

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

**ENDÜSTRİYEL ATIKSULARDAN ÜÇLÜ BOYA
KARIŞIMININ ELEKTROKOAGULASYON YÖNTEMİ İLE
GİDERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Songül TAÇI

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

Ocak 2022

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

**ENDÜSTRİYEL ATIKSULARDAN ÜÇLÜ BOYA
KARIŞIMININ ELEKTROKOAGULASYON YÖNTEMİ İLE
GİDERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Songül TAÇI

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 31/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlamasından, veri toplanması ve yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Songül Taçi
31.01.2021

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca tez çalışmamda planlamasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen,engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Beytullah EREN hocama, tez çalışması boyunca desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Abdil ÖZDEMİR hocama ve tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili annem Remziye TAÇİ babam Nihat TAÇİ'ye de teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Tekstil Endüstrisine Genel Bakış	4
2.2. Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Genel Özellikleri	5
2.3. Boyarmaddeler.....	6
2.3.1. Boyarmaddelerin sınıflandırılması	7
2.3.1.1. Direkt boyalar.....	8
2.3.1.2. Reaktif boyalar	8
2.3.1.3. Vat boyalar	9
2.3.1.4. Asidik boyalar	9
2.3.1.5. Dispers boyalar.....	9
2.3.1.6. Bazik boyalar	10
2.3.1.7. Mordan boyalar	10
2.3.1.8. Pigmentler	10
2.3.1.9. Kükürtlü boyalar	10

2.4. Tekstil Endüstrisi Boyalı Atıksularının Çevresel Etkileri.....	11
2.5. Tekstil Endüstrisi Boyalı Atıksularının Arıtımı	12
2.6. Elektrokoagülasyon (EC) Prosesi ve Esasları.....	13
2.6.1. Elektrot yüzeylerindeki elektrolitik reaksiyonlar	14
2.6.1.1. Sıvı fazda pıhtılaşma (koagülasyon)	14
2.7. Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Atık Sulardan Boyarmadde Giderimi	15
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Deneysel Malzemeler	17
3.2. Deney Düzeneği.....	20
3.2.1. Deney düzeneğinin tasarımı	20
3.2.2. Hesaplamalarda kullanılan denklemler	21
3.3. Klasik En küçük Kareler (CLS) Yöntemi.....	22
 BÖLÜM 4.	
BULGULAR VE TARTIŞMA.....	24
4.1. pH Parametresinin Etkisi	24
4.2. Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi.....	25
4.3. Akım Yoğunluğunun Etkisi.....	26
4.4. Elektrolit Miktarının Etkisi.....	27
4.5. Kurumuş Çamurun Analizi	28
4.6. UV-VIS Çalışmaları.....	30
4.7. Elektroliz Süresinin Etkisi	31
 BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ	40

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Amper
Al	: Alüminyum
AR114	: Asit Red 114
AV109	: Asit Viyole 109
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
Cu	: Bakır
EC	: Elektrokoagülasyon
G	: Gram
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	: Litre
mg	: Miligram
RB5	: Reaktif Black 5
UV	: Ultraviyole

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tekstil boyarmaddelerinin sınıflandırılması	7
Şekil 2.2. Tekstil endüstrisi süreçleri, atık su oluşumu, toksisitesi ve arıtma yöntemleri.....	12
Şekil 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Boyarmaddelerin Kalibrasyon Eğrileri ve UV spektrumları	18
Şekil 3.2. Asit Red 114 kimyasal bağ yapısı.....	19
Şekil 3.3. Asit Viyole 109 kimyasal bağ yapısı	19
Şekil 3.4. Reaktif Black 5 kimyasal bağ yapısı.....	19
Şekil 3.5. Elektrokoagülasyon deney düzeneği	20
Şekil 4.1. Başlangıç pH'nın AR114, AV109 ve RB5 giderim verimliliği üzerine etkisi $C_0=50 \text{ mgL}^{-1}$; $i=11,68 \text{ mA/cm}^2$; $T=293.15 \text{ K}$; $d=2.0 \text{ cm}$; $\text{NaCl}=3 \text{ g/L}$	25
Şekil 4.2. Başlangıç boya konsantrasyonunun AR114, AV109 ve RB5 giderim verimi üzerine etkisi $i=11.68 \text{ mA/cm}^2$; $T=293.15 \text{ K}$; $d=2.0 \text{ cm}$; $\text{NaCl}=3 \text{ g/L}$, $\text{pH}=4$	26
Şekil 4.3. Akım yoğunluğunun AR114, AV109 ve RB5 giderim verimliliği üzerine etkisi $C_0=50 \text{ mgL}^{-1}$; $T=293.15 \text{ K}$; $d=2.0 \text{ cm}$; $\text{NaCl}=3 \text{ g/L}$, $\text{pH}=4$	27
Şekil 4.4. Elektrolit konsantrasyonunun AR114, AV109 ve RB5 giderim verimliliği üzerine etkisi $C_0=50 \text{ mgL}^{-1}$; $i=11.68 \text{ mA/cm}^2$; $T=293.15 \text{ K}$; $d=2.0 \text{ cm}$; $\text{pH}=4$	28
Şekil 4.5. Saf boyaların FTIR spektrumları	29
Şekil 4.6. Kurumuş boya çamurunun suda tekrar çözündükten sonraki UV-Vis spektrumları (Çamur koagülasyon prosesinin sonunda toplanmaktadır).....	31

Şekil 4.7. Elektroliz süresinin AR114, AV109 ve RB5 giderim verimliliği
üzerine etkisi $C_0=50 \text{ mgL}^{-1}$; $i=11.68 \text{ mA/cm}^2$; $T=293.15 \text{ K}$; d
 $=2.0 \text{ cm}$; $\text{NaCl}=3 \text{ g/L}$, $\text{pH}=4$ 32



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Tekstil boyamacılığında kullanılan boyarmaddelerin tipik özellikleri..	7
Tablo 2.2. Boya giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarına genel bir bakış.....	13
Tablo 2.3. Elektrokoagülasyon prosesinin avantaj ve dezavantajları	14
Tablo 2.4. Tekstil endüstrisi atıksularından boyarmaddelerin giderilmesinde kullanılan yöntemler	15
Tablo 3.1. CLS kalibrasyonu için çözeltiye eklenen ve hesaplanan boya konsantrasyonları ve % geri kazanımlar.....	23

ÖZET

Anahtar kelimeler: Tekstil endüstrisi atıksuları, boyarmadde, elektrokoagülasyon, renk giderimi.

Teknolojinin ve endüstrinin gelişmesiyle orantılı olarak kullanılan su miktarı ve buna bağlı olarak oluşan atıksu miktarı da artmaktadır. Tekstil endüstrisinin üretim aşamaları boyunca yüksek miktarlarda su kullanılmakta ve farklı işlemlere maruz kalan su çeşitli kirleticiler içermektedir. Bu kirleticilerin başında boyarmaddeler bulunmaktadır. Boyarmaddeler atıksularda renk problemi oluşturmakta ve estetik açıdan hoş olmayan görüntülerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu sebeple günümüzde atıksulardan boyarmadde giderimi için fiziksel, kimyasal, biyolojik olmak üzere pek çok arıtım metodu kullanılmakta ve çevre dostu yeni teknolojiler araştırılmaktadır. Elektrokoagülasyon yöntemi yüksek giderme verimi, az miktarda arıtma çamuru üretmesi, kimyasallara ihtiyaç duymaması, sisteme kolay uyum sağlayabilmesi gibi pek çok avantajından dolayı son yıllarda atık sulardan boyarmadde gideriminde tercih edilen çevre dostu bir yöntemlerden biridir.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında hazırlanan ve 3 farklı boyarmadde (Asit Red 114(AR114), Asit Viyoleto 109 (AV109), Reaktif Black 5 (RB5)) karışımı içeren atıksudan elektrokoagülasyon yöntemi ile boya giderimi araştırılmıştır. Elektrokoagülasyon verimine etki eden elektroliz süresi, pH, elektrolit miktarı, akım yoğunluğu, başlangıç konsantrasyonunun giderim verimi üzerine etkileri incelenmiş ve optimum şartlar belirlenmiştir.

REMOVAL OF TRIPLE DYE MIXTURE FROM INDUSTRIAL WASTEWATER BY ELECTROCOAGULATION

SUMMARY

Keywords: Textile industry wastewater, dyestuff, electrocoagulation, color removal.

Water consumption and wastewater production increase in proportion to the development of technology and industry. The water, which is exposed to different processes during the production stages of the textile industry, contains various pollutants. At the beginning of these pollutants are dyestuffs. Dyes cause color problems in wastewater and are not aesthetically pleasing. For this reason, many treatment methods such as physical, chemical, and biological are used in the removal of dyestuff from wastewater and environmentally friendly technologies are being researched. The electrocoagulation method is an environmentally friendly technology that works with high efficiency in the removal of dyestuffs from wastewater and produces a small amount of treatment sludge, does not need chemicals, and can easily adapt to the system.

In this study, wastewater prepared in the laboratory and containing a mixture of 3 different dyestuffs (Acid Red 114(AR114), Acid Violet 109 (AV109), Reactive Black 5 (RB5)) was treated using electrocoagulation method. Electrolysis time, pH, electrolyte amount, current density, initial concentration, which affect electrocoagulation efficiency, were examined and optimum conditions were determined for color removal.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Su, temel bir besin ögesi olması dışında kendi içerisinde yer alan mineral ve bileşikler ile insan vücudundaki çeşitli biyokimyasal tepkilerin oluşumunda önemli bir işlevi vardır. Bu nedenlerden dolayı su, insan yaşamının en önemli unsurlarından bir tanesidir. Su yaşadığımız kesimler ve dünya için büyük bir ölçüde kıymetli, ekonomik ve stratejik bir kaynaktır. Dolayısı ile mevcut su kaynaklarının temiz kalması ve insanların içilebilir nitelikte temiz suya kolay erişiminin sağlanması sağlık açısından büyük önem arz etmektedir [1]. Kaynağından kullanım süresi içerisinde en hızlı kirlenen madde sudur. Su, çoğunlukla bireylerin faaliyetleri sonucu ortaya çıkan sebeplerden dolayı kirlenmektedir. Tatlı su kaynaklarının gitgide hasara uğraması bahsedilen problemlerden yalnızca bir tanesidir. Nüfus artımı, endüstrileşme, tarımda yapılan uygulamalar ve kentleşme, su ihtiyacını artırmaktadır ve böylece atık su miktarı da artış göstermektedir. Günümüzde sürdürülebilir büyüme ve kalkınma projelerinde doğal varlıkların temel bir madde olarak kullanılması, üretim-tüketim nedeniyle meydana gelen çevre kirliliği, büyük çevresel problemlere sebebiyet vermektedir [2].

Yeryüzündeki suların kirlenmesi işlenmemiş ya da işlenmiş endüstriyel atıksuların kontrolsüz bir şekilde boşaltılmasından kaynaklanmaktadır. Endüstriyel atık suların aşırı olarak doğal ortamlara bırakılması taşıdıkları kirlilik etkenlerinin toprak alanlarına ulaşmasına neden olabilmektedir. Endüstriyel atık sular ile kirlenen toprakların kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerinde değişimler olması kaçınılmazdır. Topraktaki mikrobiyolojik aktivitesinden değişimi aşabilecek nedenler arasında endüstriyel atık suların taşıdığı toksik bileşikler ve farklı pH değerleri başta gelmektedir. Bu nedenle suların fiziksel ve kimyasal olarak arıtılması ve niteliğinin yükseltilmesi konusunda ilerlemeler oldukça önemlidir [3].

Endüstriyel atık suların etki ettiği bir farklı alan da hızla gelişen tekstil endüstrisidir. Hacmi ve kompozisyonu düşünüldüğünde tekstil endüstrisinin neden olduğu atık sular çeşitli endüstriyel sektörlere göre büyük bir ölçüde kirletici özeliği vardır. Tekstil, deri ve boya endüstrisi gibi diğer endüstrilerin de neden olduğu atık sular potansiyel kanserojen özelliği taşıması ile bildiğimiz tehlikeli ve toksik bileşikleri içermektedir [4].

Tekstil endüstrisinde suyu kirleten ana kirletici boya olarak kabul edilmektedir. Ayrıca tekstil endüstrisinde yüksek su tüketimi nedeni ile atık su oluşumu oldukça fazla görülmektedir. Bu atık sulardaki kirleticilerin önemli bir kısmını boyamada kullanılan boyar maddeler oluşturmaktadır. Tekstil endüstrisinde ortaya çıkan atık suların çoğu yıkama ve boyama prosesleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Bir tonluk bir üretim yapıldığında boya ortalama %10,5 oranda kazanda kalmaktadır. Üretim yapıldığı zaman kazanda kalan boya miktarı ve esas olan yıkama suyu hesaba katıldığında, boyalı atık suların alıcı ortamlarda oluşturacağı kirlilik net bir şekilde anlaşılmaktadır [5]. Boyalı atık suların doğrudan alıcı ortamlara verilmesi durumunda meydana gelen kritik kirlilik, müdahale edilemeyecek koşullarda kanserojen aromatik aminlerin oluşumudur. Bununla birlikte görüntü bakımından da çevreye verdiği zarar bir başka etkidir. Bir diğer etkisi ise çevreye yayılan boya atıkların canlı organizmaların üzerinde oluşturduğu toksik etkidir. Bu toksik etki atığın bileşimi üzerine ve boya türlerine göre farklılık göstermektedir. Tekstil endüstrisi, bünyesinde barındırdığı boyar maddelerin alıcı ortamlardaki ışık geçirgenliğini en aza indirmesi nedeni ile kirletmeye daha da sebebiyet olmaktadır. Bu nedenle tekstil endüstrisi atık suların çevreye kontrolsüz bir şekilde verilmesi hem insan sağlığı hem de ekosistem yönünden oldukça tehlikelidir. Tekstil sanayi atık suları, toksik maddelerin bulunması, organik maddelerin yüksek olması, deterjan ve sabun içeriğinin bulunması, yüksek pH, sülfür, yağ ve gres, renk ve katı maddeler içerdiğinden dolayı önemli derece çevre kirliliğine yol açmaktadır [6].

Dolayısı ile sürdürülebilir bir çevre için sınırlı olan doğal kaynakların korunması ve atık suların en uygun arıtma yöntemlerinden biri seçilerek doğaya ve çevreye en az

zarar verecek şekilde arıtılarak proseslerde yeniden kullanılması ya da alıcı ortama verilmesi gerekmektedir [7].



BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tekstil Endüstrisine Genel Bakış

Tekstil endüstrisi dünyada gıda endüstrisi ardından gelen önemli niteliğe sahip bir endüstridir. Tekstil endüstrisi doğal ve sentetik elyafları kullanarak kumaş ve tekstil endüstrisindeki diğer ürünlere dönüştürülebilen bir endüstri dalıdır [8]. Tekstil üretim endüstrisi, tüm endüstriler arasında en eski ve teknolojik olarak en karmaşık olanlardan biridir. Bu endüstrisinin temel gücü pamuk, jüt, yün ve ipek gibi polyester, viskon, naylon ve akrilik gibi sentetik elyaflara kadar çok çeşitli elyaf ipliklerin güçlü üretim tabanından kaynaklanmaktadır [9]. Tekstil endüstrisinin tüm dallarında boyama, yıkama ve pres vb. esas prosesler yer almaktadır. Bu proseslerde genellikle su kullanılmakta ve üretim sonucunda atık suların oluşumuna sebebiyet vermektedir. Tekstil ürünlerine olan talebin artmasıyla tekstil endüstrisinden büyümeye ve dolayısı ile oluşan atık suların da artışına neden olmaktadır. Tekstil atık suları içerdiği kirleticilerden dolayı alıcı ortamlarda önemli miktarda çevresel bozulmaya ve insan hastalıklarına da neden olmaktadır. Tekstil atık suyunda bulunan birçok kimyasal arasında, boyalar önemli ana kirletici olarak kabul edilmektedir. Ayrıca tekstil endüstrisinde atık suların temel kirletici parametreleri KOİ, AKM, BOİ, yağ ve gres, sülfür, fenol ve toplam kromdur [10].

Tekstil endüstrisine ilişkin dünya genelinde oluşan çevre sorunları, arıtılmamış atık su ve deşarjının neden olduğu su kirliliği ve özellikle üretim sırasında toksik kimyasalların kullanımından kaynaklanan sorunlardır. Tekstil boyamasında bozunmaya karşı dayanıklı boyaların kullanılması istendiğinden oluşan boyalı atık sular biyolojik parçalanmaya karşı kararlılık göstermekte ve zor ayrışmaktadır [11]. Tekstil endüstrisi atık suları genellikle gri renkli ve boyama aşamasında kullanılan temel boyanın rengine sahip olmaktadır. Ayrıca endüstriden deşarj edilen oldukça

renkli olan boyalı atık sular alıcı ortama deşarj edildiklerinde o ortamın çözünmüş oksijen miktarının tükenmesine yol açmakla birlikte, güneş ışığının geçirgenliğini azaltarak su içerisindeki biyolojik yaşam hızının düşmesine sebep olmaktadır [12], [13].

2.2. Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Genel Özellikleri

Tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atık sular, üretimde faydalanılan proseslerin çeşitliliği, elyaf cinsi ile ilişkili olarak türlü kimyasal ve boyama özelliğinde boyarmaddelerin esas oluşu, elyafın hazırlanması ve boyama işlemlerinde elyafa ve prosese has destekleyici kimyasalların kullanılması vb. sebepler ile ayırt edici niteliklerini ortaya konulmasında güçlük çekilmektedir. Tekstil endüstrisi atık suları karakterize edilirken AKM, KOİ, yağ ve gres, renk, toplam krom, toplam sülfür, fenoller, yüzey aktif maddeler, pH ve sıcaklık değerleri kullanılmaktadır [14].

Tekstil endüstrisi atıksuları, sodyum hidroksit, sodyum klorür, asetik asit, sodyum bikromat vb. boyamada yararlanılan yardımcı kimyasal maddeler ile beraberinde sülfür, reaktif, küp, dispers ve başka boya türlerinin bütün renk geçişlerini kapsayan boyar maddeleri ve ek olarak bu tür atık sular ıslatma ve yıkama maddeleri olarak kullanılan non-iyonik, anyonik ve katyonik yüzey aktif materyalleri ihtiva edebilir. Böylelikle tekstil ürünlerinin oluşumunda kullanılan maddeler dışında farklı kimyasal maddeleri de içerdiği düşünülmektedir [15].

Tekstil endüstrileri yaş dokuma prosesleri için çok büyük miktarda su ve kimyasal kullanılmaktadır. Dolayısıyla üretim süreçleri sonrasında büyük miktarda atıksu oluşmaktadır. Tekstil endüstrisinde kumaşların özelliklerine ve türüne göre boyama işleminde kullanılan boyarmadde ve diğer yardımcı maddelerin ilave edilmesi ile tekstil atık sularının arıtımını oldukça zorlaştırmaktadır. Tekstil endüstrisi atık suları içinde bulundurduğu boyarmaddelerden ve farklı kimyasallardan dolayı arıtımı oldukça zor olan endüstriyel atık sulardır. Organik madde, çözünmüş tuzlar, ağır metal, yüksek pH'larda, renk ve bulanıklık içeren bu sular birinci derecede arıtım ihtiyacı olan sulardır [16]. Ham madde ve üretim proseslerinin fazla olması, tekstil endüstrisi

atık sularındaki kirletici parametrelerinin tahmin edilmesi ve kirlilik kontrolünün belirlenmesinin oldukça zorlaştırmaktadır [17].

2.3. Boyarmaddeler

Tarihte boyarmaddeler doğal kaynaklardan elde edilmiştir. İlk kullanılan boyarmaddeler metal oksit karışımı, killi toprak ve bazı bitki özsularıdır. Doğal boyarmaddelerin az bulunması fiyatların yüksek ve boyama verimlerinin düşük olması, araştırmacıları sentetik boyarmaddelere yönlendirmiştir. Günümüzde yeni boyarmadde sentezleri yapılmakta ve bunlar teknolojik proseslerle üretimini gerçekleştirmektedir [18].

Boyarmaddeler, işlendiği zemin üzerinde tutunmaya yönelim gösteren ve cisimlerin (kumaş, elyaf) kendilerini renkli hale getirmesinde uygulanan maddelerdir. Boyarmaddeler farklı kimyasal yapılar içermektedir. Fakat genel olarak kromofor ve fonksiyonel grup olmak üzere iki temel bileşeni vardır. Kromofor yapı doymamış karakterdedir ve boyaya rengini vermektedir. Bir ya da birden çok bağ içermektedir. Bu bağlar değişkendir ve ışığı absorplayarak, boyanın parlak renkli görünümünü sağlamaktadırlar [19].

Boyarmaddeler yapılan renklendirme işlemleri boyalarla yapılan renklendirme işlemine benzemez. Çoğunlukla çözeltiler ve süspansiyonlar halinde çeşitli boyama yöntemleriyle uygulanmaktadırlar. Bu özellik boyarmaddeleri, renklendirdikleri malzemeye kimyasal olarak bağlanmayan pigmentlerden ayırır [20]. Boyarmadde genelde sulu çözeltiler için uygulanır ve boyanın lif üzerindeki sabitliğini artırmak için kullanılır. Ayrıca boyarmaddeler giysiler, yiyecekler ve plastik oyuncaklara da uygulanmaktadır. Boyarmaddeler renklilik ve elyaf üzerine bağlanabilme özellikleri tekstil boyama prosesinde tercih edilmelerinin en önemli nedenlerindendir [21].

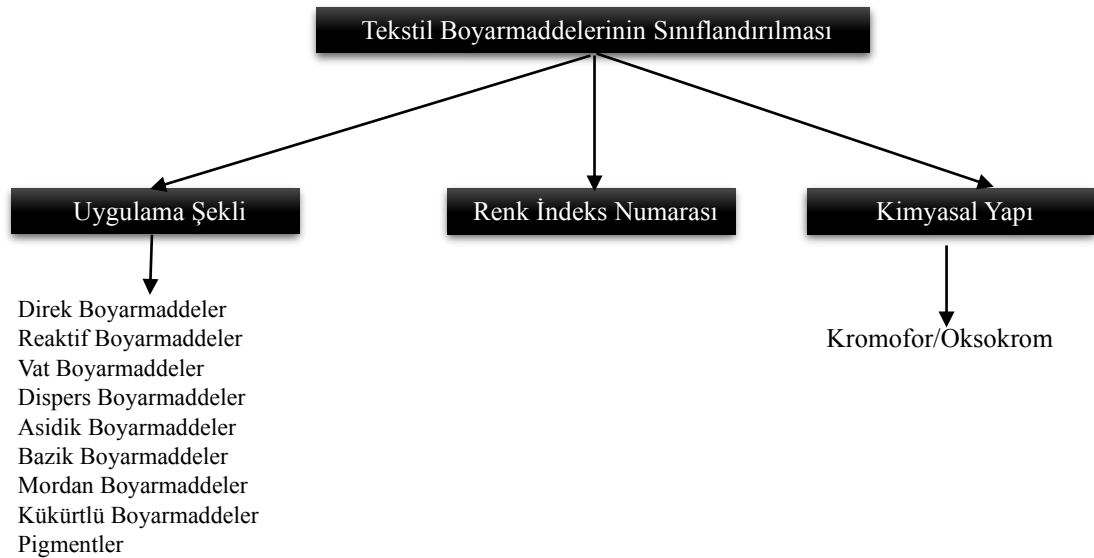
Tekstil boyamacılığında kullanılan boyarmaddelerin genel özellikleri Tablo 2.1.'de sunulmuştur.

Tablo 2.1. Tekstil boyamacılığında kullanılan boyarmaddelerin tipik özellikleri [22].

Boyarmadde	Karakteristik	Lif	% Fikse Oranı	Tipik Kirleticiler
Asidik	Suda çözünür, anyonik bileşikler	Poliamid, yün	80-93	Renk, organik asitler
Bazik	Suda çözünür, parlak renkli	Akrilik, bazı polimerler	97-98	Renk
Direkt	Suda çözünür, anyonik bileşikler	Selüloz, rayon	70-95	Renk, katyonik fiksator, yüzeyaktif madde, köpük kırıcı
Dispers	Suda çözünmez	Poliester, asetat diğer sentetikler	80-92	Renk, organik asitler, keriyer, egalizatör, köpük kırıcı, dispergator
Reaktif	Suda çözünür, anyonik bileşikler, en geniş sınıf	Selüloz ve türevleri, yün	60-90	Renk, tuz, alkali, köpük kırıcı ve yüzey aktif maddeler
Kükürt	Kükürt içeren organik bileşikler	Selüloz ve türevleri	60-70	Renk, alkali, oksidatif ve reaktif maddeler
Küp	Suda çözünmez karmaşık yapılar	Selüloz ve türevleri	80-95	Renk, alkali, oksidatif ve redüktif maddeler

2.3.1. Boyarmaddelerin sınıflandırılması

Literatürde boyarmaddelerin birçok farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Boyarmaddelerin sınıflandırılmasında en yaygın olarak yöntem uygulama şekline, renk indeksi ve kimyasal yapısına göre sınıflandırılmaktadır. Boyarmaddelerin genel sınıflandırılması Şekil 2.1.'de gösterilmiştir. Boyarmaddelerin sınıflandırılmasında tekstildeki uygulama şekillerine göre sınıflandırılması daha çok kullanılan bir sınıflama şeklidir.



Şekil 2.1. Tekstil boyarmaddelerinin sınıflandırılması

Renk indeksine göre sınıflandırılmış yaklaşık 8000 farklı sentetik boyarmadde mevcuttur. Bu boyarmaddelerin ayrıca 40000 farklı ticari ismi vardır. Renk indeksinde her bir boyarmadde sınıf, renk ve sipariş numarasını içeren bir kod ismi ile sınıflandırılmıştır [23].

Boyarmaddelerin sınıflandırılması literatürde farklı şekillerde yapılmış olsa da tekstildeki uygulama şekillerine göre sınıflandırılması en yaygın kullanılan bir sınıflama şeklidir. Uygulama şekillerine göre kullanılan boyarmadde türleri aşağıda açıklanmıştır.

2.3.1.1. Direkt boyalar

Bu boyalar nötr boyalar veya “asıl boyalar” olarak da adlandırılır ve sülfonik asitlerin sodyum tuzlarıdır ve hemen hemen her zaman azo bileşikleridir. Suda çözünür anyonik bileşiklerdir ve esas olarak pamuğu boyamak için kullanılırlar. Küçük boyahanelerin çoğunda sadece direkt boyalar kullanılır, çünkü bunlar daha ucuzdur, uygulaması kolaydır ve yardımcı kimyasallara duyulan ihtiyaç çok daha azdır. Yardımcı maddeler, sodyum klorür, sodyum nitrit, sodyum sülfat, ayırma maddeleri, hidroklorik asit ve aromatik aminleri içerir. Direkt boyalarla elde edilen renkler yıkama için stabil olmasına rağmen, renk haslıkları o kadar belirgin değildir [24].

2.3.1.2. Reaktif boyalar

Lif reaktif boyalar olarak da adlandırılan bu boyalar, nispeten yeni boyalardır. Suda çözünür anyonik bileşiklerdir. Bu boya sınıfı en büyük boya sınıfıdır ve parlak tonlar istendiğinde selülozik (pamuk) üzerinde yaygın olarak kullanılır. Naylon, ipek ve yüne çok iyi uygulanabilirler. Gerekli yardımcı maddeler sodyum klorür, üre, sodyum karbonat, kostik soda ve tamponlardır [25].

2.3.1.3. Vat boyalar

Vat boyalar bilinen en eski boya türlerindendir. Pamuğun boyanmasında kullanılırlar ve en bilinen vat boya türlerinden biri indigodur. İndigo, mavi kot pantolonun meşhur olması nedeniyle günümüzde kullanılan en önemli boya türüdür. Doğal indigo yapraklarının tahta fiçilerde fermante edilmesi sonucu ekstrakte edilmesinden “Vat” ismini almıştır. Vat boyaları, çok yüksek ısı ve ıslaklık haslığı gerektiren durumlarda kullanılabilir. Temelde suda çözünmezler ancak alkali solüsyonda kimyasal indirgenme ile suda çözünen forma dönüşerek lif üzerinde kalıcılık kazanırlar. Boyama işleminden sonra boya molekülü oksitlenerek tekrar çözünmez hale gelmesi sayesinde yüksek yıkama haslıkları elde edilir [26].

2.3.1.4. Asidik boyalar

Asit boyar maddeler adını, asidik bir boya banyosu kullanılmasından almaktadır. Asit boyalar genellikle sülfonik asitlerin sodyum tuzları ya da bazen karboksilik asit tuzları oldukları için sulu solüsyonda anyoniktirler. Asit boyaların molekül ağırlıkları 300-1000 g/mol aralığındadır. Boyama aşamasında, uygulanan lifteki bir amonyum iyonuna bağlı anyon ile boya banyosundaki boya anyonu ile yer değiştirmesi sonucu gerçekleşir. Asidik boyalar 3.0-7.0 pH aralığında yün, naylon, ipek kumaşlar üzerine uygulanabilirler [27].

2.3.1.5. Dispers boyalar

Dispers boyar maddeler suda çözünmeyen ya da az çözünen, iyonik olmayan karakterdedirler ve sulu bir dispersiyon halinde hidrofobik liflere uygulanırlar. Dispers boyalar boya banyosunda, dağıtıcı bir ajan varlığında koloidal olarak bulunmaktadır. Çoğunlukla dispers boyalar düşük moleküler ağırlıklı mono-azo ve antrakınon türevleridir. Yapılarında genellikle boyama için gerekli olan düşük çözünürlük sağlayan hidroksietilamino grupları yer alır [28].

2.3.1.6. Bazik boyalar

Bazik boyar maddeler, $-NH_2$ ve $-NR_2$ gruplarının oksokromofor olarak içeren heterosiklik halka türevleridir. Katyonik grubu renkli kısımda taşıyan, organik bazların hidroklorürleri veya asetat tuzları şeklindeki boyar maddelerdir. Bazik boyar maddelerin en karakteristik özellikleri renk şiddetleri ve parlaklıklarıdır. Bu tür boyar maddeler genelde akrilik, kâğıt ve naylon substrata uygulansa da bazı modifiye polyester substratlarda da kullanılmaktadırlar [29].

2.3.1.7. Mordan boyalar

Bu tür boyar maddeler asidik veya bazik fonksiyonel grupları içerirler. Mordan boyalar boyar maddeyi elyafa sabitleyen madde veya bileşimidir. Mordan boyalar, doğal boyaların ayrılmaz bir parçası olarak doğal boyama işlemi olarak kabul edilir. Boyalar, renk verme eğiliminde oldukları malzeme ile doğrudan birleşmezler. Doğal boyalar kalıcıdır, kumaşa sabitleyebilmek için bir mordant gerektirir ve rengin ışığa maruz kaldığında ya da yıkandığında solmasını önler. Bu tür bileşikler, doğal boyaları kumaşa bağlar [30].

2.3.1.8. Pigmentler

Pigmentler herhangi bir çözücü içinde çözünmeyen, ışık geçirmeyen ancak kendileri renkli olan maddelerdir. Işık geçirmediği için tekstilde bu maddeler ile boyama yaparken boyar maddeyi kumaşa yapıştırılacak bir ana maddeye ihtiyaç duyulmaktadır. Pigmentlere çok sayıda örnek verilir, genelde hidrojen bağı yapabilecek ve bu yüzden kristal yapısı katı hal yapısı oldukça inatçı maddelerdir ve kolay çözünmezler [31].

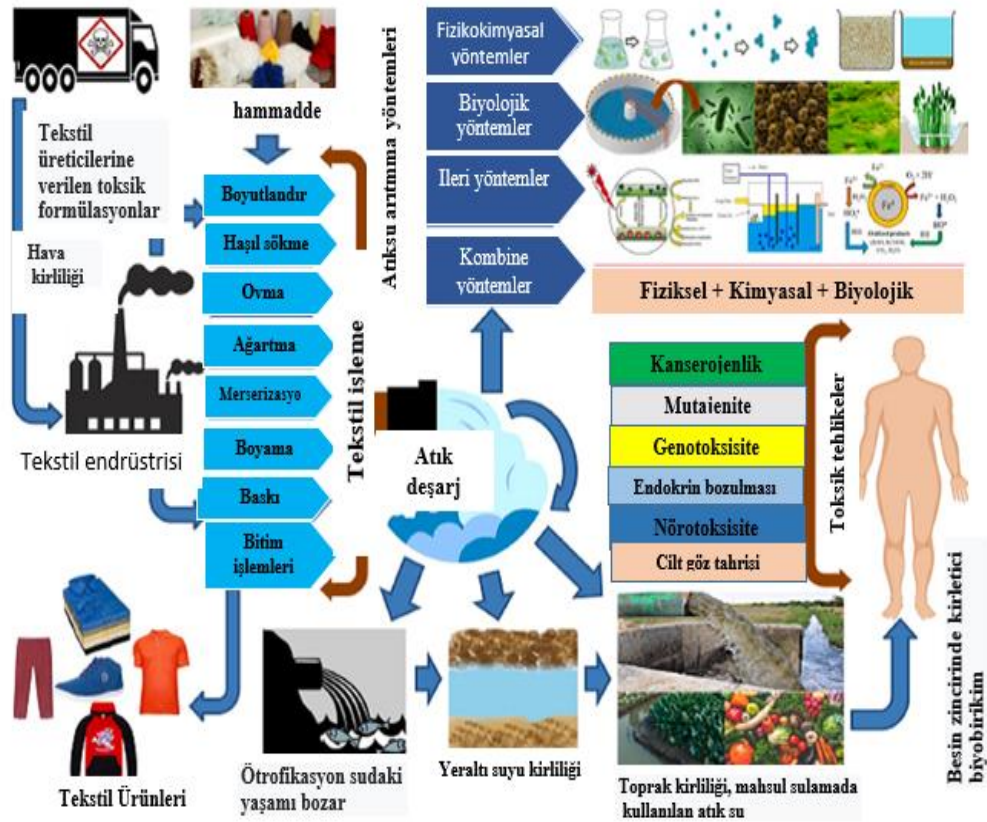
2.3.1.9. Kükürtlü boyalar

Kükürt boyalar çoğunlukla yapay ipek ve pamuk boyamada kullanılır. Bu boyar maddeler boyama sırasında kimyasal olarak yün ve ipek kumaşlarına zarar vereceği

için bu tür kumaşlara uygulanmazlar. Kükürt boyar maddeler aromatik aminlerin ve fenollerin sülfür ya da sodyum polisülfür ile ısıtılması sonucu elde edilirler. Kükürt boyalar çözünür halde tekstile uygulanır ve çözünmez polimer oksidasyonu ile yenilenir [32].

2.4. Tekstil Endüstrisi Boyalı Atıksularının Çevresel Etkileri

Tekstil endüstrisi, esas olarak üretim süreçlerinde önemli miktarda su tüketmektedir. Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık su, üretilen hacim ve atık su bileşimi dikkate alındığında, tüm endüstriyel sektörler arasında en kirletici atıksu olarak sınıflandırılmaktadır. Tekstil atık suları, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), pH, renk ve tuzluluk gibi birçok parametre ile karakterize edilmektedir. Atık suyun bileşimi, kuru ve yaş işleme adımlarında kullanılan farklı organik bazlı bileşiklere, kimyasallara ve boyalara bağlıdır. Tekstil atıklarındaki ana kirleticiler, kalıcı organik bileşikler, renkli, toksik, yüzey aktif ve klorlu bileşikler ve tuzlardır. Dünyada tekstil boyası üretiminin yılda 10.000 tondan fazla olduğu ve yılda yaklaşık 100 ton boya alıcı ortamlara salındığı tahmin edilmektedir [33]. Çevre için en büyük tehditlerden biri su kaynaklarına bu boyalı atık suların deşarj edilmesidir. Çünkü alıcı ortama verilen boyalar ışığın suyun içine nüfuz etmesini engelleyerek hidrofitlerin (su içinde yaşayan bitkiler) fotosentez sürecini engellemektedir. Arıtılmamış boyalı atık suların deşarjı nedeniyle alıcı ortamda oksijen eksikliği olan ortam altında oluşmakta ve bu da aromatik aminler gibi toksik maddelerin oluşmasına yol açmaktadır [34]. Ayrıca azo boyaların etkileri ile ilgili yapılan çalışmalar, bunların mesane, dalak, karaciğer gibi farklı organlardaki birçok kanser türüyle ve memeli hücrelerinde kromozomal bozukluklarla olan bağlantılarını göstermiştir [35]. Şekil 2.2.'de tekstil endüstrisi süreçleri, atık su oluşumu, toksisitesi ve kullanılan arıtma yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Tekstil endüstrisi süreçleri, atık su oluşumu, toksisitesi ve arıtma yöntemleri [36].

2.5. Tekstil Endüstrisi Boyalı Atıksularının Arıtımı

Boya içeren suların arıtılması genellikle için koagülasyon, kimyasal oksidasyon, membran, elektrokimyasal ve aerobik ve anaerobik biyolojik prosesler gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır [37]. Bu tekniklerin her birinin kendine özgü sınırlamaları vardır. Tablo 2.2.'de fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler olmak üzere üç kategoriye ayrılan ve boyalı atık suların arıtılmasında kullanılan yöntemler ve bunların avantaj ve dezavantajları gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Boya giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarına genel bir bakış [38].

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları
Kimyasal Yöntem		
Klor Oksidasyonu	Uygulama kolaylığı ve düşük maliyeti	Yan reaksiyonlar ve toksik ürünler
Hidrojen peroksit (H_2O_2) oksidasyon	Uygulama basitliği	pH bağımlılığı ve çamur üretimi
Ozonlama	Ozon reaktifinin gaz hali, su hacminde artış yok ve çamur üretimi yok	Kısa yarı ömür (20 dak)
Fenton reaktifi	Çözünür olmayan boyalar için verimli renk giderme, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam organik karbon (TOK) ve toksisitenin etkin şekilde azaltılması ve yüksek askıda katı konsantrasyonu ile bile uygulanabilir olması	Çamur üretimi, dar pH aralığında etkinlik ve daha uzun reaksiyon süresi
Koagülasyon/Flokülasyon	Dispers ve kükürt boyaları için ekonomik olarak uygulanabilir olması yüksek giderme verimi	Büyük miktarda konsantre çamur, pH bağımlılığı ve yüksek oranda çözünür boyalar için yetersiz uzaklaştırma
Fiziksel Yöntem		
Aktif karbon ile adsorbsiyon	Çeşitli boyalar için etkili, yüksek kaliteli arıtılmış su	Maliyetli, rejenerasyon ihtiyacı
Membran filtrasyonu	Tüm boya türleri için etkili, yüksek kaliteli arıtılmış atık su	Yüksek çalışma basıncı, önemli miktarda enerji tüketimi, yüksek maliyet, nispeten kısa membran ömrü
İyon-değişim reçinesi	Kullanımdan sonra solventin rejenerasyonu ıslahında ağırlık kaybı olmaz ve çözünür boyalar için etkilidir.	dispers boyalar için etkili değildir, yüksek maliyetli ve pahalı organik çözücüler
Biyolojik Yöntem		
Aerobik	Düşük işletme maliyetleri ve tam mineralizasyonun toksik son ürünleri	Sentetik boyalar homojen olarak renksizleştirilmez. Birçok boya biyolojik bozulmaya karşı dirençlidir ve aerobik koşullar altında arılamaz
Anaerobik	Çeşitli sentetik boyaların bozunması, yüzey aktif maddelerle köpürme sorunu olmaması	Yetersiz BOİ giderimi, N ve P giderilmez ve sülfatların sülfüre dönüşümü

Elektrokoagülasyon yöntemi koagülasyon, elektrokimya, flotasyon ve oksidasyon gibi mekanizmalara dayanmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımı için kullanılan yöntemler arasında karmaşık bir süreç olmasına rağmen elektrokoagülasyon yöntemi diğer arıtma yöntemlerine göre daha az kimyasal madde kullanımıyla gerçekleşen yöntem olduğu için tercih edilmektedir.

2.6. Elektrokoagülasyon (EC) Prosesi ve Esasları

Elektrokoagülasyon (EC) çözünebilir ve pıhtılaştırıcı özelliğe sahip metal bir elektrotun kullanıldığı elektrokimyasal atıksu arıtım sürecidir. EC prosesi çift metal

(elektrot) ve çift taraflı (anot ve katot) düzenlenen bir sistem ile atıksu arıtımı için kullanılan bir elektroliz işlemidir. EC prosesinde elektrotlarda hidroliz reaksiyonları sonucu ortaya çıkan metal hidroksit flokları aracılığı ile kısmi oksitlenme, adsorbsiyon, koagülasyon, çökeltme ve flotasyon işlemleri senkronize bir şekilde gerçekleşerek çeşitli kirleticilerin atıksulardan giderimini sağlamaktadır. Kullanılan metod elektrot malzemesinin elektriksel olarak çözünmesiyle koagülantların oluşturulmasına ve kirleticilerin atıksudan uzaklaştırılmasına dayanmaktadır. Genelde elektrokoagülasyon prosesinde seri olarak üç süreç gerçekleşmektedir.

2.6.1. Elektrot yüzeylerindeki elektrolitik reaksiyonlar

2.6.1.1. Sıvı fazda pıhtılaşma (koagülasyon)

Koagülant üzerindeki çözünebilir veya koloidal yüzeyde tutunan kirleticilerin uzaklaştırılması için çökeltme ya da yüzdürme yöntemi kullanılabilmektedir [39].

EC işleminde kullanılan elektrotlar mono polar veya bipolar olarak düzenlenebilir. EC’ de pıhtılaşma ve çökeltme mekanizmaları sisteme kimyasal madde ilavesi ile değil, elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığı ile gerçekleştirmektedir. Farklı elektrotların kullanılması atık suda pH, yoğunluk, KOİ, amonyak, renk, askıda katı madde gibi kirleticilerin giderim mekanizmasına farklı etkiler oluşturmaktadır [40]. Tablo 2.3.’de EC prosesinin avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Tablo 2.3. Elektrokoagülasyon prosesinin avantaj ve dezavantajları [41].

Avantajları	Dezavantajları
Kolay ekipman gereksinimi ve işletme şartlarının kolay olması	EC de kullanılan elektrotların oksidasyon sonucunda atıksuda çözünmesi nedeni ile düzenli olarak değiştirilme ihtiyacı
Arıtılan atık suyun berrak, renksiz ve kokusuz özelliğe sahip olması	Atıksuyun iletkenliğinin yüksek olması gereksinimi
EC sonucunda oluşan çamurun sudan uzaklaştırılmasının kolay olması ve çamur üretiminin az olması	Katot üzerinde geçirimsiz bir oksit film oluşturması nedeni ile verim kaybı yaşanması
EC’da oluşan flokların büyük olması, daha az su içermesi, asitte daha dayanıklı olması ve daha stabil olması nedeni ile filtrasyon ile daha hızlı ayrılabilmesi	Elektrik kullanımı nedeni ile oluşacak maliyet

2.7. Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Atık Sulardan Boyarmadde Giderimi

Boyalar genellikle ilaç, tekstil, fotoğrafçılık, gıda, kağıt ve plastik gibi belirli endüstrilerde kullanılan maddelerdir. Boyaların çeşitli endüstrilerde üretim süreçlerinden kullanılması sonucunda boyalı atıksular oluşmaktadır. Bu atıksuların yüksek derecede renk içermesi nedeni ile yeniden kullanılması veya alıcı ortama verilebilmesi için etkin bir şekilde giderilmesi gerekmektedir. Bu boyalar ışığa dayanıklı, aerobik çürümeye, ısıya ve oksitleyici maddelere karşı dirençli organik moleküllerdir. Dolayısı ile boyalı atıksuların arıtılması çok karmaşık bir süreçtir [42]. Boyalı atıksu üreten endüstriler içerisinde tekstil endüstrisi atıksuları içerdikleri çok farklı kimyasallardan ve özellikle boyarmaddelerden dolayı arıtılması zor olan endüstriyel atıksulardır. Çeşitli organik madde, ağır metal, çözünmüş tuzlar, renk, bulanıklık içeren ve değişen pH'larda dış ortama verilen bu sular, birinci derece arıtma ihtiyacı duyulan atıksulardır. Tekstil endüstrisi atık suları az bir miktarda boyarmadde konsantrasyonunda bile estetik açıdan istenmeyen problemlerin oluşmasına sebebiyet vermektedir [43]. Bu nedenle tekstil endüstrisi atık sularının arıtılmasında atık suda kalan renginde giderilmesi gerekmektedir. Bu amaçla rengin giderilmesine ilişkin büyük bir oranda araştırma tamamlanmış ve günümüzde renk giderimi ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır [44]. Tekstil endüstrisi atıksularından boyar maddelerin giderilmesinde çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en önemlileri Tablo 2.4.'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Tekstil endüstrisi atıksularından boyarmaddelerin giderilmesinde kullanılan yöntemler [45].

Fiziksel arıtma yöntemleri	Kimyasal arıtma yöntemleri	Fizikokimyasal yöntemler	Biyolojik arıtma yöntemleri
Adsorbsiyon	Ozonlama	Adsorpsiyon	Biyodegradasyon
Membran Sistemleri	Kimyasal Oksidasyon	İyon değiştirme	Biyobirikim
Koagülasyon	Kimyasal indirgeme	Ekstraksiyon	Biyosorpsiyon
Flokülasyon	Elektrokimyasal Yöntem	Ters Osmoz	
		Elektrokimyasal Arıtma	

Bu yöntemler içesinden en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri elektrokoagülasyon yöntemidir. Elektrokoagülasyon yöntemi kimyasal arıtım yöntemine karşı dah az toplam çözünmüş katılar içerir, buda suyu tekrar kullanmak ise önemlidir. Ayrıca bu yöntem enerji ihtiyacı az olması sebebiyle tercih edilen bir

yöntemdir. Elektrokoagülasyon prosesinde en önemli şartlardan biri elektrot türüdür. Elektrokoagülasyon yönteminde en yaygın olarak alüminyum (Al^{+3}) ve demir ($Fe^{+3} - Fe^{+2}$) elektrotlar kullanılmaktadır. Bu elektrotların prosesin işletme aşamasında suyla reaksiyona girerek $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_2$, ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksitler oluşturmaktadır. Sistemde arıtım metal hidroksitlerin oluşmasıyla başlamaktadır. Adsorpsiyon kapasitesi yüksek olan metal hidroksitlerin sudaki farklı kirletici parametreleri absorbe ederek çökelti oluşturarak sudan uzaklaştırma prensibine dayanan bir arıtım metodudur [46].

Elektrokoagülasyon prosesinde elektrot malzemesi olarak alüminyum kullanıldığında kullanılan reaksiyonlar (2.1, 2.2, 2.3) denkleminde aşağıdaki gibidir.

Al katot:



Al anot:



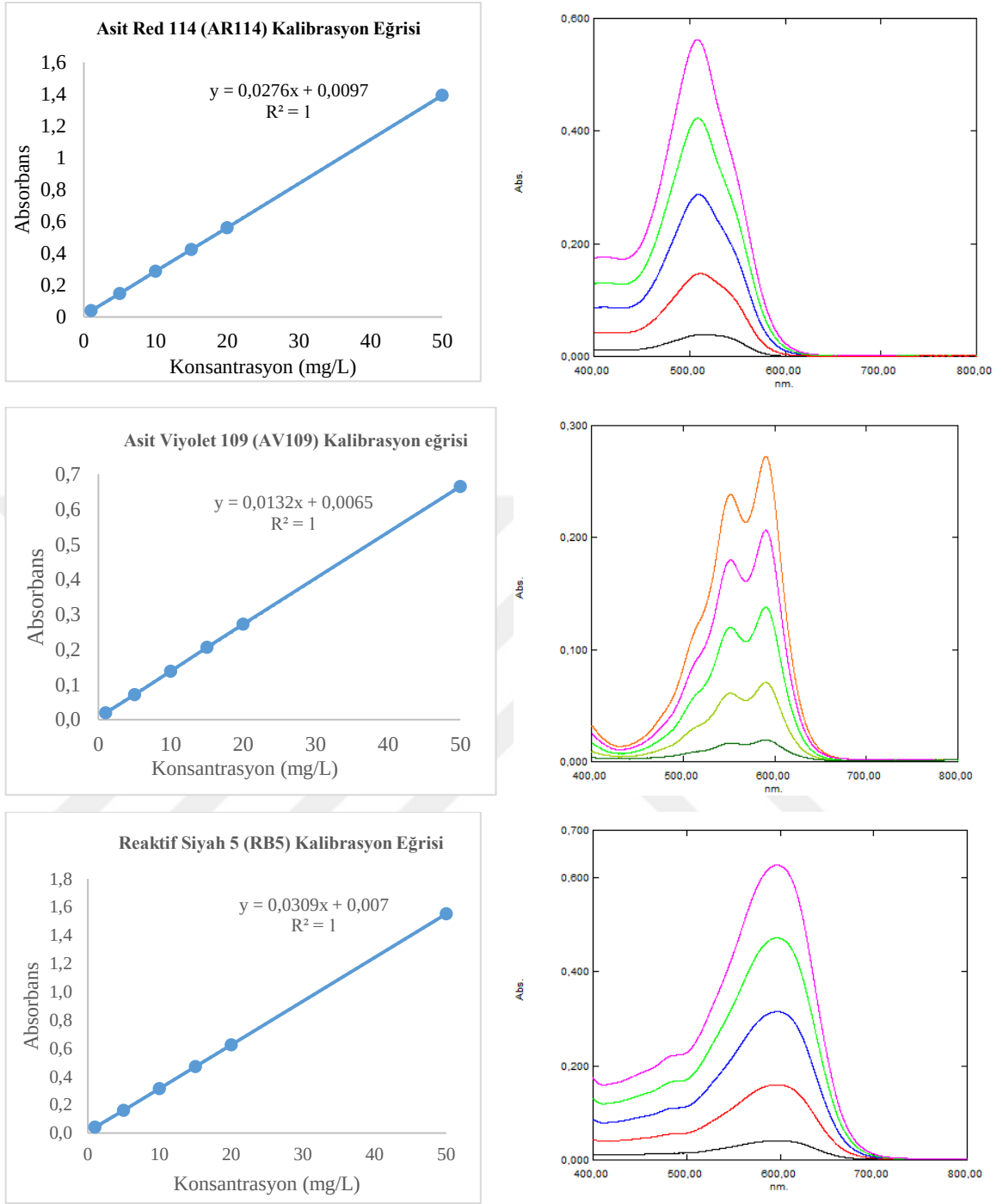
Çözeltide:



BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

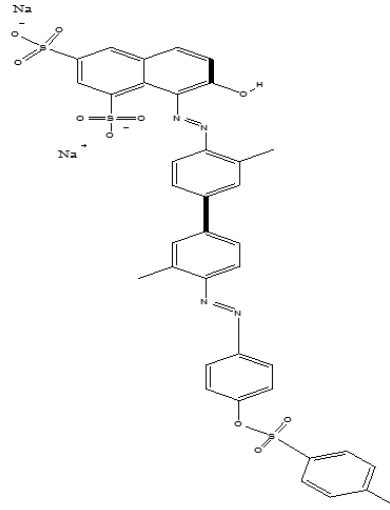
3.1. Deneysel Malzemeler

Elektrokoagülasyon yöntemi kullanılarak atık sularda boyarmadde giderilmesi amaçlanan bu çalışmada kullanılan Asit red 114 (AR 114), Asit viyole 109 (AV 109) ve Reaktif black 5 (RB 5) boyarmaddeler Sakarya'nın Akyazı ilçesinde bulunan Aydın Örme San. Ve Tic. A.Ş (Akyazı) firmasından temin edilmiştir. Sentetik üçlü boya karışımı AR114, AV109 ve RB5 boyalarının her birinden 50'er mg tartılıp çeşme suyu ile çözünmesi ile hazırlanmıştır. Elektrokoagülasyon yöntemine bir DC güç kaynağı (30V 5A maks.) ile güç verilmiştir. Hazırlanan çözeltilerin pH'ı bir pH metre ile (WTHW-pH 720) ile ölçülmüştür. Çözeltinin pH ölçümleri yapıldığında düşük pH ayarlaması için hidroklorik asit ve yüksek pH ayarlaması için sodyum hidroksit kullanılmıştır ve kondüktive ayarlaması NaCl ile yapılmıştır. Her ne kadar konsantrasyon çalışmaları 25, 50, 75, 100, 150, ve 200 mg kullanılarak yapıldıysa da optimum konsantrasyon çalışması için 50mg/L seçilmiştir. Tüm deneyler oda sıcaklığında yürütülmüştür ve hazırlanan çözelti, içerisinde mıknatıs yer alan manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada Al elektrotlar, üçlü boya karışımının kullanıldığı 2 L hacimli beher çözelti kabı kullanılmış ve elektrotlar bu beherin içerisine birbirine sabit mesafe ve yükseklikte asılmıştır. Kuru boya çamurundaki yapısal değişimler FTIR (Shimadzu IR Prestige-21) kullanılarak analiz edilmiş ve ayrıca bu kuru çamurların UV Vis spektrumları tekrar çözülmeleri yoluyla tespit edilmiştir. Her bir örneğin adsorpsiyon spektrumları Shimadzu UV-2401 UV Adsorpsiyon spektrofotometresi ile alınmıştır. Şekil 3.1.'de deneysel çalışmalarda kullanılan boyarmaddelerin kalibrasyon eğrileri ve UV spektrumları verilmiştir.

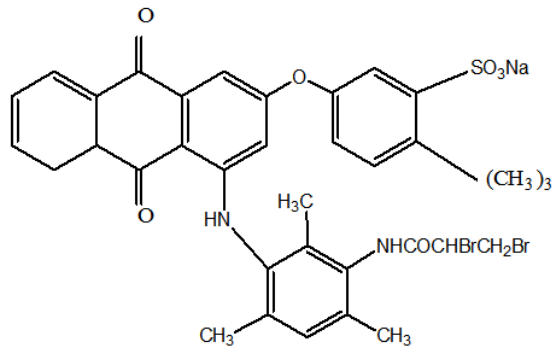


Şekil 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Boyarmaddelerin Kalibrasyon Eğrileri ve UV spektrumları

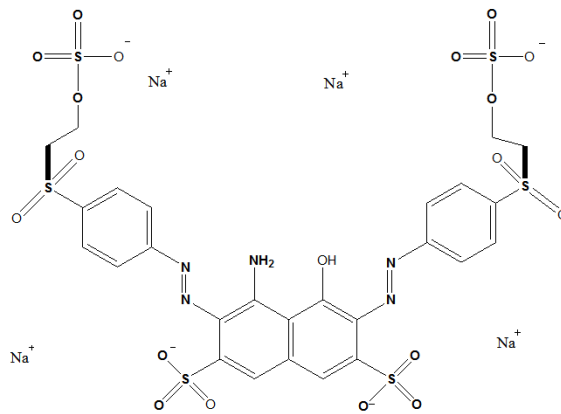
Aşağıda Asit Red 114, Asit Violeto 109 ve Reaktif Black 5 boyarmaddelerinin kimyasal bağ yapıları sırasıyla Şekil 3.2., Şekil 3.3., Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Asit Red 114 kimyasal bağ yapısı



Şekil 3.3. Asit Viyole 109 kimyasal bağ yapısı

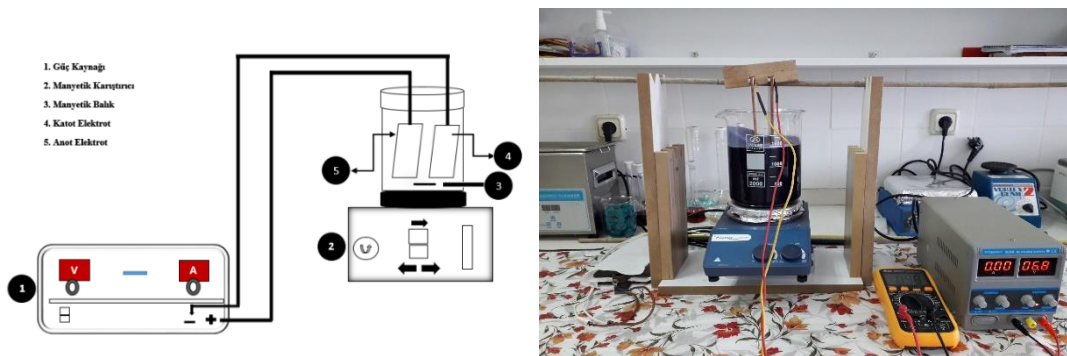


Şekil 3.4. Reaktif Black 5 kimyasal bağ yapısı

3.2. Deney Düzenegi

3.2.1. Deney düzeneginin tasarımı

Bu çalışmada gerçekleştirilen bütün deneyler Şekil 3.5.'de gösterilen düzenekte yürütülmüştür. Elektrokoagülasyon deney düzeneginde iki adet Al elektrotu 1,5 L' lik hazırlanmış üçlü boya çözeltisinin içerisine batırılmıştır. Hazırlanan çözeltinin pH'ı her deneyden önce pH metre kullanılarak ölçülmüştür. Alüminyum elektrotlar bir DC güç kaynağına paralel moda bağlanmıştır ve elektrotların arasındaki mesafe ve yükseklik elektrokoagülasyon prosesi sırasında beher içerisinde sabit tutulmuştur. Kullanılan Al elektrotlar arası mesafe 2 cm'dir ve çözelti içerisine batırılan elektrotun yüzey alanı $10,9 \times 9,8 \text{ cm}^2$ 'dir. Elektrokoagülasyon prosesi süresince bütün deneylerin toplam süresi 1saattir ve bu süre boyunca örnekler alınmıştır. Elektroliz süresi boyunca karışımın devam etmesi için bir adet manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. 60 dakikalık elektrokoagülasyon süresi içerisinde, boyaların zamana bağlı giderimini tespit etmek için zamana bağlı olarak eşit miktarlarda örnekler alınmış ve bu örneklerin adsorpsiyon spektrumları ShimadzuUV-2401 UV Adsorpsiyon spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Her bir deneyinden sonra elektrotlar H_2SO_4 kullanılarak temizlenmiş ve cilalanmıştır. Kullanılan beher de ayrıca her deneyden sonra 0.1 M HCl ile temizlenmiştir.



Şekil 3.5. Elektrokoagülasyon deney düzenegi

3.2.2. Hesaplamalarda kullanılan denklemler

Bu çalışmada akım yoğunluğu, enerji tüketimi ve giderme verimi aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

Akım yoğunluğu: Akım yoğunluğu aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

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

Burada;

J: akım yoğunluğu mA/cm²

I: Akım şiddeti

A: Aktif anot yüzey alanı, cm²'dir.

Enerji Tüketimi: Enerji tüketimi proses sonuna kadar harcanan elektriğin güç birimi watt cinsinden hesaplanır. 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.

Giderme verimi (%R): Deneyin başlangıcında atık sudaki boyarmadde konsantrasyon ile arıtma sonundaki boyarmadde konsantrasyon arasındaki ilişkidir.

$$R = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100 \quad (3.3)$$

Buna göre;

R: Boyarmadde giderim verimi, %

Co: Boyarmadde başlangıç konsantrasyonu, mg/L

C: Boyarmadde bitiş konsantrasyonu, mg/L

3.3. Klasik En küçük Kareler (CLS) Yöntemi

Yapılan bu çalışmada üç tekstil boyasının giderim verimliliği klasik en küçük kareler (CLS) metoduyla hesaplanmıştır. Kalan boya miktarının tahmin edilmesinde türev metodu uygulandığında iyi sonuç alınamamıştır. CLS yöntemi uygulanmış ve çözelti fazındaki örneklerin nicel spektral analizi için daha iyi sonuçlar vermiştir. CLS yöntemi şu şekilde ifade edilebilir;

$$A=KC + E_A \quad (3.4)$$

A burada ölçümlerin bir $n \times m$ matrisidir, m örnek spektrumları için örnek spektrumları için n absorbans yoğunluğudur. K ise bütün bileşenlerin z temiz- bileşeninin spektrumları bir $n \times z$ matrisidir. C m örneklerindeki z bileşenlerinin konsantrasyonlarının bir $z \times m$ matrisidir. E_A $n \times m$ matrisinin spektral hata değeridir. K ise saf madde spektrumlarının doğrusal en küçük kareler tahminidir ve aşağıdaki denklemden gibi hesaplanmaktadır.

$$K = AC^T (CC^T)^{-1} \quad (3.5)$$

CLS yöntemi spektral veriyi bir dizi temel vektöre parçalar ve böylece sonuçları daha anlaşılabilir kılar. Bütün bileşen konsantrasyonları ve onların ilgili spektral değerleri bilindiği sürece, CLS metodu saf bileşenlerin en küçük kare tahminlerini üretebilmektedir. CLS metodu saflığın bozulmasından etkilenmez, sadece çözelti içerisindeki spektral olarak aktif bileşenleri içerir. Saflığın bozulmasına bağlı olarak bazı spektral varyasyonların ek olarak görülmesi mümkün olabilmektedir. Eğer bu spektral değişimler lineer ise ve ölçülebilir bir parametre ile ilişkilendirilebiliyor ise,

bunlar da CLS yöntemine dahil edilebilir [47]. Çalışma kapsamında CLS kalibrasyonu için çözeltiye eklenen ve hesaplanan boya konsantrasyonları ve % geri kazanımlar Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. CLS kalibrasyonu için çözeltiye eklenen ve hesaplanan boya konsantrasyonları ve % geri kazanımlar

İlave Edilen Kons. (mg/L)			CLS ile hesaplanan Kons. (mg/L)			% Geri Kazanım		
AR114	AV109	RB5	AR114	AV109	RB5	AR114	AV109	RB5
2	10	30	1.56	9.51	30.03	78.11	95.12	100.09
5	10	20	4.86	10.09	20.02	97.24	100.92	100.11
10	10	15	9.95	10.41	14.85	99.46	104.12	99.00
15	10	10	14.65	10.57	9.81	97.67	105.74	98.05
20	10	5	19.83	10.17	4.85	99.13	101.68	97.01
30	10	2	29.90	8.28	2.34	99.67	82.84	116.85
10	2	5	10.20	2.22	4.49	101.99	111.00	89.76
10	5	20	9.92	5.98	19.58	99.22	119.64	97.91
10	10	10	9.85	10.53	9.61	98.53	105.33	96.11
10	15	15	10.11	15.15	14.71	101.10	100.99	98.07
10	20	2	10.00	20.52	1.68	99.99	102.59	84.07
10	30	5	9.93	29.91	4.76	99.27	99.69	95.23
5	20	10	4.77	20.75	9.79	95.44	103.74	97.91
30	5	10	29.87	2.85	10.39	99.57	57.05	103.86
20	2	10	20.32	1.78	9.85	101.61	88.75	98.47
15	15	10	14.99	15.21	9.68	99.91	101.43	96.75
2	30	10	1.74	29.34	10.08	86.95	97.79	100.76
20	20	10	19.71	18.93	9.88	98.57	94.63	98.81
15	15	15	14.98	15.03	14.70	99.89	100.18	98.01
5	5	5	5.04	5.44	4.53	100.78	108.80	90.62

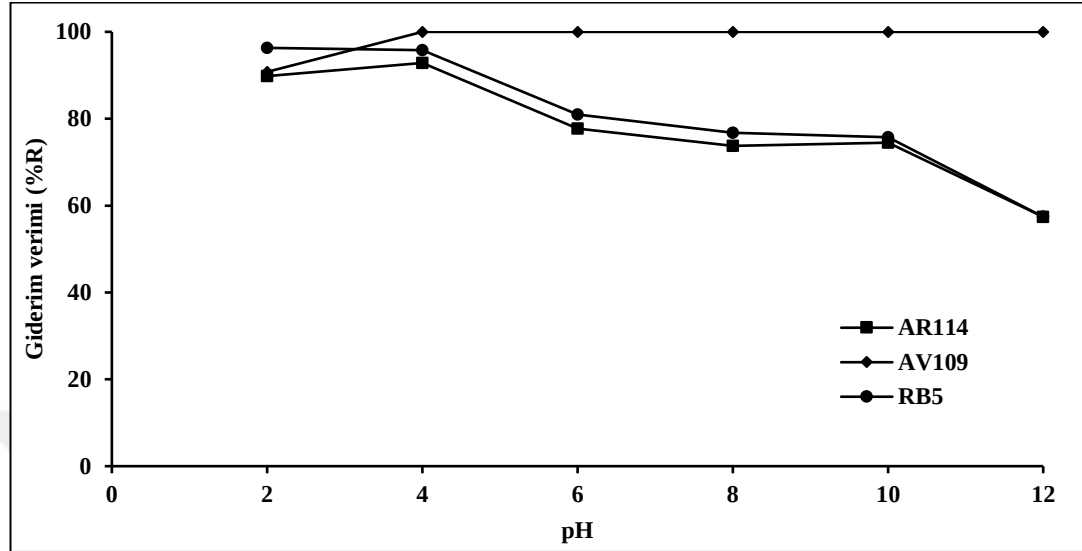
BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında laboratuvar ortamında hazırlanan ve Asit Red 114(AR114), Asit Viyole 109(AV109), Reaktif Black 5(RB5) üçlü boyarmadde karışımını içeren atık sudan elektrokoagülasyon prosesi ile renk giderimi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda atık sulardan renk giderim verimi üzerine pH, başlangıç boyarmadde konsantrasyonunun, akım yoğunluğu ve elektrolit miktarının etkileri araştırılmış ve optimum şartlar belirlenmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

4.1. pH Parametresinin Etkisi

Bir elektrokoagülasyon prosesinde, hidroksit oluşumu, boya moleküllerinin uzaklaştırılması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, başlangıç pH'ı, boya moleküllerinin atıksulardan uzaklaştırma hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 4.1. pH'ın değişiminin boyarmaddelerin atıksulardan uzaklaştırılması üzerindeki etkisini göstermektedir. Deneysel sonuçlar, ilk pH'ın 60 dakika boyunca nihai giderim verimini değiştirmedigini ancak boya giderme oranını etkilediğini göstermiştir. Deneysel çalışmalarda incelenen pH aralığı pH=2-12'dir. En yüksek giderim verimine en hızlı uzaklaştırma verimliliğine pH=4 civarında ulaşılmıştır. AR114, AV109 ve RB5 için 30 dakikalık elektroliz süresinden sonra giderim verimleri sırasıyla yaklaşık %92,8, %100 ve %98,8'dir. Deneylerden elde edilen bulgulara göre üç boyanın giderim davranışı aynı olmadığı ve AV109'un çözeltilerden en hızlı uzaklaştırılan boya olduğu görülmüştür. Diğer iki boyanın ise giderim davranışlarının birbirine benzer olduğu görülmüştür. AR114 ve RB5 boaları için pH=4'den sonra giderim veriminin olumsuz etkilendiği AV109 için ise değişiklik göstermediği anlaşılmıştır. Boyaların tek tek pH'ı farklı olmasına rağmen, deneyin başlangıcında karışımın pH'ı yaklaşık olarak

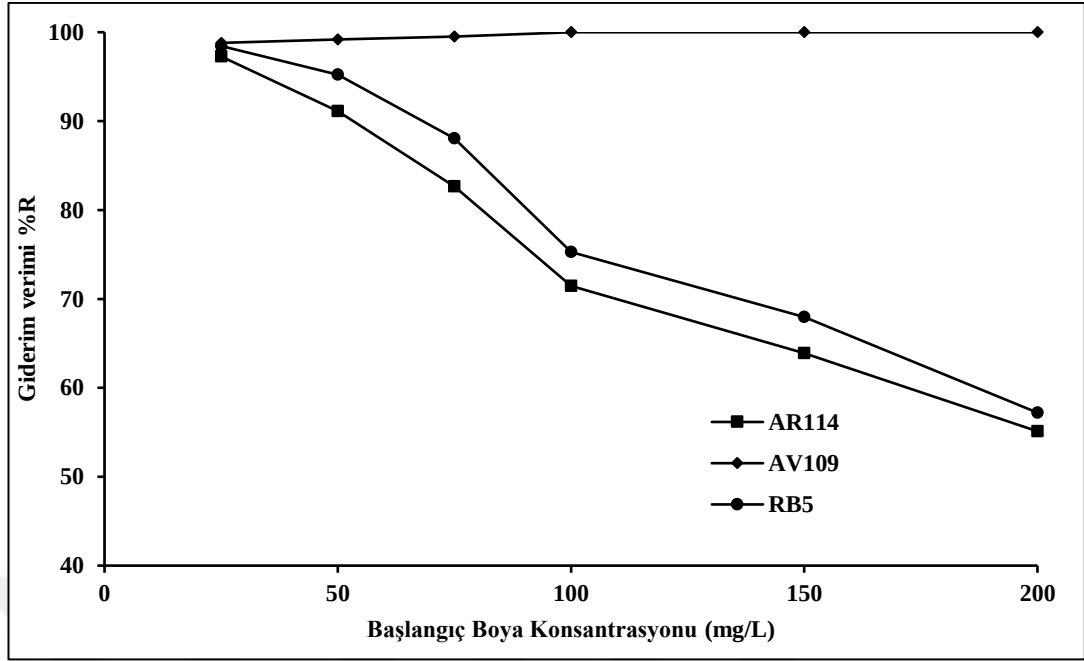
pH=6 civarında ve elektrokoagülasyon işlemi sonunda ise 10.6 olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Başlangıç pH'nın AR114, AV109 ve RB5 giderim verimliliği üzerine etkisi $C_0=50 \text{ mgL}^{-1}$; $i=11,68 \text{ mA/cm}^2$; $T=293,15 \text{ K}$; $d=2,0 \text{ cm}$; $\text{NaCl}=3 \text{ g/L}$.

4.2. Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi

Bu kısımda, çözeltideki boya konsantrasyonları değiştirilerek, başlangıç boya konsantrasyonunun boya giderim verimliliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.2. diğer tüm deneysel parametreleri sabit tutarak elektrokoagülasyon sisteminin giderme verimliliğini göstermektedir. Burada boya konsantrasyon oranları sabit tutulmuş ve her deney seti için sadece boya miktarları değiştirilmiş ve boyaların giderim oranları araştırılmıştır. Çalışılan en az boya konsantrasyonu 25 mg/L ve en yüksek 200 mg/l 'dir. Doğal olarak sistemin giderim veriminin boyaların konsantrasyon artışı ile azalması ve toplam boya giderim süresinin artması beklenmektedir. Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi elektrokoagülasyon işlemi sonunda %100 giderim gözlenmiş ve boyanın giderim oranı konsantrasyon az olduğunda daha yüksek, yüksek konsantrasyonlarda ise yavaşlamaktadır. Optimize edilmiş koşullarda başlangıç boya konsantrasyonu için 50 mg/l boya konsantrasyonu seçilmiş ve diğer tüm deneyler için aynı konsantrasyon kullanılmıştır.

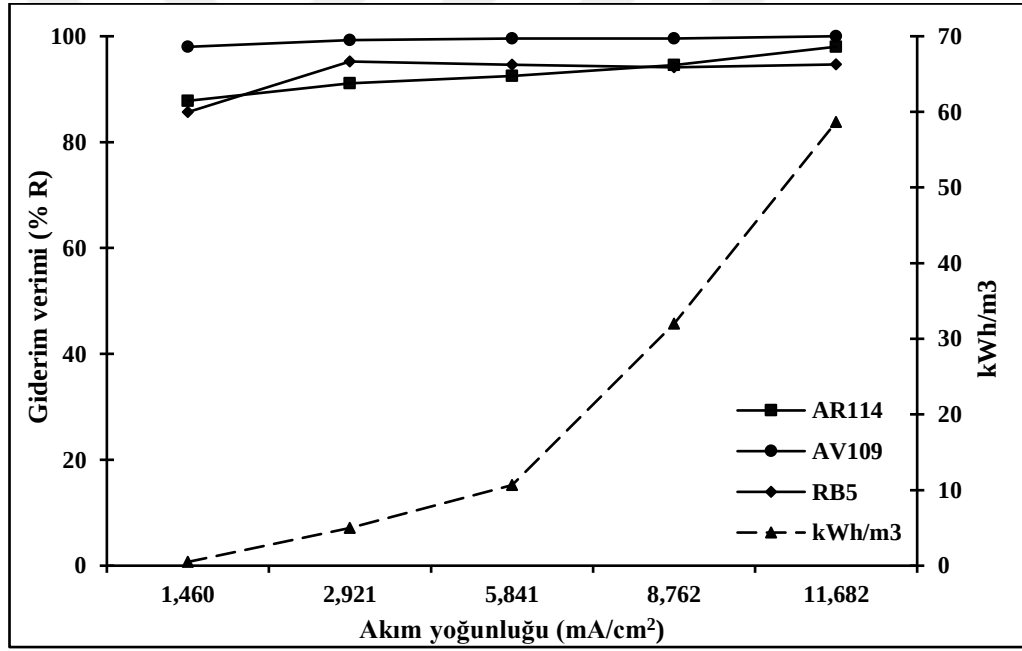


Şekil 4.2. Başlangıç boya konsantrasyonunun AR114, AV109 ve RB5 giderim verimi üzerine etkisi $i=11.68 \text{ mA/cm}^2$; $T=293.15 \text{ K}$; $d=2.0 \text{ cm}$; $\text{NaCl}=3 \text{ g/L}$, $\text{pH}=4$.

4.3. Akım Yoğunluğunun Etkisi

Şekil 4.3. sabit bir başlangıç boya konsantrasyonu, pH ve tuz konsantrasyonlarında akım yoğunluğunun boya giderim verimi üzerine etkilerini göstermektedir. Akım yoğunluğu, flok ve topaklaşma oluşum hızını kontrol etmek için en önemli çalışma parametresidir. Çalışmada beş farklı akım değeri test edildi ($1.46, 2.92, 5.84, 8.76, 11.68 \text{ mA/cm}^2$). Şekil 4.3.'de, artan akım yoğunluğunun artmasının boyaların giderme oranını arttırdığı açıkça görülmektedir. Düşük akımlı çalışmalarda flok oluşumu biraz zaman alır; bu nedenle topaklaşma 20. dakikaya kadar başlamaz. Ancak yüksek akım yoğunluklu (11.68 mA/cm^2) çalışmalarda giderim verimleri ilk 10 dakikada maksimum değere ulaşır. Deneylerde kullanılan tüm akım değerlerinde yüksek bir giderim verimine ulaşılsada, düşük akım değerlerinde başlangıçta giderimi oranı düşüktür ve akım artışı ile giderme oranı kademeli olarak artmıştır. AR114, AV109 ve RB5 için sırasıyla giderim oranları 1.46 mA/cm^2 için ilk 10 dakikada %52, %88 ve %45 iken, 2.33 mA/cm^2 için %67 %95 ve %60 ve 11.68 mA/cm^2 için %88, %100 ve %86 olmuştur. Elde edilen sonuçlar, daha yüksek akım değerlerinde çözeltide daha fazla çökelmenin olduğu görülmüştür.

Önceki bölümde bahsettiğimiz gibi, akım elektrokoagülasyon işleminde diğer tüm parametreleri kontrol eder ve çözeltinin pH değeri de bunlardan biridir. Elektrokoagülasyon işlemi sırasında, çözeltinin pH'ı sürekli artar ve belirli bir süre sonra sabit bir pH'a ulaşır. Bu çalışmada, deneylerin pH=4'de başlatıldığı ve altmış dakika sonra 10.6'ya ulaştığı yapılan deneysel çalışmalardan elde edilmiştir. Bu nedenle tüm elektrokoagülasyon çalışmalarında hangi pH kullanılırsa kullanılsın elektrokoagülasyon işlemi tamamlandıktan sonra belirli bir pH değerine ulaşmıştır. Bu nedenle pH değişimi, yalnızca yumak oluşumu dengesine ne kadar hızlı ulaşacağını etkiler ve yüksek akım kullanmak çözeltideki pH artışlarını hızlandırır. Elde edilen sonuçlardan, akım yoğunluğu 11.68 mA/cm² olduğunda, 10 dakikalık işlemten sonra, tüm boyalar için giderim veriminin %85'in üzerinde olduğu görülmüştür.

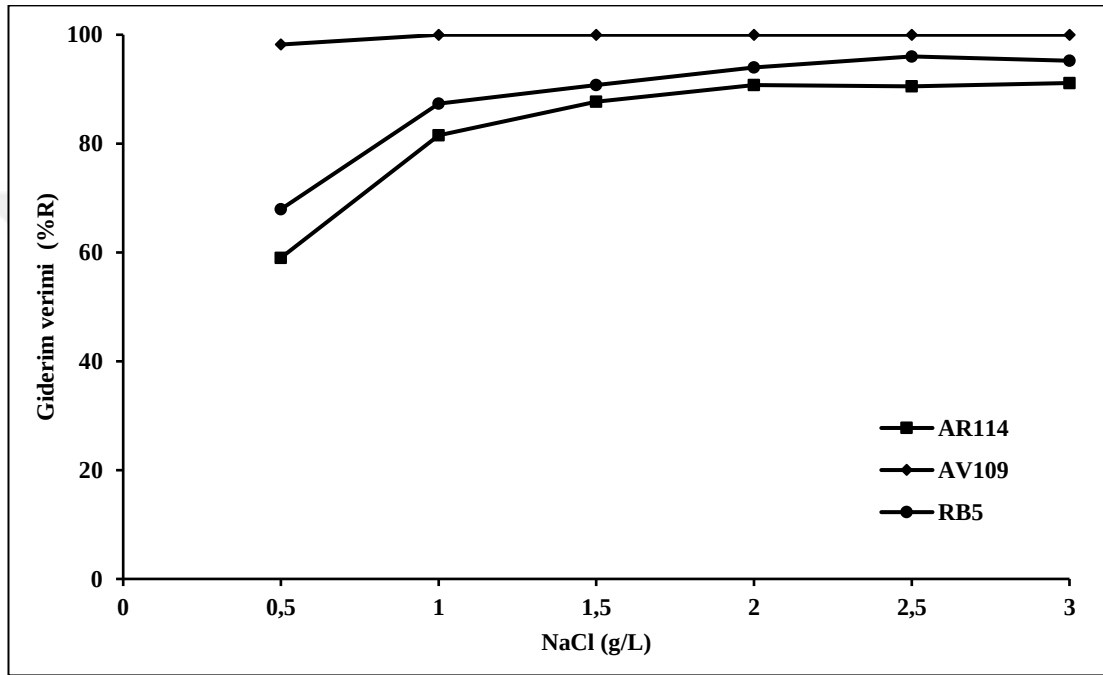


Şekil 4.3. Akım yoğunluğunun AR114, AV109 ve RB5 giderim verimliliği üzerine etkisi $C_0=50 \text{ mg/L}^{-1}$; $T=293.15 \text{ K}$; $d=2.0 \text{ cm}$; $\text{NaCl}=3 \text{ g/L}$, $\text{pH}=4$.

4.4. Elektrolit Miktarının Etkisi

Çalışmanın bu kısmında elektrolit (NaCl) konsantrasyonunun boya giderim verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Elektrolit konsantrasyonu için 0,5-3 g/L aralığı çalışılmıştır. Şekil 4.4. elektrokoagülasyon prosesinde elektrolit konsantrasyonunun giderim verimi üzerine etkisini göstermektedir. pH etkisinde olduğu gibi, NaCl miktarının da boyaların

nihai giderim verimi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Düşük elektrolit konsantrasyonu çözeltinin iletkenliğini etkiler, bu nedenle elektrokoagülasyonun erken aşamasında, metal iyonlarının miktarı yeterli değildir, ancak anot ve katotta yeterli iyon oluşturulduktan sonra uzaklaştırma işlemi daha hızlı hale gelmektedir. Çözelti yeterli tuz konsantrasyonuna sahipse, elektrokoagülasyon işlemi, elektrotlara akım uygulanmasıyla hemen başlar ve bu, daha yüksek boya giderim verimleri sağlar.

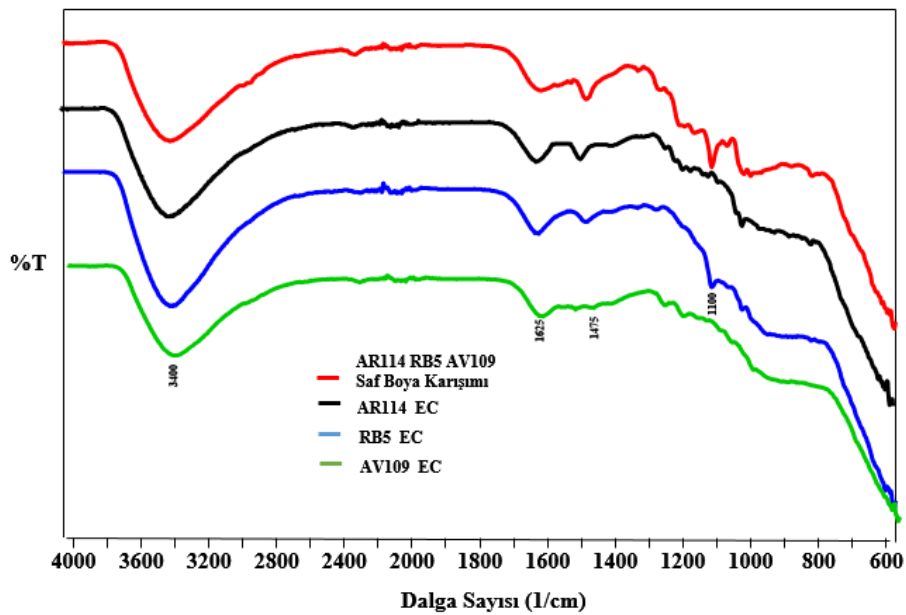


Şekil 4.4. Elektrolit konsantrasyonunun AR114, AV109 ve RB5 giderim verimliliği üzerine etkisi $C_0=50 \text{ mgL}^{-1}$; $i=11.68 \text{ mA/cm}^2$; $T=293.15 \text{ K}$; $d=2.0 \text{ cm}$; $\text{pH}=4$.

4.5. Kurumuş Çamurun Analizi

Yapılan elektrokoagülasyon çalışmalarında boyaların ortamdan uzaklaştırılması sırasında herhangi bir yapısal bozunma yada herhangi bir adsorpsiyonun olup olmadığının anlaşılması için FTIR çalışması yapılmıştır. Her bir boya davranışını anlayabilmek için boyalar teker teker elektrokoagülasyon tabi tutulmuş ve oluşan floklar deney sonunda toplanıp kurutulduktan sonra FTIR spektrumları alınarak yapısal değişiklikler incelenmiştir. Şekil 4.5.'de boyaların teker teker olduğu ve tüm boyaların karışım halinde olduğu FTIR spektrumlarını göstermektedir. Boyalar için başlangıçta alınan miktar her bir boya için 100 mg ve toplamda ise 300 mg olacak şekilde

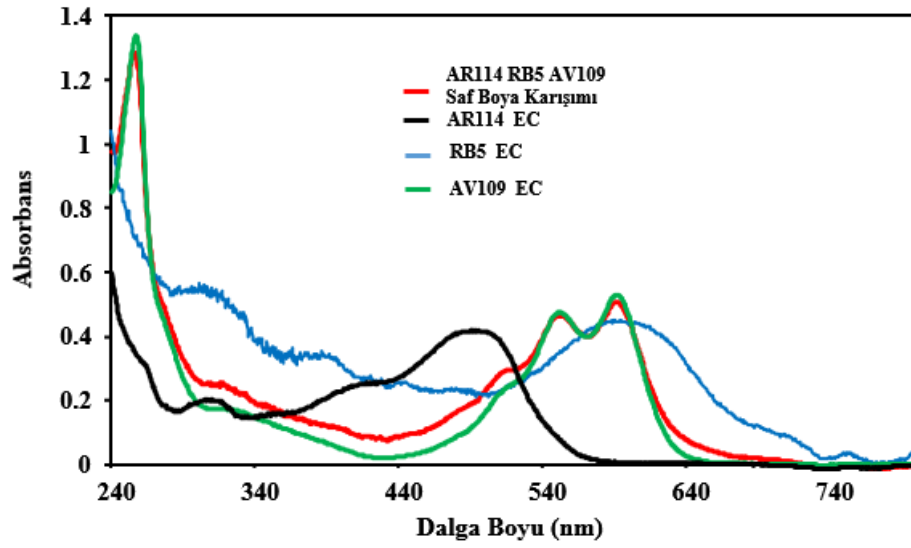
elektrokoagülasyon işlemi yapılmıştır. Her bir deneyde elde edilen flok miktarına bakıldığında başlangıçta tekli sistemler için 100 mg boya karışım için toplam 300 mg boya varken flok miktarı gram oranlarındadır ki elde edilen toplam maddenin büyük çoğunluğunu Al_2O_3 oluşturmaktadır. Bu durum da spektrumlar üzerinde açıkça görülmektedir. Tüm spektrumlardaki 3400 cm^{-1} 'da ortaya çıkan geniş pik suya ait O-H grubu gerilme titreşimlerine aittir. Yine 1625 ve 1475 cm^{-1} dalga sayısında ortaya çıkan pikler özellikle alfa- Al_2O_3 pikleridir. Yine 1000 cm^{-1} ortaya çıkan pik büyük olasılıkla Al_2O_3 pikleridir. Bunun haricinde genel olarak floklar üzerinde boyalara ait çok az miktarda izler görülmektedir. Boyalara ait spesifik pikler tam olarak görünmemektedir. Sadece RB5 ye ait 1100 cm^{-1} dalga sayısında ortaya çıkan pik toplam boyalar için alınan spektrumda da görülmektedir. Yine 2900 cm^{-1} de görünen çok küçük pikler alifatik gruplara ait pikleri göstermektedir. Genel olarak boyalar oluşan Al_2O_3 floklar üzerinde değilde tamamen karışmış olduğu sonucuna gidilebilir. Eğer yüzeyde toplanmış olsaydı spektrumlarda daha güçlü pikler gözlemlenmesi gerekirdi. Burada yapısal bozunmalarda meydana gelmiş olabilir ama yapısal bozunmaların FTIR spektrumlarına tam olarak görülebilmeleri için daha saf numunelere ihtiyaç vardır. Miktarın az olması ve flok içerisine boyanın tamamen karışmış olması tanınmayı engellemektedir.



Şekil 4.5. Saf boyaların FTIR spektrumları

4.6. UV-VIS Çalışmaları

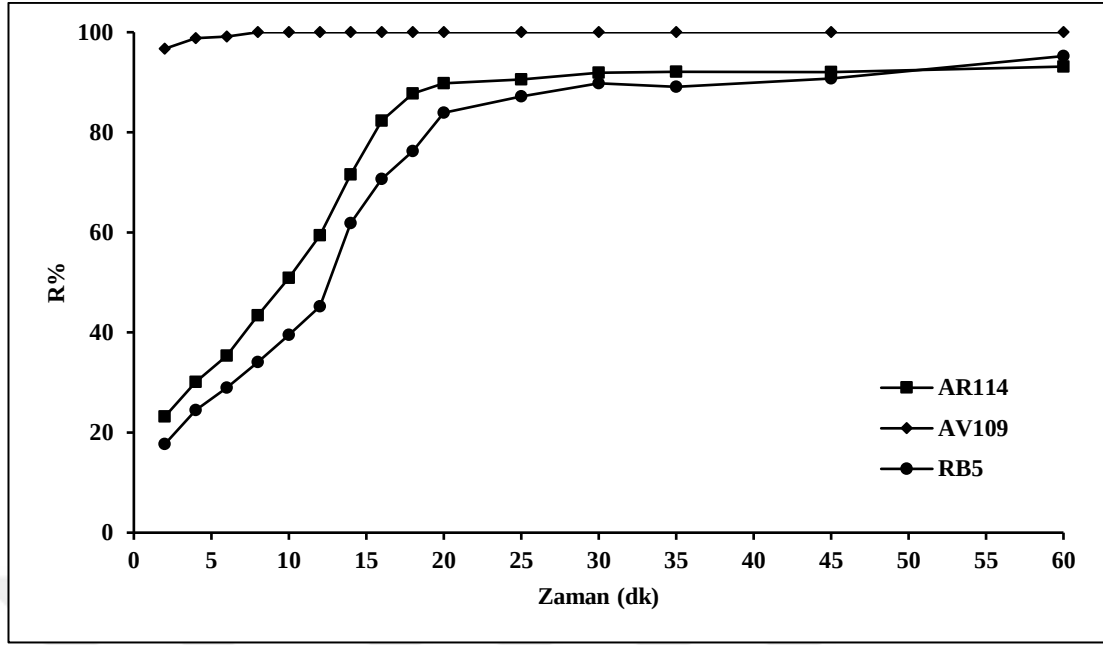
Boyaların elektrokoagülasyon prosesi ile tamamen ortadan kaybolmadığı FTIR spektrumundaki çok küçükte olsa ortaya çıkan piklerden anlaşılmaktadır. Ama görünebilen pikler yapısal bozulma olup olmadığı konusunda bilgiler vermemektedir. Bu durumu aydınlığa kavuşturacak başka bir işlem de elde edilen flokların tekrar uygun solventte çözündürülüp spektrumlarının alınmasıdır. Bu çözündürme olayı tabiki boyaların floklar içerisindeki durumuna bağlıdır. Eğer boyalar yapısal bozunmalara uğramışlarsa ya da Al_2O_3 ile güçlü etkileşimlere girmişlerse çözündürme olayıda zor olacaktır. Şekil 4.6. her bir boyanın ve boya karışımlarının elektrokoagülasyon işleminden sonra elde edilen flokların tekrar çözündürülmesi ile alınmış spektrumlarını göstermektedir. Kırmızı olan spektrum boya karışımlarına ait spektrumu göstermektedir. Diğer renklerde tekli boyalara ait spektrumlardır. Tüm boya karışımı spektrumu profilinin diğerleri ile karşılaştırılmasında boyası spektrumu ile bire bir örtüştüğü görülmektedir ve en çok da AV109'un profiline benzemektedir. Bu AV109' un diğer boyalardan farklı olduğunu göstermektedir. AV109' un molekülleri büyük olasılık adsorpsiyon yüzeye tutunmakta ve kolayca solvent içerisinde çözündürülebilmektedir. Mavi renkli olan RB5'in ise spektrum profili karışım üzerinde görünmemektedir bu da flok içerisindeki RB5' in farklı bir durumda olduğu, ya çok kuvvetli bir şekilde adsorplandığı ya da kimyasal değişime uğradığı düşüncesini ortaya koymaktadır. AR114' ün yine karışım spektrumuna belirli oranda katkı sağladığı söylenebilir. AR114' ün 450 nm de görülen absorpsiyon bandının karışıma katkı sağladığı söylenebilir, çünkü bu bölgede diğer iki boya bir absorpsiyon vermediği halde karışımda absorpsiyon görünmekte bu da bir tek AR114'ten gelmektedir. Yine daha düşük dalga boylarındaki karışım spektrumuna katkılar büyük oranda AR114'ten geldiği söylenebilir. Bu durumda yapısal bozunmanın en azından iki boya için fazla olmadığı sadece RB5 için olabileceği düşüncesini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.6. Kurumuş boya çamurunun suda tekrar çözündükten sonraki UV-Vis spektrumları (Çamur koagülasyon prosesinin sonunda toplanmaktadır)

4.7. Elektroliz Süresinin Etkisi

Şekil 4.7.'de sabit bir başlangıç boya konsantrasyonu, pH, akım yoğunluğu ve tuz konsantrasyonunda elektroliz süresi çalışmalarını göstermektedir. Elektrokoagülasyon prosesinde anodik çözünmenin başlamasıyla koagülasyon oluşur. Çözeltiden kirletici parametrelerin giderimin de direkt olarak elektrotlar tarafından üretilen iyon konsantrasyonu önemlidir. Elektroliz süresi artarsa, iyonların konsantrasyonu ve onların hidroksit flokları artar. Yani Elektrokoagülasyon prosesinde uygun ve yeterli miktarda flokların oluşması zamana bağlı olarak gerçekleşir. Şekil 4.7 de görüldüğü Çalışma kapsamında 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 35, 45, 60 dakika elektroliz süreleri için boyarmadde giderimi incelenmiştir. Elektroliz süresi çalışmasında 60. dakikada giderim verimliliği artmıştır. Optimum şartlarda elektroliz süresi 60 dakika olarak belirlenmiştir. İki adet alüminyum elektrot materyali kullanılarak deneyde boyarmadde konsantrasyonu 50mg/L ayarlanmış elektrolit konsantrasyonu ise 3g/L ayarlanmıştır. Elektroliz süresinin giderim verimliliği Tablo 4.7' de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Elektroliz süresinin AR114, AV109 ve RB5 giderim verimliliği üzerine etkisi $C_0=50 \text{ mgL}^{-1}$; $i=11.68 \text{ mA/cm}^2$; $T=293.15 \text{ K}$; $d=2.0 \text{ cm}$; $\text{NaCl}=3 \text{ g/L}$, $\text{pH}=4$.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmaddelerden Asit Red 114 (AR114), Asit Viyole 109 (AV109), Reaktif Black 5 (RB5)'in üçlü karışımının endüstriyel atıksulardan elektrokoagülasyon yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda laboratuvar ortamında oluşturulan üçlü boya karışımı çözeltisine alüminyum elektrot kullanarak farklı pH, boyarmadde konsantrasyonları, elektrolit çözeltisi ve akım yoğunluğunun renk giderimine etkisi belirlenmiş ve optimum şartlar tespit edilmiştir. Boyarmadde giderimi için pH aralıkları 2- 12 arasında çalışılmıştır, pH=4 çalışmasında daha yüksek verim elde edilmiştir. Alüminyum elektrot ile pH parametresinde çalışılacak pH aralığı pH=4 olarak belirlenmiştir. Boya konsantrasyonu 25 – 200 mg/L arasında incelenmiştir ve boya konsantrasyonun artmasıyla arıtım veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Boya konsantrasyonunun giderim verimi üzerinde etkisinin incelendiğinde, optimum konsantrasyon 50 mg/L olarak belirlenmiştir. İlave edilen elektrolit konsantrasyonun boyanın giderim verimi üzerine etkisi incelenerek çözeltiye eklenmesi gereken optimum elektrolit konsantrasyonu belirlenmiştir. Çalışılan elektrolit konsantrasyonları 0,5 – 3 g/L aralığında olup optimum şartlarda için elektrolit konsantrasyonu 3 g/L olarak belirlenmiştir. Boya giderimi için en optimum Akım yoğunluğu olarak 11,68 mA/cm² belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda optimum şartlarda 3 boya içinde %90 üzerinde giderim verimlerine ulaşılmıştır. Ayrıca elektrokoagülasyon çalışmaları, AV109'un giderim oranının hem elektroliz süresinin başlangıcında hem de bitiminde diğer iki boyadan daha yüksek olduğunu görülmüştür. Bu büyük olasılıkla AV109'un kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. AV109'un karmaşık yapısı kolayca bozulmakta ve AV109'un rengi çözelti içinde kolayca giderilmektedir.

Tez çalışması kapsamında ayrıca kullanılan boyalar ayrı ayrı ve üçlü karışım olarak elektrokoagülasyon sürecine tabi tutulmuş ve oluşan floklar deney sonrasında toplanıp kurutulduktan sonra Kuru Çamur analizi (FTIR) yapılarak Asit Red 114(AR114), Asit Viyole 109 (AV109), Reaktif Black 5 (RB5)'in yapısal değişimleri incelenmiştir.

Sonuç olarak elektrokoagülasyon prosesinde elektrot materyali olarak alüminyum elektrot kullanılarak belirlenen optimum şartlarda üçlü boya karışımı için yüksek oranda giderim sağlandığı söylenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] L. Joseph, B.-M. Jun, J. R. V. Flora, C. M. Park, and Y. Yoon, "Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review," *Chemosphere*, vol. 229, pp. 142–159, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.04.198.
- [2] M. Levent YILMAZ H. Sencer PEKER, *Su Kaynaklarının Türkiye Açısından Ekono-Politik Önemi Ekseninde Olası Bir Tehlike: Su Savaşları*, 57-74pp, Bahar 2013
- [3] N. E. Gümüş, "Water quality and heavy metal pollution in Akarçay Stream (Afyonkarahisar)," *J. Anatol. Environ. Anim. Sci.*, Feb. 2021, doi: 10.35229/jaes.839147.
- [4] W. Rauch and P. Harremoes, "The importance of the treatment plant performance during rain to acute water pollution," *Water Sci. Technol.*, vol. 34, no. 3, pp. 1–8, Jan. 1996, doi: 10.1016/0273-1223(96)00549-5.
- [5] S. Bathrinath, R. K. A. Bhalaji, and S. Saravanasankar, "Risk analysis in textile industries using AHP-TOPSIS," *Mater. Today Proc.*, p. S2214785320333708, May 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.04.722.
- [6] A. Kuleyin, A. Gök, and F. Akbal, "Treatment of textile industry wastewater by electro-Fenton process using graphite electrodes in batch and continuous mode," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 1, p. 104782, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jece.2020.104782.
- [7] A. K. Pathak, R. Kothari, V. V. Tyagi, and S. Anand, "Integrated approach for textile industry wastewater for efficient hydrogen production and treatment through solar PV electrolysis," *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 45, no. 48, pp. 25768–25782, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.03.079.
- [8] M. Eyvaz, M. Bayramo, and M. Kobya, "Tekstil endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyon ile arıtılması: Teknik ve ekonomik değerlendirme," p. 11.
- [9] S. Abbas, L. H. Chiang Hsieh, K. Techato, and J. Taweekun, "Sustainable production using a resource–energy–water nexus for the Pakistani textile industry," *J. Clean. Prod.*, vol. 271, p. 122633, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122633.

- [10] S. Samsami, M. Mohamadi, M.-H. Sarrafzadeh, E. R. Rene, and M. Firoozbahr, "Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 143, pp. 138–163, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.psep.2020.05.034.
- [11] Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands Shokoufeh Salimi , Suhad A.A.A.N. Almuktar , Miklas Scholz, 15 May 2021
- [12] Carlos Rafael Silva de Oliveira , Afonso Henrique da Silva Júnior , Jéssica Mulinari , Ana Paula Serafini Immicha Textile Re-Engineering: Eco-responsible solutions for a more sustainable industry
- [13] U. Rott and R. Minke, "Overview of wastewater treatment and recycling in the Textile Processing Industry," *Water Sci. Technol.*, vol. 40, no. 1, pp. 137–144, Jan. 1999, doi: 10.1016/S0273-1223(99)00381-9.
- [14] Meerambika Behera , Jayato Nayak , Shirsendu Banerjee, Sankha Chakraborty, Suraj K. Tripathy A review on the treatment of textile industry waste effluents towards the development of efficient mitigation strategy: An integrated system design approach 10.1016/j.jece.2021.105277
- [15] Zhiyong Chua , Kaikai Chena , Changfa Xiaoa , Dawei Ji , Haoyang Ling , Muyang Li , Hailiang Liub, Improving pressure durability and fractionation property via reinforced PES loose nanofiltration hollow fiber membranes for textile wastewater treatment, page 71-81 10.1016/j.jtice.2019.12.009
- [16] W. A. A. Mohamed et al., "Zinc oxide quantum dots for textile dyes and real industrial wastewater treatment: Solar photocatalytic activity, photoluminescence properties and recycling process," *Adv. Powder Technol.*, vol. 31, no. 6, pp. 2555–2565, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.appt.2020.04.017.
- [17] J. Núñez, M. Yeber, N. Cisternas, R. Thibaut, P. Medina, and C. Carrasco, "Application of electrocoagulation for the efficient pollutants removal to reuse the treated wastewater in the dyeing process of the textile industry," *J. Hazard. Mater.*, vol. 371, pp. 705–711, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.03.030.
- [18] Dyestuffs from textile industry wastewaters: Trends and gaps in the use of bioflocculants , Cesca, Karina 181-190
- [19] http://dspace.balikesir.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12462/10843/Murat_Can.pdf?sequence=1&isAllowed=y, Erişim Tarihi: 21.07.2021.
- [20] M. Daoud, O. Benturki, P. Girods, A. Donnot, and S. Fontana, "Adsorption ability of activated carbons from Phoenix dactylifera rachis and Ziziphus jujube stones for the removal of commercial dye and the treatment of dyestuff wastewater," *Microchem. J.*, vol. 148, pp. 493–502, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.microc.2019.05.022.

- [21] F. O. Kocaer and U. Alkan, "Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri," p. 9.
- [22] H. A. Eren and P. AniŞ, "Tekstil Boyama Atıksularının Ozonlama İle Renk Giderimi," p. 9.
- [23] H. Yuan, L. Chen, Z. Cao, and F. F. Hong, "Enhanced decolourization efficiency of textile dye Reactive Blue 19 in a horizontal rotating reactor using strips of BNC-immobilized laccase: Optimization of conditions and comparison of decolourization efficiency," *Biochem. Eng. J.*, vol. 156, p. 107501, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.bej.2020.107501.
- [24] Y. Önal and T. TanteKiN, "Aktif karbon, kil ve zeolit ile Malatya tekstil fabrikalarında kullanılan tekstil boyalarının adsorpsiyonu," p. 11, 2018.
- [25] Raju Penthala , Hyeon Oh, Si Hyeong Park a , In Yeol Lee, Eun Hee Ko, Young-A Son a Synthesis of novel reactive disperse dyes comprising carbamate and cyanuric chloride groups for dyeing polyamide and cotton fabrics in supercritical carbon dioxide 10.1016/j.dyepig.2021.110003
- [26] Meltem BAYRAM, Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyarmaddeler, Zararlı Kimyasal İçerikleri Ve Ozon Oksidasyonu İle Arıtılmalarının Koi Ve Renk Bileşenleri Üzerine Etkisi, p.140, 2019
- [27] M. Wawrzkieicz, E. Polska-Adach, and Z. Hubicki, "Application of titania based adsorbent for removal of acid, reactive and direct dyes from textile effluents," *Adsorption*, vol. 25, no. 3, pp. 621–630, Apr. 2019, doi: 10.1007/s10450-019-00062-0.
- [28] Zhala ALI-ZADA, Dispers Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının İleri Oksidasyon Yöntemi İle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, page 84 , 2019
- [29] <http://acikerisim.btu.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12885/47/486746.pdf?sequence=1&isAllowed=y.>, Erişim Tarihi: 21.07.2021.
- [30] <https://polen.itu.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11527/8947/4117.pdf?sequence=1&isAllowed=y.>, Erişim Tarihi: 21.07.2021.
- [31] Ufuk Muhammed ÖZ Farklı Sınıf Tekstil Boyalarının Alüminyum Elektrotların Kullanıldığı Elektrokoagülasyon İle Sudan Giderme Veriminin İncelenmesi , page 68, 2018
- [32] CANSU ÖZMEZ , Reaktif Blue 222 Boyarmaddesinin Sulu Çözeltilerden Elektrokoagülasyon Ve Ultraseselektrokoagülasyon Yöntemlerini Kullanarak Gideriminin İncelenmesi page 103 , 2020

- [33] P. Semeraro et al., "Interaction between industrial textile dyes and cyclodextrins," *Dyes Pigments*, vol. 119, pp. 84–94, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.dyepig.2015.03.012.
- [34] Iva Curic , Davor Dolar , Klara Karadakic Textile wastewater reusability in knitted fabric washing process using UF membrane technology, 126899 10.1016/j.jclepro.2021.126899
- [35] S. Senthilkumar, M. Perumalsamy, and H. Janardhana Prabhu, "Decolourization potential of white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* on synthetic dye bath effluent containing Amido black 10B," *J. Saudi Chem. Soc.*, vol. 18, no. 6, pp. 845–853, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.jscs.2011.10.010.
- [36] A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety – ScienceDirect , DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.113160
- [37] V. K. Gupta and Suhas, "Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review," *J. Environ. Manage.*, vol. 90, no. 8, pp. 2313–2342, Jun. 2009, doi: 10.1016/j.jenvman.2008.11.017.
- [38] M. R. Yazdani, "Engineered adsorptive materials for water remediation," p. 68.
- [39] T. Kim, T.-K. Kim, and K.-D. Zoh, "Removal mechanism of heavy metal (Cu, Ni, Zn, and Cr) in the presence of cyanide during electrocoagulation using Fe and Al electrodes," *J. Water Process Eng.*, vol. 33, p. 101109, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.jwpe.2019.101109.
- [40] Mohammad. M. Emamjomeh and Muttucumar. Sivakumar, "Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes," *J. Environ. Manage.*, vol. 90, no. 5, pp. 1663–1679, Apr. 2009, doi: 10.1016/j.jenvman.2008.12.011.
- [41] Z. Yilmaz and B. Karagozoğlu, "Atıksuların Arıtılmasında Elektrokoagülasyon Uygulamaları / Electrocoagulation Applications in Wastewater Treatment," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, vol. 8, Mar. 2019, doi: 10.17798/bitlisfen.466114.
- [42] Shamal Sena,b, Abhinesh Kumar Prajapatib,*, Akash Bannatwalac , Dharm Pala, Electrocoagulation treatment of industrial wastewater including textile dying effluent – a review 10.5004/dwt.2019.24302
- [43] Ö. Bulca, B. Palas, S. Atalay, and G. Ersöz, "Performance investigation of the hybrid methods of adsorption or catalytic wet air oxidation subsequent to electrocoagulation in treatment of real textile wastewater and kinetic modelling," *J. Water Process Eng.*, vol. 40, p. 101821, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101821.

- [44] N. N. Abdulrazzaq, B. H. Al-Sabbagh, and H. A. Shanshool, "Coupling of electrocoagulation and microflotation for the removal of textile dyes from aqueous solutions," *J. Water Process Eng.*, vol. 40, p. 101906, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101906.
- [45] L. Bilińska and M. Gmurek, "Novel trends in AOPs for textile wastewater treatment. Enhanced dye by-products removal by catalytic and synergistic actions," *Water Resour. Ind.*, vol. 26, p. 100160, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.wri.2021.100160.
- [46] "Tekstil Endüstrisi Atık Suyunun Elektrokimyasal Yöntemler ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi," Kocaeli Üniversitesi, 2011.
- [47] X. Chen, X. Wu, X. Lin, J. Wang, and W. Xu, "Outcome, influence factor and development of CLS measurement in continuous IOP monitoring: A narrative review," *Contact Lens Anterior Eye*, vol. 44, no. 4, p. 101376, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.clae.2020.10.006.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Songül TAÇI

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü/Çevre Mühendisliği	2021
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi/Çevre Mühendisliği	2018
Lise	Mamuşa Atatürk Lisesi	2014

YABANCI DİL

Arnavutça, İngilizce

HOBİLER

Yemek yapmak, dikiş dikmek, seyahat etmek