

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTROKOAGÜLASYON YÖNTEMİ  
KULLANILARAK ATIKSULARDAN BOYARMADDE  
GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bediha OYAR**

**Enstitü Anabilim Dalı** : **ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı** : **Dr. Öğr. Üyesi Beytullah EREN**  
**Ortak Danışman** : **Prof. Dr. Abdil ÖZDEMİR**

**Haziran 2020**

## 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.

Bediha OYAR

27.12.2019

## **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 Dr. Öğr. Üyesi Beytullah EREN'e ve eş danışmanım Prof. Dr. Abdil ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY .....	viii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

### BÖLÜM 2.

KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Tekstil Endüstrisi ve Atıksuları.....	3
2.2. Boyarmaddeler .....	4
2.2.1. Boyarmaddelerin sınıflandırılması.....	5
2.2.2. Boyarmaddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması ....	5
2.2.3. Boyarmaddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması ..	6
2.2.4. Boyarmaddelerin çözünürlük özelliklerine göre sınıflandırılması .....	6
2.3. Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtılması .....	7
2.4. Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Atıksulardan Boyarmadde Giderimi	9

### BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM .....	13
3.1. Deneysel Malzemeler .....	13

3.2. Yöntem .....	15
3.2.1. Deney düzeneğinin tasarımı .....	15
3.2.2. Hesaplamalarda kullanılan denklemler .....	17
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI .....	19
4.1. Elektroliz Süresinin Boyarmadde Giderim Verimine Etkisi.....	19
4.2. pH'ın Boyarmadde Giderim Verimine Etkisi .....	21
4.3. Elektrolit Miktarının Boyarmadde Giderim Verimine Etkisi.....	23
4.4. Akım Yoğunluğunun Boyarmadde Giderim Verimine Etkisi.....	25
4.5. Başlangıç Konsantrasyonunun Boyarmadde Giderim Verimine Etkisi	27
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ .....	29
KAYNAKLAR .....	31
ÖZGEÇMİŞ .....	37

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Amper
AR114	: Asit Red 114
AV109	: Asit Viyolet 109
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
EC	: Elektrokoagülasyon
G	: Gram
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	: Litre
MG	: Miligram
RB5	: Reaktif Black 5
UV	: Ultraviyole

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Boyarmadde içeren atıksuların sektörel dağılımı .....	7
Şekil 2.2. Tekstil atıksularında işlem basamağına göre atıksu oluşum miktarı(%)	8
Şekil 2.3. Atıksulardan Boyarmadde Giderilminde Kullanılan Metotlar .....	9
Şekil 3.1. Asit Red 114 kimyasal bağ yapısı.....	14
Şekil 3.2. Asit Violet 109 kimyasal bağ yapısı .....	14
Şekil 3.3. Reaktif Black 5 kimyasal bağ yapısı.....	15
Şekil 3.4. Elektrokoagülasyon Deney Düzenegi.....	16
Şekil 3.5. Elektrokoagülasyon Mekanizması .....	16
Şekil 4.1. Elektroliz süresinin boyarmadde giderim verimine etkisi .....	20
Şekil 4.2. Elektroliz Süresi,Enerji Tüketimi ve Boyarmadde Giderim Verimi İlişkisi .....	21
Şekil 4.3. Elektrokoagülasyon başlangıç pH değerlerinin elektrokoagülasyon süresi sonundaki değeri .....	22
Şekil 4.4. pH,Enerji Tüketimi ve boyarmadde Giderim Verimi İlişkisi .....	23
Şekil 4.5. Elektrolit miktarı, Enerji tüketimi ve boyarmadde giderim verimi ilişkisi .....	24
Şekil 4.6. Enerji Tüketimi, Boyarmadde Konsantrasyonu ve Boyarmadde Giderim Verimi İlişkisi .....	28

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Tekstil boyamacılığında kullanılan boyar maddelerin genel özellikleri	4
Tablo 2.2. Elektrokoagülasyon metodunun avantaj ve dez avantajları.....	12
Tablo 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Boyarmaddelerin Kalibrasyon Eğrileri ve UV Spektrumları .....	13
Tablo 4.1. Elektroliz süresine bağlı analiz sonuçları .....	20
Tablo 4.2. pH parametresine bağlı analiz sonuçları .....	22
Tablo 4.3. Elektrolit miktarına bağlı analiz sonuçları .....	24
Tablo 4.4. Akım yoğunluğuna bağlı analiz sonuçları .....	25
Tablo 4.5. Farklı akım yoğunlukları uylulanan atık sularda enerji tüketimi ve boyarmadde giderim verimi ilişkisi .....	26
Tablo 4.6. Başlangıç boyarmadde konsantrasyonuna bağlı analiz sonuçları.....	27



## ÖZET

Anahtar kelimeler: Tekstil endüstrisi atıksuları, boyarmadde, elektrokoagülasyon

Teknolojinin ve endüstrinin gelişmesiyle orantılı olarak su tüketimi ve atıksu üretiminde artmaktadır. Bu sektörde önemli bir yeri olan Tekstil endüstrisinin üretim aşamaları boyunca farklı işlemlere maruz kalan su çeşitli kirleticiler içermektedir. Bu kirleticilerin başında boyarmaddeler bulunmaktadır. Boyarmaddeler atıksularda renk problemi oluşturur ve estetik açıdan hoş karşılanmazlar. Bu sebeple atıksulardan boyarmadde gideriminde fiziksel, kimyasal, biyolojik olmak üzere pek çok arıtım metodu kullanılmakta ve çevre dostu teknolojiler araştırılmaktadır. Elektrokoagülasyon yöntemi atıksulardan boyarmadde gideriminde yüksek verimle çalışan ve az miktarda arıtma çamuru üretmesi, kimyasallara ihtiyaç duymaması, sisteme kolay uyum sağlayabilmesi gibi pek çok nedenden dolayı çevre dostu bir teknolojidir.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında hazırlanan ve 3 farklı boyarmadde(Asit Red 114(AR114), Asit Viyolet 109(AV109), Reaktif Black 5(RB5)) içeren atıksu elektrokoagülasyon yöntemi kullanılarak arıtılmıştır. Elektrokoagülasyon verimine etki eden elektroliz süresi, pH, elektrolit miktarı, akım yoğunluğu, başlangıç konsantrasyonu incelenmiş ve optimum şartlar belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda 100 ppm boya konsantrasyonunda pH ve elektrolit miktarı ayarlaması yapılmadan gerçekleştirilen deneyde 14 dakika sonunda %89 boyarmadde giderim verimine ulaşılmıştır. pH'ın 2, 4, 6, 8, 10, 12 ayarlandığı her bir deneyde 14 dakikada sırasıyla %32, %95, %90, %93, %81, %46 boyarmadde giderim verimi elde edilmiştir. Elektrolit miktarının 0,34-2 g/L ayarlandığı deneylerde elde edilen boyarmadde giderim verimi sırasıyla %83, %86, %88, %87, %91, %89 olmuştur. Akım yoğunluğu 4,7 mA/cm<sup>2</sup>-37,4 mA/cm<sup>2</sup> aralığında ayarlandığı deney koşullarında elde edilen boyarmadde giderim verimi %52-98 arasında değişmiştir ve kirletici konsantrasyonu 25-200 mg/L aralığında ayarlanan deney koşullarında %37-94 aralığında boyarmadde giderim verimi elde edilmiştir.

# INVESTIGATION OF DYE REMOVAL FROM WASTEWATER USING ELECTROCOAGULATION METHOD

## SUMMARY

Keywords: Wastewater of textile industry, dye, electrocoagulation process

With the development of technology and industry, water consumption and wastewater production increase in proportion. The water, which is exposed to different processes during the production stages of the textile industry, which has an important place in this sector, contains various pollutants. There are dyes at the head of these pollutants. Dyes create color problems in wastewater and are not aesthetically pleasing. For this reason, many methods such as physical, chemical and biological treatment are used in the removal of dye from wastewater and environmentally friendly technologies are improved. Electrocoagulation method is an environmentally friendly technology for many reasons such as producing high amount of treatment sludge, not requiring chemicals, easy adaptability to the system, which works with high efficiency in removing paint from wastewater.

In this study, wastewater prepared in a laboratory environment and containing 3 different dyes (Acid Red 114, Acid Violet 10, Reactive Black 5) was treated using electrocoagulation method. Electrolysis time, pH, electrolyte amount, current density, initial concentration that affect the electrocoagulation efficiency were examined and optimum conditions were determined. As a result of the experimental study, in the experiment performed without adjusting the pH and electrolyte amount at 100 ppm dye concentration, 89% dye removal efficiency was achieved after 14 minutes. In each experiment where the pH was adjusted 2, 4, 6, 8, 10, 12, 32%, 95%, 90%, 93%, 81%, 46% dye removal efficiency was obtained, respectively. The dye removal efficiency obtained in experiments where the amount of electrolyte was set as 0,34 g/L, 0,66 g/L, 1 g/L, 1,33 g/L, 1,66 g/L, 2 g/L was 83%, 86%, 88%, 87%, 91%, 89%, respectively. The dye removal efficiency obtained in the experimental conditions, where the current density was set in the range of 4.86 mA / cm<sup>2</sup>-38.87 mA / cm<sup>2</sup>, varied between 52-98%, and in the experimental conditions set in the range of 25-200 mg/L, the removal efficiency was 37-94%.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Su insanoğlu ve diğer tüm canlı hayat için en temel ihtiyaçlardan biridir. Temiz suya kolay erişim sağlıklı bir hayatın devamlılığı için kritik bir etkidir. Ancak, nüfusun artması ile birlikte yıllık küresel su talebi artış göstermiş ve suyun kullanımını sonucu oluşan atıksuyun mevcut su kaynaklarına karışması temiz su kaynaklarını tehlikeye atmaktadır. Araştırmacılar, küresel ısınmadan kaynaklanan sıcaklık artışı ve hidrolojik döngüdeki olumsuz değişiklikler gibi iklim değişikliklerinin su kaynaklarının kirlenmesinin, sel oluşumunu, şiddetli kuraklıkları ve doğal çevreyi olumsuz yönde etkileyen zehirli kimyasal kirlenmenin artacağı tahmininde bulunmaktadır. Kirlenmiş su kaynaklarının kullanımı, sulama yoluyla bitkilere geçen patojenlere ve zehirli kimyasallara maruziyet veya kirli suyun eğlence amaçlı kullanılması gibi pek çok durum insanoğlu için büyük bir sağlık riski oluşturmaktadır. Genellikle dünya nüfusunun çoğunluğu temiz suya erişimi olmadığından ve kirli suyu doğrudan tükettiği için insan sağlığı olumsuz yönde etkilenmektedir [1]. Dolayısı ile mevcut su kaynaklarının temiz kalması ve insanların içilebilir nitelikte temiz suya kolay erişiminin sağlanması sağlık açısından büyük önem arz etmektedir. Evsel yada endüstriyel amaçla su kullanımı sonucunda oluşan atıksuların temiz su kaynaklarının korunması, insan ve canlı sağlığı açısından ilgili mevzuatlar çerçevesinde istenen kirletici sınır değerlerine indirilerek alıcı ortamlara verilmesi gerekmektedir. Endüstriyel atıksular tarım sektöründe pestisit ve gübre kullanımından, farmakolojik kalıntılardan, evsel katı atık depolama tesislerinin sızıntı sularında ve sanayi tesislerinin endüstriyel deşarjları gibi pek çok sektörden kaynaklanmaktadır [2]. Son yıllarda endüstrinin hızlı bir şekilde gelişmesinden dolayı su kaynaklarının kirliliği büyük bir sorun haline gelmiştir [3]. Endüstrinin gelişmesi ve ekonomik küreselleşme ile çeşitli endüstrilerden çevreye deşarj edilen atıksular küresel çevre sorunu olarak görülmektedir [4]. Endüstriyel atıksuların karakteristiği kullanıldığı endüstrinin türüne ve üretim basamakları boyunca suya uygulanan işlemlerin çeşitliliğine göre farklılık

göstermektedir. Sektör bazında incelendiğinde metal kaplama ve madencilik endüstrisinden kaynaklanan ağır metal, tekstil, kâğıt, kauçuk, plastik ve deri endüstrilerinden kaynaklanan boya, gıda endüstrisinden kaynaklanan kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve renk, selüloz ve kâğıt işleme endüstrilerinden kaynaklanan doğal organik maddeler endüstriyel atıksuların içeriğinde bulunan önemli kirleticilerdendir [5–7]. Tekstil endüstrisi, toplam endüstriyel su kirliliğinin %20'sini oluşturmakta ve dünyada hızla büyüyen ve içeriğindeki yüksek orandaki renk, askıda katı madde, KOİ, pH vb. parametrelerden dolayı büyük hacimlerde toksik atıksu üreten bir endüstri olarak bilinmektedir [8–13]. Dolayısıyla büyük hacimlerdeki bu tekstil atıksularının çevreye deşarj edilmesi sucul bölgenin fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliklerinin değişmesine, insan sağlığının, hayvanlarının ve diğer biyoçeşitliliğın zarar görmesine neden olmaktadır [14,15]. Tekstil atıksuları çevre için mutajenik, kanserojenik toksik olmak üzere ciddi olumsuz etkilere sahiptir. Litertürde tekstil atıksularının baş ağrısı, bulantı, cilt tahriş ve akciğer sorunları gibi insan sağlığına olumsuz etkileri olabileceği bildirilmektedir [16].

Tekstil atıksuları ekolojik çevreye olan zararından dolayı mevzuatlarla belli deşarj standartlarına tabii tutulmaktadır. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği Tablo 10.2.'de Tekstil sanayii(Dokunmuş kumaş terbiyesi ve benzeri) atık suları sınır değerleri belirtilmiştir. Mevzuatların sınır değerlerinin sağlanması ve bu atıksuların arıtılması, tekrar kullanılması amacıyla adsorpsiyon, iyon değiştirme, membran filtrasyon, elektrokoagülasyon, aerobik ve anaerobik işlemler gibi pek çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler uygulanmaktadır [13].

Bu çalışmada tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Asit red 114 (AR114), Asit viyole 109 (AV109), Reaktif black 5 (RB5) boyarmaddelerinin elektrokoagülasyon yöntemi ile atıksulardan arıtımı araştırılmıştır. Elektrokoagülasyon işlemi uygulanan atıksu labaratuvar ortamında üç farklı boyarmadde karıştırılarak elde edilmiş ve giderim verimine etkisi olan elektroliz süresi, pH, elektrolit miktarı, akım yoğunluğu, başlangıç konsantrasyonu parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

## **BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Tekstil Endüstrisi ve Atıksuları**

Tekstil endüstrisi uzun yıllardır sektörde var olan, ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişmelerinde etkili bir rol üstlenen önemli bir endüstridir. Bu endüstri dünyada en çok atıksu üreten endüstrilerden biri olarak bilinmekte ve üretim aşamaları boyunca karmaşık işlemler içermesi sebebiyle oluşan atıksuyun kirlilik yüküde oldukça fazladır. Tekstil endüstrisi kendi içerisinde çok sayıda alt sektöre sahip olduğu için oluşan atıksudaki kirleticilerin karakteristiği geniş bir yelpazeye sahiptir [17–19]. Tekstil endüstrisi atıksuları başlıca boyama ve son işlem basamaklarından kaynaklanmaktadır [3,17]. Boyama ve son işlem tekstil endüstrisinde uygulanan önemli iki basamaktır. Bu iki işlem oluşan atıksuyun çoğundan sorumludur ve bu işlemler sırasında kullanılan boyarmaddenin yaklaşık olarak % 1-15'inin atıksulara karıştığı tahmin edilmektedir [20]. Oluşan atıksu içeriğinde işlem basamağına göre sentetik boyarmaddeler, pigmentler, biyosidler, yağlar, ağır metaller, tuz, nütrientler ve organik bileşenler içermektedir. Bu da atıksuyun yüksek oranda KOİ, sıcaklık, renk, değişken pH, askıda katı ve organik klor gibi pekçok parametre ile karakterize edilmesine sebep olmaktadır [8,9,15,18,21–23].

Oluşan atıksu içeriğinde bulunan kirleticilerin çeşitliliğinden dolayı bu atıksular ilgili mevzuatlarda belirtilen deşarj standartlarına uygun olarak arıtılmalı ve alıcı ortama deşarj edilmelidir [17]. Bu atıksulardan kirletici gideriminde geleneksel arıtım metotları kullanılmış ancak yetersiz kaldığı görülmüştür [24]. Bu sebeple kirlilik yükü çeşitlilik gösteren tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında adsorbsiyon, membran filtrasyon, ozonizasyon, koagülasyon, elektrokoagülasyon, filtrasyon, biyolojik bozunma gibi pekçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır [2,25–28].

## 2.2. Boyarmaddeler

Boyarmaddeler, uygulandığı substrat için afinitesi olan renkli bir madde olarak tanımlanabilir. Boyarmaddeler spektrumun görünür aralığında ışığı belli bir dalga boyunda absorbladığı için renkli bir görünümündedir. Boyarmadde bir iyonize olmuş aromatik bir organik bileşendir. Boyarmaddeler plastik oyuncaklar, giysiler, yiccekler ve ahşaplar gibi pek çok üründe kullanılmabildikleri gibi genellikle sulu çözeltilere uygulanmaktadırlar. Boyarmaddeler delokalize elektron sistemine sahip aril halkalı yapılardır. Bu yapıların elektron bulutlarının enerjisine bağlı olarak değişen dalga boylarına sahip elektromanyetik radyasyonun emilmesinden sorumlu olduğu bilinmektedir.

Antik çağlarda boyarmaddeler doğal kaynaklardan elde edilmekteydi. Doğal renklendirici maddeler başlıca inorganik kökeni olan killer, mineraller ve metal tuzları veya hayvan ve bitki kaynaklı olan organik kökenli maddelerdi. Bunlara ek olarak likenler böcekler ve kabuklu deniz ürünleri de boya üretiminde kullanılmaktaydı.

Boyarmaddeler farklı kimyasal özellikleri ve bağ yapılarına göre sınıflandırılabilirler. Bazı boyarmaddeler kimyasal reaksiyona girip ve güçlü bağlar oluştururken bazıları ise fiziksel güçlerle bir aradadır. Tekstil boyamacılığında kullanılan boyarmaddelerin genel özellikleri Tablo 2.1.'de sunulmuştur.

Tablo 2.1. Tekstil boyamacılığında kullanılan boyar maddelerin genel özellikleri [29]

Boyar- madde	Karakteristik	Lif	% Fikse Oranı	Tipik kirleticiler
Asidik	Suda çözünebilir anyonik bileşikler	Poliamid, yün	80-93	Renk, organik asitler
Bazik	Suda çözülebilir, parlak renkli	Akrilik. bazı poliestherler	97-98	Renk
Direkt	Suda çözülebilir anyonik bileşikler	Selüloz, rayon	70-95	Renk, katyonik fiksator, yüzeyaktif madde, köpük kırıcı, egalizator
Dispers	Suda çözülmez	Poliester. asetat diğer sentetikler	80-92	Renk, organik asitler, keriyer, egalizator, köpük kırıcı, dispersator
Reaktif	Suda çözülebilir anyonik bileşikler, en geniş sınıf	Selüloz ve türevleri, yün	60-90	Renk, tuz, alkali, köpük kına ve yüzeyaktif maddeler
Kükürt	Kükürt içeren organik bileşikler	Selüloz ve türevleri	60-70	Renk, alkali, oksidatif ve redüktif maddeler
Küp	Suda çözünmez, kompleks yapılar	Selüloz ve türevleri	80-95	Renk, alkali, oksidatif ve redüktif maddeler

Tekstil endüstrisi farklı sınıflarda yer alan boyarmaddeleri kullanan büyük bir endüstridir. Örneğin; reaktif boyalar çoğunlukla pamuk ve ipek gibi doğal lifleri boyamak amacıyla kullanılırken yapının polyester gibi sentetik lif olma durumunda asidik ve bazik boyalar tercih edilmektedir. Direkt boyalar kağıt, deri ve rayon gibi ürünlerin boyanmasında kullanılmaktadır. Solvent boyalar mürekkep, plastik ve mineral yağlı ürünlerin boyanmasında tercih edilirken doğal boyalar ise başlıca yiyecek renklendirmek amacıyla kullanılmaktadır [2].

### **2.2.1. Boyarmaddelerin sınıflandırılması**

Boyarmaddeler genellikle rengi veren kromofor ve boyayı ipliğe bağlayan fonksiyonel grup olmak üzere iki ana bileşenden oluşan küçük moleküllerdir [30]. Boyalar genellikle onların kromofor yapıların göre sınıflandırılmaktadır. Kromofor grupları; nitro [R.NO<sub>2</sub>], nitrozo [-N<sub>2</sub>O], azo [-N=N-], karbonil [C=O], etilenik çifte bağ [-OC-], tiyokarbonil [-C=S] gibi çifte bağlı gruplardan oluşur [31]. Endüstriyel ölçekte tüketilen bu bileşiklerin çoğu azo (-N=N-) türevidir ancak antrakinin, indigo, trifenilmetil, ksaten, sulfur, ftalosiyanın de kullanılmaktadır [32].

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmaddeler kimyasal yapılarına, boyama özelliklerine ve çözünürlüklerine göre 3 ana guruba ayrılmaktadırlar [31].

- Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma
- Boyama özelliklerine göre sınıflandırma
- Suda çözünürlüklerine göre sınıflandırma

### **2.2.2. Boyarmaddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması**

Boyarmaddelerin kimyasal yapılarına göresınıflandırılmasında molekülün hem temel yapısı hem de kromojen ve renk verici özellikteki grupları esas alınabilmektedir [33].

- Azo boyarmaddeler
- Nitro ve Nitrozo boyarmaddeler

- Polimetin boyarmaddeler
- Arilmetin boyarmaddeler
- Aza(18) annulen boyarmaddeler
- Karbonil boyarmaddeler
- Kükürt boyarmaddeler

### **2.2.3. Boyarmaddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması**

Boyarmaddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılmasında genellikle boyarmaddenin kimyasal yapısı değil, onun hangi yöntemle elyafı boyayabildiği ön plandadır. Buna göre sınıflandırma aşağıdaki başlıklara göre yapılmaktadır [31].

- Direkt boyarmaddeler
- Küpe boyarmaddeler
- Kükürt boyarmaddeler
- Azoik boyarmaddeler
- Ingrain boyarmaddeler
- Oksidasyon boyarmaddeler
- Asit boyarmaddeler
- Bazik boyarmaddeler
- Mordan boyarmaddeler
- Krom boyarmaddeler
- Metal-kompleks boyarmaddeler
- Dispers boyarmaddeler
- Pigment boyarmaddeler
- Reaktif boyarmaddeler

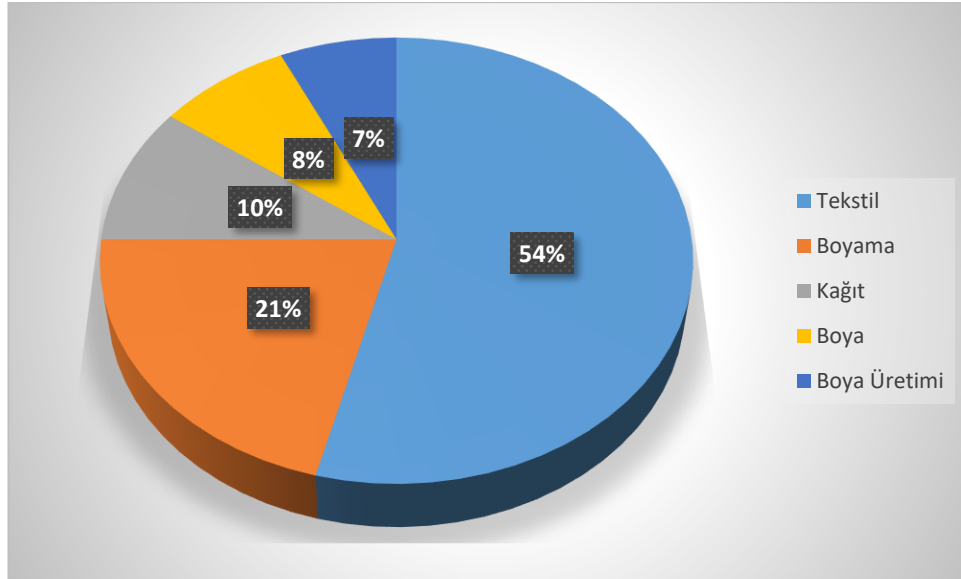
### **2.2.4. Boyarmaddelerin çözünürlük özelliklerine göre sınıflandırılması**

- Suda çözünen boyarmaddeler,
- Suda çözünmeyen boyarmaddeler [33].

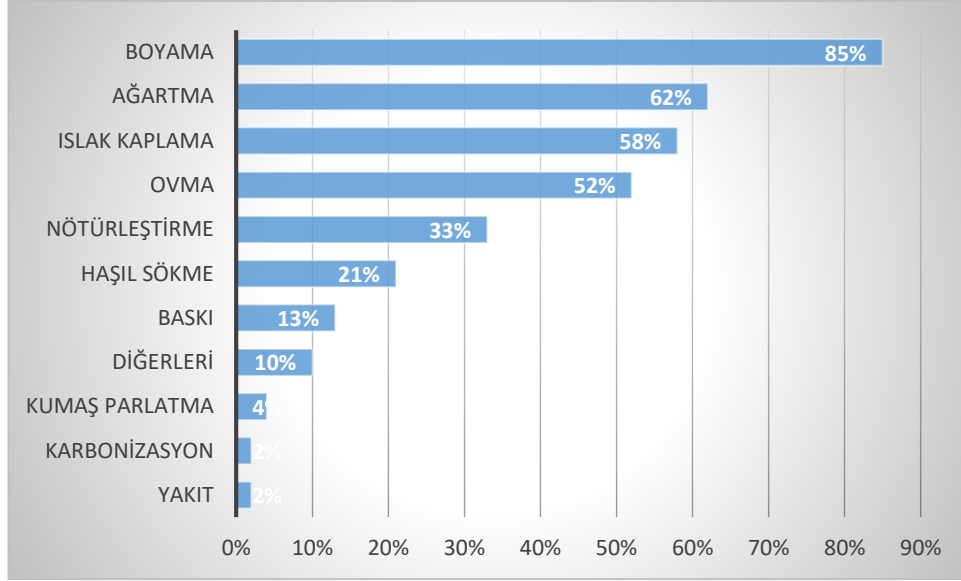


### 2.3. Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtılması

Tekstil, kâğıt, gıda ve bunlar gibi pek çok endüstri üretim aşamaları boyunca boyaları farklı amaçlarla kullanmaktadırlar. Ancak tekstil endüstrisi oluşan toplam atıksuyu miktarının yaklaşık olarak %54'ünden sorumludur [34]. Üretim sonrası ortaya çıkan atıksu ise maruz kaldığı işlemler sonrasında yüksek renk ve organik madde içermektedir. Yaklaşık 10000 farklı ticari boya ve pigment bulunmaktadır ve dünya çapında  $7 \times 10^5$  ton ve daha fazlası üretilmektedir. Yaklaşık olarak bu boyaların % 10-15'i boyama işlemleriyle atıksulara karıştığı tahmin edilmektedir.



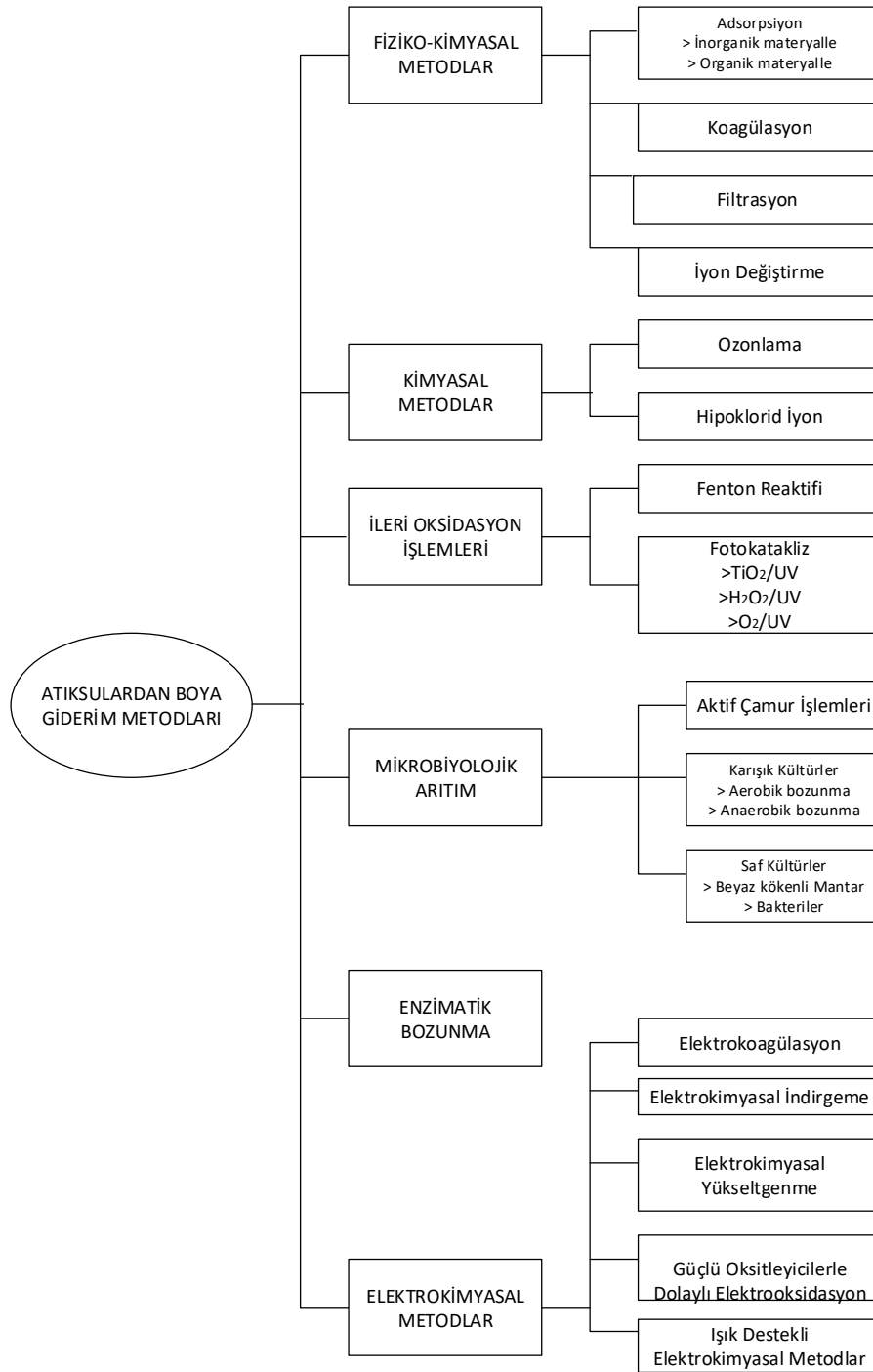
Şekil 2.1. Boyarmadde içeren atıksuların sektörel dağılımı [34]



Şekil 2.2. Tekstil atıksularında işlem basamağına göre atıksu oluşum miktarı (%) [34]

Aerobik bozunma esasına dayanan geleneksel atıksu arıtma tesislerinde gerçekleşen arıtma işlemi bazı boyarmaddelerin giderilmesi için yetersiz kalmaktadır. Yüksek oranda renk içeren atıksuların alıcı ortama deşarjı estetik açıdan hoş olmadığı gibi aynı zamanda ışığın suya nüfuz etmesini engelleyerek atıksuyun deşarj edildiği su kütleindeki biyolojik yaşam dengesini bozmaktadır. Bunlara ek olarak, birçok boyarmadde bazı organizmalar için zehirli etkiye sahiptir ve sulu ortamda direkt olarak tahribata sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı atıksulardan boyaların giderimi önem teşkil etmektedir [35].

Endüstriyel atıksuların arıtılması ve renk giderimi amacıyla birçok çalışmada kimyasal oksidasyon, çöktürme, elektroliz, biyobozunma, adsorbsiyon, kimyasal koagülasyon, fotokataliz, elektrokoagülasyon vb birçok metot uygulanmıştır [35–40]. Aşağıda Şekil 2.3.'de atıksulardan boyarmadde gideriminde kullanılan yöntemler özetlenmiştir.



Şekil 2.3. Atıksulardan Boyarmadde Giderilminde Kullanılan Metotlar [32]

## 2.4. Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Atıksulardan Boyarmadde Giderimi

Tekstil endüstrisi gelişmekte olan ülkelerin endüstrilerinde hayati bir rol oynamaktadır. Ancak atık tönemimi ve çevre sorunlarının oluşması bu endüstrinin

karşılaştığı problemler arasında yer almaktadır. Bu problemler atıksu arıtımının yetersiz kalması, temiz su kaynaklarının sınırlı olması ve geleneksel kimyasal, biyolojik arıtım sonucunda oluşan yüksek oranda toksik içerikli çamur oluşumundan kaynaklanmaktadır.

Günümüzde atıksu arıtımında kullanılan metotlar aşırı miktarda kimyasal madde kullanımına dayanmaktadır. Örneğin; kimyasal arıtımda kullanılan koagülantlar, flokülantlar ve aşırı miktarda alum, kireç ve demir tuzlarının kullanımı oluşan çamurun içeriğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu geleneksel işlemler düşük sermaye ve işletme maliyetlerinden dolayı mikro, küçük ve orta ölçekli işletmelerde uzun zamandır kullanılmaktadır. Ancak bu kimyasal arıtım işlemleri şok yüklemelere ve koagülant uygulamalarına dayanmaktadır. Ayrıca reaktif ve vat boyarmaddeleri bulduran atıksularda düşük renk giderim verimliliğine sahiptirler [41].

Aynı şekilde birçok boyarmadde yüksek konsantrasyonlarda biyolojik olarak bozunabilir olduğu için herhangi bir ön arıtım yapmadan biyolojik arıtım tekniklerinin uygulanması tekstil atıksuları için yetersiz kalmaktadır.

Elektrokoagülasyon işleminin basit tasarımı ve işletimi, elektroliz süresinin kısa olması, az miktarda arıtma çamuru üretmesi, düşük maliyette olması ve ek kimyasallara ihtiyaç duymaması onu alternatif bir arıtım metodu yapmakta ve geleneksel arıtım yöntemlerinden ayırmaktadır. Bu avantajlara ek olarak elektrokoagülasyon işlemi için gerekli olan alanın küçük olması onu tercih edilir bir metot haline getirir. Elektrokoagülasyon yöntemi ile arsenik, krom, bor, ağır metal, yüksek KOİ ve BOİ içeren atıksuların arıtılması amacıyla pekçok çalışma yapılmış ve yüksek verim elde edilmiştir [42–49].

Elektrokoagülasyon metodu incelendiğinde eş zamanlı olarak çalışan, çoklu kimyasal mekanizmaları içinde barındıran bir işlem olduğu görülmektedir [50]. Aşağıda verilen 1-8 denklemleri elektrokoagülasyon işleminde gerçekleşen reaksiyonları açıklamaktadır [51].

- Mekanizma 1: Anotta



- Çözeltide



- Katotta



- Nihai Reaksiyon



- Mekanizma 2: Anotta



- Çözeltide



- Katotta



- Nihai Reaksiyon



Elektrokoagülasyonda gerçekleşen 3 temel işlem:

1. Elektrotların yüzeyinde oluşan elektrolitik reaksiyonlar
2. Sıvı fazda metalik iyonların (koagülantların) oluşması
3. Çözülme eğiliminde olan kolloid kirleticilerin adsorpsiyon, sedimentasyon veya flotasyon ile giderilmesidir [52].

Elektrokoagülasyon sistemi belli bir kısmı arıtılması istenen atıksuya daldırılmış ve doğru akımla çalışan anot ve katot elektrotlardan oluşmaktadır. Bu elektrotlar sayı ve şekil bakımından farklılık gösterebilir. Ancak genellikle dikdörtgen şeklinde plakalar tercih edilmektedir [45]. Elektrot malzemesi olarak maliyetinin düşük olması, kolay ulaşılabilir olması ve zararlı etkilerinin olmamasından dolayı yaygın olarak demir ve alüminyum plaka tercih edilmektedir [45,53]. Elektrokoagülasyon işlemi kesikli sürekli akışlı veya sabit hacimli reaktörde gerçekleştirilebilir. Elektrolizin kullanım amacı metal anodun çözülerek atıksuya geçişini sağlamaktır. Böylece çözülen metal iyonları koagülant görevi görür [45]. Elektrokoagülasyon işleminde Fe elektrot kullanılması durumunda aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşir [50];

- Anot:



- Katot:



Tablo 2.2. Elektrokoagülasyon metodunun avantaj ve dezavantajları [45]

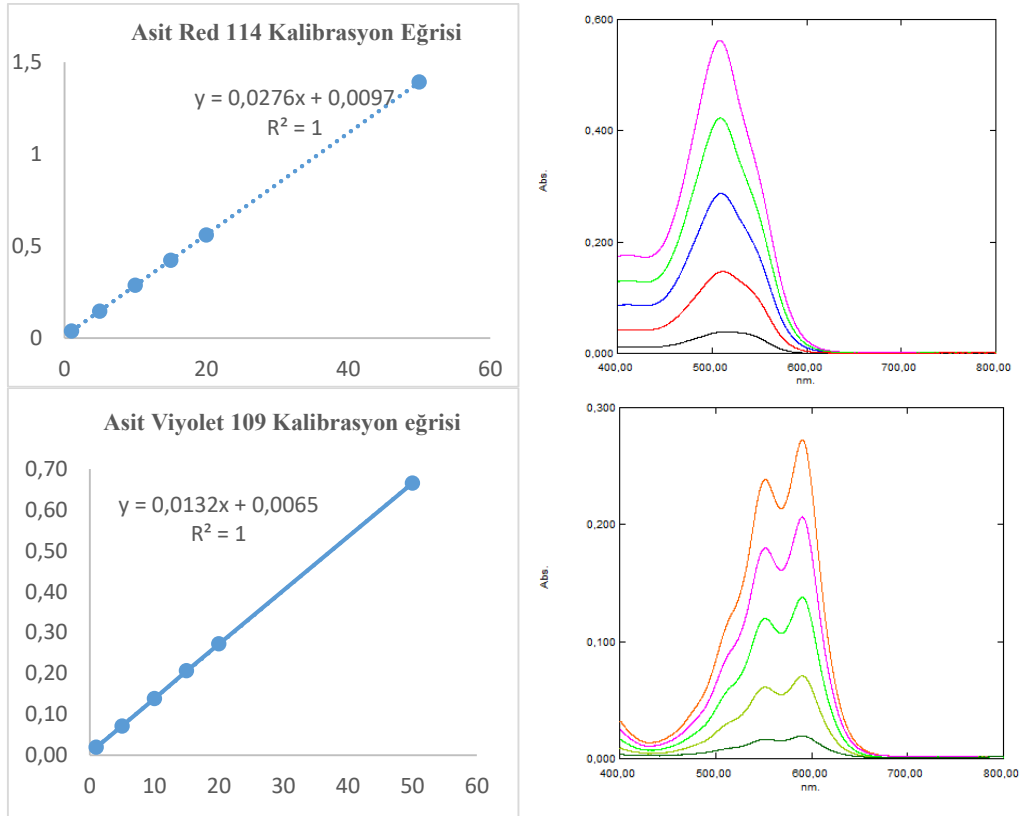
Avantajlar	Dezavantajlar
Enerji ihtiyacı düşüktür	Anot ve katotlar düzenli olarak değiştirilmelidir
Merkezi olmayan uygulamalar için kullanışlıdır	Güç kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır
Zararlı kimyasallara ihtiyaç duyulmaz	Plakalarda zamanla kayıplar mevcuttur
İkincil kirlenme riski düşüktür	İstenen kirletici giderim verimi elde edilemeyebilir
Yatırım ve işletim maliyeti düşüktür	
Aritma çamuru oluşumu azdır	
Pekçok kirletici için kullanılabilir	

## BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

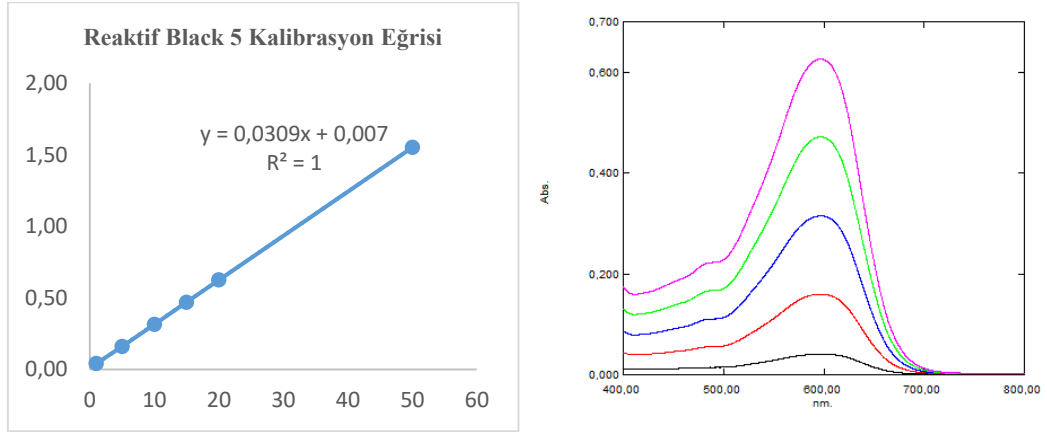
### 3.1. Deneysel Malzemeler

Elektrokoagülasyon yöntemi klanılarak atıksulardan boyarmadde gideriminin amaçlandığı bu çalışmada kullanılan Asit red 114(AR 114), Asit viyole 109(AV 109) ve Reaktif black 5(RB 5) boyarmaddeleri Aydın Örme San. ve Tic. A.Ş (Akyazı) firmasından temin edilmiştir. Labaratuvar ortamında hazırlanan boyalı atıksularda renk gideriminin ölçümünde UV spektrofotometre kullanılmıştır. Şekil 3.1.'de deneysel çalışmalarda kullanılan boyarmaddelerin kalibrasyon eğrileri ve UV spektrumları verilmiştir.

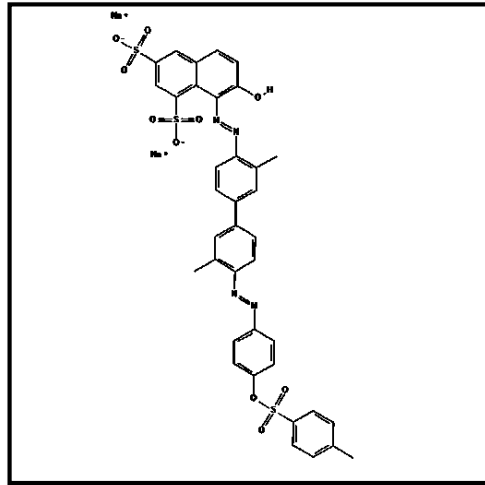
Tablo 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Boyarmaddelerin Kalibrasyon Eğrileri ve UV Spektrumları



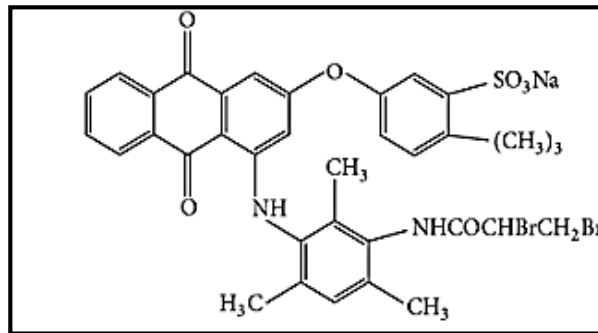
Tablo 3.1. (Devamı)



Asit red 114, Asit viyole 109 ve Reaktif Black 5 boyarmaddelerinin kimyasal bağ yapıları sırasıyla Şekil 3.1., Şekil 3.2., Şekil 3.3.'de gösterilmiştir.

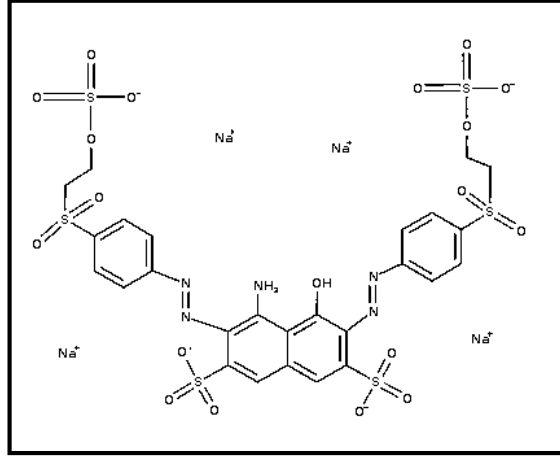


Şekil 3.1. Asit Red 114 kimyasal bağ yapısı



Şekil 3.2. Asit Violet 109 kimyasal bağ yapısı





Şekil 3.3. Reaktif Black 5 kimyasal bağ yapısı

### 3.2. Yöntem

Bu çalışmada atıksulardan boyarmadde giderimi için Elektrokoagülasyon metodu kullanılmıştır. Bu işlem için iki adet demir elektrot tercih edilmiştir. Elektroliz süresi, pH, elektrolit miktarı, akım yoğunluğu, başlangıç konsantrasyonunun renk giderimine etkileri incelenmiştir.

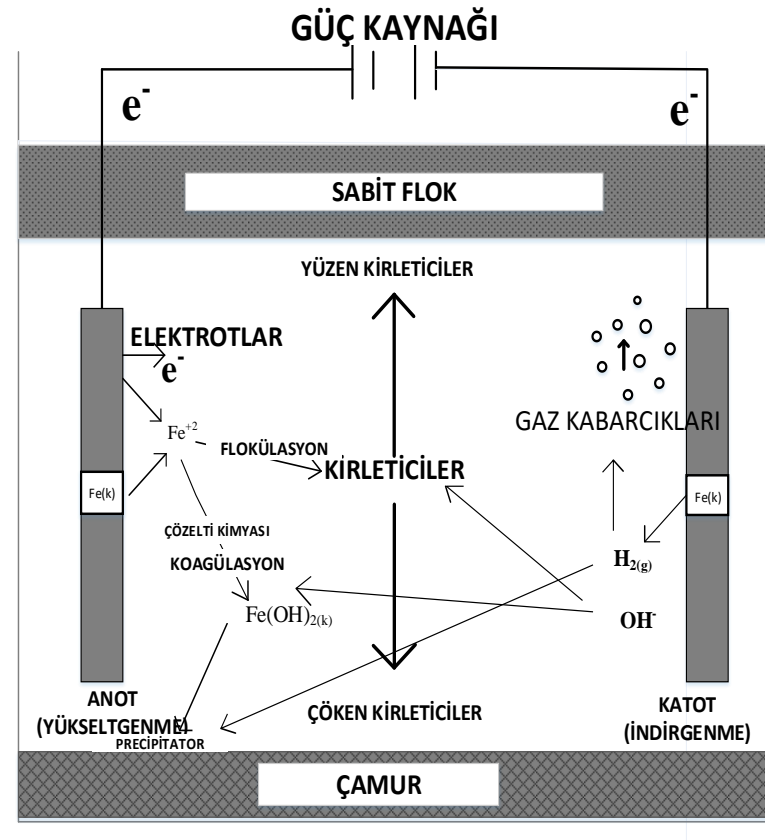
#### 3.2.1. Deney düzeneğinin tasarımı

Bu çalışma süresince yapılan bütün deneyler Şekil 3.4.'de gösterilen düzenekte yürütülmüştür. Elektrokoagülasyon deney düzeneğinde iki adet demir plaka tercih edilmiştir. Kullanılan demir plakaların aktif yüzey alanları  $10,9 \times 9,8 \text{ cm}^2$ 'dir. Plakalar arası mesafe 2 cm olarak ayarlanmıştır. Elektroliz süresi boyunca sürekli karışımın sağlanması amacı ile bir adet manyetik karıştırıcı, bir adet doğru akımlı güç kaynağı ve 2000 ml hacime sahip beher kullanılmıştır.

pH çalışmaları yürütülürken boyarmadde içeren atıksu pH'ının istenen değerde ayarlanması için NaOH ve HCl kimyasal çözeltileri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda elektrolit olarak NaCl kullanılmıştır. Zamana bağlı olarak alınan numuneler santrifüj edilip UV spektrofotometrede ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.5.'de elektrokoagülasyon mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Elektrokoagülasyon Deneş Düzenegİ



Şekil 3.5. Elektrokoagülasyon Mekanizması [54]

### 3.2.2. Hesaplamalarda kullanılan denklemler

Akım Yoğunluğu: Akım yoğunluğu aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$J = I/A \quad (3.1)$$

Burada;

J: akım yoğunluğu mA/cm<sup>2</sup>,

I: Akım şiddeti ,

A: Aktif anot yüzey alanı, cm<sup>2</sup> dir.

Enerji Tüketimi: Enerji tüketimi proses sonuna kadar harcanan elektriğin güç birimi watt cinsinden hesaplamasıdır. Enerji tüketimi denklem 3.2'de gösterilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E = V \times I \times t \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

V: potansiyel fark (volt)

I: Devreden geçen akım (amper)

t: Proses süresi (saat) olarak verilmektedir.

Arıtma verimi (%R): Deneyin başlangıcında atıksudaki boyarmadde konsantrasyon ile arıtma sonundaki boyarmadde konsantrasyon arasındaki ilişkidir.

$$R = \frac{c_0 - c}{c_0} \times 100 \quad (3.3)$$

Buna göre;

R: Boyarmadde giderim verimi, %

$C_0$ : Boyarmadde başlangıç konsantrasyonu, mg/L

C: Boyarmadde bitiş konsantrasyonu, mg/L

## **BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI**

Bu tez çalışması kapsamında asit red 114(AR 114), asit viyoleto 109(AV 109), reaktif black 5(RB 5) boyarmaddeleri ile labaratuvar ortamında hazırlanan atıksudan elektrokoagülasyon yöntemi ile renk giderimi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda elektroliz süresi, pH, elektrolit miktarı, akım yoğunluğu ve boyarmadde konsantrasyonunun renk giderim verimine etkileri araştırılmış ve optimum şartlar belirlenmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

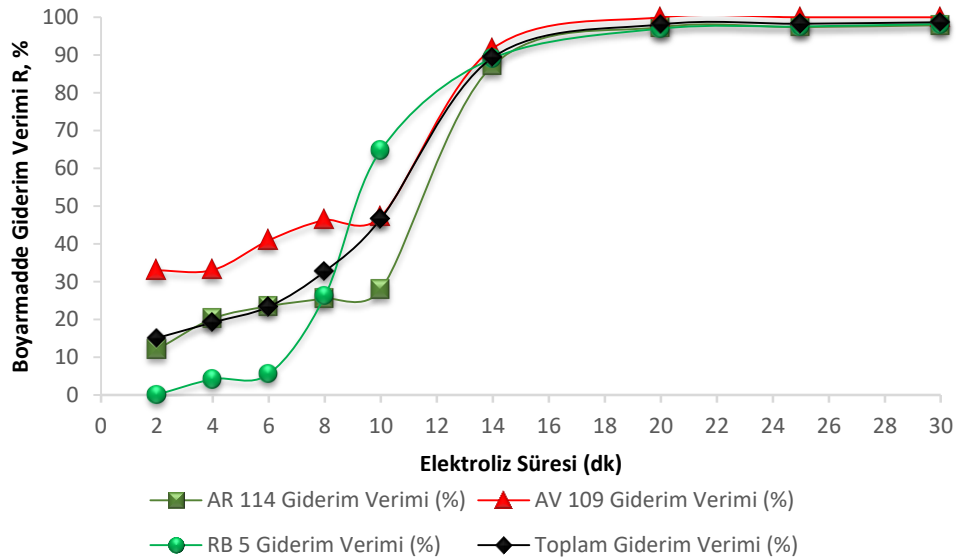
### **4.1. Elektroliz Süresinin Boyarmadde Giderim Verimine Etkisi**

Elektrokoagülasyon işlemi ile atıksulardan boyarmadde gideriminin amaçlandığı bu çalışma farklı işletim parametrelerinin optimize edilmesini ve düşük maliyetle yüksek verim elde etmeyi amaçlamaktadır. Elektroliz süresi artıma maliyetini artıran bir parametredir. Bu yüzden optimum elektroliz süresinin belirlenmesi maliyet açısından çok önemlidir. Çalışma kapsamında 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16,18, 20, 25, 30, 35, 45, 60 dakika elektroliz süreleri için boyarmadde giderim verimleri incelenmiştir. İki adet demir elektrotun kullanıldığı deneyde boyarmadde konsantrasyonu 100 mg/L ayarlanmış ve pH ayarlaması yapılmamıştır.elektrolit miktarı ise 2 g/Layarlanmıştır. Elektroliz süresinin boyarmadde giderimine etkisinin belirlendiği deneysel sonuçlar Tablo 4.1.'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Elektroliz süresine bağlı analiz sonuçları

Elektroliz süresi (dk)	2	4	6	8	10	14	20	25	30
Elektrolit konsantrasyonu (g/L)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Akım (A)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Akım Yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
Voltaj (V)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Toplam boyarmadde konsantrasyonu (mg/L)	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Kalan toplam boya konsantrasyonu (mg/L)	238,7	242,4	236,8	208,9	168,8	31,8	5,8	5,1	3,9
Boyarmadde giderim verimi (R,%)	Asid Red 114	12,1	20,3	23,5	25,6	27,9	87,3	97,4	97,9
	Asid Viyolet 109	33	33,1	41	46,3	47,2	91,8	100	100
	Reactive Black 5	0,1	4,2	5,6	26,3	64,8	89,1	96,9	98,2
Toplam boyarmadde giderim verimi (R,%)	15,1	19,2	23,4	32,7	46,7	89,4	98,1	98,3	98,7
Enerji Sarfiyatı (kWh/Kg boya)	4	6,2	7,7	7,3	6,4	4,7	6,1	7,6	9,1

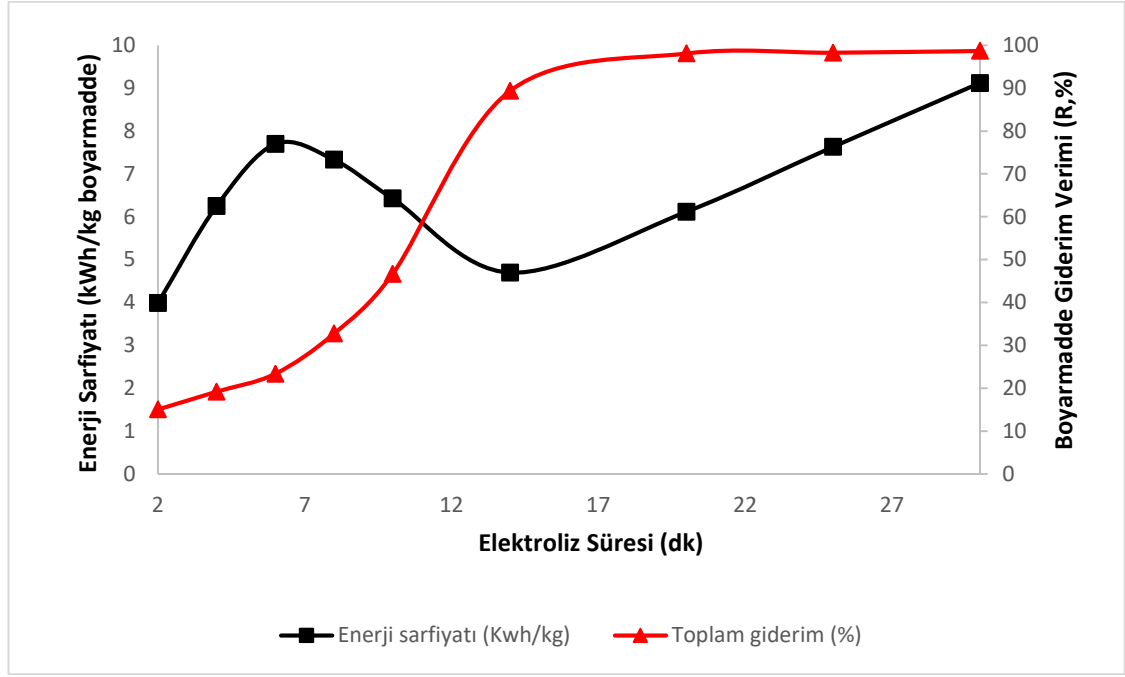
Şekil 4.1.'de elektroliz süresinin boyarmadde giderim verimine etkisi grafiksel olarak sunulmuştur. Şekilde de görüleceği gibi toplam boyarmadde giderimi 2. dk'da %15,1, 10. dk'da % 46,7 iken 14. dk'da %89,4'e ulaşmış ve 20. dk'da %98,1 olarak elde edilmiştir. 20. dk'dan sonra deney bitimine kadar boyarmadde giderim verimi yaklaşık aynı kalmıştır.



Şekil 4.1. Elektroliz süresinin boyarmadde giderim verimine etkisi

Aşağıda Şekil 4.2.'de Elektroliz Süresi, Enerji Tüketim Miktarı ve Boyarmadde giderim verimi ilişkisi grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde elektrik

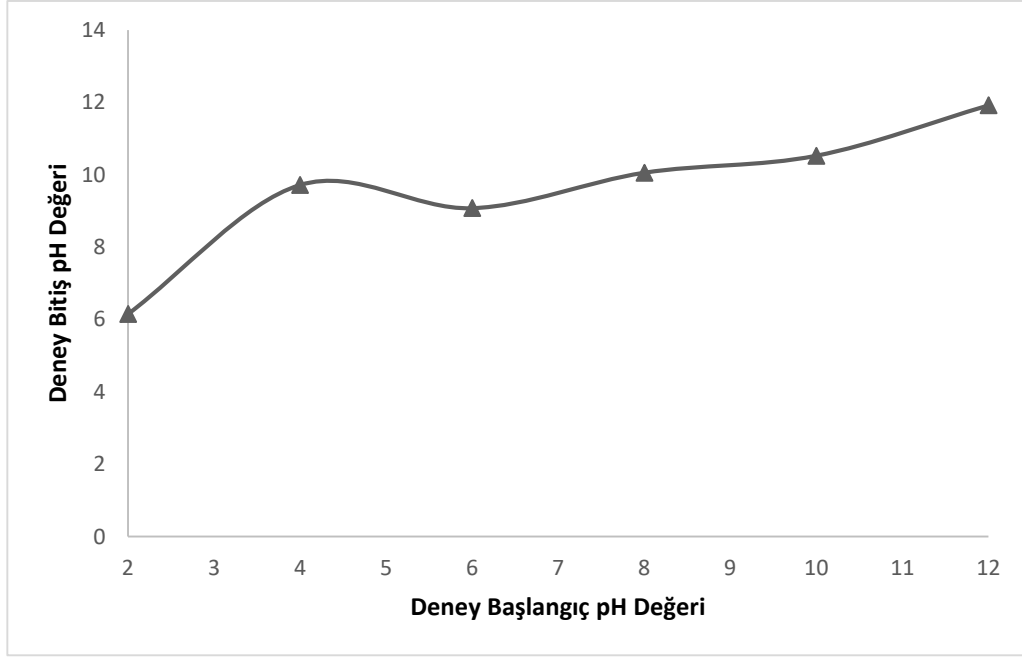
tüketimi artırma maliyeti açısından göz önünde bulundurulduğundan daha az enerji ile yüksek verim giderim 14. dakikada gerçekleştiği görülmüş ve optimum elektroliz süresi 14 dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Elektroliz Süresi, Enerji Tüketimi ve Boyarmadde Giderim Verimi İlişkisi

#### 4.2. pH'in Boyarmadde Giderim Verimine Etkisi

Deneysel çalışmalarda pH'in boyarmadde giderim verimi üzerine olan etkisi pH değeri 2, 4, 6, 8, 10, 12 değerleri için incelenmiştir. İki adet demir elektrotun kullanıldığı deneylerde başlangıç boyarmadde konsantrasyonu 100 mg/L ve elektrolit miktarı 2 g/L ayarlanmış ve akım yoğunluğu 9,4 mA/cm<sup>2</sup> uygulanmıştır. Her 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 35, 45, 60 dakikalarda numuneler alınmıştır. Herbir deney için oluşturulan şartlar aşağıdaki Tablo 4.2.'de verilmektedir. Başlangıç pH değeri 4 olduğu durumda boyarmadde giderim verimi 14. dakikada asit red 114 için % 97,1 asit viyoleto 109 için % 100 ve reaktif black 5 için % 96,5'e ulaşarak en yüksek verim elde sağlanmıştır. Başlangıç pH değeri 2 olduğu durumda 16. Dakikada boyar madde giderim verimleri sırasıyla % 36,5, %64,9, %15,1, pH 6' sırasıyla %92,6, % 98,3, % 90,8, pH 8'de % 95,8, %100, % 93,5, pH 10'da % 93,9, % 100, % 88,6 ve pH 12'de % 66,1, % 68, %0 giderim verimine ulaşılmıştır.



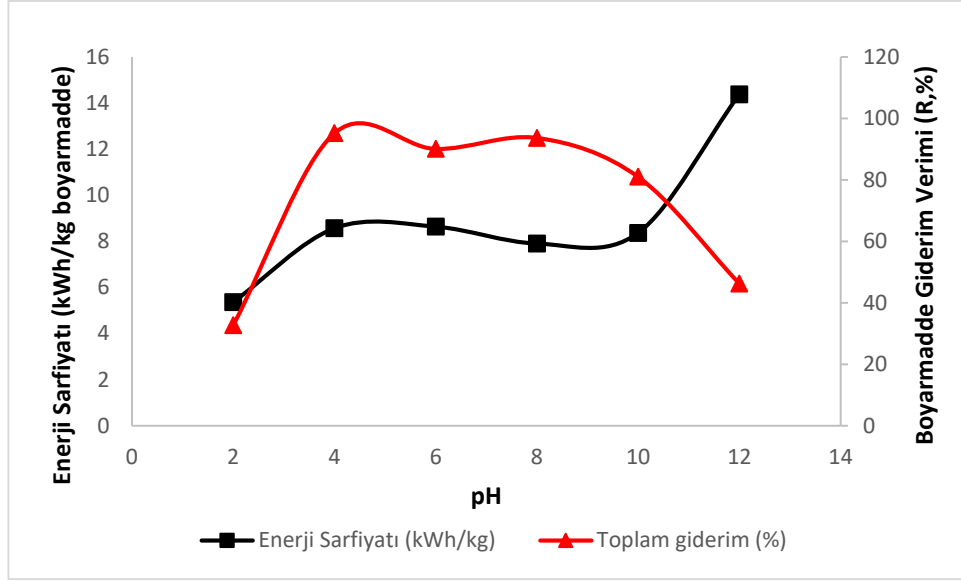
Şekil 4.3. Elektrokoagülasyon başlangıç pH değerlerinin elektrokoagülasyon süresi sonundaki değeri

Tablo 4.2. pH parametresine bağlı analiz sonuçları

Başlangıç pH değeri	2	4	6	8	10	12
Bitiş pH değeri	6,1	9,7	9,1	10	10,5	11,9
Elektroliz süresi (dk)	14	14	14	14	14	14
Elektrolit konsantrasyonu (g/L)	2	2	2	2	2	2
Akım (A)	1	1	1	1	1	1
Akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
Voltaj (V)	1,4	6,5	6,2	5,9	5,4	5,3
Toplam boyarmadde konsantrasyonu (mg/L)	300	300	300	300	300	300
Kalan toplam boyarmadde konsantrasyonu (mg/L)	201,7	14,2	29,6	18,8	56,9	161,2
Boyarmadde giderimi verimi (R,%)	Asid red 109	31,4	93,6	87,9	92,7	90,3
	Asid Viyoleto 114	57,3	98,1	94,3	98,6	70
	Reactive Black 5	9,6	94	88,2	89,8	82,8
	Toplam Boyarmadde Giderimi (%)	32,8	95,2	90,1	93,7	81
Enerji Sarfıyatı (kWh/Kg boyarmadde)	3,8	36,7	37	33,9	35,9	61,6

Deneysel çalışmalarda pH ayarlaması HCl ve NaOH kullanılarak yapılmıştır. 2-12 pH aralığında yapılan denerlerden elde edilen sonuçlara göre pH'ın enerji tüketimi ve toplam verim üzerine olan etkisi Şekil 4.4.'de verilmektedir.





Şekil 4.4. pH, Enerji Tüketimi ve boyarmadde Giderim Verimi İlişkisi

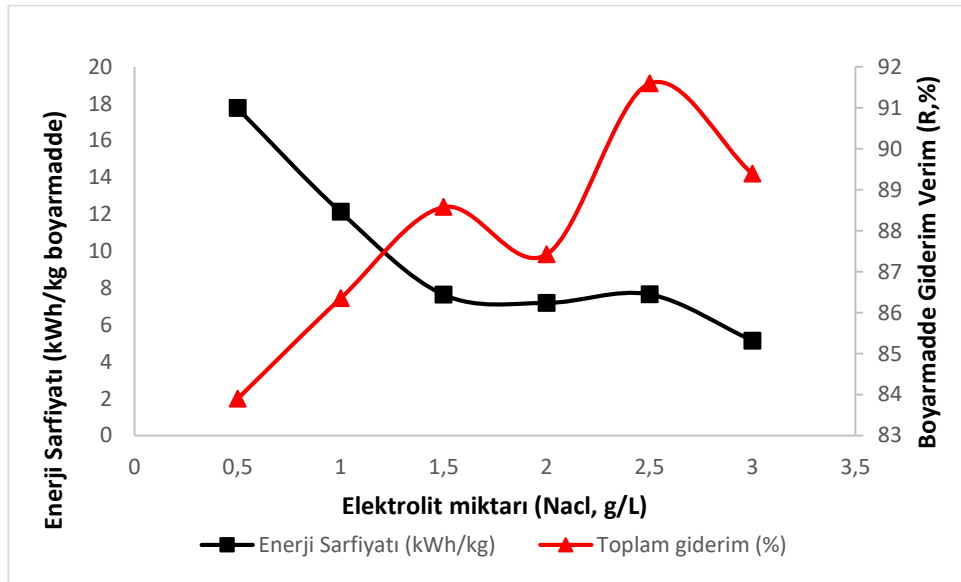
### 4.3. Elektrolit Miktarının Boyarmadde Giderim Verimine Etkisi

Atıksulardan boyarmadde gideriminde elektrokoagülasyon verimini etkileyen önemli parametrelerden birisi elektrolit miktarı ve türüdür. Çünkü çözeltinin elektrolit ile destrelenmesi sisteme uygulanan voltajını azaltarak metal çözünme hızını ve enerji tüketimini doğrudan etkileyebilir. Çözeltiye elektrolit ilave edilmesinin artırılan suyun iyonik direncini artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca elektrolitin üretilen kabarcık miktarını ve davranışını da etkilediği gözlemlenmiştir. [24]. Elektrolit türü olarak NaCl, NaNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl gibi çeşitli elektrolitler kullanılmıştır [55–57]. pH ayarlaması yapılmayan ve boyarmadde konsantrasyonu 100 mg/L ayarlanan bu çalışmada elektrolit miktarı 0,34-2 g/L aralığında NaCl kullanılarak ayarlanmıştır. Kullanılan elektrolit miktarının artmasıyla birlikte giderim veriminin arttığı gözlemlenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

Tablo 4.3. Elektrolit miktarına bağlı analiz sonuçları

Elektrolit miktarı	0,33	0,66	1	1,33	1,66	2
Elektroliz süresi (dk)	14	14	14	14	14	14
Akım (A)	1	1	1	1	1	1
Akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
Voltaj (V)	18,5	13	8,4	7,8	8,7	5,7
Toplam boyarmadde konsantrasyonu (mg/L)	300	300	300	300	300	300
Kalan toplam boyarmadde konsantrasyonu (mg/L)	48,3	40,9	34,3	37,7	25,2	31,8
Boyarmadde giderim verimi (R, %)	Asid Red 114	75	82,4	85,6	83,7	90,5
	Asid Vıyolet 109	97	92,3	93,1	90,9	95,9
	Reactive Black 5	79,6	84,3	87	87,7	88,3
Toplam Boyarmadde Giderimi (%)	83,9	86,3	88,6	87,4	91,6	89,4
Enerji Sarfiyatı (kWh/Kg boyarmadde)	17,8	12,1	7,6	7,2	7,6	5,1

Elektrolit miktarının boyarmadde arttırma verimi üzerine etkisi incelendiğinde elektrolitin artması ile giderim veriminde büyük değişikliklerin olmadığı ancak enerji tüketiminde değişikliklere sebep olduğu Şekil 4.6.'da gözlemlenmiştir. Grafiğe göre 0,34 gr tuz ilavesinde en çok enerjinin harcandığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.5. Elektrolit miktarı, Enerji tüketimi ve boyarmadde giderim verimi ilişkisi

#### 4.4. Akım Yoğunluğunun Boyarmadde Giderim Verimine Etkisi

Akım yoğunluğu, sistemden geçen akım miktarının aktif elektrot alanına oranına eşittir. Akım yoğunluğu elektroliz esnasında çözünen anot metal iyonlarının miktarını ve katotta üretilen kabarcık hızını belirleyen, koagülant üretimine etki eden ve böylece oluşan flokların boyutunu ve elektrokoagülasyon verimi önemli ölçüde değiştiren bir parametredir [58,59]. pH ayarlaması yapılmayan, elektrolit miktarı 2 g/L olarak sabit tutulan ve boyarmadde konsantrasyonu 100 mg/L olan atıksu örneğine 4,7-37,4 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu uygulanarak boyarmadde giderim verimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.4.'de sunulmuştur.

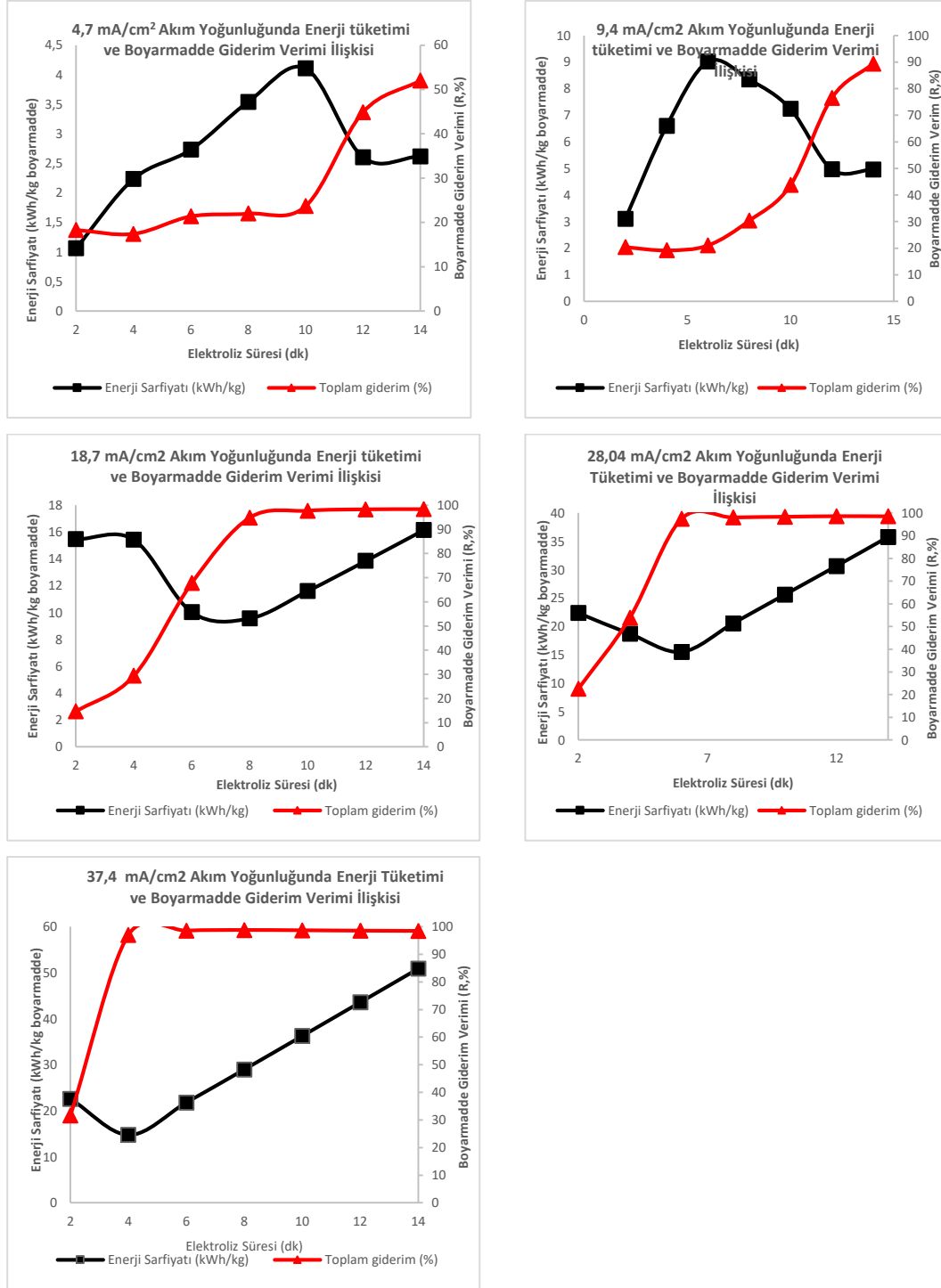
Tablo 4.4. Akım yoğunluğuna bağlı analiz sonuçları

Akım Yoğunluğu	4,7 (mA/cm <sup>2</sup> )	Süre (dk)	2	4	6	8	10	12	14
		Verim (R,%)	18,3	17,4	21,3	22	23,7	44,9	52
		Enerji Sarfıyatı (KWh/kg)	1,1	2,2	2,7	3,5	4,1	2,6	2,6
	9,4 (mA/cm <sup>2</sup> )	Süre (dk)	2	4	6	8	10	12	14
		Verim (R,%)	20,4	19,2	21	30,3	43,7	76,5	89,4
		Enerji Sarfıyatı (KWh/kg)	3,1	6,6	9	8,3	7,2	5	5
	18,7 (mA/cm <sup>2</sup> )	Süre (dk)	2	4	6	8	10	12	14
		Verim (R,%)	14,7	29,4	67,8	94,8	97,7	98,2	98,3
		Enerji Sarfıyatı (KWh/kg)	15,5	15,4	10	9,6	11,6	13,8	16,1
	28,04 (mA/cm <sup>2</sup> )	Süre (dk)	2	4	6	8	10	12	14
		Verim (R,%)	22,5	53,8	97,4	98	98,3	98,6	98,5
		Enerji Sarfıyatı (KWh/kg)	15,5	15,4	10	9,6	11,6	13,8	16,1
	37,4 (mA/cm <sup>2</sup> )	Süre (dk)	2	4	6	8	10	12	14
		Verim (R,%)	31,7	97	98,6	98,8	98,7	98,6	98,5
		Enerji Sarfıyatı (KWh/kg)	22,6	14,7	21,8	28,9	36,2	43,6	50,9

Akım yoğunluğunun enerji tüketim miktarı üzerine olan etkisi Tablo 4.5.'de grafiklerle sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde akım yoğunluğunun artması ile

boyarmadde giderim süresi kısalmışken enerji tüketim miktarının arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.5. Farklı akım yoğunlukları uygulanan atık sulara enerji tüketimi ve boyarmadde giderim verimi ilişkisi



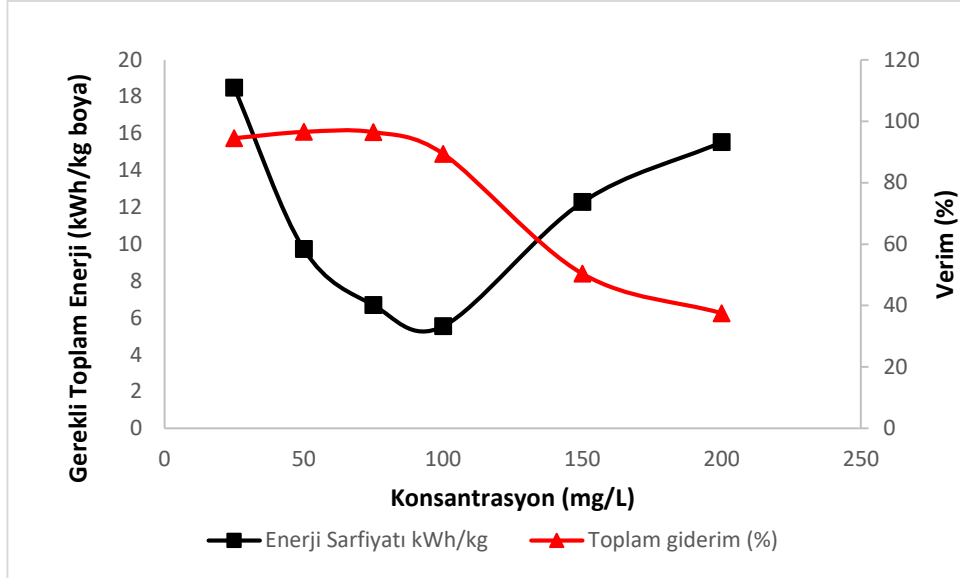
#### 4.5. Başlangıç Konsantrasyonunun Boyarmadde Giderim Verimine Etkisi

Tekstil endüstrisinin üretim aşamaları boyunca farklı adımlardan atıksulara karışan boyarmadde konsantrasyonu farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmada boyarmadde konsantrasyonunun elektrokoagülasyon verimine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla ortam şartları 4,86 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu, 2 g/L elektrolit olarak ayarlanmıştır. pH ayarlaması yapılmayan deneylerde başlangıç boyarmadde konsantrasyonu her bir deney için sırasıyla 25, 50, 75, 100, 150, 200 mg/L ayarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki Tablo 4.6.'da verilmektedir.

Tablo 4.6. Başlangıç boyarmadde konsantrasyonuna bağlı analiz sonuçları

Boyarmadde konsantrasyonu (mg/L)	25	50	75	100	150	200
Elektrolit miktarı (g/L)	2	2	2	2	2	2
Elektroliz süresi (dk)	14	14	14	14	14	14
Akım (A)	1	1	1	1	1	1
Akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
Voltaj (V)	5,3	5,8	6	5,7	6	5,6
Kalan toplam boyarmadde konsantrasyonu (mg/L)	70,8	144,8	216,9	268,2	226,5	224,8
Boyarmadde giderim verimi (R,%)	Asid Red 114	90,9	94,8	95,2	87,3	34,1
	Asid Viyolet 109	100	100	100	91,8	41,5
	Reactive Black 5	92,5	94,7	94,1	89,1	75,4
	Toplam boyarmadde giderimi (R,%)	94,5	96,5	96,4	89,4	50,3
Enerji Sarfiyatı (kWh/Kg boyarmadde)	18,5	9,7	6,7	5,6	12,3	15,5

Boyarmadde konsantrasyonuna bağlı enerji tüketimi ve boyarmadde giderim verimi sonuçlarının sunulduğu 4.6'da konsantrasyonun artmasıyla boyarmadde giderim veriminin düştüğü görülmektedir. Enerji tüketimi göz önüne alındığında en az enerji tüketimiyle en fazla verim eldesi sağlanan 100 mg/L boyarmadde konsantrasyonu optimum değer olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Enerji Tüketimi, Boyarmadde Konsantrasyonu ve Boyarmadde Giderim Verimi İlişkisi

## BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektrokoagülasyon metodu kullanılarak atıksulardan boyarmadde gideriminin amaçlandığı çalışma sonucunda elde edilen veriler incelenmiş grafiklerle desteklenerek gösterilmiştir. Bu işlemlerin sonucunda elektrokoagülasyon işleminde elektroliz süresi önemli bir etken olduğu ve maliyeti artırdığı anlaşılmıştır. Çünkü elektroliz süresi boyunca elektrik sarfiyatı söz konusudur bu da maliyeti artırır. Maliyete olan negatif etkisinin yanı sıra elektroliz süresinin uzun olması zaman kaybına sebep olmaktadır. Bu sistemin bir arıtma tesisine uygulanacağı varsayılırsa işletmeden sorumlu mühendis en yüksek verimi uygun maliyete optimum zamanda gerçekleştirmek isteyecektir. Bu sebeple elektroliz süresi çalışmada kullanılan Asit Red 114, Asit Viyolet 109 ve Reactif Black 5 boyarmaddeleri için optimum zaman 14 dakika belirlenmiştir.

Çalışmalarda pH'ın elektrokoagülasyona etkisi başlangıç pH'ı 2, 4, 6, 8, 10 ve 12'ye ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. pH değerinin çok düşük ve çok yüksek olduğu durumlarda elde edilen verim değeri oldukça düşüktür. Çalışmalar sonucunda optimum pH 6 olarak belirlenmiştir. pH değeri demir elektrodun elektrokoagülasyon esnasında OH<sup>-</sup> iyonları ile oluşturduğu bileşik formlarının farklı olmasına sebep olmaktadır. pH 4'ün altında olduğunda Fe(OH)<sub>3(s)</sub>, pH 4-8 aralığında iken Fe(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub>(OH)<sub>2(s)</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>6(s)</sub> ve pH 6-10 aralığında Fe(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub>(OH)<sub>2(s)</sub> yapılarının oluştuğu düşünülmektedir. Fe<sup>+2</sup> oksijenli Ortamda Fe<sup>+3</sup>'e yükseltgenir. pH değerine bağlı olarak Fe(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub><sup>3+</sup>, Fe(H<sub>2</sub>O)<sub>5</sub>OH<sup>2+</sup>, Fe(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub>(OH)<sup>2+</sup>, Fe<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>8</sub>(OH)<sub>2</sub><sup>4+</sup>, Fe<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>(OH)<sub>4</sub><sup>2+</sup> ve Fe(OH)<sub>4</sub><sup>4-</sup> şeklinde kompleks yapılar oluşmaktadır [60].

Boyarmadde giderim verimini etkileyen bir diğer önemli parametre akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğu, kullanılan aktif yüzey alanından ( çözelti içerisinde daldırılmış yüzey alanı ) birim zamanda geçen akım miktarıdır. Akım yoğunluğunun

boyarmadde giderim verimine etkisi 4,7-37,4 mA/cm<sup>2</sup> aralığında akım yoğunluğu uygulaması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Akım yoğunluğunun düşük olması elde edilen verimi düşürmüş ve arıtım zamanını uzatmıştır. Bu sebeple akımın yüksek olması giderim verimini yükseltmek gereklidir. Sonuçlar incelendiğinde 4,7 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda 14. Dakikada %52 verime ulaşılmış ve 2,62 kWh/kg boyarmadde enerji sarfiyatı olmuştur. 9,4 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda 14. dakikada %89,39 verim, 4,96 kWh/kg boyarmadde: 18,7 mA/cm<sup>2</sup>'de 14. dakikada % 98,31 verim, 16,14 kWh/kg boyarmadde enerji sarfiyatı: 28,04 mA/cm<sup>2</sup>'de 14. dakikada %98,53 verim, 16,14 kWh/kg boyarmadde enerji sarfiyatı: 37,4 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda 14. dakikada % 98,46 verim ve 50,87 kWh/kg boyarmadde enerji sarfiyatı söz konusudur.

Elektrolit miktarı (NaCl) elektrik tüketimini ve boyarmadde giderim verimini etkileyen bir parametredir. Elektrolit miktarının değişmesiyle boyarmadde giderim veriminde çok büyük bir değişiklik görülmemiştir. Ancak elektrolit miktarı iletkenliği artırdığı için gerekli akım için uygulanacak potansiyel farkı azaltmaktadır. Elektrik sarfiyatı göz önüne alındığında eklenen elektrolit miktarının 0,34 g'dan 2 g'a yükselmesi enerji sarfiyatını 17,96 kWh/kg boyarmadde'den 5,13 kWh/kg boyarmadde'ye düşürmüştür. Optimum elektrolit miktarı bu çalışma için 2 g olarak belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda son olarak boyarmadde konsantrasyonunun arıtma verimine ve elektrik sarfiyatına olan etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda başlangıç boyarmadde konsantrasyonları 25, 50, 75, 100, 150, 200 mg/L ayarlanmıştır. Optimum elektroliz süresi 14 dakika esas alındığında elde edilen arıtım verimlerinin boyarmadde konsantrasyonları arttıkça düştüğü gözlemlenmiştir. Toplam boyarmadde giderim verimi 25, 50, 75, 100, 150, 200 mg/L boyarmadde konsantrasyonu için sırasıyla %94, %96, %96, %89, %50,%37 olmuştur. Ancak tek tek boyarmadde giderimlerine bakıldığında Asit Red 109 için sırasıyla %90, %94, %95, %87, %34, %13 'e; Asit Viyolet 114 için sırasıyla % 100, %100, %100, %91, %41, %48'ee; Reaktif Black 5 için sırasıyla %92, %94, %94, %89, %75, %50'ye ulaşılmıştır. Optimin boyarmadde konsantrasyonu 100 mg/L olarak belirlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] Joseph, L., Jun, B.-M., Flora, J. R. V., Park, C. M., and Yoon, Y., “Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review”, *Chemosphere*, 229, pp. 142–159 (2019).
- [2] Natarajan, S., Bajaj, H. C., and Tayade, R. J., “Recent advances based on the synergetic effect of adsorption for removal of dyes from waste water using photocatalytic process”, *Journal of Environmental Sciences*, 65, pp. 201–222 (2018).
- [3] Jayasantha Kumari, H., Krishnamoorthy, P., Arumugam, T. K., Radhakrishnan, S., and Vasudevan, D., “An efficient removal of crystal violet dye from waste water by adsorption onto TLAC/Chitosan composite: A novel low cost adsorbent”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 96, pp. 324–333 (2017).
- [4] Kong, Z., Li, L., Xue, Y., Yang, M., and Li, Y.-Y., “Challenges and prospects for the anaerobic treatment of chemical-industrial organic wastewater: A review”, *Journal of Cleaner Production*, 231, pp. 913–927 (2019).
- [5] Shakoor, S. and Nasar, A., “Removal of methylene blue dye from artificially contaminated water using citrus limetta peel waste as a very low cost adsorbent”, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 66, pp. 154–163 (2016).
- [6] Kim, T., Kim, T.-K., and Zoh, K.-D., “Removal mechanism of heavy metal (Cu, Ni, Zn, and Cr) in the presence of cyanide during electrocoagulation using Fe and Al electrodes”, *Journal of Water Process Engineering*, 33, p. 101109 (2020).
- [7] Buyukada, M., “Removal, potential reaction pathways, and overall cost analysis of various pollution parameters and toxic odor compounds from the effluents of turkey processing plant using TiO<sub>2</sub>-assisted UV/O<sub>3</sub> process”, *Journal of Environmental Management*, 248, p. 109298 (2019).
- [8] Colin, N., Maceda-Veiga, A., Flor-Arnau, N., Mora, J., Fortuño, P., Vieira, C., Prat, N., Cambra, J., and de Sostoa, A., “Ecological impact and recovery of a Mediterranean river after receiving the effluent from a textile dyeing industry”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 132, pp. 295–303 (2016).

- [9] Pajootan, E., Arami, M., and Mahmoodi, N. M., “Binary system dye removal by electrocoagulation from synthetic and real colored wastewaters”, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43(2), pp. 282–290 (2012).
- [10] Khemila, B., Merzouk, B., Chouder, A., Zidelkhir, R., Leclerc, J.-P., and Lapique, F., “Removal of a textile dye using photovoltaic electrocoagulation”, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 7, pp. 27–35 (2018).
- [11] Bener, S., Bulca, Ö., Palas, B., Tekin, G., Atalay, S., and Ersöz, G., “Electrocoagulation process for the treatment of real textile wastewater: Effect of operative conditions on the organic carbon removal and kinetic study”, *Process Safety and Environmental Protection*, 129, pp. 47–54 (2019).
- [12] “Decolorization of reactive dyes in solar pond reactors: Perspectives and challenges for the textile industry”, *Journal of Environmental Management*, 198, pp. 203–212 (2017).
- [13] Tavangar, T., Jalali, K., Alaei Shahmirzadi, M. A., and Karimi, M., “Toward real textile wastewater treatment: Membrane fouling control and effective fractionation of dyes/inorganic salts using a hybrid electrocoagulation – Nanofiltration process”, *Separation and Purification Technology*, 216, pp. 115–125 (2019).
- [14] Ammar, S. H., Ismail, N. N., Ali, A. D., and Abbas, W. M., “Electrocoagulation technique for refinery wastewater treatment in an internal loop split-plate airlift reactor”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(6), p. 103489 (2019).
- [15] Hossain, L., Sarker, S. K., and Khan, M. S., “Evaluation of present and future wastewater impacts of textile dyeing industries in Bangladesh”, *Environmental Development*, 26, pp. 23–33 (2018).
- [16] “Photocatalytic activity improvement and application of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis in textile wastewater treatment: A review”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5), p. 103248 (2019).
- [17] “Water efficiency and wastewater reduction in an integrated woolen textile mill”, *Journal of Cleaner Production*, 201, pp. 686–696 (2018).
- [18] Blanco, J., Torrades, F., De la Varga, M., and García-Montaña, J., “Fenton and biological-Fenton coupled processes for textile wastewater treatment and reuse”, *Desalination*, 286, pp. 394–399 (2012).
- [19] Holkar, C. R., Jadhav, A. J., Pinjari, D. V., Mahamuni, N. M., and Pandit, A. B., “A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches”, *Journal of Environmental Management*, 182, pp. 351–366 (2016).

- [20] Daneshvar, N., Oladegaragoze, A., and Djafarzadeh, N., “Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: An investigation of the effect of operational parameters”, *Journal of Hazardous Materials*, 129(1–3), pp. 116–122 (2006).
- [21] Núñez, J., Yeber, M., Cisternas, N., Thibaut, R., Medina, P., and Carrasco, C., “Application of electrocoagulation for the efficient pollutants removal to reuse the treated wastewater in the dyeing process of the textile industry”, *Journal of Hazardous Materials*, 371, pp. 705–711 (2019).
- [22] Meriç, S., Kaptan, D., and Ölmez, T., “Color and COD removal from wastewater containing Reactive Black 5 using Fenton’s oxidation process”, *Chemosphere*, 54(3), pp. 435–441 (2004).
- [23] Punzi, M., Nilsson, F., Anbalagan, A., Svensson, B.-M., Jönsson, K., Mattiasson, B., and Jonstrup, M., “Combined anaerobic–ozonation process for treatment of textile wastewater: Removal of acute toxicity and mutagenicity”, *Journal of Hazardous Materials*, 292, pp. 52–60 (2015).
- [24] Keyikoglu, R., Can, O. T., Aygun, A., and Tek, A., “Comparison of the effects of various supporting electrolytes on the treatment of a dye solution by electrocoagulation process”, *Colloid and Interface Science Communications*, 33, p. 100210 (2019).
- [25] Khandare, R. V. and Govindwar, S. P., “Phytoremediation of textile dyes and effluents: Current scenario and future prospects”, *Biotechnology Advances*, 33(8), pp. 1697–1714 (2015).
- [26] “Removal of a textile dye using photovoltaic electrocoagulation”, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 7, pp. 27–35 (2018).
- [27] EL-Mekkawi, D. M., Abdelwahab, N. A., Mohamed, W. A. A., Taha, N. A., and Abdel-Mottaleb, M. S. A., “Solar photocatalytic treatment of industrial wastewater utilizing recycled polymeric disposals as TiO<sub>2</sub> supports”, *Journal of Cleaner Production*, p. 119430 (2019).
- [28] Rajoriya, S., Bargole, S., George, S., and Saharan, V. K., “Treatment of textile dyeing industry effluent using hydrodynamic cavitation in combination with advanced oxidation reagents”, *Journal of Hazardous Materials*, 344, pp. 1109–1115 (2018).
- [29] Eren, H. A. and AniŞ, P., “TEKSTİL BOYAMA ATIKSULARININ OZONLAMA İLE RENK GİDERİMİ”, p. 9 (n.d.).
- [30] Kocaer, F. O. and Alkan, U., “Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri”, p. 9 (n.d.).

- [31] Çamurlarının, M. Ç., Adsorps, K. M., and Kullanımı, Y., “kimyasal çöktürme”, p. 115 (n.d.).
- [32] “Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 87(3–4), pp. 105–145 (2009).
- [33] “Tekstilde Boya ve Boyar Maddeler-1 - Tekstil Dershanesi - Bursa Modelistlik Eğitimi, Gerber Bilgisayarlı Modelistlik Eğitimi, Stilizlik Eğitimi, Bilgisayarlı Stilizlik ve Desinatörlük Eğitimi, Modelistlik Kursu, Gerber Bilgisayarlı Modelistlik Kursu, Stilizlik Kursu, Bilgisayarlı Stilizlik Kursu ve Desinatörlük Kursu BURSA”, <http://www.tekstildershanesi.com.tr/bilgi-deposu/tekstilde-boya-ve-boyarmaddeler-1.html>.
- [34] Katheresan, V., Kannedo, J., and Lau, S. Y., “Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), pp. 4676–4697 (2018).
- [35] Papic, S., “Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined Al(III) coagulation/carbon adsorption process”, *Dyes and Pigments*, 62(3), pp. 291–298 (2004).
- [36] Santhy, K. and Selvapathy, P., “Removal of reactive dyes from wastewater by adsorption on coir pith activated carbon”, *Bioresource Technology*, 97(11), pp. 1329–1336 (2006).
- [37] Lotito, A. M., Fratino, U., Mancini, A., Bergna, G., and Di Iaconi, C., “Effective aerobic granular sludge treatment of a real dyeing textile wastewater”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 69, pp. 62–68 (2012).
- [38] Li, W., Mu, B., and Yang, Y., “Feasibility of industrial-scale treatment of dye wastewater via bio-adsorption technology”, *Bioresource Technology*, 277, pp. 157–170 (2019).
- [39] Li, H., Liu, S., Zhao, J., and Feng, N., “Removal of reactive dyes from wastewater assisted with kaolin clay by magnesium hydroxide coagulation process”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 494, pp. 222–227 (2016).
- [40] “Tekstil Endüstrisi Reaktif Boya Banyolarında Ozon İle Renk Giderimine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi - Pdf”, <https://docplayer.biz.tr/34172761-Tekstil-endustrisi-reaktif-boya-banyolarinda-ozon-ile-renk-giderimine-etki-eden-faktorlerin-belirlenmesi.html>.

- [41] Bahadur, N. and Bhargava, N., “Novel pilot scale photocatalytic treatment of textile & dyeing industry wastewater to achieve process water quality and enabling zero liquid discharge”, *Journal of Water Process Engineering*, 32, p. 100934 (2019).
- [42] Abidi, N., Duplay, J., Jada, A., Errais, E., Ghazi, M., Semhi, K., and Trabelsi-Ayadi, M., “Removal of anionic dye from textile industries’ effluents by using Tunisian clays as adsorbents. Zeta potential and streaming-induced potential measurements”, *Comptes Rendus Chimie*, 22(2–3), pp. 113–125 (2019).
- [43] Khan, A. J., Song, J., Ahmed, K., Rahim, A., Onófrío Volpe, P. L., and Rehman, F., “Mesoporous silica MCM-41, SBA-15 and derived bridged polysilsesquioxane SBA-PMDA for the selective removal of textile reactive dyes from wastewater”, *Journal of Molecular Liquids*, p. 111957 (2019).
- [44] Damaraju, M., Bhattacharyya, D., Panda, T. K., and Kurilla, K. K., “Marigold wastewater treatment in a lab-scale and a field-scale continuous bipolar-mode electrocoagulation system”, *Journal of Cleaner Production*, p. 118693 (2019).
- [45] 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).
- [46] Gomes, J. A. G., Daida, P., Kesmez, M., Weir, M., Moreno, H., Parga, J. R., Irwin, G., McWhinney, H., Grady, T., Peterson, E., and Cocke, D. L., “Arsenic removal by electrocoagulation using combined Al–Fe electrode system and characterization of products”, *Journal of Hazardous Materials*, 139(2), pp. 220–231 (2007).
- [47] Isik, Z., Arıkan, E. B., Ozay, Y., Bouras, H. D., and Dizge, N., “Electrocoagulation and electrooxidation pre-treatment effect on fungal treatment of pistachio processing wastewater”, *Chemosphere*, 244, p. 125383 (2020).
- [48] da Silva Ribeiro, T., Grossi, C. D., Merma, A. G., dos Santos, B. F., and Torem, M. L., “Removal of boron from mining wastewaters by electrocoagulation method: Modelling experimental data using artificial neural networks”, *Minerals Engineering*, 131, pp. 8–13 (2019).
- [49] García-García, A., Martínez-Miranda, V., Martínez-Cienfuegos, I. G., Almazán-Sánchez, P. T., Castañeda-Juárez, M., and Linares-Hernández, I., “Industrial wastewater treatment by electrocoagulation–electrooxidation processes powered by solar cells”, *Fuel*, 149, pp. 46–54 (2015).
- [50] Zhang, F., Yang, C., Zhu, H., Li, Y., and Gui, W., “An integrated prediction model of heavy metal ion concentration for iron electrocoagulation process”, *Chemical Engineering Journal*, p. 123628 (2019).

- [51] Tchamango S.R., Darchen A., “Investigation and optimization of a new electrocoagulation reactor with horizontal bipolar electrodes: Effect of electrode structure on the reactor performances”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), pp. 4546–4554 (2018).
- [52] Karagözoğlu, B. and Malkoç, R., “The Investigation of the Removal of Reactive Orange 16 DYE From Textile Wastewater by Using Electrocoagulation Process”, *Cumhuriyet Science Journal*, 38(3), pp. 544–556 (2017).
- [53] Llanos J., Cotillas S., Caniares P., Rodrigo M.A., “Effect of bipolar electrode material on the reclamation of urban wastewater by an integrated electrodisinfection/electrocoagulation process”, *Water Research*, 53, pp. 329–338 (2014).
- [54] “T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü - Pdf Ücretsiz indirin”, <https://docplayer.biz.tr/54079047-T-c-yildiz-teknik-universitesi-fen-bilimleri-enstitusu.html>.
- [55] “On the crucial influence of some supporting electrolytes during electrocoagulation in the presence of aluminum electrodes”, *Journal of Hazardous Materials*, 163(2–3), pp. 1282–1288 (2009).
- [56] “The effect of process conditions on the treatment of benzoquinone solution by electrocoagulation”, *Journal of Hazardous Materials*, 173(1–3), pp. 731–736 (2010).
- [57] Bassyouni, D. G., Hamad, H. A., El-Ashtoukhy, E.-S. Z., Amin, N. K., and El-Latif, M. M. A., “Comparative performance of anodic oxidation and electrocoagulation as clean processes for electrocatalytic degradation of diazo dye Acid Brown 14 in aqueous medium”, *Journal of Hazardous Materials*, 335, pp. 178–187 (2017).
- [58] Mbacké, M. K., Kane, C., Diallo, N. O., Diop, C. M., Chauvet, F., Comtat, M., and Tzedakis, T., “Electrocoagulation process applied on pollutants treatment-experimental optimization and fundamental investigation of the crystal violet dye removal”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4), pp. 4001–4011 (2016).
- [59] Liu, F., Zhang, Z., Wang, Z., Li, X., Dai, X., Wang, L., Wang, X., Yuan, Z., Zhang, J., Chen, M., and Wang, S., “Experimental study on treatment of tertiary oil recovery wastewater by electrocoagulation”, *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 144, p. 107640 (2019).
- [60] Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., and Nigam, P., “Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative”, *Bioresource Technology*, 77(3), pp. 247–255 (2001).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Bediha Oyar, 01.11.1996'da Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakarya'da tamamladı. 2014 yılında Tes-İş Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2014 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği'ni 2018 yılında bitirdi. 2018 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans programına başladı.