özellikle evsel/kentsel nitelikteki atıksular içerisinde çok sayıda patojen mikroorganizma bulundurmasından dolayı her ne kadar fiziksel ve kimyasal kirleticiler açısından verimli bir şekilde artılsa da tarımsal alanda dikkatli kullanılmalıdır. Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılmasında atıksuyun belli standartlara getirilmesi ve belli parametrelerin göz önünde tutulması gerekmektedir. Aksi taktirde, her ne kadar atıksu içeriğindeki yararlı mikroorganizmalar ve nutrientler toprak kalitesi ve gübre gereksinimi açısından faydalı olsa da, patojen mikroorganizmalar çoğalıp, hastalıkların yayılması açısından tehlike oluşturabilir [8].



Şekil 2. 2000-2019 yıllarında Türkiye genelinde sulamada kullanılan toplam yüzeysel su miktarları (km³) [4]

Bu çalışmanın amacı artırılmış atıksuların tarımda kullanım açısından uygunluğunun ve insan sağlığı açısından oluşturabileceği risklerin incelenmesi ve değerlendirilmesi, çözüm önerileri getirilmesidir. Bu amaçla yapılan literatür araştırmalarından yararlanılarak ve “*What If?*” yöntemi kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma, literatür bilgileri kullanılarak artırılmış atıksuyun tarımsal sulamada kullanımının doğurabileceği risklerin tespitini ve değerlendirmesini amaçlanmaktadır. Bu kapsamda yapılacak olan risk analizinde, riskin değerlendirmesi yapılmadan önce risk etmenine ait tüm veriler belirlenmiştir. Tehlike faktörlerinin tanımlaması yapılmıştır. Belirli bir risk analiz yöntemi seçilip, sorunlar tespit edilip, problemlerin azaltılması konusunda tavsiyeler ve önlemler üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada risk değerlendirmesinde *What If?* yöntemi uygulanmıştır. Riskin her aşamasında uygulanabilecek bir metottur. Bu yöntem, “Olursa ne olur?” sorusu sorularak aksaklıkların ve muhtemel sonuçların her durum için kıyaslamasının yapılmasına dayanmaktadır. Genel olarak “Olursa ne olur?” sorusuna verilen cevaplara göre sonuç ve tavsiyelerin verilmesiyle sonuçlanan bir çalışmadır. Etkilenen canlıların kim olduğuna değinilmektedir. Mevcuttaki kontrollerin neler olduğu ve konu ile alakalı olarak yapılabilecek çalışmaların tümünü kapsamaktadır.

What If? yöntemi, sorunu ve sorundan kimlerin etkilendiğini tespit etmeyi ve sorunlara yönelik önlemlerin ve önerilerin neler olabileceğini belirlemeyi sağlamaktadır. Söz konusu yöntem aynı zamanda var olan potansiyel tehlikelerin tespit edilme olasılığını yükseltmektedir.

What If? yöntemi, genellikle iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında çalışma ortamlarındaki riskleri tespit ederek bunları gözden geçirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir [9]. Bu çalışmada ise arıtılmış atıksuların tarımsal amaçlı kullanımından kaynaklı risklerin insan sağlığına olan etkilerini belirlemek için adapte edilmiştir. Öncelikle “Olursa ne olur?” sorusuna cevaplar aranmış, ardından bu sonuçtan etkilenen grup veya kişiler belirlenmiştir. Son olarak da muhtemel risklere karşı alınabilecek önlemler ve öneriler belirlenmiştir.

Risk analizi çalışmalarında genel olarak risk faktörü aşağıdaki gibi tanımlanır:

Risk = Tehdidin olma ihtimali x Tehdidin etkisi [9]

Bu tanıma uygun olarak, bu çalışmadan örnek verilecek olursa;

Risk = Atıksuyun içerebileceği patojen mikroorganizmalar.

Tehdidin Etkisi = Arıtılmış atıksuyun tarımda kullanılmasına bağlı olarak patojenlerin insan sağlığına etkileri.

Tehdidin olma ihtimali = Kaynak varlığı, sosyal ve tarımsal etkiler, kullanım sıklığı vs.

3. Bulgular

Temiz su kaynakları, kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgelerde nüfusun da artmasıyla birlikte azalmaktadır. Kentsel nüfusun artmasıyla atıksu oluşumu da artmaktadır. Su kirliliğinin önlenmesi, çevresel sürdürülebilirlik günümüzün en önemli konularındandır. Atıksuların uygun yöntemler ile arıtılması veya yeniden kullanıma uygun hale getirilmesi iyi kalitedeki suların korunması için önem arz etmektedir. Uygun arıtma yöntemleri kullanıldığında atıksular tarımsal amaçlar için güvenli şekilde kullanılabilir.

Tarımsal kullanılan su tüketim miktarı bölgelere göre farklılık göstermektedir. Yağışı fazla olan yerlerde sulama miktarı da düşmektedir. Su tüketiminin yüksek olduğu ülkelere bakıldığında ise sıcak ve kurak iklim bölgeleri olduğu gözlemlenmektedir.

Atıksuyun tarımsal kullanımındaki avantajları şunlardır:

- İçeriğindeki nütrientler sayesinde (azot, fosfor) gübre gereksinimi azalmaktadır. Ekonomik bir yöntem olduğu kadar bitki gelişimi ve üretim için önemlidir.
- Su kıtlığının önlenmesinde kaliteli su kaynaklarının azalmasının önüne geçilmesinde büyük rol oynamaktadır.
- Atıksu oluşumu dönemsel olmadığı, sürekliliği olan bir döngü olduğu için özellikle kurak bölgelerde daimi ve güvenilir bir yöntem olmaktadır.
- Yeraltı ve yerüstü temiz su kaynaklarının korunarak içme suyu olarak kullanılmasında önemli rolü vardır.
- Atıksu içeriğindeki birincil ve ikincil arıtma yöntemleri ile giderilemeyen nütrientlerin sulamada yeniden kullanımı ile üçüncül arıtma görevini üstlenmesi ve alıcı su ortamlarında ötrofikasyonun önlenmesine önemli katkısı olmaktadır.
- Bitki yetiştiriciliğinde yararlı mikroorganizmalar sayesinde metabolik faaliyetlerin artmasını sağlaması.
- Kurak mevsimlerde alternatif su kaynağı olmaktadır [10].

Tüm bu avantajlarının yanında atıksuyun uygun arıtma yöntemleri kullanılmadan, plansız ve kontrolsüz bir şekilde tarımsal üretimde kullanılması hem insan sağlığı, hem de toprak ve ürün kalitesi açısından sorunlar yaratabilir. Arıtılmış atıksuyun kullanılmasındaki dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Atıksuyun içerdiği bazı maddeler bitkiler veya insanlar için zararlı etkilere yol açabilir.
- Atıksu içerisindeki patojen mikroorganizmaların sulama ile bitkilere geçmesi ve bu bitkileri insanların tüketmesi ile insan sağlığını tehlikeye sokması.
- Tarımsal sulama bitkinin su ihtiyacına göre ve iklim değişikliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle atıksuların sulamada kullanılması bitkinin büyüme dönemleri ile sınırlı olduğu için, sulama

ihtiyacının olmadığı dönemlerde diğer bir deşarj imkanının sağlanması veya arıtılmış atıksuların depolanması gerekmektedir.

- Arıtılmış atıksu içerdiği bileşenler nedeni ile sulama sistemlerine zarar verebilmektedir [11].

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanıma uygunluğu 20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’nde tanımlanan kriterler ile değerlendirilmektedir. Tebliğe göre kentsel atıksular tarımsal veya yeşil alan sulamasında kullanılacak ise biyolojik arıtma sonrası iyi dezenfeksiyon gereklidir. Doğrudan veya dolaylı geri kazanım söz konusu olduğunda ise membran teknolojileri, aktif karbon ve ileri oksidasyon gibi daha ileri arıtma yöntemlerinin uygulanması gerekebilir [12]. Tebliğde arıtılmış atıksuların sulamaya uygunluğu değerlendirilirken öncelikle göz önünde bulundurulması gereken özellikler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Su içindeki çözülmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
- Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
- Bazı şartlarda Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının toplam konsantrasyonu
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen organizmaların miktarı [12]

Tüm bu özellikler kapsamında, arıtılmış atıksuların tarımda kullanılmasının doğurabileceği riskler ve bunlardan kimlerin etkilenebileceği, ne gibi önlemler alınabileceği *What If?* yöntemi kullanılarak yapılan risk değerlendirmesi Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Artırılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı için insan sağlığı açısından risk değerlendirmesi

<i>What If? (Olursa Ne Olur?)</i>	Sonuç / Cevap	Etkilenen	Tavsiye / Önlem	Ek
Artırılmış atıksuyun içeriğinde bakteriler (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Etkisi canlılar ve insanlar üzerinde çok kısa sürede ortaya çıkmaktadır. Tifoid ateş, paratifoid ateş, basilli dizanteri, kolera, tüberküloz, ishal gibi hastalıklara neden olmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinde ancak dezenfeksiyon, filtrasyon ve ileri oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları kısa/orta sürededir.
Artırılmış atıksuyun içinde virüsler (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Çocuk felci, bulaşıcı hepatit, ishal, solunum hastalığı, kusma, kalp kası iltihabı, menenjit, beyin iltihabı, döküntü, ateş gibi insanlarda hastalık etmenleri oluşturmaktadır. Etkileri yine kısa sürede ortaya çıkmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinde ancak dezenfeksiyon, filtrasyon, ters osmoz ve ileri oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları orta sürededir.
Artırılmış atıksuyun içinde protozoalar (tek hücreliler) (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Amipli dizanteri, ishal, bağırsak hastalıkları, ağır enfeksiyon, sinir hastalıkları gibi insanlarda hastalık etmenleri oluşturmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinde ancak dezenfeksiyon, filtrasyon, ters osmoz, ileri oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları kısa sürededir.
Artırılmış atıksu içerisinde helmintler (parazitik solucanlar) (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Parazitik enfeksiyon, ince bağırsak enfeksiyonu, anemi, paraziter bulaşıcı hastalıklar, ishal, karın ağrısı, ateş gibi insanlarda hastalık etmenleri oluşturmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinde ancak dezenfeksiyon yöntemi ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları uzun süredir.
Tuzluluk oranı fazla olursa ne olur?	Tuzluluk genel olarak toprak geçirgenliği, ürün gelişimi ve kalitesi açısından önemlidir. Tuzluluğun fazla olması ile bitkilerin su alma özellikleri azalmaktadır. Toprakta tuzun birikmesi bitkiler üzerinde toksik etki yapar, büyüme yavaşlar ve bitki kalitesi düşer. Bitki kalitesinin düşmesiyle insanlar açısından besin değeri de düşmektedir. Bu da insanlar üzerinde demir eksikliği gibi vs. etkiler doğurmaktadır.	Tüketiciler	Topraktaki tuzluluk oranının fazla olması bitki gelişimini etkilemesinden dolayı, tuzluluk dayanımları yüksek bitkilerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Katyon değişimi veya ters osmoz gibi yöntemlerle giderimi mümkün olabilmektedir. Ancak bu yöntemler sulama suyu için ekonomik olmadığından tercih edilmez. Atıksu arıtma tesisi çıkışı tatlı su ile karıştırılarak kullanılabilir.	
Atıksu içeriğinde ağır metaller ve toksik elementler fazla olursa ne olur?	Ağır metallerin özelliklerine ve canlılar üzerinde birikimlerine bağlı olarak; kanser hastalığı, sinir sistemine etkileri gibi hastalıklar görülmektedir.	Tüketiciler	Ağır metaller yaygın arıtma prosesleriyle kolaylıkla giderilebilmektedir. Uygun arıtma yöntemleri seçildiğinde ciddi bir sorun teşkil etmemektedir. İleri arıtma sistemleri (mebran vb.) ile de giderilebilir.	Zaman içerisinde toprakta birikir ve sulama ile bitki bünyesine alınmaktadır. Genellikle atıksulardaki kimyasalların ağır metallerin kaynağını endüstriyel atıksular oluşturmaktadır. Tekrarlanan tüketim, sebze ve meyvelerin yenmesi vs. yolu ile oluşmaktadır.
Atıksu içeriğinde AKM miktarı fazla olursa ne olur?	Atıksu içeriğindeki AKM miktarının fazla olması ile birlikte sulama sistemlerinde tıkanmalara yol açabileceği gibi sudaki organik kirletici yükünü artırmadan dolayı bitkilere ve buradan da insanlara etki etmektedir. İnsanlarda bağışıklık sisteminin bozulması, ishal vs. gibi hastalıklara neden olabilmektedir.	Tarım işçileri, Tüketiciler	Sulama suyu kriterlerinde AKM konsantrasyonu 30 mg/L olarak belirlenmiştir. İkincil arıtma ve dezenfeksiyon yöntemleri gibi uygun arıtma yöntemleri kullanılarak insan sağlığı açısından risk etmeni oluşturmayacak seviyelere indirgenebilmektedir.	Tekrarlanan tüketim, su ile temas, yiyeceklerin tüketilmesi vs. yolu ile oluşmaktadır.

Tablo 2. Artırılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı için insan sağlığı açısından risk değerlendirmesi (devam)

<i>What If? (Olursa Ne Olur?)</i>	Sonuç / Cevap	Etkilenen	Tavsiye / Önlem	Ek
Sodyum oranı fazla olursa ne olur?	Sodyum oranının yüksek olduğu topraklarda, topraklar kuruyup çatlar. Bu da sulama yapıldığında bile suyun ürüne ulaşmasını engellemektedir ve bitki kalitesi düşmektedir. Yüksek sodyum değeri yüksek tuzluluk işaretidir. Bu da insan vücudu için alınması gereken parametrelerin düşük oranda olması demektir. İnsanlarda kalsiyum, demir eksikliğine bağlı olarak gözlenen hastalık riskleri oluşmaktadır.	Tüketiciler	Yüksek sodyum oranı aynı zamanda yüksek tuzluluk belirtisi olduğundan tuzluluk gideriminde kullanılan yöntemler aynı şekilde yüksek sodyum oranlarında da tercih edilebilmektedir.	
pH değeri yüksek veya düşük olursa ne olur?	Tarımsal sulama sularında sudaki pH değerinin çok düşük veya çok yüksek olması toprak kalitesini ve dolayısıyla bitki kalitesi ve ürün gelişimini de etkileyeceğinden, bu ürünleri tüketen insanların sağlığı açısından risk etkilerini doğurmaktadır.	Tüketiciler	Tarımsal sulamalarda istenilen pH aralığı (6,5-8) aralığındadır.	
Sulama yöntemi değişkenliği olursa ne olur?	Sulama yöntemlerinin uygulanması da risk faktörleri oluşturmaktadır. Örneğin yağmurlama ile sulama yapılması durumunda, yakın çevrede yaşayan insanlara veya tarım işçileri üzerinde etkileri olabilmektedir.	Tarım işçileri, yakın çevrede yaşayan insanlar	Uygulamanın yapılması aşamasında tampon bölgeler oluşturularak önüne geçilebilir.	Bölgenin iklim ve toprak özelliklerine göre ve yetiştirilecek bitki çeşidine bağlı olarak sulama yöntemini doğru seçmek oldukça önemlidir.
Artırılmış atıksuyun uzun süre kullanımında toprak kalitesine olan etkileri ne olur?	Artırılmış atıksuya uzun süre maruz kalan topraklarda yüksek miktarda tuzlanma görülmüştür.	Tüketiciler, tarım işçileri, çiftçiler	Su sıkıntılı yıllarda veya sezonlarda belirli bir süre bile olsa bu suların iyi kalitedeki sular ile birleştirilerek kullanılması gerekmektedir. Temiz su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde ise toprak bünyesindeki tuzluluk potansiyeli dikkate alınarak kontrollü uygulama yapılmalıdır.	
Sıcaklığın azalması ile artırılmış atıksu sağlık riskleri üzerinde olan etkileri ne olur?	Artırılmış atıksuyun uzun süre düşük sıcaklıklara maruz kalması ile birlikte atıksu içeriğindeki bakterilerin (patojenik mikroorganizmaların) hayatta kalma süresini uzatacaktır. Kış aylarında bakterilerin hayatta kalma süreleri yaz aylarına göre daha uzundur.	Tüketiciler, tarım işçileri, çiftçiler, yakın çevre yaşayan halk	Bakteriler atıksu içeriğinden dezenfeksiyon, filtrasyon veya oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir. Kış aylarında patojenik mikroorganizmaların hayatta kalma süreleri uzun olduğundan sebze meyve tüketimi çiğ yapılmamalıdır. Tarım işçileri ve çiftçilerin temas ve solunum yolu ile oluşması riskleri için kişisel koruyucularla önlemler alınmalıdır.	
Atıksuyun etrafa sıçırması etkisi ne olur?	Atıksuların toprağa sıçraması ile verimlilikte artış yaşandığı görülmüştür. Çalışanlarla temasında ise bulaşıcı hastalıkların ortaya çıkması ve yaygınlaşması tespit edilmiştir.	Tesis çalışanları	Atıksu tesislerinde çalışan bireylerin kişisel koruyucu ekipmanları kullanmaları gerekmektedir. Atıksuların biriktirileceği havza iyi seçilmeli ve bu konuda dikkatli olunmalıdır.	Atıksuların artırılması amacıyla kurulan tesislerin verimli toprak arazilerinden uzakta inşa edilmeleri gerekmektedir.
Atıksuların artırımında sorun yaşanmasının etkisi ne olur?	Hem çalışanlar, hem hayvanlar, hem de çevrede yaşayan halk açısından önemli bir sağlık sorunu teşkil etmektedir. Bulaşıcı hastalıkların yaygınlaştığı ve buna bağlı olarak ölümlerin yaşandığı saptanmıştır.	Tesis çalışanları, yakın çevrede yaşayan halk.	Çalışanların kişisel koruyucu ekipman kullanımını aksatmaması gerekmektedir.	
Atıksular bulaşıcı hastalıklar taşırsa suyun kullanımını açısından ne olur?	Hem insanları, hem de hayvanları tehdit eden vahim sonuçlara yol açabilir. Mikroorganizmalar ve bakterilerde artış yaşandığı görülmüştür.	Tesis çalışanları, tüketiciler, çiftçiler, yakın çevrede yaşayan halk.	Tarımsal sulama amacıyla kullanılacak sulardaki bakteri durumu tespit edilmeden, toprağa ve bitkiye aktarılmamalıdır.	

Tablo 2. Artırılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı için insan sağlığı açısından risk değerlendirmesi (devam)

<i>What If? (Olursa Ne Olur?)</i>	Sonuç / Cevap	Etkilenen	Tavsiye / Önlem	Ek
Atıksulardan kaynaklı koku riski oluşursa ne olur?	Atıksu kaynaklı kötü kokunun etrafa yayılması önemli ve ciddi bir çevre sorunudur.	Tesis çalışanları ve çevre yaşayan halk	Tesis çalışanlarının maske kullanımını ihmal etmemesi gerekir. Koku gidericiler kullanılmalıdır. Uygulama yöntemi ise temiz su içerisine karıştırılarak elde edilen solüsyon haline getirilmiş kimyasal artırılmış atıksuya doğrudan ya da dozaj pompası ile uygulanabilir.	
Atıksular arıtılırken açığa çıkabilen gazların çevreye etkisi ne olur?	Atıksularda hidrojen sülfür, karbondioksit, amonyak ve metan gibi gazların bulunması zehirlenmelere ve boğulmalara neden olabilmektedir. ,	Tesis çalışanları, çevre yaşayan halk ve bölge yaşayanlar	Maske kullanımı ihmal edilmemelidir. Gaz seviyeleri ölçülerek izlenmelidir. Geniş kitleyi etkileyecek derecede önemli gaz sorunlarında gerekirse bölge halkı da bu konuda bilgilendirilmelidir.	
Artırılmış atıksuların içerisinde ilaç kalıntıları bulunursa insan sağlığına etkisi ne olur?	Amerika ve İngiltere başta olmak üzere birçok ülkede artırılmış sular içerisindeki ilaç kalıntılarının yönelik risk değerlendirme raporları hazırlanmıştır. Rapor sonuçlarına göre su içerisinde kalmış ilaç kalıntılarının insan sağlığı üzerinde güçlü denebilecek bir zararı bulunmamaktadır. İngiltere’de Thames nehrinde yapılmış bir çalışmada 13 farklı kanser ilacı içme sularına karıştırılmıştır. Çalışma sonucunda su ile alınan dozun belirtilen miktarın çok çok altında olduğu ve insan sağlığı açısından risk teşkil etmediği belirtilmiştir. Ancak ilaç kalıntılarının maruz kalmış atıksuyun sürekli kullanımı halinde hamileler, çocuklar, bebekler ve yaşlılar üzerinde ne derecede bir etki yaratacağı üzerinde çalışmalar devam etmektedir.	Artırılmış ve kalıntılı suya maruz kalan tüm insanlar	İlaç kalıntılarının maruz kalınmaması için ekotoksikite testlerinin yapılması gerekmektedir. Ancak bu test yöntemi uzun sürdüğü ve tekrarlanmaya müsait olmadığı için bakteri testlerinin yapılması daha uygun olmaktadır. Bakteri testleri düşük maliyet ve zaman açısından daha avantajlıdır. Suların analizinin Sıvı Kromatografi /Kütle Spektrometrisine ile yapılması gerekmektedir. Bu test sistemi maliyet, zaman ve çözünürlük açısından daha avantajlıdır. LC/MS/MS gibi yöntemi ile nanogram seviyesinde ölçümler yapılabilmekte ve düşük kalıntılar dahi tespit edilebilmektedir.	
Artırılmış atıksular içerisinde ilaç kalıntıları bulunursa bitki, hayvanlar ve çevre üzerindeki etkisi ne olur?	Atıksular içerisindeki ilaç kalıntılarının farklı yöntemlerle ölçülmesi gerekmektedir. Bazı araştırmalara göre ilaç kalıntı oranı belirli seviyenin altında olur ise çevreye bir zararı bulunmamaktadır.	Hayvanlar, bitkiler ve çevre	Elektrosprey sıralı kütle spektrometresi, sıvı kromatografisi (LC), LC kütle spektrometresi, SPE, HPLC, Diod-array UV detektörü, Silika kartuş temizleme, LC-Elektrosprey sıralı MS, UV-Diod-Sıralı tespit ve elektroforez gibi çeşitli analiz yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler ile ilaç kalıntıları çözümlenmeli ve kullanım durumu ona göre belirlenmelidir.	
Artırılmış atıksular içerisinde ilaç kalıntıları bulunursa, bu kalıntıların tarıma ve tarım toprağına etkisi ne olur?	Toprağına zararı dokunabilecek olan ilaç kalıntılı atıksular, ürünlerle insanlara ulaşabilmektedir. İlaç kalıntılı atıksular incelendiğinde genellikle antibiyotik, analjezikler ve östrojenlerin varlığı gözlemlenmiştir. Söz konusu kalıntıların toprağına zarar verdiği ve ürünlerin yapısının bozulduğu gözlemlenmiştir.	Toprak, insanlar, hayvanlar, bitkiler	Atıksuların ileri yöntemler ile artırılması ve ilaç kalıntılarının belirli bir seviyenin altında olup olmadığının gözlemlenmesi gerekmektedir.	

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada arıtılmış atıksuların tarımda kullanılması ve bunun sonucunda insan sağlığına olan etkileri ve riskleri değerlendirilmiştir. Dünyada ve Türkiye’de su tüketimi her geçen gün artarken, su kaynakları miktar ve kalite açısından kayba uğramaktadır. Bu nedenle kaynakların korunması ve tüketimin azaltılmasına yönelik önlemlerin alınması zorunludur. Dünyada ve Türkiye’deki sektörel bazlı su kullanım oranlarına bakıldığında, en çok su tüketiminin tarım sektöründe olduğu görülmektedir. Bu yüzden tatlı su kaynaklarının ve yeraltı yerüstü su kaynaklarının korunması adına arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması büyük fayda sağlayabilir. Bununla birlikte, uygulama ve ekonomik yönden avantajlarına rağmen Avrupa ülkelerinin ortalamasına bakıldığında arıtılmış atıksuların sadece %2,4’ünün tekrar kullanıldığı görülmektedir [13].

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması su kaynaklarının korunması önemli avantajlar sağlarken aynı zamanda bitkilerin yararlı mikroorganizmalar ve nütrientler sayesinde gübre gereksinimlerinin karşılanarak, gelişimlerinde de olumlu etkiler yapabilmektedir. Ancak her uygulamada olduğu gibi arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılmasının da bazı riskleri ve dezavantajları bulunmaktadır. Uzun süre kullanımlarında toprağa olan etkileri, içerebileceği hastalık yapıcı mikroorganizmaların insan sağlığına olan etkileri, arıtmada kullanılan yöntemlerin ekonomik boyutları gibi bazı dezavantajları saymak mümkündür.

Bu çalışmada arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılmasına bağlı riskler belirlenmiş, daha sonra da belirlenen risklerin insan sağlığına olabilecek etkilerini incelenmiştir. İnsan sağlığı üzerinde patojen organizmaların, ağır metallerin, kimyasalların ve diğer yan etkilerin ne gibi etkiler yaratabileceği bu güne kadar yapılan çalışmalardan yararlanılarak değerlendirilmiştir.

Arıtılmış atıksuların tarımda güvenli kullanımı teşvik amacıyla yayınlanan çeşitli rehberler [14, 15] özellikle patojen organizmaların azaltılmasını insan sağlığı açısından ön plana çıkarırken, kimyasallardan kaynaklı riskler çok daha düşük oranda dikkate alınmıştır [16]. Bu konuda yapılan mevcut çalışmalar konunun boyutlarının anlaşılabilmesi açısından çok sınırlı kalmaktadır [17]. Özellikle kimyasal kalıcı kimyasal maddelerin etkilerinin daha yoğun şekilde araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Çalışma sonucunda, arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amacıyla kullanımında özellikle insan sağlığı ve bununla birlikte toprak ve ürün kalitesi açısından olumsuz etkilerle karşılaşılması için gerek atıksu özellikleri, gerekse toprak yapısı ve ürün hassasiyetleri göz önünde bulundurularak uygun arıtma yöntemlerinin uygulanması durumunda, risklerin önemli ölçüde azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

S.C.: Literatür araştırması, veri toplanması, yöntem seçimi ve uygulaması, H.D.: Literatür araştırması, makale yazımı ve düzenleme.

6. Kaynaklar

- [1] European Commission, Eurostat, Product Datasets, https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/t2020_rd220
- [2] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Göstergeler, Su Kullanımı, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/su-kullanimi-i-85738>
- [3] Özçağlar, A., “Türkiye’deki Tarım Alanlarının Coğrafi Dağılımının Doğal Çevreyle İlişkisi” *Ankara Üniversitesi DTCF Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 11, 131-150, 1988
- [4] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), İstatistik Veri Portalı, Tarım Alanları, 17 Şubat 2021

- [5] DSİ, 2019 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri, DSİ’ce Geliştirilen Sulamalarda Uygulanan Sulama Yöntemleri, 2018-2019, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1344>
- [6] TÜİK, Sektörel Su ve Atıksu İstatistikleri, 2018, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sektorel-Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2018-30673>
- [7] DSİ 2019 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri, Türkiye Genelinde Sulamada Kullanılan Yüzey Suyu Miktarı, 2000-2019, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1344>
- [8] Demir Ö., Yıldız M., Sercan Ü., Arzum C. Ş., “Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması” *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2, 2, 1-14, 2017
- [9] American Chemical Society, “Identifying and Evaluating Hazards in Research Laboratories” Guidelines developed by the Hazard Identification and Evaluation Task Force of the American Chemical Society’s Committee on Chemical Safety, 147 s, 2015
- [10] Saraoğlu, E., “Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulamada Yeniden Kullanımı – Ülkemizden ve Dünyadan Başarılı Örnekler ve Türkiye İçin Uygulama Önerileri” T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Uzmanlık Tezi*, 115 s, Ankara, 2014
- [11] Duman, H., “Arıtılmış Kentsel Atıksuların Sulamada Yeniden Kullanımı; Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Örneği” Orman ve Su İşleri Bakanlığı, *Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi*, 114 s, Ankara, 2017
- [12] Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, RG Tarih: 20.03.2010, Sayı: 27527
- [13] Saliba R., Callieris R., D’Agostino D., Roma R., Scardigno A., “Stakeholders’ attitude towards the reuse of treated wastewater for irrigation in Mediterranean agriculture”, *Agricultural Water Management*, 204, 60-68, 2018, DOI: doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.036
- [14] WHO, “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture”, <https://www.who.int/publications/i/item/9241546859>, 2006, (Erişim tarihi: 10.08.2021)
- [15] EC, “Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse” (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741&qid=1628604401791&from=EN>), 2020 (Erişim tarihi: 10.08.2021).
- [16] Gardner M., Jones V., Comber S., Scrimshaw M. D., Coello-Garcia T., Cartmell E., Lester J., Ellor B., “Performance of UK wastewater treatment works with respect to trace contaminants”. *Science of the Total Environment*, 456–457, 359–369, 2013
- [17] Revitt D. M., Lundy L., Fatta-Kassinos D., “Development of a qualitative approach to assessing risks associated with the use of treated wastewater in agricultural irrigation”, *Journal of Hazardous Materials*, 406, 1-9, 2021, DOI: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124286



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi:10.17100/nevbiltek.1031255

Geliş Tarihi:01-12-2021

Kabul Tarihi: 09-12-2021



Hastane Çalışanlarının Halkla İlişkiler Uygulamalarına Yönelik Görüşleri: Bir Kamu Hastanesi Örneği

Gözde YEŞİLAYDIN¹, Bayram GÖKTAŞ^{2*}, Deniz Tugay ARSLAN³

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-2901-6474

² Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Sağlık Yönetimi Bölümü
ORCID ID: 0000-0003-0126-4801

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-9654-2263

Öz

Halka ilişkiler kavramı her ne kadar kurumun hizmet sunumundaki hedef kitleye yönelik çalışmalar gibi algılsa da kurum çalışanlarını da kapsamalıdır. Sağlık hizmeti sunan kurumlarda çalışan personelin halkla ilişkiler faaliyetlerini nasıl algıladıkları ve memnuniyet düzeyleri bu alanda planlanacak geliştirme faaliyetlerine yön verebilir. Bu kapsamda hem merkez hem de ilçe hastanelerinin verileri önemlidir. Bu çalışmada Ankara'daki bir ilçede Sağlık Bakanlığı'na bağlı bir hastanenin çalışanları tarafından hastanenin halkla ilişkilerinin faaliyetlerinin nasıl algılandığını ve memnuniyet düzeylerini belirlemek amaçlanmıştır. Kesitsel ve tanımlayıcı düzendeki çalışmanın evreni hastanede çalışan 128 personelden oluşmaktadır. Araştırmaya katılmak için gönüllü olan 96 personelin anket uygulanmıştır. Araştırmadan elde edilen verilere göre katılımcıların %51'i erkek, %69,8'i evli, %53,1'i yüksekokul/fakülte mezunu, %52,1'i 27-37 yaş arasındadır. %51'i sağlık personeli iken, %49'u idari personeldir. Katılımcıların %59,4'ü kurumda 2-9 yıldır; %53,1'i ise meslekte 4-14 yıldır çalışmaktadır. Kurumda çalışma süresi ortalaması 4,79 ±4,47 olup, en az 1 en çok 24 yıldır kurumda çalışmaktadırlar. Meslekte çalışma süresi ortalaması ise 9,51 ±6,67 olup, en az 1 ve en çok 27 yıldır meslekte çalışmaktadırlar. Halkla ilişkiler faaliyetlerine yönelik görüşlerden en yüksek ortalama değer "sağlık personelinin empati yapması gerektiğine inanıyorum" ifadesine; en düşük ortalama değer ise "hastanemizde olumlu ya da olumsuz gerekli tüm bilgiler çalışanlarla paylaşılır" ifadesine aittir. Cinsiyet, yaş grubu, kurumda çalışma yılı ve meslekte çalışma yılı değişkenleri ile halkla ilişkiler faaliyetlerine ilişkin görüşler arasında bulunan fark istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,05). Medeni durum, öğrenim durumu ve görev değişkenleri ile halkla ilişkiler faaliyetlerine ilişkin görüşler arasında ise anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Halkla ilişkiler; Hastane; Sağlık Çalışanı; İletişim

* Sorumlu yazar e-mail: bgoktas@ankara.edu.tr

Views Of Hospital Personnel On Public Relations Practices: A Public Hospital Sample

Abstract

Although the concept of public relations is perceived as related to the target audience in the service delivery of the institution, it should also cover the personnel of the relevant institution. How the personnel working in institutions that provide health services perceive their public relations practices and their satisfaction levels can guide the development actions to be planned in this area. In this context, the data of both central and district hospitals are important. In this study, it is aimed to determine how the public relations practices of the hospital are perceived by the personnel of a hospital affiliated to the Ministry of Health in a district in Ankara and their satisfaction levels. The universe of the cross-sectional and descriptive study consists of 128 personnel working in the hospital. A questionnaire was applied to 96 personnel who volunteered to participate in the research. According to the data obtained from the research, 51% of the participants were males, 69.8% were married, 53.1% were college/faculty graduates, 52.1% were between the ages of 27-37. While 51% were health personnel, 49% were administrative personnel. 59.4% of the participants had been in the institution for 2-9 years; 53.1% of them had been working in the profession for 4-14 years. The average working time in the institution was 4.79 ± 4.47 , and they had been working in the institution for at least 1 and at most 24 years. The average years of experience in the profession was 9.51 ± 6.67 , and they had been working in the profession for at least 1 and at most 27 years. The highest average value among the items regarding the views on public relations practices was "I believe that health personnel should have empathy"; the lowest average value belonged to the statement "all necessary information, positive or negative, is shared with the employees in our hospital". The difference between the variables of gender, age group, years of experience in the institution and years of experience in the profession and opinions on public relations activities was statistically significant ($p < 0.05$). There was no significant difference between marital status, educational status and job variables and opinions on public relations practices.

Keywords: Public Relations, Hospital, Healthcare Professional, Communication

1. Giriş

Kaliteli sağlık hizmeti sunmak için gerekli olan teknik altyapı (bina, tıbbi cihaz, donanım vb.) ve personel (doktor, hemşire, idari personel vb.) tek başına yeterli değildir. Bu üretim faktörlerinin rasyonel kullanımı için doğru tasarlanmış bir sistem, yönetim ve organizasyon yapısının oluşturulması gerekir. Söz konusu yapı içerisinde olmazsa olmaz faktörlerden biri de halkla ilişkiler birimidir [1]. Hastaneler birçok faaliyet alanının ve farklı disiplinlerin birlikte düzenli bir işbirliği ve çalışma programı içinde hizmet sunumu yaptığı kurumlardır. Bu karmaşık yapıların etkin yönetimi ve başarılı bir hizmet sunumu için halkla ilişkiler faaliyetleri büyük bir önem arz eder [2]. Bu önem son yıllara doğru iyice anlaşılmış olup, kar amacı gütsün ya da gütmeyen birçok sağlık kurumu ve hastane halkla ilişkiler faaliyetlerine daha çok önem vermeye başlamış, bu konudaki çalışmalarını hızlandırmıştır.

Hastaneler için toplumsal ilişkiler ve hedef kitle son derece önemlidir. Belirsizlikleri yönetmek, kaygı ve endişeleri gidermek, sorunları çözmek gibi yaklaşımların hastane ile hasta ve hasta yakınları arasındaki ilişkilerin kalitesini etkileyebilmektedir. Bunun için hasta ve hasta yakınları kendi düşünce ve fikirlerini rahatça ifade edebilmelidir [3]. Hastalar ve yakınları, yaşadıkları stresi çoğu kez gizlemekte, sıkıntılarında söz etmemekte ya da bu tür durumlarını kabule yanaşmama eğilimi göstermektedirler. Sağlık personeline düşen bu durumun farkındalığını anlayarak, buna neden olan sorunları ortaya çıkarmak ve sonuç olarak bunları hastayla birlikte çözebilme yolunu seçmek olmalıdır [4,5].

Hastaneler, çok geniş hedef kitlelere sahiptirler. Hedef kitlenin birbirinden oldukça farklı değerlere sahip olması nedeniyle hastalarla hastane arasında işbirliğinin sağlanmasına yönelik yapılan iletişim sürecinin değeri bu kurumlarda halkla ilişkileri daha da önemli kılmaktadır [6]. Sağlık sektöründe gerçekleşen yapısal değişimler, hastanelerin karmaşık yapısı, sağlık alanındaki yoğun uzlaşma, tıbbi terminoloji nedeniyle ortaya çıkabilen dil

sorunu, bürokratik işlemlerin varlığı, asimetrik bilgi mevcudiyeti, sağlık harcamalarının kontrol atına alınması yönünde baskılar ve yönetimin profesyonelleşmesi hastanelerde halkla ilişkilerin önemini arttıran temel nedenler arasındadır [7].

Halkla ilişkiler bir örgütle hedef kitleleri arasında iyi niyeti ve karşılıklı anlayışı oluşturmaya ve sürdürmeye yönelik planlı ve sürekli çabadır [8]. Her ne kadar halkla ilişkiler denince sadece hastalar için oluşturulan 'reklam, danışma, şikayet' sistemi gibi bir durum algılsa da halkla ilişkilerin çok geniş bir çalışma alanı vardır. Kurumların yaptığı tüm faaliyetlerin başarılı bir şekilde sunumu için halkla ilişkiler birimi önemli bir görev üstlenir. Hastalarla iletişim kurulması, memnuniyetin ve tercih edilme oranının artırılmasına yönelik faaliyetleri, tedarikçi firmalarla iletişim, basın bilgilendirmeleri ve basınla iletişim, koruyucu hizmetler ve olağanüstü durumlara yönelik kampanya ve faaliyetler gibi pek çok durumun yönetiminde halkla ilişkiler önemli roller üstlenir [2,9].

Hastanelerde halkla ilişkiler çalışmaları ile kazanılan bilgiler, yönetim faaliyetinde bulunanlara kurumun son durumunu çalışan personellerin gözü ile görmelerine yardımcı olarak, sorunların saptanmasına katkı sağlayacaktır. Hastanelerde çalışan çok farklı özelliklere sahip hedef kitlelere yönelik etkin ya da ikna edici iletişim sürecinin örgütlenmesi, etkin çalıştırılması ve personel ile hastalar arasındaki iletişimin örgütsel performansı artırıcı yönde yönlendirilmesi, hastanelerde halkla ilişkileri önemli kılmaktadır [10]. Halkla ilişkiler çalışmaları hastanelerin başarılı bir şekilde yönetilmesi esasına dayanan bir kavram olup, sadece hastalara ve diğer dış kurum ve kuruluşlara yönelik değildir. Aynı zamanda kurumda çalışan personel açısından da önemlidir. Hasta memnuniyeti kadar çalışan memnuniyeti ve çalışanların kurumla ilgili algıları da halkla ilişkilerin çalışma alanına girer [2,11].

Halkla ilişkiler faaliyetlerinin başarılı bir şekilde yerine getirilmesi için hem iç hem de dış paydaşlarla olan ilgili faaliyetlere odaklanılması gerekir. İç paydaşlara yönelik halkla ilişkiler faaliyetleri "kurum içi halkla ilişkiler" olarak da adlandırılmaktadır. Hastane personeli ile hasta ve hasta yakınlarının temas yüzeylerinin geniş olması nedeniyle, hastane dışındaki halkla ilişkiler faaliyetlerinde başarılı olabilmek için kurum içi halkla ilişkiler faaliyetlerinin doğru yönetilmesi gerekmektedir. Çünkü hastanenin çevresi ile ilişki kurması hastane personeli aracılığıyla gerçekleşmektedir [5].

Halkla ilişkilere yönelik bir tanımda çalışanlar özellikle vurgulanmıştır. Tanıma göre halkla ilişkiler '*bir firmayı, kurumu, fikri ya da markayı en başta çalışanlarına, sonra hedeflenen kitlelere benimseten, tanıtan, sevdiren, güvendirilen, hakkında olumlu bir izlenim, imaj yaratarak onu satın almaya teşvik eden, sevgi üzerine kurulmuş, araştırılmış, amaçları, stratejileri belirlenmiş, planlanmış ve uygulamaya koyulmuş çalışmalar*' dir [12]. Tanımdan da anlaşılacağı üzere hastanelerdeki halkla ilişkiler faaliyetleri sadece hasta ve hasta yakınlarıyla ilgili olmayıp çalışanlarında sürece dahil edildiği kritik bir faaliyettir. Hastane için önemi büyük olan halkla ilişkiler faaliyetlerinin personel tarafından nasıl algılandığı ve bu faaliyetlere ne kadar önem verildiği halkla ilişkiler biriminin yaptığı çalışmalar kadar önemlidir. Diğer bir deyişle personelin halkla ilişkilere bakışı bir anlamda hastane yönetiminin halkla ilişkiler birime verdiği desteği ifade etmektedir [7].

Literatür tarandığında sağlık alanında hizmet sunan kurumlarda halkla ilişkiler çalışmalarının daha çok halka yönelik olduğu görülmüş olup, bu konuda kurum çalışanlarının algı ve memnuniyetlerinin yeterince incelenmediği, az sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Bu çalışmalar ise il merkezlerinde yoğunlaşmaktadır. İlçelerde kurulmuş olan hastaneler hakkında veri olmaması dikkat çekicidir. Sağlık kuruluşlarında halkla ilişkilerin değerinin ortaya çıkarılması için öncelikle kurumsal halkla ilişkilerin tanımlanması, kurumsal halkla ilişkilerinin

kurumsal sonuçlarla ilişkilendirilmesi gerekmektedir [3]. Dolayısıyla kurum çalışanlarının da halkla ilişkiler faaliyetlerine dahil edilmesi ve görüşlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışma ilçelerde kurulmuş olan hastanelerin halkla ilişkiler çalışmalarının kurum çalışanları tarafından nasıl algılandığını belirlemek üzere Ankara'daki bir ilçe hastanesinde yapılmıştır.

2. Yöntem

2.1. Araştırmanın Amacı

Bu araştırma, Ankara iline bağlı bir ilçede faaliyet gösteren bir kamu hastanesinde yürütülen halkla ilişkiler uygulamalarına ilişkin hastane çalışanlarının görüşlerini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilgili hastanede halkla ilişkiler çalışmaları ile ilgili hem sağlık personelinin hem de idari personelin görüşleri alınmıştır.

2.2. Araştırmanın Evreni ve Örnekleme

Araştırmanın evrenini Ankara iline bağlı bir ilçede faaliyet gösteren bir kamu hastanesinde görev yapan 128 personel oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında örneklem seçilmemiş olup, tüm personele ulaşmak hedeflenmiştir. Araştırmaya katılmaya gönüllü olan 96 personelin konu ile ilgili görüşleri değerlendirilmiştir. Araştırmanın yapılması için hastane yönetiminden yazılı izin alınmış ve çalışanların katılımında gönüllülük esas alınmıştır.

2.3. Veri Toplama Aracı

Veri toplama aracı olarak anket yöntemi kullanılmıştır. Anket, iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde katılımcılara ilişkin sosyodemografik özellikler ve tanımlayıcı bilgiler içeren soru formu; ikinci bölümde ise Bahadır (2010) tarafından literatür incelenerek hazırlanan anket formu kullanılmıştır. Sorulara ilişkin değerlendirmede “kesinlikle katılmıyorum” (1) ve “kesinlikle katılıyorum” (5) esas alınmıştır.

2.4. Verilerin Analizi

Katılımcıların sosyo-demografik ve tanımlayıcı özelliklerini belirlemek, ilgili hastanenin halkla ilişkiler uygulamalarına yönelik görüşlerini değerlendirmek amacıyla tanımlayıcı istatistiklerden (frekans, ortalama, standart sapma, medyan, minimum, maksimum) yararlanılmıştır. Verilerin normal dağılıma uygunluğu test edilmiş ve normal dağılım göstermedikleri sonucuna ulaşılmıştır. Veriler, Mann-Whitney U ve Kruskal-Wallis testleri ile analiz edilmiş olup, anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

3. Bulgular

Katılımcıların sosyodemografik özellikleri ile tanımlayıcı bilgilerine ilişkin sayısal ve yüzdesel dağılımlar Tablo 1’de sunulmuştur. Katılımcıların %51’i erkek, %69,8’i evli, % 53,1’i yükseköğretim mezunu, %52,1’i 27-37 yaş arasındadır. Yaş ortalamaları $32,75 \pm 7,47$ olup, yaşları 19 ve 51 arasında değişmektedir. Ayrıca %51’i sağlık personeli iken, % 49’u idari personeldir. Katılımcıların %59,4’ü kurumda 2-9 yıldır; %53,1’i ise meslekte 4-14 yıldır çalışmaktadır. Kurumda çalışma süresi ortalaması $4,79 \pm 4,47$ olup, en az 1 en çok 24 yıldır kurumda çalışmaktadırlar. Meslekte çalışma süresi ortalaması ise $9,51 \pm 6,67$ olup, en az 1 ve en çok 27 yıldır meslekte çalışmaktadırlar (Tablo 1). Halkla ilişkiler faaliyetlerine yönelik görüşlerden en yüksek ortalama değer “sağlık personelinin empati yapması gerektiğine inanıyorum” ifadesine; en düşük ortalama değer ise “hastanemizde olumlu ya da olumsuz gerekli tüm bilgiler çalışanlarla paylaşılır” ifadesine aittir (Tablo 2).

Katılımcıların sosyodemografik özellikleri ile ilgili hastanenin halkla ilişkiler faaliyetlerine ilişkin görüşleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı incelenmiştir. Buna göre cinsiyet, yaş grubu,

kurumda çalışma yılı ve meslekte çalışma yılı değişkenleri ile halkla ilişkiler faaliyetlerine ilişkin görüşler arasında bulunan fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Medeni durum, öğrenim durumu ve görev değişkenleri ile halkla ilişkiler faaliyetlerine ilişkin görüşler arasında ise anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Tablo 1. Katılımcılara ilişkin sosyodemografik özellikler ve tanımlayıcı bilgiler

Değişkenler		Sayı (n)	Yüzde (%)
Cinsiyet	Kadın	47	49,0
	Erkek	49	51,0
Yaş	26 ve altı	22	22,9
	27-37	50	52,1
	38 yaş ve üzeri	24	25,0
	Yaş Ort. \pm ss: 32,75 \pm 7,47 (min: 19 – maks: 51)		
Medeni Durum	Evli	67	69,8
	Bekar	29	30,2
Öğrenim Durumu	Sağlık Meslek Lisesi	37	38,6
	Yüksekokul / Fakülte	51	53,1
	Lisansüstü	8	8,3
Görev	Sağlık Personeli	49	51,0
	İdari Personel	47	49,0
Kurumda Çalışma Süresi	\leq 1 yıl	22	22,9
	2-9 yıl	57	59,4
	\geq 10 yıl	17	17,7
	Kurumda Çalışma Süresi Ort. \pm ss: 4,79 \pm 4,47 (min: 1 – maks: 24)		
Meslekte Çalışma Süresi	\leq 3 yıl	23	24,0
	4-14 yıl	51	53,1
	\geq 15 yıl	22	22,9
	Meslekte Çalışma Süresi Ort. \pm ss: 9,51 \pm 6,67 (min: 1 – maks: 27)		
	TOPLAM	96	100

Tablo 2. Halkla ilişkiler faaliyetlerine ilişkin görüşlere yönelik tanımlayıcı istatistikler

Halkla İlişkiler Faaliyetlerine Yönelik İfadeler	Ort \pm ss	Medyan	Min-Maks
1. Hasta ve hasta yakınlarıyla yeterince iletişim kurduğuma inanyorum.	4,07 \pm 1,23	4,50	1-5
2. Sağlık personelinin empati yapması gerektiğine inanyorum.	4,13 \pm 1,14	4,00	1-5
3. Hastanemizde uygulanan halkla ilişkiler ve iletişim faaliyetlerini yeterli buluyorum.	3,33 \pm 1,03	3,00	1-5
4. Hastanemiz halka bilgi aktarırken açık sözlü ve dürüsttür.	3,60 \pm 1,09	4,00	1-5
5. Hastanemizin çevrede saygın ve güvenilir bir imajı vardır.	3,44 \pm 1,10	3,00	1-5
6. Hasta ve hasta yakınlarının hastanemizin çalışmalarından genelde memnun olduklarını düşünüyorum.	3,51 \pm 1,08	4,00	1-5
7. Hasta ve hasta yakınlarıyla sağlıklı bir iletişim kurmamız için hastane tarafından düzenlenen eğitim faaliyetleri yeterlidir.	3,29 \pm 1,10	3,50	1-5
8. Hastanemizin ve birimimizin işleyişi hakkındaki önerilerimiz hastane yönetimi tarafından dikkate alınır.	3,45 \pm 1,20	4,00	1-5
9. Bazen yönetimden kaynaklanan iletişim problemleri yaşıyoruz.	3,19 \pm 1,06	3,00	1-5
10. Bu hastanede çalışanlar kendi içlerinde güçlü bir iletişime sahiptirler.	3,54 \pm 1,14	4,00	1-5
11. Hastanemizde olumlu ya da olumsuz gerekli tüm bilgiler çalışanlarla paylaşılır.	2,93 \pm 1,22	3,00	1-5
12. Hastanemizde çalışanların kişisel gelişimine yönelik seminer, konferans vb. etkinlikler yeterince düzenleniyor.	3,17 \pm 1,13	3,00	1-5
13. Hastanemizde çalışanlara yönelik olarak gerekli kurum içi araştırma anketleri düzenli olarak uygulanıyor.	3,08 \pm 1,21	3,00	1-5
14. Yöneticiler, hastane çalışanlarının kendilerini geliştirmeleri için gerekli olanakları sağlıyorlar.	3,23 \pm 1,14	3,00	1-5
15. Hastaların kurumumuzu tercih etmesinde, hastanemizin toplumdaki imajı önemlidir.	3,47 \pm 1,21	4,00	1-5
16. Bu hastanede çalışıyor olmaktan mutluyum.	3,25 \pm 1,34	3,00	1-5

Katılımcıların halkla ilişkiler faaliyetlerine yönelik ifadelerden yöneticilerinin hastane çalışanlarının kendilerini geliştirmeleri konusunda gerekli olanakları sağladıklarına yönelik görüşleri ile cinsiyetleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Buna göre erkeklerin medyan değeri kadınlardan daha yüksektir (Tablo 3).

Tablo 3. Katılımcıların cinsiyetlerine göre halkla ilişkiler faaliyetlerine ilişkin görüşleri

Halkla İlişkiler Faaliyetlerine Yönelik İfadeler	Kadın	Erkek	Test İstatistiği* (p değeri)
	Medyan (min-maks)	Medyan (min-maks)	
Yöneticiler hastane çalışanlarının kendilerini geliştirmeleri için gerekli olanakları sağlıyorlar.	3,00 (1,00-5,00)	4,00 (1,00-5,00)	Z= -1,961 (p= 0,050)

* Mann Whitney U testi

Katılımcıların halkla ilişkiler faaliyetlerine yönelik ifadelerden bazı zamanlarda yönetimden kaynaklanan iletişim problemleri yaşandığına ilişkin görüşleri ile yaş grupları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Farkın hangi gruplar arasında olduğunu anlamak için yapılan analizlere göre 26 ve altı yaş grubundaki çalışanlar ile 38 ve üzeri yaş grubundaki çalışanlar arasında fark vardır. 26 yaş ve altındaki çalışanların medyan değeri 38 yaş ve üzeri çalışanlardan daha yüksektir (Tablo 4).

Tablo 4. Katılımcıların yaş gruplarına göre halkla ilişkiler faaliyetlerine ilişkin görüşleri

Halkla İlişkiler Faaliyetlerine Yönelik İfadeler	≤ 26 yaş	27-37 yaş	≥ 38 yaş	Test İstatistiği* (p değeri)
	Medyan (min-maks)	Medyan (min-maks)	Medyan (min-maks)	
Bazen yönetimden kaynaklanan iletişim problemleri yaşıyoruz.	4,00 (1,00-5,00)	3,00 (1,00-5,00)	3,00 (1,00-5,00)	KW= 6,521 (p= 0,038)

* Kruskal Wallis testi

Katılımcıların “hasta ve hasta yakınlarıyla yeterince iletişim kurduğuna inanma”, “sağlık personelinin empati yapması gerektiğine inanma” ve “bu hastanede çalışıyor olmaktan dolayı mutlu olma” düşüncesine yönelik görüşleri ile kurumda çalışma yılları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Farkın hangi gruplar arasında olduğunu anlamak için yapılan analizlere göre her üç görüşte de 2-9 yıldır kurumda çalışanlar ile 10 ve üzeri yıldır kurumda çalışanlar arasında fark vardır. Buna göre 2-9 yıldır kurumda çalışanların medyan değeri 10 ve üzeri yıldır kurumda çalışanlardan daha yüksektir (Tablo 5).

Tablo 5. Katılımcıların kurumda çalışma yılına göre halkla ilişkiler faaliyetlerine ilişkin görüşleri

Halkla İlişkiler Faaliyetlerine Yönelik İfadeler	≤ 1 yıl	2-9 yıl	≥ 10 yıl	Test İstatistiği* (p değeri)
	Medyan (min-maks)	Medyan (min-maks)	Medyan (min-maks)	
Hasta ve hasta yakınlarıyla yeterince iletişim kurduğuma inanıyorum.	4,00 (1,00-5,00)	5,00 (1,00-5,00)	4,00 (1,00-5,00)	KW=6,619 (p= 0,037)
Sağlık personelinin empati yapması gerektiğine inanıyorum.	4,00 (1,00-5,00)	5,00 (1,00-5,00)	4,00 (1,00-5,00)	KW=15,614 (p= 0,000)
Bu hastanede çalışıyor olmaktan mutluyum.	3,00 (1,00-5,00)	4,00 (1,00-5,00)	3,00 (1,00-5,00)	KW=10,253 (p= 0,006)

* Kruskal Wallis testi

Katılımcıların, bazı zamanlarda yönetimden kaynaklanan iletişim problemleri yaşandığına ve hastaların kurumlarını tercih etmesinde hastanenin toplumdaki imajının önemli konusundaki görüşleri ile meslekte çalışma yılları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Farkın hangi gruplar arasında olduğunu anlamak için yapılan analizlere göre her iki görüşte de 3 ve daha az yıldır meslekte çalışanlar ile 15 ve üzeri yıldır meslekte çalışanlar

arasında fark vardır. Buna göre 3 ve daha az yıldır meslekte çalışanların medyan değeri 15 ve üzeri yıldır meslekte çalışanlardan daha yüksektir (Tablo 6).

Tablo 6. Katılımcıların Meslekte Çalışma Yılına Göre Halkla İlişkiler Faaliyetlerine İlişkin Görüşleri

Halkla İlişkiler Faaliyetlerine Yönelik İfadeler	≤ 3 yıl	4-14 yıl	≥ 15 yıl	Test İstatistiği* (p değeri)
	Medyan (min-maks)	Medyan (min-maks)	Medyan (min-maks)	
Bazen yönetimden kaynaklanan iletişim problemleri yaşıyoruz.	4,00 (1,00-5,00)	3,00 (1,00-5,00)	3,00 (1,00-5,00)	KW=8,922 (p= 0,012)
Hastaların kurumumuzu tercih etmesinde, hastanemizin toplumdaki imajı önemlidir.	4,00 (1,00-5,00)	4,00 (1,00-5,00)	3,00 (1,00-5,00)	KW=6,468 (p= 0,039)

* Kruskal Wallis testi

4. Tartışma ve Sonuç

Sağlık sunumunun en önemli bileşenlerinden biri olan hastanelerde kurumsal hizmet sunumu ve yönetim faaliyetlerinin güçlendirilmesi, hizmet sunumunun daha kaliteli ve yüksek standartlarda sunumu için önemlidir. Bu noktada gelişime yönelik planlamalar için halkla ilişkiler faaliyetlerine yönelik uygulamalar ve bu uygulamaların hastalar ve kurumda çalışan personel tarafından nasıl algılandığının incelenmesi gerekir. Personelin halkla ilişkiler biriminin ve bu birimin faaliyetlerinin önemini doğru anlaması halkla ilişkiler biriminin başarılı çalışmalar gerçekleştirmesi için son derece önemlidir [7].

Hastanelerde yürütülen halkla ilişkiler faaliyetlerine genellikle hastalar ve hasta yakınları için gözüyle bakılmaktadır. Üst yönetimin halkla ilişkilere bakış açısının değerlendirildiği bir çalışmada başhekime yöneltilen '*halkla ilişkiler etkinliklerinizin hedef kitleleri kimlerdir*' sorusuna '*hasta ve hasta yakınları*' cevabı alınmıştır [2]. Bir başka çalışmada da sağlık çalışanlarına göre halkla ilişkiler birimin en önemli görevinin hasta ve hasta yakınlarının sorunlarını çözmek olduğu belirlenmiştir [7]. Oysaki kurum çalışanları iç paydaş olarak etkin biçimde uygulanan halkla ilişkiler faaliyetleri açısından önemlidir.

Bu çalışma kurum çalışanlarının halkla ilişkiler faaliyetlerine nasıl baktıkları ve algı düzeyini belirlemek amacıyla yapılmış olup kurumda çalışan personelin bu konuda orta ve bazı alanlarda yüksek düzeyde memnun olduğu bulunmuştur. Kurum çalışanlarına yöneltilen '*Hasta ve hasta yakınlarıyla yeterince iletişim kurduğuma inanıyorum*' ve '*Sağlık personelinin empati yapması gerektiğine inanıyorum*' ifadeleri diğer ifadelerle göre daha yüksek puan alırken, '*Hastanemizde olumlu ya da olumsuz gerekli tüm bilgiler çalışanlarla paylaşılır.*' ifadesi daha düşük puanlanmıştır (Tablo 2).

Araştırmanın yürütüldüğü kurumda çalışanlar hastalara ve hasta yakınlarına olumlu yaklaşıma ve onları anlamaya çaba göstermektedir. Halkla ilişkiler faaliyetlerini yürüten kurum ile hedef kitle arasındaki iletişimin sağlıklı ve olumlu zeminde ilerlemesi halkla ilişkiler faaliyetlerinin algılanması ve tabi ki kurum kimliğinin geliştirilmesi açısından önemlidir [2]. Yapılan başka bir çalışmada da personelin hasta ve yakınları ile olumlu iletişim ve empati kurduğu düşüncesi yüksek puan almıştır. Aynı çalışmada hastaların hastane çalışanlarından memnuniyeti de yüksek bulunmuştur [12]. Sağlık çalışanları hasta ve yakınlarına karşı empati kurması ve olumlu iletişimi güçlendirecek bir yaklaşımın sergilenmesi hasta memnuniyeti artmasına ve kurum imajının olumlu yönde gelişmesine katkı sağlayacaktır [11,14].

Araştırma bulgularına göre kurumda yönetim ile çalışanlar arasında bilgi aktarımı düşük düzeydedir. Oysaki çalışan memnuniyeti açısından kurumsal iletişim ve bilgilendirme önemlidir. Burada yönetimin çalışanlarına yaptığı kurum içi bilgilendirmenin yetersiz olduğu ya da yapılan bilgilendirmelerin iletişim

kanallarının etkin kullanılmaması ya da yetersizliği nedeniyle çalışanlara ulaşmadığı düşünülebilir. Gerçekleştirilen bir çalışmada '*Hastanemizde olumlu ya da olumsuz gerekli tüm bilgiler çalışanlarla paylaşılır.*' ifadesinde idari bölümlerde memnuniyet daha yüksekken, sağlık çalışanlarında daha düşük bulunmuştur ve bu durum sağlık çalışanlarının yoğun temposu, çalışma saatlerinin düzensizliği ve hastalarla yüz yüze iletişimden kaynaklanan güçlüklerle karşı karşıya kalmalarına bağlanmıştır [2].

Çalışma kapsamında hem yaşı 26 ve daha küçük olan grupta hem de mesleki çalışma yılı daha küçük (3 yıldan az veya eşit) olanlarda *yönetim kaynaklı problem yaşama oranının* yüksek olduğu belirtilmiştir (Tablo 4 ve Tablo 6). Bu durum mesleki tecrübenin az olması ve/veya kurum yapısını yeterli tanımamanın bir sonucu olabilir. Yaşı küçük olan, mesleki deneyimi az olan, çalıştığı kurumun yapısını yeterince tanımayan personelin daha az kurumsal bilgiye sahip oldukları, kurumu/yöneticileri tanımadıkları ve dolayısı ile yeterli/etkin iletişim kurmadıkları/kuramadıkları için bu düşüncede oldukları öngörülebilir.

Çalışmadan elde edilen verilere göre kurumda çalışma yılı 2-9 yıl olan personel *ilgili kurumda çalışmaktan memnun olduğunu* ifade etmiştir. Kuruma yeni başlayanların (çalışma süresi<1 yıl) ya da uzun zamandır çalışanların (çalışma süresi>10 yıl) ise memnuniyet oranı orta derecede belirlenmiştir (Tablo 5). Yeni başlayanların henüz kuruma alışamadığı ya da benzeri nedenlerle sorun yaşadığı, 2 yıldan sonra çalışılan kuruma ve kuruma başvuran halka alıştıkları, uzun süredir çalışanlarında kurumdan ve koşullardan sıkılmaya başlaması muhtemel nedenler olabilir.

Hastanelerde hem kurumsal kimliğin hem de kurumsal imajın gelişiminde halkla ilişkiler faaliyetleri önemli bir yer tutar. Bu faaliyetlerin yönünü belirlemede ise hedef kitlenin düşünceleri ve algıları önemlidir. Kurum çalışanları hedef kitle kapsamında değerlendirilmeli ve mutlaka kurumla ilgili düşünce ve algıları belirlenmelidir. Bu doğrultuda elde edilen veriler ise kurumsal gelişim ve halkla ilişkiler bağlantılı araştırma-geliştirme faaliyetleri için kullanılmalıdır.

Ayrıca çalışma verilerine göre çalışmanın yapıldığı kurumda halkla ilişkiler faaliyetlerinin ve bu faaliyetlerin çalışan kurum personeli tarafından algılanmasının orta düzeyde olduğu görülmektedir. Kurumlarda olumlu ve olumsuz durumlarla ilgili bilgi akışının sağlanması ve geliştirici faaliyetlerin planlanması önemlidir. Kurumlarda olumlu iletişim kültürünün geliştirilmesi için çalışmalar yapılabilir.

Çalışma Ankara'nın bir ilçesinde bulunan 50 yataklı bir ilçe hastanesinde yapılmıştır. Araştırmanın yapıldığı hastanenin küçük olması, çalışan sayısının az olması ve sadece kendi ilçe halkına hizmet sunumu göz önünde bulundurulduğunda araştırmanın sınırlı bir alandaki verileri gösterdiği söylenebilir. Bu nedenle nüfus yoğunluğu, hastane büyüklüğü ve çalışan sayısı yönünden farklılık gösteren diğer ilçelerden benzer çalışmaların planlanması önerilebilir. Bu durum farklı ilçelerdeki hastanelerde halkla ilişkiler faaliyetlerinin çalışan gözü ile nasıl algılandığı belirlenme için temel bir bakış açısı oluşturacaktır. Daha sonra elde edilen veriler il merkezlerinde yer alan hastanelerle karşılaştırılarak ilçelerde halkla ilişkiler faaliyetlerinin geliştirilmesi çalışmalarına katkı sağlanabilir.

5. Katkı Beyanı

G.Y.: Çalışmanın dizayn edilmesi, veri analizi ve makale yazımı. B.G.: Çalışmanın dizayn edilmesi, çalışma verilerinin toplanması ve makale yazımı. D.T.A.: Çalışmanın dizayn edilmesi, verilerin yorumlanması ve makale yazımı.

6. Kaynaklar

- [1] Işık M., Konur Ö. “Hastanelerde halkla ilişkiler: Kayseri’deki özel hastaneler üzerine bir çalışma” *Humanities Sciences*, 5, 373-383, 2010
- [2] Bahadır Ö. “Hastanelerde halkla ilişkiler uygulamalarına yönelik bir araştırma” Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2010
- [3] Çelebi E. “Sağlık kuruluşlarında halkla ilişkilerin etkinliğini ölçme: özel ve kamu sağlık kuruluşlarının karşılaştırılması” *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21, 81-98, 2021
- [4] Aslan M, M. (2018). “Özel Sektör ve Özel Sağlık Kuruluşlarında Halkla İlişkiler” SEGA Matbaacılık, 2011
- [5] Tengilimoğlu D., Kılıç, M. "Hastanelerde halkla ilişkiler: sağlık bakanlığı, üniversite, ssk ve özel hastane yöneticilerinin halkla ilişkiler uygulamalarına yönelik ampirik bir araştırma". *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22, 175-200, 2004
- [6] Schmitz, A. “Public Relations”, <https://2012books.lardbucket.org/pdfs/public-relations.pdf>, Erişim tarihi Eylül 20, 2012
- [7] Duğan Ö., Uludağ A. “Sağlık çalışanlarının halkla ilişkilere bakış: selçuk üniversitesi tıp fakültesi örneği” *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 34, 41-51, 2015
- [8] Jefkins, F. “Public Relations Techniques” Butterworth-Heinemann Ltd., London, 1995
- [9] Güllüpunar M., D. “Bir halkla ilişkiler uygulaması olarak hastanelerde hasta karşılama hizmetlerinin kurumsal itibara etkisi: kamu hastaneleri üzerine bir inceleme” *Gümüşhane Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi*, 4, 898-925, 2016
- [10] Uyanık, J. “Hastanelerde Halkla İlişkiler Fonksiyonuna Bakış: Adana Bölgesinde Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mersin. 2011.
- [11] Balta Petekoğlu F. “Halkla İlişkilere Giriş” Marmara Üniversitesi İletişim fakültesi, Yayın No: 1. İstanbul, 1993
- [12] Ak M. “Firma ve Markalarda Kurumsal Kimlik ve İmaj” Işıl Ofset, İstanbul, 1998
- [13] Kırdar Y. “The role of Public relations for image Creating in Health services: A sample patient satisfaction survey” *Health Marketing Quarterly*, 24, 33-53, 2007
- [14]. Göktaş B., Yeşilaydın G., Özkan O. “Hastaların halkla ilişkiler faaliyetlerine bakış açılarının incelenmesi” *Business & Management Studies: An International Journal*, 5, 137-153, 2017



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: [10.17100/nevbiltek.989561](https://doi.org/10.17100/nevbiltek.989561)

Geliş Tarihi:01-09-2021

Kabul Tarihi:18-11-2021



İzmir İli Konak İlçesinde Sıfır Atık Uygulaması^A

Seval ARAS^{1*}, Berkay ÖLMEZ²

¹ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Müh. Böl., Nevşehir
ORCID ID: 0000-0002-6392-0117

² Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Nevşehir
ORCID ID: 0000-0002-3536-9671

Öz

Sıfır atık yaklaşımı; faaliyetler sonucu meydana gelen atık türlerinin bu oluşum sırasında önlenmesini sağlamak, eğer ki önlenemiyorsa atık oluşumunun azaltılması ve geri kazanımını hedefleyen bir atık yönetim sistemidir. Bu bağlamda sıfır atık yaklaşımını ele aldığımızda sürdürülebilir bir dünya ve yaşam sağlamak amacı ile atığın ve üretilecek malzemelerin yapısındaki tehlikeli maddelerin indirgenmesi, kaynakların verimli ve doğru bir şekilde kullanılıp korunmasını ve sistematik bir atık yönetim planlaması yapılması gerektiğini ifade etmektedir. Bu çalışmada öncelikle dünya ve Türkiye şartlarında sıfır atık uygulamalarının ne düzeyde olduğu araştırılmıştır. Aynı zamanda çalışmaların ne şekilde sürdürülüp hangi boyutlara geldiği merak konusu iken ülkemiz şartlarında İzmir İli Konak İlçesi'nde gerçekleştirdiğimiz uygulamanın başlangıç, ilerleme ve sonuç evreleri çalışma sonucunda ortaya konulmuştur.

Çalışmalar başladığında evsel nitelikteki çöp atıkları üzerinde yapılan katı atık karakterizasyon çalışması ile atık içeriği ve miktarı belirlenmiştir. Burada gelir düzeyine göre üç farklı bölgede toplanan (düşük, orta, yüksek gelirli) atıkta, toplamda 1480 kg atık toplanmıştır. Atık içeriğine bakıldığında 178 kg plastik ambalaj atığı, 222 kg kağıt ambalaj atığı, 74 kg cam ambalaj atığı, 44 kg metal ambalaj atığı, 74 kg kompozit ambalaj atığı, 30 kg diğer atık, 858 kg evsel atık tespit edilmiştir. Sıfır Atık kapsamında yedi aylık çalışma süresinde %40 oranında ambalaj atığı evsel çöpten ayrıştırılmıştır. Aylık ortalama olarak 38.000 kg ambalaj atığı toplanarak düzenli depolamaya giden atık miktarında azalım sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıfır Atık, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm, Geri Kazanım, İzmir, Konak

Zero Waste Project and Zero Waste In Konak District of Izmir Province

Abstract

The zero waste approach is a waste management system that aims to prevent the types of waste generated as a result of activities during this formation, if it cannot be avoided, to reduce and recover waste generation. In this context, when we consider the zero waste approach, it means that in order to provide a sustainable world and life, the hazardous materials in the structure of the waste and the materials to be produced should be reduced, the resources should be used and protected in an efficient way, and a systematic waste management planning should be made. In this study, we first examined the level of zero waste practices in the conditions of the world and Turkey. At the same time, while it is a matter of curiosity how the works are carried out and what dimensions they have reached, in this study, I will share the beginning, progress and conclusion stages of the studies we have carried out in Konak District of Izmir Province.

* ^A Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü "Sıfır Atık Projesi ve İzmir İli Konak İlçesinde Sıfır Atık Uygulaması" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Sorumlu yazar e-mail: saras@nevsehir.edu.tr

When the studies started, the waste content and amount were determined with the solid waste characterization study on domestic garbage wastes. Here, a total of 1480 kg of waste collected in three different regions (low, medium, high income) according to income level. Considering the waste content, it is 178 kg plastic packaging waste, 222 kg paper packaging waste, 74 kg glass packaging waste, 44 kg metal packaging waste, 74 kg composite packaging waste, 30 kg other waste, 858 kg household waste was detected. Within the scope of Zero Waste, 40% of packaging waste was separated from domestic waste during the seven-month working period. 38,000 kg on average per month. By collecting packaging waste, the amount of waste going to landfill is reduced.

Keywords: Zero Waste; Waste Management; Recovery; Recycling; İzmir; Konak

1. Giriş

Kullanım dışı kalan ya da kullanım amacını yitirmiş yeniden değerlendirilebilme imkanı olan atık malzemelerin fiziksel/kimyasal işlemlere tabi tutularak hammadde haline getirilmesi suretiyle tekrar üretim süreçlerine dahil olmasına geri dönüşüm denir. Doğal kaynakların sınırsız olmadığını, bilinçsiz ve dikkatsiz tüketim sonucunda bu kaynakların tükeneceği bir gerçektir. Bu durumun farkında olan ülke ve üretim yerleri, doğal kaynakların gereksiz kullanımını ve israfının önüne geçmek, meydana çıkan enerji kayıplarını en aza indirmek için atıkların geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanımı için çeşitli yöntemler aramış ve geliştirmişlerdir [1].

Geri dönüşümün amacı; lüzumsuz kaynak kullanılmasının önüne geçmek ve atıkların çöpe gitmeden önce kaynağında ayrıştırma yapılarak oluşan çöp miktarının da azaltılması şeklinde düşünülmelidir. Demir, çelik, bakır, kağıt, karton, plastik, kauçuk, cam, elektronik atıklar vb. gibi malzemelerin geri kazanımı ve tekrar kullanımı doğal kaynak kullanımını en aza indirirken, kısa sürede de tükenmesini engelleyecektir [1 ve 2].

Bu durum ele alındığında geri dönüşüm faaliyetleri sonucunda hammadde konusunda dışa bağımlılık azaltılarak döviz miktarını azalması sağlanır. Aynı zamanda doğal kaynaklardan elde edilecek olan hammaddeden nihai ürüne kadar olan üretim sürecinde sarf edilen enerjiden büyük oranda tasarruf edilebilir. Elektrik enerjisi tasarrufu, su sarfiyatı, fosil yakıt kullanımı tasarrufu, insan gücü ve vakitten tasarruf elde edilmiş olur. Örnek olarak bir kağıt üretiminde doğal kaynak kullanımından ziyade atık kağıdın tekrar işlenmesi geri kazanılması ile hava kirliliğinde %74, su kullanımında %45, su kirliliğinde ise %35'e varan tasarruf söz konusudur. Bu şekilde yeni bir kağıt üretiminde 1 ton atık kağıt kullanılması sonucunda 8 ağacın kesilmesinin önüne geçilebilmektedir. Bir diğer önemli nokta ise bertaraf edilecek olan atık miktarının en aza indirilmesi ile olası çevre kirliliği de önlenmiş olacaktır. Ülkelerin atık bertarafını yapabilmeleri için yeterli alan olmayan yerlerde katı atıkların geri kazanılması önemli bir husustur. Geri dönüşüm sayesinde ise hacim azaltılarak yerden tasarruf edilmiş olacaktır [3].

Geri Dönüşüm sisteminde en önemli ve ilk basamak atıkların kaynağında ayrı toplanmasıdır. Geri dönüştürülebilir atıklar ayrıştırılmadan normal çöpler ile birlikte atıldığında, çöp içerisindeki organik maddelerin bozunumu sayesinde geri dönüşebilir atıklar zarar görür. Dolayısıyla çöpün ayrıştırılması ile geri dönüşüme giden geri dönüşüm malzemeleri işleme alındıktan sonra çıkan ürün kalitesi de düşük kalitede olacaktır. Aynı zamanda ayrıştırılmadan gelen geri dönüşüm malzemeleri ise geri dönüşüm tesisleri işletilmesinde temizlik aşamasında problem oluşturabilmektedir [2-8].

Sanayi devrimi ile birlikte ülkelerin gelişmesi, nüfusun artması ve doğru orantılı olarak ihtiyaçların artmasına bağlı olarak üretimi tetiklemiştir. Artan üretim sonucu da doğal kaynaklara olan talebi arttırmaktadır. Bu arz talep durumundan dolayı meydana gelen çevre kirliliği ve doğal kaynak kullanım talepleri, sürdürülebilirlik prensibini en aza indirerek dünyanın sonunu getirmektedir [9 ve 10].

Bu faktörler göz önüne alındığında son zamanlarda dünya genelinde dikkat çeken atık yönetim stratejilerinden biri olan 'Sıfır Atık Yönetimi' dir. Sıfır atık yönetimi, atık oluşumu anında önlenmesini,

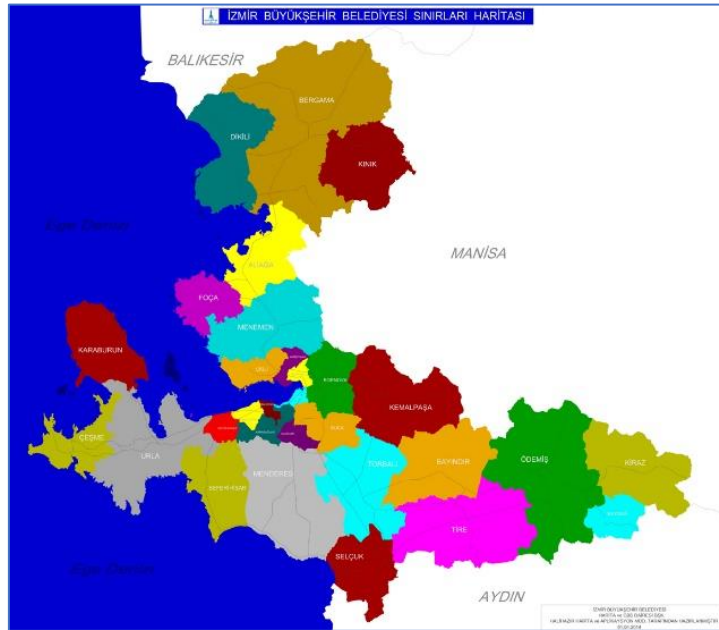
önlenebilir ise azaltılmasını ve oluşan atığın kaynağında ayrı toplanarak tekrar değerlendirilip kazanılmasını hedefleyen bir atık yönetimidir [11 ve 12].

2. Materyal ve Metot

2.1. İzmir ili genel pozisyonu

İzmir, Ege bölgesinin kıyı şeridinde yer alan, kuzey kısmında Madra Dağı, güney bölgesinde ise Kuşadası Körfezi, batıda ise Çeşme Yarımadası, doğuda ise Aydın ve Manisa illeri ile komşu olan bir şehirdir. İzmir ilinin nüfusu ise 2020 yılında 4.394.694'tür. Yüzölçümü ise 12.012 km²'dir. Türkiye'nin büyük şehirleri sıralamasında üçüncü sırada yer almaktadır. Gelişmiş bir şehir olan İzmir, işlek bir ticaret merkezi konumundadır [13].

İzmir İl'inin Aliağa, Balçova, Bayındır, Bayraklı, Bergama, Beydağ, Bornova, Buca, Çeşme, Çiğli, Dikili, Foça, Gaziemir, Güzelbahçe, Karabağlar, Karaburun, Karşıyaka, Kemalpaşa, Kınık, Kiraz, Konak, Menderes, Menemen, Narlıdere, Ödemiş, Seferihisar, Selçuk, Tire, Torbalı ve Urla olmak üzere 30 ilçesi bulunmaktadır. Balçova, Bayraklı, Bornova, Buca, Çiğli, Gaziemir, Güzelbahçe, Karabağlar, Karşıyaka, Konak ve Narlıdere ise büyük şehrin metropol ilçeleridir [14].



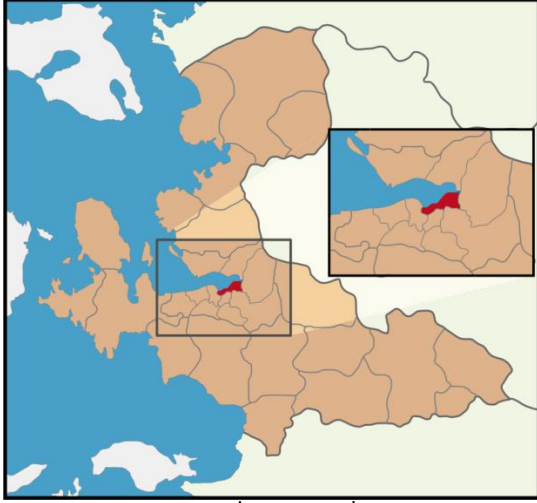
Harita 1. İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları haritası [14]

2.2. Konak ilçesi pilot bölge seçimi ve saha çalışmaları

İzmir İl'inin bir ilçesi olan Konak; kuzeyinde İzmir Körfezi ile doğusunda Bornova ilçesi, batısında Balçova ilçesi, güneyinde ise Buca ve Karabağlar ilçeleri ile çevrilmiştir (Harita 2). İlçe yüzölçümü olarak 24 km²'dir. Konak İlçesi'nde 2008 yılından itibaren 113 mahallesi bulunmaktadır. 2905 sokak ve 90 adet caddesi, 19 bulvar ve 14 adet meydan bulunmaktadır. 2020 yılı nüfusu 344.678 kişidir. Ancak gündüz çalışma saatleri içerisinde ticaret ve iş merkezlerinin çok fazla olmasından dolayı nüfus gündüzleri 700.000 ile 800.000 civarına ulaşabilmektedir [15].

Sıfır atık projesi çalışmasında, Konak Belediyesi ile birlikte lisanslı geri dönüşüm firması, ambalaj atıklarının toplanması ve taşınması işini birlikte yürütmektedir. Ambalaj atıkları toplanırken Sıfır Atık projesi göz önünde bulundurularak uygun çalışma yöntemleri oluşturulmuştur. Bu yöntemler değerlendirilirken sıfır atık projesi kapsamında atıkların kaynağında ayrı toplanması, geri dönüşüm atıklarının çöp olarak nitelendirilmemesi

öngörülmüştür. Belirlenen sistemin ne kadar verimli olabileceği tartışılırken diğer yandan çalışma alanının yeri ve kapsamı belirlenmiştir. Bunun sonucunda düşük gelirli, orta gelirli ve yüksek gelirli popülasyonun bir arada bulunduğu Konak İlçesi'nin Mithatpaşa caddesi tercih edilmiştir. Bu bölge kullanılabilir ekipmanların ve saha araçlarının çalışma kolaylığı, koordineli bir şekilde çalışma sağlanması açısından tercih sebebi olmuştur. Saha çalışmalarının yürütülebilmesi için belirlenen bölge baştan sona (apartman, iş yerleri, eğitim kurumları, kamu kurumları vb.) tek tek kayıt altına alınmıştır. Bu veriler neticesinde bölgenin çalışma sahası için uygun olduğu belirlenmiştir. Pilot bölge olarak belirlenen Mithatpaşa Caddesi Konak ile Güzelbahçe ilçeleri arasında uzanan 25 km'lik uzun bir yol üzerine kurulmuş bir caddedir. Bu cadde, İzmir şehrindeki Konak ile Güzelbahçe arasında kalan ve Harita 3 te gösterildiği gibi uzun bir caddedir. Cadde ismi Osmanlı döneminde sadrazamlık ve valilik yapmış Mithat Paşa'dan gelmektedir [16].



Harita 2. İzmir Konak İlçesi [15]



Harita 3. Mithatpaşa Caddesi [17]

2.3. Sıfır atık projesinin sahada uygulanması

Bu çalışmaya konu olan pilot bölgenin belirlenme aşamasından sonra yapılan iş planı kapsamında;

- Envanter çıkartılması,
- Ekipman oluşturulması,
- Personel sağlanması,
- Araç temin edilmesi,
- Çalışma haritası oluşturulması,
- Hedef noktaların belirlenmesi ve
- İş birliği sağlanması gibi faktörlerin belirlenmesi ile sahada çalışma işlemleri başlatılmıştır.

Konak Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü personelleri, Konak Belediyesi Temizlik İşleri Müdürlüğü personelleri, İzmir Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı personelleri, Mensan Geri Dönüşüm saha personelleri ile birlikte bölgede eğitim, bilgilendirme çalışmaları yapılmıştır. Afiş, broşür vb. bilgilendirici içerikler dağıtılmış ve birebir diyaloglar sağlanmıştır.

Mithatpaşa caddesi üzerinde Konak Belediyesi sınırları içerisinde kalan alanda, toplamda 200 adet çöp konteyneri belirlenmiştir. Bu konteyner içeriği incelendiğinde ambalaj atıkları, evsel yiyecek atıkları, mevsim şartlarına göre kül, mobilya, bazı pil atıkları tespit edilmiştir. Cadde boyunca 1400 civarı apartman bulunmaktadır. Bu apartmanlar sokak ve kapı numaralarına göre kayıt altına alınmıştır. Apartman yöneticileri ile birlikte apartman girişlerine ambalaj atığı toplama kutuları tahsis edilmiştir (Resim 1 ve Resim 2) . Bu kutularda apartman sakinleri

evlerinde kaynağında ayrı topladıkları ambalaj atıklarını, binadaki mavi renkli ambalaj atıkları toplama kutularında biriktirilmesi konusunda bilgilendirilmiştir.



Resim 1. Ambalaj atığı toplama kutusu



Resim 2. Personel tarafından yerleştirilen ekipman

Mithatpaşa Caddesi üzerinde 1400 adet apartmana bırakılan ambalaj atığı toplama kutuları her gün düzenli olarak toplanırken, aynı zamanda ekipmanların da kontrolleri sağlanmıştır. Atıkların toplanması atık toplama görevlileri tarafından Resim 3 'te gösterildiği gibi elektrikli ve çevre dostu olan sepetli motorlar ile sağlanmıştır.



Resim 3. Ambalaj atığı toplama motosikletleri



Resim 4. Mithatpaşa Caddesi ambalaj atığı toplama çalışması

Çalışma sisteminde bölgede ilk önce lisanslı firma tarafından ambalaj atıkları toplanırken ardından Konak Belediyesi'nin çöp toplama araçları çöp konteynerlerindeki atıkları toplayarak kontrollü ilerleme sağlanmıştır (Resim 4).

Apartmanlarda toplanan ambalaj atıkları sahadaki görevli personel tarafından elektrikli araçlar ile toplandıktan sonra, merkezi konumda bulunan daha büyük yeni nesil sıkıştırılmalı ve kapalı sisteme sahip toplama araçlarına aktarımı sağlanmaktadır (Resim 5). Büyük araçlarda biriktirme tamamlandıktan sonra araçlar geri dönüşüm tesisine giderek toplanan atıkların tesise boşaltımını gerçekleştirmektedirler. Tesise getirilen karışık

ambalaj atıkları ise ayırma bandı üzerinde yarı otomatik sistem ile ayrıştırılarak ilgili alanda biriktirilmektedir (Resim 6, 7, 8).

Uygulamada atıkların toplanması için Sıfır Atık Yönetmeliği'nde bahsedildiği üzere en az ikili toplama sistemi olması istenmektedir. Bu çalışmada apartmanlarda karışık olarak ambalaj atıklarının toplanması yönünde mavi renkli ambalaj atığı toplama ekipmanları bırakılmıştır (Resim 9). Kaynakta ayrı toplama mantığı ile apartman sakinleri evlerinde ambalaj atıkları ile evsel nitelikli atıkların ayrı toplanması yönünde teşvik edilmiştir. Ambalaj atıklarını apartman girişinde konumlandırılan mavi renkli kutulara atarken, evsel nitelikli atıklarını da belediyenin çöp toplama konteynerlarına atmaktadırlar [18].

Okullarda ise dört ayrı renkte ambalaj atığı kutuları temin edilmiştir. Böylelikle okullarda küçük yaşlardan yetişkin bireylere kadar farkındalık oluşturarak atık toplama sisteminin oluşturulması sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında sadece Mithatpaşa Caddesi çalışma sahası boyunca elde edilen ambalaj atıklarının miktarları ve Konak Belediyesi Temizlik İşleri Müdürlüğü'nce toplanan evsel nitelikli atık miktarı kayıt altına alınmıştır.



Resim 5. Biriktirme sonrası tesise gelen ambalaj atığı toplama aracı



Resim 6. Ayırma sistemine besleme yapan beko-loder



Resim 7. Sisteme giren ambalaj atıklarının ayrıştırılması işlemi



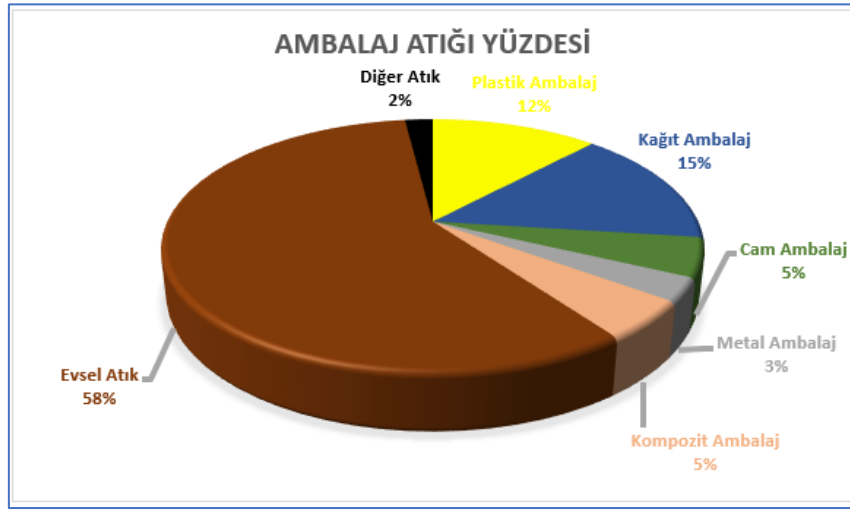
Resim 8. Ayrıştırılan malzemelerin preslenip balya hali



Resim 9. Bir apartmanda toplanan ambalaj atıkları

3. Bulgular

Çalışmada Mithatpaşa Caddesi üzerinde düşük gelirli bölgeden beş adet çöp konteyneri, orta gelirli bölgeden beş adet çöp konteyneri, yüksek gelirli bölgeden de beş adet çöp konteynerındaki atıklar tek araç ile toplanarak tesise getirilmiştir. Daha sonra bilirkişi tarafından atık karakterizasyonu işlemi yapılmıştır. Yapılan bu işlem neticesinde çöp konteynerlarına atılan atıkların ambalaj ve diğer atık türevlerinin oranları belirlenmiştir. Şekil 1' de atık karakterizasyonu sonucunda belirlenen atık miktarları yer almaktadır. Böylece toplanan atıkların içeriğinin %40'a yakını ambalaj atığı olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1' de verilen değerler Çevre Bilirkişisi ve Konak Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü personelleri ile Mensan Geri Dönüşüm personelleri kontrolünde hesaplanarak oluşturulmuştur.



Şekil 1. Pilot bölge üzerinde toplanan evsel atıklar üzerinde yapılan atık karakterizasyon yüzdesi

Tablo 1’ de açığa çıkan değerlerde ambalaj atıklarının büyük çoğunluğunu %15 oran ile kağıt/karton ambalaj atıkları, %12 oran ile plastik ambalaj atıkları ve daha düşük oranlarda ise cam (%5), kompozit (%5), metal (%3) ambalaj atıkları ve diğer (%2) atıklar oluşturmaktadır. Bu tür atıklar günlük yaşamda insanların sıklıkla kullandığı ambalaj atık türleridir. Atık karakterizasyonu işlemi için bölgeden toplanan toplam atık miktarı ve karakterizasyonu neticesinde ayrıştırılan atık miktarı aşağıdaki Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Atık karakterizasyonu ve atık cinslerine göre miktarları

	Plastik Ambalaj Atığı	Kağıt Ambalaj Atığı	Cam Ambalaj Atığı	Metal Ambalaj Atığı	Kompozit Ambalaj Atığı	Diğer Atıklar	Evsel Atık
Miktar (kg)	178	222	74	44	74	30	858
%	12	15	5	3	5	2	58
Toplam Atık Miktarı							1480 kg

Çalışmada toplanan karışık ambalaj atığı verileri 2019 yılı Haziran ayı ile Aralık ayı da dahil olmak üzere toplam yedi aylık dönemi kapsamaktadır. Bu aylara ait karışık ambalaj atık miktarları kilogram olarak Tablo 2 ‘de verilmiştir. Toplanan ambalaj atık verileri geri dönüşüm firmasındaki Çevre ve Şehircilik Bakanlığı sisteminde kayıtlı, TSE onaylı kantar tarafından tartımları yapılarak kantar fişlerinin biriktirilmesi ve toplanması ile oluşturulmuştur.

Tablo 2. Mithatpaşa Caddesi çalışma sahasında elde edilen 7 aylık ambalaj atığı miktarları (kg)

2019 yılı	Ay	Toplam Atık Miktarı
Karışık Ambalaj Atığı Miktarları	Haziran	33.250
	Temmuz	36.170
	Ağustos	37.290
	Eylül	41.540
	Ekim	39.330
	Kasım	40.280
	Aralık	41.900

Pilot bölgede uygulanan sıfır atık projesi Konak Belediyesi Temizlik İşleri Müdürlüğü ile koordineli bir şekilde sürdürülmüştür. Bu bağlamda ilgili müdürlük tarafından almış olduğumuz evsel nitelikli atık miktarları Tablo 3’te yer almaktadır.

Tablo 3. Haziran ayı bir haftalık evsel nitelikli çöp atık miktarı (kg)

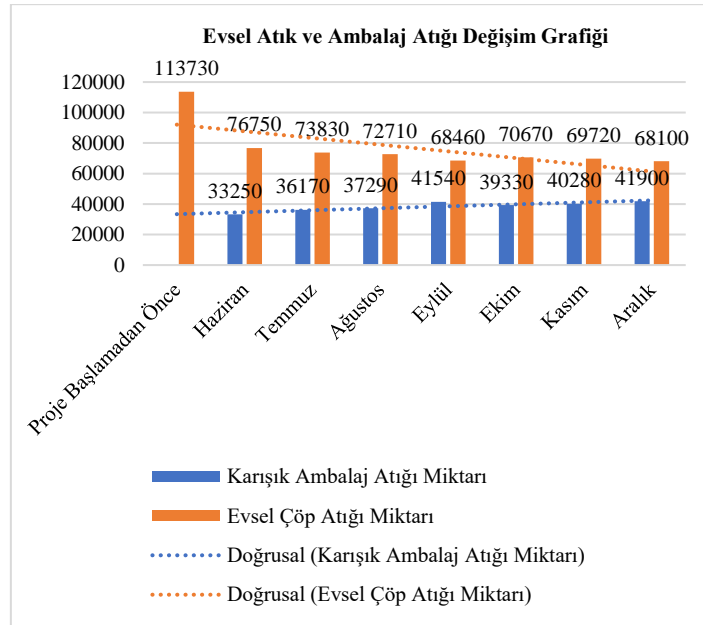
Tarih	10.06.2019	11.06.2019	12.06.2019	13.06.2019	14.06.2019	15.06.2019	16.06.2019
-------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Günlük Atık Miktarı	15750	16400	14890	15390	18100	14600	18600
Toplam Atık Miktarı	113.730						

Tablo 4. Aralık ayı bir haftalık evsel nitelikli çöp atık miktarı (kg)

Tarih	09.12.2019	10.12.2019	11.12.2019	12.12.2019	13.12.2019	14.12.2019	15.12.2019
Günlük Atık Miktarı	10940	9720	10740	10750	10030	9990	11300
Toplam Atık Miktarı	73.200						

Ambalaj atıklarının toplanması için başlatılan çalışma ile evsel ve ambalaj atık değişim grafiği aylık olarak Şekil 2’ de gösterilmiştir. Sunulan verilere göre sıfır atık projesi pilot bölgede uygulamaya başlanmadan önce atık miktarı 113.730 kg’dır. Sıfır Atık kapsamında kurtarılan ambalaj atıkları sonucunda evsel nitelikli atık miktarı ilk ayda 76.750 kg’a düşmüştür. İlerleyen aylarda ise evsel atık miktarındaki düşüş artarak, aralık ayında ise 68.100 kg olmuştur.

**Şekil 2.** Evsel ve ambalaj atık miktarının zaman içerisindeki değişimi

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada İzmir İli Konak İlçesi’nde pilot bölge olarak belirlenen Mithatpaşa Caddesi üzerinde kaynakta ayrı toplama, ambalaj atığı ve evsel çöp atıklarının birbirinden ayrı toplanması uygulamasında; hali hazırda ambalaj atıklarının toplanması sürdürülürken diğer yandan vatandaşların sisteme entegre edilmesi hedeflenmiştir. Gelir düzeyi 3 farklı (yüksek, orta ve düşük) bölgeden elde edilen çöp atıklarından açığa çıkan atık miktarlarını baz aldığımızda ciddi anlamda geri dönüşüm malzemelerinin çöpe gittiği görülmektedir. Çöp içeriğindeki ambalaj atıklarının daha çok gelir düzeyi az ve orta olan bölgelerden geldiği anlaşılabilmektedir. Gelir düzeyi yüksek olan bölgelerde geri dönüşüm bilinci ve uygulama potansiyelinin diğer bölgelere kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Tablo 2 ye göre çalışmaların başladığı andan itibaren çöpe giden ambalaj atıkları önemli derecede kurtarılmıştır. Aylık olarak toplamış olduğumuz veriler neticesinde de çöp konteynırlarına atılan ambalaj atık miktarlarında düşüş gözlemlenmiş, çöp konteynerlerindeki ambalaj atığı miktarının önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Böylece evsel atıklardan kurtarılan ambalaj atığı miktarı, uygulamanın başladığı ilk ayda %35

oranında kazanım gösterirken son ay olan aralık ayında ise %40' a ulaşmıştır (Tablo 3 ve Tablo 4). Çalışmada planlama aşamasında pilot bölgedeki nüfus göz önüne alındığında %30 civarı verim beklenmiştir. Uygulama aşamasında ise gerçekleşen verim %30'un üzerinde seyretmiştir (Şekil 2). Toplama sisteminin oturması ile çöpe giden ambalaj atıkları kurtarılmış ve depolama sahasına giden evsel nitelikteki çöplerde ciddi bir azalma meydana gelirken, sahanın hacimsel anlamda tasarrufu da söz konusu olmuştur. Burada önemli olan faktör resmi kurumlar ile saha çalışmasını başlatmak ve aynı zamanda ekonomik anlamda teşvik sisteminin olması insanları cezbetmektedir. Zamanla sistemin işleyiş şekli daha iyi hale gelerek, personellerin sahaya en iyi şekilde adapte olduğu, apartman sakinlerinin de sisteme entegre olmaya başladığı görülmüştür. Sıfır Atık Projesi çalışmalarının Türkiye ve dünya genelindeki önemini her geçen gün artmaktadır [19 ve 20]. Türkiye'de yapılan başka çalışmalara baktığımızda yapılan bu çalışma ile benzer oranda verimler aldığı görülmüştür.

Betül Hande Gürsoy Haksevenler, Fatma Feyza Kavak, Aydın Akpınar'ın (2020) yapmış olduğu Sıfır Atık Yönetimi, Marmara Üniversitesi Anadolu Hisarı Kampüsü Örneği çalışmalarında, Sıfır Atık Yönetimi uygulamaları sonucunda elde edilen sonuçlara bakıldığında, Sıfır Atık uygulamalarının ne kadar verimli olduğu ortadadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde bir tarafta %69 oranında kazanım sağlanırken bu çalışmada %40 civarında kazanım sağlanmıştır [21].

Çalışmamızda atık karakterizasyonu yapılmadan önce ve sonraki değişim kıyaslandığında iki çalışmada da ciddi oranda bir kazanım söz konusudur. Ancak iki çalışma arasındaki farkın fazla olmasında, öncelikle çalışma alanının büyüklüğü sebep olarak görülebilir. Diğer yandan çalışmalardaki verimi etkileyebilecek etmenler ise kişilerin eğitim ve bilinç seviyeleri, ekonomik şartlar, çalışma alanı için sermaye ve belirli uygulama disiplini zorunluluğu gibi etmenler sayılabilir. Bu çalışmalar Sıfır Atık Projesi çalışmalarının Türkiye ve dünya genelindeki önemini ve kaynakların sürdürülebilirliğinin önemini ortaya çıkarmaktadır [22]. Her ne kadar sıfır atık projesi kapsamında toplama sistemi oluşturulmuş olsa dahi, saha şartları her zaman olumlu ilerlemeyebilmektedir. Pilot bölge üzerinde konumlandırılan ekipmanlar bilinçsiz vatandaşlar tarafından çöp kenarlarına atılabilmektedir. Diğer yandan sokak toplayıcıları diye adlandırdığımız el arabaları ile çöplerden atık toplayan herhangi lisanslı firma personeli olmayan bir faktör söz konusudur. Çalışmaların başladığı ilk zamanlarda sokak toplayıcıları tarafından birçok toplama ekipmanı çalınmıştır.

Kübra Demir' in (2019) yılında hazırladığı Adana İlinde Sıfır Atık Projesinin Uygulanması isimli çalışması incelendiğinde ise Adana Ahmet Sapmaz Ortaokulu üzerinde uyguladıkları Sıfır Atık Projesinde yeterli verimin alınamadığı, bu yüzden çevre bilincinin oluşmasına ve gerekli eğitimin verilmesi noktasına değinilmiştir [11]. Burada yaşanan sorunun bilinç ve eğitimin yeteri kadar verilmemesi ya da hedef kitlenin yaş ortalamasına dikkat edilmesi gerektiğidir. Çalışmalar kıyaslandığında sıklıkla yaşanan sorun biriktirilen atıkların içeriğine bakıldığında ambalaj atıkları ve yiyecek artıklarının aynı ekipmanda toplanmasıdır. Bu durum biriktirilen ambalajın geri dönüşüm sürecinde işlenmesini zorlaştırarak, atığın kalitesinde düşüş yaşanmaktadır. Atıkların düzgün şekilde ve uygun yerlerde biriktirilmemesi sonucunda ekipmanların maliyetleri göz önüne alındığında lüzumsuz harcamalarda oluşabilmektedir.

Yine ayrı bir çalışmada, Eda Erdur' un (2019) hazırlamış olduğu çalışmayı incelediğimizde çalışma yöntemi olarak birbirine benzemektedir [23]. 'Türkiye'de Sıfır Atık Projesi ve Projenin Kamu Kurumlarında Uygulanması; Süleymanpaşa Belediyesi Örneği' çalışmasında uygulanan ve öngörülen sıfır atık çalışmaları, toplanması ve taşınması yönünden benzerlik göstermektedir. Süleymanpaşa Belediyesi'nde uygulanan sıfır atık çalışmasında ilk aşamada %18.04' lük ilerleme kaydedilirken, uygulamanın 12. ayında ise bu oran %27.03' e yükselmiştir. Mithatpaşa Caddesi üzerinde gerçekleştirmiş olduğumuz çalışmada ilk aylarda %35 oranında

ambalaj atığı kazanılırken ilerleyen aylarda bu oran %40 olarak belirlenmiştir. Buradan ulaşılabilecek sonuç ise; Sıfır Atık uygulamasının hayatımızın birçok alanında uygulanabilir olduğu, rutin işlerimizde bile sıfır atık prensibi ile çalışmalarımızı sürdürebilmenin farkındalığına varmamız gerekliliğidir. Elde edilen veriler sonucunda atık üretiminin kaçınılmaz olduğu günlük yaşantımızda Sıfır Atık Projesi uygulamalarının yaygınlaştırılması ve geri dönüşüm faaliyetlerini güçlendirmemiz gerektiği gerçeğine ulaşılmaktadır (24 - 26).

Atık yönetim sistemi göz önüne alındığında kurtarılan her ambalaj atığı ile ekonomik anlamda kazanç sağlanırken, düzenli depolama sahalarına gönderilen atık miktarındaki azalma ile de hem işletilen sahanın hacimsel yükü azaltılırken hem de çöp atıklarının düzenli depolama sahalarına transfer sıklığı da azalmaktadır. Diğer yandan uygulamada bazı zorluklarda söz konusu olmaktadır. Örneğin; kış mevsiminde yağışlı hava şartlarından dolayı elektrikli motorlar arızalanabilmektedir. Aynı şekilde kapalı araçlar gibi korunaklı olamamasından dolayı personelin ısınma yönünden zorluk yaşanmaktadır. Buda çalışma verimini etkileyebilmektedir. Belirli bir çalışma saati olduğu için akşam 19.00'dan sonra açığa çıkan ambalaj atıkları ekipmanlarda biriktirilirken hacimsel anlamda yeterli olamamaktadır. Bu yüzden çift vardiya sistemi geliştirilebilir. Bu sorunların en aza indirilmesi amacı ile ilçe belediyelerinin yükümlülüğünde olan ambalaj atığı çalışmalarını ihale sonucu işletilmesine verdiği firma ile koordineli çalışılmalıdır. Bu konuda mevcutta bulunan zabıta birimleri ile sahada istenmeyen, yetkisiz atık toplama yapan kişilerin uzaklaştırılmasını sağlanmalıdır. İşletme maliyetinin yüksek olduğu ve teşvik sistemi ile çalışmaların yürütüldüğü alanda ekipman maliyetleri, personel masrafları, tesis içi işletme maliyetlerinin bu çalışma süresi boyunca el edilen kazançlar ile denk gelmektedir. Bu konularda yerel yönetimler ve yetkilendirilmiş kuruluşlar tarafından sağlanabilecek maddi manevi desteklerin olması şarttır. Sıfır Atık Yönetmeliği'nin de ortaya çıkması ile tüm kamu kurum ve kuruluşlarda, işletmelerde, eğitim kurumları ve marketlerde, aynı zamanda apartmanlarda da benimsenmesi ile çevre için daha yararlı hal alacaktır [18].

Sonuç olarak daha verimli bir çalışma sistemi ile ekonomik anlamda da ilerleme kaydedilebilir. Sistemin zincirleme bağlılığı düşünüldüğünde ise daha az atık oluşacak, daha az transfer sağlanıp yakıt tasarrufu sağlanacak ve emisyon değerleri düşecektir. Düzenli depolama sahalarına getirilen atıklar daha az yer kaplayacak ve hacimsel azalma ile işletme açısından saha ömrü uzayacaktır. Çevre problemleri de minimuma inerek daha sağlıklı ve yaşanabilir, sürdürülebilir ortamlar oluşturulacaktır.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

B.Ö.: Literatür araştırması, veri toplanması, S.A.: Verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesi, makale yazımı, elde edilen verilerin yorumlanması ve düzenleme.

6. Kaynaklar

- [1] Zhu D., Asnani P.U., Zurbrügg C., Anapolsky S., Mani S., "Improving municipal solid waste management in India", *The World Bank*, Washington, DC, 125-127, 2008
- [2] European Commission, "Being Wise With Waste: The EU's Approach To Waste Management", *Publications Office of the European Union*, 16p, Belgium, 2010
- [3] Yurtman A., Aydın C., "Atık Kağıt Geri Dönüşümü ve Değerlendirme Olanakları", *İstanbul Ticaret Odası Yayını*, 64s, İstanbul, 2001
- [4] European Commission, "Preparing a Waste Prevention Programme", *BioIntelligence Service S.A.S.*, 62p, Paris, 2012

- [5] Inghels D.A.M., "Policy Modelling for Sustainable Waste Management", Vrije Universiteit, *PhD thesis*, 199p, Amsterdam, 2016
- [6] Çetin T., "Balıkesir İli Ambalaj Atıkları Geri Kazanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi ve Toplum Bilinçlendirme Çalışmalarının Etkisinin Belirlenmesi", Balıkesir Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 123s, Balıkesir, 2011
- [7] Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, *T.C Resmi Gazete*, (20814), 14.03.1991
- [8] Demircan B., "Van Büyükşehir Belediyesi Entegre Atık Yönetimi Planı Oluşturulması", Harran Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 109s., Şanlıurfa, 2016
- [9] Budak F., "Çevresel Etkilerin Ekonomik Analizi", 3. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 25- 26 Kasım, Bildiriler Kitabı, 12s, İzmir , 1999
- [10] Özen U., "Kırklareli Belediyesi Ambalaj Atıkları Yönetim Planı", Sakarya Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 2010
- [11] Demir K., "Adana İlinde Sıfır Atık Projesinin Uygulanması", Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 80s, Nevşehir, 2019
- [12] Cheremisnoff N.P., "Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies", *Elsevier Science*, Burlington, USA, 2003
- [13] İnternet: T.C. İzmir Valiliği "İzmir Hakkında", 10.05.2021, <http://izmir.gov.tr/izmir-hakkinda>
- [14] İnternet: İzmir Büyükşehir Belediyesi "Büyükşehir Sınır Haritası", 10.05.2021, <https://www.izmir.bel.tr/tr/BuyuksehirSinirHaritasi/125/212>
- [15] İnternet: Vikipedi "Konak, İzmir", 10.05.2021, https://tr.wikipedia.org/wiki/Konak,_%C4%B0zmir
- [16] İnternet: Vikipedi "Mithatpaşa Caddesi (İzmir)", 10.05.2021, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Mithatpa%C5%9Fa_Caddesi_\(%C4%B0zmir\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Mithatpa%C5%9Fa_Caddesi_(%C4%B0zmir))
- [17] İnternet: https://moovitapp.com/index/tr/toplu_ta%C5%9F%C4%B1ma-line-10-IzmirAyd%C4%B1n-1564-1608843-17636199-0, 10.05.2021
- [18] Sıfır Atık Yönetmeliği, *T.C Resmi Gazete*, (30829), 12.07.2019
- [19] Akdoğan A., Güleç S., "Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi Ve Belediyelerde Yöneticilerin Katı Atık Yönetimiyle İlgili Tutum Ve Düşüncelerinin Analizine Yönelik Bir Araştırma" , *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25, 45-45, 2007
- [20] Tezel Ö., Yıldız E., "Sürdürülebilir Atık Yönetimi Uygulamalarında Dünya ve Türkiye Karşılaştırması: Edikab Örneği", *Social Sciences Research Journal*, 9 (2), 39-41, 2020
- [21] Gürsoy Haksevenler B., Kavak F.F., Akpınar A. "Sıfır Atık Yönetimi", Marmara Üniversitesi Anadoluhisarı Kampüsü Örneği, *Kent Akademisi Dergisi*, 13, (4), 722-735, 2020
- [22] Palabıyık H., Altunbaş D., "Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi"; Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler, *C. Marin, U. Yıldırım (Ed.)*, 103-124s, Beta, İstanbul, 2004
- [23] Erdur E., "Türkiye’de Sıfır Atık Projesi ve Projenin Kamu Kurumlarında Uygulanması Örneği: Süleymanpaşa Belediyesi Örneği", Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 87s, Ankara, 2019
- [24] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Sıfır Atık El Kitapçığı", *Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü*, 18s, Ankara, 2017.
- [25] Zaman A.U., Lehmann S., "The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city' ", *Journal of Cleaner Production*, 50, 123-321p, 2013

- [26] Elgizawy S.M., El-Haggar S.M., Nassar K., “Approaching Sustainability of Construction and Demolition Waste Using Zero Waste Concept”, *Low Carbon Economy*, 7, (1), 1-11p, 2016



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: **10.17100/nevbiltek.993330**

Geliş Tarihi:09-09-2021

Kabul Tarihi:12-10-2021



Yer Karosu Bünye Reçetesine Cüruf Atığı İlavesinin Mekanik ve Fiziksel Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

Gamze KARAKEDİ SAKARYA ^{1*}, Elif UBAY ²

¹Seranit Granit Seramik, Ar-Ge Merkezi, İnönü/Eskişehir
ORCID:0000-0003-2766-5769

²Seranit Granit Seramik, Ar-Ge Merkezi, İnönü/Eskişehir
ORCID ID:0000-0001-8008-7772

Öz

Gerçekleşen bu projede demir ve çelik üretimi esnasında ortaya çıkan cüruf atığının endüstriyel simbiyoz kapsamında alternatif hammadde olarak seramik yer karosu bünyesinde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Seramik karo üretim sürecindeki aşamaları takiben farklı oranlarda cüruf içerikli masse kompozisyonları oluşturulmuştur. Cüruf, reçete kompozisyonuna %1, %3, %5, %8 ve %10 oranında dahil edilmiştir. TS EN ISO 10545 standardı kapsamında elde edilen bünyelere fiziksel testler (su emme, mukavemet, pişme küçülme) uygulanmıştır. Son olarak bünyelerin renk değerleri (L*a*b*) ölçülmüştür. Çalışma sonucunda cüruf atığının belirli bir yatırım sonucunda ve %1-3 oranında kullanılabilir olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yer karosu, Demir ve çelik, Cüruf atığı, Geri kazanım

Investigation of Effect on Mechanical and Physical Properties by Adding Slag Waste to Floor Tile Body

Abstract

In this project, it is aimed to utilize the slag waste generated during iron and steel production as an alternative raw material within the scope of industrial symbiosis within the body of ceramic floor tiles. Following the steps in the ceramic tile production process, masse compositions containing slag in different proportions were created. Slag is included in the recipe composition at the rate of 1%, 3%, 5%, 8% and 10%. Physical tests (water absorption, strength, firing shrinkage) were applied to the bodies obtained within the scope of TS EN ISO 10545 standard. Finally, the color values (L*a*b*) of the bodies were measured. As a result of the study, it has been determined that the slag waste can be used in body recipe between 1 and 3wt.% with a certain investment.

Keywords: Floor tile, Iron and steel, Slag waste, Recycling

1. Giriş

* Sorumlu yazar e-mail: gamze.sakarya@seranit.com.tr

Atmosferde kirletici emisyonların ve karbondioksit gazı miktarının artması, çoğalan üretim miktarına bağlı olarak, hammadde rezervlerinin tükeniyor olması, dolayısıyla sera etkisinin oluşması ve iklim değişiklikleri gibi sorunlar, alternatif ürün ve hammadde ihtiyacını arttırmıştır. Aynı zamanda, tüketimin artması ve buna bağlı olarak artan sanayi üretimi kullanılabilir doğal kaynaklarında hızlı bir azalmaya sebep olmuştur. Bu durum birçoğu geri dönüştürülemeyen büyük miktarda üretim atıkları oluşturmuştur [1]. Oluşan atıklar çevrenin kirlenmesine yol açan önemli bir unsurdur. Üretim sırasında ve sonrasında oluşan atıkların yeniden geri dönüşüm halkasına dahil edilmesi, doğanın dengesinin sağlanabilmesi ve doğaya verilen zararın minimuma indirilebilmesi açısından son derece mühimdir.

Oluşan atık miktarının giderek büyük sorunlara yol açmasıyla birlikte geri dönüşüme verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Büyük sorun haline gelen üretim atıklardan bir tanesi de demir ve çelik üretim sürecinin ayrılmaz parçası olan cüruf atığıdır. Çelik üretim endüstrisinden gelen cüruf, entegre çelik tesislerinden veya hurdadan üretilbilir ve direkt indirgenmiş demir bazlı çelik üretim cürufları, yüksek fırın (BF) ve çelik üretim cürufu olarak sınıflandırılır [2]. Cüruf, metallerin veya metal cevherlerinin yan ürünü olarak tasvir edilmektedir. Metallerden daha hafif olan oksitlerin ve silikatların ergitme sırasında farklı yoğunluklar nedeniyle yüzeyde birikmesiyle oluşmaktadır [3]. Çelik cürufu, bol miktarda serbest kalsiyum/magnezyum oksit, düşük çimentolu özellikler ve yüksek ağır metal içeriği ile karakterize edilir [4]. Seramik karolar, yer ve duvar kaplamasında kullanılan seramik plakalar olarak seramik kaplama malzemesi sınıfında yer almaktadır [5]. Seramik karolar, inşaat sektörünün en önemli ürünlerindedir. Kaliteleri, TS EN ISO 14411 standartlarına göre zorunlu ve ek test yöntemlerinden oluşan standart metodolojilerine dayanmaktadır [6].

Seramik karo üretiminde kullanılan başlıca hammaddeler; öğütülme esnasında su ilavesiyle yapının plastikliğini sağlayan kil, şekillendirme aşamasında plastik olmayan ve sinterleme sırasında ergimeye yardımcı olan feldspat ve bünyede iskelet görevini üstlenen, ergimeye dayanıklı silika olarak kısaca özetlenmektedir [7]. Literatürde cüruf atığının seramik ürünler için yeşil hammadde olarak geri dönüştürülmesini amaçlayan birçok çalışma mevcuttur. Yi ve arkadaşları çalışmaları sonucunda elektrik ark ocağı cürufunun agrega, tuğla, seramik karo ve çimento malzemesi gibi çeşitli inşaat ve yapı malzemelerine geri dönüştürülmesini önermiştir [8]. Turan ve arkadaşları yüksek fırın cürufunun tek ve çift pişirim duvar karolarında kullanılan firit bileşimlerinde değerlendirilmesini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda firit içeriğine ek olarak cam yünü ve granit bünye içeriğinde de cüruf atığının değerlendirilebilir olduğunu belirlemişlerdir [9]. Teo ve arkadaşları araştırmalarında elektrik ark fırını çelik cüruf atığının özelliklerini karakterize etmişler ve seramik karo üretiminde kullanılabilirliğinin uygunluğunu saptamışlardır [10].

Seramik kaplama malzemelerinde mevcut üretim döngüsünün esnekliği, bünyenin kimyasal ve mineralojik bileşiminin değişkenliği, atıkların değerlendirilmesi açısından yapılacak yeni araştırmalara imkân sağlamaktadır. Çelik cürufunun çöplüklerde bertarafı sadece değerli kaynakları boşa harcamakla kalmaz, aynı zamanda çevrede ciddi kirliliklere de neden olur. Son yıllarda, çevre dostu inşaat malzemeleri olarak çelik cürufunun kullanımı üzerine yapılan araştırmalar artmıştır. Bu çalışma ile demir çelik sektöründe atık olarak çıkan cürufun seramik karo sektöründe sınırlı doğal kaynaklarımızın yerine ilave malzeme olarak kullanılması ve yüksek miktarlarda çıkan atığının katma değeri daha yüksek bir ürüne dönüştürülebilirliği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma yer karoları için Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından günümüzdeki teknik ve uygulamaya dayanılarak hazırlanmış TS EN ISO 10545 standart test serisine göre yapılmıştır.

2.1. Kullanılan Hammaddeler

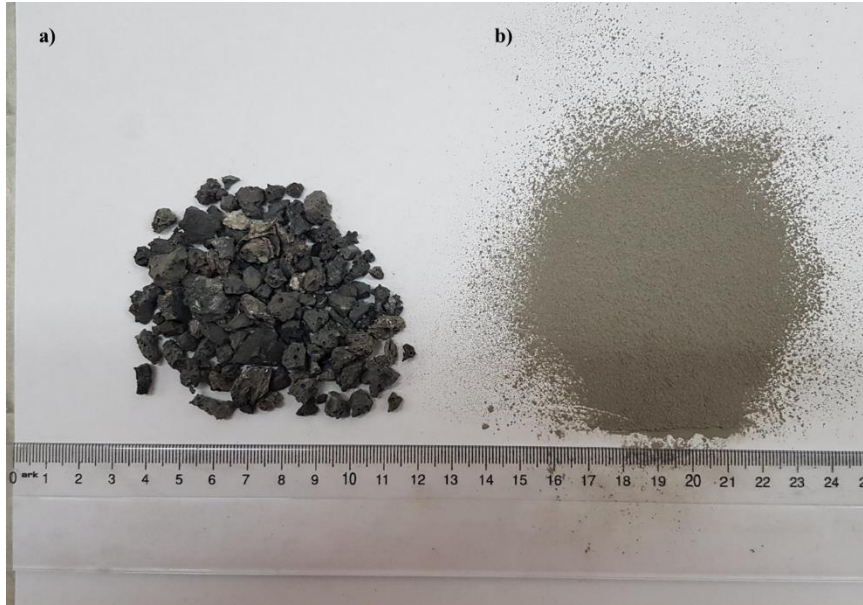
Yer karosu reçete kompozisyonu farklı mevki/ocaklardan temin edilen 3 çeşit kil, albit ve pegmatit hammaddelerini içermektedir. Cüruf atığı, Bilecik bölgesinde bulunan demir çelik tesisinden temin edilmiştir. Çalışmaya başlamadan önce kullanılacak hammaddelerin ve cüruf atığının kimyasal içerikleri belirlenmiştir ve Tablo 1’ de verilmiştir. Tablo 1’de görüldüğü üzere cüruf atığının kimyasal içeriğinde tehlikeli bileşen bulunmadığı için yer karosu bünye reçetesinde kullanılmasında bir problem yoktur.

Tablo 1. Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizi (% Ağırlıkça)

Bileşenler	Kil 1	Kil 2 (Magnezyum Kili)	Kil 3	Pegmatit	Albit	Cüruf Atığı
Na ₂ O	0,20	0,21	0,33	3,23	8,75	-
MgO	0,58	30,71	0,21	0,35	0,52	3,22
SiO ₂	66,16	19,62	77,58	71,22	71,80	35,53
Al ₂ O ₃	18,68	4,21	13,25	15,87	16,39	9,03
P ₂ O ₅	0,05	0,07	-	0,14	0,27	-
SO ₃	0,22	0,30	-	-	-	-
K ₂ O	2,21	0,49	4,56	3,37	0,34	-
CaO	0,29	5,75	0,26	0,49	0,59	48,97
TiO ₂	1,05	0,20	-	0,39	0,47	0,46
Fe ₂ O ₃	3,82	1,74	1,12	2,23	0,39	1,38
MnO	0,03	-	0,10	-	-	1,28
ZnO	-	-	-	-	-	0,01
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	0,12
A.Z.*	6,70	36,72	2,59	2,71	0,48	-

* Ateş Zaiyatı

Cüruf atığının içerisinde demir gibi parçalar olduğu için kullanılmadan önce hazırlanması gerekmiştir. Cüruf atığının hammadde olarak kullanılabilmesi için öncelikle sert kırıcı ile tane boyutu küçültülmüştür. Daha sonra sulu öğütme işlemi uygulanmıştır. Öğütülmesinin sebebi çok sert olduğu için bünye kompozisyonlarının öğütülme süresi boyunca öğünmeden kalmasından kaynaklanmaktadır. Son olarak, etüvde kurutulduktan sonra hammadde olarak kullanılması için hazır hale getirilmiştir. Cüruf atığının kendisi ve öğütülmüş hali görüntüleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



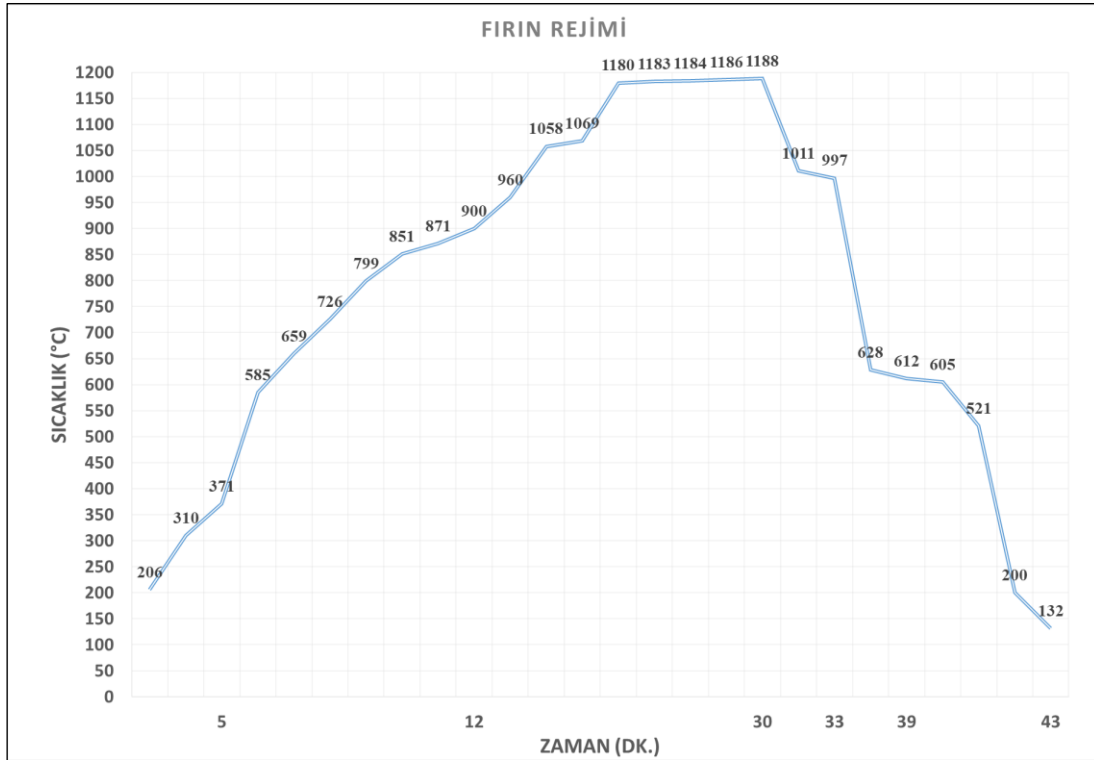
Şekil 1. Cüruf atığının görünümü a) kendi hali, b) su ile öğütülmüş hali

2.2. Bünye Reçetelerinin Hazırlanması

Reçete çalışmaları kapsamında, %1, %3, %5, %8 ve %10 oranlarında cüruf atığı ilave edilerek bünye reçeteleri oluşturulmuştur (Tablo 2). Oluşturulan reçete kompozisyonları toplam reçete ağırlığı 500 g üzerinden hesaplanarak bilyalı değirmenlere %45-46 oranında su, %0,5-0,6 oranında sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve 500 g alübit bilya eklenerek yaş olarak öğütülmesi sağlanmıştır. Öğütüldükten sonra çamur elde edilmiştir. Çamur etüvde rutubet değeri sıfır oluncaya kadar bekletilmiştir. Etüvden çıkan kurumuş çamur %5-6 oranında rutubetlendirilip el merdanesiyle toz haline getirilmiştir. Son olarak tozlar, 325 µm elek açıklığına sahip elekten geçirilerek granül elde edilmiştir. Daha sonra, 100 mm×200 mm boyutunda dikdörtgen kalıp kullanılarak 285 kg/cm² pres basıncı altında Gabrielli marka tek yönlü kuru pres cihazı ile şekillendirme işlemi uygulanmıştır. Şekillendirme işlemi biten karolar işletme şartlarında parlak rejim için 1186°C sıcaklık 46 dakika fırın rejiminde pişirilmiştir. Fırın; kurutma (ön bölge), ön ısıtma, ateş bölgesi, kritik soğutma (direk soğutma), dolaylı soğutma (indirek soğutma) ve son soğutma bölgelerinden oluşmaktadır ve fırın rejim sıcaklıkları Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Hazırlanan bünye reçeteleri

Hammadde	STD	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5
Kil 1	20	19	17	20	20	18
Kil 2(Mg Kili)	1,0	1,0	-	-	0,5	1,0
Kil 3	19	18	15	19	19	18
Albit	22	20	22	18	21,5	22
Pegmatit Harman	38	37	38	33	38	38
Cüruf Atığı	-	5	8	10	1	3



Şekil 2. Yer karosu fırın rejimi

2.3. Pişme Küçülmesi Değerinin Belirlenmesi

Karolar fırında sinterlendikten sonra 0.01 mm hassasiyet ile kumpas yardımıyla boyutları ölçülmüştür ve L4 değeri olarak kaydedilmiştir. Denklem 1 ile pişme küçülmesi değeri hesaplanmıştır. Burada; L4 Pişmiş karo boyutunu ve L1 Pres kalıp boyutunu ifade etmektedir.

$$\%R = \frac{L4-L1}{L1} \times 100 \quad (1)$$

2.4. Su Emme Değerinin Belirlenmesi

Su emme, karonun içerebileceği su miktarının, karo ağırlığına oranı olarak nitelendirilir ve yüzde (%) olarak ifade edilmektedir. Karoların su emme değeri TS EN ISO 10545-3 standardında bahsedildiği şekilde gerçekleştirilmiştir [11]. Sinterlenen karolarından kesilen numuneler 100×100 mm² ebatlarında kesilerek tartılmıştır ve parçanın kuru ağırlığı (WK) olarak kaydedilmiştir. Ceramic Instruments marka VSVD/60 modellenli vakumlu su emme test cihazı kullanılarak 90 kPa basınç altında 1 saat süresince test uygulanmıştır. Test sonucunda karolar tekrar tartılarak su emiş ağırlığı (WD) olarak kaydedilmiştir. Denklem 2’de belirtilen şekilde su emme değeri hesaplanmıştır.

$$\%W.A. = \frac{WD-WK}{WK} \times 100 \quad (2)$$

2.5. Mukavemet Değerinin Belirlenmesi

Sinterleme işleminden sonra ölçülen mukavemet değeri pişmiş mukavemet olarak tanımlanmaktadır. Karoların mukavemet ölçümleri TS EN ISO 10545-4 standardında belirtildiği şekilde Ceramic Instruments marka MOR 3-E modellenli 3 nokta eğme testi cihazı ile belirlenmiştir. Pişmiş mukavemet değeri Denklem 3’te belirtildiği şekilde hesaplanmıştır [12]. Destekler arası uzaklık 18 cm olarak ayarlanmıştır.

$$\sigma = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (3)$$

Burada;

P: Kırılma kuvveti (kg),

L: Destekler arası uzaklık (cm),

b: Kırılma yönündeki kenar uzunluğu (cm),

d: Karo kesitinin kalınlığıdır (cm).

2.6. Renk Değerlerinin Ölçülmesi

Renk ölçümü CIE tarafından bulunan CIELAB sistemine göre gerçekleştirilmiştir. Konica Minolta marka CM-2600d model spektrofotometre cihazı ile 60°’lik tarama açısıyla renk değerleri (L, a, b) belirlenmiştir. Renk değeri belirlemek için ölçüm cihazına yüzeyin üç farklı yerinden L, a, b değeri okutulmuş ve ortalama değer alınmıştır. L* açıklık eksenini tanımlamaktadır. L* değeri sıfıra yaklaştıkça siyah, yüze yaklaştıkça beyaz rengi ifade etmektedir. Yeşil ve kırmızı renklerini a*, mavi ve sarı renklerini b* koordinatı verir [13]. a* değeri eksiye yaklaştıkça yeşili, artıya yaklaştıkça kırmızıyı tanımlar. Aynı şekilde b* değeri eksiye yaklaştıkça mavi ve artıya yaklaştıkça sarı rengini ifade eder. Renk değerleri L*, a* ve b*’nin birbirlerine göre farkları karşılaştırılmaktadır ve ΔE* olarak tanımlanmaktadır. ΔE* değeri küçüldükçe karşılaşılan renklerin arasındaki fark da o kadar azdır [14].

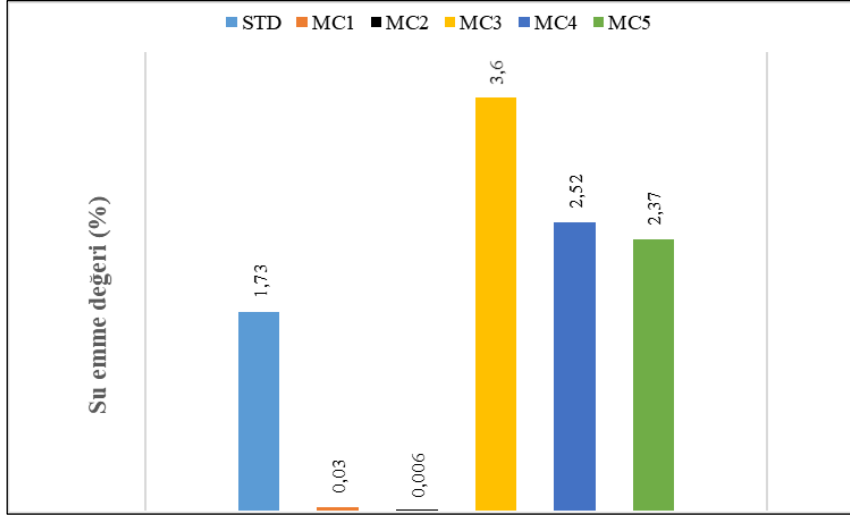
3. Bulgular

Standart ve %1, %3, %5, %8 ve %10 oranlarında cüruf atığı ilave edilerek elde edilerek oluşturulan bünye reçetelerinin pişmiş boyut ve Denklem 1’de ifade edildiği gibi hesaplanan pişme küçülme değerleri Tablo 3’te gösterilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde MC1 bünyesinde kil, pegmatit ve albit oranları azaltılarak cüruf atığı ilave edilmiştir. Pişme küçülmesi değerine bakıldığında standarda yakın olduğu görülmektedir. MC2 bünyesinde magnezyum kilinin (Kil 2) çıkartılması pişme küçülme değerini azaltmıştır. Bu oranda karo boyutu büyümüştür. MC3 bünyesinde %10 cüruf atığı ilavesi pişme küçülme değerine bakıldığında karonun büyüme eğilimine girdiği ortaya çıkmıştır. MC4 bünyesinde magnezyum kili ve albit oranı azaltılarak cüruf atığı reçeteye eklenmiştir ve pişme küçülme değerini azaltmıştır. MC5 bünyesinde kil oranı azaltılarak cüruf atığı reçete eklenmiştir. Pişme küçülme değerinin %6,27 değeri ile standarda en yakın bünye reçetesi olduğu görülmektedir.

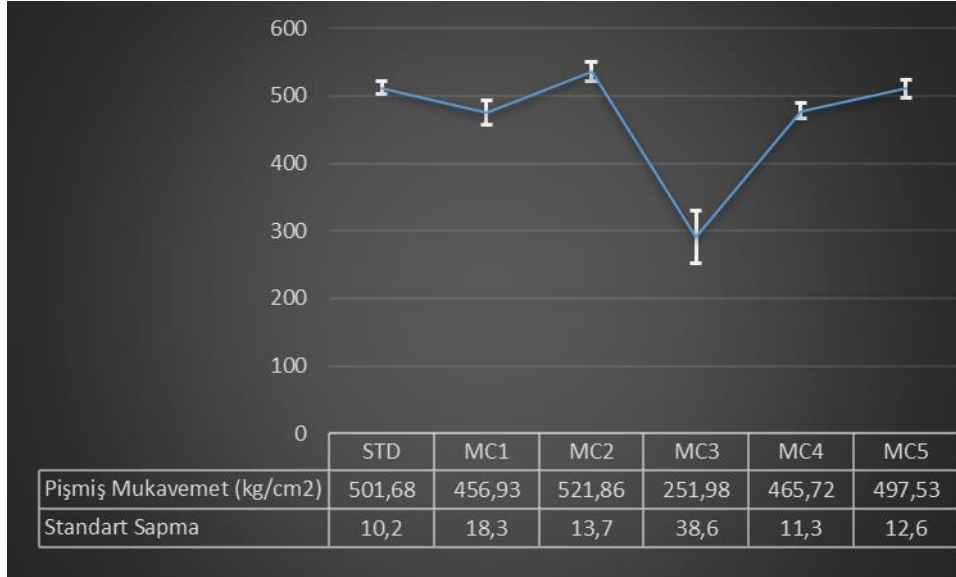
Tablo 3. Bünye reçetelerinin pişmiş boyut ve pişme küçülme değerleri

Reçete Kodu	Pişmiş Boyut (mm)	Pişme Küçülme (%)
STD	186,3×94,2	6,36
MC1	186,2×93,0	6,95
MC2	192,7×96,2	3,73
MC3	198,9×101,5	+0,05
MC4	190,2×95,4	4,78
MC5	187,5×93,8	6,27

Şekil 3 ve Şekil 4’te bünye reçetelerinin su emme (%) ve pişmiş mukavemet (kg/cm^2) değerleri verilmiştir. Tüm bünyelerin mukavemet değeri 3 adet karo için ölçülerek ortalaması alınmıştır ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. STD bünye reçetesi ile kıyaslandığına %5 cüruf ilavesi MC1 bünyesinde %98 su emme değerinin düşmesine sebep olmuştur. MC2 bünyesinde cüruf ilavesine takiben magnezyum kilinin çıkarılması ve kil oranının azaltılması su emme değerini %99 azalttığı ve pişmiş mukavemet değerini yükselttiği sonucu ortaya çıkmıştır. MC3 bünyesinde su emme değerinin yüksek çıkması ve buna bağlı olarak mukavemet değerinde düşüş meydana gelmiştir. MC4 bünyesinde magnezyum kili ve albit oranı azaltılarak cüruf atığı reçeteye eklenmiştir. MC4 bünyesinde su emme değerinin %45 oranında arttığı ve pişmiş mukavemet değerini %7 azalttığı görülmüştür. MC5 bünyesinde kil oranı azaltılarak cüruf atığı reçeteye eklenmiş olup su emme değerinin %37 oranında arttığı ve mukavemet değerinin %0,87 oranında azaldığı görülmektedir. ISO 10545-3 standardında kuru preslenmiş yer karolarında su emme değeri $0,5 < E_b \leq 3$ olarak tanımlanmıştır [11]. MC3 bünyesinde su emme değeri standart dışı çıkmıştır. Ayrıca, MC1 ve MC2 bünyelerinin su emme değeri %0,5’ten küçük çıkmıştır. Bu değer ISO 10545-3 standardında tanımlanan porselen karolarda beklenen su emme değerine eş değerdir. ISO 10545-4 standardında kuru preslenmiş yer karolarında mukavemet değeri 357 kg/cm^2 (35 N/mm^2) olarak belirtilmiştir [12]. Şekil 4 incelendiğinde %10 cüruf atık ilaveli MC3 bünyesinde mukavemet değeri standardın altında iken diğer tüm bünyelerde standart değerlerin hala üzerindedir.



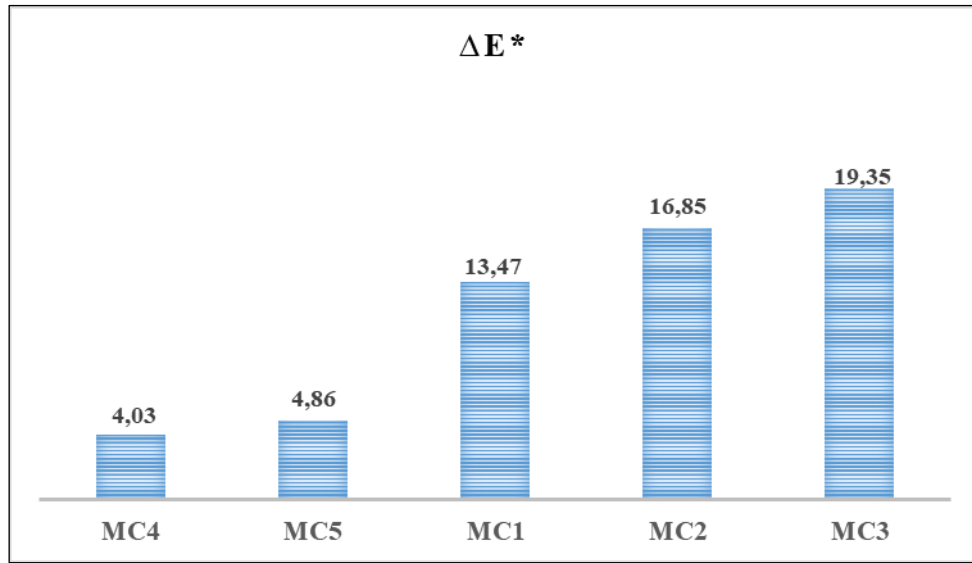
Şekil 3. Bünye reçetelerinin su emme değerleri (%)

Şekil 4. Bünye reçetelerinin pişmiş mukavemet değerleri (kg/cm²)

Tablo 4'te bünye reçetelerinin kromatik koordinatları ve Şekil 5'te renk değerleri arasındaki fark (ΔE^*) verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde genellikle cüruf oranına ters orantılı olarak L^* değeri değişmiştir. Örneğin, STD ile kıyaslandığında MC1 bünyesinde %33 ve MC5 bünyesinde %2,8 oranlarında beyazlık derecesinde azalma meydana gelmiştir. MC5 bünyesinde kil oranı azaldığı için MC4 bünyesine göre beyazlık değeri 1,07 daha fazla çıkmıştır. Tablo 4'te görüldüğü üzere cüruf atığı ilavesiyle bünye renginin yeşil ve mavi renklerine kaymıştır. Renk değerlerinin bu şekilde çıkması cüruf atığından gelen kirlilik kaynaklı olduğu düşünülmektedir. MC1, MC2 ve MC3 bünyelerinde STD ile kıyaslandığında parlaklık değerleri (GU) reçete içeriğindeki cüruf atığı miktarı ile doğru orantılı şekilde artmıştır. Ancak, MC4 ve MC5 bünyelerinde sırasıyla %1 ve %3 cüruf atığı ilave edilmiştir ve parlaklık değerinde azalma meydana gelmiştir. Cüruf atığı %5 ilavesinden sonra parlaklık değerini artırıcı etkiye sebep olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Şekil 5'te görüldüğü üzere reçete içeriğindeki cüruf oranı arttıkça ΔE^* değerinin arttığı buna bağlı olarak standart reçetenin renk değerinden uzaklaştığı sonucu ortaya çıkmıştır.

Tablo 4. Bünye reçetelerinin kromatik koordinatları

Reçete Kodu	STD	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5
Kromatik Koordinatlar						
L*	54,11	42,12	38,85	36,13	51,51	52,58
a*	6,51	3,91	4,01	4,48	5,34	3,25
b*	13,25	7,70	6,55	6,37	10,39	9,98
GU	1,19	1,29	2,66	3,04	1,07	1,17
ΔL^*	-	-11,99	-15,26	-17,98	-2,60	-1,53
Δa^*	-	-2,60	-2,49	-2,02	-1,16	-3,26
Δb^*	-	-5,54	-6,70	-6,88	-2,85	-3,27
ΔE^*	-	+13,47	+16,85	+19,35	+4,03	+4,86
ΔGU	-	+0,11	+1,48	+1,85	-0,12	-0,02

**Şekil 5.** Bünyelerin ΔE^* değerinin karşılaştırılması

Şekil 6' da bünye reçetelerinin pişirim sonrası görüntüleri ve Şekil 7' de kesitten çekilmiş görüntüleri verilmiştir. MC3 kompozisyonunda cüruf miktarının artması sebebiyle numunenin çok fazla ergidiği görülmüştür Şekil 7'de görüldüğü üzere cüruf miktarının artmasına bağlı olarak bünyede köpükleşme eğilimi ortaya çıkmıştır. Köpükleşme eğilimi su emme değerinin yüksek ve mukavemet değerinin düşük çıkmasını doğrulamaktadır. MC2 bünyesinde de köpükleşme görülmektedir ancak MC3 ile kıyaslandığında daha az miktardadır. Bu sonuçlara göre kullanılan yer karosu içeriğinde %8 ile %10 cüruf atığının köpükleşmeye sebep olduğu ortaya çıkmıştır. MC5 bünyesinin grimsi renkte olduğu görülmektedir. Renk olarak STD bünyeye en yakın reçete MC4 bünyesidir.



Şekil 6. Bünye reçetelerinin pişirim sonrası yüzey görüntüleri



Şekil 7. Bünye reçetelerinin pişirim sonrası kesit görüntüleri

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, yer karosu bünyesine farklı oranlarda cüruf atığı ilave edilerek reçeteye ve bünyenin özelliklerine etkisi incelenmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde cüruf atığının seramik yer karosu bünyesinde kullanılması belirli bir yatırım sonucunda ancak mümkün olduğu kanısına varılmıştır. Cürufun hammadde olarak kullanılması için ön hazırlık yapılması gerekmektedir. Çünkü cüruf atığı içerisinde çok miktarda demir parçacıkları bulunmuştur. Bunların öğünme sırasında değirmenlerin aşınmasına dolayısıyla değirmen ömrünün kışalmasına sebep olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda içerisindeki kirlilik temizlenmediğinde kirlilik sebebiyle üretim esnasında sırlı yüzeyde göçük, delik gibi problemlere sebep olacaktır. Son olarak, içeriğindeki kalsit miktarının fazla olması sebebiyle cüruf atığının çok miktarda kullanılması karonun gözenekliliğini arttırmıştır. Yer karolarında, gözenek miktarı arttıkça su emme arttığından dolayı gözeneklilik istenmeyen durumdur. Bu sebepten dolayı %10 oranında cürufun yer karosu bünye içeriğinde kullanılması

olası değildir. Ancak, sinterleme sıcaklığının düşürülmesi ile küçülme değerinin ayarlanıp reçeteye dahil edilebilir. Çalışma sonucunda pişme küçülmesi, mukavemet ve su emme değerleri göz önüne alındığında cüruf miktarının yer karosu bünye reçetesinde %1-3 arasında kullanılabilirliğinin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda cüruf atığının gaz seramik üretimlerinde köpükleştirici ajan olarak SiC gibi karbon içeren bileşenlerin yerine alternatif olarak kullanımı araştırma konusu olabileceği düşünülmektedir.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

Bilecik Demir Çelik A.Ş. firmasına çalışmamızda kullandığımız cüruf atıklarını bizimle paylaştıkları için teşekkür ederiz. Yazarlar, Seranit Granit Seramik firmasına çalışmayı finansal olarak desteklediklerinden dolayı teşekkürlerini sunmaktadır. E.U: Danışman, G.K.S: Deneysel düzeneğinin hazırlanması, laboratuvar çalışmaları ve makale yazımı aşamalarına katkı sağlamıştır.

6. Kaynaklar

- [1] Torres P., Fernandes H.R., Agathopoulos S., Tulyaganov D.U., and Ferreira J.M.F., “Incorporation Of Granite Cutting Sludge In Industrial Porcelain Tile Formulations” *Journal of European Ceramic Society*, 24, 3177-3185, 2004
- [2] Joulazadeh M.H., Joulazadeh F.,” Slag; Value Added Steel Industry By Products “*Archives of Metallurgy and Materials*, 55, 1137-1145, 2010
- [3] Ünal S., Yücel O., Kurt M., Gül S. GÜL, “Atık’tan Ürün’e Demir-Çelik Cürufu”, İleri Teknolojiler Çalıştayı, sy. 255-267, 2014
- [4] Song Q., Guo M.Z., Wang L., and Ling T.C.,” Use of Steel Slag as Sustainable Construction Material: A Review of Accelerated Carbonation Treatment” *Conservation and Recycling*, 173, 105740, 2021
- [5] Baycık S., “Granüle Yüksek Fırın Cüruflarının Karo Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması” İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 138s, İstanbul, 2003
- [6] Türkiye Seramik Federasyonu, “Seramik Sektörü Yerli Katma Değer Raporu-8. Dönem Faaliyet Raporu”, sy. 13-25, 2019
- [7] Reed J.S.,” Introduction to The Principles of Ceramic Processing” JohnWiley & Sons., 1998
- [8] Yi H., Xu G., Cheng H., Wang J., Wan Y., and Chen H., “An Overview of utilization of steel slag” *Procedia Environ Sci.*, 16, 791-801, 2012
- [9] Kaya G., Turan S., “ Yüksek Fırın Cüruflarının Seramik Sektöründe Katma Değeri Yüksek Ürünlerin Eldesinde Değerlendirilmesi” *Mühendis ve Makine*, 45, 536, 48-60, 2003
- [10] Teo P.T., et al., “Characterization of EAF Steel Slag Waste: The Potential Green Resource for Ceramic Tile Production” *Procedia Chemistry*, 19, 842-846, 2016
- [11] TS EN ISO 10545-3 Seramik Karolar-Su Emme, Görünür Gözeneklilik, Bağlı Yoğunluk ve Hacim Kütlesinin Tayini
- [12] TS EN ISO 10545-4 Seramik Karolar- Seramik Karolar Eğilme Dayanımı ve Kırılma Dayanımı Tayini
- [13] Berns R.S.,” Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology” J. Wiley/New York, 2000
- [14] Özcan A., “Kağıt Yüzey Pürüzlülüğünün L* a * b * değerleri üzerine etkisinin belirlenmesi” *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7, 53-61, 2008



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: [10.17100/nevbiltek.1024552](https://doi.org/10.17100/nevbiltek.1024552)

Geliş Tarihi:16-11-2021

Kabul Tarihi:02-12-2021



Çeşitli Gıda Ürünlerinden İzole Edilen Mayalardan Lipit Üretimi^A

Mehmet Ali BOZKURT ^{1*}, Şahlan ÖZTÜRK ²

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Nevşehir
ORCID ID: 0000-0002-1001-310X

² Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir
ORCID ID: 0000-0002-6064-3628

Öz

Bu çalışmanın amacı, çeşitli gıda örneklerinden izole edilmiş maya türlerinin lipit içeriği, lipit verimi ve yağ asidi profili bakımından biyodizel üretim potansiyellerini belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda; çalışmada çeşitli gıda ürünlerinden izole edilen 7 maya izolatu, pH 5,5, 30 °C sıcaklık 100 rpm (çalkalama hızı) ve 24 saat sürede hem optimal besiyerinde (azot varlığında) hem de lipit üretim besiyerinde (azot yokluğu) inkübe edilerek lipit verimi ve % lipit miktarı bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan *Pichia kudriavzevii* türünün yüksek lipit içeriğine ve lipit verimine sahip olmasının yanı sıra elde edilen lipitlerin büyük bölümünün C16 ve C18 metil esterlerinden oluşması bu mayaların sentezlediği lipitlerin biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılabilme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Maya; Biyodizel; Mikrobiyal Lipit; *Pichia kudriavzevii*.

Production of Lipids From Yeast Isolated From Various Food Products

Abstract

The aim of this study is to determine the biodiesel production potential of yeast strains isolated from various food samples in terms of lipid content, lipid yield and fatty acid profile. In accordance with this purpose; In the study, 7 yeast isolates isolated from various food products were incubated at pH 5.5, 30 oC temperature, 100 rpm (shaking speed) and 24 hours in both optimal medium (in the presence of nitrogen) and lipid production medium (lack of nitrogen) to increase lipid yield and Compared in terms of % lipid content. The fact that the *Pichia kudriavzevii* species used in the study has high lipid content and lipid yield, as well as the fact that most of the lipids obtained are composed of C16 and C18 methyl esters, has shown that the lipids synthesized by these yeasts have the potential to be used as a raw material in the production of biodiesel.

Keywords: Yeast; Biodiesel; Microbial Lipid; *Pichia kudriavzevii*

*Sorumlu yazar e-mail: alibozkurt@nevsehir.edu.tr

^A.Bu makale yüksek lisans tezinden üretilmiştir

1. Giriş

Enerjinin, tüm ülkelerde ekonomik ve sosyal kalkınma ile yaşam kalitesinin gelişmesi bakımından temel bir ihtiyaç olduğu aşikârdır. Dünyada ülkelerin giderek kalkınmasıyla ortaya çıkan enerji talebindeki artış ve bu talebin giderek azalan fosil enerji kaynakları ile karşılanamaması, insanlığı yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları aramaya yönlendirmiştir. Dünyada ve ülkemizde alternatif enerji kaynakları arasında bulunan biyodizel, son dönemlerde önemi oldukça artan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağlar ile atık yağlar gibi yerli ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen bir dizel alternatiftir [1]. Üretiminde kullanılan temel hammaddenin bitkisel yağlar olması ve bu yağların özellikle tarım ürünü ağırlıklı olması, biyodizel üretimini kısıtlamaktadır.

Mikroorganizmalar, bitkiler ile kıyaslandığında; kısa yaşam döngüsüne sahip olmaları, daha az çaba gerektirmeleri, mevsimlerden daha az etkilenmeleri, küçük alanda daha büyük ölçekte üretilebilmeleri gibi çeşitli avantajlara sahiptir [2]. Bu avantajlarla birlikte dünya genelinde fosil yakıt kaynaklarının hızla tükenmesi ve fosil yakıtların çevresel zararlarından dolayı, çevre dostu bir enerji kaynağı olan biyodizelin üretilmesi için mikrobiyal yağların kullanılması ideal bir stratejidir.

Maya, mantar ve mikroalgler bileşimi bitkisel yağlara benzeyen triasilgliseritleri (TAGs)'leri sentezleyebilirken, bakterilerin çoğu spesifik yağları sentezleyebilmektedirler. TAG'ler biyodizel üretimi için ana materyallerdir ve birçok mikroorganizma tarafından hücre içinde yüksek miktarlarda üretilebilmektedir. Biyodizel üretimi için diğer önemli kaynak materyali ise mayalardır. *Rhodosporidium toruloides*, *Lipomyces starkeyi*, *Yarrowia lipolytica*, *Cryptococcus curvatus* gibi bazı mayaların kuru ağırlıklarının %20'sinden daha fazla lipid üretimi yapabildiği bilinmektedir [2,3]. Mayalar glikoz, ksiloz, gliserol, nişasta, lignosellüloz, tarıma dayalı sanayi atıkları gibi çeşitli karbon kaynaklarını lipid üretimi için kullanabilirler. Fakat her durumda lipid üretimi karbon haricindeki bir besin elementinin sınırlandırılması ile oluşturulan koşullar altında gerçekleşmektedir [4].

Genellikle yağ üreten mayalar, diğer mayalarla kıyaslandığında daha yavaş geliştikleri görülür. Bu sebeple, lipid üretimi yapan mayalardan lipid üretimi açısından maksimum verim alabilmek için uzun bir süreye ihtiyaç vardır [5].

Yağlı mikroorganizmaların karbon seviyesinin yüksek olduğu durumlarda ve besiyeri içeriğinde herhangi bir element sınırlandırıldığında yağlı mikroorganizmalar depo yağı olan triasilgliserollerini üretmeye başlarlar. Yağ üretimini besiyerine ilave edilen çeşitli elementlerin oranı tetikleyebilir. Yağlı mikroorganizmalarla yapılan çalışmalarda yağ üretiminin artırılması amacıyla özellikle azot sınırlaması sıklıkla kullanılmaktadır. Bazı inorganik tuzların (fosfat, magnezyum, demir veya sülfat) ve vitaminlerin de azotun dışında yağ üretim metabolizmasını etkilediği belirtilmiştir [6].

Bu çalışmada çeşitli gıda ürünlerinden izole edilen mayaların mikrobiyal lipid üretim kapasitelerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla çeşitli gıda ürünlerinden maya izalasyonu gerçekleştirerek izole edilen mayalar farklı pH değerlerinde azot varlığı/azot yokluğu stresi içeren iki farklı besiyerinde biyokütle artışı ve lipid verimi açısından değerlendirilmiştir. Daha sonra hücre içi mikrobiyal lipid üretme verimi ve % lipid miktarı en yüksek olan 2 adet maya izolatının seçilerek tür tanımlamasının yapılması ve yağ asidi kompozisyonunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Elde edilecek verilerle bu mayaların biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılabilme potansiyelinin var olup olmadığı ortaya konulacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışmada kullanılan gıda örnekleri

Çalışmada Nevşehir ilinde ev yapımı elma sirkesi, turşu suyu, şalgam, zeytinli yağ, çiğ süt, tereyağı, yoğurt, domates sosu gibi gıda ürünleri maya izolasyon kaynağı olarak kullanılmıştır.

2.2. Örnek alımı ve izolasyon

Maya izolasyon kaynağı olarak kullanılan çeşitli gıdalar elma sirkesi, turşu suyu, şalgam, zeytinli yağ, çiğ süt, tereyağı, yoğurt, domates sosundan örnek alırken plastik özeler numuneler içerisine batırılarak örnek alımı yapılmıştır. Sıvı besi yerine ekim plastik özelerle alınan numuneler içerisine batırılmış besi yerine örneklerin geçmesi için plastik öze bir miktar içerisinde karıştırılmıştır. Ekim işlemi bittikten sonra ağzı kapatılan sıvı besi yerleri üreme olması için 30 °C'de etüvde 24 saat inkübe edilmiştir.

İnkübe edilmiş ve üreme gerçekleşmiş olan sıvı besi yerlerinden batırma yöntemiyle plastik öze yardımıyla örnek alınarak katı besi yerine çizgi ekim yapılmıştır ve 30 °C 'de etüvde bir gün inkübe edilmiştir. Besiyerleri üzerinde gelişen koloniler arasında farklı görünüme sahip olanlar plastik öze yardımıyla alınarak tekrar aynı besiyerlerine çizgi ekim yöntemi ile ekilmiştir. Bu işlem saf görünümlü koloniler elde edilinceye değin tekrarlanmıştır.

2.2.1. Alınan örneklerin Gram boyama işlemi

Yapılan izolasyon çalışması sonucunda oluşan izolatlar gram boyama yöntemi ile boyanmıştır. Gram boyama işleminde kullanılan kimyasallar; kristal viyole, lugol çözeltisi, % 95'lik etanol, safranin boya çözeltisidir.

Gram boyama yönteminde belli bir sıra izlenerek şu işlemler yapılmıştır. İlk olarak lamaların üzerine saf su eklenmiş ve bu işlemin ardından demir öze bek alevinde steril edilmiştir. Besi yerinden numune alınarak lam üzerine iyice yayılmıştır. Ardından lam üzerinde bulunan fazla su buharlaştırmak ve lamı kurutmak için bek alevinden geçirilmiştir. Kurutulan lama ilk olarak kristal viyole damlatılmıştır. Bir dakika beklendikten sonra saf sudan geçirilmiştir. Bu işlem sonrasında lam üzerine lugol çözeltisi eklenmiş bir dakika beklendikten sonra saf sudan geçirilmiştir. Daha sonra üzerine etil alkol çözeltisi damlatılmış ve 10-15 saniye bekletilip ardından bol saf sudan geçirilmiştir. Son işlem olarak lam üzerine safranin boyası damlatılmış ve 30 saniye bekletilip ardından saf sudan geçirilmiştir. Bu işlemlerin sonunda ıslak olan lamalar temiz bir kâğıt havlu üzerinde kurumaya bırakılmıştır.

2.2.2. İzolatların mikroskopta incelenmesi

Gram boyama sonucu kuruyan boyalı lamaların üzerindeki mikroorganizmaların üzerine immersiyon yağı damlatılarak mikroskop yardımıyla 100x immersiyon objektifinde incelenmiştir. İnceleme sonucu boyama işlemi yapılan lamlarda mor renkte görülen mikroorganizmalar gram (+), pembe-kırmızı renkte görülenler ise gram (-) olarak değerlendirilmiştir. Mikroskopta incelemeler sonucu örnekler içerisindeki mayalar belirlenmiştir. Elimizde bulunan toplam 60 izolat içerisinde 7 izolatın maya olduğu tespit edilmiştir.

2.2.3. Çalışmada kullanılan besiyerleri

Çalışmada maya kültürlerinin üretimi amacıyla optimal besiyeri (azot varlığı) ve lipit üretim besiyeri (azot açlığı) olmak üzere iki çeşit besiyeri kullanılmıştır. Tüm besiyerleri ekim işlemleri öncesinde 120 °C 'de 1 saat 15 dakika otoklav edilmiştir.

2.2.4. Optimal besiyeri

Stok maya kültürlerinin üretildiği optimal besiyerinin içeriği Tablo 2.1.'de verilmiştir. Besiyeri başlangıç pH'sı, HCl ve NaOH ile ayarlanmıştır.

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan optimal besiyeri içeriği

Glikoz	10 g/L
Pepton	5 g/L
Maya Özütü	3 g/L
Malt özütü	3 g/L

2.2.5. Lipit üretim besiyeri

Tablo 2.2.'de içeriği verilen lipit üretim besiyerinin başlangıç pH'sı ortama 1N HCl ve 1 N NaOH ilave edilerek pH 5,5'e ayarlandı.

Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan lipit üretim besiyeri içeriği

Glikoz	70 g/L
Maya Özütü	0.75 g/L
Amonyum Sülfat (NH ₄) ₂ SO ₄	0.55 g/L
Potasyum Sülfat KH ₂ PO ₄	0.40 g/L
Magnezyum Sülfat MgSO ₄ ·7H ₂ O	2 g/L

2.3. Azot yokluğu stresinin uygulanması

PDA ortamında yatık agarda muhafaza edilen maya kültürlerinin aktifleştirilmesi için iğne uçlu öze yardımıyla alınan maya kültürü batırma yöntemiyle 100 mL stok besiyeri içeren 250 mL'lik erlenlere ekilmiştir. Hazırlanan maya kültürleri 30°C'de 100 rpm'de çalkalamalı inkübatörde (Nüve ES 110) 1 gün süre ile inkübe edilmiştir. Daha sonra sıvı maya kültüründen aseptik koşullarda alınan 5 mL kültür, tekrar 100 mL stok besiyeri içeren 250 mL'lik erlenlere ekilmiştir. 30°C'de 100 rpm'de çalkalamalı etüvde 1 gün inkübe edilen maya kültürleri optimal besiyeri (azot varlığı) ve lipit üretimini teşvik edici besiyerine (azot yokluğu) ekilmek üzere hazır hale getirilmiştir.

Azot yokluğu stresi oluşturmak için; stok besiyerinde 1 gün çoğalan örneklerden 20 ml alınmış ve alınan hücreler santrifüjle toplandıktan sonra üst faz atılarak, atılan üst faz yerine içerisinde lipit üretim besiyeri ile süspansedilmiştir. Lipit üretim besiyeri/N- ile süspansedilmiş hücreler, içerisinde 100 ml lipit üretim besiyeri/N- bulunan 250 mL'lik erlenlere ekim yapılmıştır. Ekim yapılan erlenler INFORS-HT marka inkübatörde 28°C, 80 rpm'de 1 gün inkübasyona bırakılmıştır. Azot stres denemesiyle aynı anda optimal besiyerine (optimal besiyeri/N+) de maya hücrelerinin ekimi yapılmıştır. Her izolat için hem optimal besiyeri (optimal besiyeri/N+) hem de azot yokluğu besiyerine lipit üretim besiyeri/N+ besiyerinde 1 gün boyunca çoğaltılmış tek bir stoktan ekim yapılmıştır.

Toplam 1 günlük kültür süresi sonunda hem optimal besiyeri/N+ hem de lipit üretim besiyeri/N- besiyerlerinde çoğalan izolatlar toplanmış ve bu izolatlarda; biyokütle miktarı, biyokütle verimi, toplam lipit miktarı, kuru ağırlıkta % lipit miktarı, lipit verimi saptanmıştır.

2.4. Biyokütle veriminin saptanması

Biyokütle veriminin saptanması için biyokütle verimi: $(N_2 - N_1) / (t_2 - t_1)$ formülü kullanılmıştır ve formülde yer alan; N₂: t₂ zamanındaki biyokütle konsantrasyonu (mg/L), N₁: t₁ zamanındaki biyokütle konsantrasyonu, biyokütle konsantrasyonu: mg/litre/gün (1 günde 1 Lt besiyerinden elde edilen mg maya biyokütlesi) ifade etmektedir [7,8].

T1 zamanındaki başlangıç biyokütlesini (N₁) belirlemek için; ana stoktan (1 gün boyunca optimal koşullarda çoğaltılmış yaklaşık 100 ml hücre) 3 defa 20'şer mL hücre alınmış ve hücreler santrifüjle (3000 rpm'de 5 dk) toplandıktan sonra üst fazları atılmıştır. Sadece hücre bulunan tüplere saf su eklenerek saf suyla yıkama yapılmıştır. Yıkanan hücreler tekrar toplandıktan ve üst fazları döküldükten sonra, ağırlığı hassas terazide tartılmış ve ağırlığı kaydedilmiş olan 1,5 mL polipropilen tüplere aktarılmıştır. İçerisinde hücre bulunan tüpler 65°C'de etüvde yaklaşık 15 saat bırakılmıştır. Kuruyan hücrelerin bulunduğu tüpler tekrar hassas terazide tartılmış ve ağırlıklar kaydedilmiştir. İçerisinde kuru maya biyokütlesi bulunan tüp ağırlından, aynı tüpün boş ağırlığı çıkarılarak 20 ml hücrenin kuru ağırlığı saptanmıştır. Saptanan kuru ağırlık mg/L olarak ifade edilmiştir.

T2 zamanındaki biyokütleyi (N₂) belirlemek için; 1 günlük inkübasyonun sonunda hem N+ (azot varlığı) hem de N- (azot yokluğu) besiyerlerinde çoğalan hücrelerdeki her erlenden (her izolat için 1 erlen N+, 1 erlen N-) 3'er defa 20'şer

mL hücre otomatik pipetle çekilmiş ve kuru ağırlıkları yukarı satırlarda belirtildiği şekliyle saptanmıştır. Saptanan kuru ağırlık mg/L olarak ifade edilmiştir.

2.5. Toplam lipit miktarının saptanması

Toplam lipit miktarının saptanması için spektrofotometrik bir yöntem olan SPV (sülfo-fosfo-vanilin) yöntemi kullanılmıştır [9,10]

Örnekler için; 1 ml hücre alınarak santrifüj edilmiş ve üst faz atılmıştır. Tüpte kalan hücre peletinin üzerine 100 µL saf su eklenmiş ve hücreler cam tüplere alınmıştır. Cam tüplerin içerisine 2 ml sülfirik asit (%95-98) eklenerek 100°C'de 10 dk sıcak su banyosunda bekletilmiştir. Daha sonra buz üzerinde soğutulan tüplerin içerisine 5 ml fosforik asit+vanilin çözeltisi eklenmiş ve tüpler 30°C'de 15 dk bekletilmiştir. Beklemeden sonra spektrofotometre cihazında 530 nm'de okuma yapılmıştır. Kör için içerisinden 100 µL saf su olan cam tüpler kullanılmıştır. Analizler 3 tekrarlı olacak şekilde yapılmış ve her numune için 530 nm'de okunan OD değerlerinin ortalaması alınmıştır. Elde edilen OD değerleri daha önce Enver Ersoy ANDEDEDEN'in doktora tez çalışmasında kanola yağının farklı konsantrasyonlarını kullanarak oluşturmuş olduğu standart eğri grafiğindeki denkleme konularak lipit miktarı saptanmıştır [11]. **Kuru ağırlıkta % lipit miktarı:** $100 \times \text{lipit miktarı } (\mu\text{g}) / \text{biyokütle miktarı } (\mu\text{g})$ formülüyle saptanmıştır.

2.6. Lipit veriminin saptanması

Azot yokluğuna maruz bırakılan ve optimal koşullarda çoğaltılan hücrelerde lipit veriminin saptanması için; **Lipit verimi (mg/L/gün):** $\text{Biyokütle verimi} \times \text{kuru hücre ağırlığında \% lipit formülü}$ kullanılmış [12,7,8] ve formülde yer alan biyokütle veriminin nasıl saptandığı Bölüm 3.4'de anlatılmıştır. Kuru hücre ağırlığında % lipit miktarının saptanması için azot yokluğu stres denemesinin sonlandırıldığı gün kültürlerden 1 ml hücre alınarak -25°C'de 1 gün muhafaza edilmiş ve ertesi gün hücreler oda sıcaklığında çözdürüldükten sonra Bölüm 3.5'de bahsedilen yöntem kullanılarak, 1 ml hücredeki lipit miktarı saptanmıştır.

2.7. Moleküler tanımlaması yapılan B37 izolata farklı pH'larda azot yokluğu stresi uygulanması

Lipit verimi, % lipit miktarı yüksek olan ve tür tanımlaması yapılan B37 numaralı izolata; lipit üretim besiyerinde (azot yokluğu/N-) farklı pH'larda (6-8-10) tekrar azot yokluğu stresi uygulanmıştır.

2.8. Yağ asidi analizi

Yağ asidi analizi, azot yokluğu stresinde en yüksek lipit verimine sahip B37 kodlu izolat için yapılmıştır. Lipitlerin ekstre edilmesinde Bligh ve Dyer yöntemi kullanılmıştır [13]. Lipit ekstraksiyonu için B37 kodlu izolatın kuru biyokütlesinden 10 mg tartıldı üzerine 900 µL metanol kloroform (2:1, v/v) karışımı eklenmiştir. 30 dk bekletildikten sonra 300 µL kloroform ve 480 µL ultra saf su eklenmiştir. Faz ayrımı için 2500 rpm'de 1 dk santrifüj edilmiştir. Alt faz çekilip başka tüpe alınmıştır. Üstteki su fazı atılarak ekstraksiyon işlemi 2 defa daha tekrarlanmıştır. Yeni tüpe alınan ekstraktın berrak olması için 500 µL saf su eklenerek karıştırıldı ve santrifüj edilerek alt faz tekrar yeni bir tüpe aktarılmıştır. Sonra azot gazı altında uçurma işlemi yapıldı ve 250 µL toluen eklenmiştir. Bunun üzerine 1,5 mL metanol sülfirik asit karışımı (97 mL metanol + 2,5 mL sülfirik asit) eklenmiştir. Cam tüpler 50°C'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyondan alınan tüplerin içerisine 0,5 mL ultra saf su ve 0,7 mL hekzan eklenmiş ve tüpler çalkalanmıştır. Çalkalanan tüpler 2000 rpm'de 1,5 dk santrifüj edildikten sonra üst faz cam pastör pipeti ile alınarak başka bir cam tüpe aktarılmıştır. Azot gazı altında uçurma işlemi yapılmış ve 250 µL hekzan eklenmiştir. Numune tüplerine aktarılan üst fazın yağ asidi analizi hizmet alım yöntemi ile Düzen Norwest Çevre, Gıda ve Veteriner Sağlık Hizmetleri Eğitim Danışmanlık Ticaret A. Ş. firması tarafından yapılmıştır. Yağ asidi analizleri GC-FID (Gaz kromatografisi-Alev iyonizasyon dedektörü) cihazında analiz edilmiş ve yağ asitleri standardı olarak Supelco 37 FAME Mix kullanılarak 37 yağ asidinin profili çıkarılmıştır.

3. Bulgular

3.1. İzolatların kaynakları

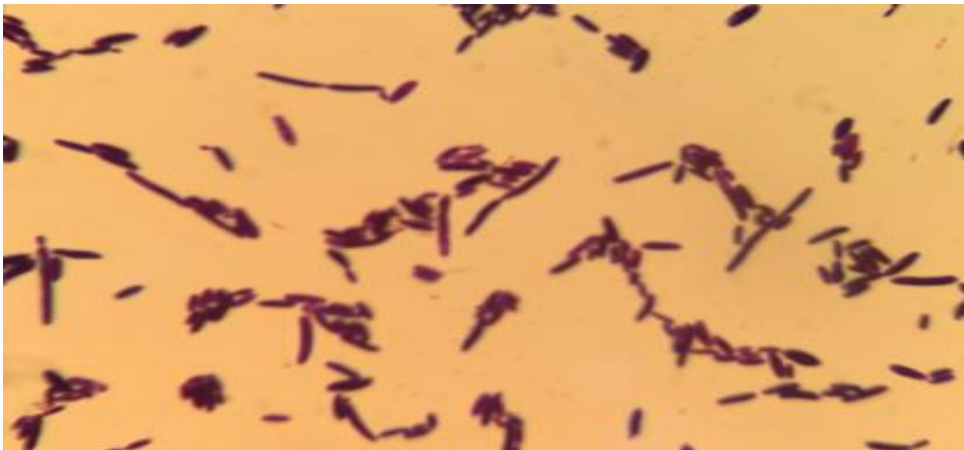
Maya izolasyon kaynağı olarak kullanılan çeşitli gıdalar elma sirkesi, turşu suyu, şalgam, zeytinli yağ, çiğ süt, tereyağı, yoğurt, domates sosundan örnek alırken plastik özeler numuneler içerisine batırılarak örnek alımı yapılmıştır. Elde edilen izolatlara verilen kodlar ve izolatların alındıkları gıdalar Tablo 3.1.'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. İzolatların kodları ve izole edildikleri gıda kaynakları

İzolasyon kodu	İzolasyon kaynağı
B2	Elma sirkesi
B3	Elma sirkesi
B5	Turşu suyu
B37	Elma sirkesi
B45	Turşu suyu
B52	Zeytinyağı
B58	Turşu suyu

3.2. İzolatların Gram boyaması ve mikroskopik tanımlama

İzolasyon çalışması sonucunda elde edilen 60 izolat gram boyama yöntemi ile boyanmış olup mikroskopik tanımlama işlemine hazır hale getirilmiştir. Gram boyama sonucu kuruyan boyalı lamaların üzerindeki mikroorganizmaların üzerine immersiyon yağı damlatılarak mikroskop yardımıyla 100x immersiyon objektifinde incelenmiştir. Toplam 60 izolat içerisinde 7 izolatın maya olduğu tespit edilmiştir.



Resim 3.1. B37 İzolatının mikroskop görüntüsü

3.3. Azot yokluğu stresi altında maya izolatlarının lipit verimi bakımından seçilimi

Hem optimal besiyerinde (azot varlığı/N+) hem de lipit üretim besiyerinde (azot yokluğu/N-) 7 maya izolatına ait biyokütle verimi, % lipit miktarları ve lipit verimleri aşağıda tablo 4.2. de verilmiştir.

Tablo 3.2. İzolatların biyokütle verimleri, % lipit miktarları ve lipit verimleri

Maya İzolatları	Biyokütle verimi (mg/L/gün)	% Lipit miktarı	Lipit verimi (mg/L/d)
B2 N-	887,27	5,56	49,34
B2 N+	927,27	4,18	38,73
B3 N-	1135,45	6,04	68,56
B3 N+	925,45	3,00	27,74
B5 N-	367,37	16,30	59,88
B5 N+	357,37	6,01	21,48
B37 N-	239,09	53,95	129,00
B37 N+	432,42	3,96	17,14
B45 N-	134,44	94,40	126,91
B45 N+	494,44	2,88	14,24
B52 N-	386,16	34,22	132,14
B52 N+	422,83	3,80	16,05
B58 N-	223,74	22,50	50,34
B58 N+	277,07	4,25	11,78

N+ : Azot varlığı
N- : Azot yokluğu

Azot varlığında en yüksek % lipit içeriğine sahip izolatlar; B5 (% 6,01) ve B58 (% 4,25), en düşük % lipit içeriğine sahip izolatlar ise B45 (% 2,88) ve izolatıdır. Azot yokluğunda ise en yüksek % lipit içeriğine sahip izolatlar B45 (% 94,40) ve B37 (% 53,95), en düşük % lipit içeriğine sahip izolatlar ise B2 (% 5,56) ve B3 (% 6,04) tür. Azot varlığında en yüksek lipit verimine sahip izolatlar B2 (38,73 mg/L/gün) ve B3 (27,74 mg/L/gün) olarak, en düşük lipit verimine sahip izolatlar B58 (11,78 mg/L/gün) ve B45 (14,24 mg/L/gün) olarak saptanmıştır. Azot yokluğunda en yüksek lipit verimine sahip izolat B52 (132,14 mg/L/gün), en düşük lipit verimine sahip izolatlar ise B2 (49,34 mg/L/gün) ve B58 (50,34 mg/L/gün) olarak bulunmuştur. Tüm izolatlarda lipit üretim besiyerinde (azot yokluğu stresi) optimal besiyerine (azot varlığı) göre % lipit miktarı ve lipit verimleri daha yüksek bulunmuştur.

3.4. Moleküler tanımlama sonuçları

Lipit verimi en yüksek olan maya izolatlarından birinin moleküler tanımlaması hizmet alım yöntemi ile BM Yazılım Danış. ve Lab. Sis. Ltd. Şti firması tarafından yapılmıştır. Sonuçlar aşağıda tablo 3.3.'de verilmiştir.

Tür tayinleri NCBI (National Center for Biotechnology Information) üzerindeki en yakın türlere göre yapılmıştır. B37 kodlu izolat *Pichia kudriavzevii* İzolate QC-1 türüyle % 100 eşleşme gösterdiği için *Pichia kudriavzevii* olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3.3. B37 - ITS1 - ITS4: *Pichia kudriavzevii*

Toplam Baz Sayısı	512
Dizi Eşleşme Oranı	% 100
Benzerlik Oranı	% 99.80
NBCI'daki Türü	<i>Pichia kudriavzevii</i> İzolate QC-1
Accession Numarası	MK894151.1

3.5. B37 kodlu izolata farklı pH'larda azot stresi uygulama sonuçları

Lipit verimi, % lipit miktarı yüksek olan ve tür tanımlaması yapılan B37 numaralı izolata lipit üretim besiyerinde (azot yokluğu/N-) farklı pH'larda (6-8-10) azot yokluğu stresi uygulanmıştır. B37 kodlu izolata pH 6'da % 34,4 olarak en yüksek % lipit miktarına, pH 8'de ise 261,37 olarak en yüksek lipit verimine sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 3.5. B37 kodlu izolatin farklı pH değerlerinde biyokütle verimi, toplam lipit miktarı, % lipit miktarı ve lipit verimi

İzolot kodu	pH değeri	Biyokütle verimi	Toplam lipit	Kuru ağırlıkta %	Lipit verimi
B37	pH 6	685,67	42,33	34,4	235,80
B37	pH 8	1866,33	42,04	14,0	261,37
B37	pH 10	1451,00	33,29	14,0	203,05

3.6. Yağ asidi analiz sonuçları

Moleküler tanımlama sonucunda *Pichia kudriavzevii* olduğu belirlenen B37 kodlu izolatin kuru biyokütlesinden ekstre edilen lipitlerin transesterifikasyonu sonucunda sırasıyla % 96,02 oranında biyodizel verimi elde edilmiştir. Sonuçlar tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. (B37) *Pichia kudriavzevii*'den ekstre edilen yağ asitlerinin transesterifikasyon sonrası elde edilen yağ asidi metil esterleri dağılımı

Yağ Asitleri	%
Palmitik Asit (C16:0)	15,61
Palmitoleik Asit (C16:1)	9,73
Margarik Asit (C17:0)	2,21
Heptadesenoik Asit (C17:1)	1,79
Stearik Asit (C18:0)	15,52
Oleik Asit (C18:1)	37,14
Linoleik Asit (C18:2)	14,96
Linolenik Asit (C18:3n3)	3,06

4. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde temel enerji kaynaklarına ait rezervler her geçen gün azalmaktadır. Artan enerji talebini karşılama potansiyeli hakkında endişeler de giderek artmaktadır. Enerji ihtiyacı günümüze kadar fosil kaynaklı yakıtların kullanılması ile karşılanmıştır. Rezervlerin giderek tükenmesinin yanında ozon tabakası, küresel ısınma, asit yağmurları gibi pek çok olumsuz durum fosil kaynaklı yakıtların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bunların önüne geçmek için sürdürülebilir bir büyüme ve sürdürülebilir bir çevre için acil olarak çevreye zarar vermeyen yeni enerji alternatiflerinin ortaya çıkarılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Sürekli artan araç ve insan sayısı nedeniyle bu ihtiyaç her geçen gün katlanarak büyümektedir. Artan talep fosil yakıtların tükenmesine neden olmakla birlikte fiyatlarını da her geçen gün arttırmaktadır. Fosil yakıtların giderek tükenmesi ve çevreye olan olumsuz etkileri sonucu biyodizel yeni ve çevreci bir enerji kaynağı olarak, çeşitli araştırmalara konu olmaktadır [14].

Biyodizel üretimi için kullanılan hammaddeler genellikle bitkisel, hayvansal yağlar ve atık kızartma yağları şeklinde çeşitlilik göstermektedir [15]. Biyodizelin gıda olarak kullanılan bitkisel yağlardan elde edilmesinden dolayı yüksek olan hammadde maliyeti gıda ürünü olarak kullanılmayan bitkisel yağların kullanılmasıyla üretim maliyeti daha aşağıya çekilmiştir [16]. Atık kızartma yağları ve atık motor yağları günümüzde biyodizel üretiminde bitkisel yağların yerine maliyet düşürme amaçlı kullanılmaktadır [17]. 1930 ve 1940'larda zorunlu durumlarda bitkisel yağlar dizel yakıt kaynağı olarak kullanılmıştır. Biyodizel o dönemde sadece bitkisel yağların metil esterleri olarak kabul edilse de ekonomik bir yakıt olma özelliğine sahip olamamıştır [18,19].

Biyodizel üretiminde oluşan maliyetin en büyük kısmını, hammadde oluşturmaktadır. Bu yüzden, hammadde maliyetinde ortaya çıkan bir artış biyodizel fiyatını % 40 oranında arttırmaktadır. Bu nedenle biyodizel üretiminde hammadde seçimi son derece önemlidir [20].

Biyodizel kullanımının petrol dizeli yakıtı göre ekonomik olmamasının başlıca nedeni hammadde maliyetinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Biyodizel üretimindeki maliyetin toplam % 70-75'ini hammadde oluşturmaktadır. Bu yüzden biyodizel günümüzde fazla yaygınlaşamamıştır. Bu kısıtlamanın aşılabilmesi için ucuz hammadde kaynaklarını ortaya çıkarmak gerekmektedir. Dünya nüfusunun giderek artması nedeniyle tarımsal üretim için gerekli alan ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Bu sorun günümüzde Dünya'nın birçok yerinde yaşanmaktadır. Bu

durum bitkisel yağ fiyatlarını yükseltmektedir. Önümüzdeki yıllarda Dünyanın geri kalanında da benzer sorunların ortaya çıkması beklenmektedir. Bu açıdan bakıldığında mikrobiyel lipitler biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel yağlara alternatif bir hammadde kaynağı olabilme potansiyeli taşımaktadır [21]. Bu çalışmadaki sonuçlara göre;

Azot varlığında en yüksek % lipit içeriğine sahip izolatlar; B5 (% 6,01) ve B58 (% 4,25), en düşük % lipit içeriğine sahip izolatlar ise B45 (% 2,88) ve B3 (% 3,00) izolatlarıdır. Azot yokluğunda ise en yüksek % lipit içeriğine sahip izolatlar B45 (% 94,40) ve B37 (% 53,95), en düşük % lipit içeriğine sahip izolatlar ise B2 (% 5,56) ve B3 (% 6,04) izolatlarıdır. Bütün izolatlarda, azot yokluğu stresinde azot varlığına kıyasla % lipit miktarlarında yüksek oranda artış olmuştur.

Azot varlığında en yüksek biyokütle verimine sahip izolatlar B2 (927,27 mg/L/gün) ve B3 (925,45 mg/L/gün) olarak, en düşük biyokütle verimine sahip izolatlar ise B58 (277,07 mg/L/gün) ve B5 (357,37 mg/L/gün) olarak saptanmıştır. Azot yokluğunda ise en yüksek biyokütle verimine sahip izolat B3 (1135,45 mg/L/gün), en düşük biyokütle verimine sahip izolat ise B45 (134,44 mg/L/gün) olarak saptanmıştır.

Lipit verimi verilerine bakıldığında ise, tüm izolatlarda azot yokluğunda lipit veriminin, azot varlığına oranla önemli ölçüde artış gösterdiği saptanmıştır. Buna göre azot varlığında en yüksek lipit verimine sahip izolat B2 (38,73 mg/L/gün), en düşük lipit verimine sahip izolat ise B58 (11,78 mg/L/gün) olarak saptanmıştır. Azot yokluğunda en yüksek lipit verimine sahip izolatlar; B52 (132,14 mg/L/gün) ve B37 (129,00 mg/L/gün) izolatları, en düşük lipit verimine sahip izolat ise B2 (49,34 mg/L/gün) izolatı olarak saptanmıştır.

Bu çalışmada çeşitli gıda kaynaklarından mikrobiyal lipit üretme kapasitelerini araştırmak için izole edilen mayalar üzerinde iki farklı besiyerinde optimal besiyeri (azot varlığı) ve lipit üretim besiyerinde (azot yokluğu) yapılan çalışmalar sonucu maya izolatlarının tamamında azot sınırlı ortamda lipit veriminin daha yüksek oranlarda olduğu görülmüştür. Bu durum, Woodbine, M. (1995) tarafından yapılan çalışmada özellikle azot sınırlamasının yağ üretiminin artırılması amacıyla yağlı mikroorganizmalarla yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı bilgisiyle örtüşmektedir [6].

Lipit verimi en yüksek olan maya izolatlarından olan B37 kodlu izolatın tür tanımlaması yapılmıştır. B37 kodlu izolat *Pichia kudriavzevii* İzolate QC-1 türüyle % 100 eşleşme gösterdiği için *Pichia kudriavzevii* olarak tanımlanmıştır. Ekmek ve alkollü içkilerin üretiminde kullanılan *Saccharomyces cerevisiae*'nin, ökaryot, küresel şekilli bir maya olduğu ve bitkilerin yüzeylerinde, toprakta, böcek ve hayvanların vücut yüzeylerinde bulunduğu bilinmektedir [22].

Saccharomyces cerevisiae ile yapılan çalışmalarda inositol içermeyen besiyerinde geliştirildiğinde yağ içeriğinin yaklaşık 15 kat arttığı görülmüştür [23].

Günümüzde ise yapılan analizler sonucunda mikroorganizmaların ve özellikle de mayaların çok farklı yağ asitlerini sentezleyebildikleri ve uygun koşullarda toplam biyokütellerinin % 70'ine varan oranlarda yağ depolayabildikleri belirlenmiştir. Mayalar arasında *Saccharomyces cerevisiae* kolay bulunabilirliği ve metabolizmasının ortaya konulmuş olmasından dolayı mikrobiyel yağ üretim çalışmalarının temelini teşkil etmektedir [24].

Literatürde çok az çalışma, *Pichia kudriavzevii*'yi oleaginous maya olarak araştırmıştır, bu nedenle yağ asidi profilleri ve kültür koşullarının bu profiller üzerindeki etkisi hakkında fazla bilgi bulunmamaktadır. Son araştırmalar, *Pichia kudriavzevii*'nin lipit ve etanol gibi yüksek değerli ürünler için iyi bir kaynak olarak kabul edilebileceğini göstermiştir [25,26]. Park vd. (2018) yapılan bir çalışmada *Pichia kudriavzevii*'nin aside toleranslı bir maya türü olduğunu rapor etmişlerdir [27].

Mikrobiyal lipit üretiminde besiyeri pH'ı oldukça önemli bir parametredir. Mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu elementlerin çözünürlük derecesi üzerinde oldukça etkili olan ortam pH'ı, bazı metallerin mikroorganizmalar tarafından kullanılabilirliğine etki etmektedir [28]. Johnson vd. (1992) farklı besiyeri başlangıç pH'larının R. glutinis mayasının lipit sentezi üzerine etkili olduğunu belirterek, en yüksek lipit içeriğinin pH 4'te elde edildiğini rapor etmişlerdir [29].

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda mayaların lipit üretiminin pH 5.0–6.0 değerleri arasında optimum olduğu rapor edilmiştir [30,31,32,33]. Xue vd. (2006) lipit üretimi açısından *Rhodotorula glutinis* mayası ile monosodyum glutamat atıksuyu bulunan ortamda yaptıkları çalışmada ortam pH'sının 2.5 olduğu durumda hücre gelişiminin sınırlı hale geldiğini, ortam pH'sının 4.5–7.0 olduğu durumlarda ise dengede olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada biyokütle artışı ve % lipit miktarının en yüksek seviyesine pH 5.5'te ulaşıldığı görülmüştür [30].

Zhu vd. (2008) ortam pH değerinin 4-10 aralığında olduğu *Trichosporon fermentans* maya hücrelerinin lipit biriktirme kapasitesi üzerine yaptıkları çalışmada; maya hücrelerinin pH 6.5 değerinde % 62,4 oranıyla en yüksek lipit içeriğine ulaştığını rapor etmişlerdir [34]. *Lipomyces starkeyi* mayasının gelişme ortamındaki karbonun azota oranı 100 iken, Angerbauer vd. (2008) yaptıkları çalışmada; besiyerinin pH değerlerini 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 ve 7.0 olarak ayarlamış ve en yüksek % lipit miktarını % 56 olarak pH 5 değerinde bulmuşlardır [31].

Tür tanımlaması yapılan *Pichia kudriavzevii* B37 kodlu izolata lipit üretim besiyerinde (azot yokluğu/N-) farklı pH'larda (6-8-10) azot yokluğu stresi uygulanmıştır. *Pichia kudriavzevii* B37 kodlu izolat en yüksek % lipit miktarına pH 6'da ulaşmıştır. *Pichia kudriavzevii* B37 kodlu izolat en yüksek lipit verimine pH 8'de ulaşmıştır.

Pichia kudriavzevii B37 kodlu izolat en yüksek biyokütle verimine pH 8'de ulaşmıştır. En yüksek % lipit miktarı % 34,4 lipit verimi ise 261,37 mg/L/gün olarak sırasıyla pH 6 ve pH 8 değerinde gerçekleşmiş ve bu durum literatür çalışmaları ile paralellik göstermiştir.

Çalışmada üretilen yağ asidi metil esterinin *Pichia kudriavzevii* B37 kodlu izolatin % 31,13'nin doymuş yağ asitlerinden % 64,89'unun ise doymamış yağ asitlerinden oluştuğu belirlenmiştir. Toplam lipitler içerisinde tekli-doymamış yağ asitlerinin oranı % 46,87, lipit içerisinde en yüksek miktarda yer alan yağ asidi tekli doymamış yağ asidi olan oleik asit (C18:1) % 37,14 bunun ardından doymuş bir yağ asidi olan palmitik asitin (C16:0) % 15,61 olduğu belirlenmiştir. Lipit içerisinde en yüksek miktarda yer alan yağ asidi tekli doymamış yağ asidi olan palmitoleik asit (C16:1) % 41,49 bunun ardından tekli doymamış bir yağ asidi olan oleik asitin (C18:1) % 33,17 olduğu tespit edilmiştir.

Xue vd. (2006) *Rhodotorula glutinis* hücrelerinden ekstre ettikleri lipitleri Gaz Kromatografi'de analiz etmişler ve bu maya hücrelerinden elde ettikleri lipitin bitkisel yağlar ile benzer özelliklere sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu lipitlerin yüksek miktarda C16 ve C18 numaralı karbon atomlarını içerdiğini ve % 92,4 gibi yüksek oranda metil esteri oluşturduğunu rapor etmişlerdir [30].

Rhodotorula toruloides ve *Lipomyces starkeyi* maya türleri üzerinde Liu ve Zhao (2007) tarafından yapılan çalışmada 70 g/L glukoz, 2.0 g/L (NH₄)₂SO₄ içeren pH'sı 6 olan besiyeri ortamında sırasıyla % 58,0 ve % 50,2 oranında lipit içeriği elde etmişlerdir [35].

Angebauer vd. (2008) *Lipomyces starkeyi* mayasını kullandıkları çalışmalarında; karbonun azota oranının lipit birikimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Glikoz miktarı artırılarak karbonun azota oranının 15, 20, 30, 60 ve 150 olarak ayarlandığı besiyeri ortamları oluşturulmuş ve en yüksek lipit miktarı % 68 olarak karbonun azota oranının 150 olduğu besiyerinde elde edilmiştir [31].

Bu çalışmada karbonun azota oranı 127 olarak ayarlanmış *Pichia kudriavzevii* B37 kodlu izolatin en yüksek lipit oranı % 34 olarak tespit edilmiştir. Li vd. (2010) *Rhodotorula mucilaginosa* TJY15 mayasından ekstre ettikleri lipitin transesterleştirilmesi sonucunda elde edilen metil ester verimini % 85,8 oranında bulmuşlardır [36].

Karatay (2010) tarafından yapılan doktora tez çalışmasında, amonyum sülfat (NH₄)₂SO₄ maya hücrelerinin lipit konsantrasyonlarının belirlenmesinde azot kaynağı olarak kullanılmıştır. (NH₄)₂SO₄'ın besi ortamında sınırlandırılması sonucunda maya hücrelerindeki lipit üretiminde artış gerçekleştiği bildirilmiştir [37].

Farklı karbon kaynakları içeren besiyerlerinde yetiştirilen mayalardan ekstre edilen lipitlerin yağ asidi dağılımlarının son derece benzer olduğu görülmüştür. Başlıca yağ asitlerinin C16:0, C16:1, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3 olduğu belirlenmiştir. [37].

Yapılan çalışmayı diğer çalışmalardan özgün kılan şey mikrobiyal lipid üretimi açısından daha önce ülkemizde çalışılmamış bir oleaginous maya türü olan *Pichia kudriavzevii* ile gerçekleştirilmesidir. Bu izolatların, ekonomik ve çevresel faydaları birleştirilerek alternatif karbon kaynakları kullanarak daha büyük ölçekli uygulamalarda tek hücreli yağ üretimi için potansiyel olabileceği düşünülmektedir.

Pichia kudriavzevii olduğu belirlenen B37 kodlu maya izolatlarının kuru biyokütlelerinden ekstre edilen lipitlere transesterifikasyon işlemi uygulandığında biyodizel verimleri sırasıyla % 96,02 olmuştur. Elde edilen sonuca göre yağlı bir maya türü olan *Pichia kudriavzevii*'nin ürettiği lipitlerin biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılmaya son derece uygun olduğu görülmüştür. Bu çalışmada izole ettiğimiz yağlı bir maya türü olan *Pichia kudriavzevii*'nin yağ asidi metil esterleri diğer oleaginous mayalarla benzerlik göstermektedir.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

Bu çalışma, ABAP20F36 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın gerçekleşmesi için gerekli maddi desteği sağlayan Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz. M.A.B: Deney düzeneklerinin hazırlanması, laboratuvar çalışmaları, makale yazımı. Ş.Ö.: Laboratuvar çalışmalarının yürütülmesi, makale yazımı düzenleme.

6. Kaynaklar

- [1] Xu, J., Du, W., Zhao, X., Zhang, G. and Liu, D. Microbial oil production from various carbon sources and its use for biodiesel preparation. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* Rev. 10, 1-13. 2013
- [2] Vinarta, S. C., Angelicola, M. V., Barros, J. M., Fernandez, P. M., Mac Cormak, W., Aybar, M. J., & De Figueroa, L. I. Oleaginous yeasts from Antarctica: screening and preliminary approach on lipid accumulation. *Journal of basic microbiology*, 56(12), 1360-1368.2016
- [3] Wu, C.L., Buszard, B., Teng, C.H., Chen, W.L., Warr, C.G., Tiganis, T., Meng, T.C. Dock/Nck facilitates PTP61F/PTP1B regulation of insulin signalling. *Biochemical Journal*, 439(1), 151-159. 2011
- [4] Thevenieau, F., & Nicaud, J. M. *Microorganisms as sources of oils*. Ocl, 20(6), D603, 2013
- [5] Ageitos, J. M., Vallejo, J. A., Veiga-Crespo, P., & Villa, T. G. (2011). Oily yeasts as oleaginous cell factories. *Applied microbiology and biotechnology*, 90(4), 1219-1227. 2011
- [6] Woodbine, M. Microbial fat: microorganisms as potential producers. *Progress Industrial Microbiology*. 1, 145-179. 1995
- [7] Zhu, J., Chen, W., Chen, H., Zhang, X., He, C., Rong, J., & Wang, Q. Improved Productivity of Neutral Lipids in *Chlorella* sp. A2 by Minimal Nitrogen Supply. *Frontiers in microbiology*, 7. 2016
- [8] Belotti, G., Bravi, M., de Caprariis, B., de Filippis, P., & Scarsella, M. Effect of nitrogen and phosphorus starvations on *Chlorella vulgaris* lipids productivity and quality under different trophic regimens for biodiesel production. *American Journal of Plant Sciences*, 2013.
- [9] Mishra, S. K., Suh, W. I., Farooq, W., Moon, M., Shrivastav, A., Park, M. S., & Yang, J. W. Rapid quantification of microalgal lipids in aqueous medium by a simple colorimetric method. *Bioresource technology*, 155, 330-333. 2014
- [10] Breddy, A. R., Gupta, A., Barrow, C. J., & Puri, M. 2016. A quick colorimetric method for total lipid quantification in microalgae. *Journal of microbiological methods*, 125, 28-32. 2016
- [11] Andeden, E.E, "Stres koşullarının bazı mikroalg türlerinde lipid verimine ve triaçilgliserol (tag) içeriğine etkisinin gen ekspresyon düzeyinde ortaya konulması ve yağ asidi profili ile ilişkili biyodizel kalitesinin araştırılması" *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 11, Temmuz 2021

- [12] Gour, R. S., Chawla, A., Singh, H., Chauhan, R. S., & Kant, A. Characterization and screening of native *Scenedesmus* sp. isolates suitable for biofuel feedstock. *PloS one*, 11(5), e0155321, 2016
- [13] Burja, A.M., Armenta, R.E., Radianingtyas, H., Barrow, J. Evaluation of fatty acid extraction methods for *Thraustochytrium* sp. ONC-T18. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55:12, 4795-4801. 2007
- [14] Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S. ve Tiffany, D., Environmental, economic, and energetic costs and benefits of bioEurodiesel and ethanol biofuels, *Proceedings of the National Academy of sciences*, 103 (30), 11206-11210. 2006
- [15] Felizardo, P., Correia, M.J.N., Raposo, Í, Mendes, J.F., Berkemeier, R., Bordado, J.M. *Production of biodiesel from waste frying oils. Waste Management*. 26:5, 487-494. 2006
- [16] Kondamudi, N., Strul, J., Misra, M., Mohapatra, S.K. A green process for producing biodiesel from feather meal. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57, 6163–6166. 2009
- [17] Chung, K.H., Kim, J., Lee, K.Y. Biodiesel production by transesterification of duck tallow with methanol on alkali catalysts. *Biomass Bioenergy*. 33, 155-158. 2009
- [18] Fernandez-Álvarez, P., Vila, J., Garrido, J.M., Grifoll, M., Feijoo, G. and Lema, J.M. Evaluation of biodiesel as bioremediation agent for the treatment of the shore affected by the heavy oil spill of the Prestige, *Journal of hazardous materials*, 147, 914-922. 2007
- [19] Huang, G., Chen, F., Wei, D., Zhang, X., & Chen, G. Biodiesel production by microalgal biotechnology. *Applied energy*, 87(1), 38-46,2010
- [20] Yan, J., and Lin, T. Biofuels in Asia, *Applied energy*, 86 , S1-S10, 2009
- [21] Ma, F. and Hanna, M.A. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70, 1–15, 1999
- [22] Gökteş, M. S., “Mikroorganizmaların yenilenebilir yağ üretimi potansiyelleri üzerine araştırma”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 49, Isparta, 2016
- [23] Bunker, H., J., Microbial Food. Rainbow, C., Rose, A., H., (Ed.), Biochemistry of Industrial Microorganisms (47-53). *Academic Press*, 147. New York, 1963
- [24] Kuleaşan, H., Hızal, M. Tek Hücre Yağları Üretimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Mezuniyet Tez Çalışması*, 2009
- [25] Rachamontree P., Phusantisampan T., Woravutthikul N., Pornwongthong P., Sriariyanun M. Selection of *Pichia kudriavzevii* Strain for the Production of Single-Cell Protein from Cassava Processing Waste. *World Academy of Science Engineering And Technology International Journal* ; 9 (5): 517–21, 2015
- [26] Oberoi H. S., Babbar N., Sandhu S. K., Dhaliwal S. S., Kaur U., Chadha B. S., et al. Ethanol production from alkali-treated rice straw via simultaneous saccharification and fermentation using newly isolated thermotolerant *Pichia kudriavzevii* HOP-1. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* ; 39 (4): 557–66, 2012
- [27] Park, H.J., Bae, J.H., Ko, H.J., Lee, S.H., Sung, B.H., Han, J.I., Sohn, J.H., 'Low-pH production of d-lactic acid using newly isolated acid tolerant yeast *Pichia kudriavzevii* NG7. *Biotechnol. Bioeng.* 115, 2232–2242, 2018
- [28] Johnson, V., Singh, M., Saini, V.S., Sista, V.R., Yadav, N.K. Effect of pH on lipid accumulation by an oleaginous yeast: *Rhodotorula glutinis* IIP-30. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 8, 382-384, 1992
- [29] Cing Yıldırım S. ve Kanat T./ *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C- Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji* 7-9, 2018
- [30] Xue, F., Zhang, X., Luo, H. and Tan, T. A new method for preparing raw material for biodiesel production. *Process Biochemistry*, 41, 1699-1702, 2006

- [31] Angerbauer, C., Siebenhofer, M., Mittelbatch, M. and Guebitz, G.M. Conversion of sewage sludge into lipids by *Lipomyces starkeyi* for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 99, 3051-3056, 2008
- [32] Easterling, E.R., French, W.T., Hernveez, R. and Licha, M. The effect of glycerol as a sole and secondary substrate on the growth and fatty acid composition of *Rhodotorula glutinis*. *Bioresource Technology*, 100, 356-361, 2009
- [33] Meng, X., Yang, J., Xu, X., Zhang, L., Nie, Q., and Xian, M. Biodiesel production from oleaginous microorganisms. *Renewable Energy*, 34, 1-5, 2009
- [34] Zhu, L.Y., Zong, M.H. and Wu, H. Efficient lipid production with *Trichosporon fermentans* and its use for biodiesel preparation. *Bioresource Technology*, 99, 7881-7885, 2008
- [35] Liu, B., & Zhao, Z. Biodiesel production by direct methanolysis of oleaginous microbial biomass. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 82(8), 775-780, 2007
- [36] Li, M., Liu, G.L., Chi, Z. and Chi, Z. M. 2010. Single cell oil production from hydrolysate of cassava starch by marine-derived yeast *Rhodotorula mucilaginosa* TJY15a, *Biomass and Bioenergy* 34 , 101-107.
- [37] Ertuğrul Karatay, S., “Mikrobiyel lipitlerin biyodizel üretiminde kullanım kapasitelerinin belirlenmesi”, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 86-87, Ankara, (2010).