

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

**ELEKTROKOAGÜLASYON YÖNTEMİ İLE KARIŞIM  
HALİNDEKİ TEKSTİL BOYAR MADDELERİN RENK  
GİDERİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre müh. Ege Kağan KARADAĞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. İ.Ayhan ŞENGİL**

**Mart 2009**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

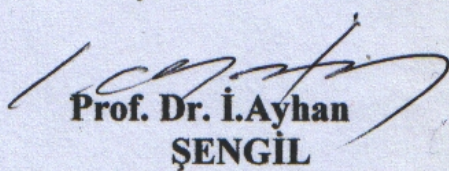
**ELEKTROKOAGÜLASYON YÖNTEMİ İLE KARIŞIM  
HALİNDEKİ BOYAR MADDELERİN RENK  
GİDERİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

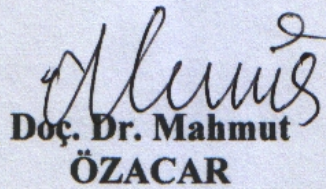
**Çevre Müh. Ege Kağan KARADAĞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

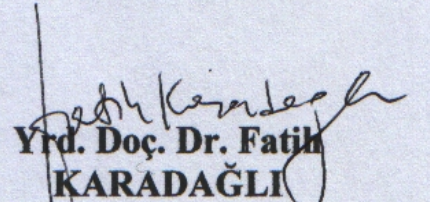
Bu tez 11/03/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
**Prof. Dr. İ. Ayhan  
ŞENGİL**

.....  
**Jüri Başkanı**

  
**Doç. Dr. Mahmut  
ÖZACAR**

.....  
**Üye**

  
**Yrd. Doç. Dr. Fatih  
KARADAĞLI**

.....  
**Üye**

## TEŞEKKÜRLER

Çalışmam sırasında bilimsel katkıları ile bana yardımcı olan, eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım ve kıymetli hocam Prof. Dr. İ.Ayhan ŞENGİL' e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, başlangıcından sonuna kadar, gerekli bütün yardım, tavsiye ve yönlendirmeleri yapan, karşılaştığım problemlerin çözümünde deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Doç.Dr. Abdil ÖZDEMİR' e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Araştırma süresince büyük yardımlarını gördüğüm kimya bölümü Arş. Gör. Can Serkan KESKİN' e teşekkür ederim.

Bu günlere gelebilmem için maddi manevi hiç bir fedakarlıktan kaçınmayan canım annem, babam ve ablama sonsuz teşekkür ederim.

Saygılarımla;

Ege Kağan KARADAĞ

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARI VE ARITIM TEKNOLOJİLERİ.....	3
2.1. Boyarmaddeler.....	3
2.2. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması.....	4
2.3. Boyama Atıksularının Özellikleri.....	5
2.4. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Yöntemler..	6
2.4.1. Biyolojik oksidasyon.....	6
2.4.2. Kimyasal oksidasyon.....	6
2.4.3. Kimyasal indirgenme.....	7
2.4.4. Mebran proseslerle arıtım.....	7
2.4.5. Tekstil atıksuların adsorbsiyon ile arıtımı.....	7
2.4.6. Koagülasyon ve flokülasyon ile arıtım.....	8
BÖLÜM 3.	
ELEKTROKİMYASAL ARITIM PROSESLERİ.....	9

3.1. Elektrokimyasal Arıtım Türleri.....	10
3.1.1. Elektrokoagülasyon.....	10
3.1.2. Elektrooksidasyon.....	11
3.1.3. Elektroflotasyon.....	12
3.2. Elektrokimyasal Arıtımın Uygulama Alanları.....	13
3.3. Elektrokoagülasyon ile Arıtımın Avantaj ve Dezavantajları.....	13
3.4. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	16
BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE METOD.....	17
4.1. Kullanılan Boyalar.....	17
4.2. Deney Düzenegi.....	19
4.3. Boya Çözeltilisinin Hazırlanışı ve Deneysel İşlem.....	19
4.4. Boya Konstrasyonlarının Belirlenmesi.....	20
4.5. Kullanılan Eşitlikler.....	23
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL BULGULAR.....	26
5.1. Elektrokoagülasyon Üzerine pH' ın Etkisi.....	29
5.2. Elektrokoagülasyon Üzerine Zamanın Etkisi.....	28
5.3. Akım Yoğyunluğu ve Zamanın Etkisi.....	31
5.4. Boyama Giderme Verimi Üzerine Tuz Miktarınının Etkisi.....	37
5.5. Başlangıç Konstrasyonlarının Boya Giderme Verimi Üzerine Etkisi.....	39
5.6. Tüketilen Demir Miktarı.....	42
BÖLÜM 6. SONUÇLAR.....	43
BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	59

## 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
E	: Boya giderme Verimi
J	: Akım yoğunluğu
R	: Giderme verimi
t	: Zaman
V	: Volt
dk	: Dakika
sn	: Saniye
sa	: Saat

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1.	Disperse Blue 56' nın moleküler yapısı.....	17
Şekil 4.2.	Basic yellow 28' in moleküler yapısı.....	18
Şekil 4.3.	Deneysel çalışma düzeneğinin şematik gösterimi.....	19
Şekil 4.4.	Disperse blue 56 ve basic yellow 28 boylarına ait UV pectrumları kalibrasyon çalışması.....	21
Şekil 4.5.	Basic yellow 28 ve disperse blue 56 boyarmaddelerine ait UV spectrumları kalibrason 1. türevleri.....	22
Şekil 4.6.	Absorbans konsantrasyon arasındaki kalibrasyon eğrisi.....	23
Şekil 4.7.	Absorbans konsantrasyon arasındaki 1. türev için kalibrasyon eğrisi.....	23
Şekil 5.1.	Başlangıç pH' sının boya giderme üzerine etkisi.....	27
Şekil 5.2.	Farklı pH değerlerinin kWh/Kg boya 'ya etkisi.....	28
Şekil 5.3.	Renk giderme verimi üzerine elektroliz süresinin etkisi.....	30
Şekil 5.4.	Elektroliz süresinin enerji tüketimine etkisi.....	30
Şekil 5.5.	Farklı akım yoğunluklarında enerji tüketimi – zaman ilişkisi.....	32
Şekil 5.6.	$I= 32,67 \text{ mA/cm}^2$ için boya giderimi.....	35
Şekil 5.7.	$I= 27,22 \text{ mA/cm}^2$ için boya giderimi.....	35
Şekil 5.8.	$I= 21,78 \text{ mA/cm}^2$ için boya giderimi.....	35
Şekil 5.9.	$I= 16,33 \text{ mA/cm}^2$ için boya giderimi.....	36
Şekil 5.10.	$I= 10,89 \text{ mA/cm}^2$ için boya giderimi.....	36
Şekil 5.11.	$I= 5,44 \text{ mA/cm}^2$ için boya giderimi.....	36
Şekil 5.12.	NaCl konsantrasyonlarının giderme verimine etkisi.....	38
Şekil 5.13.	NaCl konsantrasyonun, 1 kg boyayı arıtmak için gerekli olan enerji tüketimine etkisi.....	39
Şekil 5.14.	Başlangıç konsantrasyonlarının giderme verimine etkisi.....	40

Şekil 5.15.	Başlangıç konsantrasyonlarının, 1 kg boyanın arıtılması için gerekli enerji tüketimi üzerine etkisi.....	41
Şekil A.1.	Disperse blue 56 boyar maddesinin farklı pH' lardaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spectrumları.....	51
Şekil A.2.	Basic yellow 28 boyar maddesinin farklı pH'lardaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spectrumlarının türevi.....	52
Şekil A.3.	Disperse blue 56 boyar maddesinin zamana bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spectrumları.....	53
Şekil A.4.	Basic yellow 28 boyar maddesinin zamana bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spectrumlarının.....	54
Şekil A.5.	Disperse blue 56 boyar maddesinin farklı NaCl konsantrasyonlarındaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spectrumları.....	55
Şekil A.6.	Basic yellow 28 boyar maddesinin farklı NaCl konsantrasyonlarındaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spectrumlarının türevi.....	56
Şekil A.7.	Disperse blue 56 boyar maddesinin farklı boya konsantrasyonlarındaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spectrumları.....	56
Şekil A.8.	Basic yellow 28 boyar maddesinin farklı boya konsantrasyonlarındaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spectrumlarının türevleri.....	58



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Boyarmaddelerin sınıflandırılması.....	5
Tablo 4.1.	Dipers Blue 56' nın özellikleri.....	17
Tablo 4.2.	Basic yellow 28'in özellikleri.....	18
Tablo 5.1.	pH etkisinin araştırıldığı deneylerin şartları ve sonuçları.....	26
Tablo 5.2.	Zaman etkisinin incelendiği analizlerin şartları ve sonuçları.....	29
Tablo 5.3.	Farklı akım yoğunluklarının renk giderimine ve enerji tüketimine etkisi.....	33
Tablo 5.4.	Farklı akım yoğunlarının renk giderimine etkisi.....	34
Tablo 5.5.	Tuz konsantrasyonu etkisinin incelendiği analizlerin şart ve sonuçları.....	39
Tablo 5.6.	Boya konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı deneylerin şart ve sonuçları.....	40
Tablo 5.7.	Tüketilen demir miktarı hesabı.....	42

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Elektrokoagülasyon, Demir elektrot, Bazik boya, Dispers boya

Bu çalışmada tekstil endüstrisinde kullanılan Bazik sarı 28 ve Dispers mavi 56 tekstil boya karışımlarının elektrokoagülasyon metoduyla renk giderimleri incelenmiştir. Boya karışımlarının renk giderme verimi üzerine pH, elektroliz zamanı, iletkenlik, akım yoğunluğu, giriş konsantrasyonu gibi değişik parametrelerin etkileri araştırılmıştır.

Boya karışımlarının etkili olarak uzaklaştırılması için, optimum akım yoğunluğu, NaCl, pH ve elektroliz süresi sırasıyla 10,89 mA/cm<sup>2</sup>, 3 g/L, 10 ve 10 dakikadır.

# **DECOLORIZATION OF TEXTILE DYES IN MIX STUATION BY THE ELECTROCOAGULATION METHOD**

## **SUMMARY**

Key Words: D.C. Electrocoagulation, Iron electrode, Basic dye, Disperse Dye

In this study the aimed to examined the decolorization of dye mixtures basic yellow 28 and disperse blue 56, used in textile industry, with electrocoagulation method. Textile dye mixtures of effects on decolorization of inital pH, electrolysis time, inital concentration of dye conductivity, current density were tested.

The optimum current densitiy, NaCl, pH and electrolysis time were 10,89 mA/cm<sup>2</sup>, 3 g/L, 10 and 10 min., respectively for effectively removing of dye mixtures.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanoğlunun çeşitli faaliyetleri sonucu oluşan atıksular genellikle kanalizasyon veya alıcı ortam olarak isimlendirilen deniz, nehir, dere, göl vb. gibi bir su kaynağına boşaltılırlar. Arıtılmayan, kontrol edilmeyen bu atıksular, zaman içerisinde miktarlarındaki artış nedeniyle boşaltıldıkları su kaynağının kalitesini, belki de bir daha kullanılmayacak şekilde bozarlar.

Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) tarafından verilen, su kaynaklarında kirlilik yaratan parametreler, ana başlıklarıyla şöyledir :

- 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),
- Atık ısı (sıcaklığın artması ile oksijen tüketilmesi atar).

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 [1]. 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 kirleten endüstri olarak nitelendirilmektedir.

Türkiye’de endüstriyel kirlenme konusunda 1974 yılına kadar bir yasal düzenleme bulunmamaktaydı. 1974 yılında 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu çerçevesinde endüstriler için deşarj sınırları getirilmiştir.

Ülkemizde şuan tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) amaç olmakta ve bu nedenle kimyasal ve biyolojik arıtma kombinasyonları kullanılmakta ve son yıllarda elektrokimyasal yöntemler başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Tekstil atıksularının güçlü renk, geniş miktarda askıda madde, yüksek pH, KOİ ve yüksek sıcaklık içerdiği bilinmektedir. Bu karakterislikler, tekstil atıksularının arıtımını oldukça güçleştirir. Oluşan renkli atıksuların arıtımında kullanılan metotlar biyolojik arıtma, kimyasal koagülasyon, aktif karbon adsorpsiyonu, ultrafiltrasyon, ozanlamadır [2].

Bu çalışmanın amacı; ileri arıtım metotlarından elektrokoagülasyon yönteminin, tekstil endüstrisinde kullanılan, bazik ve dispers boya karışım çözeltilerinin demir elektrodlar kullanılarak renk gideriminin araştırılmasıdır.

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

## **BÖLÜM 2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARI VE ARITIM TEKNOLOJİLERİ**

Tekstil endüstrisi atıksuları, gerek üretilen mamullerin gerekse de üretim sırasında uygulanan işlemlerin ve kullanılan hammaddelerin çeşitliliği nedeniyle farklı niteliktedir. Atıksuların farklı nitelikte olması arıtımını güçleştirmektedir.

### **2.1.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.

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 kullanılabilirliği 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 [3]. Boyama prosesi çıkış sularındaki kimyasal yük, prosesin kimyasının yanı sıra boyama işleminin kesikli yada sürekli olmasına bağlı olarak da farklılıklar göstermektedir.

## 2.2. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması

Boyarmaddelerin sınıflandırılması tablo 2.1.' de verilmiştir

Tablo. 2.1. boyarmaddelerin sınıflandırılması

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

Boyar maddelerin; nitrozo, nitro, monoazo, disazo, stilben, difenil, metan, triaril, metan, ksanten, akridin, kinolin, metin, tiazol, indamin, indofenil, azin, oksazin, aminokinon, hidroksiketon, indigoid, antrakinin, talosiyenin, 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 [4].

### **2.3. Boyama Atıksularının Özellikleri**

Tekstil endüstrisinde çıkan atıksular; farklı renk, yüksek KOİ, değişik pH aralığına, yüksek iletkenlik ve alkaliniteye sahiptir [2].

Boyama atıksularının sıcaklığı, 40 dereceye yakın sıcaklıktadırlar. Bunun nedeni, boyama prosesi esnasında çeşitli kademelerde 90 C' nin üzerinde durulama suları kullanılmasıdır.

Tekstil atıksularının pH değerleri 2-12 arasında değişebildiği için kimyasal ve biyolojik arıtım prosesleride olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu nedenle boyama atıksuyu proseslerinde kısmen uygun pH ayarlaması gerekli olmaktadır.

Boyama atıksularının rengi günden güne hatta gün içinde bile değişebilmektedir, çünkü müşteri istekleri doğrultusunda boyama proseslerinde sık sık değişik boyar maddeler kullanılır. Rengin değişimi aynı zamanda boyahane atıksuyunun KOİ içeriğinin sık sık inip çıkmasına neden olur [5].

Boyama atıksularında kullanılan kimyasallar ve boyarmaddelerden kaynaklanan toksik bileşikler ve ağırmetaller içerebildiğinden atıksu tesislerinde; çamurda kabarma, renkte süreklilik, pH' da, sıcaklıkta, ağır metallerde aşırılık ve hidrolik akış hızında değişiklikler gibi problemlere neden olmaktadır [5].

### **2.4. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Yöntemler**

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.



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.

#### **2.4.1 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 biofilm sistemler ise tekstil atıksularının arıtımında en uygun sistemlerdendir [6]. Renk parametrelerinde kısa sürede meydana gelen değişimin azo çift bağlarının anaerobik arıtımı esnasında olduğu sonucuna varılmıştır [7].

#### **2.4.2. 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 [8, 9, 10 ];

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

### 2.4.3. Kimyasal indirgenme

Kimyasal indirgenme tekstil atıksularının ön arıtmada kullanılan yöntemlerden biridir [8]. Azo boyarmaddeler çift bağının parçalanması ile aromatik aminlere çevrilebilir. En çok kullanılan kimyasal maddeler sodyum hiposülfid, thioüre dioksit, sodyum borhidrit, sodyum formaldehit sülfö okzalat ve  $\text{SnCl}_2$ ' dir [6].

### 2.4.4. Mebran proseslerle arıtım

Arıtmadan çıkan suyun yeniden kullanılması ve bazı boyarmaddelerin geri kazanımı gibi avantajlar sağlamaktadır. Başlıca membran sistemleri; ters ozmoz, ultrafiltrasyon ve elektrodializdir [11, 12].

### 2.4.5. 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 [13]. 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 [8].

Aktif karbonun pahalı ve rejenerasyonun zor olması yeni adsorbant maddelerinin denenmesini gündeme getirmiştir ve silika, kil, pirinç gibi ucuz bir takım adsorbantlar kullanılmıştır [14]. Ayrıca uçucu kül, turba kömürü, fırın cürufu ve bentonit kilinde tekstil atıksularından renk giderilmesinde kullanılması araştırılmıştır [15].

#### 2.4.6. 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 [16].

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 boyalar için son derece uygundur [6, 17].

### **BÖLÜM 3. ELEKTROKİMYASAL ARITIM PROSELERİ**

Özellikle toksik ve tehlikeli atıksuların arıtımında pratikte kullanılabilir 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 [18] ve ham sulu bitki özleri gibi boya içeren çözeltilerin renkleştirilmesinde kullanılmaktadır [19].

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 [20].

Son yıllarda elektrokimyasal arıtım prosesi çevreye uyumlu ve çok yönlü bir arıtım prosesi olmasından dolayı atıksu arıtımında oldukça dikkat çekmektedir. Elektrokimyasal proseslerin en önemli farklılıkları prosesin şekli ve yapısıdır (Elektrot tipi, uygulanan akım, elektriksel gerilim ve prosesin tipi). Özellikle elektrot tipi sistemin elektrokoagülasyonu mu yoksa elektrooksidasyonu mu tetikleyeceğini belirleyen unsurların başında gelmektedir. Aşağıda elektrokimyasal arıtım proseslerine girmeden önce temel prensipler açıklanmıştır.

### 3.1. Elektrokimyasal Arıtım Türleri

Elektrokimyasal arıtım başlıca 3 yöntemden oluşmaktadır. Bu sistemler tek tek çalışabildiği gibi bazı sistemlerde birkaç elektrokimyasal proses aynı anda, kombine şekilde kullanılabilir. Örneğin elektrokoagülasyon süreci 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 [21, 22]. Elektrokimyasal arıtım türleri alt başlıklar halinde burada incelenmiştir.

#### 3.1.1. Elektrokoagülasyon

En yaygın olarak kullanılan elektrokimyasal proses elektrokoagülasyondur. Bir elektrokimyasal procese en önemli şartlardan biri elektrot cinsidir.

Elektrokoagülasyonda yaygın olarak alüminyum ( $Al^{+3}$ ) ve demir ( $Fe^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$ ) elektrotlar kullanılmaktadır. Bu elektrotların prosesin işletme aşamasında suyla reaksiyona girerek  $Al(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_2$  ve  $Fe(OH)_3$  gibi metal hidroksitler oluşturmaktadır. Sistemde arıtım metal hidroksitlerin oluşmasıyla başlamaktadır. Adsorpsiyon kapasitesi çok yüksek olan metal hidroksitlerin sudaki değişik kirletici parametreleri adsorbe ederek çökelti yoluyla sudan uzaklaştırma prensibine dayanan bu arıtım metodu günümüzde birçok yerde kullanım alanı bulmaktadır. Bu işlem esnasında elektrotlarda oluşan elektrokimyasal işlemler sonucu sudan çok küçük gaz kabarcıkları çıkmaya başlar. Bu gaz kabarcıklarının da elektroflotasyon'un temelini oluşturduğunu düşünürsek bazı kirleticilerde elektrokoagülasyon esnasında elektroflotasyon yöntemiyle sudan uzaklaştırılacağı söylenebilir. Belirli ölçüde elektroflotasyon da olduğundan dolayı kirletici giderim verimi yüksektir. Bu verim çeşitli işletme şartlarının optimizasyonu ile daha da artırılabilir.

Elektrokoagülasyonda genellikle 3 temel işlem söz konusudur.

a) Elektrotların yüzeyinde oluşan elektrolitik reaksiyonlar

- b) Sıvı fazda koagülantların (metalik iyonların) oluşumu  
 c) Çözünebilir ya da koloidal kirleticilerin adsorpsiyon, koagülant, sedimentasyon veya flotasyon mekanizmaları ile giderilmesi [23].

Elektrokoagülasyonla emülsifiye maddeler, askıda katı maddeler ve kolloidal maddeler kararlı hale getirilir. Bu yüzden elektriksel uygulamalarda elektrotlarla partiküller uygun şekilde temas ettirildiğinde partiküller nötralize olmakta ve farklı partiküller kombine olarak büyük floklar oluşturmaktadır.

Genellikle elektrokoagülasyon prosesinde alüminyum ya da demir elektrotlar kullanılmaktadır. Bunun nedeni metalik iyonların adsorpsiyon kapasitesi yüksek olduğu için iyi bir koagülant olmasından kaynaklanmaktadır. Dağınık haldeki partiküllerin elektrokoagülasyon süreciyle sudan arındırılabilen ve kararlı çamur elde edilebilmektedir. Yapılan bir çalışmada, elektrokoagülasyonla hızlandırılmış bir şekilde flok oluşumu sağlandığından dolayı, elektrokoagülasyonun kimyasal arıtıma alternatif olarak gösterilebileceği sonucu çıktı [24].

Gerek etkin verim ve gerekse kolay işletme artıları nedeniyle elektrokimyasal arıtım yöntemleri içerisinde en yaygın kullanım alanı bulan yöntem elektrokoagülasyondur.

### 3.1.2. Elektrooksidasyon

Elektrooksidasyon yönteminde ana prensip çözünmeyen elektrotlar (Ti, Ru, Pt, paslanmaz çelik vb.) kullanılarak elektrotlar vasıtasıyla çıkan gazlar ( $O_2$  ve  $H_2$ ) ile istenilen oksidasyonun sağlanmasıdır. Bu işlemle birlikte birçok madde oksidasyona uğratılabilirken biyolojik olarak parçalanabilirliği zor olan bileşikler biyolojik olarak kolay parçalanabilir organik bileşiklere veya  $CO_2$  ve  $H_2O$  gibi son ürünlere dönüştürülmektedir. Elektrooksidasyon sürecinde aktif rolü oynayan elektrot anottur. Bundan dolayı bu süreçte etkili olan parametrelerin başında anodun katalitik aktivitesi gelir. Ayrıca akım, sıcaklık, pH ve organik bileşiklerin ve diğer oksidantların difüzyon hızı da önemlidir. Eğer anotun yeteri kadar yüksek potansiyeli varsa, atıksuda bulunan klorür iyonları klora dönüşebilir veya organik

bileşiklerin doğrudan oksidasyonu gibi ikincil reaksiyonlar da ayrıca oluşabilir [25].



Klor, güçlü oksidant yapısı nedeniyle bazı organik bileşikleri okside edebilir. Yapılan çalışmalarda atıksu tipine bağlı olarak farklılık gösterse dahi elektrooksidasyon prosesinde ortalama % 90 oranında KOİ giderimi elde edilebilmektedir. Elektrokimyasal arıtımda anot bölgesinde oluşan reaksiyonların katot bölgesine oranla daha baskın geliştiği tip arıtım elektrooksidasyon olarak ifade edilebilir. Elektrooksidasyon prosesleri literatürde genellikle Ti/Pt-Ir, Ti/RhO<sub>x</sub>-TiO<sub>2</sub>, Ti/PdO-Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub>/TiRuO<sub>2</sub>, Ti/Pt, PbO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>, PbO<sub>2</sub>/Ti, SnO<sub>2</sub>, PbO<sub>2</sub>, BDD vb. anot elektrotlar kullanılmaktadır [26, 27]. Etkili giderim ve çamur oluşumunun çok az olması nedeniyle elektrooksidasyon, elektrokimyasal yöntemler arasında tercih edilen bir yöntem olarak yer almaktadır.

### 3.1.3. Elektroflotasyon

Atıksu arıtımında kullanım alanı bulan bir diğer elektrokimyasal arıtım yöntemi ise elektroflotasyondur. Genellikle tek başına değil de bir diğer elektrokimyasal prosesle birlikte kullanılan bu yöntem; prosesin gereği elektrotlardan açığa çıkan gaz kabarcıkların kirleticileri adsorbe ederek yüzeye çıkarması sonucu kirliliğin giderilmesi esasına dayanır. Elektrokoagülasyon prosesi esnasında da gerçekleşen bu proses, literatürde bilinen flotasyona benzemektedir. Yalnızca, proses gereği olarak eklenmesi gereken gaz, elektroflotasyonda belli ölçüde kendiliğinden oluşmaktadır. Elektroflotasyonda elektrotlarda oluşan reaksiyonlar (2) ve (3) reaksiyonlarında görülmektedir.



Elektroflotasyonda oluşan gaz kabarcıklarının boyutları çok küçük olmasına rağmen çok yüksek dispersiyona sahiptir. Bu süreçte gaz kabarcıklarının rolü çok büyüktür.

Bu nedenle gaz kabarcıklarının optimum yoğunluğunu belirlemek amacıyla etkili olan parametreler üzerinde optimizasyon çalışmaları yapılması gerekir. Elektrotun cinsi ve yüzey alanı en önemli parametre olmakla birlikte, akım yoğunluğu ve reaktör tipi de çok önemlidir. Genel olarak elektroflotasyon prosesinin işletme şartlarının optimizasyonunda ise akım, elektrot tipi, pH ve sıcaklık gibi parametreler değiştirilerek sistem için optimum işletme şartlarının belirlenmesi gerekir [25].

Atıksulardan elektroflotasyon yöntemiyle giderilen kirleticiler daha çok yağ ve emülsiyonlar gibi düşük yoğunluklu maddeler olabildiği gibi askıda katı maddeler de olabilmekte ve özellikle bazı tesislerde problem oluşturan giderilemeyen KOİ 'nin bir kısmı da bu yöntemle giderilebilmektedir. Bu gibi yararlı özelliklerinden dolayı elektroflotasyon çeşitli sanayilerde kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak metal kaplama, tekstil, boya ve kimya sanayileri verilebilir [25].

### **3.2. Elektrokimyasal Arıtımın Uygulama Alanları**

Elektrokimyasal arıtım yöntemleri basit ve verimli bir yöntem olarak birçok su ve atıksu arıtımında kullanılmaktadır.

Elektrokimyasal arıtım yöntemleri (Elektroflotasyon, Elektrooksidasyon, Elektrokoagülasyon) içme suyu arıtımı, evsel atıksu, tekstil atıksuları, restaurant atıksuları, boyalı atıksular, mezbaha atıksuları, süt endüstrisi atıksuları, sızıntı suları, kağıt endüstrisi atıksuları, deterjan atıksuları ve maden atıksuları gibi bir çok alanda uygulanmaktadır. Elektrokimyasal arıtım yöntemleri, deflorinasyon, ağır metal giderimi, yağ giderimi, organik madde giderimi, askıda katı madde giderimi, renk giderimi, nitrat giderimi, fenol giderimi, arsenik giderimi, poliaromatik organik kirlilik, lignin ve organik kirliliğin gideriminde yaygın olarak kullanılabilir [23, 28].

### **3.3. Elektrokoagülasyon ile Arıtımın Avantaj ve Dezavantajları**

Elektrokoagülasyonun diğer arıtım yöntemlerine oranla bazı önemli avantajları vardır. Bu avantajlar genel olarak burada verilmiştir [23, 29];



Avantajları:

- a) Basit araç gereçler kullanılır. Ayrıca basit işletme parametreleri ile iyi bir verim elde edilebilmektedir.
- b) Atık suların elektrokoagülasyon arıtım yöntemleriyle arıtılmasıyla iyi derecede renk ve koku giderim sağlanır.
- c) Elektrokimyasal arıtım yöntemleriyle birçok kirletici bir arada giderilebilir. Yani alternatif proseslerde belli kontaminantları gidermede birkaç proses ardarda kullanılabilir. Ancak elektrokimyasal proseslerde bu kirleticiler tek bir prosesle giderebilmektedir.
- d) Elektrokoagülasyon arıtım prosesleri düşük bakım maliyeti ve iş gücüne sahiptir.
- e) Düşük enerji ihtiyacından dolayı gereken enerji kolayca karşılanabilir.
- f) Yüksek sıcaklıklar proses için herhangi bir problem oluşturmamaktadır.
- g) Kimyasal madde kullanılmaz ve kimyasal madde kullanımından oluşacak ikincil kirlenme meydana gelmez.
- h) Elektrokoagülasyonun flok formları kimyasal floklara benzemesine rağmen elektrokoagülasyon flokları daha büyük olur ve daha kararlıdır. Ayrıca bu floklar filtrasyonla daha kolay ayrışabilirler.
- i) Elektrokoagülasyon sonucu oluşan çamur formu çoğunlukla metal hidroksitler şeklindedir.
- j) Elektrokoagülasyon sonucu oluşan toplam çözünmüş katıların içeriği kimyasal arıtıma oranla daha düşüktür. Eğer bir su yeniden kullanılacaksa toplam çözünmüş katının az olması maliyetin daha az olmasına tercih edilmelidir.

k) Elektrokoagülasyon prosesi küçük kolloidal partiküllere karşı kimyasal arıtıma oranla daha etkilidir.

l) Elektrokoagülasyon prosesinde kimyasal madde kullanılmazken, çöktürme işlemi nötralizasyon esasına göre olmaktadır. Yüksek kirletici konsantrasyonlarında kimyasal madde ilavesi yapılabilmektedir.

m) Elektroflotasyonda gaz kabarcıkları elektroliz süresince kirleticileri taşıyarak daha küçük kirletici konsantrasyonlarını bile flotasyon mekanizmasıyla giderebilmektedir.

n) Elektrokoagülasyonda çamur çökme eğilimdedir ve kolaylıkla yoğunlaştırılabilir.

o) Kimyasal arıtma ile karşılaştırıldığında elektrokoagülasyon çıkış suyu daha az toplam çözülmüş katılar içerir.

ö) Elektrokoagülasyon prosesi için, kırsal alanlarda güneş panelleri ile elektrik temin edilebilir.

Dezavantajları:

a) Elektrot, atık su içindeki çözülmüş maddelerin oksidasyonu sonucu oksitlenebilir. Elektrotlar düzenli aralıklarla değiştirilmelidir.

b) Birçok yerde elektrik maliyeti yüksektir (Ancak kullanılması gereken enerji çok düşük olduğundan yüksek bir maliyet oluşturmaz).

c) Atıksudaki süspanse maddelerin yüksek iletkenliğe sahip olması istenir.

d) Bazı çalışmalarda çözünebilir maddeler hidroksit şeklinde çökebilir.

e) Katotta elektrokimyasal süreç esnasında organik maddelerden dolayı hava geçirmez bir film tabakası oluşabileceğinden verim azalabilir.

### **3.4. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

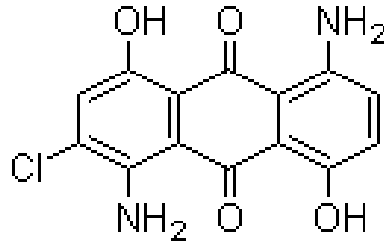
Mevcut literatürde tekstil boylarının renk giderimi hakkında sadece tek boyadan oluşan çözeltiler üzerine çalışmalar bulunmaktadır, bununla birlikte elde edilmiş olumlu sonuçlar bizi literatürde olmayan iki farklı tekstil boyarmaddesinin olduğu çözeltilerde renk giderimini araştırmaya yönlendirmiştir.

Boya karışımlarının renk giderme verimi üzerine pH, elektroliz zamanı, iletkenlik, akım yoğunluğu, giriş konsantrasyonu gibi değişik parametrelerin etkileri elektrokoagülasyon prosesi uygulaması ile araştırılmıştır.

## BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOD

### 4.1. Kullanılan Boyalar

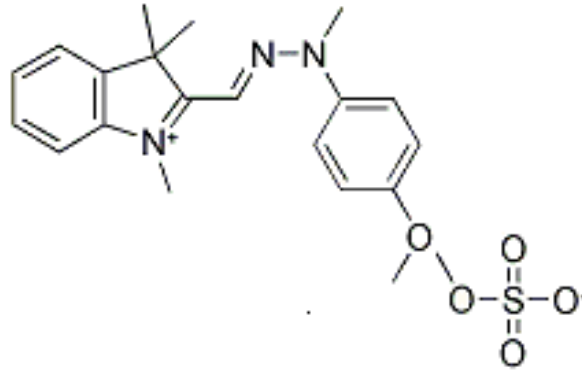
Bu çalışmada ticari olarak kullanılan tekstil boyalarından Disperse Blue C.I. 56 ile Basic Yellow C.I. 28' in elektrokoagülasyonla arıtımı ele alınmıştır. Adı geçen boyalar UMUT KİMYA Boya ve Dış Ticaret Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Aşağıda boyların moleküler yapısı ve kimyasal özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Disperse Blue 56' nin moleküler yapısı

Tablo 4.1. Dipers Blue 56' nin özellikleri

Colour indeks no	C.I DisperseBlue 56
Moleküler Formül	C <sub>14</sub> H <sub>9</sub> ClN <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Moleküler Ağırlık	304.69
CAS	12217-79-7
EINECS	235-401-1



Şekil 4.2. Basic yellow 28'in moleküler yapısı

Tablo 4.2. Basic yellow 28'in özellikleri

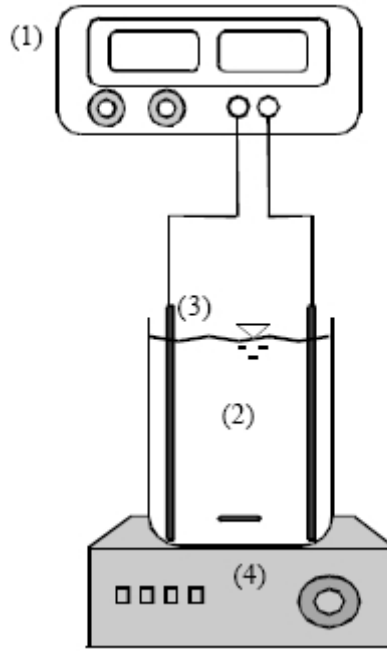
Colour indeks no	Basic yellow 28
Moleküler Formül	C <sub>21</sub> H <sub>27</sub> N <sub>3</sub> O <sub>5</sub> S
Moleküler Ağırlık	433.52
CAS	54060-92-3
EINECS	258-946-7

Basic boyarmaddeler organik bazların hidroklorürleri veya asetat tuzları şeklindedir. Renkli kısım katyon olup, pozitif yük taşıyıcı olarak N ve S atomu içerirler. Bazik olarak etki ettiklerinden sulu çözeltilerde bulunan boyarmadde katyonu elyafın anyonik gruplarıyla elyaf – boyarmadde tuzunu oluştururlar.

Bazik boyların en karakteristik özelliği parlak olmaları ve geniş renk şiddetleridir. Yün, ipek ve pamuk üzerinde ışığa ve yıkamaya karşı mukavemetleri çok düşüktür. Genellikle asetik asit ve tannik asit ile ve 80-90 °C' de boyama yapılır [21]. Dispers boyarmaddeler amino ve hidroksil grupları içerirler ve molekül ağırlıkları düşüktür. Boyama boyarmaddenin elyaf içinde çözünmesi ile gerçekleşir, difüzyonu oldukça yavaştır. Boyama uzun sürdüğünden pratik değillerdir.

## 4.2. Deneý Düzenegi

Kesikli deneýlerin gerekleŖtiđi elektrokoagülasyon reaktörü Ŗekil 4.3.' de gösterilmektedir. Akım ve voltaj kontrolü güç kaynağı ile sađlanmıŖtır. KarıŖtırma manyetik karıŖtırıcı ile sađlanmıŖtır. Reaktörde bir deneyde 700mL çözelti kullanılmıŖtır. Reaktörde bir anot ve bir katot olmak üzere iki adet elektrot kullanılmıŖtır ve aralarındaki mesafe 22 mm olarak sabitlenmiŖtir. Elektrotlar elektrolite batmıŖ durumdadır. Elektrot materyali olarak toplam yüzey alanı 91 cm<sup>2</sup> olan demir plakalar kullanılmıŖtır.



Ŗekil 4.3. Deneysel alıŖma düzeneğinin Ŗematik gösterimi (1- DC G Kaynağı, 2-Elektrokimyasal hücre, 3- Elektrotlar, 4- Manyetik KarıŖtırıcı. )

## 4.3. Boya zeltisinin HazırlanıŖı ve Deneysel İŖlem

Basık ve dispers boyarmaddelerin karŖım zelteleri saf su kullanılarak hazırlanmıŖtır. Boya zeltelerinin pH ve iletkenlikleri HCl, NaOH ve NaCl kullanılarak ayarlanmıŖtır. Deneýlerde;

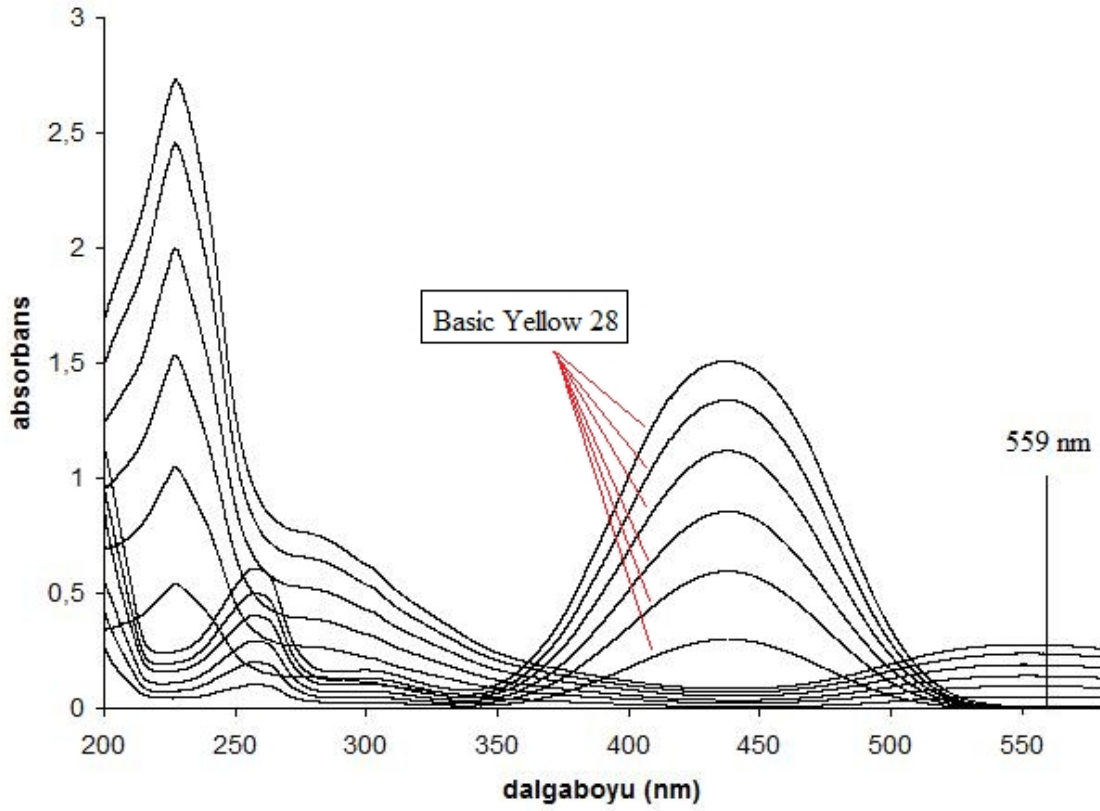
pH çalışması	=	Farklı pH' ların giderme verimine etkisi,
Zaman çalışması	=	Koagülasyonun zamanla giderme verimine etkisi,
İletkenlik	=	Farklı iletkenlikteki çözeltilerin giderme verimini,
Akım yoğunluğu	=	Farklı akım yoğunluklarının giderme verimine etkisi,
Konsantrasyon	=	Farklı konsantrasyonların giderme verimine etkisi çalışılmıştır.

Her bir çalışma kendi başlıkları altına ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Elektrodlar, elektrokoagülasyon reaktörüne yerleştirildikten sonra hücreye 700mL boya çözeltisi konulmuştur. Güç kaynağı üzerinde istenilen akım ve voltaj ayarlaması yapıldıktan sonra çalıştırılmıştır. Deneylerde doğru akım kullanılmıştır. Elektrokoagülasyon esnasında oluşan hidrojen gazı yardımıyla floklar reaktörün üst kısmında toplanmış olup net bir şekilde katı-sıvı ayrımı gözlenmiştir. Deney esnasında ve hemen sonrasında özel şırıngalar kullanılarak alınan 5 ml' lik numuneler santrifüj tüplerine konularak, katı partiküller çöktürülmüş ve ardından UV-Vis ile analiz edilmiştir.

Akım geçerken anotta oluşan korozyon ürünlerini pasivizasyona neden olur. Bu durumda akım geçişi azalır ve reaksiyon süresi artış gösterir. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için her deneyden sonra kutup değişikliği yapılmış olup, ayrıca elektrotlar önceden seyreltilmiş olan HCl çözeltisinde bekletilmiştir, ardından saf su ile yıkanarak yüzeylerde oluşan birikintinin uzaklaşması sağlanmıştır.

#### **4.4. Boya Konsantrasyonlarının Belirlenmesi**

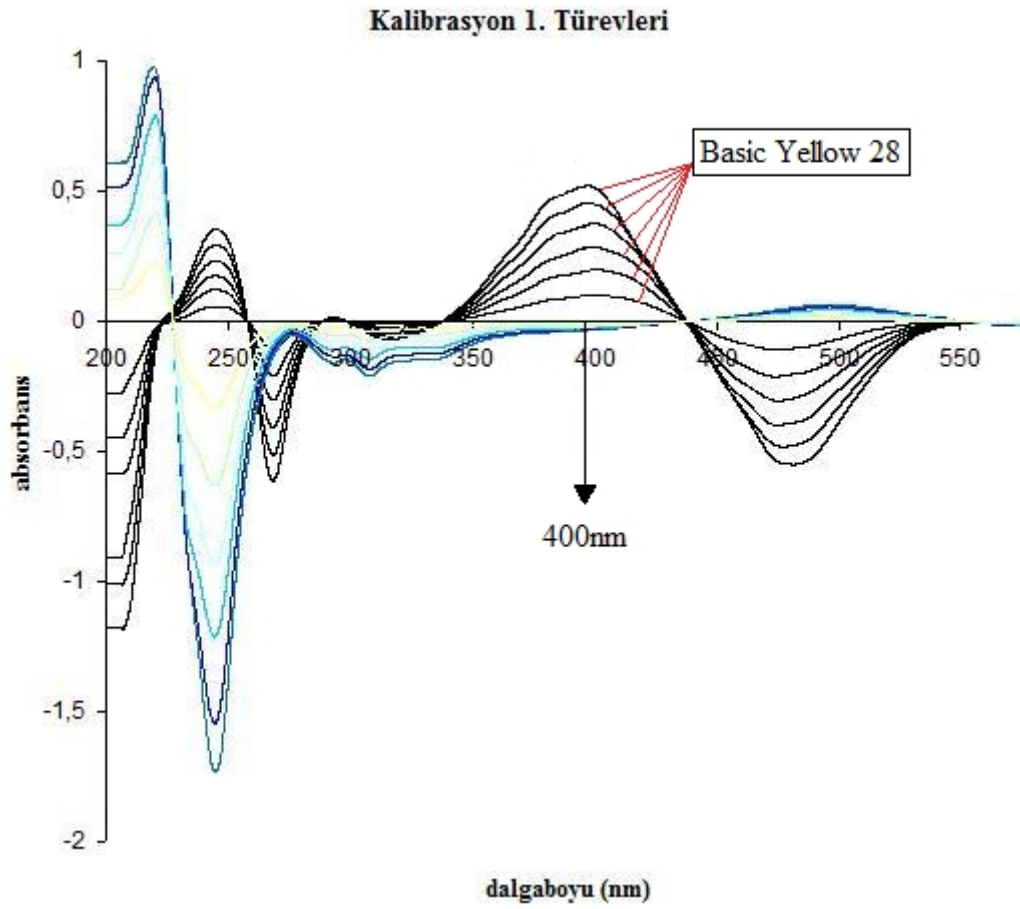
Çalışmalarda her bir boya için farklı konsantrasyonlarda, saf su kullanılarak çözeltileri hazırlanmış ve kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Spektrofotometrede 200-700nm arasında yapılan araştırmada, disperse blue 56 boyasının giderimi için şekil 4.4.' te basic yellow 28 boyasının absorbans değerlerinin X eksenine yani "0" değerine en yakın olduğu 559nm dalga boyu seçilmiştir. Böylece iki boyanın karışımı halinde hazırlanacak olan deney çözeltilerinde, 559nm dalga boyunda yapılacak analizlerde sadece disperse blue 56 boyar maddesi hesaplanmış olacaktır.



Şekil 4.4 Disperse blue 56 ve basiv yellow 28 boylarına ait UV spectrumları kalibrasyon çalışması

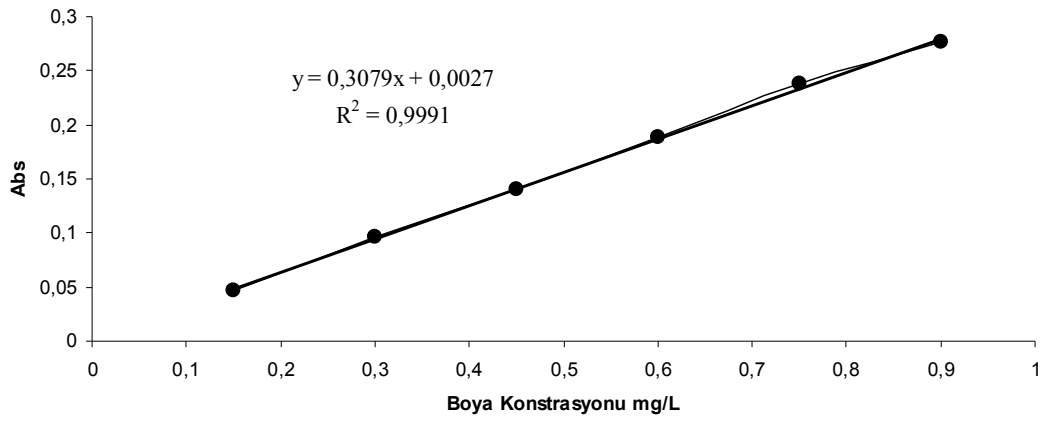
Basic yellow 28 için yapılacak kalibrasyon çalışmasında, şekil 4.4.'de görüldüğü üzere disperse blue 56 boyar maddesinin “0” kabulü gerekmektedir, bu nedenle disperse blue 56 boyarmaddesinin absorbans değerlerinin, X eksenine en yakın olduğu 430-460 nm dalga boylarındaki hata yüzdesi çok yüksek olacağından, Şekil 4.4’ de ki absorpsiyon eğrilerinin 1. türevi alınarak ( UVPC personal spectrosopy software version 3.91 ), Şekil. 4.5.’ de gösterilen 400nm dalga boyunda ölçümler yapılmıştır. Böylece 1. türevi alınmış absorbans değerlerinin 400nm dalga boyundaki hesaplamalarında sadece basic yellow 28 boyar maddesi hesaplanmış olacaktır.



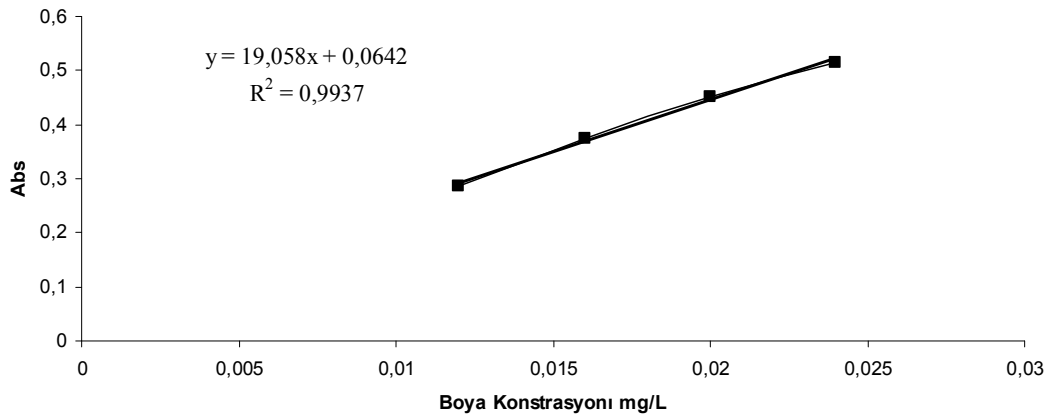


Şekil 4.5. Basic yellow 28 boyar maddesinin tayini için 1. türevde seçilen dalga boyu

Bu dalga boylarında kontrasyon-absorbans kalibrasyon eğrisi çıkarılmış olup şekil 4.6. ve şekil 4.7.' de verilmiştir. Absorbans ölçümleri Shimadzu UV-Vis 2401 marka spektrofotometre kullanılmıştır. Çalışmalardaki diğer kontrasyon-absorbans grafikleri Ek A' da bulunmaktadır.



Şekil 4.6. Absorbans konsantrasyon arasındaki kalibrasyon eğrisi



Şekil 4.7. Absorbans konsantrasyon arasındaki 1. türev için kalibrasyon eğrisi

#### 4.5. Kullanılan Eşitlikler

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

$$J = \frac{I}{A} \quad (4.1)$$

Burada;  $J$  : akım yoğunluğu mA/cm<sup>2</sup> ,  $I$  : Akım şiddeti mAmper,  $A$ : Aktif anot yüzey alanı, cm<sup>2</sup> dir.

Enerji tüketimi : Harcanan elektrik enerjisinin watt saat cinsinden hesaplanmasıdır.

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

Burada;  $E$ : Elektrik enerjisi (Wh),  
 $V$ : volt,  
 $I$ : Akım şiddeti (A),  
 $t$ : zaman, saat' dir.

Harcanan Elektrot : Aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$m = \frac{A.I.t.}{z.F} \quad (4.3)$$

$m$  : Çözünen anot kütlesi (g)  
 $A$  : Mol ağırlığı (Fe:56),  
 $I$ : Geçen akım amper  
 $t$ : Zaman (sn)  
 $z$ : 2  
 $F$ : Faraday sabiti (96500)

%Verim : Kütleli olarak sistemin verimidir.

$$\%R = (C_o - C/C_o).100 \quad (4.4)$$

$C_o$  : Giriş konsantrasyonu, mg/L

$C$  : Çıkış konsantrasyonu, mg/L

Optimum şartlar için örnek hesaplamalar;

3gr NaCl/L, t : 10dk, I : 1 amper, V : 8,9 , Boya konsantrasyonu : 200mg/L

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

kWh/kg Boya hesaplaması ;

10dk elektrokoagülasyon sonunda boya giderimi %97,89 ise 195,77mg/L boya giderilmiştir. O zaman diyebiliriz ki ;

$$\frac{10dk}{t} = \frac{195,77 \text{ mg/L boya giderimi varsa}}{1kg}$$

$$t = 51080 \text{ dk' da } 1kg \text{ boya giderilir.}$$

Yukarda bulduğumuz t süreyi formül (4.2) yerine koyarsak, sonuç 1 kg boyanın giderilmesi için gereken enerji miktarını verir.

$$E = 8,9.1.(51080dk/60dk/saat)$$

$$E = 7576,91 \text{ Wh}$$

$$E = 7,58 \text{ kWh}$$

## BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR

### 5.1. Elektrokoagülasyon Üzerine pH' nın Etkisi

Çözelti içinde karışım durumunda bulunan basic yellow 28 ve disperse blue 56 boyar maddeleri için başlangıç pH' sının etkisi pH 2-10 arasında incelenmiş olup, deneylerin şartları ve sonuçları Tablo 5.1. ve Şekil 5.1.'de gösterilmiştir. pH çalışmasına ait UV-Vis spectrumları Ek A Şekil A.1. ve Şekil A.2.'de bulunmaktadır.

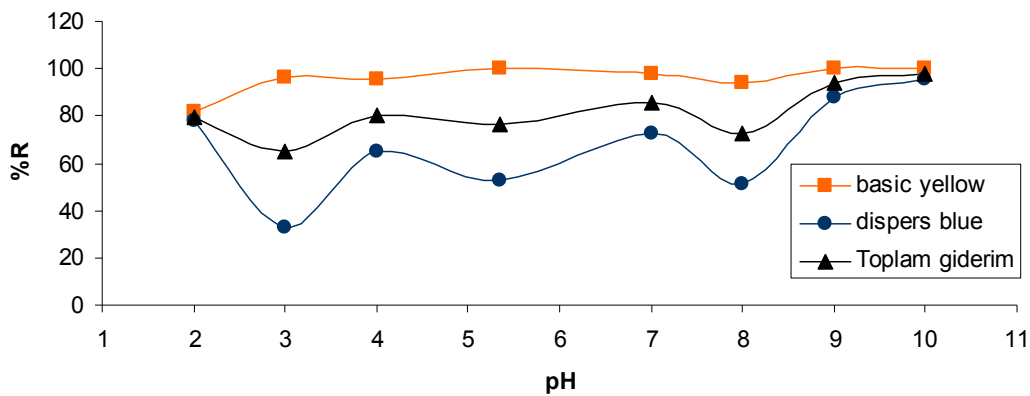
Tablo 5.1. pH etkisinin araştırıldığı deneylerin şartları ve sonuçları

Başlangıç pH	2	3	4	5,35	7	8	9	10
Akım (A)	1	1	1	1	1	1	1	1
Akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89
Voltaj (V)	7,9	9,3	9,6	9,1	8,85	8,7	8,7	8,9
Son voltaj	8,05	9,2	9,15	9	8,4	8,4	8,1	9
Boya konsantrasyonu (mg/L)	200	200	200	200	200	200	200	200
Kalan boya konst. (mg/L)	40,55	70,36	38,83	47,15	28,98	55,09	12,16	4,23
Tuz konsantrasyonu (g/L)	3	3	3	3	3	3	3	3
Süre (dk)	10	10	10	10	10	10	10	10
Deney sonu pH	7,59	8,18	9	8,54	9,07	9,02	10,01	11
Boya giderme verimi % (basic yellow 28)	81,73	96,57	95,89	99,99	98,17	94,01	99,99	99,99
Boya giderme verimi % (disperse blue 56)	77,72	33,07	65,28	52,86	72,85	50,91	87,85	95,78
Toplam giderim %	79,73	64,82	80,59	76,43	85,51	72,46	93,92	97,89
Enerji tüketimi (kWh)	0,0013	0,0015	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0015
kWh/Kg boya	8,26	11,96	9,93	9,92	8,62	10,01	7,72	7,58

pH, ortamda oluşan elektrolitik reaksiyonları direkt olarak etkilediği için büyük öneme sahiptir. Elektrokoagülasyon için metal hidroksillerin oluşumunda pH birinci

dereceden etkilidir. Giderim verimleri başlangıç pH' ına bağlı olduğu kadar son durumdaki pH değerlerine de bağlıdır [30]. Elektrokoagülasyon yönteminin performansını etkileyen en önemli parametre pH' ıdır [31].

Sonuç olarak ilk önce pH' ın elektrokoagülasyon üzerine etkisi incelenmesine karar verilmiştir. Yapılan çalışmada maksimum giderimin olduğu sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

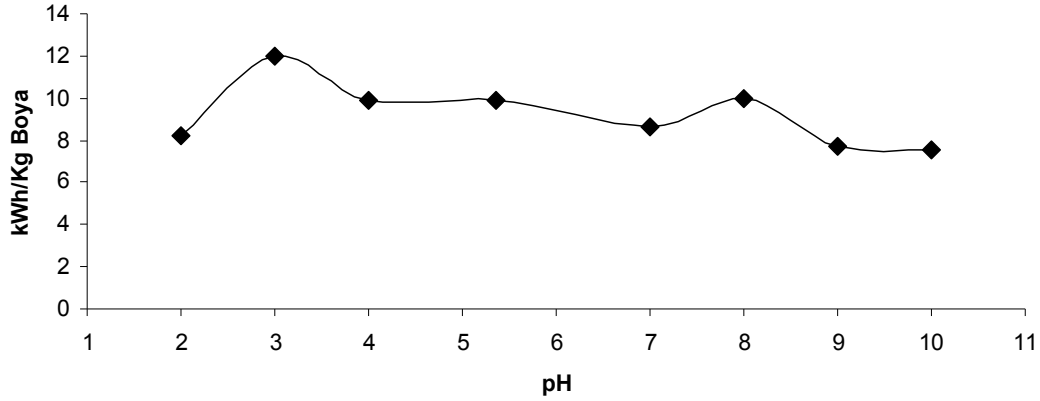


Şekil 5.1. Başlangıç pH' ının boya giderme üzerine etkisi

Yapılan analizler sonucunda pH' ın renk giderimi üzerinde önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. Analizlerin tümünde pH ayarlamaları için NaOH ve HCl kimyasalları kullanılmıştır. Süre 10 dk olarak sabit tutulmuş ve karıştırma hızı değiştirilmemiştir. Tablo. 5.1. ve Şekil 5.1.' den görüldüğü gibi en yüksek verimin pH 9-10 civarında olduğu ve farklı pH aralıklarında birbirleriyle orantılı artım verimleri olmadığı gözlemlenmiştir. Diğer bir ifade ile deneysel çalışmanın yürütüldüğü tüm pH değerlerinde değişik renk giderimleri elde edilmiştir. Maksimum artım değeri 1 amper akım altında en pH 10' da gerçekleştirilmiş olup, deneylerin devamındaki parametreler bu pH koşullarında incelenmiştir.

pH' ın enerji tüketimi üzerine etkisi incelenmiş olup değişimler Tablo 5.1.' de verilmiştir.

pH 2 hariç, farklı pH değerlerinin enerji tüketimi üzerine etkisi çok farklılık göstermemektedir. pH'ın en düşük olduğu pH 2' de enerji 0,0013 kWh' tır, geri kalan diğer bütün pH' larda enerji tüketimi 0,0014-0,0015 seviyelerinde seyretmektedir.



Şekil 5.2. Farklı pH değerlerinde enerji tüketimi

Artıma veriminin en düşük, enerji tüketimin en fazla olduğu durum pH 3' de gözlemlenmiştir. kWh/Kg boya oranında en iyi sonuç pH 9-10 civarında seyretmekte olup bir 1 kg boyanın artımı için harcanacak enerji (kWh) oranı en verimli olarak pH 10' da 7,58 olarak gözlemlenmiştir.

## 5.2. Elektrokoagülasyon Üzerine Zamanın Etkisi

Arıtım süresi tüm arıtım proseslerinde olduğu gibi elektrokoagülasyonla arıtım uygulamalarında da önemlidir.

Yapılacak çalışmalarda, arıtım süresinin optimizasyonu gerekir. Aksi takdirde gerekenden az bir arıtım süresi uygulandığında ihtiyaç duyulan verim sağlanamayabileceği gibi uzun süreli arıtmalar ise gerek maliyet açısından ve gerekse çamur ve köpük oluşumu bakımından uygun değildir. Ayrıca her tip atıksuyun arıtım süresi çok farklı olabilir. Yapılan bir çalışma da bir çalışmada sabit bir pH' da belirli bir süre sonunda %100 renk giderme verimine ulaşıldığı gösterilmiştir [32].

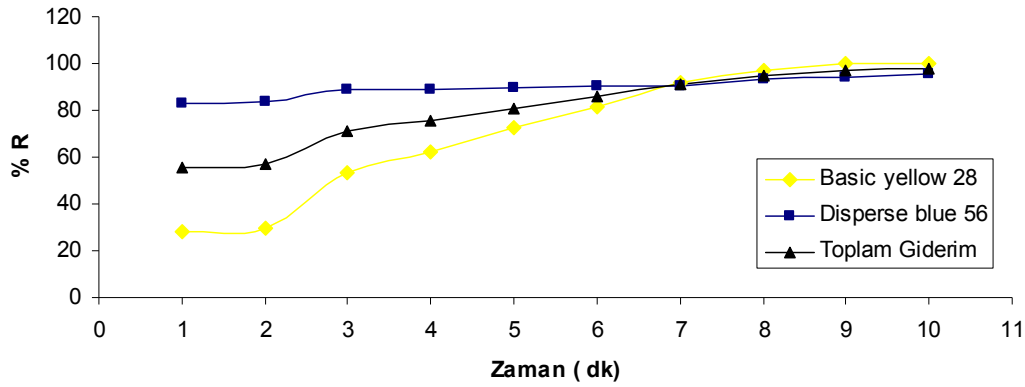
Elektroliz süresinin artımın üzerine etkisi Tablo 5.2., Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.' de verilmiştir. Ek A Şekil A.3. ve Şekil A.4.' da çalışmaya ait UV-Vis spectrumları gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Zaman etkisinin incelendiği analizlerin şartları ve sonuçları

Zaman (dk)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Akım (A)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89
Voltaj (V)	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
Başlangıç pH	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Boya konst (mg/L)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Kalan boya konst (mg/L)	88,90	86,30	58,00	48,75	38,30	28,49	17,83	9,99	5,73	4,23
Tuz konstrasyonu (g/L)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Boya giderme verimi % (basic yellow 28)	27,83	29,68	53,15	62,09	72,35	81,33	91,91	96,80	99,99	99,99
Boya giderme verimi % (dipere blue 56)	83,28	84,02	88,85	89,17	89,35	90,19	90,27	93,21	94,28	95,78
Toplam giderim %	55,55	56,85	71,00	75,63	80,85	85,76	91,09	95,00	97,14	97,89
Enerji tüketimi (kWh)	0,00015	0,0003	0,00045	0,00059	0,00074	0,00089	0,00104	0,00119	0,00134	0,00148
kWh/Kg boya	13,35	13,05	10,45	9,81	9,17	8,65	8,14	7,81	7,64	7,58

Şekil 5.3.'de elektrokoagülasyon süresi 10 dk olarak ayarlanmıştır ve toplam giderim 8 dk' dan itibaren çok fazla değişiklik göstermemiştir.

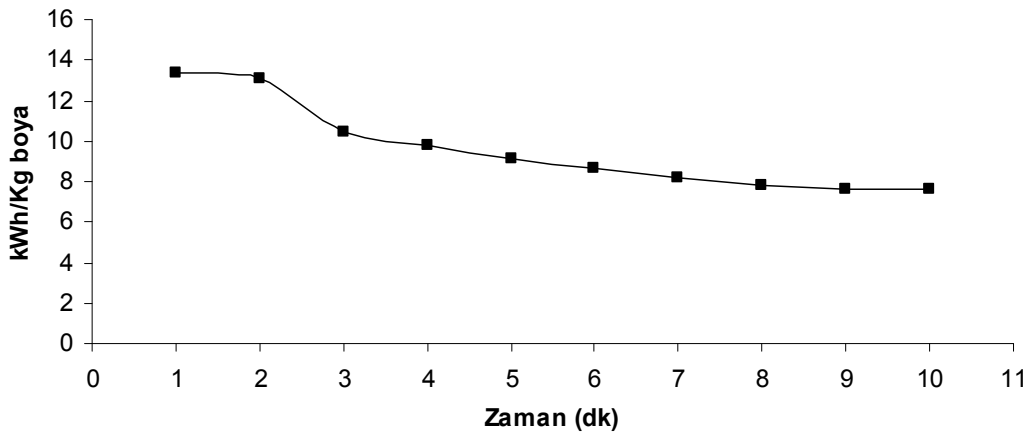




Şekil 5.3. Renk giderme verimi üzerine elektroliz süresinin etkisi

Basic yellow 28 boyar maddesi arıtımı 1. dk' da % 27'lerden 9.dk sonunda % 99,99 giderme verimine ulaşmaktadır. Fakat disperse blue 56 boyar maddesi arıtımı, 10 dk sonunda ancak % 95 dolaylarına gelebilmektedir. Buda şunu göstermektedir ki çalışılan bu pH' ta karışım halindeki çözeltiden disperse blue 56 maddesini daha yüksek oranda arıtmak için arıtım süresinin uzatılmalıdır. Diğer yandan basic yellow 28 boyar maddesi arıtımı için 9 dk yeterli olmuştur.

Enerji tüketimi 1. dk' da 0,00015 kWh iken 10 dk sonunda 0,00148 kWh olarak hesaplanmıştır. Bakılması gereken diğer bir parametrede 1 kg boyayı arıtmak için gerekli olan enerji miktarıdır. Şekil 5.4.' de bu analiz görülebilmektedir.



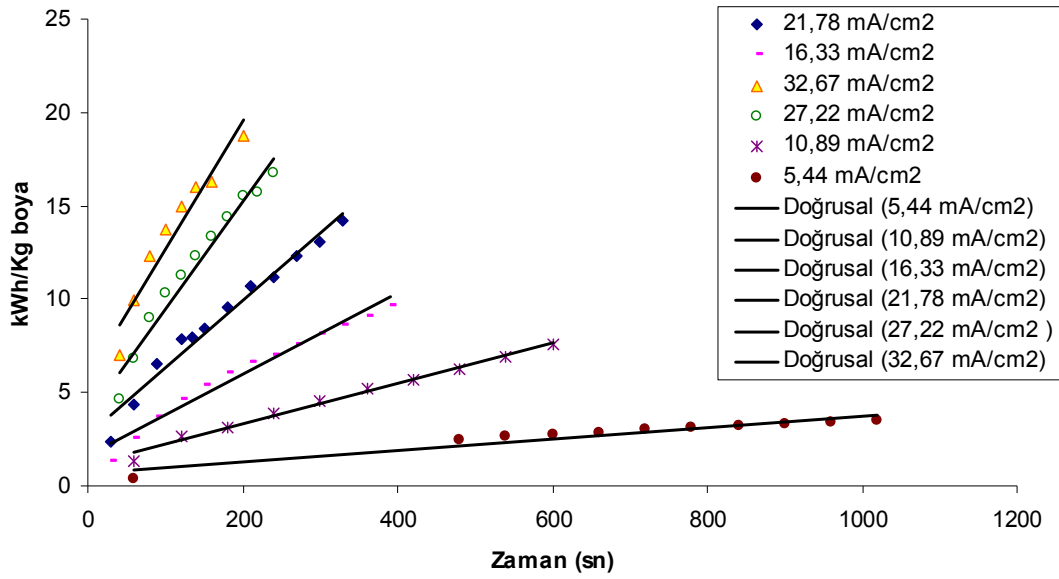
Şekil 5.4. Elektroliz süresinin enerji tüketimine etkisi

Zamanın etkisini incelendiği bu grafikte görülüyor ki 1 kg boya' nın arıtılması için gerekli enerji tüketimi ilk 3 dk' da ani düşüş içerisinde, 3. dk' dan sonraki zamanlarda enerji tüketiminde yavaş bir düşüş gözlemlenmekte ve en düşük enerji seviyesine 10. dk sonunda ulaşılmıştır.

### **5.3. Akım Yoğunluğu ve Zamanın Etkisi**

Elektrokimyasal arıtımda önemli işletme şartlarından biri de akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğunun optimizasyonu elektrokimyasal arıtım yöntemi için çok önemlidir. Gerekenden fazla akım yoğunluğu uygulandığında maliyet artışı oluşabileceği gibi, elektrokoagülasyon yönteminde akım yoğunluğuna paralel olarak çamur oluşumu da artacaktır. Ayrıca arıtım çalışmalarında akım yoğunluğu ile arıtım süresi yakından ilişkilidir. Yüksek akım yoğunluğu uygulandığında daha kısa süreli bir arıtım gerçekleşmektedir.

Bu çalışmada akım yoğunlukları değişik zaman aralıklarıyla denenmiştir. Reaktörden zamana bağlı olarak numuneler alınarak, zamanla arıtma veriminin nasıl değiştiği gözlenmiş ve diğer akım yoğunlukları içinde aynı çalışma yapılmıştır. Aynı zamanda artıma maliyetinin zaman ve akım yoğunluğu için en uygun artıma maliyetine ulaşmaya çalışılmıştır. Şekil 5.5.' de 3 g/L NaCl ve 200 mg/L boya konsantrasyonu ve ilk pH 10 ile gerçekleştirilen tüm akım yoğunluğu çalışmalarının tek bir grafikte görülmesi amaçlanmıştır.



Şekil 5.5. Farklı akım yoğunluklarında enerji tüketimi – zaman ilişkisi

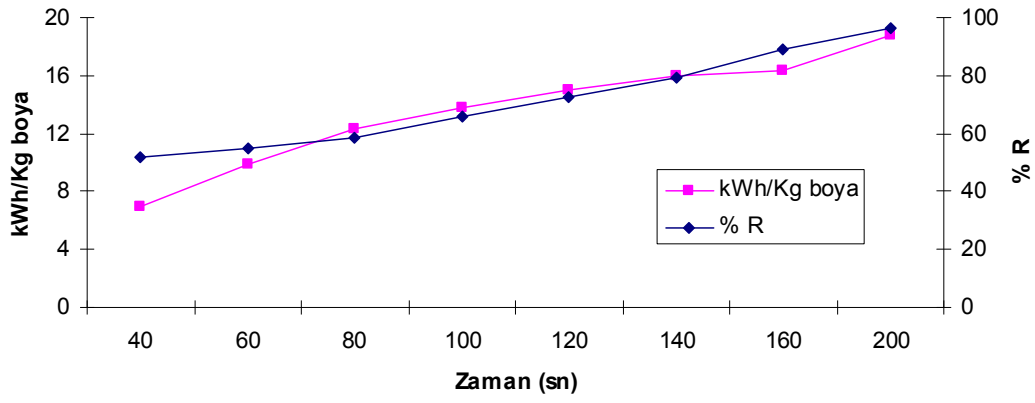
Şekil 5.5.' de görüldüğü gibi akım yoğunluğu arttıkça enerji tüketimi artmakta, elektroliz süresi kısalmaktadır. Farklı akım yoğunluklarının zamana bağlı olarak arıtım verimleri ve enerji tüketimleri Tablo 5.3., Tablo 5.4. ve Şekil 5.6.-5.11.' de verilmiştir.

Tablo 5.3. Farklı akım yoğunluklarının renk giderimine ve enerji tüketimine etkisi

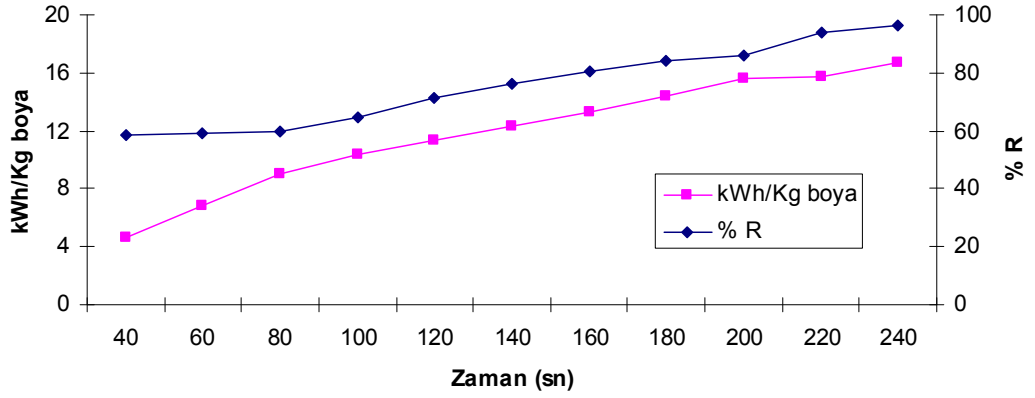
<b>Akım yoğunluğu</b> <b>32,67 mA/cm<sup>2</sup></b>	<b>Akım - 3 amper</b>		<b>Volt = 21,7</b>									
Zaman (sn)	40	60	80	100	120	140	160	200				
Basic yellow 28 % giderim	31,16	31,73	39,54	52,75	66,04	78,61	90,31	99,29				
Dispers blues 56 % giderim	72,19	77,65	77,91	78,86	78,96	79,96	87,20	93,60				
Toplam giderim %	51,68	54,69	58,73	65,80	72,50	79,29	88,76	96,44				
Kalan boya mg/L	96,65	90,62	82,55	68,39	55,00	41,42	22,49	7,12				
kWh/Kg boya	7,00	9,92	12,32	13,74	14,97	15,97	16,30	18,75				
<b>Akım yoğunluğu</b> <b>27,22 mA/cm<sup>2</sup></b>	<b>Akım - 2,5 amper</b>		<b>Volt = 19,3V</b>									
Zaman (sn)	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	
Basic yellow 28 % giderim	32,20	33,85	34,09	44,08	56,69	66,64	75,35	79,81	84,17	96,04	99,82	
Dispers blues 56 % giderim	84,34	84,50	85,28	85,40	85,48	85,68	85,76	88,06	87,98	91,43	92,54	
Toplam giderim %	58,27	59,17	59,69	64,74	71,08	76,16	80,55	83,94	86,08	93,74	96,18	
Kalan boya mg/L	83,47	81,65	80,63	70,52	57,83	47,68	38,89	32,12	27,85	12,53	7,64	
kWh/Kg boya	4,60	6,80	8,98	10,35	11,31	12,32	13,31	14,37	15,57	15,73	16,72	
<b>Akım yoğunluğu</b> <b>21,78 mA/cm<sup>2</sup></b>	<b>Akım - 2 amper</b>		<b>Volt = 15V</b>									
Zaman (sn)	30	60	90	120	135	150	180	210	240	270	300	330
Basic yellow 28 % giderim	27,48	30,62	30,82	42,83	57,92	64,45	69,31	74,59	90,24	90,25	98,70	99,98
Dispers blues 56 % giderim	78,51	83,12	83,31	83,75	84,26	84,46	88,17	89,40	89,43	92,93	93,03	93,05
Toplam giderim %	53,00	56,87	57,07	63,29	71,09	74,45	78,74	82,00	89,84	91,59	95,87	96,51
Kalan boya mg/L	94,00	86,26	85,87	73,42	57,82	51,09	42,52	36,01	20,33	16,82	8,27	6,98
kWh/Kg boya	2,36	4,40	6,57	7,90	7,91	8,39	9,52	10,67	11,13	12,28	13,04	14,25

Tablo 5.4. Farklı akım yoğunluklarının renk giderimine ve enerji tüketimine etkisi

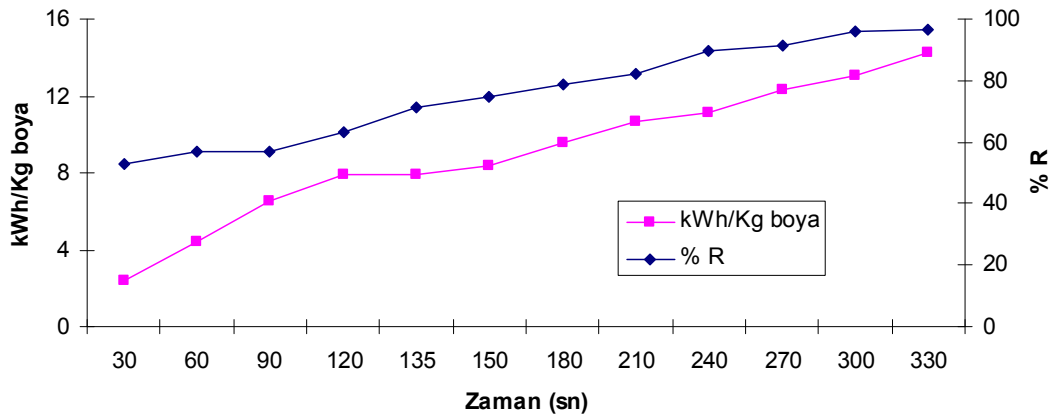
<b>Akım yoğunluğu 16,33 mA/cm<sup>2</sup></b>	<b>Akım - 1,5 amper</b>		<b>Volt = 11,5V</b>										
Zaman (sn)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390
Basic yellow 28 % giderim	28,35	30,13	31,30	40,58	48,52	57,51	63,03	73,99	81,30	86,73	92,55	96,94	99,99
Dispers blues 56 % giderim	84,06	84,26	84,46	84,55	84,65	85,56	87,75	89,06	89,56	90,48	91,87	92,18	92,59
Toplam giderim %	56,21	57,19	57,88	62,56	66,58	71,54	75,39	81,52	85,43	88,60	92,21	94,56	96,29
Kalan boya mg/L	87,59	85,61	84,24	74,87	66,83	56,93	49,22	36,95	29,14	22,80	15,58	10,88	7,42
kWh/Kg boya	1,28	2,51	3,73	4,60	5,40	6,03	6,67	7,05	7,57	8,11	8,57	9,12	9,70
<b>Akım yoğunluğu 10,89 mA/cm<sup>2</sup></b>	<b>Akım - 1 amper</b>		<b>Volt = 8,9V</b>										
Zaman (dk)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Basic yellow 28 % giderim	27,83	29,68	53,15	62,09	72,35	81,33	91,91	96,80	99,99	99,99			
Dispers blues 56 % giderim	83,28	84,02	88,85	89,17	89,35	90,19	90,27	93,21	94,28	95,78			
Toplam giderim %	55,55	56,85	71,00	75,63	80,85	85,76	91,09	95,00	97,14	97,89			
Kalan boya (mg/L)	88,90	86,30	58,00	48,75	38,30	28,49	17,83	9,99	5,73	4,23			
kWh/Kg boya	1,34	2,61	3,13	3,92	4,59	5,19	5,70	6,25	6,87	7,58			
<b>Akım yoğunluğu 5,44 mA/cm<sup>2</sup></b>	<b>Akım - 0,5 amper</b>		<b>Volt = 4,5V</b>										
Zaman (dk)	1	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Basic yellow 28 % giderim	27,54	33,98	41,52	48,47	56,82	61,32	68,10	74,24	80,34	85,82	90,07		
Dispers blues 56 % giderim	82,57	85,96	86,25	87,07	87,35	87,72	87,98	88,17	88,61	89,17	91,5		
Toplam giderim %	55,06	59,97	63,88	67,77	72,09	74,52	78,04	81,20	84,48	87,49	90,79		
Kalan boya mg/L	89,89	80,06	72,23	64,46	55,83	50,96	43,92	37,59	31,05	25,01	18,43		
kWh/Kg boya	0,34	2,50	2,64	2,77	2,86	3,02	3,12	3,23	3,33	3,43	3,51		



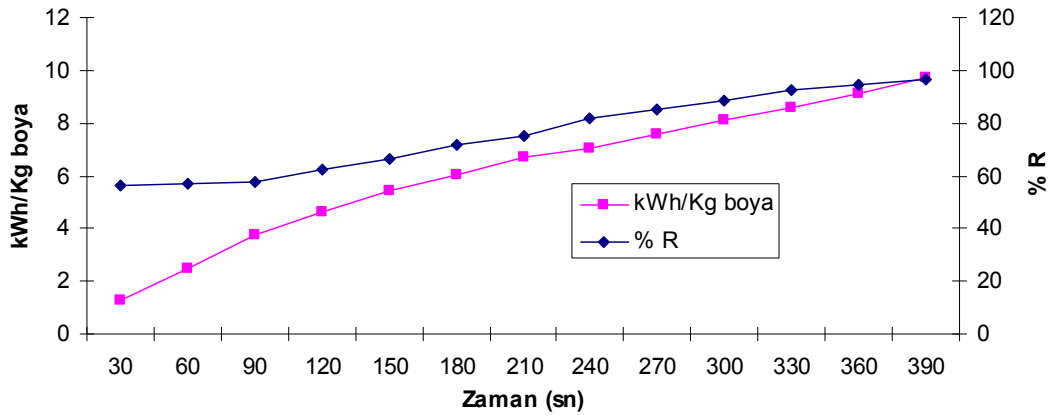
Şekil 5.6.  $\bar{I} = 32,67 \text{ mA/cm}^2$  için boya giderimi



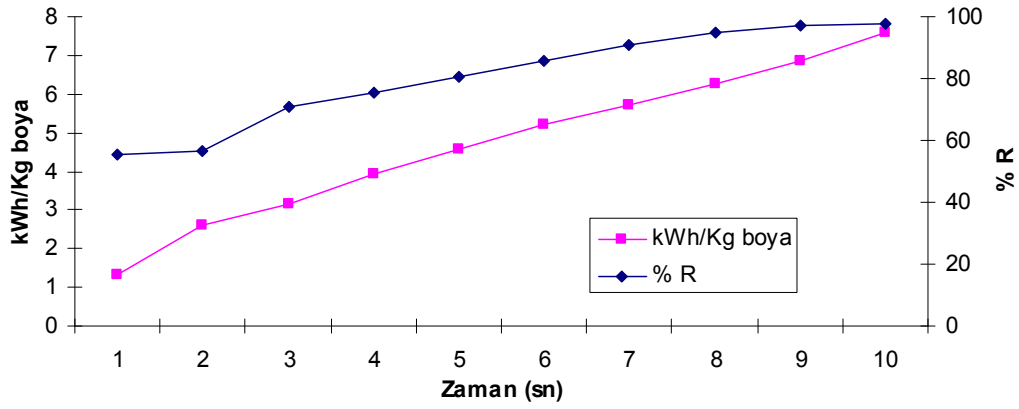
Şekil 5.7.  $\bar{I} = 27,22 \text{ mA/cm}^2$  için boya giderimi



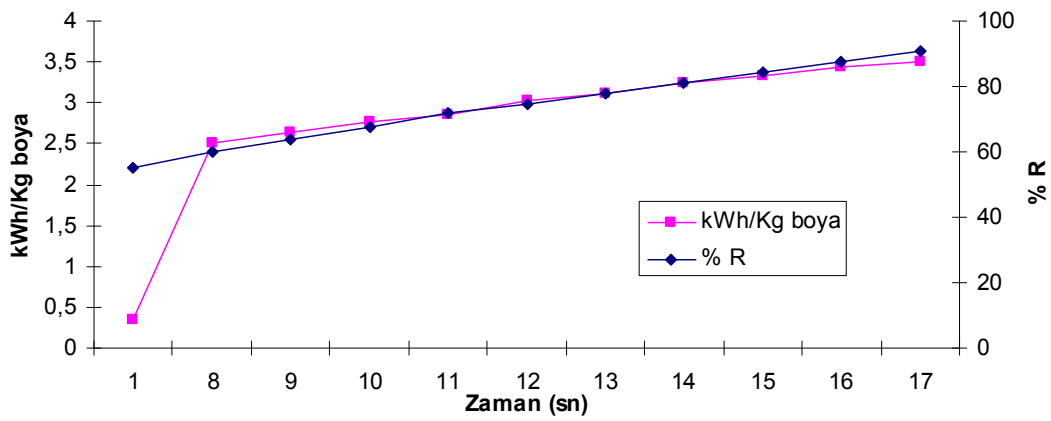
Şekil 5.8.  $\bar{I} = 21,78 \text{ mA/cm}^2$  için boya giderimi



Şekil 5.9.  $\bar{I} = 16,33 \text{ mA/cm}^2$  için boya giderimi



Şekil 5.10.  $\bar{I} = 10,89 \text{ mA/cm}^2$  için boya giderimi



Şekil 5.11.  $\bar{I} = 5,44 \text{ mA/cm}^2$  için boya giderimi

Çalışmalardan çıkan en net sonuç akım yoğunluğunun artma zamanına ve arıtma maliyetine direkt etki ettiğidir. Akım yoğunluğunun arıtma zamanına etkisi arıtmayı hızlandırmasıdır. Akımın 3 amper olduğu zamanlarda arıtımın yüksek değerlere ulaşmasında geçen süre 200 sn iken, akımın 0,5 amper olduğu zamanda 17dk' da dahi arıtım % 90 civarlarındadır. Şekil 5.6.-5.11.' de görülen farklı akım yoğunlularının oluşturduğu eğimlerin enerji maliyeti ekseninde ve toplam boya giderimi ekseninde birbirlerine paralel ve zamanla birlikte arttığı gözlemlenmiştir.

Arıtma verimlerine bakıldığında %100' lere yaklaşan verimlerle karşılaşılmakta fakat bu yüksek verimlerin, yüksek maliyetleri olmaktadır. Bu çalışma için optimum akım yoğunluğu 10,89 mA/cm<sup>2</sup> seçilmiştir. Bunun sebebi yüksek verimde enerji maliyeti en az olan değer olmasıdır.

#### **5.4. Boya Giderme Verimi Üzerine Tuz Miktarının Etkisi**

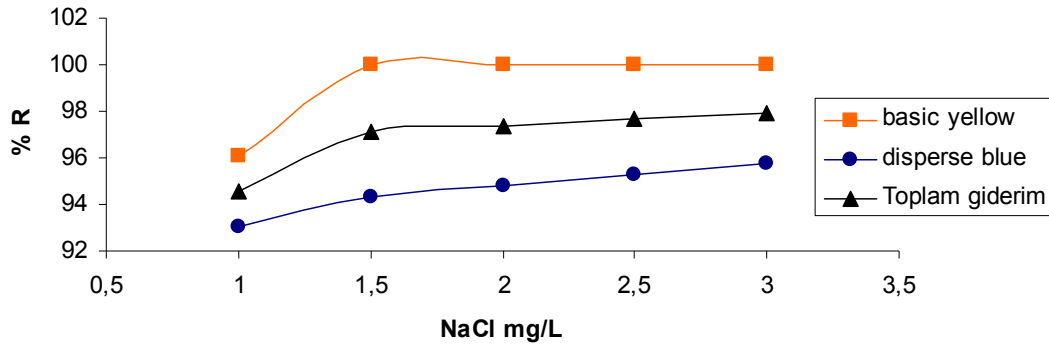
Atıksuların arıtımında çözeltinin iletkenliği elektrokimyasal prosesler için önemli bir etkidir. Bu şekildeki prosesler elektrod yüzeyinden çözeltilere ve çözelti içinde heterojen iyon transfer reaksiyonlarına dayanmaktadır [29]. Elektrokoagülasyonda genellikle atıksuyun iletkenliğini arttırmak için NaCl ilavesi yapılır. Atıksuyun iletkenliği uygun miktarda tuz ilavesi yapılarak ayarlanır. Ayrıca yapılan bir çalışmada, atıksu arıtımında sağlıklı bir elektrokoagülasyon uygulaması için anyonların arasında %20 oranında Cl<sup>-</sup> iyonunun bulunması tavsiye edilir [30].

Boya giderme üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi Şekil 5.12. gösterilmektedir. Deneysel analizlerin şartları ve sonuçları Tablo 5.5' de verilmiştir. Ek A Şekil A.5. ve Şekil A.6.' da çalışmaya ait UV-Vis spectrumları gösterilmektedir.



Tablo 5.5. Tuz konsantrasyonu etkisinin incelendiği analizlerin şart ve sonuçları

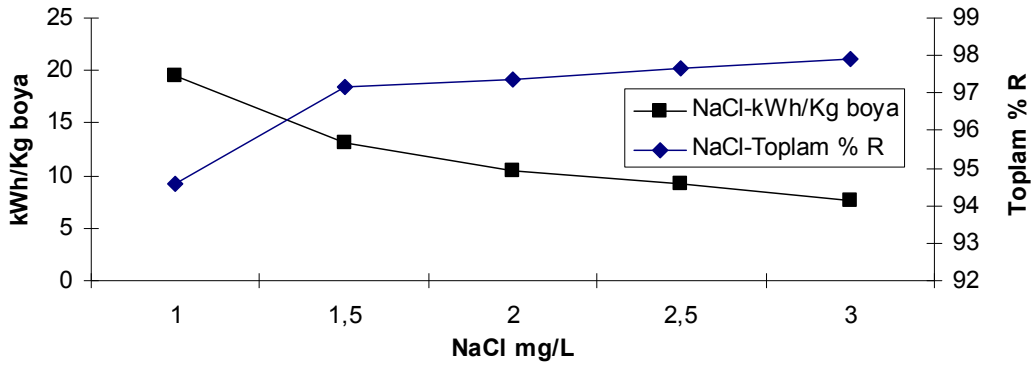
NaCl konsantrasyonu (g/L)	1	1,5	2	2,5	3
Akım (A)	1	1	1	1	1
Akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89
Voltaj (V)	22,1	15,2	12,3	10,8	8,9
Son voltaj	21,7	14,7	11,8	10,5	9
Süre (dk)	10	10	10	10	10
Başlangıç pH- son pH	10	10	10	10	10
Boya konsantrasyonu (mg/L)	200	200	200	200	200
Kalan boya konsantrasyonu (mg/L)	10,85	5,69	5,23	4,71	4,23
Boya giderme verimi % (basic yellow 28)	96,09	99,99	99,99	99,99	99,99
Boya giderme verimi % (dipers blue 56)	93,06	94,32	94,78	95,30	95,78
Toplam giderim %	94,57	97,16	97,38	97,65	97,89
Enerji tüketimi (kWh)	0,00368	0,00253	0,00205	0,0018	0,00148
kWh/Kg boya	19,47	13,04	10,53	9,22	7,58



Şekil 5.12. NaCl konsantrasyonlarının giderme verimine etkisi

NaCl ilavesi her iki boyanın da artıma verimini arttırmıştır. 1 g/L NaCl ilavesinde verim % 94,57 olurken 3 g/L ilave edildiğinde % 97,89 gibi bir verim sağlanmıştır.

Tuz konsantrasyonunun hem arıtıma verimine hem de arıtıma maliyetine etkisi vardır. Tuz ilavesi arttıkça enerji tüketimi azalmaktadır (Şekil 5.13.).



Şekil 5.13. NaCl konsantrasyonunun, 1 kg boyayı arıtmak için gerekli olan enerji tüketimine etkisi

Sonuç olarak tuz ilavesi arttıkça artım verimi artmakta, enerji maliyeti düşmektedir. En yüksek arıtım verimi ve en düşük enerji maliyeti 3 g/L NaCl ilavesinde elde edilmiştir. Bu çalışmadan sonra optimum tuz konsantrasyonu 3 g/L seçilerek çalışılmıştır.

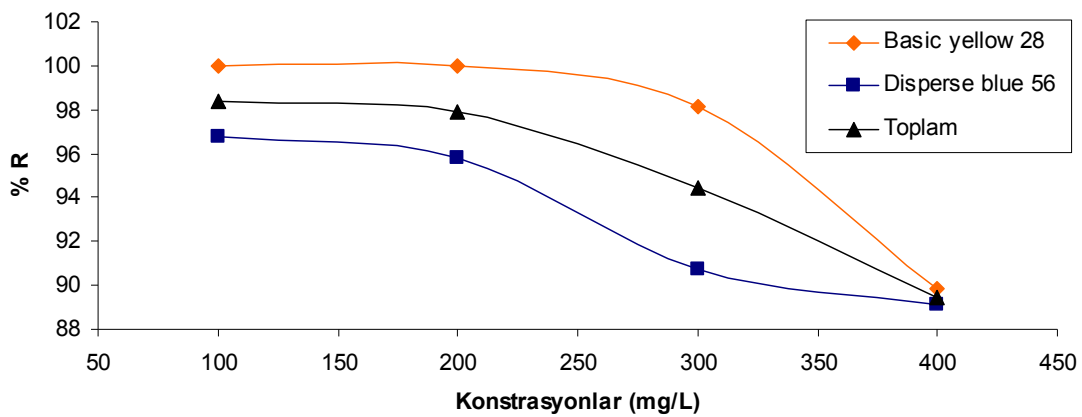
### 5.5. Başlangıç Konsantrasyonlarının Boya Giderme Verimi Üzerine Etkisi

Boya konsantrasyonlarının elektrokoagülasyonun verimine etkisini 400-100 mg/L boya konsantrasyon aralığında incelenmiştir. Deney şartları ve sonuçları Tablo 5.6.'da verilmiştir. Çalışmaya ait UV-Vis spectrumları Ek A Şekil A.7. ve Şekil A.8.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.6. Boya konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı deneylerin şart ve sonuçları

Boya konsantrasyonları (mg/Lt)	400	300	200	100
Akım (A)	1	1	1	1
Akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	10,89	10,89	10,89	10,89
Voltaj (V)	8,25	8,5	8,9	8,5
Süre (dk)	10	10	10	10
Başlangıç pH- son pH	10	10	10	10
Boya konsantrasyonu (mg/L)	400	300	200	100
Kalan boya konst. (mg/L)	42,17	16,63	4,23	1,64
Boya giderme verimi % (basic yellow 28)	89,82	98,18	99,99	99,99
Boya giderme verimi % (dispers blue 56)	89,10	90,74	95,78	96,74
Toplam giderim %	89,46	94,46	97,89	98,37
Enerji tüketimi (kWh)	0,00137	0,00142	0,00148	0,00142
kWh/Kg boya	3,84	5	7,58	14,4

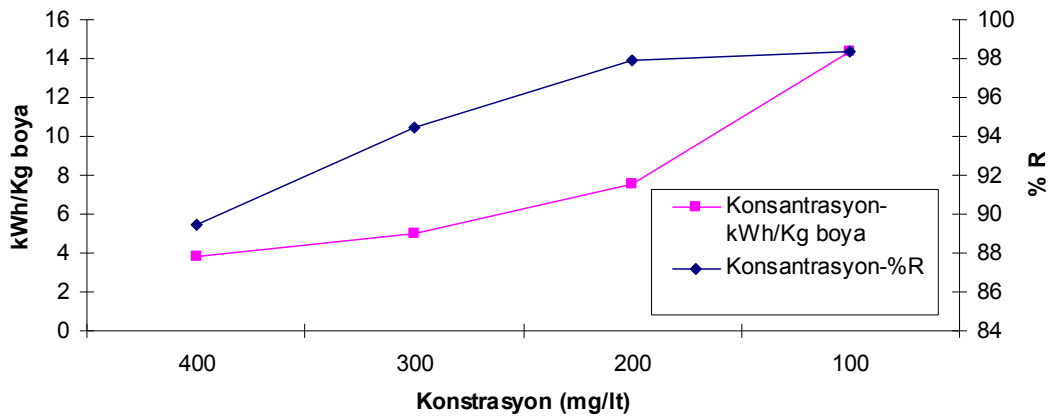
Sonuçlardan anlaşılacağı gibi 100 mg/L konsantrasyonlarda toplam giderim % 98,37 olarak ölçülürken 400 mg/L' de her iki boyanın toplam giderme verimi %89,46' ya düştüğü görülmektedir. Şekil 5.14 basic yellow 28 ve disperse blue 56 boyalarının konsantrasyona göre artım verimi görülmektedir. Bu grafikten konsantrasyonun artmasıyla, arıtım veriminde düşme açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.14. Başlangıç konsantrasyonlarının boya giderme verimine etkisi

Bakılması gereken bir diğer parametrede enerji tüketimi ve 1 kg boyanın giderilmesi için gerekli olan enerji tüketimidir. Şekil 5.15’ de grafikleri görülmektedir.

Enerji tüketimi ortalama 0,0014 kWh dolaylarında gerçekleşmiştir fakat 400 mg/L konsantrasyondaki çözeltinin arıtımında yüksek verim elde edilebilmesi için arıtım süre uzatılması gerekir buda enerji tüketiminin artması demektir. Yüksek konsantrasyonlardaki boyanın adsorpsiyonu için yüksek miktarda çamur gerekmektedir. Boya konsantrasyon artıldığında, boyayı adsorplayacak olan çamur miktarının da artması gerekmektedir. Diğer bir değişle yüksek konsantrasyondaki boyanın arıtılması için elektroliz süresinin uzatılması gerekmektedir.



Şekil 5.15. Başlangıç konsantrasyonlarının, 1 kg boyanın arıtılması için gerekli enerji tüketimi üzerine etkisi- enerji tüketimi

Boya konsantrasyonunun renk giderme verimine etkisinden dolayı, 1 kg boya giderimi için enerji tüketimi 100 mg/L konsantrasyondaki çözeltide 3,84 kWh/Kg boya değeri ile en düşük seviyededir. Diğer yandan 400 mg/L boya konsantrasyonunda bu değer en yüksek seviyede 14,4 kWh/ Kg boya' dır.

### 5.6. Tüketilen Demir Miktarı

Deneyleer esnasında kullanılan demir elektrotlardan çözünen demir miktarının hesaplanması amacıyla, optimum şartlar altında elektrokoagülasyon uygulaması yapılmış olup deneyin şartları ve Tablo 5.7.' de verilmiştir.

Deneyin yapılışı; Demir elektrotlar elektrokoagülasyon öncesinde ve sonrasında temizlenip, kurutulduktan sonra tartılmıştır. Yapılan iki ağırlık ölçümü arasındaki fark alınarak çözünen demir miktarı hesaplanmıştır. Yapılan deneyin sonucunda 12dk' lık elektoliz süresinde 0,41 gr demir tüketilmiştir.

Tablo 5.7. Tüketilen demir miktarı hesabı ( I= 1 amper, pH=10, t=12dk, NaCl=3mg/L, Konst.=200mg/L)

Elektrokoagülasyon öncesi ilk tartım (gr)	671,28
Elektrokoagülasyon sonrası son tartım (gr)	670,87
Tüketilen demir miktarı (gr)	0,41
Teorik olarak tüketilen demir miktarı (gr)	0,21
Akım verimi (%)	195

## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR**

- a. Çalışmalarda elektrod materyali olarak yüksek performansından dolayı demir elektrodlar kullanılmıştır.
- b. Bazik ve dispers boyanın demir elektrod kullanılarak renginin uzaklaştırma verimi; ilk pH, akım yoğunluğu, tuz konsantrasyonu ve ilk boya konsantrasyonları tarafından etkilenmektedir.
- c. Bazik ve dispers boyaların arıtılmasında pH etkisi incelendi. pH 2-10 arasında ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre optimum pH 10 olarak bulunmuştur.
- d. Bazik ve dispers boyanın renginin uzaklaştırma veriminin % 100' e en yaklaştığı veriler ilk boya konsantrasyonunun 100 mg/L olduğu konsantrasyonda ve pH 10' da bulunmuştur.
- e. Bazik ve dispers boyanın bulunduğu çözeltilere uygulanan elektrokoagülasyon sonucunda, çözelti pH' larında artış olmuştur.
- f. Reaksiyon zamanının renk giderme verimi üzerine etkisi incelenip optimal şartlar için en uygun veriler elde edilmiştir.
- g. Boya çözeltisinin renginin giderilmesinde reaksiyon zamanı 1-10 dk arasında incelenmiştir.
- h. Boya karışımı için optimum reaksiyon zamanı 10 dk bulunmuştur.

- i. Boya konsantrasyonu 100-400 mg/L arasında incelenmiştir. Boya konsantrasyonunun artmasıyla arıtım verimi düşmektedir.
- j. İlave edilen tuz miktarının bazik ve dispers boyanın giderim verimi üzerine etkisi incelenerek çözeltiliye eklenmesi gereken optimum tuz miktarı bulunmuştur. İlave edilen tuz miktarının hem artıma verimi hem de maliyet açısından önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Buna göre optimal şartlarda gereken tuz miktarı da 3 g/L olarak bulunmuştur.
- k. Akım yoğunluğunun giderme verimi ve tüketimi üzerine etkisi incelenmiştir. Buna göre en uygun akım yoğunluğu pH 10' da 10 dk deney süresi için, 10,89 mA/cm<sup>2</sup> dir.

## **BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER**

- a. Değişik elektrokoagülasyon reaktörleri için renk giderimi , KOİ giderimi ve enerji tüketimi araştırılmalıdır. Ayrıca kesik reaktörlerin yanında, ardışık reaktörler kurularak prosesin uygulanabilirliği araştırılabilir.
- b. Elektrot seçiminde demir ve alüminyum dışında, alternatif kurban elektrotlar kullanılarak analizler karşılaştırılabilir.
- c. Birden fazla ve değişik türdeki boyalar ile farklı özellikteki tekstil atıksuları için elektrokoagülasyon araştırılmalıdır.
- d. Elektrokoagülasyon metodun diğer endüstriler için kullanılabilir olup olmadığı araştırılabilir.
- e. Elektrokoagülasyon prosesinde verimi etkileyen en önemli parametrelerden pH için kapsamlı bir çalışma ile her pH değerinde verimin zamana göre değişimi araştırılabilir.
- f. Optimum şartların dışında olan tekstil endüstrisinden temin edilecek atıksular ile kapsamlı bir verim araştırması yapılabilir.
- g. Voltaj değişikliği arıtma çamuru ilişkileri incelenmeli ayrıca oluşan çamurun uzaklaştırılması ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır.
- h. Elektrokimyasal metotlar; elektrotların maliyeti ve yüksek enerji tüketimi sebebiyle ekonomik olarak tutarsız kabul edildiğinden sulu atıksuların işleyişinde pratik olarak uygulanamamıştır. Bu proses, klasik arıtma tekniklerinin dezavantajlarını elimine eden bir potansiyel olarak görülmektedir.



i. Şimdiye kadar yapılan literatür araştırmalarından ve yapılan çalışmadan elektrokimyasal teknolojilerin geliştirilebilir, ekonomik ve kolay kurulabilecek olması, sistemin karmaşık olmayışı, kalifiye eleman gerektirmemesi ve kimyasal ilaveye ihtiyaç duyulmaması bakımından ümit verici bir yöntemdir.

## KAYNAKLAR

- [1] TÜNAY, O., Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul, 1996.
- [2] 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.
- [3] GÜRBÜZ, S., AKİNALC, C., “Tekstil Endüstrisi Atıksuların Arıtılması”, Sakarya Üni. Çevre Müh. Bitirme Tezi, 2002.
- [4] GEZERGEN, S., Tekstil Sanayi Atıksularının Arıtılması Üzerine Araştırma, Yük. Lis. Tezi, GYTE Çevre Müh. A.B.D. Gebze, 1998.
- [5] LIN, S.H., PENG, C.F., Treatment of textile wastewater by electrochemical method. 28:277-82, 1994.
- [6] BAŞIBÜYÜK, M., YÜCEER, A. YILMAZ, T., Tekstil Atıksularında Renk Giderimesinde Kullanılan İleri Teknolojiler, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu, S. 82-86, Kayseri, 1998.
- [7] TAKIMCI, F., Azo Boyası İçeren Tekstil Atıksuyunun Anaerobik Olarak Arıtılması ve Renk Giderimi, Yük. Lis. Tezi. İ. T. Ü. Fen Bil. Ens. İstanbul, 1996.
- [8] KOYUGÖLGE, T., “Yünlü Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Biyolojik Arıtımı ve Renk Giderimi”, İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, 1994.
- [9] FİLİBELİ, A., BÜYÜKAKMACI, N., AYOL, A., “Anaerobik Arıtma” D.E.Ü. Mühendislik Fak. Basım Ünitesi, İzmir, 2000.
- [10] ARMAĞAN, B., ÖZDEMİR, O., TURAN, M., ÇELİK, M.S., “İstanbul Teknik Univ. 8. Endüstriyel Kirlenme Kontrol Sempozyumu EKK 2002”, Bildiriler, 385-390, İstanbul 2002.
- [11] MACHENBACH, I., Membrane Technology for Dyehouse Effluent Treatment, Membrane Technology, 96, 7-11. 1998.
- [12] SOJKA-LEDAKWICZ, J., KOPROWSKI, T., MACHNOWSKI, W., KNUDSEN, H.H., “Membrane Filtration of Textile Dyehouse Wastewater

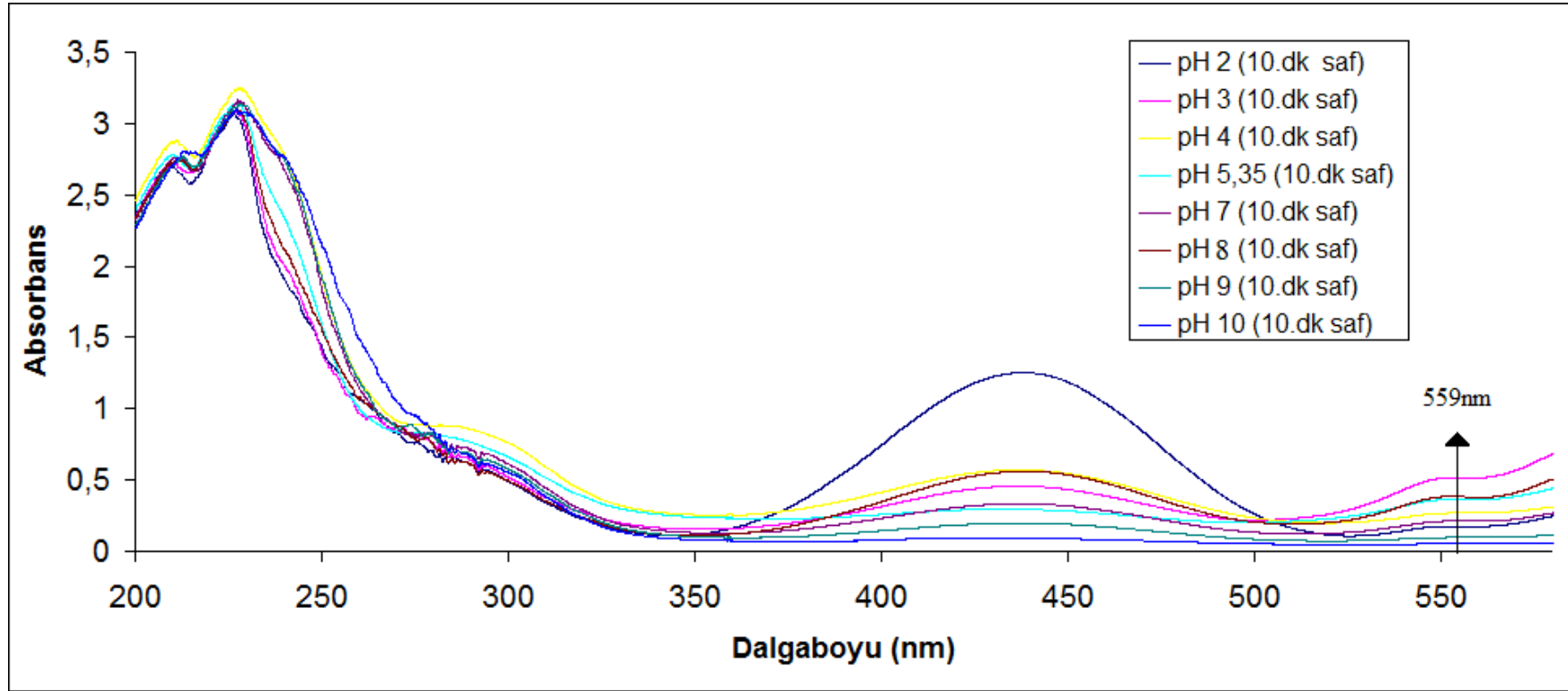
- for Tecnological Water Reuse”, Desalination 119,1-10, 1998.
- [13] LIN, H.S., LAI, L.C., “ Kinetic Characteristic of Textile Wastewater Ozonationin Fluidized and Fixed Activated Carbon Beds”, Wat. Res, 34 (3)763-772, 2000.
- [14] HU, T.L., Decolourization of Reactive Azo Dyes By Transformation with Pseudomonas Luteolai Bioresource Tech., 49, 47, 1994.
- [15] TURABİK, M., KUMBUR, H., “İstanbul Teknik Üniversitesi 8. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu EKK 2002”, Bildiriler, 390-400, İstanbul, 2002.
- [16] AMIRTHARAJAH, A., O’MELIA, C.R., Water Quality and Treatment, American Water Works Association, Fourth Edition, McGraw-Hill, 1990.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] PLETCHER, D., WALSH, F.C., “ Industrial Electrichemistry ”, Second Edition, Blackie Academic Professional, London, 1993.
- [20] 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.
- [21] CHMIELEWSKI, A. G., URBANSKI, M.W., “Separation Technologies for Metals Recovery from Industrial Wastes”, Hydrometallurgy 45, 333-344, 1977.
- [22] GEZER, A., KESKİNLER, B., “Elektrokimyasal Depolama Tekniği ile Ağır Metal Giderimi”, 10. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, Haziran, 2006.
- [23] MOLLAH, M.Y.A., SCHENNACH, R., PARGA, J.R., et. al., “Electrocoagulation (EC) – Science and Application”, Journal of Hazardous Materials, B84, 29-41, 2001.
- [24] LARUE, O., VOROBIEV, E., VU, C., et. al., “Electrocoagulation and Coagulation by Iron of Latex Particles in Aqueous Suspensions”, Separation and Purification Technology, 31, 177-192, 2003.
- [25] İLHAN, F. KURT, U., APAYDIN, Ö., ARSLANKAYA, E., GÖNÜLLÜ, M. T., Elektrokimyasal Arıtım ve Uygulamaları: Katı Atık Sızıntı Suyu Çalışması, AB sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre

Sorunları Sempozyumu TÜRKAY 2007.

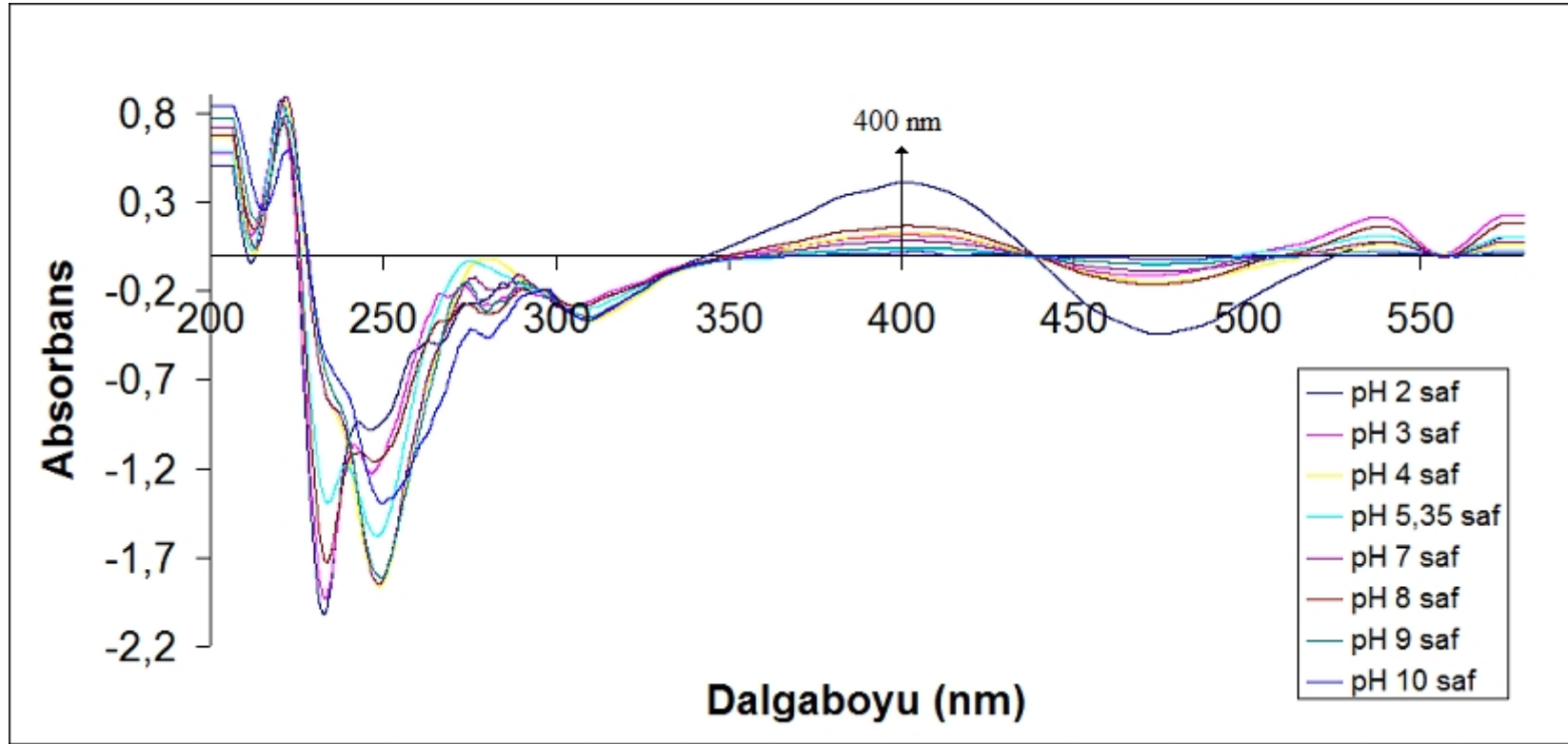
- [26] CABEZA, A., URTIAGA, A., RIVERO, M.J., et. al., “Ammonium Removal from Landfill Leachate by Anodic Oxidation, Journal of Hazardous Materials, 2007.
- [27] ANDRADE, L.S., AUGUSTO, L., RUOTOLO, M., et. al., “On the Performance of Fe and Fe, F doped Ti-Pt/PbO<sub>2</sub> Electrodes in the Electrooxidation of the Blue Reactive 19 Dye in Simulated Textile Wastewater”, Chemosphere, 66, p. 2035-2043, 2007.
- [28] CHEN, G., “Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment”, Separation and Purification Technology 38, 11-41, 2004.
- [29] AKBULUT, H.Y., “Siyanür ve Krom(VI) İçeren Galvanik Atıksuların Elektrokimyasal Yöntemler Kullanılarak Arıtılması”, Yüksek Lisans Tezi, GYTE, 2000.
- [30] 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.
- [31] ŞENGİL, İ.A., ÖZACAR, M., “Effectiveness of Tanin Obtained from Valonia as a Conagulant for Dewatering of Sludge”, Water Res, 34 (4) 1407, 2000.
- [32] 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.

## **EKLER**

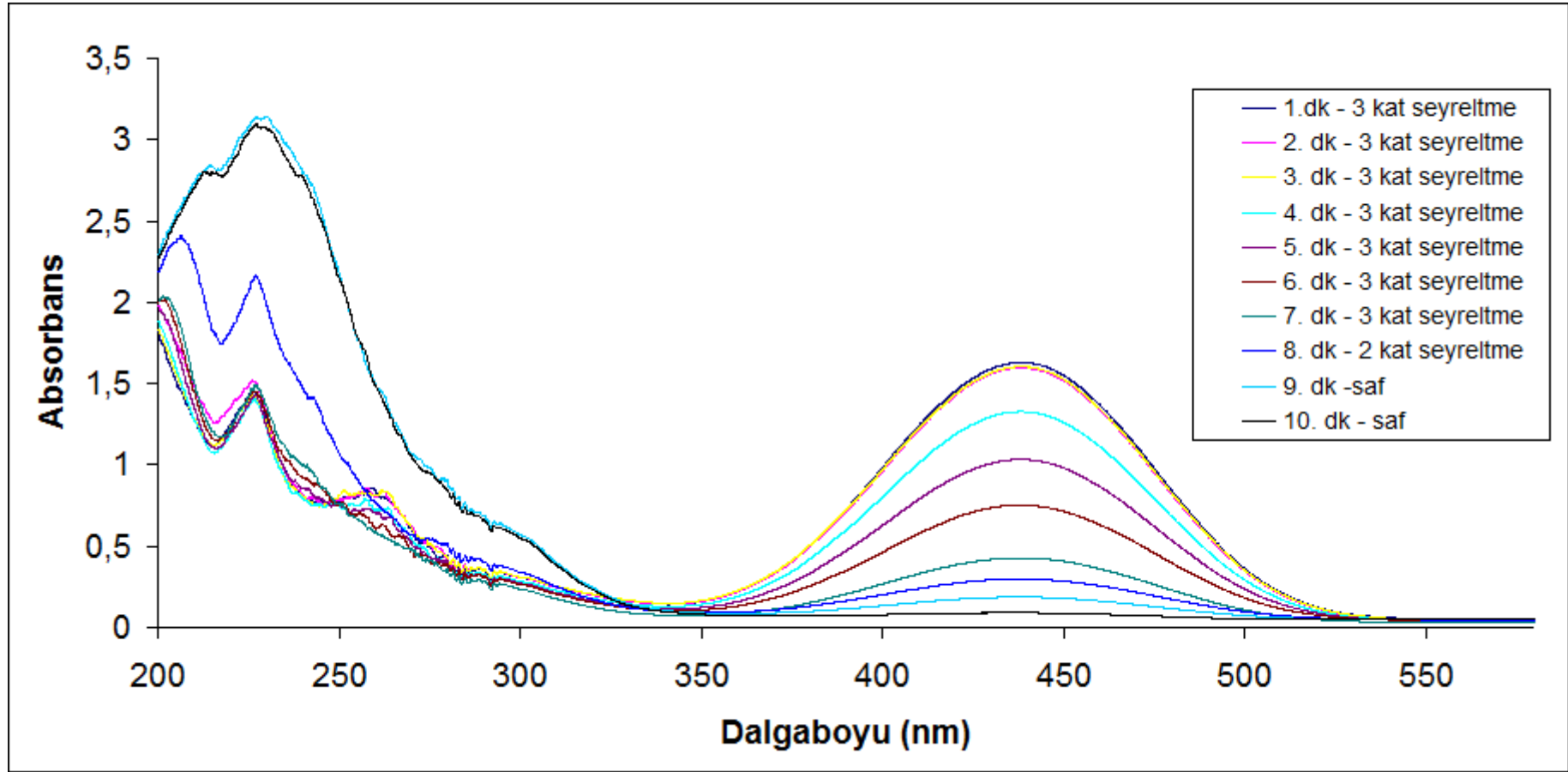
### **Ek A Uv-Vis Spectrumları**



Şekil A.1. Disperse blue 56 boyar maddesinin farklı pH' lardaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumları (  $I=1$  amper,  $Co_b = 100\text{mg/L}$  basic yellow 28,  $Co_d = 100\text{mg/L}$  dispers blue 56,  $Co = 200\text{ mg/L}$ ,  $t = 10\text{ dk}$ ,  $\text{NaCl} = 3\text{ g/L}$  )

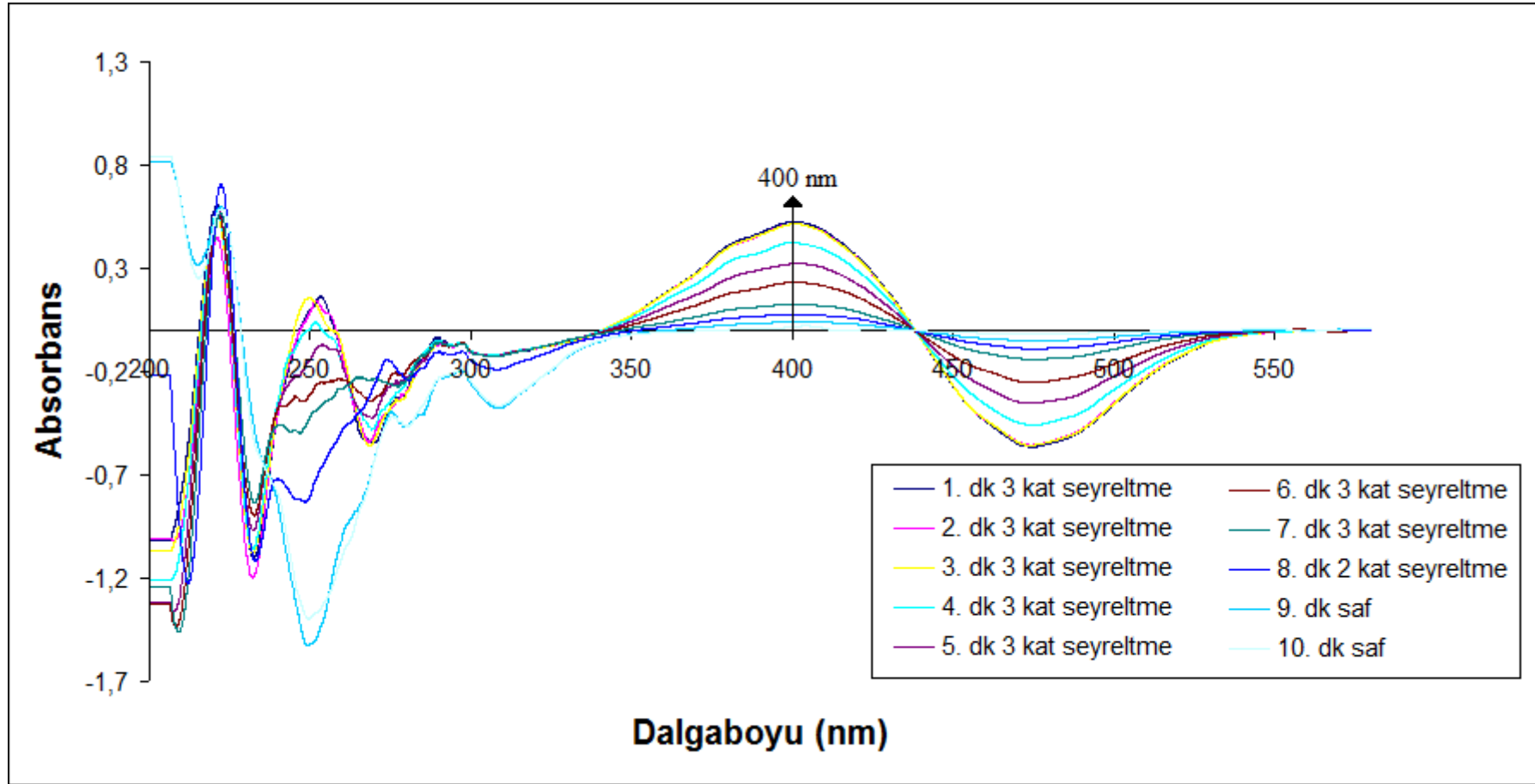


Şekil A.2. Basic yellow 28 boyar maddesinin farklı pH'lardaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumlarının türevi (  $I = 1$  amper,  $Co_b = 100$ mg/L basic yellow 28,  $Co_d = 100$ mg/L dispers blue 56,  $Co = 200$  mg/L,  $t = 10$  dk,  $NaCl = 3$  g/L )

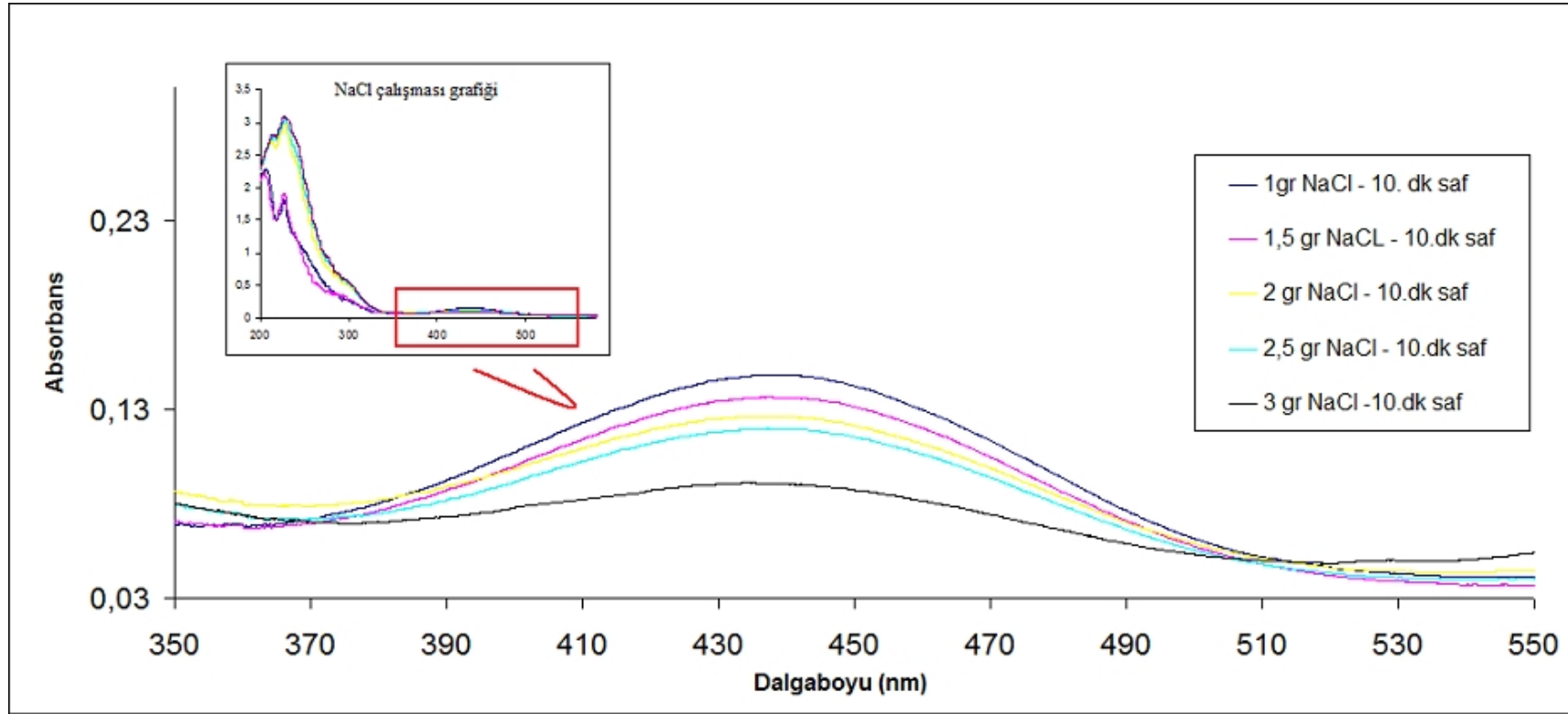


Şekil A.3. Disperse blue 56 boyar maddesinin zamana bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumları (  $I = 1$  amper,  $Co_b = 100$  mg/L basic yellow 28,  $Co_d = 100$  mg/L dispers blue 56,  $Co = 200$  mg/L,  $t = 10$  dk, NaCl = 3 g/L, pH 10 )

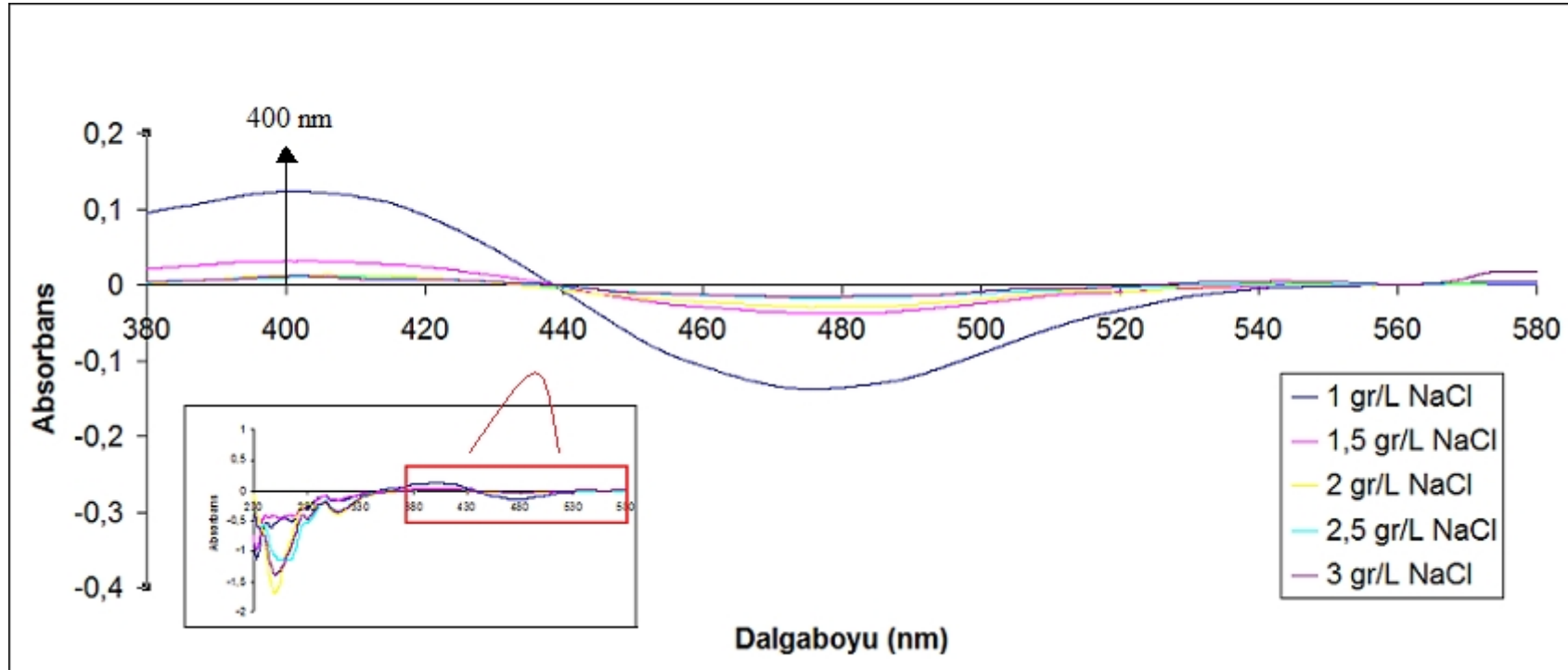




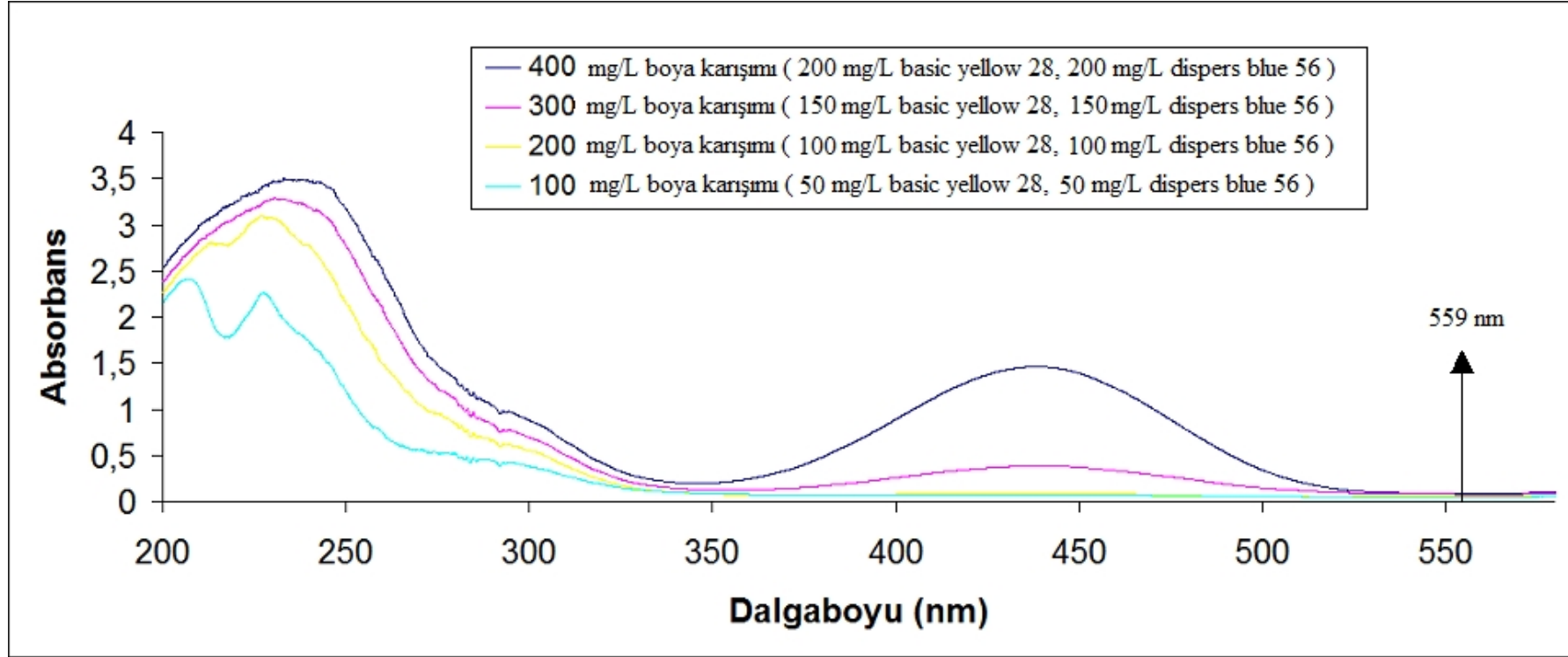
Şekil A.4. Basic yellow 28 boyar maddesinin zamana bağlı renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumlarının türevi (  $I = 1$  amper,  $Co_b = 100$ mg/L basic yellow 28,  $Co_d = 100$ mg/L dispers blue 56,  $Co = 200$  mg/L,  $t = 10$  dk, NaCl = 3 g/L, pH 10 )



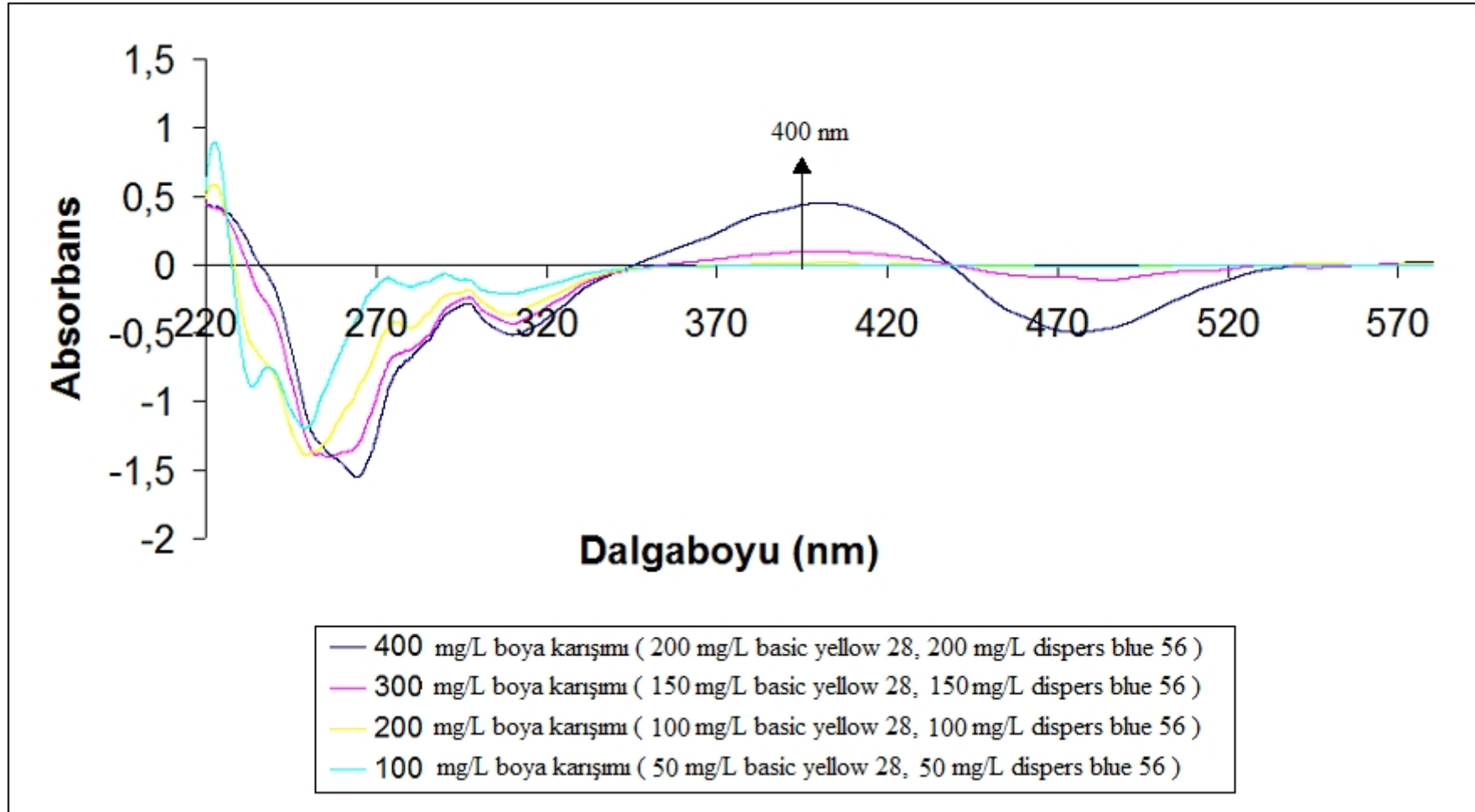
Şekil A.5. Disperse blue 56 boyar maddesinin farklı NaCl konsantrasyonlarındaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumları (  $I = 1$  amper,  $Co_b = 100$ mg/L basic yellow 28,  $Co_d = 100$ mg/L disperse blue 56,  $Co = 200$  mg/L,  $t = 10$  dk, g/L, pH 10)



Şekil A.6. Basic yellow 28 boyar maddesinin farklı NaCl konsantrasyonlarındaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumlarının türevi (  $I = 1$  amper,  $Co_b = 100\text{mg/L}$  basic yellow 28,  $Co_d = 100\text{mg/L}$  dispers blue 56,  $Co = 200\text{ mg/L}$ ,  $t = 10$  dk, g/L, pH 10)



Şekil A.7. Disperse blue 56 boyar maddesinin farklı boya kontrasyonlarındaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumları (  $I=1$  amper,  $t=10$  dk,  $\text{NaCl}=3$  g/L,  $\text{pH}10$  )



Şekil A.8. Basic yellow 28 boyar maddesinin farklı boya kontrasyonlarındaki renk giderimi tayinine ait UV-Vis spektrumlarının türevleri (  $I=1$  amper,  $t=10$  dk,  $\text{NaCl}=3$  g/L,  $\text{pH}10$  )

## ÖZGEÇMİŞ

Ege Kağan KARADAĞ, 23.01.1985 de Kocaeli' de doğdu. İlköğretimini sırası ile Karadeniz Ereğli Özel TED Koleji, Çankaya İlkokulu ve Gölcük Piri Reis İlköğretim okulunda okudu. Ortaokul ve liseyi Gölcük Atatürk Anadolu Lisesinde tamamladı. Lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünde 2006 yılında tamamladı. 2006 yılında aynı üniversitenin Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen aynı bölümde öğrenimine devam etmektedir.