

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL ATIKSULARININ ELEKTROKOAGÜLASYON, OZON
VE ELEKTROKOAGÜLASYON-OZON YÖNTEMLERİYLE
ARITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet MURAT

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Füsun BOYSAN

Haziran 2022

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL ATIKSULARININ ELEKTROKOAGÜLASYON, OZON
VE ELEKTROKOAGÜLASYON-OZON YÖNTEMLERİYLE
ARITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet MURAT

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 27.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet MURAT

18.05.2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Füsün BOYSAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın hazırlanma sürecinin her aşamasında bilgilerini ve değerli zamanını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan, tezimin yazımında ve çalışmamın yürütülmesinde her sorunumda yanımda olarak büyük bir destek gösteren çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi N. Pınar TANATTI'ya çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında desteklerini benimle paylaşan değerli hocalarım Arş. Gör. Gamze KATIRCIOĞLU SINMAZ, Arş. Gör. Büşra ERDEN, Arş. Gör. Meryem AKSU'ya ve sevgili arkadaşım Arş. Gör. Muhammed HAS'a teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde çok büyük emekleri olan kıymetli aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER	4
2.1. Tekstil Endüstrisi	4
2.2. Boyar Madde	5
2.2.1. Çözünürlüklerine göre boyar maddeler.....	7
2.2.1.1. Suda çözünen boyar maddeler.....	7
2.2.1.2. Suda çözünmeyen boyar maddeler	7
2.2.2. Boyama özelliklerine göre boyar maddeler	7
2.2.3. Kimyasal yapılarına göre boyar maddeler	8
2.3. Atıksuların Arıtım Yöntemleri.....	8
2.3.1. Adsorpsiyon ile arıtım.....	8
2.3.2. Ozonlama ile arıtım.....	9
2.3.2.1. Ozonlama mekanizması.....	10
2.3.2.2. Ozonlama prosesine etki eden faktörler.....	12

2.3.2.3. Ozonlamanın kullanım alanları	12
2.3.3. Elektrokoagülasyon ile arıtım.....	14
2.3.3.1. Elektrokoagülasyon prosesinin avantajları ve dezavantajları.....	17
2.3.3.2. Elektrokoagülasyon prosesine etki eden faktörler.....	18
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Deney Düzeneği	20
3.1.1. Ozonlama prosesi	20
3.1.2. Elektrokoagülasyon prosesi	21
3.1.3. Elektrokoagülasyon-ozonlama prosesi	22
3.2. Kullanılan Hesaplamalar.....	22
 BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	24
4.1. Elektrokoagülasyon Prosesi.....	24
4.1.1. pH'ın elektrokogülasyon prosesine etkisi	24
4.1.2. Akım yoğunluğunun elektrokogülasyon prosesine etkisi.....	25
4.1.3. Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon prosesine etkisi.....	27
4.2. Ozonlama Prosesi.....	28
4.2.1. pH'ın ozonlama prosesine etkisi.....	28
4.2.2. Ozon dozunun ozonlama prosesine etkisi.....	30
4.2.3. Reaksiyon süresinin ozonlama prosesine etkisi.....	31
4.3. Elektrokoagülasyon-ozonlama Prosesi.....	33
4.3.1. pH'ın elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi.....	33
4.3.2. Akım yoğunluğunun elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi.....	34

4.3.3. Ozon dozunun elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi.....	35
4.3.4. Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi.....	37
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	39
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	46



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BHA	: Alan yüzeyi
BHC	: Benzenhekzaklorür
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
C	: Başlangıç Konsantrasyonu
C ₀	: Proses Sonucu Giderilen konsantrasyonu
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetrekare
CO ₃ ⁻²	: Karbonat
DC	: Doğru Akım
DDT	: Diklorodifeniltrikloroetan
DFZ	: Durchsichts-farbzahl
dk	: Dakika
e ⁻	: Elektron
EC	: Elektrokoagülasyon
Fe	: Demir
Fe(OH) ₂	: Demir (II) Hidroksit
Fe(OH) ₃	: Demir (III) Hidroksit
H ⁺	: Hidrojen İyonu
H ₂ O	: Su
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
HCO ₃	: Bikarbonat
mg/L	: Miligram/Litre
mg/L.sa	: Miligram/Litre.sa
I	: Akım şiddeti
J	: Akım Yoğunluğu
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı

mA/cm ²	: Miliamper/Santimetrekare
mg/L	: Miligram/Litre
mL	: Mililitre
O ₂	: Oksijen
O ₃	: Ozon
OH	: Hidroksil Radikali
pH	: (H ⁺) iyonu konsantrasyonunun eksi logaritması
sn	: Saniye
V	: Volt
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kumaşın ıslak işlenmesinde yer alan adımlar için akış diyagramı.....	5
Şekil 2.2. Ozonun sulu çözeltide gerçekleşen iki tip reaksiyonu.....	11
Şekil 3.1. Ozon oksidasyon deney düzeneği	21
Şekil 3.2. Elektrokoagülasyon deney düzeneği	21
Şekil 3.3. Ozon-elektrokoagülasyon deney düzeneği	22
Şekil 4.1. pH'ın elektrokoagülasyon prosesinde arıtım verimi etkisi	25
Şekil 4.2. Akım yoğunluğunun elektrokoagülasyon prosesinde arıtım verimine etkisi.....	26
Şekil 4.3. Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon prosesinde arıtım verimine etkisi	28
Şekil 4.4. pH'ın ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi	29
Şekil 4.5. Ozon dozunun ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi.....	31
Şekil 4.6. Reaksiyon süresinin ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi	32
Şekil 4.7. pH'ın elektrokoagülasyon-ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi.....	33
Şekil 4.8. Akım yoğunluğunun elektrokoagülasyon-ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi.....	35
Şekil 4.9. Ozon dozunun elektrokoagülasyon-ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi	36
Şekil 4.10. Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon-ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi	37

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Boyarmaddelerin genel özellikleri	6
Tablo 2.2. Çeşitli oksidanların oksidasyon potansiyelleri	9
Tablo 2.3. Ozonla oksitlenebilen kimyasal türleri	10
Tablo 4.1. pH'ın elektrokoagülasyon prosesine etkisi	24
Tablo 4.2. Akım yoğunluğunun elektrokoagülasyon prosesine etkisi	26
Tablo 4.3. Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon prosesine etkisi.....	27
Tablo 4.4. pH'ın ozonlama prosesine etkisi	29
Tablo 4.5. Ozon dozunun ozonlama prosesine etkisi.....	30
Tablo 4.6. Reaksiyon süresinin ozonlama prosesine etkisi	32
Tablo 4.7. pH'ın elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi.....	33
Tablo 4.8. Akım yoğunluğunun elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi...	34
Tablo 4.9. Ozon dozunun elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi	36
Tablo 4.10. Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi	37

ÖZET

Anahtar kelimeler: Tekstil atıksuyu, boyar madde, ozonlama, elektrokoagülasyon, elektrokoagülasyon-ozonlama

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddelerin kimyasal özellikleri farklılık göstermektedir. Tekstil endüstrisinden meydana gelen atıksular çevre açısından toksik etki oluşturmaktadır. Bu çalışmada Sunfix Yellow Spd, Sunfix Red Spd ve Reactobond Black B boya karışımı içeren tekstil atıksuyu numunesine ozon, elektrokoagülasyon ve ozon-elektrokoagülasyon yöntemlerinin optimum arıtma koşulları araştırılmıştır. Yapılan deneysel sonuçlar için KOİ ve renk analizi için 436, 525 ve 620 dalga boylarında ölçüm yapılmıştır. Elektrokoagülasyon prosesi için (pH:5, akım yoğunluğu: 0,25 mA/cm², reaksiyon süresi: 15 dk numune hacmi:100 mL) KOİ giderim verimi %76,75 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %87,72, %91,54 ve %92,02 olarak bulunmuştur. Ozon prosesi için (pH: 9, ozon dozu: 1200 mg/L, reaksiyon süresi: 40 dk, numune hacmi: 100 mL) KOİ giderim verimi %90,46 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %94,88, %97,50 ve %98,91 olarak bulunmuştur. Ozon-elektrokoagülasyon prosesi için (pH: 9, akım yoğunluğu: 0,25 mA/cm², ozon dozu: 1200 mg/L, reaksiyon süresi: 15 dk, numune hacmi: 100 mL) KOİ giderim verimi %87,88 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %96,70, %98,45 ve %99,18 olarak bulunmuştur. Yapılan analizler sonucunda arıtma verimleri ve işletim maliyetlerine göre kıyaslandığında en uygun arıtma yönteminin ozon-elektrokoagülasyon olduğu görülmüştür.

INVESTIGATION OF THE TREATABILITY OF TEXTILE WASTEWATER BY ELECTROCOAGULATION, OZONE AND ELECTROCOAGULATION-OZONE METHODS

SUMMARY

Keywords: Textile wastewater, dyestuff, ozone, electrocoagulation, ozone-electrocoagulation

The chemical properties of dyestuffs used in the textile industry differ. Wastewater from the textile industry has a toxic effect on the environment. In this study, optimum treatment conditions of ozone, electrocoagulation and ozone-electrocoagulation methods were investigated for textile wastewater sample containing Sunfix Yellow Spd, Sunfix Red Spd and Reactobond Black B dye mixture. For the experimental results, measurements were made at 436, 525 and 620 wavelengths for COD and color analysis. The COD removal efficiency for the electrocoagulation process was 76.75%, in color analysis, it was found as 87.72%, 91.54% and 92.02% for the wavelengths of 436, 525 and 630, respectively. The COD removal efficiency for the ozone process was 90.46%, in color analysis, it was found to be 94.88%, 97.50% and 98.91% for 436, 525 and 630 wavelengths, respectively. The COD removal efficiency for the ozone-electrocoagulation process was 87.88%, in color analysis, it was found as 96.70%, 98.45% and 99.18% for 436, 525 and 630 wavelengths, respectively. As a result, it seems that the most suitable treatment method is ozone-electrocoagulation when the treatment efficiencies and operating costs were compared.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Su, tüm canlıların temel ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için önemli bir maddedir. Dünyada artan nüfus, hızla büyüyen sanayileşme, küresel ısınma ve bilinçsiz tüketim sonucunda su kaynakları tükenmektedir. Ülkemiz dahil birçok ülkede bu sorun daha da önemli hale gelmiştir. Bu sorun biraz olsun çözebilmek için atıksuların geri kazanımı ile birçok farklı kullanım alanları için çeşitli çalışmalar ve uygulamalar yapılmaktadır. Geri kazanılan atıksuların tekrar kullanılmasıyla su kaynaklarının tüketimini en aza indirilmekte ve deşarj standartları çerçevesinde çevre kirliliğini minimuma indirilmektedir [1].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), atıksudaki kirletici parametrelerini aşağıdaki şekilde vermiştir.

- Bakteriler, virüsler ve diğer mikroorganizmalar,
- Organik ve inorganik maddeler,
- Endüstriyel atıklar,
- Yağlar vb. maddeler,
- Sentetik deterjanlar,
- Radyoaktivite,
- Pestisitler,
- Yapay organik kimyasal maddeler,
- Anorganik maddeler ve tuzları,
- Tarımsal gübreler [2]

Atıksuların çoğunluğunu kapsayan endüstriyel atıksular; fabrikalar, organize sanayi bölgeleri gibi işletmelerdeki prosesler sonucunda oluşan su kütlesi olarak

tanımlanabilir. Tekstil endüstrisi, diğer endüstriler ile kıyaslandığında atıksu miktarının büyük bir kısmını oluşturmaktadır [3].

Tekstil insanoğlunun temel ihtiyaçlarını karşıladıkları önemli bir sektördür. Tekstil endüstrisinde gelişen teknoloji ile 10.000'den fazla farklı boyadan yılda ortalama 700.000 tonun üzerinde kimyasal boya kullanılmakta ve oluşan atık suyun %10'u alıcı ortama deşarj edilmektedir. Alıcı ortamdaki güneş ışığı geçirgenliğini ve oksijen geçirgenliğini düşürmekte ve canlılar üzerinde toksik etki oluşturmakta ve suyun ötrofikasyonuna sebep olmaktadır [4]. Kimyasal boyaların oluşturduğu rengin giderimine zaman, pH, sıcaklık ve kullanılan yardımcı kimyasallar gibi birçok faktörün etki ettiği görülmektedir. Boyama tankından çıkan atık suda kimyasal boya ile farklı bileşikler bulunabilmektedir. Boyama işleminde farklı türde birçok boyar madde kullanılması durumunda oluşan atıksuyun renk giderimini zorlaştırmaktadır. Geleneksel arıtma yöntemlerinden etkilenmeden çıkan suda çözünen asit ve reaktif boyar maddeler doğal su kaynakları için en tehlikeli boyalar olarak kabul edilir [5].

Tekstil endüstrisinde boyama tankından çıkan atıksuyun renk giderimi için fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Tekstil endüstrisi boyama tankında oluşan atıksuyun arıtılmasında klasik yöntemler renk gideriminde ve canlılar için oluşturduğu toksik etkiden dolayı yetersiz olduğu görülmektedir. Bu nedenle rengi oluşturan kromofor yapıların parçalanması için kimyasal arıtma yöntemleri daha çok yaygın olarak kullanılmaktadır [6].

Tekstil atıksuların arıtımında ozon, renk ve zehirlilik özellikleri yüksek olan zararlı bileşiklerin zararsız hale getirilmesinde kullanılan etkili bir yöntemdir. Ozonun oksidasyon potansiyeli (2,07 V) diğer oksidanlara göre yüksektir. Ozonun güçlü bir oksidant olması sayesinde renk, bulanıklık, pestisit ve fenolik bileşik gideriminde, yan ürün bakımından daha güvenli bir dezenfektan olarak, tekstil endüstrisinde renk gideriminde ve birçok farklı alanda kullanılmaktadır [7].

Elektrokoagülasyon yöntemi tekstil atıksuyunda bulunan askıda katı madde yüksek KOI gideriminde kullanılan etkili bir yöntemdir. Elektrokoagülasyon, demir veya

alüminyum iki veya daha fazla plakaların paralel bağlanmasıyla ve harici bir güç kaynağı yardımıyla yapılan bir yöntemdir [8].

Bu çalışmada tekstil fabrikasının boyama tankından alınmış sunfix yellow spd, sunfix red spd ve reactobond black boya karışımı içeren tekstil atıksuyun elektrokoagülasyon, ozon ve elektrokoagülasyon-ozon yöntemlerinde pH, ozon dozu süresi, ozon süresi, elektrokoagülasyon süresi, elektrokoagülasyon akım şiddeti optimizasyon çalışmaları incelenmiştir.

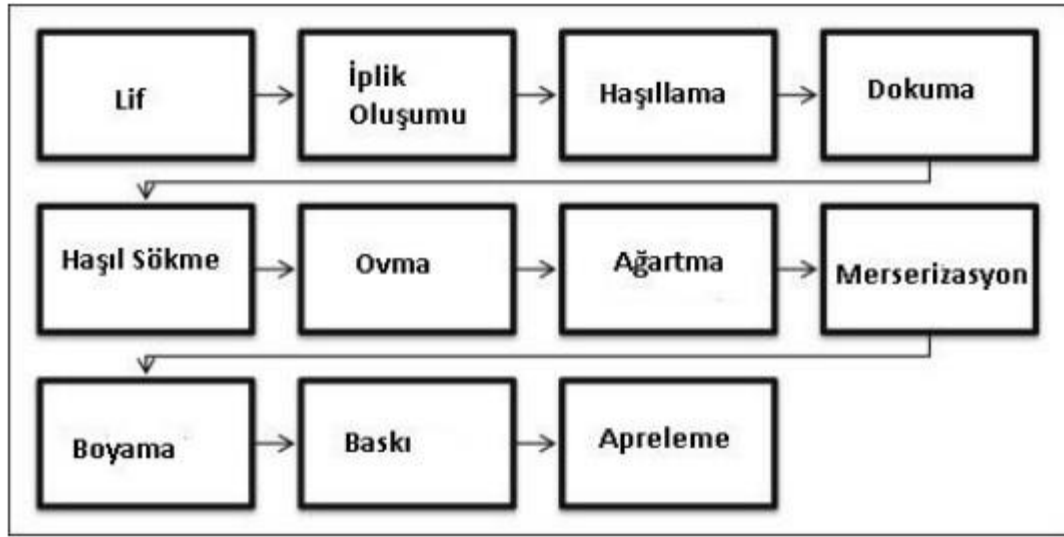


BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Tekstil Endüstrisi

Tekstil endüstrisi, yapılan işlemler, kullanılan kimyasallar ve boyalar, uygulanan teknolojiler bakımından farklı yapıya sahip sektördür (Şekil 2.1.) [9]. Bu yapı, oluşan atıksuyun özellikleri ile uygulanan arıtma prosesleri üzerinde etkisi yüksek olduğundan dolayı klasik arıtma prosesleri uygulanması bir hayli güçtür. Tekstil endüstrisi atıksuların arıtılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır [10]. Tekstil endüstrisinde sentetik boyalar sık kullanılmakta olup yüksek KOI, pH, toksik ve askıda katı madde içeren atıksuların başında gelmektedir. Bu tarz atıksuların arıtımında boyar maddelerin özellikleri, karmaşık yapıdaki organik bileşikler içeren atıksuların arıtımı zor olmaktadır [11]. Tekstil, boya, kâğıt gibi çeşitli endüstri alanlarında 100.000'in üzerinde yılda yaklaşık 700.000 ton sentetik boya üretilip kullanılmaktadır [12].

Tekstil endüstrisi, Türkiye'de endüstri alanının %20'lik kısmını oluşturmaktadır [2]. Tekstil endüstrisi boya tanklarında su tüketimi ve kimyasal kullanımı çok fazla olduğu için katı ve sıvı atık miktarı da aynı oranda fazladır. Tekstil endüstrisi boyama tankında kullanılan boyaların yaklaşık %15'lik kısmı doğrudan atıksuya karışmaktadır. Boyama tankı çıkış suyun içeriğinde ağır metaller, pigmentler ve organik bileşikler bulunmaktadır [6].



Şekilp.1. Kumaşın ıslak işlenmesinde yer alan adımlar için akış diyagramı[13]

2.2. Boyar Madde

Boyar maddeler plastik, kumaş, pamuk, elyaf, yün ve ahşap gibi ürünlere renk veren kimyasal maddelerdir. Uygulandığı substrata afinite gösterip renk verirler. Tekstil endüstrisindeki boyarmaddeler organik bileşikler olup, boyanacak kumaşla kimyasal veya fizikokimyasal etkileşime girerek lifleri renklendirmek amacıyla kullanılmaktadırlar. Boyar maddeler sentetik veya doğal mikroorganizmalardan, hayvanlardan ve bitkilerden fiziksel ve kimyasal yöntemler sonucunda elde edilmektedir [14].

Boyar maddeler farklı kimyasal yapılar içerebilmektedirler. Bazı boyar maddeler kimyasal reaksiyona girip güçlü bağ oluştururken, bazı boyar maddeler fiziksel bağlarla bir aradadırlar [15]. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddelerin genel özellikleri Tablo 2.1.'de verilmiştir [16].

Tablo 2.1. Boyarmaddelerin genel özellikleri [16]

Boya sınıfı	Tanım	Tipik uygulama alanı	Bağ düzeneği	Tipik kirleticiler	Atıksu niteliği
Asit	Suda çözünen anyonik bileşenler	Yün, poliamid	İyonik	Renk, organik asitler	Asidik, ağır metal tuzları bulunabilir.
Bazik	Suda çözünen, parlak renkli	Akrilik, bazı polyesterler	İyonik	Renk	Zayıf asidik
Direkt	Suda çözünen anyonik bileşikler	Selüloz, rayon	İyonik	Köpük, yüzey madde	Ağır metal tuzları, nötral, formaldehit
Dispers	Suda çözünmez	Polyester, asetat ve diğer sentetikler	Kolloidal adsorpsiyon	Organik asitler, renk, egalizatör	Nötral, çevre için zararlı kimyasallar
Reaktif	Suda çözünen, anyonik birleşikler	Selüloz ve türevleri, yün	Kovalent	Renk, alkali, yüzey aktif maddeler	Alkali, yüksek miktarda tuz
Kükürt	Kükürt içeren organik bileşenler	Selüloz ve türevleri	Boya elyaf üzerinde çökelir	Renk, alkali, oksidatif ve redüktif maddeler	Alkali, yüksek miktarda tuz, sülfür bileşikleri
Vat	Suda çözünmez kompleks yapılar	Selüloz ve türevleri	Boya elyaf üzerinde çökelir	Renk, alkali, oksidatif ve redüktif maddeler	Alkali, oksidasyon kimyasalları olabilir.

Boyar maddeler çözünürlüklerine, boyama özelliklerine ve kimyasal yapılarına göre üç grupta sınıflandırılabilirler [17].

2.2.1. Çözünürlüklerine göre boyar maddeler

2.2.1.1. Suda çözünen boyar maddeler

Boyar madde yapısında en az bir tane tuz molekülü oluşturabilen grup taşır. Tuz içeren boyar maddeler karakteristik özelliğine göre üçe ayrılır [17].

- Anyonik suda çözünen boyar maddeler
- Katyonik suda çözünen boyar maddeler
- Zwitter iyon karakterli suda çözünen boyar maddeler

2.2.1.2. Suda çözünmeyen boyar maddeler

Suda çözünmeyen boyar maddeler kullanıldıkları alanlara göre çeşitli gruplara ayırmak mümkündür [17].

- Polikondenzasyon boyar maddeleri
- Geçici çözünürlüğü olan boyar maddeler
- Elyaf içinde oluşturulan boyar maddeler
- Substratta çözünen boyar maddeler
- Organik çözücülerde çözünen boyar maddeler
- Pigmentler [17]

2.2.2. Boyama özelliklerine göre boyar maddeler

Boyar maddelerin kimyasal yapısı bakılmaksızın hangi yöntemle boyandığına bakılır ve boyama özelliklerine göre gruplandırılır [17].

- Bazik boyar maddeler
- Asidik boyar maddeler
- Direkt boyar maddeler
- Mordan boyar maddeler
- Reaktif boyar maddeler

- Küpe boyar maddeler
- Dispers boyar maddeler
- Sülfür boyar maddeler
- Geliştirilmiş boyar maddeler

2.2.3. Kimyasal yapılarına göre boyar maddeler

Boyar maddelerin molekül yapısı, renk verme özelliğine göre sınıflandırılır [17].

- Azo boyar maddeler
- Polimetin boyar maddeler
- Karbonil boyar maddeler
- Nitro ve nitrozo boyar maddeler
- Arilmetin boyar maddeler
- Aza annulen boyar maddeler
- Kükürt boyar maddeler [18]

2.3. Atıksuların Arıtım Yöntemleri

2.3.1. Adsorpsiyon ile arıtım

Adsorpsiyonu gerçekleştiren maddeye adsorban, yüzeyde tutunan maddeye adsorbat denir. Geniş yüzey alanına sahip absorbanların verimleri yüksektir. Kimyasal yapısı farklı olan maddelerin adsorsiyon özelliklerinde değişiklik göstermektedir [19]. Fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki çeşit adsorpsiyon yöntemi vardır.

Fiziksel adsorpsiyon, moleküller arası van der Waals kuvvetlerinden dolayı meydana getirdiği çekimdir. Adsorban madde katı yüzeye tutunmamış, yüzey üzerinde hareketli durumdadır. Fiziksel adsorpsiyon çoğunlukla tersinirdir. Entalpisi 60 kJ/mol'den küçüktür. Örnek olarak; asal gazların ve metanın adsorpsiyonudur [20].

Kimyasal adsorpsiyon, adsorbat-absorban arasında kimyasal bağ ile kuvvetli çekimdir. Adsorbat, absorban üzerinde tabaka oluşturduğundan dolayı yüzey üzerinde

hareket etmezler. Çoğunlukla adsorpsiyon entalpisinin büyüklüğüne göre kimyasal, fiziksel adsorpsiyon ayırt edilir. Entalpisi 60 kJ/mol'den büyüktür.

2.3.2. Ozon ile arıtım

Ozon, oksijenin allotropudur ve molekül yapısında üç oksijen atomundan meydana gelmiştir. Ozon, kimyasal özellikleri bakımından oksijenden farklıdır ve seyreltik halde bulunmaktadır. 1970'li yıllardan günümüze kadar ozonun kullanım alanları artmış ve atık su arıtımında, renk ve bulanık gideriminde, pestisitlerin gideriminde, dezenfeksiyon yan ürünlerinin kontrolünde ve biyolojik arıtmaya yardımcı olarak aktif şekilde kullanılmaya başlanmıştır [21]. Tablo 2.2.'de çeşitli oksidanların oksidasyon potansiyelleri verilmiştir. Ozon, flor ve hidroksil radikalinden sonra en güçlü oksidandır.

Tablo 2.2. Çeşitli oksidanların oksidasyon potansiyelleri [22]

Oksidanlar		Oksidasyon Potansiyeli (eV)
Flor	$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	3,06
Serbest hidroksil radikali	OH^-	2,80
Ozon	$O_3 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow O_2 + H_2O$	2,07
Hidrojen peroksit	$H_2O_2 \leftrightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$	1,78
Hidroperoksit radikali	HO_2^-	1,70
Hipoklorik asit	$HClO + H^+ + 2e^- \rightarrow Cl^- + H_2O$	1,49
Klor	$\frac{1}{2} Cl_2 + e^- \rightarrow Cl^-$	1,36
O_2 (asit ortamda)	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \leftrightarrow 2H_2O$	1,23
O_2 (bazik ortamda)	$O_2 + H_2O + 4e^- \leftrightarrow 4 OH^-$	0,40

Ozon yüksek kararsızlığından dolayı taşınması ve depolanması mümkün değildir. Bu yüzden prosesin yapılacağı alanda üretilip kullanılması gerekmektedir. Ozon ile oksidasyon işleminde etkili faktörler; ozon dozu, pH, sıcaklıktır. Ozon ile oksidasyon işleminde amaç hidroksil radikalleri meydana getirmektir. Düşük pH'larda ozon çözünürlüğü düşük olduğundan reaksiyon yavaş gerçekleşir, yüksek pH'larda ozonun

bozunmasıyla oluşan hidroksil iyonu oksidasyon işlemini gerçekleştirir [23]. Ozon ile oksitlenebilen kimyasal türleri Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Ozonla oksitlenebilen kimyasal türleri [2].

Deterjanlar	Fenoler	Klorlu Hidrokarbonlar	Pestisitler	Aromatik Hidrokarbonlar
Alkil benzen sülfonat	Fenol	Klorobenzenler	DDT	3,4 Benzopiren
Anyonik deterjanlar	Orto, meta ve parakrezoller		α , BHC	Piren
Nonyonik ve anyonik karışımı deterjanlar	Katekol		Dieldrin	1,2 Benzantrasen
	Ksilenoller		Malation	3,4 Benzoofloranten
			Metil paration	11, 12 Benzoofloranten
			Aldrin	Bifenil

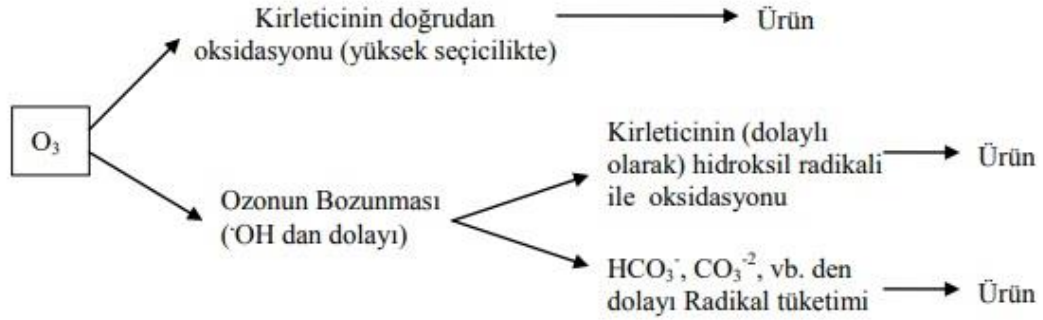
2.3.2.1. Ozonun oksidasyon mekanizması

Ozonun oksidasyon mekanizması moleküler yapısıyla ilgilidir. Ozon kararsız halde olduğu için oksijen atomlarından biri kolayca ayrılabilir ve ayrılan oksijen kararsız yapıda olduğu için başka bir oksijen atomuyla birleşebilir. Söz konusu bu olay ozonu güçlü bir oksidan yapar. Havadan ozon elde edildiğinde ozon çözünürlüğünü arttırmak için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir.

- Sıcaklığı arttırmak
- Havadaki ozon konsantrasyonunu arttırmak
- Hava basıncını arttırmak
- Temas süresini arttırmak [22].

Ozonunun oksidasyonunda moleküler seçicilik ve bozunma hızları önemlidir ancak organik ve inorganik maddeleri de en üst oksidasyon seviyesine okside edebilmektedir. Ozon suda çözündüğünde organik bileşiklerle iki şekilde reaksiyona girer. Ozon suda çözündüğünde organik bileşiklerle iki şekilde reaksiyona

girmektedir. Organik bileşiklerle doğrudan moleküler ozon şeklinde veya dolaylı olarak serbest OH⁻ radikalleri şeklinde reaksiyona girmektedir.



Şekil 2.2. Ozonun sulu çözeltide gerçekleşen iki tip reaksiyonu

Çözeltinin düşük pH derecelerinde yüksek seçicilik gösteren moleküller ozon ile reaksiyona girmektedir. Seçici özelliği olmayan serbest OH radikali, ozonun bozunmasıyla oksidasyon işlemini gerçekleştirir.

Ozon ile oksidasyon sırasında karbonat ve bikarbonat moleküllerin serbest hidroksil radikali ile oluşturduğu reaksiyonda ozon tüketimine neden olmaktadır. Bu reaksiyonda karbonat iyonun hidroksil radikaline elektron geçişiyle oluşur [24].



Ozon oksidasyonunda çok yavaş reaksiyon verebildiği organik maddeler vardır fakat uygun çevre koşulları sağlandığında birçok organik maddeyi en yüksek kademedeki oksidasyon işlemini gerçekleştirebilir [25].

2.3.2.2. Ozon ile oksidasyon prosesine etki eden faktörler

2.3.2.2.1. pH etkisi

Ozon ile oksidasyon esnasın pH önemli rol oynamaktadır ve iki tür reaksiyon meydana gelmektedir. Direkt reaksiyon; pH'ın 2 ve altında olduğu reaksiyonlarda oksidasyon işlemi moleküler ozon tarafından gerçekleşir. İndirekt reaksiyon; pH'ın 7 ve üstünde olduğu reaksiyonlarda oksidasyon işlemi hidroksil radikali tarafından gerçekleşir. Yüksek pH'larda ortamdaki hidroksil radikalleri ozonun bozunması sebep olduğundan dolayı ozon konsantrasyonunun azaltmaktadır [26].

2.3.2.2.2. Atıksu içeriğinin etkisi

Oksidasyon işlemi sırasında mevcut atıksu içerisindeki boyar madde ve kullanılan yardımcı kimyasal maddelerin etkisi önemlidir. Ozonunu suda çözünmesi durumunda ortamdaki boyar madde konsantrasyonu artar ve boyar madde ile reaksiyona girecek ozon ortamda yeterli miktarda bulunmadığından dolayı oksidasyon verimi düşmektedir [26].

2.3.2.2.3. Ozon dozu ve ozon süresi etkisi

Moleküler ozon ya da ozonun bozunmasıyla oluşan hidroksil radikali ile oksidasyon işlemi sırasında ozon dozu ve ozon süresi arttıkça ozonlama etkinliği artar [26].

2.3.2.3. Ozonun kullanım alanları

2.3.2.3.1. İçme suyu arıtımında

- Tat, koku ve renk giderimi
- Dezenfeksiyon işleminde
- Sterilizasyon işleminde
- Alg giderimi işleminde

- Organik maddelerin oksidasyon işleminde
- Demir, mangan ve diğer ağır metallerin giderim işleminde
- Toksik maddelerin giderim işleminde [27].

2.3.2.3.2. Atıksu arıtımında

- KOİ ve BOİ giderim işleminde
- Renk giderimi işleminde
- Koku giderimi işleminde
- Uçucu organik maddelerin oksitlenmesi işleminde
- Bulanıklığın azaltılması işleminde
- Arıtma tesisi çıkış suların dezenfeksiyon işleminde
- Biyolojik arıtılabilirliğin artırılması işleminde
- Çözülmüş oksijen artırılması işleminde [27].

2.3.2.3.3. Avantajları

- Atıksu arıtımında kullanılan kuvvetli oksidandır.
- Dezenfektan özelliği hızlıdır.
- Oksidasyon esnasında organik ve inorganik maddeleri zararsız bileşiklere dönüştürür.
- Ozon demir, fenol, siyanür, mangan, pestisit gibi bileşiklerle kolayca reaksiyona girebilir.
- Alg büyümesi kontrolünde kullanılır.
- Ozon kararsız olduğu için depolanması gerekmez.
- Ozon suda çözündüğü için suyun oksijen konsantrasyonu artar ve bakiye ozon oluşmaz.
- Ozonla dezenfeksiyon sonucunda toksik ve zararlı yan ürün oluşturmaz.
- Oksidasyon sonucunda kimyasal çamur oluşturmaz [27].

2.3.2.3.4. Dezavantajları

- Çok iyi dezenfektan olan ozon, suda kolayca çözünmesi, içme suyu dezenfeksiyon işleminde bakiye ozon bırakmadığından dolayı son klorlamaya işlemine ihtiyaç duyulmaktadır.
- Atıksu içeriğindeki kirleticilere göre oksidasyon işlemi alkali ortamda gerçekleşir.
- Atıksu arıtımında kullanıldığında ozon; köpük oluşumu ile kalsiyum oksalat, kalsiyum karbonat ve demir hidroksitin oluşmasıyla reaktörü, pompaları tıkaması gibi önemli işletme problemlerini ortaya çıkarır.
- Ozon işletim maliyeti yüksektir.
- Ozon seçici olduğu reaksiyonlarda bazı kirleticilerin giderilmesinde işlem süresi uzun sürer [27].

2.3.3. Elektrokoagülasyon ile arıtım

Elektrokoagülasyon prosesi, organik madde, sentetik deterjan atığı, asılı katı parçacıklar, yağ atıkları, gıda maddesi atıkları, maden atıkları, ağır metal içeren çözeltiler gibi endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan yöntemdir. Elektrokoagülasyon işleminde en etkili temel işletim parametrelerini geliştirmek için deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar kullanılan elektrik enerjisini minimuma indirmek ve arıtım verimini maksimuma çıkarmak için optimize edilir [28]. Elektrokoagülasyon, etkili ve verimli bir prosestir. Diğer arıtım yöntemleriyle kıyaslandığında yatırım maliyeti yüksektir. Bu proses katran kumu atıksuyu, mayalı atıksu, nitrat içeren atıksu çözeltileri ve arsenik içeren atıksu arıtımında başarıyla uygulanmıştır. Elektrokoagülasyon farklı türde atıksu arıtımında da uygulanır. Elektrokoagülasyon yöntemi kolay işletim, basit ekipman, kısa reaktif alıkonma süresi, kimyasal ihtiyacı duyulmaması gibi özelliklere sahiptir [29].

Elektrokoagülasyon prosesinde:

- İşletimi kolay ve basit yapıdadır.

- İşlem yapılmış atıksu berrak, kokusuz ve renksizdir.
- Oluşan çamur miktarı azdır ve süzülerek ayrılabilen yöntemdir.
- Oluşan elektrokoagülasyon yığınları kimyasal yığınlara göre daha büyük olup, asit dirençli, kararlı ve daha az bağlı su içerir. Filtrasyon ile hızlı bir şekilde ayrılır.
- Elektrokoagülasyon işlemi daha az çözünmüş katı madde ihtiva eden sıvı atık üretir.
- Uygulama yapılan elektrik alanı küçük parçacıkları hızlandırdığı için kolloidal parçacıkların uzaklaştırılmasında avantajlıdır. Kolay koagüle olur.
- Elektrokoagülasyon prosesinde kimyasal maddeye ihtiyaç duyulmadığı için nötralizasyon sorunu olmaz ve kimyasal maddeden oluşacak ikinci bir kirlilik meydana gelmez.
- Elektrokoagülasyon işleminde oluşan gaz kabarcıkları kirliliği yüzeye taşır ve kolay bir şekilde süzülerek uzaklaştırılır.
- Elektrik olmadan güneş paneli ile prosesi kullanmak mümkündür [28].

Elektrokoagülasyon işleminde sırasıyla üç basamaktan meydana gelmektedir [28].

- Anodun elektroliz okside olması sonucunda koagülantların oluşması
- Kirleticiler maddelerin partikül süspansiyonu, destabilizasyonu ve emülsiyonların kırılması
- Destabil fazların bir araya gelerek flok oluşturması

Kirleticilerin partikül süspansiyonu, destabilizasyonu ve emülsiyonların kırılması şu şekilde açıklanabilir:

- Çözeltiye akım geçirilerek, anodun çözünerek oluşan iyonların birbirleriyle etkileşimleri ile yüklü türlerin ortamda oluşan çift katman difüzyonu.
- Atıksudaki iyonik türdeki maddelerin yük nötralizasyonu. Anodun elektrokimyasal çözünmesiyle zıt yüklü iyon oluşturur. Partiküller arası elektrosatetik itmeyle zıt iyonlar azaltılır. Van der Waals kuvveti sebebiyle koagülasyon meydana gelir. İşlemin net yükü sıfırdır.

- Koagülasyon sonucunda flok oluşur ve kolloidal partiküllerin bağlanmasıyla çamur yatağı oluşur [28].

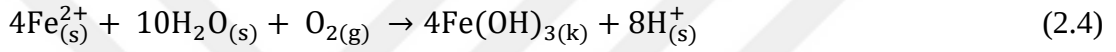
Elektrokoagülasyon prosesi çoklu kimyasal mekanizmalardan oluşan proses olduğu görülmüştür [30]. Bu mekanizmalar aşağıda verilmiştir:

Mekanizma 1:

Anotta,



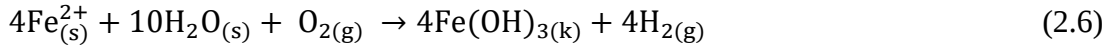
Çözeltide,



Katotta,



Nihai reaksiyon,



Mekanizma 2:

Anotta,



Çözeltide,



Katotta,



Nihai reaksiyon,



Elektrokoagülasyon prosesi atıksuya batırılmış, genellikle dikdörtgen plakalardan oluşan doğru akım ile çalışan anot ve katot elektrotlardan oluşmaktadır [31]. Elektrokoagülasyon işleminde kolay ulaşılabilir olması, maliyetinin düşük olması ve toksik etkilerinin olmamasından dolayı alüminyum ve demir plakalar kullanılmaktadır. Elektrokoagülasyonda elektroliz işleminin amacı metal anodun çözünerek koagülant görevini sağlamaktır [31]. Elektrokoagülasyon prosesinde demir plaka kullanılması durumunda anot ve katotta gerçekleşen reaksiyonlar:

Anotta,



Katotta,



2.3.3.1. Elektrokoagülasyon prosenin avantajları ve dezavantajları

Elektrokoagülasyon prosenin avantajları:

- Diğer kimyasal arıtma yöntemlerine göre daha az çözünmüş katı içerir.
- Enerji ihtiyacı düşüktür.
- Oluşan floklar kolayca filtrasyon işlemiyle ayrılır.
- Kimyasal maddeye ihtiyaç duyulmaz.
- Küçük kolloidal partiküllere karşı etkili arıtma yöntemidir.
- Elektriğin olmadığı zamanlarda güneş paneli ile kullanılabilir.
- İşletimi basit ve kolaydır.

Elektrokoagülasyon prosenin dezavantajları:

- Atıksuyun iletkenliği yüksek olması gerekir.
- Elektrotta geçirgenliği olmayan tabaka oluşması verimliliği düşürebilir.

- Elektrokoagülasyon işlemi sırasında oluşan gazlar olumsuz sonuçlar oluşturabilir.
- Elektrokoagülasyon işlemi sonunda anot ve katodun düzenli olarak değişmesi gerekmektedir.

2.3.3.2. Elektrokoagülasyon prosesine etki eden faktörler

2.3.3.2.1. pH etkisi

Elektrokoagülasyon işleminde, kullanılan elektrotların cinsine göre, ortamın başlangıç pH'ına bağlı olarak reaksiyon süresi boyunca elektrokimyasal ortamın pH değişmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda geniş pH aralıklarında yüksek verimin elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle elektrokoagülasyon öncesinde başlangıç pH'ın ayarlanması ön koşul olarak kabul edilmemektedir [29].

2.3.3.2.2. Elektrot malzemesi

Elektrokoagülasyon işleminde kullanılan elektrot plakaların türü verimi etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Kullanılan elektrodun türü, proses için farklı oluşumlar meydana getirir. Örneğin; seçilen elektrodun türleri akımla ortamda çözünür fakat elektrokoagülasyonda hidroksil radikalleri etkisiyle çözünme gerçekleşmez. Elektrokoagülasyon prosesinde yaygın olarak demir ve alüminyum plakalar kullanılır, elektrooksidasyon yönteminde ise platin, titan, rutenyum vb. elektrotlar tercih edilir [32].

2.3.3.2.3. Akım yoğunluğu

Elektrokoagülasyon prosesinde kullanılan elektrot malzemenin yanında akım yoğunluğunun da renk giderim verimi üzerine etkisi büyüktür. Akım yoğunluğuna bağlı olarak oluşan flokların büyüklükleri ve gaz karbəcıklarının meydana gelme hızı değişkenlik göstermektedir. Akım yoğunluğu arttığında yoğunluğu arttırıp, gaz

kabarcığının boyutunu azaltırır. Bu durumda doğrultusunda akış hızlanır, flotasyon büyüklüğü artar ve üstlere doğru daha hızlı kirletici verim gözlenir [33].

2.3.3.2.4. Arıtım süresi

Elektrokoagülasyon prosesinde de arıtım süresi önemlidir, çünkü uygun arıtım süresinde proses uygulanmazsa istenilen verime ulaşamaz, arıtma prosesinde optimizasyon sağlanamaz ve koku, çamur ve köpük oluşumu açısından uygun olmaz [32].



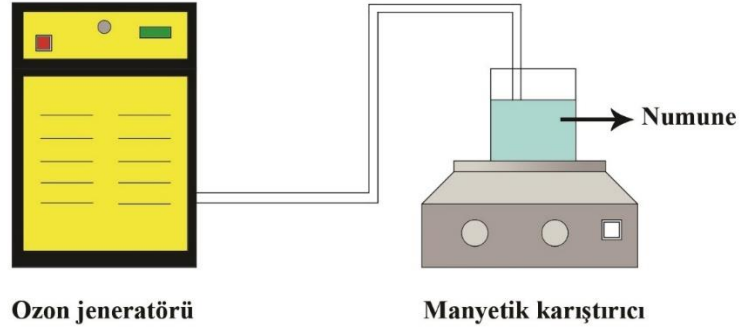
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Malatya'daki bir tekstil firmasının boyama tankından temin edilen Sunfix Yellow Spd, Sunfix Red Spd ve Reaktobond Black B boya içeren tekstil atıksuyu numune olarak kullanılmıştır. Ölçümler için Merck Pharo 3000 marka UV-VIS Spektrofotometre kullanılmıştır. Avrupa normu EN ISO 7887 Durchsichts-farbzahl (DFZ) limit değerlerine göre 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında ölçüm yapılmıştır. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) için Standart Methods 5220-D'e göre ölçüm yapılmıştır. Atıksuyun pH ayarlamasında sülfürik asit (H_2SO_4) ve sodyum hidroksit (NaOH) çözeltileri kullanılarak pH metre de ölçüm yapılmıştır. Ozonlama prosesinde SABO Elektronik marka SL-10 model maksimum 15000 mg/L kapasiteye sahip ozon jeneratörü kullanılmıştır. Analiz işleminin etkili karışımını sağlamak için manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Elektrokoagülasyon prosesinde 6x12x0,15 cm boyutlarında toplam elektrot alanı 288 cm² olan dört demir elektrot bipolar şeklinde bağlanmıştır. Akım yoğunluğunu minimum ayarlamak için elektrotlar arasındaki mesafe 0,75 cm'ye ayarlanmıştır. Maksimum gücü 30,5 V ve 5 A olan bir DC güç kaynağı kullanılmıştır. Tüm işlemler oda sıcaklığında yapılmıştır.

3.1. Deney Düzenegi

3.1.1. Ozonlama prosesi

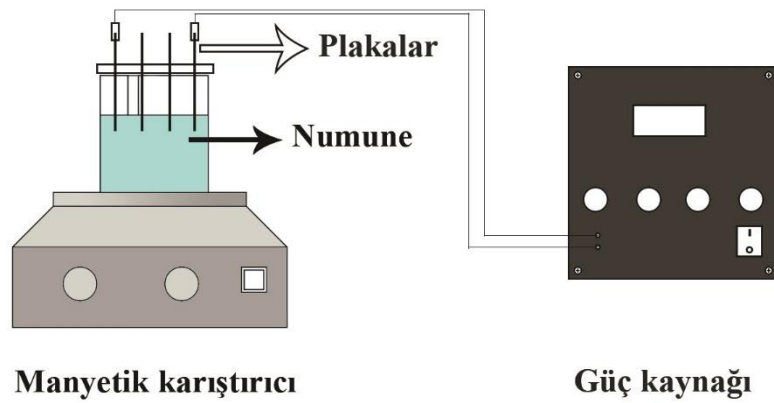
Ozon oksidasyonu prosesinde, ozon jeneratörü ve manyetik karıştırıcı kullanılarak 250 mL'lik beher içerisine 100 mL numune alınıp analiz yapılmıştır. pH, ozon dozu ve ozon süresi arıtım üzerine etkisi incelenmiştir. Deney düzenegi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Ozon oksidasyon deney düzeneği

3.1.2. Elektrokoagülasyon prosesi

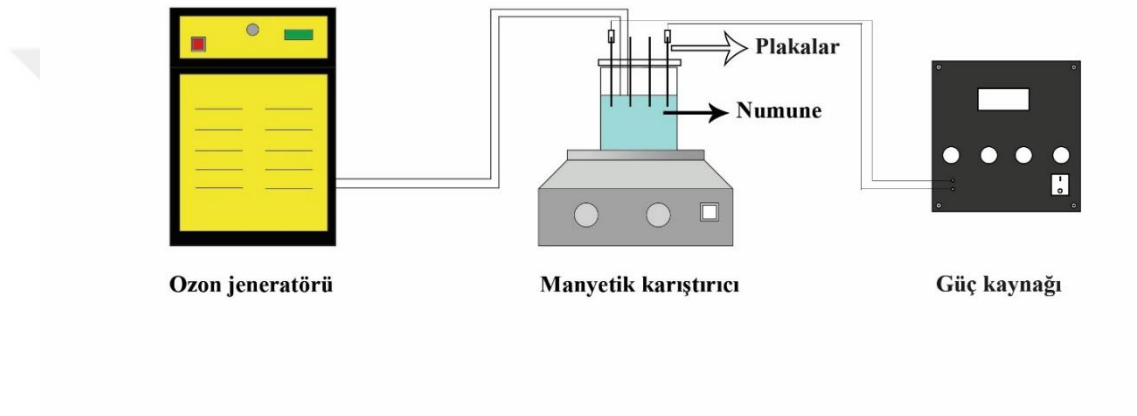
Elektrokoagülasyon prosesinde, dört adet 6x12x0,15 cm demir plaka ve DC güç kaynağı kullanılarak 250 mL'lik beher içerisine 100 mL numune alınıp analiz yapılmıştır. pH, akım yoğunluğu ve elektrokoagülasyon süresi artırım üzerine etkisi incelenmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Elektrokoagülasyon deney düzeneği

3.1.3. Elektrokogülasyon-ozonlama prosesi

Ozon-Elektrokogülasyon prosesinde, 3.2.1. ve 3.2.2. başlığı altında belirtilen deney düzeneklerinin beraber kullanılarak pH, akım yoğunluğu, ozon dozu ve ozon-elektrokogülasyon süresi arıtım üzerine etkisi incelenmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Ozon-elektrokogülasyon deney düzeneği

3.2. Kullanılan Hesaplamalar

Akım yoğunluğu;

$$J = \frac{I}{A} \quad (3.1)$$

J: akım yoğunluğu (mA/cm²)

I: akım şiddeti (mA)

A: elektrodun yüzey alanı (cm²)

Yüzde giderim verimi hesaplama yöntemi;

$$\% \text{ Giderim Verimi} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (3.2)$$

C_0 : Numune başlangıç konsantrasyonu (mg/L)

C : Proses sonucu giderilen konsantrasyonu (mg/L)



BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

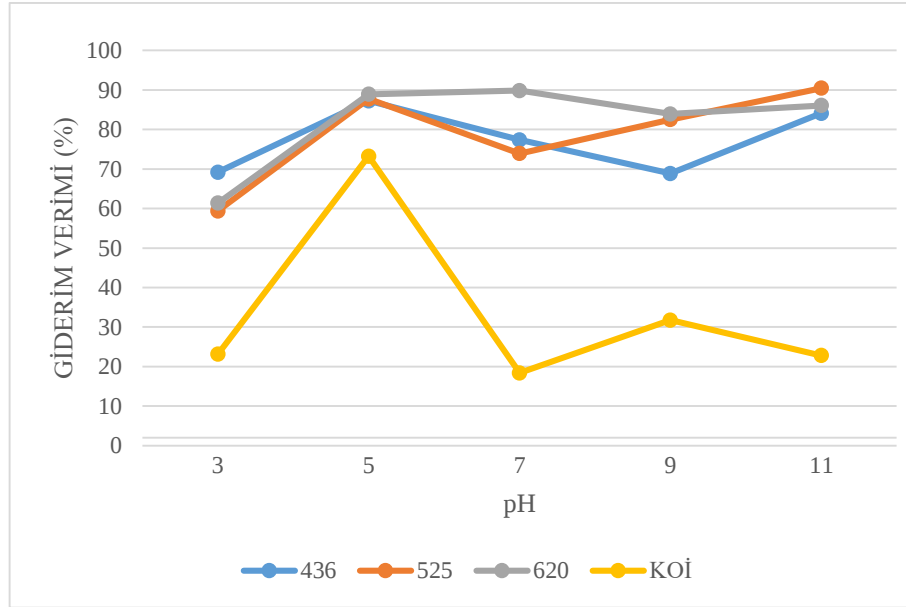
4.1. Elektrokoagülasyon Prosesi

4.1.1. pH'ın elektrokoagülasyon prosesine etkisi

Elektrokoagülasyon prosesine pH'ın etkisini incelemek için 0,18 mA/cm² akım yoğunluğunda 3, 5, 7, 9 ve 11 pH'larda, 100 mL numunesi hazırlanmıştır ve 15 dakika reaksiyon süresinde analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.1.'de belirtilmiştir ve arıtım verimi üzerine etkisi grafiksel olarak Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. pH'ın elektrokoagülasyon prosesine etkisi (akım yoğunluğu: 0,18 mA/cm², reaksiyon süresi: 15 dk, numune hacmi: 100 mL)

pH	436 (m ⁻¹)	525 (m ⁻¹)	620 (m ⁻¹)	KOİ (mg/L)
8,37 (başlangıç)	88	84	74	614
3	27,1	34,1	28,6	471,94
5	11,2	10,3	8,2	164,42
7	19,9	21,9	7,5	501,15
9	27,4	14,7	11,9	419,11
11	14	8	10,3	474,02



Şekil 4.1. pH'ın Elektrokoagülasyon prosesinde arıtım verimi etkisi

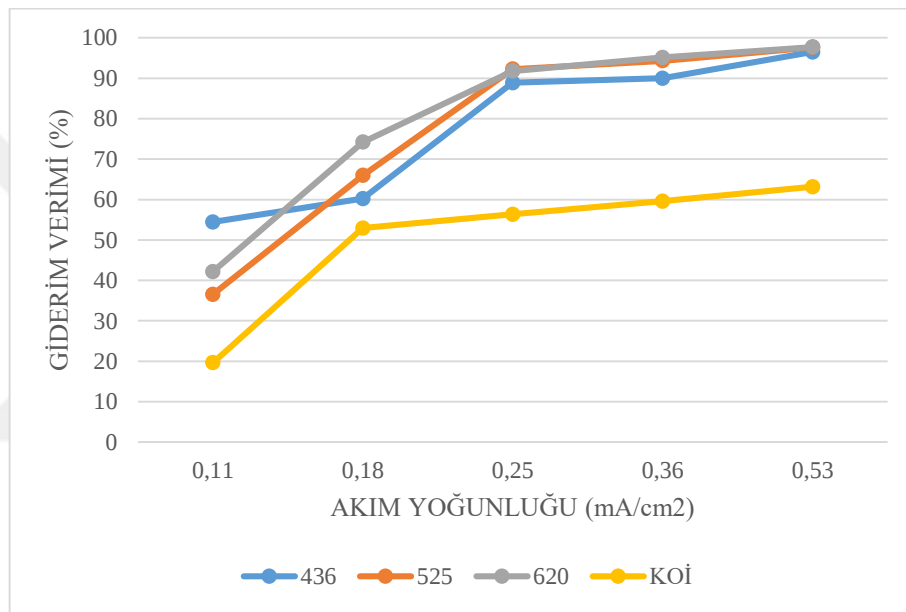
Şekil 4.1 incelendiğinde en iyi optimum giderim verimi asidik ortamda pH 5'te KOİ için %73,22 renk analizinde 436, 525, 620 dalga boyları için sırasıyla %87,27, %87,73 ve %88,91 olarak bulunmuştur. pH elektrokoagülasyon prosesi için önemli parametredir. pH 4 ün altında $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$, pH 4-8 aralığında $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_{2(s)}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{H}_2\text{O})_{6(s)}$ ve pH 6-10 arasında $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_{2(s)}$ şeklinde kompleks yapıların oluştuğu düşünülmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında Bashir ve ark.'nın, yaptığı çalışmada bazı atıksu numuneleri için optimum pH'ın asidik ortamda olduğu bulunmuştur [34], Deveci ve ark.'nın, yaptığı çalışmada ise bazı atıksular için optimum pH'ın alkali ortamda olduğu bulunmuştur [35]. Elektrokoagülasyon prosesinin geniş pH aralığında performans gösteren çok yönlü elektrokimyasal proses olduğu kanıtlanmaktadır. Bunun sebebi atıksu iletkenliği ve atıksu numunesindeki elektrotların çözünmesiyle ilgilidir.

4.1.2. Akım yoğunluğunun elektrokoagülasyon prosesine etkisi

Elektrokoagülasyon prosesine akım yoğunluğunun etkisini incelemek için pH 5 ayarlanan 100 mL atıksu numunesi hazırlanıp 0,11 mA/cm², 0,18 mA/cm², 0,25 mA/cm², 0,36 mA/cm² ve 0,53 mA/cm² akım yoğunluklarında 15 dakika reaksiyon süresinde çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.2.'te belirtilmiştir ve arıtım verimine etkisi grafiksel olarak Şekil 4.2.'te sunulmuştur.

Tablo 4.2. Akım yoğunluğunun elektrokoagülasyon prosesine etkisi (pH: 5, reaksiyon süresi: 15 dk, numune hacmi: 100 mL)

Akım yoğunluğu (mA/cm ²)	436 (m ⁻¹)	525 (m ⁻¹)	620 (m ⁻¹)	KOİ (mg/L)
Başlangıç	88	84	74	614
0,11	40,1	53,3	42,8	493,32
0,18	35	28,6	19,1	288,88
0,25	9,8	6,5	6,1	268,09
0,36	8,8	4,8	3,6	248,24
0,53	3,1	2	1,7	226,2



Şekil 4.2. Akım yoğunluğunun elektrokoagülasyon prosesinde arıtım verimine etkisi

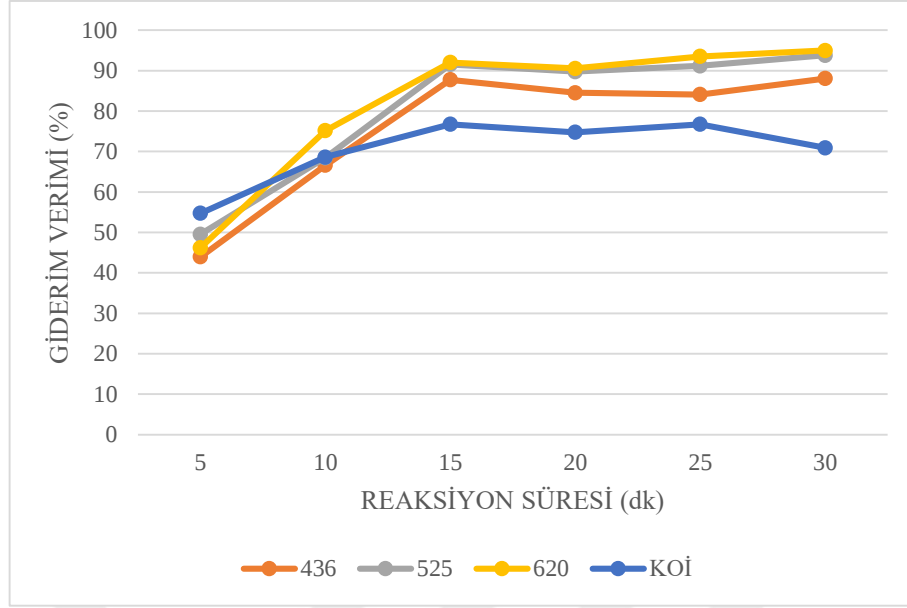
Şekil 4.2. incelendiğinde akım yoğunluğu arttıkça giderim verimleri de doğru orantıda artış göstermektedir. 0,25 mA/cm²'den sonra verim artışı yavaş gerçekleşmiştir. İşletme maliyeti ve enerji tüketimi minimum seviyede tutmak için optimum akım yoğunluğu 0,25 mA/cm² de KOİ için giderim verimi %56,33 renk analizinde 436, 525, 620 dalga boyları için sırasıyla %88,86, %92,26 ve 91,75 olarak bulunmuştur. Elektrokoagülasyon için uygulanan akım yoğunluğu 0,01-2 mA/cm² arasındadır. Uygulanan akım atıksu içerisindeki elektrodun çözünmesine ve iyonların serbest bırakılmasına neden olduğundan, fazla akım ikincil reaksiyonları oluşmasını sebep olduğundan elektrokoagülasyon etkinliğini olumsuz etkilemektedir. Bu durum elektrokoagülasyon verimliliğini ve elektrot ömrünü azaltır [36].

4.1.3. Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon prosesine etkisi

Elektrokoagülasyon prosesine reaksiyon süresinin etkisini incelemek için pH 5, akım yoğunluğu 0,25 mA/cm², numune hacmi 100 mL hazırlanıp 5 dk, 10 dk, 15 dk, 20 dk, 25 dk ve 30 dk reaksiyon sürelerinde analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.3.'de belirtilmiştir ve arıtım verimine etkisini grafiksel olarak Şekil 4.3.'de sunulmuştur.

Tablo 4.3. Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon prosesine etkisi (pH: 5, akım yoğunluğu: 0,25 mA/cm², numune hacmi: 100 mL)

Reaksiyon süresi (dk)	436 (m ⁻¹)	525 (m ⁻¹)	620 (m ⁻¹)	KOİ (mg/L)
Başlangıç	88	84	74	614
5	49,3	42,4	39,8	277,95
10	29,4	26,5	18,4	192,58
15	10,8	7,1	5,9	142,75
20	13,6	8,6	7	154,99
25	14	7,4	4,8	142,85
30	10,5	5,2	3,7	178,5



Şekil 4.3. Reaksiyon süresinin Elektrokoagülasyon prosesinde artım verimine etkisi

Şekil 4.3.'de görüldüğü üzere KOİ giderim verimleri, işletim maliyeti ve enerji tüketimi göz önüne alındığında optimum reaksiyon süresi 15 dakikada KOİ giderim verimi %76,75 renk analizinde 436, 525, 620 dalga boyları için sırasıyla %87,72, %91,54 ve %92,02 olarak bulunmuştur. Koby ve ark.'ın yaptığı çalışmada levafix orange boyasının elektrokoagülasyon ile arıtımı sonucu 12 dakikalık reaksiyon süresinde %92,3 renk giderimi elde etmişlerdir [37]. Elektrokoagülasyon prosesinde giderim verimi çoğunlukla reaksiyon süresine bağlıdır. Reaksiyon süresi arttıkça sabit akım yoğunluğunda daha fazla demir koagülant ve flok oluşması sebebiyle daha yüksek verim elde edilir. Ancak, elektrokoagülasyon verimi belirli süreden sonra kirlenici giderme oranı sabit hale geldiğinden grafik doğrusal hale gelmeye başlar. Reaksiyon süresinin optimizasyonu, enerji ve kaynak kaybını önlemek için gereklidir [36].

4.2. Ozonlama Prosesi

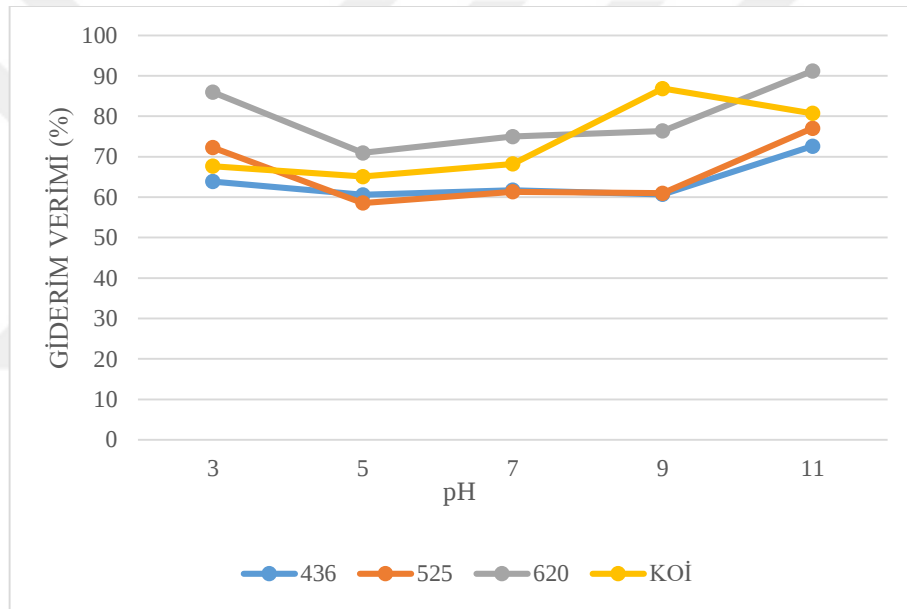
4.2.1. pH'ın ozonlama prosesine etkisi

Ozonlama prosesine pH'ın etkisini incelemek için 3, 5, 7, 9 ve 11 pH'larda, 100 mL numune hazırlanmıştır. 1200 mg/L ozon dozu ayarlanarak 15 dakika reaksiyon

süresinde analiz yapılmıştır. Elde edilen verimler Tablo 4.4.'de belirtilmiştir ve arıtım verimi üzerine etkisi grafiksel olarak Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. pH'ın ozonlama prosesine etkisi (ozon dozu: 600 mg/L, reaksiyon süresi: 15 dk, numune hacmi: 100 mL)

pH	436 (m ⁻¹)	525 (m ⁻¹)	620 (m ⁻¹)	KOİ (mg/L)
8,37 (başlangıç)	88	84	74	614
3	31,8	23,3	10,4	198,6
5	34,7	34,8	21,5	214,29
7	33,7	32,5	18,5	195,26
9	34,6	32,8	17,5	80,7
11	24,1	19,3	6,5	118,46



Şekil 4.4. pH'ın ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi

Şekil 4.4.'de görüldüğü üzere renk giderim verimi 436, 525, 620 manometre dalga boylarında en yüksek pH 11'de görülmüştür, fakat en yüksek KOİ giderim verimi pH 9'da olduğu için en iyi optimum giderim verimi alkali ortamda pH 9'da renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %60,68, %60,95 ve %76,35, KOİ için %86,85 olarak bulunmuştur. Yapılan literatür araştırmasında Koyuncu ve Avşar'ın yaptığı çalışmada N-Rot-Gre ve N-Orange boya içeren atıksuyun ozonlama prosesi ile arıtımında verimin pH 7'den sonra arttığı görülmektedir [38]. Ayrıca Sevimli ve Sarıkaya'nın tekstil atıksuyuyla yaptığı çalışmada tekstil atıksuyunda pH 11'de %86-90 renk giderimi elde ettiği görülebilmektedir [39]. Ozonlama prosesinde düşük pH'da

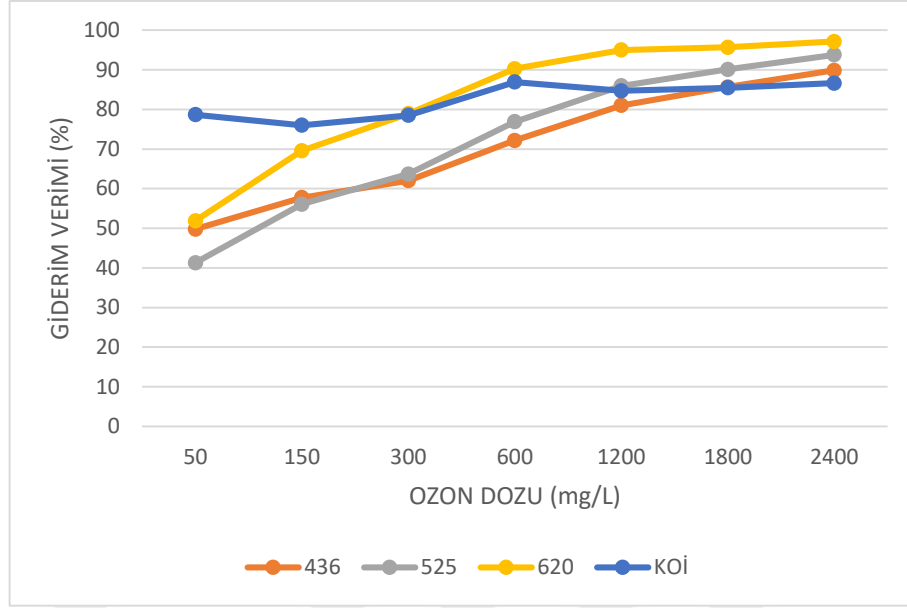
moleküler ozon yüksek pH'da ozonun bozunmasıyla OH^- radikalleri tarafından gerçekleşir. Ozonun bozunmasıyla ortamda oluşan hidroksil radikalleri organik kirleticilerle reaksiyona girmektedir. Yüksek pH'da hidroksil radikalleri atıksu içerisindeki kromofor yapıyı parçalamakta seçici davranmazlar [40].

4.2.2. Ozon dozunun ozonlama prosesine etkisi

Ozonlama prosesinde ozon dozunun etkisini incelemek için pH 9 ayarlanarak 100 mL atıksu numunelerinde 50 mg/L, 150 mg/L, 300 mg/L, 600 mg/L, 1200 mg/L, 1800 mg/L, 2400 mg/L 15 dakika analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.5.'da belirtilmiştir ve arıtım verimine etkisi grafiksel olarak Şekil 4.5.'da sunulmuştur.

Tablo 4.5. Ozon dozunun ozonlama prosesine etkisi (pH:9, reaksiyon süresi:15 dk, numune hacmi: 100 mL)

Ozon dozu (mg/L)	436 (m^{-1})	525 (m^{-1})	620 (m^{-1})	KOİ (mg/L)
Başlangıç	88	84	74	614
50	44,2	49,3	35,6	130,84
150	37,2	36,9	22,5	147,19
300	33,4	30,5	15,6	131,94
600	24,5	19,4	7,2	80,7
1200	16,7	11,8	3,7	93,9
1800	12,6	8,3	3,2	89,34
2400	8,9	5,2	2,1	81,97



Şekil 4.5. Ozon dozunun ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi

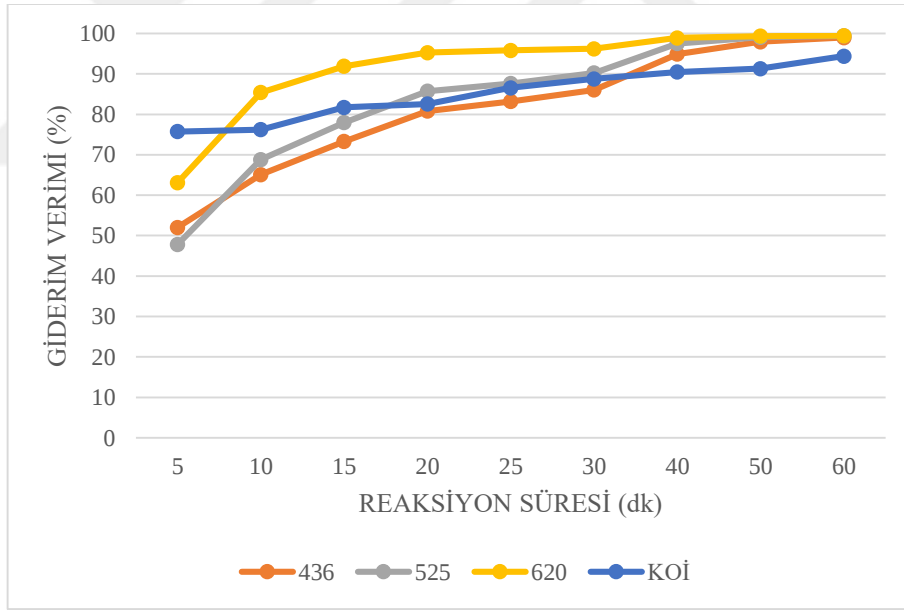
Şekil 4.5. incelendiğinde 436, 525, 630 dalga boylarında ozon dozu arttıkça giderim verimi arttığı görülmektedir, ancak en yüksek KOİ giderim verimi 600 mg/L’de olduğu için optimum ozon dozu 600 mg/L KOİ giderim verimi %86,92 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %72,15, %76,90 ve %90,27 olarak bulunmuştur. Yapılan literatür araştırmasında Bahadır’ın iki farklı tekstil atıksuyu numunesi ile yaptığı çalışmada 54,6 mg/L.sa ve 648 mg/L.sa ozon dozunda sırasıyla %37 ve %63,9 KOİ giderim verimi ile %75 ve %99 renk giderim verimi elde etmiştir [41].

4.2.3. Reaksiyon süresinin ozonlama prosesine etkisi

Ozonlama prosesinde reaksiyon süresinin etkisini incelemek için pH 9 ayarlanarak 100 mL atıksu numunesi 1200 mg/L ozon dozu verilerek 5 dk, 10 dk, 15 dk, 20 dk, 25 dk, 30 dk, 40 dk, 50 dk ve 60 dk reaksiyon sürelerinde analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.6.’da belirtilmiştir ve arıtım verimine etkisini grafiksel olarak Şekil 4.6.’da sunulmuştur.

Tablo 4.6. Reaksiyon süresinin ozonlama prosesine etkisi (pH:9, ozon dozu: 1200 mg/L, numune hacmi: 100 mL)

Reaksiyon süresi (dk)	436 (m ⁻¹)	525 (m ⁻¹)	620 (m ⁻¹)	KOİ (mg/L)
Başlangıç	88	84	74	614
5	42,2	43,8	27,3	148,94
10	30,7	26,2	10,8	146,09
15	23,5	18,5	6	112,26
20	16,9	12	3,5	107,12
25	14,8	10,4	3,1	82,48
30	12,3	8,2	2,8	68,91
40	4,5	2,1	0,8	58,56
50	1,8	0,8	0,5	53,39
60	0,9	0,5	0,4	34,41



Şekil 4.6. Reaksiyon süresinin ozonlama prosesinde artırım vermine etkisi

Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere temel işletim maliyeti ve KOİ giderim verimi göz önüne alındığında optimum reaksiyon süresi 40 dakikada KOİ giderim verimi %90,46 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %94,88, %97,50 ve %98,91 olarak bulunmuştur. Yapılan literatür araştırmasında Bahadır (2012)'ın yaptığı çalışmada 648

mg/L.sa ozon dozu kullanarak 20 dakika reaksiyon süresinde %63 KOİ giderim verimi ve %99 renk giderim verimi elde etmiştir [41].

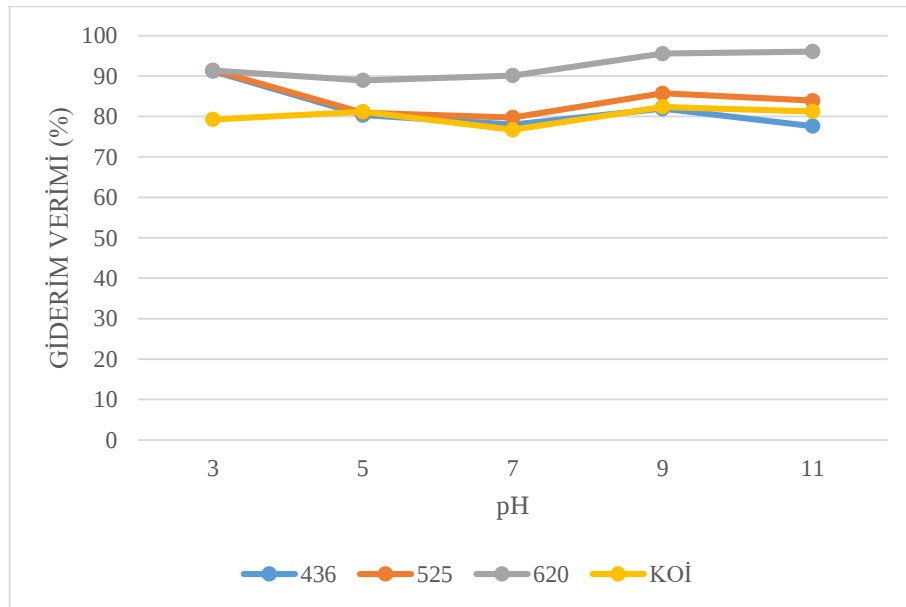
4.3. Elektrokoagülasyon-ozonlama Prosesi

4.3.1. pH'ın elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi

Elektrokoagülasyon-ozon prosesine pH'ın etkisini incelemek için 3, 5, 7, 9 ve 11 pH'larda 100 mL numune hazırlanmıştır. Akım yoğunluğu $0,18 \text{ mA/cm}^2$ ve ozon dozu 1200 mg/L ayarlanarak 15 dakika reaksiyon süresinde analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.7.'te belirtilmiştir ve arıtım verimi üzerine etkisi grafiksel olarak Şekil 4.7.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.7.pH'ın elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi (akım yoğunluğu: $0,18 \text{ mA/cm}^2$, ozon dozu: 1200 mg/L , reaksiyon süresi: 15 dk, numune hacmi: 100 mL)

pH	436 (m^{-1})	525 (m^{-1})	620 (m^{-1})	KOİ (mg/L)
8,37 (başlangıç)	88	84	74	614
3	7,7	7,2	6,4	127,16
5	17,3	16	8,2	115,53
7	19,4	17	7,3	143,04
9	15,9	12	3,3	108,32
11	19,7	13,5	2,9	115,01



Şekil 4.7. pH'ın elektrokoagülasyon-ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi

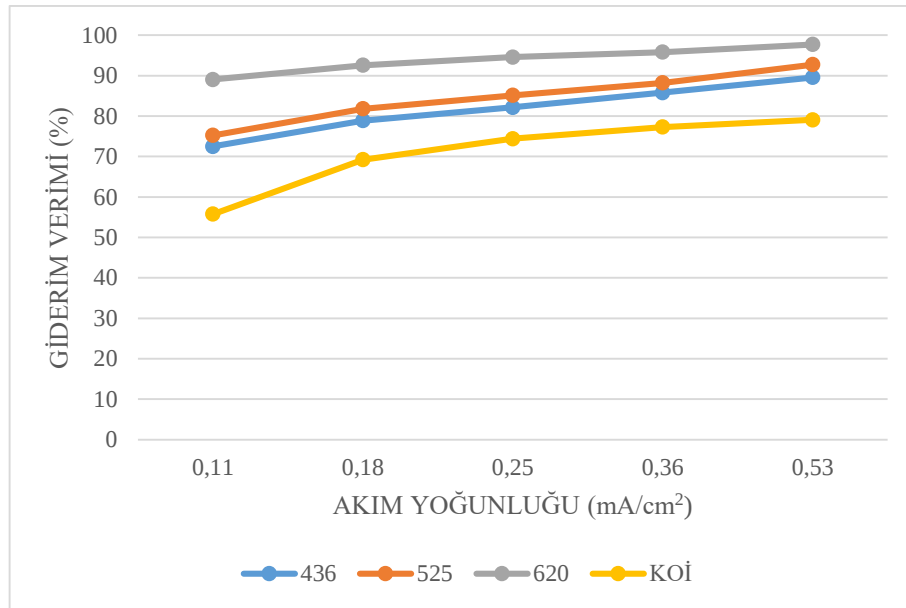
Şekil 4.7. incelendiğinde en iyi optimum giderim verimi alkali ortamda pH 9 ‘da renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %81,93, %85,71 ve 95,54, KOİ için %82,35 olarak bulunmuştur. Yapılan literatür araştırmasında Behin ve ark., elektrokoagülasyon-ozon prosesinde Acid Brown 214 boyası için optimum pH 9,5’te %95’in üzerinde giderim verimi elde etmişlerdir [42].

4.3.2. Akım yoğunluğunun elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi

Elektrokoagülasyon-ozon prosesinde akım yoğunluğunun etkisini incelemek için pH 9 ayarlanan 100 mL atıksu numunesi hazırlanıp 1200 mg/L ozon dozu ayarlanıp 0,11 mA/cm², 0,18 mA/cm², 0,25 mA/cm², 0,36 mA/cm² ve 0,53 mA/cm² akım yoğunluklarında 15 dakika analiz süresinde çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.8.’te belirtilmiştir ve arıtım verimine etkisi grafiksel olarak Şekil 4.8.’te gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Akım yoğunluğunun ozon-elektrokoagülasyon prosesine etkisi (pH:9, ozon dozu: 1200 mg/L, reaksiyon süresi: 15 dk, numune hacmi: 100 mL)

Akım yoğunluğu (mA/cm ²)	436 (m ⁻¹)	525 (m ⁻¹)	620 (m ⁻¹)	KOİ (mg/L)
Başlangıç	88	84	74	614
0,11	24,2	20,8	8,1	271,59
0,18	18,6	15,3	5,5	189,05
0,25	15,7	12,5	4	157,2
0,36	12,5	9,9	3,1	139,44
0,53	9,2	6,1	1,7	128,55



Şekil 4.8. Akım yoğunluğunun ozon-elektrokoagülasyon prosesinde arıtım verimine etkisi

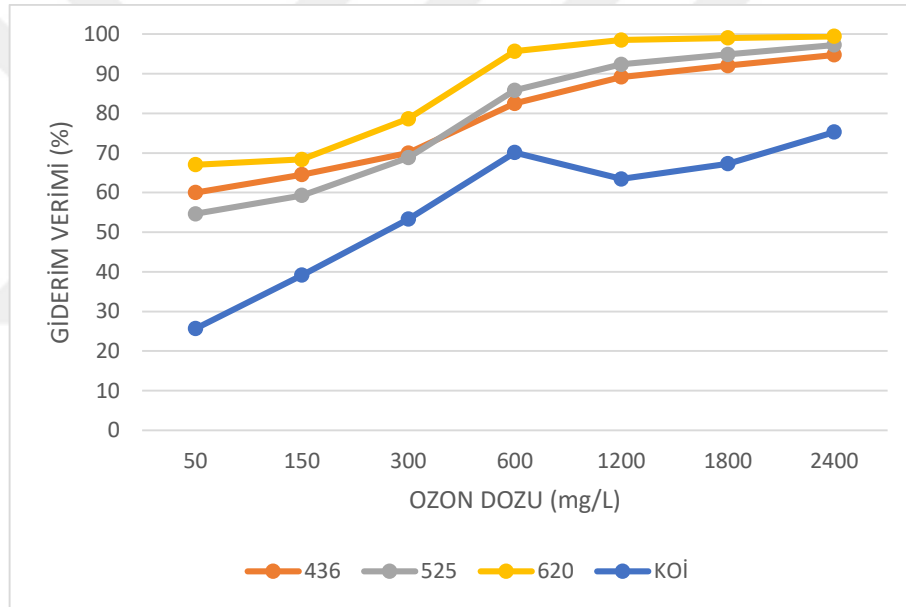
Şekil 4.8. görüldüğü üzere Şekil 4.2.'deki gibi akım yoğunluğu arttıkça giderim verimleri de aynı şekilde artış göstermektedir. 0,25 mA/cm²'den sonra verim artışı yavaş gerçekleşmiştir. İşletme maliyeti ve enerji tüketimi minimum seviyede tutmak için optimum akım yoğunluğu 0,25 mA/cm² de KOİ için giderim verimi %74,39 33 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %82,15, %85,11 ve %94,59 olarak bulunmuştur. Song ve ark. (2008), yaptığı çalışmada Reactive Blue 19 giderimi için optimum akım yoğunluğu 10 mA/cm² olduğunda giderim verimi %96 olarak bulunmuştur [43].

4.3.3. Ozon dozunun elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi

Elektrokoagülasyon-ozonlama prosesinde ozon dozunun etkisini incelemek için pH 9 ayarlanarak 0,25 mA/cm² akım yoğunluğunda 100 mL atıksu numunesi 50 mg/L, 150 mg/L, 300 mg/L, 600 mg/L, 1200 mg/L, 1800 mg/L, 2400 mg/L ve 3000 mg/L ozon dozu verilerek 15 dakika reaksiyon süresinde analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.9.'de belirtilmiştir ve arıtım verimine etkisi grafiksel olarak Şekil 4.9.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.9. Ozon dozunun elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi (pH:9, akım yoğunluğu: 0,25 mA/cm², reaksiyon süresi: 15 dk, numune hacmi: 100 mL)

Ozon dozu (mg/L)	436 (m ⁻¹)	525 (m ⁻¹)	620 (m ⁻¹)	KOİ (mg/L)
Başlangıç	88	84	74	614
50	35,2	38,1	24,4	456,5
150	31,2	34,2	23,4	373,7
300	26,4	26,2	15,8	286,86
600	15,4	11,9	3,2	183,53
1200	9,5	6,4	1,1	224,46
1800	7	4,3	0,7	200,83
2400	4,6	2,3	0,4	151,76



Şekil 4.9. Ozon dozu süresi ozon-elektrokoagülasyon prosesinde artım verimine etkisi

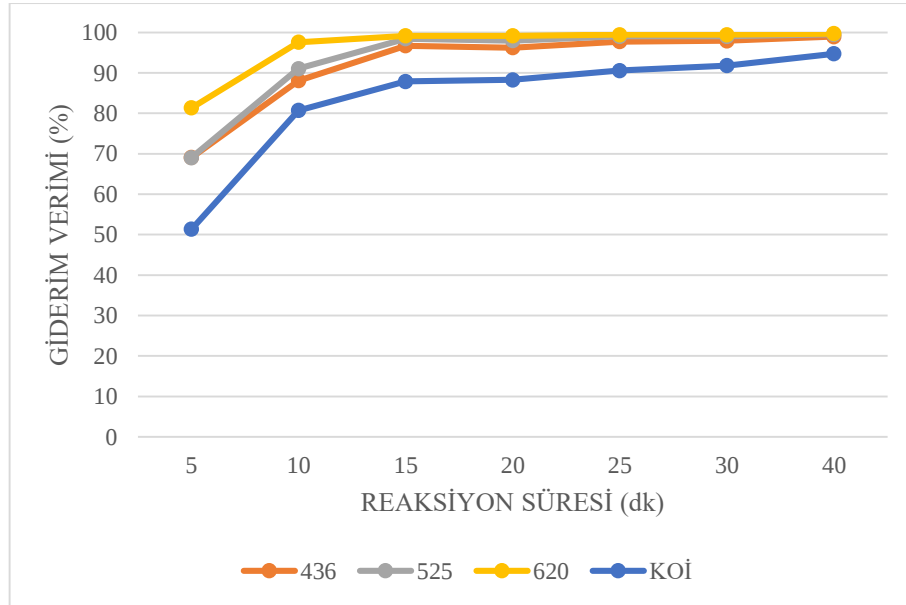
Şekil 4.9. incelendiğinde 436, 525, 630 dalga boylarında ozon dozu arttıkça giderim verimi arttığı görülmektedir ve en yüksek KOİ giderim verimi 600 mg/L’de görülmektedir. İşletme maliyeti ve enerji tüketimini minimum seviyede tutmak için optimum ozon dozu 600 mg/L’de KOİ giderim verimi %70,10 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %82,50, %85,83 ve 95,67 olarak bulunmuştur. Bilinska ve ark. (2019), yaptığı çalışmada RB5 gideriminde 280 mg/L ozon dozunda %98 giderim verimi elde etmiştir [44].

4.3.4. Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi

Ozon-elektrokoagülasyon prosesinde reaksiyon süresinin etkisini incelemek için pH 9 ayarlanarak 100 mL atıksu numunesi 0,25 mA/cm² akım yoğunluğunda 1200 mg/L ozon dozu verilerek 5 dk, 10 dk, 15 dk, 20 dk, 25 dk, 30 dk ve 40 dk reaksiyon sürelerinde analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.10.'da belirtilmiştir ve arıtım verimine etkisi grafiksel olarak Şekil 4.10.'da sunulmuştur.

Tablo 4.10.Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon-ozonlama prosesine etkisi (pH: 9, akım yoğunluğu: 0,25 mA/cm², ozon dozu: 1200 mg/L, numune hacmi: 100 mL)

Reaksiyon süresi (dk)	436 (m ⁻¹)	525 (m ⁻¹)	620 (m ⁻¹)	KOİ (mg/L)
Başlangıç	88	84	74	614
5	27,2	26,0	13,8	298,63
10	10,5	7,5	1,8	118,29
15	2,9	1,3	0,6	74,37
20	3,3	1,7	0,6	71,81
25	2,0	0,8	0,4	57,95
30	1,8	0,8	0,4	50,41
40	0,9	0,4	0,2	32,28



Şekil 4.1. Reaksiyon süresinin elektrokoagülasyon-ozonlama prosesinde arıtım verimine etkisi

Şekil 4.10.'da görüldüğü üzere optimum reaksiyon süresi 15 dakikada KOİ giderim verimi %87,88 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %96,70, %98,45 ve %99,18 olarak bulunmuştur. Yapılan literatür araştırmasında Bilinska ve ark. (2019), yaptığı çalışmada RB5 gideriminde 10 dakika reaksiyon süresinde %98 verim elde etmişlerdir [42].



BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Malatya'daki bir tekstil fabrikasının boyama tankından alınan içerisinde Sunfix Yellow Spd, Sunfix Red Spd ve Reactobond Black B boyaları içeren atıksu numune olarak kullanılmıştır. Elektrokoagülasyon, Ozonlama ve Elektrokogülasyon-Ozonlama yöntemleri kullanılarak pH, akım yoğunluğu, ozon dozu ve reaksiyon süreleri gibi parametreler incelenerek optimum koşullar belirlenmiş ve grafiklerle desteklenmiştir.

Elektrokogülasyon prosesi için yapılan pH, akım yoğunluğu ve reaksiyon süresi çalışmalarında optimum koşullar belirlenmiştir. pH 5'te KOİ giderim verimi % 73,22 ve renk analizinde 436, 525, 620 dalga boylarında sırasıyla %87,27, %87,73 ve %88,91 olarak bulunmuştur. Akım yoğunluğu çalışmasında 0,25 mA/cm²'de KOİ giderim verimi %56,33 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %88,86, %92,26 ve 91,75 olarak bulunmuştur. Reaksiyon süresi çalışmasında 15 dakikada KOİ giderim verimi %76,75 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %87,72, %91,54 ve %92,02 olarak bulunmuştur.

Ozonlama prosesi için yapılan pH, ozon dozu ve reaksiyon çalışmalarında optimum koşullar belirlenmiştir. pH 9'da renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %60,68, %60,95 ve %76,35, KOİ için %86,85 olarak bulunmuştur. Ozon dozu 600 mg/L'de KOİ giderim verimi %86,92 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %72,15, %76,90 ve %90,27 olarak bulunmuştur. Reaksiyon süresi 40 dakikada KOİ giderim verimi %90,46 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %94,88, %97,50 ve %98,91 olarak bulunmuştur.

Elektrokoagülasyon-Ozonlama prosesi için yapılan pH, akım yoğunluğu, ozon dozu ve reaksiyon süresi çalışmalarında optimum koşullar belirlenmiştir. pH 9 'da renk

analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %81,93, %85,71 ve 95,54, KOİ için %82,35 olarak bulunmuştur. Akım yoğunluğu çalışmasında 0,25 mA/cm² de KOİ için giderim verimi %74,39 33 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %82,15, %85,11 ve %94,59 olarak bulunmuştur. Ozon dozu 600 mg/L'de KOİ giderim verimi %70,10 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %82,50, %85,83 ve 95,67 olarak bulunmuştur. Reaksiyon süresi 15 dakikada KOİ giderim verimi %87,88 renk analizinde 436, 525, 630 dalga boyları için sırasıyla %96,70, %98,45 ve %99,18 olarak bulunmuştur.

Yapılan analizler sonucunda elektrokoagülasyon prosesiyle tek başına yeterli verim elde edilmediği, ozon prosesinde reaksiyon süresinin uzun olduğu görülmüştür. Elektrokoagülasyon ve ozonlamanın birlikte kullanılmasının bu proseslerin tek olarak kullanılmasına kıyasla hem giderim verimini arttırdığı hem de reaksiyon süresini kısalttığı gözlemlenebilmektedir. Sonuç olarak çevre için çok zararlı olan tekstil atıksularının çeşitlenerek artması göz önüne alındığında hibrit proseslerle tekstil atıksuyu arıtımı için umut veren arıtım sonuçlar elde edilebileceği görülebilmektedir. Bu konuda farklı boyar maddelerin değişik hibrit çalışmalarla verimliliğinin araştırılması bilime katkı verecektir.

KAYNAKLAR

- [1] WHO (World Health Organization), Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture, Report of a WHO Scientific Group, WHO Technical Report Series, 778, Geneva, 1989.
- [2] TNAY, O., Endüstriyel Kirlenme Kontrol, İ.T.. Yayınları, İstanbul, 1996.
- [3] Wahaab, R. A., & Alseroury, F. A., Wastewater treatment: a case study of electronics manufacturing industry. International Journal of Environmental Science and Technology, 16(1), 47-58, 2019.
- [4] Kaykiođlu, G., and Debik, E., Color removal from textile wastewater with anaerobic treatment processes. Sigma, 4; 59-68, 2006.
- [5] Kocaer O., Alkan U., Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7, 1, 2002.
- [6] Daneshvar, N., Khataee, A.R, Djafarzadeh, N., The Use of Artificial Neural Networks (ANN) for Modeling of Decolorization of Textile Dye Solution containing C.I. Basic yellow 28 by Electrocoagulation Process, Journal of Hazardous Materials, B137, 1788-1795, 2006.
- [7] Mesut, U., Tekstil Atıksuyunda Kimyasal Renk Giderim Yöntemleri., Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [8] Shokri, A., & Fard, M.S., A critical review in electrocoagulation technology applied for oil removal in industrial wastewater. Chemosphere, 288, 132355., 2002.
- [9] Germirli, F., Tünay, O., Orhon D., Overview of the textile industry in Turkey- Pollution profiles and treatability characteristics, International Symposium on waster management problems in AGRO, 22(9), 265-274, Industries, Istanbul-Turkey 25-27, 1989.

- [10] Eremektar, G., Germirli, T., Babuna, F., Çeki, S., Tünay, O., Tekstil Endüstrisi Atıksularında İnert KOİ-Örnek Uygulama; Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi,7(2), 35 31, 1997.
- [11] Sangyong, K., Chulhwan P., Tak-Hyun, K., Jınwon, L., Seungwook, K., COD reduction and decolorization of textile effluent using a combined process, Journal of Bioscience and Bioengineering, 1, 102-105, 2003.
- [12] Karapınar, K., Kargı, F., Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 2000.
- [13] Öztürk H., Gerçek Tekstil Atıksularının Fotokimyasal Proseslerle Arıtımı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- [14] Welham, A., The theory of dyeing (and the secret of life). J. Soc. Dyers Colour., 140-143, 2000.
- [15] Phalakornkule, C., Polgumhang, S., Tongdaung, W., Karakat, B., Nuyut, T., Electrocoagulation of Blue Reactive, Red Disperse And Mixed Dyes, and Application in Treating Textile Effluent. Journal of Environmental Management, 918–926, 2010.
- [16] Özdemir, Ö., Modifiye edilmiş zeolit yataklı reaktörde tekstil endüstrisi boyahane atıksularından renk gideriminin araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2007.
- [17] Başer, İ., ve İnancı, Y. (1990). Boyarmadde Kimyası. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayın 482 (2), 207, 1990.
- [18] Dikmen, F., Tekstil Atıksularında Ozonla Renk Giderimi Üzerine Bir Çalışma. İstanbul: İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1990.
- [19] Boysan, F., Poliüre-Poliamin Reçinesi Kullanılarak Atıksulardaki Ağır Metal Kirliliğinin Adsorpsiyonla Gideriminin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2008.
- [20] Doğan, M., Sulu Ortamda Perlitin Yüzey Yükünün ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.

- [21] Robson, M.C. ve Rice, R.G., Wastewater ozonation in the U.S.A.- History and current status-1989, *Ozone: Science & Engineering*, 13(1); 23-40, 1991.
- [22] Horvath, M., Bilitzky L., Huttner J., *Ozone*, Elsevier Science Publishers, 1985.
- [23] Mesut, U., *Tekstil Atıksuyunda Kimyasal Renk Giderim Yöntemleri*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [24] Ölmez, T., Kabdağlı, I., Tünay, O., *Tekstil Endüstrisi Reaktif Boya Banyolarında Ozon ile Renk Giderimine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi*, SKKD, Cilt 13, Sayı 1, Sayfa 19 – 24, 2003.
- [25] Arslan, İ. ve Balcıoğlu İ. A., Degradation of commercial reactive dyestuffs by heterogeneous and homogenous advanced oxidation processes: a comparative study. *Dyes Pigments*, 43: 95-108, 1999.
- [26] Eren, H.A. ve Anış, P., *Tekstil boyama atık sularının ozonlama ile renk giderimi*. Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11(1); 83-91, 2006.
- [27] Kiang, Y. ve Metry A. A., *Hazardous waste processing technology*, Butterworth Publisher, 1982.
- [28] Mollah, M., Schennach, R., Torres, J. R., and Cocke, D., Electrocoagulation (EC) — science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 29-41, 2001.
- [29] Kobya, M., Can, O.T. ve Bayramoğlu M., Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes, *Journal of Hazardous Materials*, B100:163–178, 2003.
- [30] Zhang, F., Yang, C., Zhu, H., Li, Y., Gui, W., An integrated prediction model of heavy metal ion concentration for iron electrocoagulation process, *Chemical Engineering Journal*, p. 123628, 2019.
- [31] Reilly, M., Cooley, A. P., Tito, D., Tassou, S. A., and Theodorou, M. K., Electrocoagulation treatment of dairy processing and slaughterhouse wastewaters, *Energy Procedia*, 161, pp. 343–351, 2019.
- [32] Chen, G., *Electrochemical technologies in wastewater treatment*. Separation and Purification Technology, 38, 11-41, (2004).

- [33] Mollah, M. Y., Morkovsky, P., Gomes, J. A., Kesmez, M., Parga, J., and Cocke, D. L., Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, 199-210, 2004.
- [34] M.J. Bashir, J.H. Lim, S.S. Abu Amr, L.P. Wong, Y.L. Sim, Post treatment of palm oil mill effluent using electro-coagulation-peroxidation (ECP) technique, *J. Clean. Prod.* 208, 716–727, 2019.
- [35] Deveci E.Ü., Akarsu C., Gönen Ç., Özay Y., Enhancing treatability of tannery wastewater by integrated process of electrocoagulation and fungal via using RSM in an economic perspective, *Process. Biochem.*, 84, 124–133, 2019.
- [36] Tahreen A., Jami S.M., Ali F., Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review, *J. Water Proc.* 37, 2020.
- [37] Kobya, M., Demirbas, E., Can, O. T., Bayramoglu, M., Treatment of levafix orange textile dye solution by electrocoagulation. *Journal of hazardous materials*, 132(2-3), 183-188, 2006.
- [38] Koyuncu, İ., & Afşar, H., Decomposition of dyes in the textile wastewater with ozone. *Journal of Environmental Science and Health. Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology*, 31(5), 1996.
- [39] Sevimli, M. F., Sarikaya, H. Z., Ozone treatment of textile effluents and dyes: effect of applied ozone dose, pH and dye concentration. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 77(7), 842-850, 2002.
- [40] Shriram, B., Kanmani S., Ozonation of textile dyeing wastewater-a review, *Centre for Environmental Studies, Anna University* 15, 46-50, 2014.
- [41] Bahadır E. B., *Tekstil Endüstrisi Arıtılmış Atıksularda Renk ve Öncelikli Kirleticilerin Ozon Teknolojisi ile Gideriminin Araştırılması*, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [42] Behin, J., Farhadian, N., Ahmadi, M., Parvizi, M., Ozone assisted electrocoagulation in a rectangular internal-loop airlift reactor: Application to decolorization of acid dye. *Journal of water process engineering*, 8, 171-178, 2015.

- [43] Song, Shuang, et al. "Effect of operational parameters on the decolorization of CI Reactive Blue 19 in aqueous solution by ozone-enhanced electrocoagulation." *Journal of hazardous materials* 152.1, 204-210, 2008.
- [44] Bilińska, L., Blus, K., Gmurek, M., Ledakowicz, S., Coupling of electrocoagulation and ozone treatment for textile wastewater reuse. *Chemical Engineering Journal*, 358, 992-1001, 2019.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet MURAT

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği	2015
Lise	Füsun Yönder Lisesi	2010

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. BOYSAN FÜSUN, ÖZER ÇİĞDEM, HAS MUHAMMED, MURAT MEHMET (2015). Project on Solid Waste Recycling Plant in Sakarya University Campus. Procedia Earth and Planetary Science, 15, 590-595., Doi: 10.1016/j.proeps.2015.08.108
2. MURAT MEHMET, BOYSAN FÜSUN, TANATTI NAZİRE PINAR, HAS MUHAMMED (2022). pH Study Of Textile Waste Water With Ozone, Electrocoagulation And Ozone-Electrocoagulation Methods. 7th International Zeugma Conference On Scientific Research (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)