

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

**TEKSTİL BOYAR MADDELERİNİN
ELEKTROKOAGÜLASYON İLE ARITIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erhan KARABAYIR

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA

Enstitü Bilim Dalı: : ANALİTİK KİMYA

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Abdil ÖZDEMİR

Haziran 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL BOYAR MADDELERİNİN
ELEKTROKOAGÜLASYON İLE ARITIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erhan KARABAYIR

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA

Enstitü Bilim Dalı: : ANALİTİK KİMYA

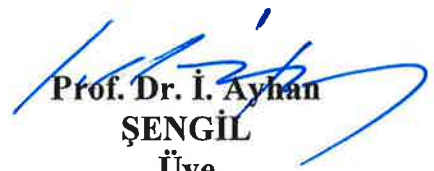
Bu tez 16 / 06 / 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Doç. Dr.
Abdil ÖZDEMİR
Jüri Başkanı



Prof. Dr. Ali Osman
AYDIN
Üye



Prof. Dr. İ. Ayhan
ŞENGİL
Üye

TEŞEKKÜR

Çalışmamı titizlikle yöneten, beni çalışmaya teşvik eden, ödevin hazırlanmasında hiçbir yardımı esirgemeyen bilgi ve tecrübesinden yararlandığımız kıymetli ve değerli hocam Doç. Dr. Abdil ÖZDEMİR'e sonsuz teşekkür ederim.

Tecrübeleri ile çalışmalarım süresince yardımımı esirgemeyen Araştırma Görevlisi Can Serkan KESKİN'e teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca her türlü maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ GENEL ÖZELLİKLERİ	4
2.1. Endüstri Tanımı.....	4
2.2. Tekstil Atıksuları.....	4
2.3. Boyarmaddeler	5
2.4. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması	7
2.5. Tekstil Atık Su Kaynakları ve Karakteri.....	8
2.5.1. Fiziksel parametreler	9
2.5.2. Kimyasal parametreler	10
2.5.3. Biyolojik parametreler	10
2.6. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Yöntemler.....	10
2.6.1. Biyolojik oksidasyon.....	11
2.6.2. Kimyasal oksidasyon	11
2.6.3. Kimyasal indirgenme	11
2.6.4. Mebran proseslerle arıtım	12
2.6.5. Tekstil atıksularının adsorpsiyon ile arıtımı.....	12

2.6.6. Koagülasyon ve flokülasyon ile arıtım	12
BÖLÜM 3.	
ELEKTROKİMYASAL ARITIM PROSESLERİ.....	14
3.1. Elektrokoagülasyon.....	14
3.1.1. Elektrokoagülasyonun Temel Esasları	15
3.1.2. Elektrokoagülasyonun Avantaj ve Dezavantajları	17
3.2. Elektrokoagülasyon prosesini etkileyen faktörler	18
3.2.1. Elektrolit konsantrasyonu.....	18
3.2.2. Akım yoğunluğu.....	20
3.2.3. pH.....	20
3.2.4 Sıcaklık.....	21
3.2.5. Elektrot Materyal Seçimi	21
3.2.6. Elektrotlar Arası Mesafe	22
3.2.7. Reaksiyon Süresi	22
3.3. Literatürde Bulunan Elektrokoagülasyon Çalışmaları	22
3.4. UV Görünür Bölge Absorbsiyon Spektroskopisi.....	24
3.4.1. UV-Vis Spektroskopisi	24
3.4.2. Beer Yasası.....	24
3.4.3. Tek Işık Yollu Spektrofotometreler	27
3.4.4. Çift Işık Yollu Spektrofotometreler	27
3.4.5. Spektrofotometrik Ölçümlerde Kalibrasyon	28
BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE METOD	29
4.1. Kullanılan Boyalar ve Seçim İşlemleri	29
4.2. Deney Düzenegi	31
4.3. Boya Çözeltilisinin Hazırlanışı ve Deneysel İşlem.....	32
4.4. Boya Konsantrasyonlarının Belirlenmesi	33
4.5. Kullanılan Eşitlikler	35
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL BULGULAR	36

5.1. pH'ın Elektrokoagülasyon Üzerine Etkisi	36
5.2. Elektrokoagülasyon Üzerine Zamanın Etkisi	39
5.3. Akım Yoğunluğu ve Zamanın Etkisi	41
5.4. Boya Giderme Verimi Üzerine Tuz Miktarının Etkisi.....	44
5.5. Başlangıç Derişimlerinin Boya Giderme Verimi Üzerine Etkisi.....	47
5.6. KOİ Giderimi	49
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR	52
BÖLÜM 7.	
TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	55
EKLER	59
ÖZGEÇMİŞ	63

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Aktif anot yüzey alanı
AKM	: Askıda katı madde
BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
C ₀	: Boyanın başlangıç konsantrasyonu
C	: Boyanın deneyden sonraki konsantrasyonu
CI	: Colour index
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
DC	: Doğru akım
EC	: Elektrokoagülasyon
E	: Boya giderme verimi
J	: Akım yoğunluğu
R	: Giderme verimi
t	: Zaman
V	: Volt
dk	: Dakika
sn	: Saniye
sa	: Saat
ppm	: mg/L

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Po başlangıç gücündeki bir ışının gücünün, litrede c mol absorplayıcı madde içeren b cm ışın yoluna sahip bir çözelti tarafından azaltılması. .	25
Şekil 3.2. Tek ışık yollu spektrofotometre	27
Şekil 3.3. Çift ışık yollu spektrofotometre	27
Şekil 3.4. Kalibrasyon eğrisi	28
Şekil 4.1. Kullanılan boya ların UV spektrumları.....	29
Şekil 4.2. Disperse Blue 56' nın moleküler yapısı	30
Şekil 4.3. Basic Yellow 28'in moleküler yapısı.....	30
Şekil 4.4. Acid Violet 90'ın molekül yapısı.....	31
Şekil 4.5. Deneysel çalışma düzeneğinin şematik gösterimi	32
Şekil 4.6. Disperse Blue boyar maddesinin kalibrasyon eğrisi	33
Şekil 4.7. Basic Yellow boyar maddesinin kalibrasyon eğrisi	34
Şekil 4.8. Violet 90 boyar maddesinin kalibrasyon eğrisi	34
Şekil 5.1. Başlangıç pH'sının boya giderme üzerine etkisi	37
Şekil 5.2. pH değişimlerinin enerji harcamasına etkisi.....	38
Şekil 5.3. Harcanan enerji ve giderme verimi ilişkisi	38
Şekil 5.4. Elektrokoagülasyon süresinin giderim verimine etkisi.....	40
Şekil 5.5. Elektroliz süresini enerji verimine etkisi	40
Şekil 5.6. 4,33 mA/cm ² akım yoğunluğunda enerji- % verim değişimleri.....	42
Şekil 5.7. 8,66 mA/cm ² akım yoğunluğunda enerji- % verim değişimleri.....	42
Şekil 5.8. 12,99 mA/cm ² akım yoğunluğunda enerji- % verim değişimleri.....	43
Şekil 5.9. 17,32 mA/cm ² akım yoğunluğunda enerji- % verim değişimleri.....	43
Şekil 5.10. NaCl derişiminin giderme verimine etkisi.....	46
Şekil 5.11. Tuz miktarının enerji tüketimi ve enerji verimine etkisi	46
Şekil 5.12. Farklı boya derişimlerinin giderme verimine etkisi	48
Şekil 5.13. Farklı boya derişimlerinin giderme verimi ve enerji tüketimine etkisi..	49
Şekil 5.14. Farklı derişimlerindeki boya karışımlarının KOİ giderimi (%).....	50

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Boyarmaddelerin sınıflandırılması	8
Tablo 4.1. Dipers Blue 56' nin özellikleri.....	30
Tablo 4.2. Basic yellow 28'in özellikleri	30
Tablo 4.3. Acid Violet 90'ın özellikleri	31
Tablo 5.1. pH etkisinin araştırıldığı deneylerin şartları ve sonuçları	36
Tablo 5.2. Zaman etkisinin incelendiği analizlerinin şartları ve sonuçları	39
Tablo 5.3. Farklı akım yoğunluklarının arıtım verimine ve enerji tüketimine etkisi	41
Tablo 5.4. Tuz konsantrasyonu etkisinin incelendiği analizlerin şart ve sonuçları .	45
Tablo 5.5. Boya konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı deneylerin şartları ve sonuçları	47
Tablo 5.6. KOİ gideriminin araştırıldığı deneylerin koşulları ve sonuçları	50

ÖZET

Anahtar kelimeler: C.I. Acid Violet 90, Basic Yellow 28, Disperse Blue 56, kemometrik method, elektrokoagülasyon, demir elektrot.

Büyük çeşitlilikteki endüstriyel atıksulardaki temel kirleticiler boyar maddelerdir ve bu atıkların arıtımı için koagülasyon geniş kapsamlı olarak çalışılmaktadır. Kirleticilerin arıtılması için bir çok yöntem kullanılmaktadır, elektrokoagülasyon bu yöntemler içerisinde en çok kullanılanlardan birisidir. Bu proses atıksulardaki boyar maddelerin içerdiği organik kirleticilerin arıtılmasında oldukça etkilidir. Bu çalışmanın amacı karışım halindeki üç tekstil boyar maddenin arıtımı için optimum parametrelerin belirlenmesidir. Bu parametreler; akım yoğunluğu, elektrolit konsantrasyonu, boya konsantrasyonu, çözeltinin pH'ı ve kimyasal oksijen ihtiyacıdır. Boya karışımındaki arıtım miktarı kemometrik yöntemle belirlendi. Bu çalışmada elektrokoagülasyon için demir elektrotlar kullanıldı. Karışım halindeki boya çözeltisinin arıtımı için optimum koşullar; pH 6, NaCl konsantrasyonu 3 g/L ve akım yoğunluğu 8.66 mA/cm² olarak belirlendi. Oda sıcaklığında optimum koşullar altında her bir boya konsantrasyonu 100 mg/L, elektrotlar arası mesafe 2.2 cm ve elektrokoagülasyon süresi 15 dakika olarak ulaşılan giderim verimleri acid violet 90 için %98.29, basic yellow 28 için %96.07 ve disperse blue 56 için %87.24'dür. Boya konsantrasyonuna bağlı en yüksek KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) arıtım verimi 150 mg/L boya konsantrasyonunda %88.7 olarak gözlemlendi.

DECOLORIZATION OF TEXTILE DYES BY THE ELECTROCOAGULATION METHOD

SUMMARY

Key words: C.I. Acid Violet 90; Basic Yellow 28; Disperse Blue 56; chemometric method; electrocoagulation, iron electrode

Dyes are common pollutants in a large variety of industrial wastewaters, and the treatment of these wastes has been extensively studied by coagulation. For the removal of pollutants from the wastewaters, different techniques have been used and electrocoagulation is one of the widely used methods. This process is very effective in removing organic pollutants including dyestuff wastewater. The aims of this study were to detect the effects of the operating parameters, such as current density, electrolyte concentration, dyestuff concentration, and pH of solution on decolorization and chemical oxygen demand (COD) removal of wastewater containing three different dyes in same solution by direct current electrocoagulation. The amount of dye removed was found by chemometric method to the synthetic dye mixtures. In this study synthetic dye mixture which include disperse blue 56 (DB 56), C.I. Acid Violet 90 (AV 90) and basic yellow 28 (BY 28) were used for electrocoagulation (EC) process with iron electrodes. In the presence of these three dye molecules, the optimum pH was found to be 6, optimum NaCl concentration was 3000 mg/L and optimum current density was 8.66 mA/cm². Under these conditions in the case of 100 mg/L⁻¹ each dye concentration at room temperature and 2.2 cm interelectrode distance the color removal efficiency was reached 98.29% for AV 90, 96.07% for BY 28 and 87.24% for DB 56 in 15 minutes time duration. Dye concentration dependent highest COD removal efficiency was detected at 150 mg/L dye concentration around 88.7%.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çevreyi küresel açıdan etkileyen en önemli parametreler, çarpık kentleşme, hızlı nüfus artışı, sanayinin hızlı ve plansız gelişimidir. Bu durum bilinçsiz su kullanımını artırarak doğal kaynakların yanlış kullanılmasına neden olmuştur. Bilinçsizce kullanılan bu sular kirlenmiş olarak tekrar doğal su ortamlarına verildiği takdirde doğaya yaptığı etkiler önemli düzeyde olmakla birlikte doğal dengeyi değiştirici ve bazı durumlarda geri dönülemez nitelikte olmaktadır. Doğal kaynakların sınırlılığı ve bizden sonraki nesillerinde bu kaynaklardan faydalanabilmesi için doğal kaynakların korunması gerekmektedir. Bu kapsamda atık suların oluşması önlenemeyeceği için arıtma veya tekniğine uygun bir uzaklaştırma sistemiyle doğal kaynaklara olan etkiler azaltılabilir. Bugün dünyada oluşan atıksuların ciddi bir bölümü endüstriyel atık sulardır. Endüstriyel proseslerin hepsi doğal su sistemlerine zarar verebilecek atıklar içerirler. Özellikle tekstil, deri ve boya endüstrileri gibi farklı endüstrilerden kaynaklanan atıksular potansiyel kanserojen olarak bilinen tehlikeli ve toksik bileşikler içerirler [1].

Atıksuda bulunan kirletici parametreler Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) tarafından şu şekilde verilmiştir;

- Bakteriler, virüsler ve diğer hastalık yapıcı mikrobiyolojik canlılar,
- Organik maddeler,
- Endüstri atıkları (fenol, arsenik, siyanür, krom, vb. toksit maddeler, kimyasal bileşikler),
- Yağlar ve benzeri maddeler (Petrol ve petrol ürünleri),
- Sentetik deterjanlar (fosfat kirlenmesi, ötrofikasyon),
- Radyoaktivite (Nükleer atıklar, silah deneyleri),
- Pestisitler (Yapay organik maddeler, tarım ilaçları),
- Yapay organik kimyasal maddeler (kozmetik, petrokimya zirai kimya endüstri ürünleri),

- Anorganik maddeler ve tuzlan (yüksek dozlarda metaller, ağır metaller),
- Tarımsal gübreler (azot ve fosfor kirlenmesi) [2].

Hacmi ve içeriği dikkate alındığında tekstil endüstrisinin neden olduğu atıksular diğer endüstriyel sektörlere oranla daha fazla kirlenici özelliğe sahiptir. Boyama sırasında kullanılan birçok kimyasal madde kalıcı ve biyolojik olarak ayrışmasının zor olması nedeniyle biyolojik ve fizikokimyasal (adsorpsiyon, koagülasyon ve çöktürme) arıtma proseslerine karşı dirençli olup bu tip arıtma yöntemleri ile giderilememektedir. Boyama sonrası oluşan boyalı atıksulardaki diğer bir önemli kirlenici parametresi de renktir. Ülkemizde renk parametresi için bir deşarj standardı bulunmamakla birlikte gerek estetik gerekse de ekolojik denge açısından ciddi problemlere neden olmaktadır.. Koyu renkli sular güneş ışınlarının geçişini engelleyerek fotosentezi yavaşlatır veya aerobik olarak ayrışmayan bazı boyarmaddelerin alıcı ortam sularında sedimentlerde birikmeleri sonucunda anoksik şartlarda kanserojen aromatik aminlere indirgenmeleri olasıdır [1].

Sonuç olarak boyalı atıksuların etkili ve uygun yöntemlerle arıtılması tekstil sektörü için önemli bir konu olup deşarj standartları ile ilgili olarak konulan kısıtlamalar da günden güne daha katı hale gelmektedir [1].

Tekstil endüstrisi sektörü dünyada en çok rastlanan ve en eski endüstriyel faaliyetlerden bir tanesidir. Gayet iyi bilindiği gibi bu sektör memleketimiz ekonomisi için, özellikle ihracat miktarı açısından çok önemli bir rol oynamaktadır. Tekstil endüstrisi toplam endüstrinin üretiminin % 20'sini oluşturmaktadır[2]. Diğer taraftan; tekstil sektörü, üretim prosesi sonucu büyük miktarda kirlenmiş suyu alıcı ortama deşarj etmekte ve böylelikle gerek harcadığı su kaynağı ve gerekse kirlettiği alıcı ortam etkileri sebebiyle, çevre kirliliği kontrolünde büyük önem taşımaktadır. Tekstil endüstrisi, diğer endüstriyel sektörlere nazaran deşarj hacmi ve çıkış suyu kompozisyonu göz önüne alındığında çevreyi en çok kirlen endüstri olarak nitelendirilmektedir.

Tekstil atıksularının güçlü renk, geniş miktarda askıda madde, yüksek pH, KOİ ve yüksek sıcaklık içerdiği bilinmektedir. Bu karakteristikler, tekstil atıksularının

artımını oldukça güçleştirir. Oluşan renkli atıksuların arıtımında kullanılan metotlar biyolojik arıtma, kimyasal koagülasyon, aktif karbon adsorpsiyonu, ultrafiltrasyon, ozonlamadır [3]. Bu çalışmanın amacı; ileri arıtım metotlarından elektrokoagülasyon yönteminin, tekstil endüstrisinde kullanılan, bazik ve dispers boya karışım çözeltilerinin demir elektrotlar kullanılarak renk gideriminin araştırılmasıdır.

Bu çalışmada elektrokoagülasyonla disperse blue 56, basic yellow 28 ve violet 90 boyalarından oluşan çözeltilerin renk giderimi üzerine; pH, iletkenlik, akım yoğunluğu, zaman, konsantrasyon ve KOİ gibi parametrelerin etkileri incelenmiş ve her bir parametre için optimum değerlere ulaşılması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Endüstri Tanımı

Tekstil endüstrisi doğal, sentetik ve yapay elyafları kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünler üreten bir endüstri dalıdır. Doğal ve fabrikasyon ipliklerin hazırlanması, dokuma, örme veya başka yöntemlerle kumaş, triko, halı gibi tekstil ürünleri haline getirilmesi, ipliklere ve kumaşlara baskı, boyama, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanması faaliyetlerini içermektedir. Fakat çırçırılama, kimyasal elyafların üretimi ve konfeksiyon tekstil endüstrisi kategorisinin dışında yer almaktadır. Tekstil endüstrisinde uygulanan işlemler;

- doğal, sentetik ve yapay ipliklerin hazırlanması,
- dokuma, örme veya başka yöntemler yardımıyla dokunmuş kumaş, örgü kumaş, halı gibi tekstil ürünleri elde edilmesi,
- elyaf, iplik, örgü kumaş ve dokunmuş kumaşa boya, apre, baskı gibi terbiye işlemleridir [1].

2.2. Tekstil Atıksuları

Tekstil endüstrisi, kullanılan ham ve kimyasal maddelerin; yürütülen işlemlerin; her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği ile farklı su kullanımlarına bağlı olarak değişken yapıya sahip bir endüstri dalıdır [4]. Bu dinamik yapı, atıksu karakterizasyonu ile uygulanan arıtma teknolojilerine de yansımaktadır; dolayısıyla tekstil endüstrisi için tipik bir atıksu ve standart arıtma teknolojilerinden söz etmek anlamsız hale gelmektedir. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılabilir. Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık suyun özelliği, arıtılabilirliği, çalışma düzenindeki olası değişimler ve bu değişimlerin atıksu ve arıtılabilirlik üzerine etkileri dikkate alınarak hem ekonomik açıdan uygun, hem de çevre korunması bakımından yeterli düzeyde arıtımı

gerçekleştirecek güvenli ve esnek bir arıtma sisteminin tercih edilmesi gereklidir [5]. Sentetik boyalar, tekstil sanayinde oldukça çok kullanılmakta ve tekstil atıksuları yüksek KOİ, pH, sıcaklık ve toksik katı madde içeren endüstriyel kirli atıksuların başında gelmekte ve toksik özelliklerinden dolayı önemli bir çevresel problem oluşturmaktadır. Bu tip atıksuların arıtımı, boyar maddelerin yüksek konsantrasyonlarda organik boyar maddeler, surfaktantlar, kompleks yapıda organik bileşikler içeren zor ayrışabilen karmaşık kimyasal yapılara sahip olmalarından dolayı zor ve problemlidir [6]. Sentetik boyalar tekstil, boya, kağıt ve baskı endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde 100.000' in üzerinde sentetik boya ticari olarak kullanılmakta ve yılda 700.000 ton boya üretimi yapılmaktadır. Gerek üretim, gerekse kullanım sırasında arta kalan boya miktarı göz önünde bulundurulduğunda renkli atıksuların çevresel açıdan ne kadar önemli olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Renkli atıksuların doğrudan alıcı ortalama deşarj edilmesinin kontrolsüz anaerobik şartlarda toksik-karsinojenik aromatik aminlerin oluşması gibi birincil çevresel etkisinin yanında estetik açıdan çevreye zarar vermesi gibi ikincil bir etkisi de vardır [7].

Tekstil sanayisi, denizlere yapılan atık sularının içerdiği yüksek orandaki sentetik boya maddeleriyle bu kimyasal kirlenmeyi artırmaktadır. Türkiye, 2002 yılı itibariyle tekstil sanayinde kullanılmak İthal edilen yaklaşık 46 bin ton boyadan 4 025,5 tonu asit, 2 680 tonu bazik, 1122,5 tonu direkt ve 19 256,8 tonu ise reaktif boyadır [8]. Atıkların arıtılması fabrikalara fazladan mali yük getirmektedir. Çevre bilincinin gelişmediği bazı fabrika sahipleri de daha çok kar amacıyla bu atıksuları arıtma işlemine tabi tutmadan doğaya salmaktadırlar. Ülkelerde bu kirliliği önlemek adına bazı yasal düzenlemeler yapmaktadırlar. Ülkemizde de yasal düzenlemelere gidilmektedir. Ayrıca Sağlık Bakanlığı ve Çevre ve Orman Bakanlığı yayınladığı genelgeler ile bazı tekstil boyalarının kullanılmasına yasaklar getirebilmektedir.

2.3. Boyarmaddeler

Tekstil endüstrileri, yaş dokuma prosesleri için çok büyük miktarlarda su ve kimyasal madde tüketmektedirler. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak,

ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Alıcı sulara verilen renkli atıksular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler. Ayrıca boyar maddelerin bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksularının renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır. Ancak kompleks kimyasal yapılarına ve sentetik kökenlerine bağlı olarak, boyar maddelerin giderilmesi oldukça zor bir işlemdir. Tekstil endüstrisinde boyama işlemi kumaşa renk vermek için yapılır. Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama prosesinin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur. Tekstil endüstrileri, yaş dokuma prosesleri için çok büyük miktarlarda su ve kimyasal madde tüketmektedirler. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Alıcı sulara verilen renkli atıksular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler. Ayrıca boyar maddelerin bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksularının renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır. Ancak kompleks kimyasal yapılarına ve sentetik kökenlerine bağlı olarak, boyar maddelerin giderilmesi oldukça zor bir işlemdir [9].

Tekstil endüstrisinde boyama işlemi kumaşa renk vermek için yapılır. Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama prosesinin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur. Boyar maddeler genellikle iki ana bileşenden oluşan küçük moleküllerdir; rengi veren kromofor ve boyayı ipliğe bağlayan fonksiyonel grup. Literatürde kimyasal yapısına göre veya uygulandığı ipliğin tipine göre sınıflandırılmış yüzlerce çeşit boya mevcuttur. Boyanın iplik üzerine adsorbe olması tekstil ipliğine ve boyanın tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Adsorbsiyonun derecesi zaman, sıcaklık, pH ve yardımcı kimyasallar gibi çeşitli faktörlerin de etkisi altındadır. Tek bir boyama işlemi için farklı kimyasal sınıftaki boyar maddelerin birlikte kullanılabilir olması çıkış suyu bileşimini daha da karmaşık hale getirmektedir. Üretilen ürünlerde ve üretim yöntemlerindeki bu çeşitlilik tekstil atık sularında kendini gösterir. Bu nedenle birçok

kirletici ortaya çıkmakta ve farklı kategorilere ayrılmaktadır [9]. Boyama prosesi çıkış sularındaki kimyasal yük, prosesin kimyasının yanı sıra boyama işleminin kesikli ya da sürekli olmasına bağlı olarak da farklılıklar göstermektedir.

Boyarmaddeler organik yapıda olup, çözelti veya süspansiyon halinde çeşitli yöntemlerle cismin yüzeyi ile kimyasal veya fizikokimyasal bir reaksiyona girerek birleşirler ve cismin yüzey yapısını değiştirerek renk oluştururlar. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler, zararlı atık olarak kabul edilmektedirler. Boyalar kompleks organik bileşikler olup, biyolojik olarak indirgenmeye uygun değildirler. Boyarmaddeler genellikle suda çözünebilir yapıda oldukları halde, bazıları proses sırasında çözünebilirlik kazanır ve sonra çözünemez duruma gelirler.

Boyarmaddeler ya kimyasal yapılarına göre ya da boyama özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Bu iki sınıflandırma şekli arasında çok az ilişki vardır. Örneğin kimyasal yapı bakımından büyük bir grubu meydana getiren azo boyarmaddeleri, boyama özelliklerine göre yapılan bir sınıflandırmada her grupta yer alırlar. Boyamada boyar maddelerin kimyasal yapısından boyama özellikleri bakımından hangi gruba girdiği daha yaygın olarak kullanılmaktadır [10].

2.4. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması

Boyarmaddelerin sınıflandırılması Tablo 2.1' de verilmiştir [11].

Tablo 2.1. Boyarmaddelerin sınıflandırılması

Çözünürlüklerine göre sınıflandırma	Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma	Boyama özelliklerine göre sınıflandırma
<ul style="list-style-type: none"> • Suda Çözünen boyarmaddeler • Zwitter iyonik karakterli boyarmaddeler • Suda çözünmeyen boyarmaddeler • Substratta çözünen boyarmaddeler • Katyonik boyarmaddeler • Anyonik Boyarmaddeler 	<ul style="list-style-type: none"> • Azo boyarmaddeler • Nitro ve Nitrozo boyarmaddeler • Polimetin boyarmaddeler • Arilmetin boyarmaddeler 	<ul style="list-style-type: none"> • Bazık boyarmaddeler • Asidik boyarmaddeler • Direkt boyarmaddeler • Metal kompleks boyarmaddeler • Reaktif boyarmaddeler • Pigment boyarmaddeler • Sülfür boyarmaddeler • Dispers boyarmaddeler • Küpe boyarmaddeler • Mordan boyarmaddeler

Boyar maddelerin; nitrozo, nitro, monoazo, disazo, stilben, difenil, metan, triaril, metan, ksanten, akridin, kinolin, metin, tiazol, indamin, indofenil, azin, oksazin, aminokinon, hidroksiketon, indigoid, antrakinin, talosiyanin, kloro, dikloro-triazinil ve remazol olmak üzere türevleri vardır. Sınıflandırma yapılırken molekülün temel yapısı esas alınabildiği gibi molekülün kromojen ve renk verici özellikteki kısımda esas kabul edilebilmektedir [11].

2.5. Tekstil Atık Su Kaynakları ve Karakteri

Tekstil üretiminde boyama ve bitim proseslerinde iki önemli adım vardır. Bu adımlar suni ya da doğal liflerin sürekli renklerle boyanması (tüm lifler üzerinde homojen dağılması) ve bu liflerin nihai ürüne çevrilmesidir. Boyama ve bitim prosesleri birleşerek tekstil üretim sürecini tamamlar. Ancak, boyama ve bitim prosesleri sonucunda tekstil atık suları meydana gelir. Tekstil atık sularında yüksek oranda boya, karışık katı maddeler, asit ve yüksek sıcaklık mevcuttur. Bu özellikleri

nedeniyle, tekstil atık sularını arıtmak oldukça zordur. Boyama atıksuları koyu renge, geniş pH aralığına, yüksek sıcaklığa, KOİ, toplam çözünmüş katı, yüksek iletkenliğe, ve bazen de yüksek alkaliniteye sahiptirler. Boyama atık sularının en kötü tarafı kuvvetli renkleridir. Boyar maddelerin tipine bağlı olarak, boyama atıksularının rengi kırmızı, kahverengi, mavi, mor, ve siyahtan farklı olarak yoğunluk ve koyuluğa değişiklik gösterebilir. Boyama atıksularının rengi günden güne ve hatta gün içinde değişik zamanlarda değişebilir., çünkü müşteri istekleri nedeniyle boyama proseslerinde sık sık değişik boyar maddeler kullanılır. Rengin değişimi aynı zamanda boyahane atıksuyunun KOİ içeriğinin sık sık inip çıkmasına neden olur [12].

Boyama işlemi göz önüne alındığı zaman oluşan atıksu karakteri proses kimyasına, işlemin sürekli veya kesikli olusuna göre değişmektedir. Su/boyarmadde oranı ile boyarmaddenin elyafı tutulma miktarı, atıksuyun yapısını değiştirmektedir. Ayrıca kullanılan elyafın cinsi ve kullanılan boyama metodu da atıksu karakteri üzerine etki etmektedir. Elyafa fikse olmayan boyalar, inorganik ve organik yardımcı kimyasallar, boyama prosesinden kaynaklanan atıksuda renk, yüksek çözünmüş katı madde, orta mertebede KOİ' ye neden olmaktadır. Ayrıca kullanılan boyarmaddenin yapısına ve boyama prosesine bağlı olarak krom, bakır ve civa gibi ağır metaller suya toksik özellik kazandırmaktadır [13].

Tekstil atıksuları yüksek KOİ ve BOİ' ye sahip, askıda katı maddelerin fazla olduğu yoğun renkli atıksulardır. Tekstil atıksularında temel kirletici parametreler fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak üç grupta toplanabilir [14].

2.5.1. Fiziksel parametreler

- Çözünmemiş bileşikler
- Sıcaklık
- Koku
- Renk
- Radyoaktivite
- Köpük

- Korozyon
- Çözünmüş oksijen

2.5.2. Kimyasal parametreler

- Organik ve inorganik bileşikler
- Asidite ve alkalilik
- pH
- Toplam organik karbon
- Kimyasal oksijen ihtiyacı
- Klor iyonu
- Klor ihtiyacı
- Sertlik (Kalsiyum ve Magnezyum)
- Toplam çözünmüş tuzlar
- Fenol
- Yağ ve hidrokarbonlar
- Spesifik iyonlar (As, Ba, Cd, Cr, CN, F, Pb, Sn, Ag)

2.5.3. Biyolojik parametreler

- Biyolojik oksijen ihtiyacı
- Patojenik bakteriler
- Kimyasal zehirlilik

2.6. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Yöntemler

Atıksulardan renk giderimi için koagülasyon/flokülasyon (Stephenson ve Sheldon, 1996), adsorpsiyon (Şengil ve Özacar, 2002, McKay ve arkadaşları, 1987, Gupta ve arkadaşları 1990, Geundi, 1991) ve kimyasal oksidasyon (Snider ve Porter, 1974, Teramoto ve diğ., 1981) gibi çeşitli fiziksel/kimyasal metodlarla biyolojik arıtma sistemleri kullanılabilir. Bu yöntemlerle elde edilen renk giderim veriminin atıksudaki boya türüne bağlı olarak değişiklik göstermesi, atıksulardan renk giderimi için en uygun metodun seçimini daha da zora sokmaktadır. Tekstil atıksularının arıtım prosesleri aşağıda özetlenmiştir.

2.6.1. Biyolojik oksidasyon

Son zamanlarda, tekstil atıksularının arıtımında anaerobik ve/veya aerobik sistemlerin beraber kullanılması üzerine çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Burada anaerobik sistem birinci aşamada azo boyarmaddelerinin sahip azo bağının parçalanması ve ortaya çıkan parçalanma ürünlerinin ise aerobik bir sistem tarafından son ürünlere oksitlenmesinden ibarettir. Aerobik bioflim sistemler ise tekstil atıksularının arıtımında en uygun sistemlerdendir [15]. Renk parametrelerinde kısa sürede meydana gelen değişimin azo çift bağlarının anaerobik arıtımı esnasında oluştuğu sonucuna varılmıştır [16].

2.6.2. Kimyasal oksidasyon

Atıksu ortamındaki kimyasal türler arasındaki elektron transferi sonucunda redoks reaksiyonları oluşmaktadır. Proseslerdeki amaç boyarmaddeler oluşan toksik bileşiklerin oksitlenerek biyolojik olarak parçalanabilir hale dönüştürülmesidir. En yaygın kullanılan oksidantlar [17];

- 1- Ozon
- 2- Klor
- 3- Klordioksit
- 4- Hidrojenperoksit
- 5- Potasyumpermanganat

2.6.3. Kimyasal indirgenme

Kimyasal indirgenme tekstil atıksularının ön arıtmada kullanılan yöntemlerden biridir [18]. Azo boyarmaddeler çift bağının parçalanması ile aromatik aminlere çevrilebilir. En çok kullanılan kimyasal maddeler sodyum hiposülfid, thioüre dioksit, sodyum borhidrit, sodyum formaldehit sülfoksalat ve SnCl_2 ' dir [15].

2.6.4. Mebran proseslerle arıtım

Arıtmadan çıkan suyun yeniden kullanılması ve bazı boyarmaddelerin geri kazanımı gibi avantajlar sağlamaktadır. Başlıca membran sistemleri; ters ozmoz, ultrafiltrasyon ve elektrodializdir [19].

2.6.5. Tekstil atıksularının adsorpsiyon ile arıtımı

Atıksularda mevcut, kötü tat, koku, renk ve toksisiteye sebep olan organik moleküllerin adsorpsiyon ile gideriminde en yaygın olarak kullanılan adsorbant madde, toz veya granüler formda bulunan aktif karbondur [20]. Adsorpsiyon fiziksel kimyasal veya değişim adsorpsiyonu şeklinde olabilir. Atıksuyun pH aralığı, sıcaklığı, adsorbant yapısına ve karışım özelliğine göre değişim göstermektedir. Boyarmadde gibi biyolojik olarak parçalanması zor veya imkansız organik maddelerin atıksudan giderilmesi uygun adsorbantlar üzerine adsorplanması ile olur.

Bazen de yüksek çözünürlüğe sahip olan boyarmaddelerin adsorpsiyon mekanizması ile renklerin giderimi daha zor olmaktadır [18].

Aktif karbonun pahalı ve rejenerasyonun zor olması yeni adsorbant maddelerinin denenmesini gündeme getirmiştir ve silika, kil, pirinç gibi ucuz bir takım adsorbantlar kullanılmıştır [21]. Ayrıca uçucu kül, turba kömürü, fırın cürufu ve bentonit kilinde tekstil atıksularından renk giderilmesinde kullanılması araştırılmıştır [22].

2.6.6. Koagülasyon ve flokülasyon ile arıtım

Koagülant maddelerin uygun pH' da atık suya eklenmesi ile atık suyun içindeki kolloidal ve askıdaki katı maddelerle birleşerek flok oluşturmaya hazır hale gelmesi işlemidir. Flokülasyon ise stabilliği bozulmuş kolloidlerin bir araya getirilip yumak teşkili ve yumakların büyütülmesi işlemidir [23]. Asit, direkt, vat, mordant ve reaktif boyalar koagüle olmakla birlikte zayıf yapıda yumaklar oluşturmakta ve flokülant ilave edilmesi bile çökelme verimini pek arttırmamaktadır. Bu bakımdan yukarıda

bahsedilen tipteki boyarmaddelerin koagülasyon-flokülasyon işlemi ile uzaklaştırılmasında pekiyi sonuç alınmamaktadır. Diğer yandan sülfür ve dispers boyalar çok iyi koagüle olmakta, son derece kolay çökmekte olup buna bağlı olarak renk giderimi oldukça yüksek olmaktadır. Bundan dolayı koagülasyon – flokülasyon işlemi bu tür boylar için son derece uygundur [15, 24].

BÖLÜM 3. ELEKTROKİMYASAL ARITIM PROSESLERİ

Özellikle toksik ve tehlikeli atıksuların arıtımında pratikte kullanılabilen ileri atıksu arıtım proseslerinden en önemlisi “elektrokimyasal atıksu arıtım prosesleri” olarak göze çarpmaktadır. Bu teknik, yiyecek atıksularını, katranlı petrol atık suyunu, içme suyu kalitesine getirecek şekilde arıtmak için kullanılır. Evsel atıksulardan fosfat, endüstriyel atıksulardan çeşitli ağır metal iyonları etkin bir şekilde çıkarılabilir. Bunun yanı sıra elektrokoagülasyon, tekstil atık suyu ve ham sulu bitki özleri gibi boya içeren çözeltilerin renkleştirilmesinde kullanılmaktadır [25, 26].

Atıksu arıtımında elektrokoagülasyon teknolojisinin kullanılması oldukça yenidir. Ülkemizde ise henüz kullanılmaktadır. Endüstriyel atıksularda yeni uygulamaya başlanan ve yeni geliştirmekte olan bu teknoloji büyük endüstriyel kuruluşlarda atıksuyun geri kazanımını sağlamak ve atıksu arıtma verimi %90-95 oranlarına ulaşılmaktadır [27].

3.1. Elektrokoagülasyon

Elektrokimyasal arıtım başlıca 3 yöntemden oluşmaktadır. Bu sistemler tek tek çalışabildiği gibi bazı sistemlerde birkaç elektrokimyasal proses aynı anda, kombine şekilde kullanılabilir. Örneğin elektrokoagülasyon prosesi esnasında doğal olarak oluşan gaz çıkışı ile kısmen bir elektroflotasyon da gerçekleşmektedir. Bu da elektrokimyasal arıtım yöntemlerinde kısa sürede etkin bir arıtım veriminin oluşmasına imkan vermektedir. Elektrokimyasal yöntemler, arıtımın yanı sıra metal geri kazanımında da son yıllarda kullanılmaya başlamıştır [28, 29]. Elektrokimyasal arıtım türleri alt başlıklar halinde burada incelenmiştir.

3.1.1. Elektrokoagülasyonun Temel Esasları

Kimyasal koagülasyon, kolloidal süspansiyon içindeki yüklü partiküllerin zıt yüklü iyonlarla karşılıklı çarpışması ile nötralize edilip bir araya toplanarak çökelmelerinin sağlanması olayıdır. Bu amaçla uygun kimyasal maddeler (alum, demir sülfat vb.) ilave edilmektedir. Koagülasyon, kolloidal partiküllerin net yüzey yükünün azaltılması sonucu elektrostatik itme kuvvetiyle sıkışması nedeniyle bir araya gelip yeterli Van der Waals kuvvetiyle tutunup birikmesi sonucu gerçekleşmektedir. Elektrolitteki zıt yüklerin neden olduğu elektrikselsel çift tabakanın itme potansiyelindeki azalma, yüzey yükünün azaltılması ile sağlanmaktadır. Kimyasal koagülasyondan farklı olarak, elektrokoagülasyon prosesinde koagülant uygun anot materyalinin elektrolitik oksidasyonu sonucu oluşmaktadır. Bu proseste yüklü iyon türleri ile anottan çözülmüş olan metal iyonları, metal hidroksit floklarını oluşturmaktadır. Ancak elektrokoagülasyonda oluşan flokların özellikleri kimyasal koagülasyon ile oluşan floklardan daha farklıdır. Elektrokoagülasyonda oluşan floklar daha az su bağlama eğilimindedir yani daha az su içeriğine sahiptirler. Floklar daha düşük dirence sahip olduklarından daha kolay filtre edilebilmektedirler [30].

Elektrokoagülasyon prosesinde genellikle ardı ardına üç aşamanın olduğu kabul edilmektedir:

- Elektrolitik oksidasyonda çözünen elektrot ile koagülant türlerinin oluşumu
- Kirleticilerin destabilizasyonu, partikül süspansiyonu ve emülsiyonların kırılması
- Destabilize edilmiş fazlarda flokların toplanmasıdır.

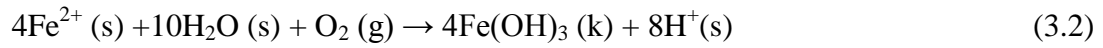
Kirleticilerin destabilizasyon mekanizması, partikül süspansiyonu ve emülsiyon kırılması aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır [30]

- Çözelti içinden geçen akım nedeniyle çözünen elektrotun çözünmesi ile meydana gelen iyonların etkileşimleri sonucu yüklü türlerin, oluşan iyonlar etrafındaki dağınık çift tabakanın sıkıştırılması sağlanmaktadır.
- Sudaki mevcut iyonik türlerin yüklerinin nötralizasyonu elektrokimyasal olarak çözünen elektrotlar tarafından üretilen zıt iyonlarla sağlanmaktadır.

Elektrokoagülasyonda çoğunlukla Fe elektrotlar kullanılır. Elektrokoagülasyonda çok sık kullanılan demir elektrotların suda çözünmesiyle oluşturacağı demir(III) kompleksleri önemlidir. Sudaki hidroksil iyonları elektrotlardan çözünmüş olan Fe^{3+} iyonları ile birleşerek ortamın pH'sına bağlı olarak demir komplekslerinin oluşumuna yol açmaktadır [31].

1. Mekanizma

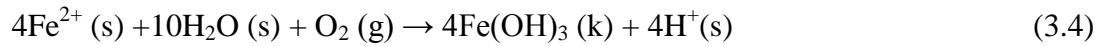
Anot



Katot



Sonuçta



2. Mekanizma

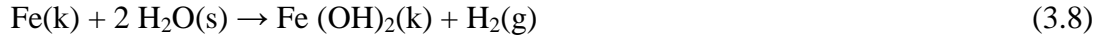
Anot



Katot



Sonuçta



3.1.2. Elektrokoagülasyonun avantaj ve dezavantajları

Elektrokoagülasyonun mekanizması, ortamın kimyasal özelliğine ve iletkenliğe bağlıdır. Ayrıca pH, ortamdaki kolloidal partiküllerin boyutu ve kimyasal türlerin konsantrasyonu gibi özellikler de elektrokoagülasyon prosesini etkilemektedir. Diğer atık su işlemlerine göre elektrokoagülasyon prosesinin avantaj ve dezavantajları aşağıda özetlenmektedir [30].

Elektrokoagülasyonun avantajları;

- Basit ekipmanlar ve işletme şartları gerektirmektedir,
- Atık suların elektrokoagülasyon ile arıtılması sonucu renksiz, kokusuz ve berrak sular elde edilmektedir,
- Oluşan çamur, metal oksit ve metal hidroksitlerden oluştuğu için kolaylıkla stabil hale getirilmekte ve susuzlaştırılabilmektedir. Çamur miktarı azdır,
- Oluşan floklar kimyasal floklara benzemekle birlikte, daha büyük floklar olma eğiliminde ve daha az bağlı su içermektedirler. Asidik ortama dirençli ve stabil olup, filtrasyonla daha hızlı ayrılabilirler,
- Kimyasal arıtma ile karşılaştırıldığında elektrokoagülasyon çıkış suyu daha az toplam çözünmüş katı madde içermektedir. Bu suların tekrar kullanılması durumunda düşük toplam katı madde seviyesi geri kazanım giderinin daha düşük olmasına katkıda bulunmaktadır,
- Elektrokoagülasyon prosesi en küçük kolloidal parçacıkları giderme avantajına sahiptir çünkü cihazların uyguladığı elektrik alan onların daha hızlı hareket etmelerini sağlayarak koagülasyonu kolaylaştırmaktadır,
- Elektrokoagülasyonda kimyasal madde kullanımından kaçınılmakta ve böylece kimyasal koagülasyonda ilave edilen yüksek konsantrasyondaki kimyasal maddelerin neden olabileceği ikincil kirlenme olasılığı ve aşırı kimyasalların nötralizasyonu problemi engellenmiş olmaktadır,
- Elektroliz sırasında üretilen gaz kabarcıkları kirleticileri çözelti yüzeyine taşıyabilmekte ve daha kolay ayrılmaları sağlanabilmektedir,

- Elektrokoagülasyon hücresi içerisindeki elektrotlar sabit konumda olup, elektriksel olarak kontrol edilmekte ve böylece daha az bakım gerektirmektedir,
- Elektrokoagülasyon prosesi, elektrik kullanımının yeterli olmadığı kırsal alanlarda üniteye eklenen güneş panelleri vasıtasıyla uygulanabilir.

Elektrokoagülasyonun dezavantajları;

- Çözünen elektrotların düzenli olarak yenilenmesi gerekmektedir,
- Bazı yerlerde elektrik enerjisi pahalı olabilir,
- Elektrokoagülasyon prosesi ile kirletici maddelerin kısmi oksidasyonu sağlanmaktadır.
- Katot üzerinde geçirimsiz bir film tabakası oluşumu prosesin verimliliğini düşürebilir,
- Atık su çözeltilerinin yüksek iletkenliğe sahip olması gerekmektedir,
- Bazı durumlarda jelatinimsi hidroksit çözünme eğiliminde olabilir.

Elektrokoagülasyonda, en yaygın olarak demir ve alüminyum elektrotlar kullanılmaktadır. Bu elektrotlar ucuz, kolay temin edilebilir olmaları ve etkinliklerinin kanıtlanmış olması nedeniyle tercih edilmektedir [32].

3.2. Elektrokoagülasyon Prosesini Etkileyen Faktörler

3.2.1. Elektrolit konsantrasyonu

Elektrokoagülasyonun verimini arttırmak ve atıksuyun iletkenliğini istenilen seviyeye getirmek amacıyla sodyum nitrat, sodyum sülfat gibi inert tuzlar, NaCl, KBr gibi halojenli tuzlar ya da deiyonize su kullanılmaktadır. Bu ayarlama atıksuyun başlangıç pH'ında yaklaşık olarak 0,3 birim değişime neden olmaktadır [33].

Potasyum klorürün elektrolit olarak kullanılması halinde boya molekülleri hızlı bir şekilde parçalanabilmekte ancak esas olarak hipoklorit nedeniyle yan reaksiyon ürünü olarak klorlu organik bileşiklerin oluşma ihtimali ortaya çıkmaktadır. İstenmeyen bu bileşiklerin oluşumunu engellemek için organik bileşiklerin tamamen mineralizasyonu sağlanmalıdır. Başka bir deyişle yeteri kadar uzun elektroliz zamanı

gerekmektedir Sodyum nitrat, sodyum sülfat ve mangan sülfat gibi inert tuzların elektrokoagülasyon yöntemiyle indigo boyalardan kaynaklanan rengin gideriminde kullanılması gerek düşük renk giderme seviyeleri gerekse enerji tüketimi açısından yeterli olmadığı görülmüştür. Elektrokoagülasyonda sodyum meta – bisülfid (NaS_2O_5) kullanılması durumunda halojen içeren tuzlardan daha farklı bir mekanizma söz konusudur. Elektrik akımı S_2O_5 'in S_2O_4 'e dönüşümünü sağlamaktadır. S_2O_4 boya moleküllerini soluk sarı renkli leuco (ak) forma dönüştüren indirgen bir maddedir. Bu indirgen maddenin boya çözeltisine eklenmesi neredeyse anında bir renk giderimi ile sonuçlanmaktadır. Ancak bu yöntem organik madde içeriğinde bir azalma olmaması ve boya moleküllerinin daha basit bir yapıya dönüşmemesi nedeniyle etkili bulunmamaktadır. Ayrıca leuco form kolaylıkla renkli forma oksitlenebilmektedir [34,35].

Renk giderimi ve elektrik tüketimi açısından en iyi sonuçlar NaCl ile elde edilmektedir. Üstelik bu elektrolit boyama prosesinde kullanılması nedeniyle tekstil endüstrisi atık sularında genellikle bulunmaktadır. Sodyum klorür genellikle arıtılacak su ya da atık suyun iletkenliğini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Elektrik yükünün iletimindeki iyonik katkısının yanı sıra HCO_3^- , SO_4^{2-} gibi anyonların olumsuz etkisini önemli ölçüde azaltmaktadır. Karbonat ya da sülfat iyonları elektrot yüzeyinde yalıtkan bir tabaka oluşturan kalsiyum veya magnezyum iyonlarının çökmesine yol açabilmektedir. Bu tabaka elektrotlar arasındaki potansiyeli aniden artırmakta ve akım veriminde önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Bu nedenle atık su arıtımında elektrokoagülasyon prosesinin işletilebilmesi için mevcut iyonlar arasında Cl^- miktarının % 20 olması tavsiye edilmektedir.

Sodyum klorür ilavesi iletkenliği artırması sebebiyle enerji tüketiminin azalmasına da yol açmaktadır. Ayrıca elektrokimyasal olarak üretilen klorun dezenfeksiyonda etkili olduğu bilinmektedir [33,35]. Atık suyun iletkenliğinin artırılması enerji ve elektrot tüketimini azaltmaktadır. Sonuç olarak iletkenliğin artmasının yüksek proses verimi için arzu edilir bir durum olduğu söylenebilir.

3.2.2. Akım yoğunluğu

Akım yoğunluğu, birim elektrot alanına düşen akım olarak tanımlanmaktadır. Proses hızını belirleyen bir parametredir. Elektrokoagülasyon sistemlerine sağlanan akım miktarı elektrotlardan salınan Al^{3+} ya da Fe^{2+} iyonlarının miktarını belirlemektedir. Alüminyum için elektrokimyasal eşdeğer kütle 335,6 mg/(Ah), demir içinse bu değer 1041 mg/(Ah)'dır. Yüksek akım miktarı küçük elektrokoagülasyon ünitesi anlamına gelmektedir. Ancak akım çok arttırıldığı zaman elektrik enerjisinin suyun ısıtılmasında harcanma ihtimali ortaya çıkmaktadır. Daha önemlisi çok yüksek akım yoğunluğu akım veriminde önemli bir azalma ile sonuçlanabilmektedir.

Elektrokoagülasyon sistemini bakım yapılmaksızın uzun bir süre isletebilmek için önerilen akım yoğunluğu, elektrot yüzeyinin periyodik temizliği için gerekli tespitler yapıldığı sürece, 20 – 25 A/m²'dir [33]. Optimum akım yoğunluğunun tam aralığı elektrokoagülasyon prosesinin uygulandığı yerin ekonomik ve coğrafik durumuna bağlıdır. Akım yoğunluğu arttığı zaman anot ve katottaki iyon üretim verimi de artmaktadır. Bu nedenle de çözeltildeki flok oluşumu artmakta ve renk gideriminde gelişme olmaktadır [36].

Arıtılmış suyun kalitesi üretilen iyonların miktarına ya da akım ve zamanın çarpımı olan yük yüklemesine bağlıdır. Literatürde gerekli değerlerin olmaması durumunda akım yoğunluğu ya da yük yüklemesi deneysel olarak belirlenebilmektedir. Gerekli yük yüklemesi belirlenirken yük yüklemesinin kritik değeri göz önünde bulundurulmalıdır. Yük yüklemesi bu kritik değere ulaştıktan sonra çıkış suyunda akım artısına bağlı olarak önemli bir iyileşme görülmemektedir [33].

3.2.3. pH

Genellikle ortamın pH' sı proses boyunca değişmektedir. Demir elektrot kullanıldığında çıkış pH değeri başlangıç pH değerinden her zaman daha yüksek olmaktadır. Bu sonuçlar elektrokoagülasyon prosesinin özellikle alkali ortamda bir miktar tampon kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, çözeltilin pH' ı düşük olduğu zaman pH' da bir artış meydana gelirken, çözeltilin pH' ı yüksek olduğunda pH' da bir düşüş meydana gelmektedir. Bu durum, elektrokoagülasyon prosesinin

avantajlarından birini oluşturmaktadır [33]. Asidik şartlardaki pH artışı katotlardaki hidrojen oluşumuna bağlanmaktadır.

Katottaki bu reaksiyon aşağıdaki şekildedir;



3.2.4. Sıcaklık

Elektrokoagülasyon reaksiyon hızı da diğer kimyasal reaksiyonlar gibi çözeltinin sıcaklığı arttığı zaman artmaktadır. Sıcaklık 27 °C'yi geçtiği zaman üretilen iyonların hareketi oldukça artmakta ve bu iyonların yumaklaşma ve metal hidroksit flokları oluşturma şansı azalmaktadır. Sonuç olarak da proses veriminde azalma gözlenmektedir [33].

3.2.5. Elektrot materyal seçimi

Uygun elektrot materyalinin seçimi için aşağıdaki faktörler dikkate alınmaktadır [37]. Uygun elektrokatalitik ve elektrokimyasal özellikler

- Kimyasal ve elektrokimyasal kararlılık
- Fiziksel ve termal kararlılık
- Uygun fiziksel form ve imal
- İyi elektrik iletkenliği
- Düşük aşırı gerilim
- Çevresel uygunluk
- Düşük maliyet

Elektrokoagülasyonda en yaygın olarak demir, çelik ve alüminyum elektrotlar kullanılmaktadır. Bu elektrotlar ucuz, kolay temin edilebilir olmaları ve etkinliklerinin kanıtlanmış olması nedeniyle tercih edilmektedir [32].

3.2.6. Elektrotlar arası mesafe

Elektrotlar arası mesafe, elektrokoagülasyon üzerinde önemli bir etkiye sahip olmamakla birlikte elektrotlar arası mesafe arttığı zaman proses verimi de az miktarda artmaktadır. Bu değişim muhtemelen elektrostatik etkilerin elektrotlar arası mesafeye bağlı olması nedeniyle meydana gelmektedir. Bu mesafe arttığı zaman üretilen iyonların hareketi yavaşlamakta ve flok oluşturma ihtimalleri artmaktadır. Ayrıca bu floklar daha fazla boya adsorplama yeteneğine sahiptir [36].

3.2.7. Reaksiyon süresi

Elektroliz süresince pozitif elektrot anodik reaksiyonlara maruz kalırken katodik reaksiyonlar negatif elektrotta meydana gelmektedir. Elektrotlardan salınan iyonlar partiküllerin yüklerini nötralize etmekte ve böylece koagülasyon başlamaktadır. Elektroliz süresinin artması durumunda iyon konsantrasyonunda ve iyonların hidroksit floklarında artış meydana gelmektedir [36].

3.3. Literatürde Bulunan Elektrokoagülasyon Çalışmaları

EC prosesi ile restoran atıksularından kirletici giderimi üzerine çalışma yapılmıştır. Çalışmada restoran atıksularının karakteristikleri incelenmiş ve bu atıksuların yüksek yağ-gres içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ), yağ-gres AKM miktarının değişimleri gözlenmiştir. Ayrıca bu atıksuyun arıtılması için EC prosesinin veriminde rol oynayan elektrot türleri de araştırılmış ve optimum işletme koşulları üzerinde durulmuştur. Optimum şartları belirlemek için Al ve Fe elektrotları kullanılmış, iki elektrodunda yağ-gres giderim veriminin %90'ın üzerinde olduğu belirlenmiş ancak suya renk vermesi ve sürekli olarak çalışmayan restoranlarda havadaki oksijen ile reaksiyona giren Fe elektrodunun oksidasyona uğraması gibi dezavantajlardan dolayı Al elektrodu kullanımı tercih edilmiştir. Arıtma verimini önemli derecede etkileyen tek değişkenin yük yükleme olduğu görülmüştür. Test edilen atıksuya bağlı olarak değişen optimum yük yükleme ve akım yoğunluğu sırasıyla 1.67–9.95 F/m³ ve 30–80 A/m² arasında değişim göstermiştir. Atıksu için

yapılan tüm testlerde yağ gres giderim verimi %94'ün üzerinde tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları EC'nin atık suyun pH değerini nötralize edebildiğini ve birtakım mekanizmaların pH'a bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir [32].

Koby ve diğ. (2006), Levafix Orange E3 GA reaktif boya çözeltisinin alüminyum elektrotlar kullanarak yaptıkları elektrokoagülasyon çalışmasında renk giderimini incelemiştir. Renk giderim verimi ve maliyet için elektrot ve enerji gereksinimine başlangıç pH'sı, iletkenlik, akım yoğunluğu, başlangıç boya konsantrasyonu ve reaksiyon süresi parametrelerinin etkisine bakılmıştır. Uygulanan akım yoğunluğunun 100'den 250 A/m²'ye artması ile renk giderim veriminde önemli bir değişim olmadığı, bu yüzden iyi bir renk giderimi için 100 A/m² akım yoğunluğunun yeterli olduğu saptanmıştır. Yüksek akım yoğunluklarında alüminyumun anodik çözünmesi arttığından kirletici giderimi için önemli miktarda çökelti oluştuğu ve bunun yanında kabarcık oluşum hızı arttığından ve artan akım yoğunluğu ile kabarcık boyutu küçüldüğünden H₂ flotasyonu ile kirletici gideriminde iyi bir verim elde edildiği sonucuna varılmıştır. pH 3 ile 9 arasındaki pH artışı sırasında renk giderim veriminin yavaş bir şekilde azaldığı, pH 9'un üzerindeki pH'larda ise hızlı bir şekilde düştüğü görülmüştür. Maksimum renk giderimi pH 3'de % 99.9 olarak, minimum renk giderimi ise pH 11'de % 76.6 olarak elde edilmiştir. İletkenlik için çözeltiliye NaCl elektrolit olarak ilave edilmiştir. 250-4000 S/cm aralığında artan iletkenlik ile renk giderim veriminde ve pil voltajında bir düşüş saptanmıştır. Bu renk giderimindeki düşüş de sulu ortam iletkenliğinin değişmesi sonucu iyonik güçteki değişimi ile açıklanmıştır. İletkenliğin artması ile enerji tüketiminin 102 kW saat/kg boyadan 13.3 kW saat/kg boyaya düştüğü, elektrot tüketiminin ise iletkenliğin değişmesi ile 1.93 ile 2.20 kg Al/kg boya arasında değiştiği tespit edilmiştir. Başlangıç boyarmadde konsantrasyonunun 100'den 500 mg/L'ye artırılması ile renk giderim veriminin % 99.6 dan % 88'e doğru lineer bir düşüş gösterdiği saptanmıştır. Bunun nedeni de yüksek boya konsantrasyonlarında ortamda yeterli miktarda alüminyum hidroksit floklarının bulunmaması olarak açıklanmıştır. Boya konsantrasyonundaki artış ile enerji tüketiminde 98'den 23 kW saat/kg boyaya, elektrot tüketiminde 4.7'den 1.1 kg Al/kg boyaya düştüğü görülmüştür. Çalışma sonucunda akım yoğunluğu 100 A/m², reaksiyon süresi 12 dakika ve başlangıç pH'sı 6.4 olduğu optimum koşullarda % 95 renk giderimi elde edilmiştir.

3.4. UV Görünür Bölge Absorbsiyon Spektroskopisi

3.4.1. UV-Vis spektroskopisi

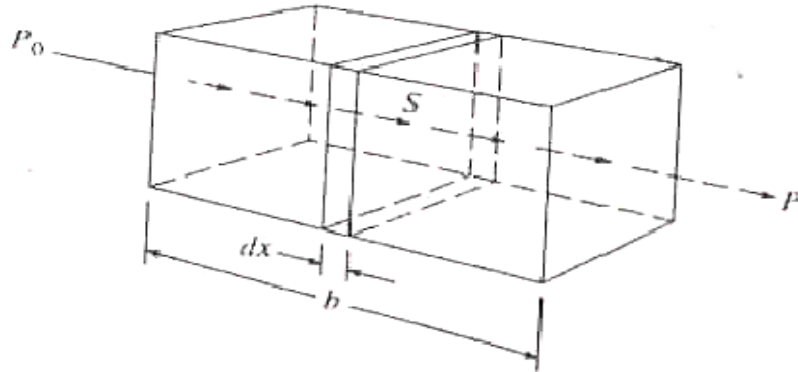
Spektroskopi, bir örnekteki atom, molekül veya iyonların, bir enerji düzeyinden diğerine geçişleri sırasında absorplanan veya yayılan elektromanyetik ışımının ölçülmesi ve yorumlanmasıdır. Kısacası elektromanyetik dalga ile maddenin etkileşmesini inceleyen bilim dalıdır. Maddenin ışığı absorplamasını incelemek için kullanılan düzeneğe UV-Vis spektrofotometresi adı verilir.

UV spektrofotometreler, genellikle görünür bölge ile birleşik haldedir ve UV-visible olarak adlandırılırlar. UV-Visible spektrofotometreler dalga boyları 200 ile 1000 nm arasında değişen ışınlarla tarama yapar. Ancak vakum terhibatlı cihazlar 110 nm de bile çalışırlar. UV ve Visible spektroskopide maddenin absorpladığı enerji, yapısında bulunan bir elektronu bir üst enerji seviyesine çıkarır. Bu spektrofotometrelerde derişimleri arasında ölçüm yapılır.

3.4.2. Beer yasası

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} = \epsilon bc$$

Yukarıdaki eşitlik Beer yasasını gösterir. Bağıntı şu şekilde açıklanabilir. Şekil 1' de olduğu gibi, absorplayıcı bir madde bloğu (katı,sıvı veya gaz) düşünelim. P_0 gücünde paralel monokromatik bir ışın demeti blok yüzeyine dik olarak düşsün; n tane absorplayıcı atom, iyon veya molekül içeren b uzunluğundaki maddeden geçerken absorpsiyon sonucu ışın gücü P değerine düşer bloğun son derece düşük dx kalınlığındaki S kesit alanını göz önüne alalım. Bu kesit alanda dn tane absorplayıcı tanecik bulunur; her bir tanecikte foton yakalanmasının gerçekleştiği bir yüzeyin varlığı düşünülebilir. Eğer foton bu yüzeylerden birine ulaşırsa, hemen yakalanır. İlgili kesit alandaki yakalayıcı yüzeyin toplam alanı dS ile gösterilir; böylece foton yakalayıcı yüzeyin toplam yüzey alanına oranı dS/S olur. İstatistik ortalamaya göre, bu oran ilgili kesitte fotonun yakalanma olasılığını gösterir.



Şekil 3.1. P_0 başlangıç gücündeki bir ışının gücünün, litrede c mol absorplayıcı madde içeren b cm ışın yoluna sahip bir çözelti tarafından azaltılması.

İlgili kesite giren ışının şiddeti P_x , bir santimetredeki foton sayısı ile orantılıdır ve dP_x bu kesitte absorblanan miktarı gösterir; böylece absorplama kesri $-dP_x/P_x$ olur ve bu oran foton yakalanmasının ortalama olasılığını verir.

$$-\frac{dP_x}{P_x} = \frac{dS}{S} \quad (3.10.)$$

dS 'nin taneciklerin foton yakalayıcı yüzeylerinin toplam alanıdır; bu nedenle dS toplam tanecik sayısı ile doğru orantılı olmalıdır veya

$$dS = a dn \quad (3.11.)$$

olur. Bu eşitlikte dn tanecik sayısı ve a yakalama kesit alanı olarak da adlandırılabilen bir orantı sabitidir. Eşitlik 1 ve 2'yi birleştirip 0 ve n aralığında integral alınırsa,

$$-\int_{P_0}^P \frac{dP_x}{P_x} = \int_0^n \frac{a dn}{S}$$

elde edilir ve integral çözüldüğünde,

$$-\ln \frac{P}{P_0} = \frac{an}{S}$$

bulunur. 10 tabanlı logaritmaya dönüştürülüp, işareti değiştirmek için ters çevrilirse,

$$\log \frac{P_0}{P} = \frac{an}{2,303S} \quad (3.12.)$$

elde edilir. Burada n , şekil 1 deki blok içinde bulunan taneciklerin toplam sayısıdır. Kesit alanı S bloğunun cm^3 olarak hacmi V ve cm olarak uzunluğu b cinsinden verilebilir. Böylece,

$$S = \frac{V}{b} \text{cm}^2$$

olur. Bu değeri eşitlik 3'te yerine koyarsak,

$$\log \frac{P_0}{P} = \frac{anb}{2,303V} \quad (3.13.)$$

elde edilir. n/V 'nin biriminin derişim birimi yani, bir santimetreküpteki tanecik sayısı olduğuna dikkat edersek, n/V değerini litrede mol olarak verebiliriz. Böylece mol sayısı

$$\text{mol sayısı} = \frac{n \text{ tanecik}}{6,02 \times 10^{23} \text{ tanecik/mol}}$$

olarak verilir ve c , mol/L cinsinden

$$c = \frac{n}{6,02 \times 10^{23}} \text{mol} \quad \times \quad \frac{1000 \text{cm}^3 / L}{V \text{cm}^3}$$

$$= \frac{1000n}{6,02 \times 10^{23} V} \text{mol} / L$$

olur. Bu bağıntı eşitlik 4 ile birleştirilince

$$\log \frac{P_0}{P} = \frac{6,02 \times 10^{23} abc}{2,303 \times 1000}$$

elde edilir. Son olarak bu eşitlikteki sabit değerler tek bir terim olan ϵ 'da toplanabilir.

$$\log \frac{P_0}{P} = \epsilon bc = A \quad (3.14.)$$

Bu ise Beer yasasının formülle gösterimidir [38].

3.4.3. Tek ışık yollu spektrofotometreler

Kaynaktan çıkan ışık, bir mercek ile toplanarak monokromatöre gönderilir ve dalga boyu seçiminden sonra bir aralıktan geçirilerek örnek üzerine düşürülür. Örneğin ışığı absorplama miktarı uygun bir dedektörle ölçülür, bu sinyal elektronik olarak çoğaltılır ve bir galvanometrede okunur. Bu bileşenlerin tümünün aynı ışık yoluna yerleştirildiği böyle bir spektrofotometreye, Tek Işık Yollu Spektrofotometre adı verilir.

Şekil 3.2. Tek Işık Yollu Spektrofotometre

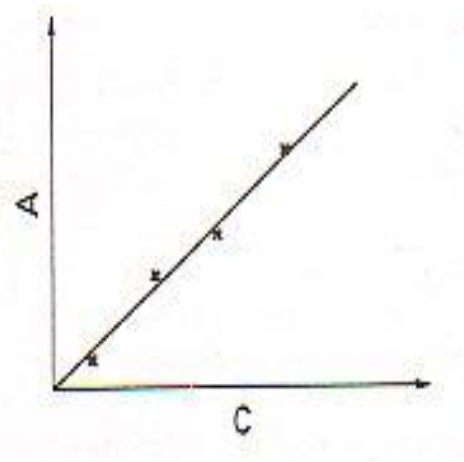
3.4.4. Çift ışık yollu spektrofotometreler

Çıkan ışık, eşit şiddette iki demete bölünerek biri örneğe diğeri sadece çözücünün bulunduğu kaba gönderilir. İkiye ayrılan ışık, iki ayrı dedektörle algılanır ve dedektörlerde oluşan sinyallerin oranı ölçülür. Bu tür aletlere de Çift Işık Yollu Spektrofotometreler denir.

Şekil 3.3. Çift Işık Yollu Spektrofotometre

3.4.5. Spektrofotometrik ölçümlerde kalibrasyon

Spektrofotometrik ölçümlerde kör, standart ve numune olmak üzere üç tüp hazırlanır. Kör, cihazın optik ayarlarının (sıfır ve 100 ayarı) yapılması amacıyla kullanılan çözeltilerdir. Kör çözeltileri olarak distile su veya reaktifin kendisi kullanılır. Bazı ölçümlerde numune körü de kullanılabilir. Standart, aranan maddenin bilinen konsantrasyondaki çözeltilerdir. Numune, içindeki madde miktarını tayin etmek istediğimiz çözeltilerdir. Standart çözeltilerin bilinen derişimlerine karşı A değerlerini grafiğe geçirmek suretiyle elde edilen doğruya kalibrasyon doğrusu denir.



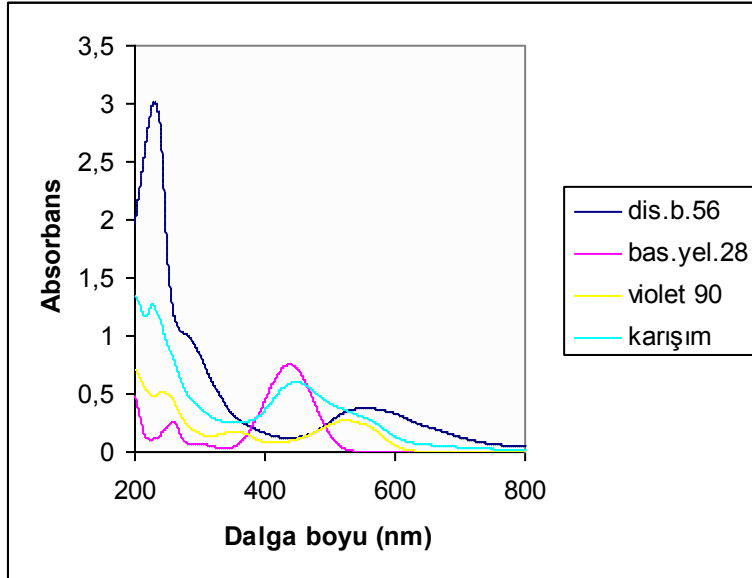
Şekil 3.4. Kalibrasyon Eğrisi

Nicel analiz, kalibrasyon doğrusunun doğrusal olduğu bölgede yapılır. Derişimi bilinmeyen örneğin A değeri ölçülür ve kalibrasyon doğrusunda bu değere karşılık gelen derişim saptanır.

BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOD

4.1. Kullanılan Boyalar ve Seçim İşlemleri

Çalışmamızda üç farklı boya kullanılmıştır. Boya karışımlarının derişimlerini tespit ederken UV spektroskopisi kullanılmıştır. Bu yöntemde her boyanın karakteristik pikleri belirlenmiş olup öncelikli kontrol edilmesi gereken faktör boyaların birbiriyle etkileşip yeni kompleksler oluşturmamasıdır. Bunun kontrolü için her bir boyadan çözelti hazırlanıp ayrı ayrı UV spektrumları alınmış ve karakteristik pikleri gözlemlenmiştir. Sonra aynı derişimler de karışımı hazırlanmış ve aynı piklerin varlığı kontrol edilmiştir. Aşağıda, bahsedilen bu dört spektrumun aynı grafikte verilmiş şekli mevcuttur.



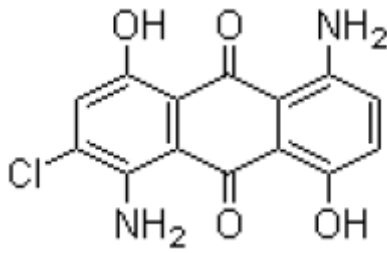
Şekil 4.1. Kullanılan boyaların UV spektrumları

Bu çalışmada ticari olarak kullanılan tekstil boyalarından Disperse Blue C.I. 56, Basic Yellow C.I. 28 ve Violet 90'ın elektrokoagülasyonla arıtımı ele alınmıştır. Adı

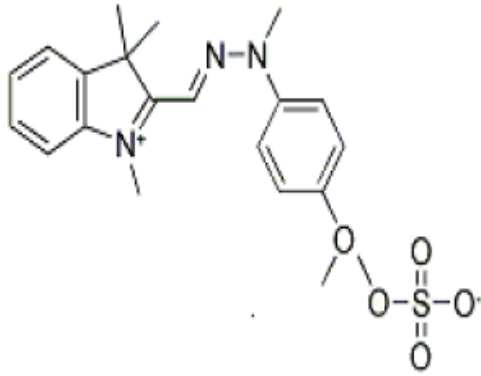
geçen boyalar UMUT KİMYA Boya ve Dış Ticaret Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Aşağıda boyların moleküler yapısı ve kimyasal özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Dipers Blue 56' nin özellikleri

Colour indeks no	C.I Disperse Blue 56
Moleküler Formül	$C_{14}H_9ClN_2O_4$
Moleküler Ağırlık	304.69
CAS	12217-79-7
EINECS	235-401-1



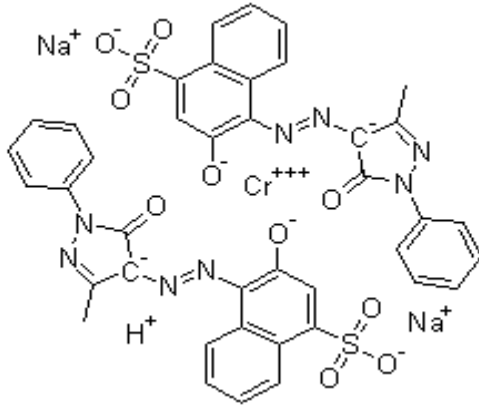
Şekil 4.2. Disperse Blue 56' nin moleküler yapısı



Şekil 4.3. Basic yellow 28'in moleküler yapısı

Tablo 4.2. Basic yellow 28'in özellikleri

Colour indeks no	Basic yellow 28
Moleküler Formül	$C_{21}H_{27}N_3O_5S$
Moleküler Ağırlık	433.52
CAS	54060-92-3
EINECS	258-946-7



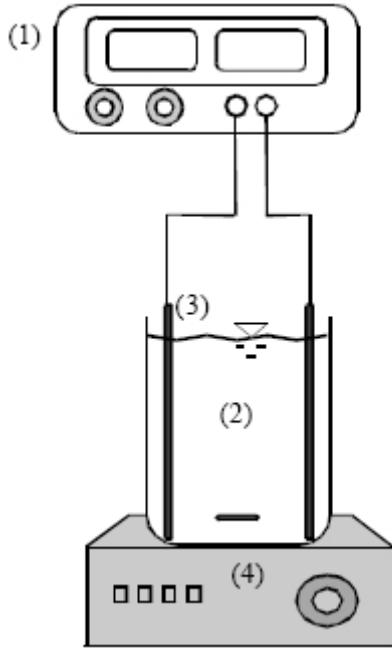
Şekil 4.4. Acid Violet 90'nin molekül yapısı

Tablo 4.3. Acid Violet 90'nin özellikleri

Colour indeks no	Acid Violet 90
Moleküler Formül	$C_{40}H_{27}CrN_8Na_2O_{10}S_2$
Moleküler Ağırlık	941.80
CAS	6408-29-3
EINECS	229-052-4

4.2. Deney Düzenegi

Tüm denemeler kesikli sistem ile yapılmıştır. Denemelerde 1000 ml boya çözeltisi kullanılmıştır. Çalışmalar Fe elektrotlarla yapılmış olup her deneme de elektrotlar arasındaki mesafe 2,2 cm olarak sabitlenmiştir. Karıştırma manyetik karıştırıcı ile sağlanmıştır ve çözelti sıcaklığı oda sıcaklığıdır. Her deneme sonunda elektrotlar seyreltik asitli suda bir müddet bekletilmiş ve daha sonra yüzeyde ki tüm kalıntılar temizlenmiştir. Her denemede, bir önceki denemede anot ve katot olarak kullanılan elektrotlar yer değiştirmiştir. Elektrotlar çözeltime daldırıldığında elektrotun çözeltilerde olan yüzey alanı her deneme için sabitlenmiş olup, çözelti içinde kalan bir elektrotun yüzey alanı $115,5 \text{ cm}^2$ dir. Akım güç kaynağı ile sağlanmıştır. Deney düzenegi şekilde gösterildiği gibidir.



Şekil 4.5. Deneysel çalışma düzeneğinin şematik gösterimi (1-DC Güç Kaynağı, 2-Elektrokimyasal hücre, 3- Elektrotlar, 4- Manyetik Karıştırıcı.)

4.3. Boya Çözeltisinin Hazırlanışı ve Deneysel İşlem

Basic yellow, dispers blue ve violet 90 boyarmaddelerin karşım çözeltileri saf su kullanılarak hazırlanmıştır. Boya çözeltilerinin pH ve iletkenlikleri HCl, NaOH ve NaCl kullanılarak ayarlanmıştır.

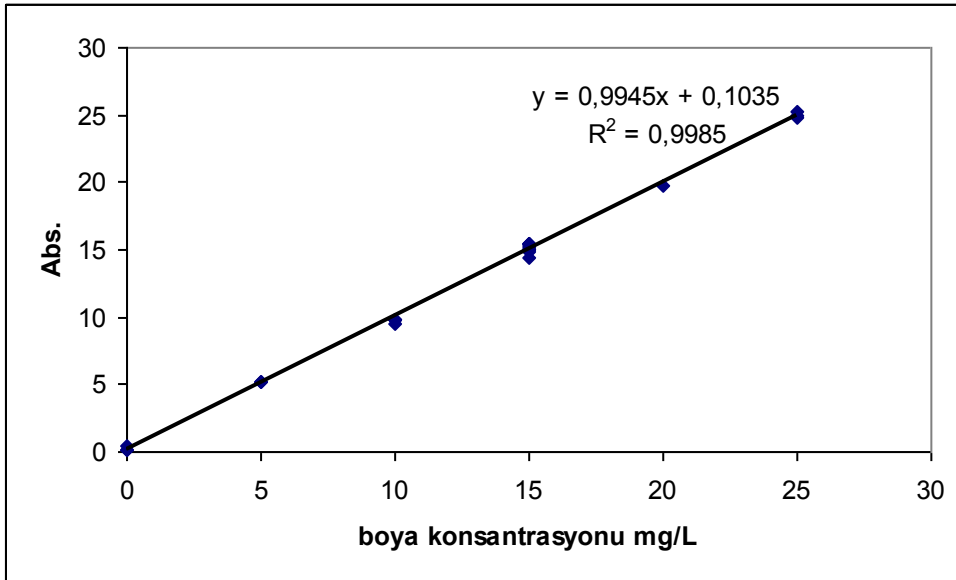
Çalışmalarda farklı koşulların elektrokoagülasyon sistemine etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmalar; farklı pH denemeleri, arıtma süresinin etkisi, akım yoğunluğu etkisi, tuz miktarının etkisi, boyaların başlangıç derişimlerinin etkisi, koagülasyon öncesi ve sonrası KOİ değişimi.

Elektrotlar, elektrokoagülasyon hücresine yerleştirildikten sonra hücreye 1000mL boya çözeltisi konulmuştur. Güç kaynağı doğru akımda çalıştırılıp gerekli akım ve voltaj ayarlaması yapıldıktan sonra çalıştırılmıştır. Elektrokoagülasyon esnasında oluşan hidrojen gazı flokları reaktörün üst kısmında toplamış olup net bir şekilde artım gözlenmiştir. Deney esnasında ve hemen sonrasında pipet kullanılarak alınan numuneler santrifüj tüplerine konularak 5000 rpm de 10 dakika santrifüj edilip son olarak UV-Vis ile analiz edilmiştir.

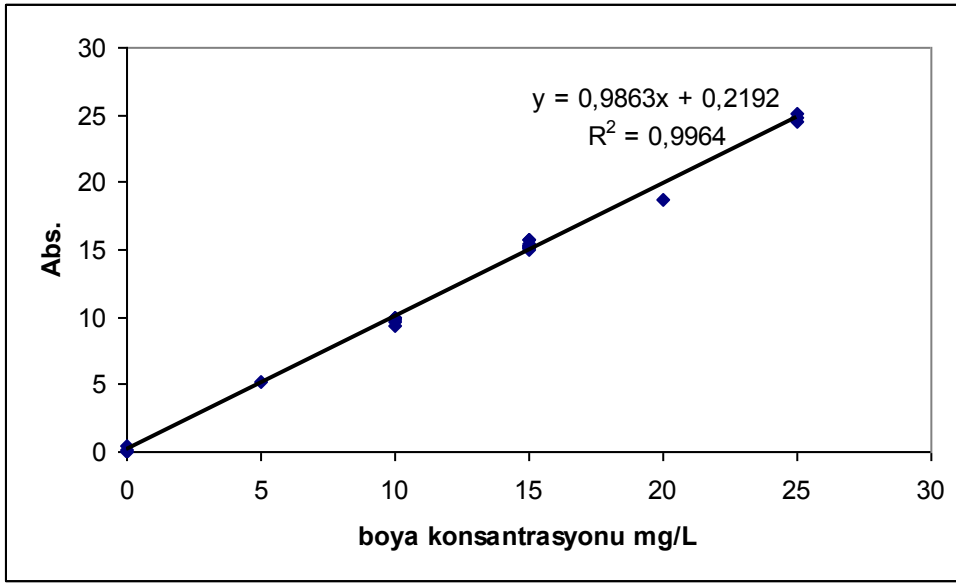
Akım geçerken anotta oluşan korozyon ürünlerini akım geçişini azaltır ve reaksiyon süresinin uzamasına neden olur. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için her deneyden sonra anot ve katot olarak kullandığımız demir elektrotlarda kutup değişikliği yapılmış olup, ayrıca elektrotlar seyreltik HCl çözeltisinde bekletilmiştir, ardından saf su ile yıkanarak yüzeylerde oluşan birikintinin uzaklaşması sağlanmıştır.

4.4. Boya Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

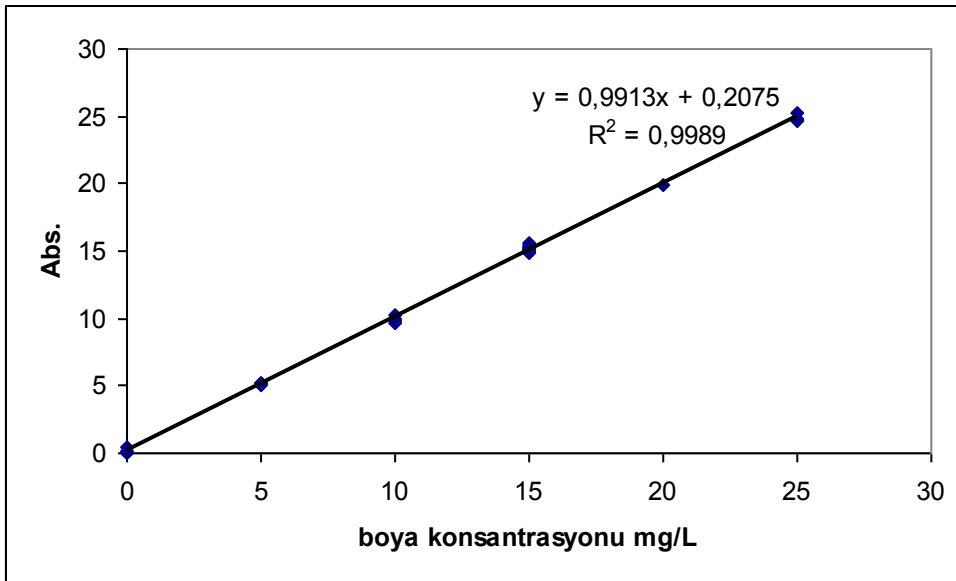
Çalışmalarda önce her bir boyadan saf su ile belirli konsantrasyonda stok çözeltiler hazırlanmıştır. Sonrasında bu stok çözeltilerden farklı konsantrasyonlarda karışım çözeltileri elde edilmiştir. Ve bu karışım çözeltileri UV-Vis spektrofotometresiyle analiz edilmiştir. Alınan datalar mat-lab adlı programa yüklenip konsantrasyonlar bulunmuştur. Ve absorbans konsantrasyon arasında kalibrasyon grafiği her bir boya için çıkarılmış olup şekil 4.6, 4.7, 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Disperse Blue boyar maddesinin kalibrasyon eğrisi



Şekil 4.7. Basic Yellow boyar maddesinin kalibrasyon eğrisi



Şekil 4.8. Violet 90 boyar maddesinin kalibrasyon eğrisi

Bundan sonraki çalışmalarda deneyler sonucunda UV-Vis spektrofotometersinde aldığımız datalar matlaba yüklenmiş olup daha önceden hazırladığımız kalibrasyonlarla karışımındaki her bir boyanın derişimi ayrı ayrı tespit edilmiştir.

4.5. Kullanılan Eşitlikler

Akım Yoğunluğu: Akım yoğunluğu toplam alandan geçen akımdır. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$J = I/A$ (4.1.) Burada; J : akım yoğunluğu mA/cm² , I : Akım şiddeti mAmper, A: Aktif anot yüzey alanı, cm², dir. Enerji Tüketimi: Enerji tüketimi proses sonuna kadar harcanan elektriğin güç birimi watt cinsinden hesaplamasıdır.

$$E = V.I.t \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte;

V: potansiyel fark (volt)

I : devreden geçen akım (amper)

t : proses süresi (saat) olarak verilmektedir.

Arıtma yüzde verimi: proses başında çözültideki boya derişim ile arıtma sonunda ki derişim arasında ki ilişkidir. Buna göre;

$$\%R = (C_o - C / C_o).100 \quad (4.3)$$

C_o : Giriş derişimi, mg/L

C : Çıkış derişimi, mg/L

BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR

5.1. pH'in Elektrokoagülasyon Üzerine Etkisi

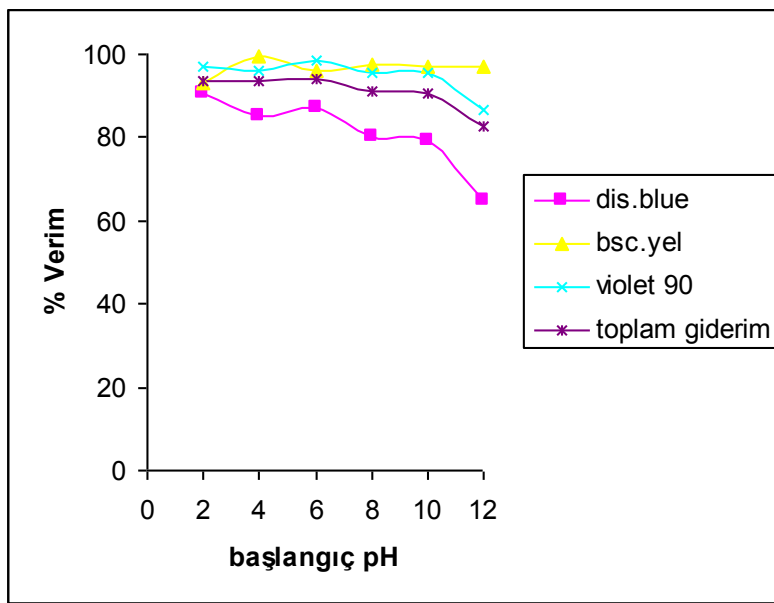
Karışım halinde bulunan Disperse Blue 56, Basic Yellow 28, Violet 90 boya maddeleri için başlangıç pH'sının etkisi pH 2-12 arasında incelenmiş olup, deneylerin koşulları Tablo 5.1'de gösterilmiştir. pH çalışmalarına ait UV-Vis spektrumları Ek Şekil A.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. pH etkisinin araştırıldığı deneylerin şartları ve sonuçları

Başlangıç pH	2	4	6	8	10	12
Son pH	5	9,75	9,95	10,20	10,50	12,20
Süre (dk)	15	15	15	15	15	15
Tuz Derişimi (g/L)	3	3	3	3	3	3
Akım (A)	1	1	1	1	1	1
Akım Yoğunluğu (mA/cm ²)	8,66	8,66	8,66	8,66	8,66	8,66
Voltaj (V)	4,3	4,3	4	5	5	5,3
Son Voltaj	4,4	4,4	4,1	5,1	5,1	5,4
Toplam Boya Derişimi (mg/L)	300	300	300	300	300	300
Kalan Toplam Boya Derişimi (mg/L)	19,41	19,02	18,39	26,67	27,99	51,69
Boya Giderme % Verimi (Disperse Blue 56)	90,78	84,96	87,24	80,42	79,42	64,85
Boya Giderme % Verimi (Basic Yellow 28)	92,93	99,74	96,07	97,36	96,83	96,99
Boya Giderme % Verimi (Violet 90)	96,88	96,28	98,29	95,54	95,77	86,47
Toplam Giderim %	93,53	93,66	93,87	91,11	90,67	82,77
kWh/kg boya	3,82	3,83	3,56	4,57	4,60	5,34

pH, ortamda bulunan elektrolit reaksiyonları doğrudan etkiler ve elektrokoagülasyon için metal hidroksillerin oluşumunda birinci dereceden etkilidir. Arıtım verimleri başlangıç pH'sının yanı sıra koagülasyon sonrası pH değerlerine de bağlıdır [39].

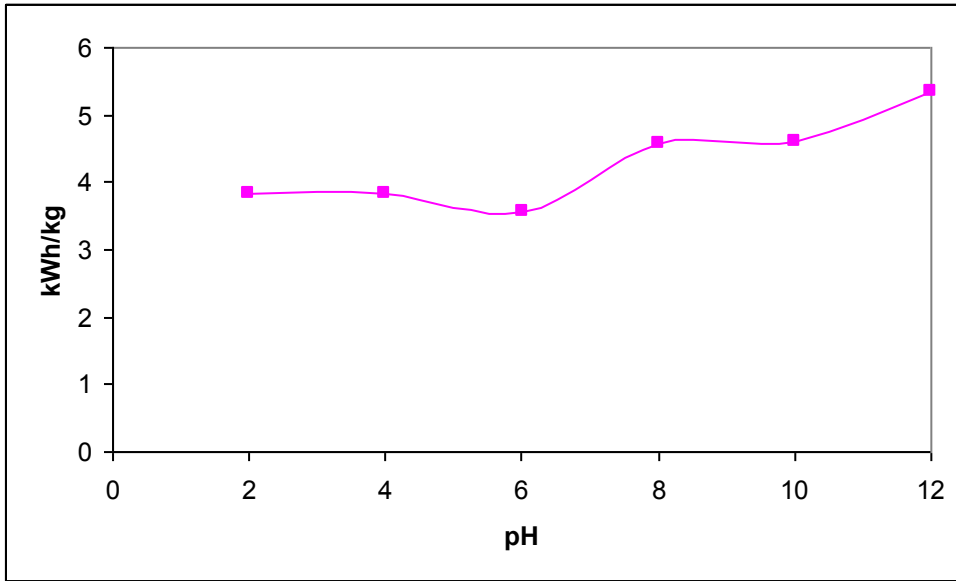
Yukarı da bahsedilen nedenlerde göz önünde tutulduğunda elektrokoagülasyon için en önemli parametrenin pH olduğu görülmektedir. Bu nedenle ilk önce koagülasyon için optimum pH'ın belirlenmesine karar verilmiştir. Yapılan çalışmada maksimum giderimin olduğu pH değerine ulaşılmaya çalışılmıştır.



Şekil 5.1. Başlangıç pH'sının boya giderme üzerine etkisi

Çalışmalar sırasında pH ayarlamaları NaOH ve HCl kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda süre 15 dakika olarak sabit tutulmuş ve karıştırma hızı da değiştirilmemiştir. Yapılan çalışmalarda en iyi giderim veriminin 1 amper akım uygulandığında pH 6' da olduğu tespit edilmiştir. Bundan sonraki denemelerde pH 6 olarak ayarlanmıştır.

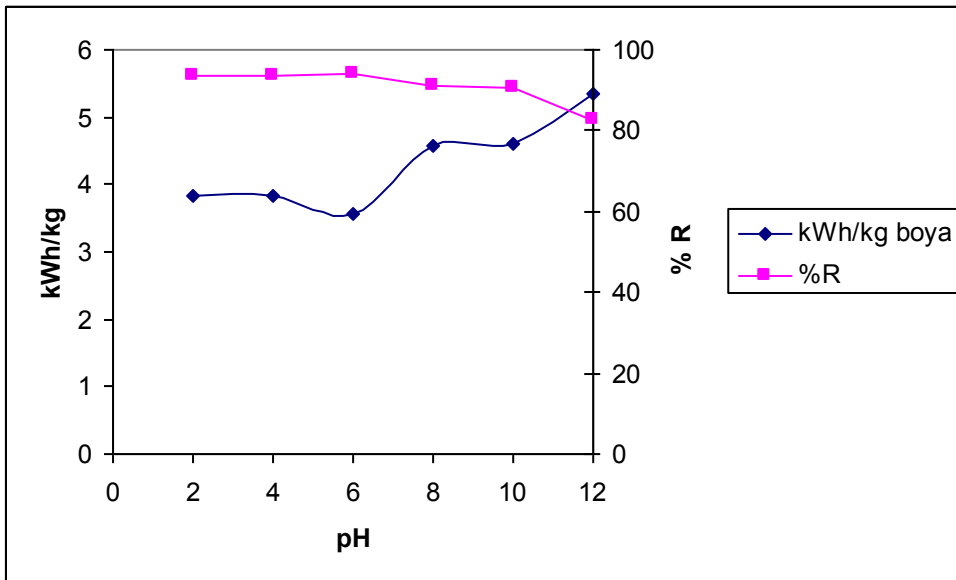
pH'in enerji üzerine etkisi incelenmiş olup kg boya giderimi başına enerji değişimleri Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. pH değişimlerinin enerji harcamasına etkisi

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi en düşük enerji gereksinimi pH 6’da gerekmektedir.

Şekil 5.3’ de harcanan enerji ve giderim verimi arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 5.3. Harcanan enerji ve giderme verimi ilişkisi

Şekil 5.3’de görüldüğü gibi en yüksek verimin ve en düşük enerji harcamasının olduğu pH 6 dır. Buda maliyet açısından oldukça önemlidir.

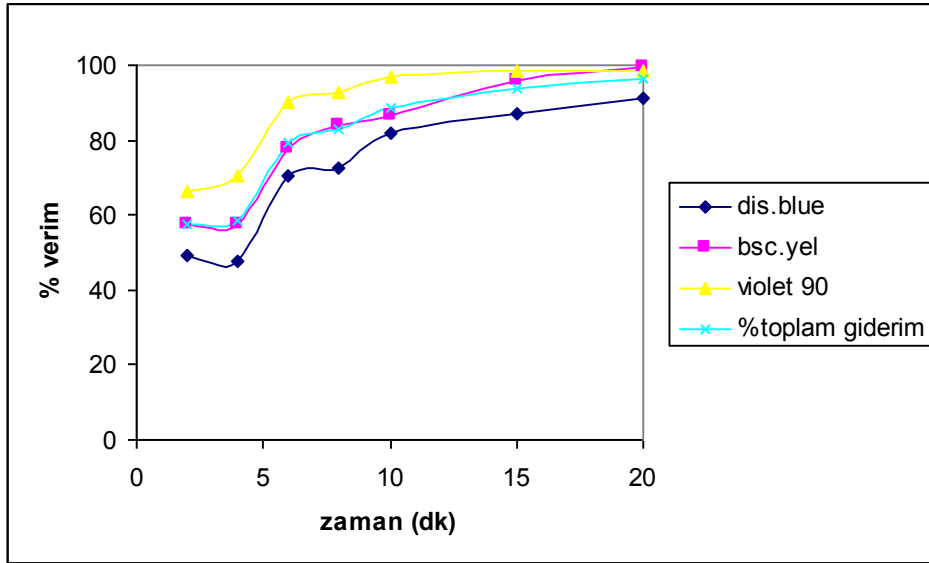
5.2. Elektrokoagülasyon Üzerine Zamanın Etkisi

Elektrokoagülasyon işlemlerinde enerji giderimi maliyet açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle süre optimizasyonu önemlidir. İstenilen verim elde edildikten sonra işlemin devam ettirilmesi gereksiz olduğu gibi işlemin devam etmesiyle demir elektrot harcaması artar. Elektroliz süresinin arttırma verimine etkisinin şartları Tablo 5.2’de verilmiştir. Zaman çalışmalarına ait UV-Vis spektrumları Ek Şekil A.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Zaman etkisinin incelendiği analizlerinin şartları ve sonuçları

Süre (dk)	2	4	6	8	10	15	20
Başlangıç ph	6	6	6	6	6	6	6
Akım (A)	1	1	1	1	1	1	1
Akım Yoğunluğu (mA/cm ²)	8,66	8,66	8,66	8,66	8,66	8,66	8,66
Voltaj (V)	4	4	4	4	4	4	4
Boya Derişimi (Her Boya İçin) mg/L	100	100	100	100	100	100	100
Kalan Boya Derişimi Disperse Blue 56	50,52	52,34	29,39	27,64	18,19	12,76	8,63
Kalan Boya Derişimi Basic Yellow 28	42,73	42,28	22,37	15,93	13,62	3,93	0,36
Kalan Boya Derişimi Violet 90	33,86	29,77	10,02	7,05	2,95	1,71	1,68
Kalan Toplam Boya Derişimi	127,11	124,40	61,77	50,61	34,75	18,40	10,66
Boya Giderme % Verimi Disperse Blue 56	49,48	47,66	70,61	72,36	81,81	87,24	91,37
Boya Giderme % Verimi Basic Yellow 28	57,27	57,72	77,63	84,07	86,38	96,07	99,64
Boya Giderme % Verimi Violet 90	66,14	70,23	89,98	92,95	97,05	98,29	98,32
Toplam Giderim %	57,63	58,53	79,41	83,13	88,42	93,87	96,45
Enerji Tüketimi KWh/Kg	0,774	1,52	1,81	2,18	2,51	3,56	4,61

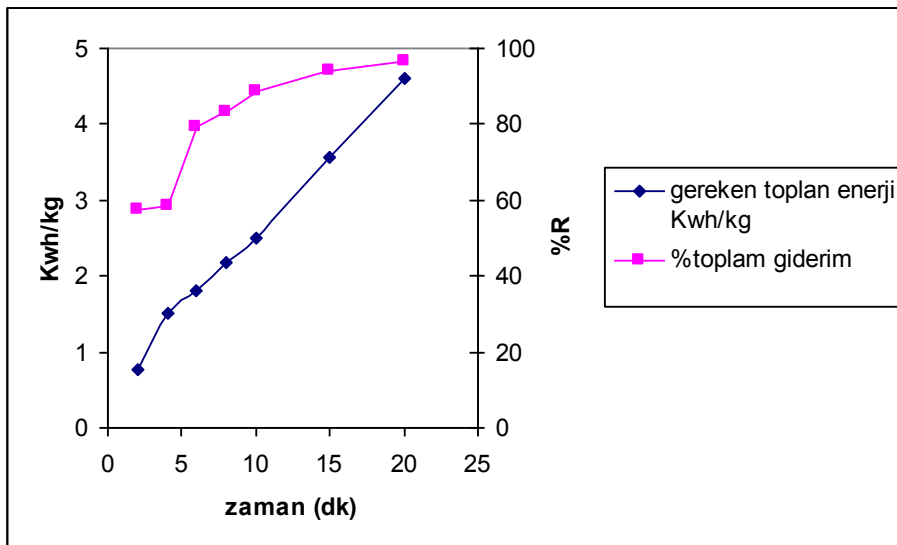
Şekil 5.4. de elektrokoagülasyon süresinin arıtım verimine etkisi görülmektedir.



Şekil 5.4. Elektrokoagülasyon süresinin giderim verimine etkisi

Şekil 5.4'de görüldüğü üzere 15 dakikadan sonra giderim veriminde fazla bir değişiklik görülmemektedir bu nedenle işlemin devam ettirilmesi gereksiz enerji sarfiyatına neden olacağından optimum süre 15 dakika olarak belirlenmiştir. Ve bundan sonraki çalışmalarda süre 15 dakika olarak ayarlanmıştır. 15 dakikada disperse blue 56, basic yellow 28, violet 90 boyar maddeleri için giderim verimi sırasıyla % 87,24, % 96,07, % 98,29 dur.

Süre ile enerji arasındaki ilişki de incelenmiş olup sonuçlar Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Elektroliz süresini enerji verimine etkisi

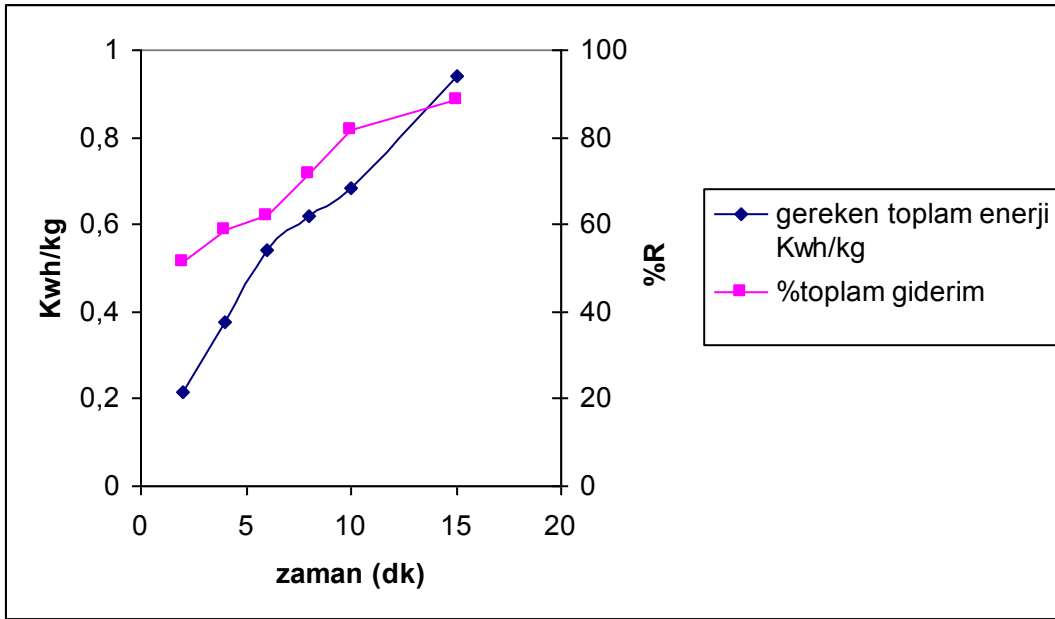
Şekil 5.5’de enerji tüketimi ve verim etkilerine bakıldığında 15 ve 20 dakika arasında fazla verim artışı gözlemlenmezken enerji tüketiminin oldukça arttığı görülmektedir.

5.3. Akım Yoğunluğu ve Zamanın Etkisi

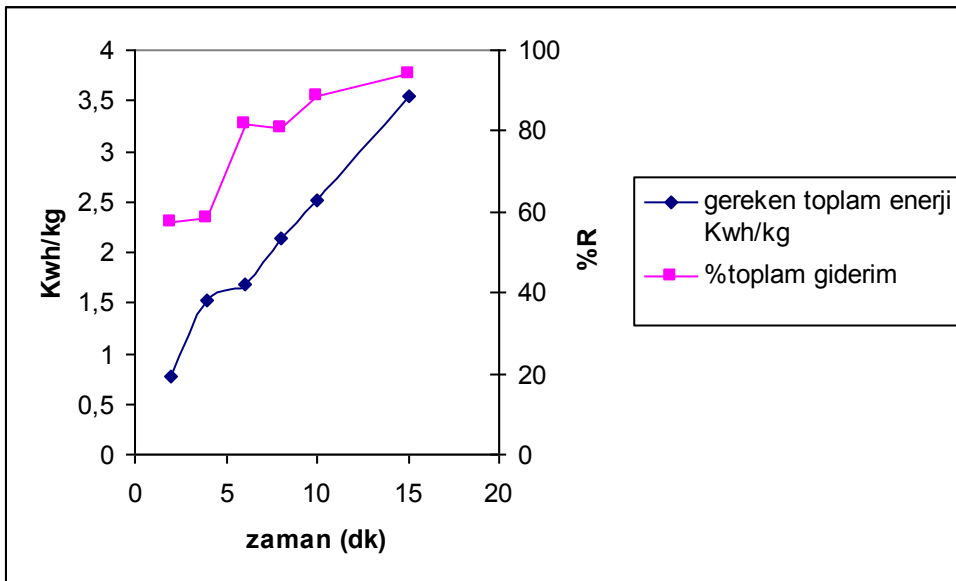
Akım yoğunluğu devreden geçen akım ile çözelti içerisine daldırılan elektrotun yüzey alanına oranıdır. Akım yoğunluğunu arttırmak için sabit alana sahip elektrotla çalışılması sebebiyle devreden geçen akımın artırılması gerekir. Akım artırması da maliyet artışına neden olmaktadır. Bu nedenle optimum akım yoğunluğunu bulmak için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada akım yoğunlukları farklı zaman aralıklarıyla denenmiştir. Sistemden zamana bağlı olarak örnekler alınarak, zamanla arıtma verimini nasıl değiştiği gözlemlenmiş olup, diğer akım yoğunlukları içinde aynı çalışma yapılmıştır. Çalışma şartları ve sonuçları Tablo 5.3’de verilmiştir. Çalışmaya ait UV-Vis spektrumları Ek Şekil A.3, A.4, A.5, A.6’ da verilmiştir. Elektrot yüzey alanı sabit kalmak koşuluyla dört farklı akımda çalışmalar yapılmıştır.

Tablo 5.3. Farklı akım yoğunluklarının arıtım verimine ve enerji tüketimine etkisi

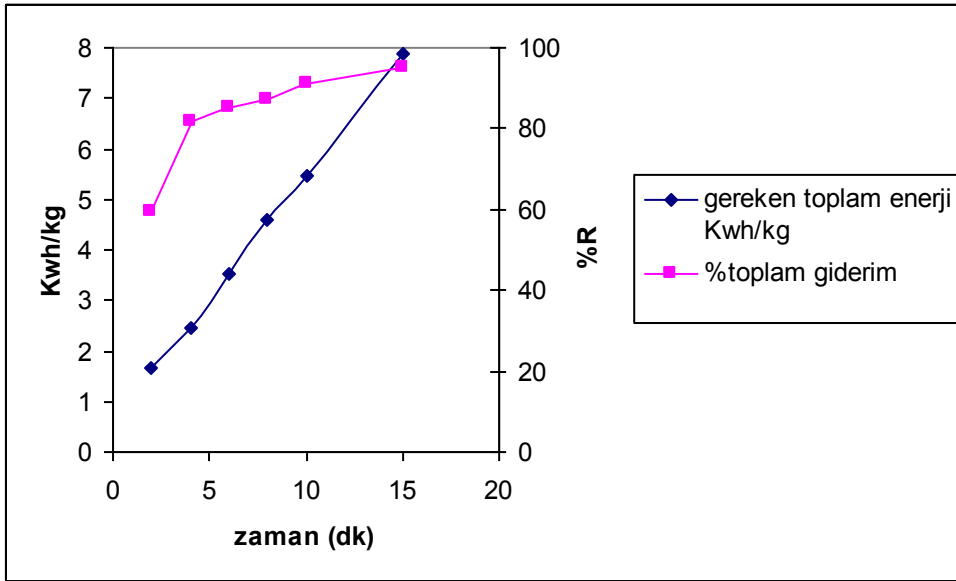
Akım Yoğunluğu 4,33 (mA/cm ²)	Süre (dk)	2	4	6	8	10	15
	Volt (v)	2	2	2	2	2	2
	% Verim	51,24	58,74	61,70	71,72	81,49	88,65
	Enerji tüketimi (kWh/Kg)	0,217	0,378	0,540	0,620	0,682	0,940
Akım Yoğunluğu 8,66 (mA/cm ²)	Süre (dk)	2	4	6	8	10	15
	Volt (v)	4	4	4	4	4	4
	% Verim	57,63	58,53	79,41	83,13	88,42	93,87
	Enerji tüketimi (kWh/Kg)	0,771	1,52	1,68	2,14	2,51	3,55
Akım Yoğunluğu 12,99 (mA/cm ²)	Süre (dk)	2	4	6	8	10	15
	Volt (v)	6	6	6	6	6	6
	% Verim	59,58	81,89	85,29	87,14	91,27	95,09
	Enerji tüketimi (kWh/Kg)	1,68	2,44	3,52	4,59	5,48	7,89
Akım Yoğunluğu 17,32 (mA/cm ²)	Süre (dk)	2	4	6	8	10	15
	Volt (v)	8	8	8	8	8	8
	% Verim	60,78	87,93	96,38	96,93	97,50	98,32
	Enerji tüketimi (kWh/Kg)	2,92	4,04	5,53	7,34	9,12	13,56



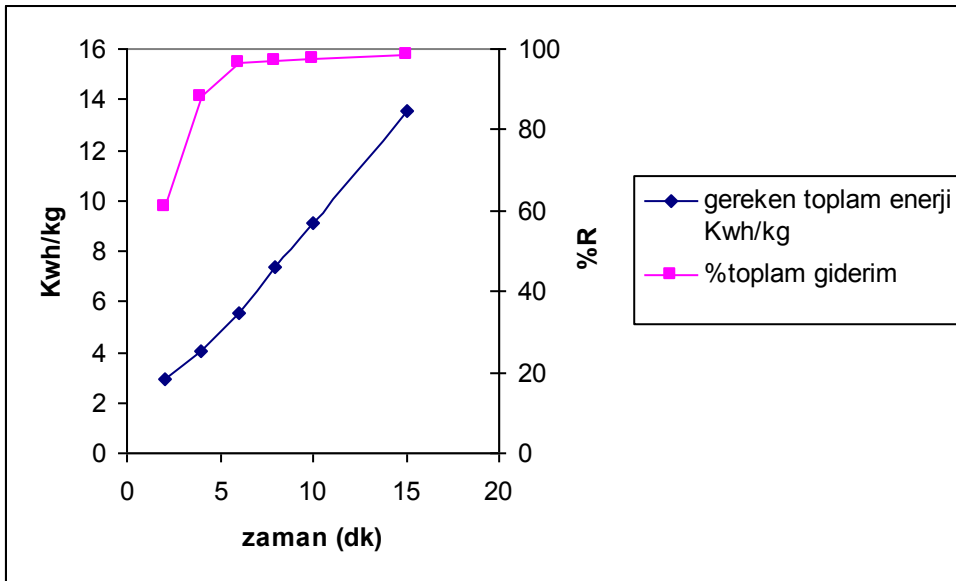
Şekil 5.6. 4,33 mA/cm² akım yoğunluğunda Enerji- % Verim değişimleri



Şekil 5.7. 8,66 mA/cm² akım yoğunluğunda Enerji- % Verim değişimleri



Şekil 5.8. 12,99 mA/cm² akım yoğunluğunda Enerji- % Verim değişimleri



Şekil 5.9. 17,32 mA/cm² akım yoğunluğunda Enerji- % Verim değişimleri

Grafiklerden de görüldüğü gibi akım yoğunluğu arttıkça verimde artmaktadır. Fakat akım yoğunluğunun artmasına bağlı olarak enerji harcaması dolayısıyla maliyet artmaktadır. Verim akım yoğunluğu 8,66 mA/cm² iken % 93,87 akım yoğunluğu 17,32 mA/cm² iken % 98,32'dir. Görüldüğü üzere verim açısından çok büyük bir fark yoktur. Fakat akım yoğunluğu 8,66 mA/cm² da enerji tüketimi 3,55 Kwh/kg akım yoğunluğu 17,32 mA/cm² de enerji tüketimi 13,56 Kwh/kg'dır. Bu da maliyet

açısından büyük bir gidere neden olur. Sonuç olarak verim ve enerji tüketimi göz önünde bulundurularak akım yoğunluğu $8,66 \text{ mA/cm}^2$ olarak tespit edilmiştir.

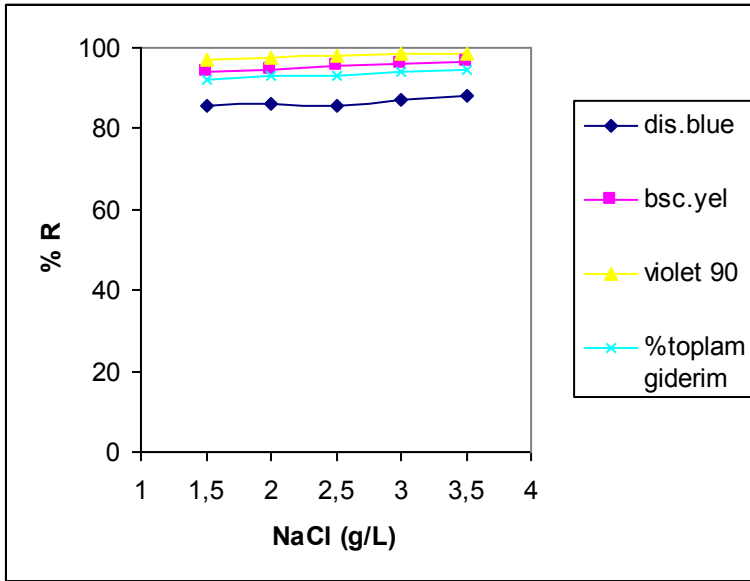
5.4. Boya Giderme Verimi Üzerine Tuz Miktarının Etkisi

Atık suların arıtımında çözeltilerin iletkenliği elektrokoagülasyon için önemli bir etmendir. Elektrokoagülasyonda genellikle atık suyun iletkenliğini arttırmak için ortama NaCl ilavesi yapılır. NaCl elektrik akımını iletilmesindeki katkının yanı sıra HCO_3^- , SO_4^{2-} gibi iyonların yaptığı ters etkiyi önemli ölçüde azalttığı belirtilmektedir. Karbonat ve sülfat iyonlarının varlığı elektrot yüzeyinde izole bir katman oluşturan Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonlarını çökelmesine yol açar. Bu izole katman elektrotlar arası potansiyel farkını artırır ve akım verimliliğinde kayda değer bir azalmaya yol açar. Bu sebeple su arıtımında iyi bir elektrokoagülasyon uygulaması için anyonların arasında % 20 oranında Cl^- iyonu bulunması tavsiye edilir [40].

NaCl miktarının boya giderme verimine etkisi araştırılmıştır. Deney şartları ve sonuçları Tablo 5.4'de verilmiştir. Çalışmaya ait UV-Vis spektrumları Ek Şekil A.7'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Tuz konsantrasyonu etkisinin incelendiği analizlerin şart ve sonuçları

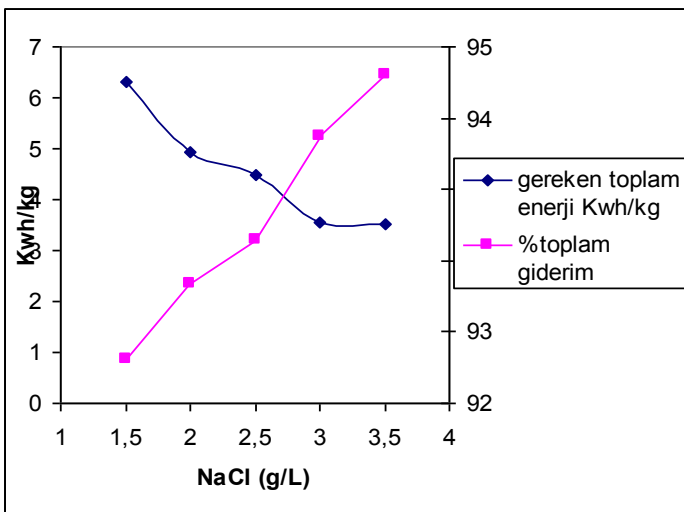
NaCl Miktarı (g)	1,5	2	2,5	3	3,5
Süre (dk)	15	15	15	15	15
Başlangıç pH	6	6	6	6	6
Akım (A)	1	1	1	1	1
Akım Yoğunluğu (mA/cm ²)	8,66	8,66	8,66	8,66	8,66
Voltaj (V)	7	5,5	5	4	4
Boya Derişimi	300	300	300	300	300
Kalan Boya Derişimi Disperse Blue 56 (mg/L)	14,24	13,63	14,16	12,76	12,06
Kalan Boya Derişimi Basic Yellow 28 (mg/L)	5,98	5,57	4,29	3,93	3,58
Kalan Boya Derişimi Violet 90 (mg/L)	2,87	2,28	2,12	1,71	1,43
Kalan Toplam Boya Derişimi	23,09	21,48	20,57	18,4	17,07
Boya Giderme % Verimi (Disperse Blue 56)	85,76	86,37	85,84	87,24	87,94
Boya Giderme % Verimi (Basic Yellow 28)	94,02	94,43	95,71	96,07	96,42
Boya Giderme % Verimi (Violet 90)	97,13	97,72	97,88	98,29	98,57
Toplam % Verim	92,30	92,84	93,14	93,87	94,31
kWh/Kg	6,32	4,94	4,47	3,55	3,53



Şekil 5.10. NaCl derişiminin giderme verimine etkisi

NaCl ilavesi arıtma verimini arttırmıştır. 1,5 g/L tuz ilavesinde giderim verimi % 92,30 iken 3,5 g/L tuz ilavesinde verim 94,31'dir. Görüldüğü üzere tuz miktarının arıtma verimine etkisi çok yüksek değildir.

NaCl ilavesi hem arıtımı hem de enerji tüketimini yani maliyeti etkilemektedir. Tuz ilavesinin artması iletkenliğin artmasını sağlar bu sayede gereken potansiyel fark azalır ve enerji tüketimi dolayısıyla maliyet azalır. Şekil 5.11'de tuz miktarı değişimiyle harcanan enerji arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 5.11. Tuz miktarının enerji tüketimi ve enerji verimine etkisi

Şekil 5.11’de görüldüğü üzere tuz miktarının artışı enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmıştır. 1,5 g/L’ de enerji tüketimi 6,32 Kwh/kg iken 3 gr/L’ de 3,55 Kwh/kg, 3,5 g/L de ise 3,53 Kwh/kg’ dır. Seçim yaparken hem arıtım verimi hem de enerji tüketimi yani maliyet düşünülmüştür. 1,5 g/L tuz konsantrasyonu ile 3 g/L tuz konsantrasyonu arasında arıtım verimi bakımından önemli bir artış yoktur fakat enerji tüketimi açısından oldukça önemli bir azalma vardır. Sonuç olarak en uygun miktarın 3 g/L tuz olduğu tespit edilmiştir.

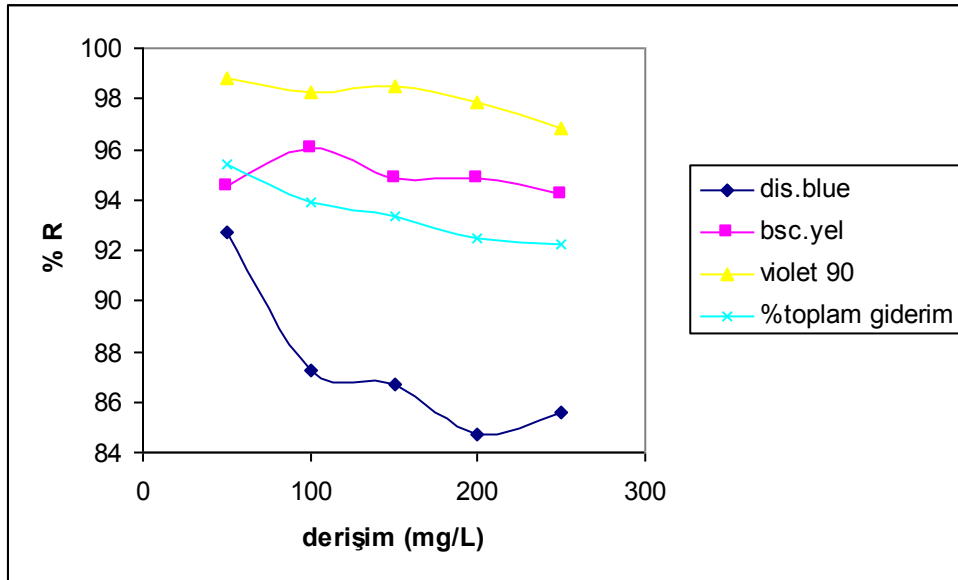
5.5. Başlangıç Derişimlerinin Boya Giderme Verimi Üzerine Etkisi

Endüstriyel atıklar sistemden çıkarken farklı derişimlerde boya içerikleriyle sistemi terk ederler. Bu farklı derişimler sistemde hem arıtma verimi hem de enerji tüketimini etkiler. Bu etkilerin incelenmesi için 50-100-150-200-250 mg/L (her boya için) konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlanmış ve elektrokoagülasyon uygulanmıştır. Deney şartları ve sonuçları Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5. Boya konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı deneylerin şartları ve sonuçları

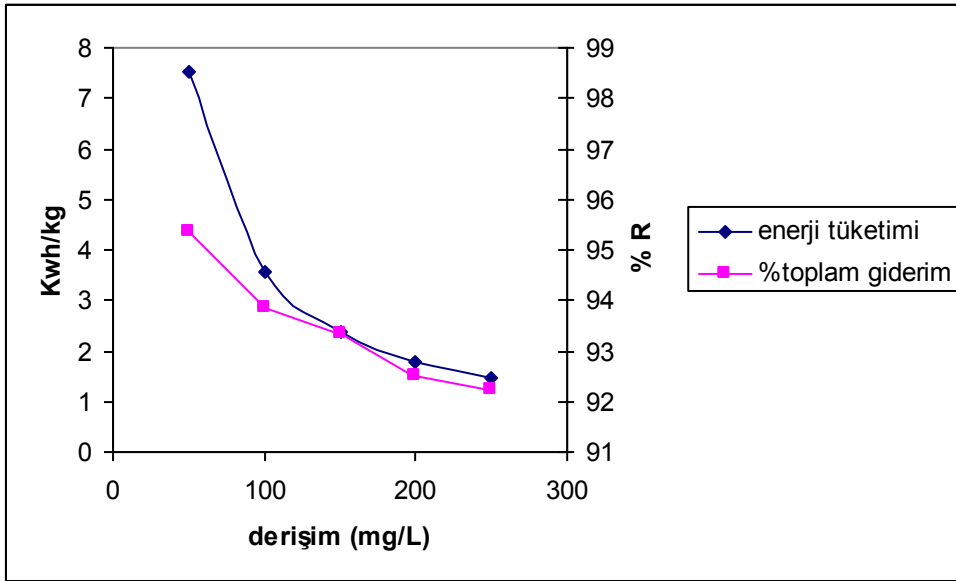
Boya Derişimi (Her Boya İçin) mg/L	50	100	150	200	250
Tuz Derişimi (g/L)	3	3	3	3	3
Süre (dk)	15	15	15	15	15
Başlangıç pH	6	6	6	6	6
Deney Sonu pH	9,3	10	10,2	10,7	10,7
Akım (A)	1	1	1	1	1
Akım Yoğunluğu (mA/cm ²)	8,66	8,66	8,66	8,66	8,66
Voltaj (V)	4,3	4	4	4	4
Kalan Boya Derişimi Disperse Blue 56 (mg/L)	7,27	12,76	13,32	15,27	14,38
Kalan Boya Derişimi Basic Yellow 28 (mg/L)	5,45	3,93	5,17	5,16	5,77
Kalan Boya Derişimi Violet 90 (mg/L)	1,18	1,71	1,51	2,10	3,21
Kalan Toplam Boya Derişimi (mg/L)	13,9	18,4	20	22,53	23,56
Boya Giderme % Verimi Disperse Blue 56	92,73	87,24	86,68	84,73	85,62

Boya Giderme % Verimi Basic Yellow 28	94,55	96,07	94,83	94,84	94,23
Boya Giderme % Verimi Violet 90	98,82	98,29	98,49	97,90	96,79
Toplam Boya Giderme % Verimi	95,37	93,87	93,33	92,49	92,22
Enerji Tüketimi kwh/kg	7,51	3,56	2,38	1,80	1,45



Şekil 5.12. Farklı boya derişimlerinin giderme verimine etkisi

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi diğer koşullar sabit tutulduğunda konsantrasyon arttıkça verim azalmaktadır. Bu da daha iyi bir arıtım için daha fazla süre elektrokoagülasyon uygulanması gerektiğini gösterir. Sürenin artması enerji tüketimini arttıracaktır. Çalışma bize konsantrasyon ne kadar düşük olursa verimin o kadar iyi olacağını göstermiştir. Fakat çok spesifik bir konsantrasyon seçmeye de gerek yoktur çünkü arıtım proseslerine daima farklı derişimlerde atık su gelmektedir. Seçim yapılırken hem verimin hem de enerji tüketiminin uygun olduğu 100 mg/L (her boya için) tespit edilmiştir.



Şekil 5.13. Farklı boya derişimlerinin giderme verimi ve enerji tüketimine etkisi

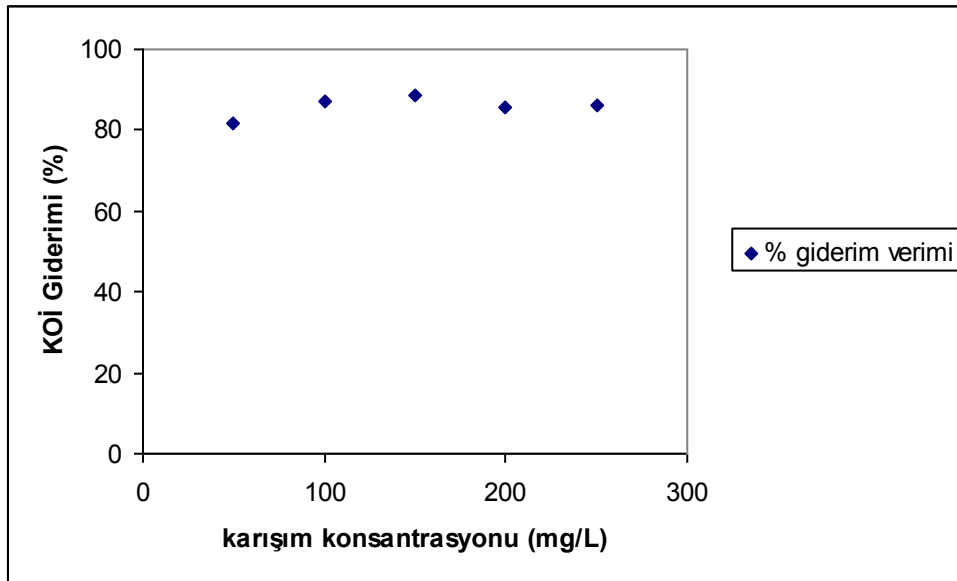
5.6. KOİ Giderimi

KOİ giderimi için dispers blue 56, basic yellow 28 ve violet 90 boya maddelerinden 50-100-150-200-250 ppm'lik karışımlar hazırlandı. Bu karışımların her birinden elektrokoagülasyon öncesi bir miktar deney tüplerine alındı. Sonra her bir konsantrasyondaki karışım için elektrokoagülasyon uygulandı. İşlem sonrası örnekler deney tüplerine alındı. Ve örneklerin KOİ giderimi bulundu. Deney koşulları ve sonuçları Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. KOİ gideriminin araştırıldığı deneylerin koşulları ve sonuçları

pH	6	6	6	6	6
Süre (dk)	15	15	15	15	15
Akım (A)	1	1	1	1	1
Akım yoğunluğu (mA/cm ²)	8,66	8,66	8,66	8,66	8,66
Voltaj (V)	4	4	4	4	4
Karışım kons. (mg/L)	50	100	150	200	250
Koagülasyon öncesi KOİ (mg/L)	206	416	690	860	1000
Koagülasyon sonrası KOİ (mg/L)	38	54	78	122	140
KOİ giderim verimi (%)	81,55	87,02	88,70	85,81	86

Şekil 5.14'de farklı konsantrasyonlardaki boya karışımlarının % KOİ giderimleri görülmektedir.



Şekil 5.14. Farklı derişimlerdeki boya karışımlarının KOİ giderimi (%)

Şekil 5.14'den de görüldüğü üzere karışım konsantrasyonunun artması KOİ gideriminde önemli bir artışa neden olmamaktadır. Joo ve dig. (2005) tarafından yapılan çalışmada yüksek reaktif boya konsantrasyonuna sahip tekstil atıksularının ve reaktif boya banyolarının alum ve demir tuzu kullanılarak yürütülen koagülasyon flokülasyon deneylerinde benzer giderim verimleri elde edilmiş ve inorganik koagülan dozunun KOİ giderim verimini önemli ölçüde arttırmadığı bulunmuştur [36]. KOİ gideriminde en iyi sonuç 150 mg/L konsantrasyondaki boya karışımında % 88,70 verim elde edilmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

İlk olarak elektrokoagülasyon işleminde en önemli parametre olan pH için çalışmalar yapılmıştır. Elektrokoagülasyon işleminin en yüksek verimde gerçekleştiği pH değerini bulmak için pH 2-12 arasında çalışmalar yapılmıştır ve optimum pH 6 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmalar esnasında çok düşük ve çok yüksek pH'lar da arıtım veriminin oldukça düştüğü gözlemlenmiştir.

Elektrokoagülasyon işlemlerinde süre pH' dan sonra ikinci öneme sahip parametredir. Çünkü gerekenden fazla uygulanan elektrokoagülasyon işlemi fazla enerji sarfiyatına buda yüksek maliyete neden olmaktadır. Bu nedenle elektrokoagülasyon işleminde istenilen arıtım verimi elde edildikten sonra sistem kapatılmalıdır. Çalışmalarda en uygun süreyi bulmak için elektrokoagülasyon işleminin arıtım verimine etkisi 2-20 dk arasında incelenmiştir. Optimum süre 15 dakika olarak belirlenmiştir.

Süre çalışmalarından sonra incelenen diğer parametre akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğu; akımın, etkin elektrot yüzey alanına (çözelti içinde kalan elektrotun yüzey alanı) oranıdır. Çalışmalarda etkin elektrot yüzey alanı sabit tutulup akım artırılarak çalışmalar yapılmıştır.

Akım arttıkça etkin elektrot yüzey alanı sabit olduğundan akım yoğunluğu artmıştır. Akım yoğunluğu arttıkça arıtım verimi de artmıştır fakat gerekli akım artışlarını elde etmek için voltaj artırılmıştır. İstenilen arıtım veriminin yüksek maliyetin düşük olmasıdır bu nedenle optimum akım yoğunluğunu bulmak için çalışmalar yapılmıştır ve optimum akım yoğunluğu 8,66 mA/cm² olarak belirlenmiştir.

İncelenen diğerk bir parametre de elektrokoagülasyon verimine NaCl ilavesinin etkisidir. Yapılan çalışmalarda NaCl ilavesinin arıtım verimine önemli bir etki yapmadığı gözlemlenmiştir. Fakat NaCl ilavesi ortamdaki elektrik iletkenliğini artırır buda akım için gerekli potansiyel farkı azaltır. Yani enerji sarfiyatını düşürerek maliyetin azalmasını sağlar bunun yanı sıra fazla tuz ilavesi de maliyeti artırır. Bu nedenlerle en uygun tuz miktarının bulunması için çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda en uygun tuz miktarı 3 g/L olarak belirlenmiştir.

Başlangıç boya konsantrasyonlarının elektrokoagülasyon verimine etkileri incelenmiştir. Her bir boya için 50-100-150-200-250 mg/L olacak şekilde çözeltiler hazırlanıp koagülasyon işlemleri uygulanmıştır. Uygulanan işlemler sonucunda boya konsantrasyonları arttıkça arıtım veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Ve en uygun konsantrasyon her bir boya için 100 mg/L olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM 7. TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER

Çalışmalarda demir elektrotlar kullanılmıştır. Elektrot seçiminde değişik türde elektrotlar denenerek elektrokoagülasyon verimi araştırılabilir.

Çalışmalarda kesikli sistemle çalışılmıştır. Bunun dışında seri bağlı monopolar, paralel bağlı bipolar gibi sistemlerle arıtma verimi araştırılabilir.

Elektrokoagülasyon prosesinde en önemli parametre olan pH için geniş kapsamlı araştırmalar yapıp her pH için verim araştırılabilir.

Çalışmalarda elektrokoagülasyon için optimum koşullar araştırılmıştır. Bu optimum şartların dışında tekstil endüstrisinden atık su temin edilerek verim araştırmaları yapılabilir.

Potansiyel fark değişimi arıtma çamuru ilişkileri incelenmeli ve çamurun prosesten uzaklaştırılması için çalışmalar yapılmalıdır.

Elektrokoagülasyon yönteminin diğer endüstriyel sistemlerdeki etkisi araştırılmalıdır.

Elektrokimyasal proseslerde; elektrotların maliyeti ve yüksek enerji maliyeti nedeniyle tekstil atık sularının arıtımında tercih edilen bir yöntem değildir. Bu nedenle maliyetin azaltılması için araştırmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] ŞİMŞEKER, M., Tekstil Endüstrisi İndigo Atıksularının Elektrokoagülasyon Ve Diğer Fiziksel-Kimyasal Yöntemler İle Arıtımı, Yük. Lis. Tezi İ.T.Ü. Fen. Bil. Ens. İstanbul, Haziran 2009.
- [2] TÜNAY, O., Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul, 1996.
- [3] DANESHVAR, N., .KHATAEE, A.R, DJAFARZADEH, N., The Use of Artificial Neural Networks (ANN) for Modeling of Decolorization of Textile Dye Solution containing C.I. Basic yellow 28 by Electrocoagulation Process, Journal of Hazardous Materials, B137, 1788-1795, 2006.
- [4] GERMİRLİ, F., TÜNAY, O., Dan overview of the textile industry in Turkey- Pollution profiles and treatability characteristics, International Symposium on waster management problems in AGRO, 22(9), 265-274, Industries, Istanbul-Turkey 25-27 September 1989.
- [5] EREMEKTAR, G., GERMİRLİ, T., BABUNA, F., ÇEKİ, S., TÜNAY, O., Tekstil Endüstrisi Atıksularında İnert KOİ-Örnek Uygulama; Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi,7(2), 35 31. (1997)
- [6] SANGYONG, K., CHULHWAN P., TAK-HYUN, K., JINWON, L., SEUNGWOOK, K., Cod reduction and decolorization of textile effluent using a combined process, Journal of Bioscience and Bioengineering, 1, 102-105, 2003.
- [7] KARAPINAR, K., KARGI, F., Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.
- [8] Devlet İstatistik Enstitüsü 2002 Yılı İthal Edilen Sentetik Boyarmadde Miktarları. Beşiktaş Şubesi, İstanbul, 2002.
- [9] GÜRBÜZ, S., AKİNALC, C., “Tekstil Endüstrisi Atıksuların Arıtılması”, Sakarya Üni. Çevre Müh. Bitirme Tezi, 2002.
- [10] ÖLMEZ, T., 1999, Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boya Banyolarında Ozon ile Renk Giderimi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 103s.

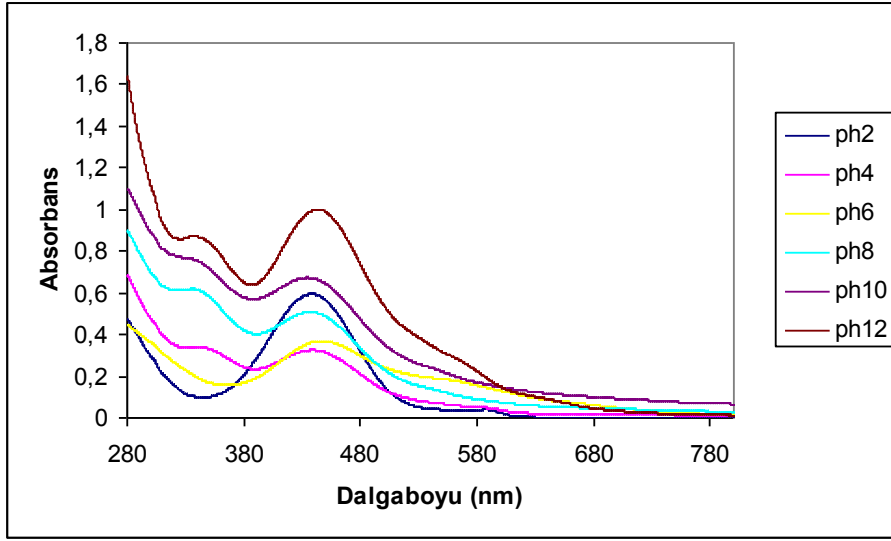
- [11] GEZERGEN, S., Tekstil Sanayi Atıksularının Artırılması Üzerine Araştırma, Yük. Lis. Tezi, GYTE Çevre Müh. A.B.D. Gebze, 1998.
- [12] LİN, S., PENG, C., Treatment Of Textile Wastewater By Electrochemical Method. Water Res; 28:277-82. (1994)
- [13] EPA, 1996. Manuel best management practices for pollution prevention in textile industry, us environment protection agency, epa-625/r-96/004, washington.
- [14] ARICI, Y., Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boyarmaddelerden Kaynaklanan Rengin Fenton Prosesi ile Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.
- [15] BAŞIBÜYÜK, M., YÜCEER, A. YILMAZ, T., Tekstil Atıksularında Renk Giderilmesinde Kullanılan İleri Teknolojiler, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu, S. 82-86, Kayseri, 1998.
- [16] TAKIMCI, F., Azo Boyası İçeren Tekstil Atıksuyunun Anaerobik Olarak Arıtılması ve Renk Giderimi, Yük. Lis. Tezi. İ. T. Ü. Fen Bil. Ens. İstanbul, 1996.
- [17] ARMAĞAN, B., ÖZDEMİR, O., TURAN, M., ÇELİK, M.S., “İstanbul Teknik Üniv. 8. Endüstriyel Kirlenme Kontrol Sempozyumu EKK 2002”, Bildiriler, 385-390, İstanbul 2002.
- [18] KOYUGÖLGE, T., “Yünlü Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Biyolojik Arıtımı ve Renk Giderimi”, İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, 1994.
- [19] MACHENBACH, I., Membrane Technology for Dyehouse Effluent Treatment, Membrane Technology, 96, 7-11. 1998.
- [20] LIN, H.S., LAI, L.C., “ Kinetic Characteristic of Textile Wastewater Ozonationin Fluidized and Fixed Activated Carbon Beds”, Wat. Res, 34 (3)763-772, 2000.
- [21] HU, T.L., Decolourization of Reactive Azo Dyes By Transformation with Pseudomonas Luteolai Bioresource Tech., 49, 47, 1994.
- [22] TURABİK, M., KUMBUR, H., “İstanbul Teknik Üniversitesi 8. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu EKK 2002”, Bildiriler, 390- 400, İstanbul, 2002.
- [23] AMIRTHARAJAH, A., O'MELIA, C.R., Water Quality and Treatment, American Water Works Association, Fourth Edition, McGraw-Hill, 1990.

- [24] KOBYA, M., CAN, O.T., BAYRAMOĞLU, M., “Treatment Textile Wastewater by Electrocoagulation Using Iron and Aluminum Electrodes” *J. of Hazardous Material B100* 163-178, 2003.
- [25] ŞENGİL, İ.A., ÖZACAR, M., ÖMÜRLÜ, B. Decolorization of C.I Reactive Red 124 Using Elektrocoagulation Method, *Chem. Biochem. Eng Q* 18 (4) 291-401, 2004.
- [26] PLETCHER, D., WALSH, F.C., “ Industrial Electrichemistry ”, Second Edition, Blackie Academic Professional, London, 1993.
- [27] MULLER, K., “Electroflotation from the Double Layer to Trouble Waters” in Oliver J. Murphy al (eds), *Electrochemistry in Transition*, Plenum Pres, Newyork, U.S.A., 1992.
- [28] CHMIELEWSKI, A. G., URBANSKI, M.W., “Separation Technologies for Metals Recovery from Industrial Wastes”, *Hydrometallurgy* 45, 333- 344, 1977.
- [29] GEZER, A., KESKİNLER, B., “Elektrokimyasal Depolama Tekniği ile Ağır Metal Giderimi”, 10. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, Haziran, 2006.
- [30] MOLLAH, M.Y., SCHENNACH, R., PARGA, J.R. and COCKE, D.L., 2001. Electrocoagulation (EC) - science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, B84, 29 – 41.
- [31] BENEFIELD, L.D., JUDKINS, J.J.Jr. and WEAND, L.B., 1982. *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*, Pretice-Hall, Inc., Endlewood.
- [32] CHEN, X., CHEN, G. and YUE, P.L., 2000. Seperation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation. *Separation and Purification Technology*, 19, 65 – 76.
- [33] CHEN, G., 2004. Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38, 11–41.
- [34] FERNANDES, A., MORA, A., MAGRINHO, M., LOPES, A. and GONCALVES, I., 2004. Electrochemical degradation of C. I. Acid Orange 7. *Dyes and Pigments*, 61, 287–296.
- [35] SANROMAN, M.A., PAZOS, M., RICART, M.T. and CAMESELLE, C., 2005. Decolourisation of textile indigo dye by DC electric current. *Engineering Geology*, 77, 253–261.

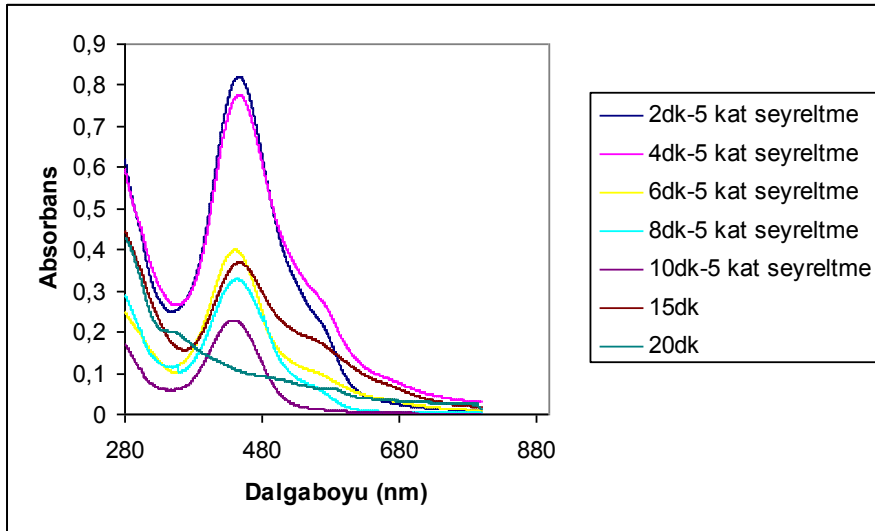
- [36] TÜRKOĞLU, G., Dispers Boya Banyo Atıksularının Elektrokoagülasyon İle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Yük. Lis. Tezi İ.T.Ü. Fen. Bil. Ens. İstanbul, Ocak 2007.
- [37] SCOTT, K., 1995. Electrochemical Processes of Clean Technology, Cambridge, UK, The Royal Society of Chemistry, pp. 12 – 62.
- [38] SKOOG, D., A., HOLLER, F., J., NIEMAN, T., A., Enstrümantal Analiz İlkeleri. 1. Baskı, sayfa 302-303.
- [39] CASILLAS, H.A.M., COCKE, D.L., GOMES, J.A.G., et. al., “Electrocoagulation Mechanism for COD Removal”, Separation of Purification Technology, 56, p. 204-211, 2007.
- [40] XU, X., ZHU, X., Treatment Of Refectory Oily Wastewater By Electrocoagulation Process, Chemosphere 56,889-894, (2004)

EKLER

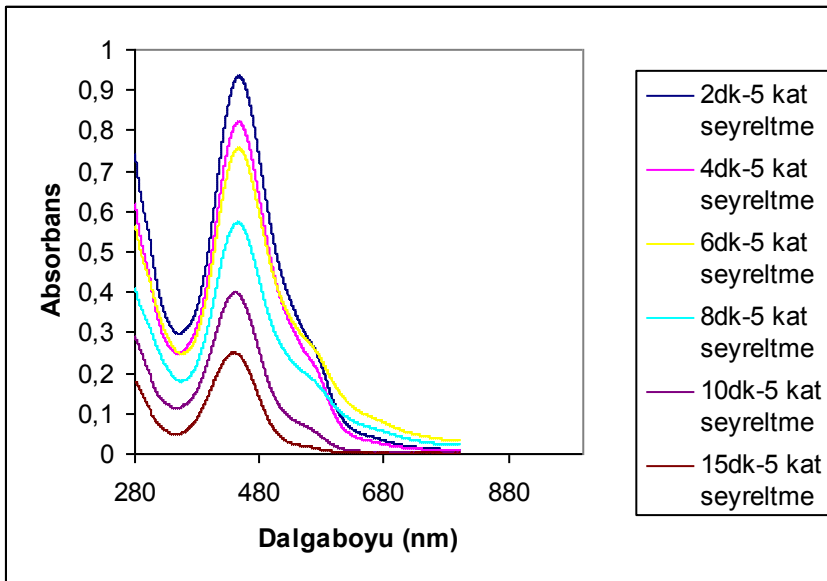
Ek A Uv-Vis Spectrumları



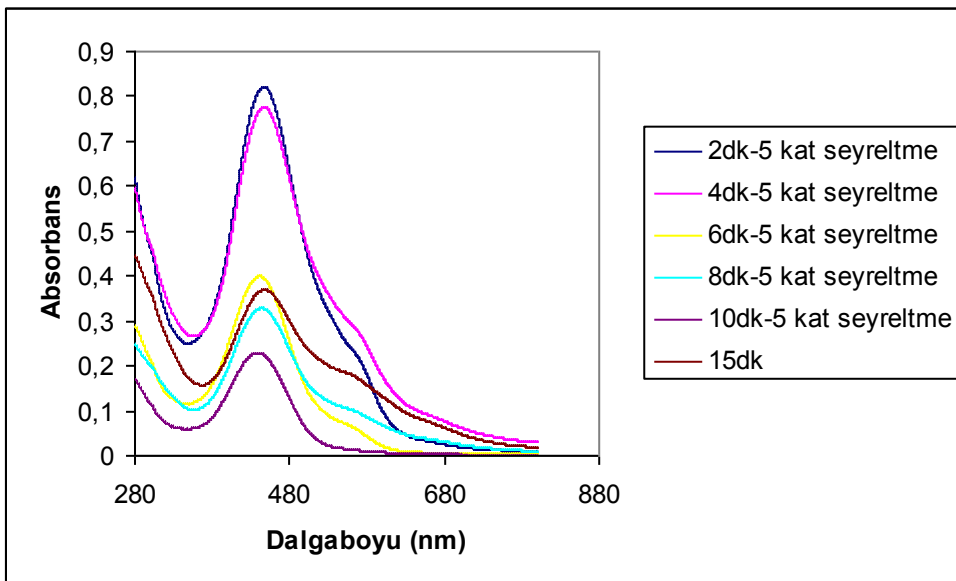
Şekil A.1. Boya karışım çözeltisinin farklı pH' lardaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumları (I= 1 amper, Cob = 100mg/L basic yellow 28, Cod = 100mg/L dispers blue 56,Co_v= 100 mg/L violet 90, Co = 300 mg/L, t = 15 dk, NaCl = 3 g/L)



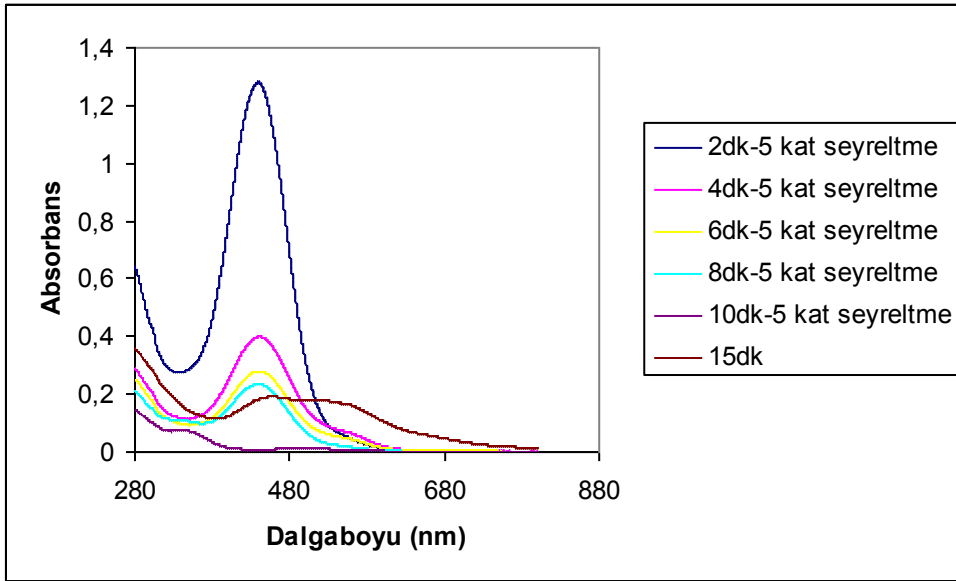
Şekil A.2. Boya karışım çözeltisinin zamana bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumları (I= 1 amper, Cob = 100mg/L basic yellow 28, Cod = 100mg/L dispers blue 56,Co_v= 100 mg/L violet 90, Co = 300 mg/L, NaCl = 3 g/L)



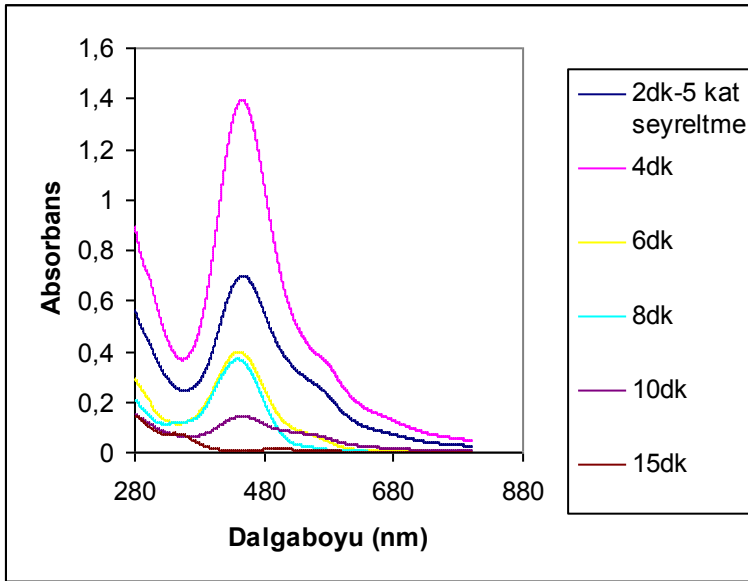
Şekil A.3. 4,33 mA/cm² deki Boya karışım çözeltisinin zamana bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumları (I= 0,5 amper, Cob = 100mg/L basic yellow 28, Cod = 100mg/L dispers blue 56,Co_v= 100 mg/L violet 90, Co = 300 mg/L, NaCl = 3 g/L)



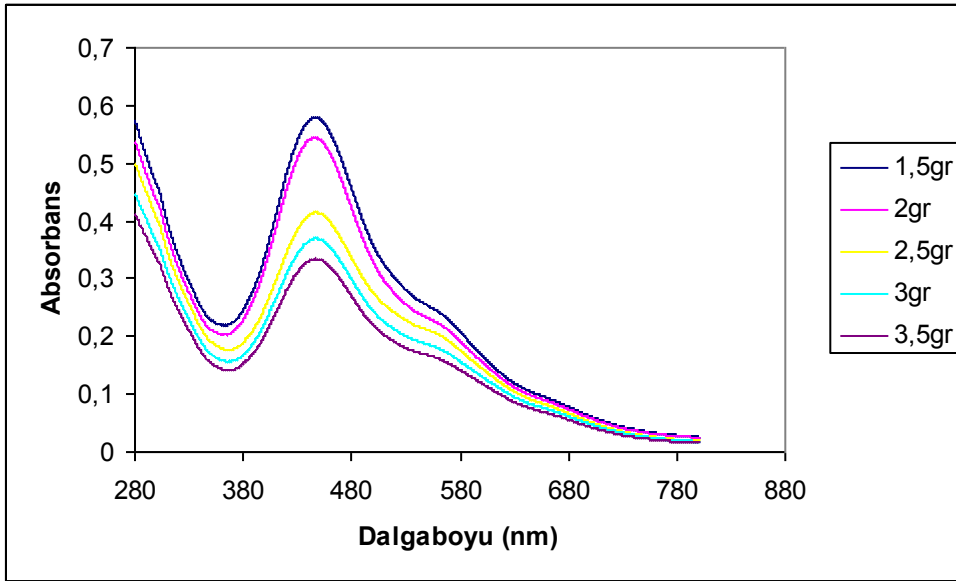
Şekil A.4. 8,66 mA/cm² deki Boya karışım çözeltisinin zamana bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumları (I= 1 amper, Cob = 100mg/L basic yellow 28, Cod = 100mg/L dispers blue 56,Co_v= 100 mg/L violet 90, Co = 300 mg/L, NaCl = 3 g/L)



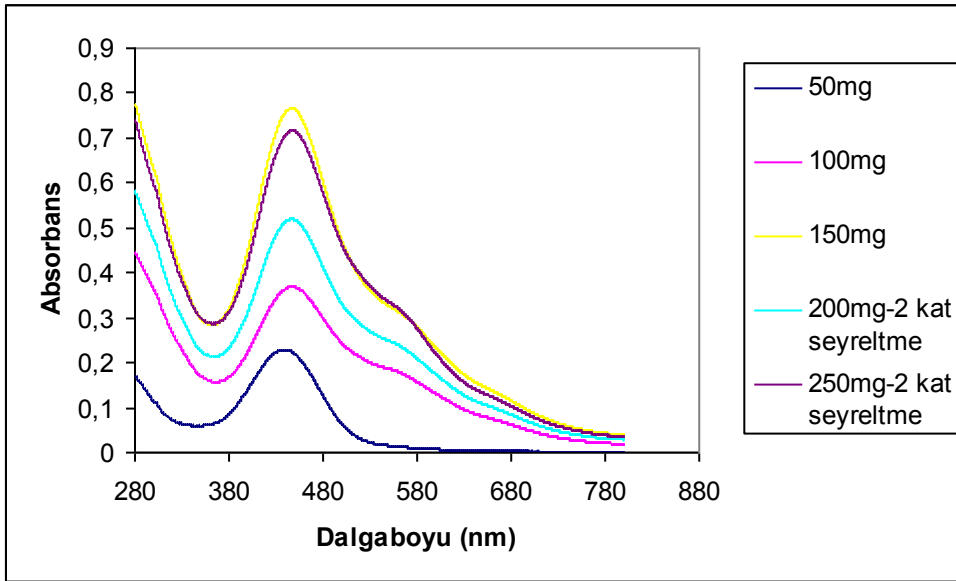
Şekil A.5. 12,99 mA/cm² deki Boya karışım çözeltisinin zamana bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumları (I= 1,5 amper, Cob = 100mg/L basic yellow 28, Cod = 100mg/L dispers blue 56,Co_v= 100 mg/L violet 90, Co = 300 mg/L, NaCl = 3 g/L)



Şekil A.6. 17,32 mA /cm² deki Boya karışım çözeltisinin zamana bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumları (I= 2 amper, Cob = 100mg/L basic yellow 28,Cod = 100mg/L dispers blue 56,Co_v= 100 mg/L violet 90, Co = 300 mg/L, NaCl = 3 g/L)



Şekil A.7. Boya karışım çözeltisinin NaCl ilavesine bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spectrumları ($I= 1$ amper, $C_{ob} = 100\text{mg/L}$ basic yellow 28, $C_{od} = 100\text{mg/L}$ dispers blue 56, $C_{ov} = 100$ mg/L violet 90, $C_o = 300$ mg/L, $t = 15$ dk)



Şekil A.8. Boya karışım çözeltisinin değişen konsantrasyonlara bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spectrumları ($I= 1$ amper, $t = 15$ dk, $\text{NaCl} = 3$ g/L)

ÖZGEÇMİŞ

Erhan KARABAYIR, 25.04.1985 yılında Sivas'ta doğdu. İlkokulu Türkiye Tüccar ve Sanayiciler Derneği İlkokulu'nda, ortaokul ve liseyi Şişli Anadolu Lisesi'nde okudu. Lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya bölümünde 2008 yılında tamamladı. 2008 yılında aynı üniversitenin Kimya bölümü Analitik Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen aynı bölümde öğrenimine devam etmektedir.