

**ELEKTROKOAGÜLASYON
YÖNTEMİ İLE
RENK GİDERİMİNİN İNCELENMESİ**

Hande AKBAŞ

Yüksek Lisans Tezi

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr Tuba
ÖZTÜRK**

2014

**T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTROKOAGÜLASYON YÖNTEMİ İLE RENK GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

HANDE AKBAŞ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR TUBA ÖZTÜRK

TEKİRDAĞ-2014

Her hakkı saklıdır

Bu alışma Namık Kemal Üniversitesi tarafından NKUBAP.00.17.YL.12.04 nolu proje kapsamında desteklenmiştir

Yrd. Doç. Dr Tuba ÖZTÜRK danışmanlığında, Hande AKBAŞ tarafından hazırlanan “Elektrokoagülasyon Yöntemi İle Renk Gideriminin İncelenmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Yrd. Doç.Dr Tuba ÖZTÜRK

İmza:

Üye: Doç. Dr Tolga TUNÇAL

İmza:

Üye: Yrd. Doç Dr Aylin YILDIZ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTROKOAGÜLASYON YÖNTEMİ İLE RENK GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

Hande AKBAŞ

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr Tuba ÖZTÜRK

Tekstil, proses olarak çok fazla suya ihtiyaç duyan buna bağlı olarak da yüksek debilerde atıksu oluşturan bir sanayi dalıdır. Bu sanayi atıksuları miktar ve bileşim yönünden çok değişken olup, güçlü kirleticilere sahiptir. Prosesde bu özellikteki atıksuların ana kaynağını, boyama işlemi oluşturmaktadır. Bu işlem sırasında kullanılan boyarmaddelerin önemli miktarı, elyafa tam olarak bağlanamamakta ve renkli atıksu olarak açığa çıkmaktadır. Boyarmaddeler, çoğunlukla insanlar üzerinde mutajenik ve kanserojenik etkiye sahip toksik kimyasallardır. Bu nedenle atıksudan giderilmeleri insan ve çevre sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kimyasal maddelerin giderimleri konusunda, özellikle son dönemlerde yoğun araştırmalar yapılmakta ve çeşitli arıtım yöntemleri incelenmektedir. Elektrokoagülasyon bu arıtım yöntemleri içerisinde boyarmadde giderimindeki verimi ile yerini almaktadır. Bir elektrokimyasal süreç olan elektrokoagülasyon, eşzamanlı olarak birden fazla arıtım prosesinin gerçekleştiği işlemler bütünüdür. Bu çalışmada bir iplik boyama tesisinin boyama banyosundan alınan atıkların ve bu banyoda kullanılan boyarmadde ile hazırlanan sentetik boyarmadde çözeltilerinin elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtımı incelenmiştir. Al ve Fe elektrotların kullanıldığı çalışmada, deneyler optimum arıtım şartları belirlenerek yürütülmüştür. Deneyler sonucunda sentetik boyarmadde çözeltileri için Fe elektrotlarla %99 renk ve %61 KOI giderimi, Al elektrotlarla %96 renk ve %57 KOI giderimi sağlanmıştır. Boyahane atıksuları için ise Fe elektrotlarla %89 renk ve %55 KOI giderimi, Al elektrotlarla %87 renk ve %55 KOI giderim verimi elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: İplik üretimi, Boyarmadde, Setazol Black TNN, Elektrokoagülasyon, Al/Fe Elektrot

2014, 73 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION OF THE COLOR REMOVAL BY ELECTROCOAGULATION

METHOD

Hande AKBAŞ

Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Tuba ÖZTÜRK

Textile is a branch of industry which needs too much water in its processes and accordingly too much capacity of waste water occurs. This waste water has strong pollutants and also with various components and quantities. The main source of the characterized waste water is dyeing process. During the dyeing process, most of the coloring agent don't adhere the fiber thus colored waste water get out of the process. Coloring agents are toxic chemicals which have mutagenic and carcinogenic effect on human health. That's why the treatment of colored waste water is significant issue for human health and the environment. Especially in recent years, intensive researches were made about treatment of these chemical materials and examinations of treatment methods. Electrocoagulation takes place in the method of treatments with its efficiency of removing the coloring agents. Electrocoagulation is the electrochemical process which lots of treatment processes occurring in the set of operations. In this study, waste water of dye bath from the fiber dyeing industry, and synthetic colorant solution (used in the dye bath) which preparing with the coloring agent were examined in treatment of the electro coagulation method. Al and Fe electrode were used and experiments were carried out at the optimum conditions. As a results of experiments for synthetic colorant solution; removal of color and COD is; at the Fe electrode: 99 % and 61% , at the Al electrode: 96% and 57% respectively, in addition results of experiments for waste water of dye bath; removal of color and COD is; at the Fe electrode: 89 % and 55% , at the Al electrode: 87% and 55% respectively.

Keywords: Filament production, Dye, Setazol Black TNN, Electrocoagulation, Al/Fe electrode

2014, 73 pages

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
ŞEKİL DİZİNİ	v
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1.GİRİŞ	1
2. TEKSTİL SANAYİ VE İPLİK ÜRETİMİ	3
2.1 Tekstil Sanayi.....	3
2.2 İplik Üretimi.....	5
2.3 Tekstil Sanayinin Türkiye'deki Yeri.....	9
3. BOYARMADDELER VE İPLİK BOYAMA İŞLEMİ	12
3.1 Renk ve Boyarmadde.....	12
3.2 İplik Boyamada Kullanılan Boyarmaddeler.....	13
3.2.1 Reaktif boyarmaddeler.....	15
3.2.2 Reaktif boyarmaddelerin sınıflandırılması.....	17
3.2.2.1 Kimyasal yapılarına göre.....	17
3.2.2.2 Kromofor gruplarına göre.....	18
3.2.2.3 Reaktivliklerine göre.....	19
3.3. İplik Türlerine Göre Boyarmadde Seçimi.....	19
3.3.1 Yün liflerinin boyanması.....	20
3.3.2 Sentetik liflerinin boyanması.....	22
3.3.3 Selüloz liflerinin boyanması.....	23
4. ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER	28
4.1 Elektrokimya.....	28
4.2 Elektrokimyasal Arıtım Yöntemleri.....	30
4.2.1Elektrodiyaliz Yöntemi.....	30
4.2.2 Elektroforez yöntemi.....	31
4.2.3 Elektroflotasyon yöntemi.....	32
4.2.4 Elektrooksidasyon yöntemi.....	32
4.2.5 Elektrokoagülasyon yöntemi.....	34
4.2.5.1. Elektrokoagülasyon yöntemini etkileyen faktörler.....	36
4.3 Elektrokoagülasyon Yöntemi ile İlgili Literatür Araştırmaları.....	40
5. MATERYAL VE YÖNTEM	43
5.1. Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Renk Giderimi.....	43
5.2. Deneyin Yürütülüşü.....	46
6. BULGULAR ve TARTIŞMA	48
6.1. Sentetik Boyarmadde Çözeltileri için Optimum Deney Şartlarının Belirlenmesi.....	48
6.2. Boyahane Atıksuları için Optimum Deney Şartlarının Belirlenmesi.....	55
6.3. Sentetik Boya Çözeltileri ve Boyahane Atıksularının Elektrokoagülasyon.....	60
Yöntemiyle Arıtımı.....	63
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
8. KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	73

ÇİZELGE DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Lif türleri.....	5
Çizelge 2.2 : En fazla tekstil ihracatı yapan ülkeler.....	11
Çizelge 5.1 : İplik boyama banyosu reçetesi.....	45
Çizelge 5.2 : Boyarmaddenin ticari özellikleri.....	45
Çizelge 5.3 : Numunelerin elektrokoagülasyon reaktörü giriş değerleri	46

ŞEKİL DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Tekstil ve hazır giyim sanayinde üretim süreci.....	3
Şekil 2.2 : İplik üretimi iş akış şeması.....	7
Şekil 2.3 : Pamuktan iplik üretimi.....	9
Şekil 3.1 : Rengin algılanmasında gerekli olan materyaller.....	12
Şekil 3.2 : Reaktif boyarmaddenin yapısındaki gruplar.....	16
Şekil 3.3 : Tipik bir reaktif boyarmaddenin molekül yapısı.....	17
Şekil 3.4 : Kromofor grupları ve özellikleri.....	18
Şekil 3.5 : Boyama öncesi ön işlem basamakları.....	24
Şekil 3.6 : Naylon boyama işlemi.....	24
Şekil 3.7 : Pamuk boyama işlemi	25
Şekil 4.1 : Elektrokimyasal reaktörde gerçekleşen olaylar ve kütle denklıkları.....	28
Şekil 4.2 : Elektroforezin çalışma şeması.....	31
Şekil 4.3 : Elektrooksidasyon prosesinde kirleticilerin parçalanması	33
Şekil 4.4 : Elektrokoagülasyon prosesinin ilerleyişi	35
Şekil 4.5 : Sulu ortamda alüminyum kompleksleri ve pH ilişkisi.....	39
Şekil 4.6 : Sulu ortamda demir kompleksleri ve pH ilişkisi.....	40
Şekil 5.1 : İplik boyama ünitesi iş akım şeması	44
Şekil 5.2 : Setazol Black TNN'nin kimyasal yapısı.....	45
Şekil 5.3 : Elektrokoagülasyon ünitesi.....	47
Şekil 6.1 : Akım yoğunluğunun a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi... üzerindeki etkisi.....	49
Şekil 6.2 : pH'nın a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki... etkisi.....	51
Şekil 6.3 : Başlangıç boya konsantrasyonu a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için..... giderimi üzerindeki etkisi.....	52
Şekil 6.4 : Sıcaklığın a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki... etkisi.....	54
Şekil 6.5 : Akım yoğunluğunun a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki etkisi.....	56
Şekil 6.6 : pH'ın a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki etkisi	57
Şekil 6.7 : Seyrelmenin a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi	58
Şekil 6.8 : Sıcaklığın a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki.. etkisi.....	59
Şekil 6.9 : a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar ile renk ve KOİ giderim verimi	60
Şekil 6.10 : a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar ile renk ve KOİ giderim verimi	61

KISALTMALAR VE SİMGELER

EK	: Elektrokoagülasyon
H	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
HOCl	: Hipoklorit
Na ₂ SO ₄	: Sodyum Sülfat
PAC	: Poli Alüminyum Klorür
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
R	: Organik Bileşik
MO _x	: Oksitlenmiş Anot
MO _{x+1}	: Aktif Oksijen
i	: Akım şiddeti (A)
t	: Elektroliz süresi (sn)
\overline{Ek}	: Kimyasal ekivalent
F	: Faraday sayısı (96500 kulon)
Q	: Elektrik miktarı (kulon)
k _e	: Orantı faktörü
Δm	: Elektrotlardan ayrılan maddeyi (g)

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım süresince, öncelikle bu tez çalışma konusunun belirlenmesinden başlamak üzere, çalışmanın her aşamasında nasıl yol izleyeceğim konusunda, karşılaştığım sorunların çözümünde bana yol gösteren, aynı zamanda bilgi ve tecrübelerinden önemli derecede yararlanma imkanını benden esirgemeyen, çalışmam boyunca bana karşı hep motive edici yönde tavır sergileyen, saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Tuba ÖZTÜRK'e sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan Çevre Mühendisliği Lisans öğrencilerinden; Aydın SELVİ, Merve YILDIZ ve Oğuz KİZEK'e,

Söz konusu tez çalışma konusunda materyal-metot kısmında kullanılan boyarmaddenin temininde her türlü kolaylığı sağlayan farklı tekstil fabrikaları çalışanlarından Egemen PALA, Deniz Yıldız GÖÇER ve Savaş ÖZKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana her türlü desteği veren ve hep yanımda olan sevgili aileme en derin teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Tekirdağ İli Türkiye'nin Kuzeybatısında, Marmara Denizinin kuzeyinde yer almaktadır. Yaklaşık 6.313 km² yüzölçümüne sahip olan il, doğudan İstanbul, kuzeyden Kırklareli, batıdan Edirne, güney-batıdan Çanakkale, güneyden Marmara Denizi ile çevrilidir. Tekirdağ İli'nin Marmara Deniz'ine yaklaşık 133 km, Karadeniz'e 2,5 km kıyısı bulunmaktadır.

Adrese dayalı nüfus sayımı 2012 yılı sonuçlarına göre yaklaşık 852 bin kişi nüfusa sahip olan il, 9 ilçe, 257 köy ve 33 belediyeye sahiptir. Bu nüfusun yaklaşık %31'i belde ve köylerde, %69'u il/ilçe merkezlerinde yaşamaktadır. Nüfus artış hızının yaklaşık %0 26,7 ile ülke ortalamasının üstünde olduğu ilde, Çorlu ilçesi yaklaşık 273 bin kişi ile en yüksek nüfusa, Marmara Ereğlisi ise 22 bin kişi ile en düşük nüfusa sahip ilçeleridir (Albayrak ve ark. 2012, TÜİK 2012).

Tekirdağ ili önemli bir tarım şehri olmasının yanısıra İstanbul'a yakınlığı ve entegre bir ulaşım ağı üzerinde yer alması nedeniyle son yıllarda sanayi açısından da cazip bir konuma gelmiştir. Bölgede yoğunlaşan sanayi tekstil, deri, gıda, makine, metal, metal eşya, tarım aletleri ve enerji olarak sınıflandırılmaktadır. Bu endüstriyel üretim kolları içerisinde tekstil sanayi önemli bir yer tutmakta ve ülke genelindeki tekstil üretiminin yaklaşık %10'unu karşılamaktadır (Albayrak ve ark. 2012, Sanayi Genel Müdürlüğü 2012).

Tekstil sanayi iplik üretimi ve işlemleri başta olmak üzere kumaş dokuma, örme, halı üretimi ve terbiye işlemlerini kapsamaktadır (Eraslan ve ark. 2008). Tekstil sanayi bu üretim kollarının yanısıra ürünlerin renklendirilmesi olan boyama işlemlerini de kapsamaktadır. Boyama işlemleri buna bağlı olarak da tekstil sanayi, renklendirme amacıyla kullanılan çok çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip boyarmaddeler nedeniyle, çevresel açıdan önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada bölgemizdeki tekstil sanayi boyama banyolarında yoğun olarak kullanılan, buna bağlı olarak da proses atıksularında yüksek oranda bulunan Setazol Black TNN'nin elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılabilirliği incelenmiştir. 2011 yılında SKKY'ye renk parametresinin eklenmesi ile renk gideriminin daha da önem kazandığı günümüzde,

sözkonusu çalışma Tekirdağ İl sınırları içerisinde yer alan bir tesisin iplik boyama banyosundan alınan atıksular ve yine bu boyarmadde ile hazırlanan sentetik boyarmadde çözeltileri ile gerçekleştirilmiştir.

Al ve Fe elektrotlarla aşamalı olarak yürütülen deneylerde öncelikle kullanılan arıtım prosesi üzerinde etkili parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiştir. En uygun arıtım şartlarının kısa periyotlu deneylerde belirlenmesinin ardından, uzun periyotlu çalışmalara geçilerek bu boyarmadde için elektrokoagülasyon yönteminin etkinliği değerlendirilmiştir.

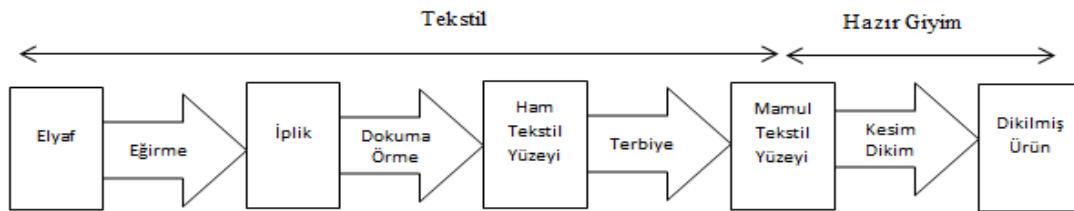
2. TEKSTİL SANAYİ VE İPLİK ÜRETİMİ

2.1. Tekstil Sanayi

Tekstil, ülkelerin ekonomik kalkınma sürecinde önemli rol oynayan bir sanayi dalı olarak bilinmektedir. Gelişmiş ülkelerin 18. yüzyılda gerçekleştirdikleri sanayileşme sürecin önemli katkısı olan tekstil, günümüzde gelişmekte olan ülkelerin ekonomik kalkınmalarında benzer bir rol oynamaktadır.

Tekstil ve hazır giyim sanayi, elyaf ve ipliği kullanım eşyasına dönüştürecek süreçleri kapsayan işlemleri içerir. Bu tanıma göre sektör; elyaf hazırlama, iplik, dokuma, örgü, boya, baskı, apre, kesim, dikim üretim süreçlerini kapsamaktadır. Elyaftan iplik ve mamul kumaşa kadar olan kısım tekstil, kumaştan giyim eşyası elde edilene kadar olan süreç ise hazır giyim olarak değerlendirilmektedir.

Sektörün nihai kullanıma yönelik ürünleri çok genel olarak hazır giyim, hazır eşya ve teknik tekstiller olarak gruplandırılmaktadır. Bu kapsamda çorap, kazak, gömlek, pantolon, takım elbise gibi giyim eşyası; perde, çarşaf gibi ev tekstili halı ve diğer tekstil yer kaplamaları; ağ, ip, kablo, taşıyıcı tekstil bandı, branda, koruyucu bez, filtre, paraşüt, fren bezi, keçe gibi diğer tekstil ürünleri yer almaktadır. Tekstil teknolojileri elyaf ve iplikten üretilen, genellikle esnek (bazı durumlarda esnek olmayan) malzemelerin üretim teknolojileri ile bu malzemeleri şekillendirme ve mamul hale getirmede kullanılan teknolojiler olarak tanımlanmaktadır. Tekstil ve hazır giyim üretimi en geniş şekliyle aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir (Fırat Kalkınma Ajansı 2011).



Şekil 2.1. Tekstil ve hazır giyim sanayinde üretim süreci (Fırat Kalkınma Ajansı 2011)

Tekstil sanayi çeşitli üretim türlerinden meydana gelen heterojen bir yapıya sahiptir. Bu heterojen yapının yaş proseslerini; kasar, boya, baskı, merserizasyon gibi terbiye işlemleri kuru proseslerini ise dokuma, örme, kurutma, fikse işlemleri meydana getirmektedir.

Kasar/Ön kasar işlemi; müşterinin talep ettiği kumaşın ağarlaştırılması yani beyazlaştırılması için yapılan bir terbiye işlemidir. Pratik olarak sektörde, çoğu kez boya makinalarında kostik kimyasalının kullanılması ile yapıldığında ön kasar, boya kazanlarının haricinde sürekli kasar makinalarında yapıldığında ise kasar işlemi olarak adlandırılmaktadır

Boya işlemi; müşterinin talep ettiği renk ve tonlarda gerek iplik gerekse kumaşların çeşitli renkler altında boyama kazanlarında boyamaya tabi tutulduğu işlemlerdir. Çoğu kez kasar işleminden sonra yapıldığı gibi, kasara ya da ön kasara tabi tutulmadan da yapılabilmektedir.

Baskı işlemi; kumaşa yapılacak olan renk ve desen çalışmalarını ihtiva eder. Baskı işlemi için şablonlar hazırlanır ve kumaşa baskı işlemi gerçekleştirilir. Rotasyon baskı, pigment baskı, reaktif baskı ve varak baskı çeşitleri ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Bu çeşitlerden reaktif baskı hassas kumaşlar üzerinde gerçekleştirilmektedir. Baskı işlemi tamamlandıktan sonra ise boyanın fikse olması için buharlama makinasına oradan da yıkama ve kurutma makinasına alınmaktadır.

Merserizasyon işlemi; her zaman uygulanmayan, ön terbiye işlemlerine daha çok yüksek kaliteli mamullerde veya boyalı ve baskılı malların boya verimini arttırmak üzere ilave edilen bir prosestir. Merserizasyon prosesi, pamuğun makinede bir yandan gerilim altında tutulurken bir yandan da yüksek konsantrasyonda kostik çözeltisiyle muamele edilerek, pamuğun parlaklaştırılması ve dayanıklılaştırılması için yapılan işlemlerdir. Buradan çıkan kumaşlar müşteri siparişine göre boyahane, baskı ya da sevkiyat ünitesine gönderilmektedir.

Kuru bölüm ünitelerinde ise boyahanedan gelen kumaşlara, müşteri talebine göre çekmezlik ve traşlama gibi fiziksel özellikler kazandırılmaktadır.

Tekstil sadece iplik ve kumaş üretimi anlamına gelmemekte, halıcılık, otomotiv, yangın söndürme hortumları gibi birçok farklı alanda da kullanılmaktadır. Gelişmiş otomasyon tesislerinde iplik eğirme, dokuma ve örme gibi farklı prosesler birarada bulunmaktadır (Eraslan ve ark. 2008, Akbaş ve ark. 2013, Anonim 2014).

Tekstil dünyanın en önemli üretim sektörlerinden birisidir. 1980-1999 yılları arasında tüm dünyada tekstil üretimi %15 artarken, ticareti %150 artmıştır. Gelişmiş ülkeler tekstilde üretim ve ticaret paylarını korurken, giyim sanayi üretimi iş gücü maliyetleri düşük ülkelere kaymaktadır. Son yirmi yılda bloklar içi (AB, NAFTA ve Uzakdoğu) tercihli ticaret ağırlık kazanmış, Asya'nın dünya tekstil ticaretindeki payı %25'den %45'e, Amerika'nın %20'den %30'a çıkmış, Avrupa'nın dünya tekstil ticaret payı ise %33'e gerilemiştir (Akbaş ve ark. 2013).

2.2.İplik Üretimi

İplik üretimi, dokuma ve örme kumaş üretimine hammadde tedariği ile tekstil sanayinin temel kollarından birisi konumundadır (İTKİB 2013). İpliğin hammaddesi olan lifler, enine kesitine göre boyu çok uzun olan, esnek, eğrilebilir maddelerdir. Tekstil yapılarının temel unsurunu teşkil eden elyaf veya lifler, temin edildikleri kaynakların türlerine göre adlandırılırlar. Lifler devamlı (filament) veya devamsız (stapel) olarak da sınıflandırılmaktadır. Çizelge 2.1'de lif türleri verilmektedir.

Çizelge 2.1 Lif türleri (Fırat Kalkınma Ajansı 2011)

Doğal Lifler			Kimyasal Lifler	
Bitkisel Lifler	Hayvansal Lifler	Madensel Lifler	Doğal maddelerden elde edilenler (suni elyaf)	Sentetik maddelerden elde edilenler
1.Tohum Lifleri -Pamuk 2.Gövde Lifleri -Keten -Kenevir -Jüt -Rami 3.Sert Lifler -Yaprak lifleri -Meyve lifleri	1.Örtü Lifleri -Moher (Keçi yünü) -Kaşmir (Keçi yünü) -Deve Kılı -Lama yünü -Apaka yünü -Angora yünü 2.Salgı lifleri -İpek	1.Kaya Lifleri -Asbest lifleri	1.Selülozik -Kimyasal Lifler -Viskoz/Modal asetat 2.Protein Esaslı -Kimyasal lifler -Rejenere lifler 3.Cam Lifleri 4.Metal Teller -Metal lifler	İnorganik (petrol, kömür) esaslı kimyasal lifler 1.Poliamid -Perlon -Naylon 2.Poliakril -Dralon -Orlon 3.Polyester -Trevira -Diojen -Dunova 4.Poliüretan -Likra, Dorlastan, Elastan

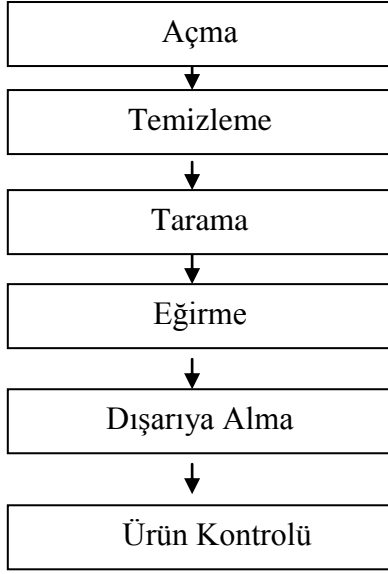
Her lif kendine has özelliklerine göre belirli ürünlerde kullanılmaktadır. Lifler, uzunluğu, inceliği, düzlüğü, rengi, parlaklığı, nem çekme özelliği, ısı tutma özelliği, buruşma özelliği, kopma dayanıklılığı, sürtünme ve aşınma sağlamlığı, sıcak tutma özelliği, zararlılara karşı dayanıklılığı dikkate alınarak farklı ürünlerin elde edilmesinde tek başlarına veya diğer liflerle karıştırılarak kullanılmaktadır.

Doğal lifler özellikle insan sağlığı açısından daha olumlu özelliklere sahip oldukları için tercih edilmekle birlikte ayrıca tarımsal girdi olması nedeniyle üretimi ve tüketimi devletlerce desteklenmektedir. Kimyasal liflerin üretimi ise esas olarak kimya sanayinin konusu olmaktadır. Ancak bu alandaki teknolojik yenilikler ile daha yüksek performanslı yeni liflerin geliştirilmesi tekstil sektöründeki değişimi etkilemektedir (Halkbank 2010).

Bütün bunların yanısıra iplik üretiminde kullanılan hammaddenin özelliklerine ve eğirme teknolojisine bağlı olarak farklı prosesler geliştirilmiştir. Bu proseslerdeki işlem basamaklarının sayısı fazla olmakla birlikte donanımlı makine ve sistemler kullanılmaktadır. Kısa elyaf iplik üretiminde ring iplikçilik, open-end (açık uçlu, rotor) iplikçilik ve hava jetli eğirmecilik gibi ticari kullanımda kendini kanıtlamış üç iplik eğirme sistemi bulunmaktadır. İplik üretimi doğal ve yapay elyafların çeşitli aşamalar ile açılıp, temizlenip, karıştırılıp, tülbent ve şerit haline getirilmesi, istenilen numarada eğrilip bobinlenmesi işlemleridir. Ring iplikçilik bu işlemleri daha fazla sayıda prosesle, open-end (açık uçlu) ve hava jetli eğirmecilik daha az sayıda proses ile yapmaktadır.

Ring iplik eğirme sisteminin yatırım ve işletim maliyeti yüksek olmakla birlikte, çok çeşitli numara ve türde iplik üretimine imkan vermektedir. Bu sistemde kalın numara iplikler, gömleklik kumaşlar için ince numara iplikler, pamuk, polyester, viskon, akrilik, keten ve poliamid gibi çok çeşitli elyaflar kullanılabilir.

Türkiye’de ring ve open-end (açık uçlu) eğirmecilik, kısa elyaf iplik üretimine hakim olan sistemlerdir. Türkiye’nin iplik üretim kapasitesi 2.300.000 ton kısa elyaf iplik (pamuk, vb.), 400.000 ton uzun elyaf iplik (yün, vb.), 800.000 ton filament (kesiksiz) iplik (Gontek ve ark. 2012). İplik üretimi pamuk ipliği, yün ipliği, suni-sentetik iplik ve keten ipliği gibi ipliğin çeşitli hammaddelerine göre değişiklik göstermektedir (Hacıbebekoğlu ve ark. 2011). İplik üretimi Şekil. 2.2’de şematize edilmiştir.



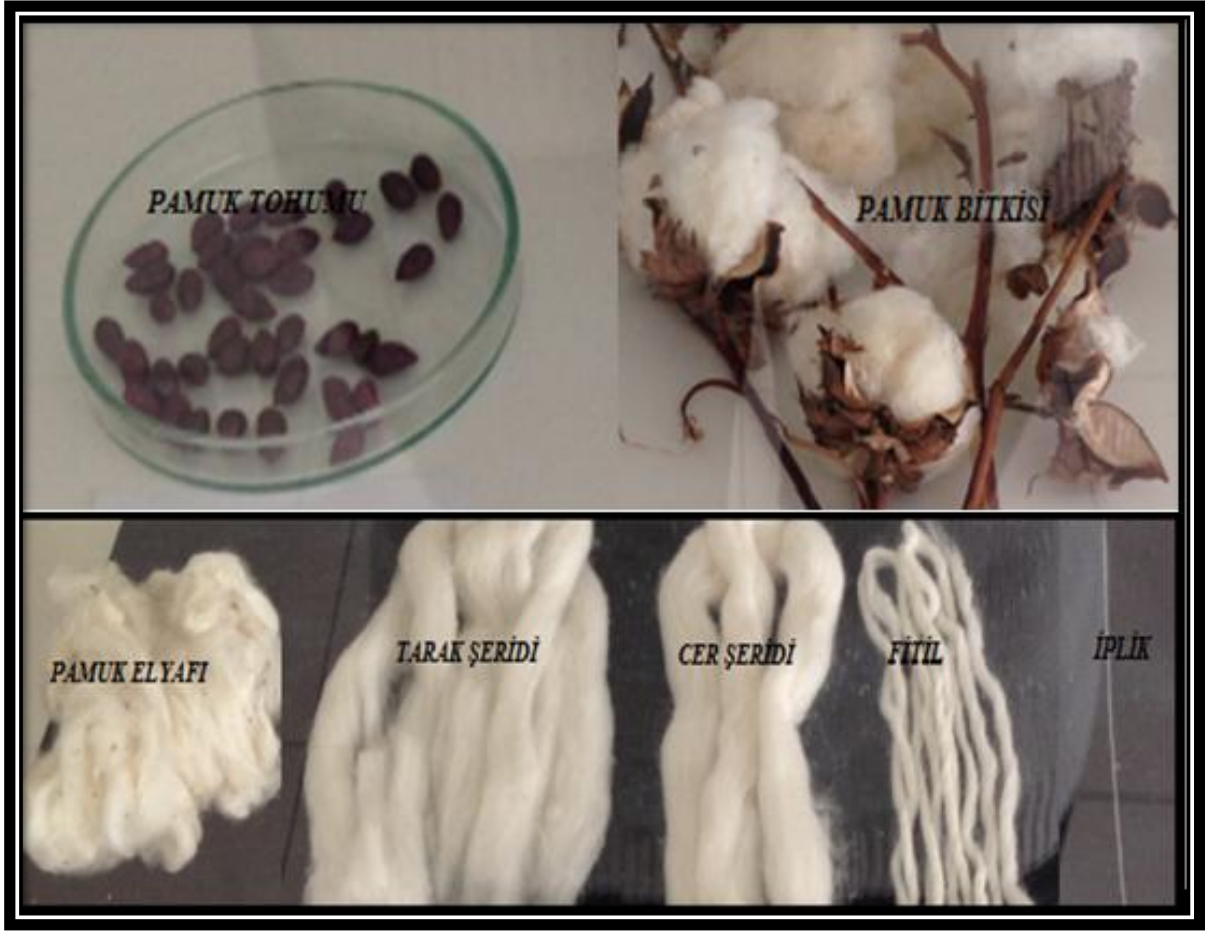
Şekil 2.2 İplik üretimi iş akış şeması (Hacıbebekoğlu ve ark. 2011)

İplik üretimindeki en önemli basamak taraklamadır. Ancak taraklamadan önceki açma ve temizlemenin de etkin bir şekilde yapılması rotor iplikçiliği açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle harman-hallaçta, toz uzaklaştırma yeteneği yüksek olan makinelerin kullanımı, küçük çaplı rotorların randımanlı çalışması için hayati önem taşımaktadır. Taraklama işleminin amacı neps, toz gibi yabancı maddelerin hammaddeden uzaklaştırılmasıdır. Son yıllarda üretime giren modern tarak makineleri bu amaçların gerçekleştirilebilmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

Tarama işlemi ile rotor iplik makinesinde işlenecek ipliğe mukavemet kazandırılmaktadır. Kısmi tarama (% 8'e kadar telef ayrımı) ile kısa liflerin önemli bir bölümü, yabancı maddeler, neps vs. ayıklandığı için %15' e varan bir mukavemet artışı sağlanabilmektedir. Tam bir tarama uygulamasının (% 14-18 telef oranı) mukavemeti daha da artırdığı görülmektedir. Taranmış bantların rotor iplikçiliğinde kullanılmasının avantajı sadece mukavemetteki artış değil, aynı zamanda diğer iplik özelliklerinde de görülen iyileşmelerdir. Bu arada kopuş sayılarında da azalma söz konusu olmaktadır.

Eğirme komponentleri açıcı silindir, rotor ve çıkış düzesidir. Rotor iplik makinesindeki temel eğirme elemanları eğirme kutusu (spinbox) adı verilen kapalı bir bölmede bulunmakta ve birbirleri ile uyum içinde çalışmaktadır.

Rotorda oluşan iplik, çekim düzesinin ve onu takip eden kanalın içinden geçerek dışarıya alınmaktadır. Rotorun dönüşü ipliğın bu düzenin kenarlarına sürtünerek yuvarlanmasına yol açmaktadır. Bu şekilde iplik üzerinde bir yalancı büküm etkisi meydana gelmekte, etkinin büyüklüğü düzenin yapısına ve yüzey durumuna bağılı olarak değışmektedir. Düze üzerinde yer alabilecek olan çentikler ve kanallar bu etkiyi arttırmaktadır. Sonuçta daha düşük büküm uygulama olanağı nedeniyle daha yumuşak ve hacimli iplikler üretilebilmektedir. Ancak bu tip düzelerin kullanımı ile lif kırıntıları ve avivaj maddeleri lif üzerinden ayrılarak eğıirme bileşenlerinin kirlenmesine yol açmaktadır. Düz yapılı düzelerin kullanımı ile düzgün yapılı iplikler üretilebilmektedir. Ancak bobin oluşumunda iplik katmanları arasındaki tutuculuk azalacağı için bununla ilgili bazı problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu arada düzenin kenar kısmının yarıçapı fazla olursa daha fazla bir temas yüzeyi sağılayacağı için daha düşük büküm değeri ile iplik üretimi yapılabilir. Düzelerin aşınması söz konusudur ve zaman zaman değıştirilmeleri önerilmektedir. Düz yapılı düzeler dokuma ipliklerinin ve yapay liflerin eğıirilmesinde kullanılmaktadır. Üzeri çentikli olan düzeler ipliğe bir titreşim kazandıracak için büküm dağılımının daha iyi olmasını sağılamaktadır. Seramik düzeler aşınmaya dayanıklıdır ancak sürtünme nedeniyle üzerinde oluşan ısının dağıtılması daha zor olmaktadır. Bu nedenle termoplastik yapay liflerin işlenmesinde düz yapılı çelik düzeler tercih edilmelidir. İplik düzeden geçtikten sonra çıkış kanalı boyunca ilerleyerek dışarıya alınmaktadır. Bu kanalın boyun kısmında iplik ile kanalın duvarı arasında bir sürtünme meydana gelmektedir. Bu sürtünmenin de büküm dağılımına olumlu etkileri olmaktadır. Bu sürtünmeyi artırmak için bu noktaya büküm durdurucu adı verilen (torgue - stop veya twist blocking element) bir parça ilave edilmektedir. Bu parçanın ilavesi ile rotor ve düze arasındaki ipliğın üzerinde bulunan büküm seviyesi geçici olarak yükselmektedir. Bu da ipliğın oluşum noktasında büküm alımına olumlu katkı sağılamakta ve kopuşları bir miktar daha azaltmaktadır (Hacıbebekoğlu ve ark. 2011). Şekil 2.3'de pamuktan iplik üretimine ait aşamalar gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Pamuktan iplik üretimi (NKÜ, 2014)

2.3. Tekstil Sanayinin Türkiye'deki Yeri

Türkiye, AB'nin tekstilde birinci, konfeksiyonda ikinci dünyanın ise yedinci büyük hazır giyim tedarikçisidir. Ülkemiz, hammadde açısından dünyanın altıncı büyük pamuk ve Avrupa'nın ikinci büyük kimyasal elyaf üreticisidir. Türkiye'nin boya, baskı, apre gibi terbiye işlemleri kapasitesi AB'ye eşittir. Dokuma ve örgü kapasitesi ise AB'nin %25'i kadardır (Akbaş ve ark. 2013).

Türkiye aynı zamanda 3500000 ton üretimin kapasitesi ile önemli bir iplik üreticisidir. Marmara Bölgesi iplik üretiminde %31,3'lük dilimle ilk sırada yer almaktadır. Marmara Bölgesini %20,8 ile Güneydoğu, %20,6 ile Akdeniz, %16,3 ile Ege, % 6,4 ile İç Anadolu , % 2,9 ile Doğu Anadolu ve % 1,7 ile Karadeniz Bölgesi takip etmektedir.

Ülkede yaklaşık 617 üretim tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin 181 tanesi (%29,3) Marmara, 134 tanesi (%21,7) Doğu Anadolu, 124 tanesi (%20,1) Akdeniz, 109 tanesi (%17,7)

Ege, 41 tanesi (%6,6) İç Anadolu, 16 tanesi (%2,6) Doğu Anadolu ve 12 tanesi (%1,9) Karadeniz Bölgesi'nde bulunmaktadır (Bayraktar 2003).

İplik üretimi Kahramanmaraş, İstanbul, Adıyaman, Gaziantep, Bursa gibi illerde yoğunlaşırken havlu, bornoz, ev tekstili imalatı Denizli'de, iplik, battaniye Uşak'ta, terbiye Çorlu ve Çerkezköy'de, dokuma Denizli, Tokat ve Adana'da, polipropilen, dokusuz yüzey, makine halıcılığı Gaziantep'te, konfeksiyon, örme İstanbul'da, ipekli mamul üretim ise çoğunlukla Bursa Bölgesi'nde yapılmaktadır (Ekti 2013, Halkbank 2010).

Türkiye'nin iplik üretim kapasitesi yaklaşık 3.500.000 tondur. Dokuma alanında 1.350.000 ton, örmeye ise 2.250.000 tonluk bir kapasite söz konusudur (Halkbank 2010).

2012 yılında Türkiye'den 128 farklı ülkeye 1,6 milyar dolar değerinde iplik ihracatı yapılmıştır. 2012 yılında en fazla ihraç edilen ürün grubu sentetik liflerden elde edilmiş ipliklerdir. Türkiye'den en fazla ihraç edilen diğer iplik ürün grubu ise pamuk iplikleridir. Türkiye iplik ihracatının % 85'ten fazlası sentetik ve pamuk iplikleri ihracatı olarak gerçekleştirilmiştir (İTKİB 2013).

Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM) tarafından açıklanan verilere göre, 2013 Ocak-Mayıs döneminde 7 milyar dolar değerinde hazır giyim ve konfeksiyon ihracatı yapılmıştır. 2012 yılının Ocak-Mayıs dönemine kıyasla ülkemizin hazır giyim ve konfeksiyon ihracatında, dolar bazında yüzde 7,7 oranında artış yaşanmıştır. Yine TİM verilerine göre; 2013 Ocak-Mayıs döneminde, Türkiye genel ihracatı yüzde 4.4 oranında artarak 62.23 milyar dolara yükselmiştir. Hazır giyim ve konfeksiyon sektörü ise yüzde 7.7 oranında artış ile Türkiye ihracat artışının üzerinde bir artış gerçekleştirmiştir. Ayrıca 2013 Ocak-Mayıs döneminde, hazır giyim ve konfeksiyon ihracatının Türkiye genel ihracatındaki payı bir önceki yılın aynı döneminde yüzde 10.8 iken bu yılın aynı döneminde yüzde 11,3'e yükselmiştir. Söz konusu ihracat verilerinin dağılımı Çizelge 2.2'de verilmektedir (Anonim 2014).

Çizelge 2.2. En fazla tekstil ihracatı yapan ülkeler (Anonim 2014)

Ülke	Yıl		Artış (%)
	2011	2012	
Rusya Federasyonu	1,110	1,263	13,8
Almanya	1,229	1,006	-18,1
İtalya	898	783	-12,8
ABD	626	670	7
Suudi Arabistan	333	441	32,4
İngiltere	428	440	2,8
Toplam	11,496	11,693	1,7

Tekstil sektöründe en fazla ihraç edilen ürün grupları sıralamasında dokuma kumaşlar %37,5 ile ilk sırada yer almaktadır. Bu grubu, % 20,7 ile örme kumaşlar, % 13,6 ile suni-sentetik iplikler, % 11 ile dokunmamış kumaşlar ve eşyalar, % 5,9 ile pamuk ipliği, %5,4 ile suni-sentetik elyaf izlemektedir.

Sektörde ihraç edilen ürün gruplarının 2011 2012 yılları arasındaki ihracat değerleri incelendiğinde, dokuma kumaşda bir önceki yıla göre %4,9 oranında, suni-sentetik ipliklerde %2, pamuk ipliği'nde %24,7 kayıp yaşandığı görülmektedir. Bunun yanında, örme kumaşlarda %0,8, dokunmamış kumaşlar ve eşyalarda %7,2 oranında artış yaşanmıştır (Şenel 2012).

3. BOYARMADDE VE İPLİK BOYAMA İŞLEMİ

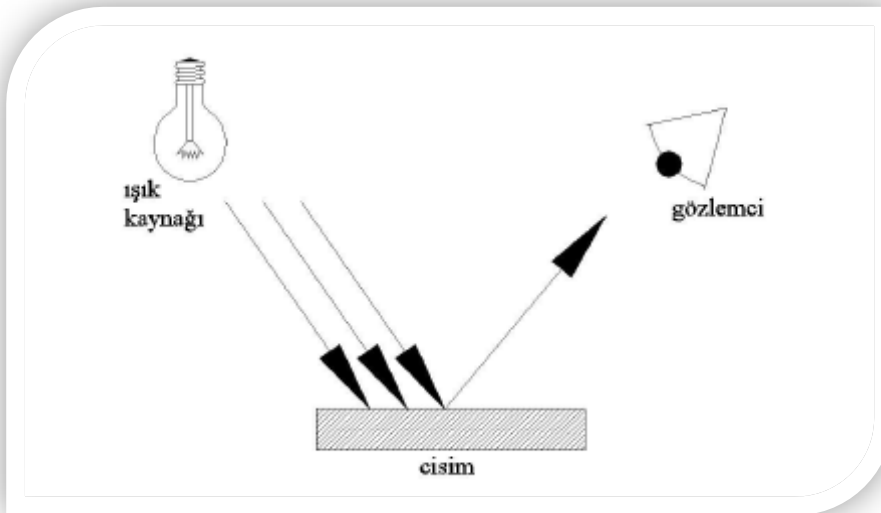
3.1. Renk ve Boyarmadde

Renk belli bir ışık türü, bu ışığın insan gözü üzerine etkisi veya algılayıcının zihninde bu etkinin sonucudur. İnsan gözünün, yaklaşık 10 milyon farklı rengi birbirinden ayırt edebileceği tahmin edilmektedir.

Renk ölçüm bilimi, bir rengi sayısal olarak ifade edebilmek üzere yapılan çalışmaları kapsamakta ve fizik, kimya gibi yalnızca malzemeye ait olan bilimlere değil bunların yanında psikoloji ve fizyoloji gibi biyolojik bilimlere de içine almaktadır.

Bir rengin algılanabilmesi için Şekil 3.1’de belirtilen;

- Işık kaynağına,
- Bu ışık kaynağının aydınlattığı bir cisme
- Rengi algılayacak olan göz/beyin veya benzer faaliyette bulunabilecek ek bir teçhizata ihtiyaç duyulmaktadır (Özdemir 2010).



Şekil 3.1. Rengin algılanmasında gerekli olan materyaller (Çimen 2013)

Boyarmadde bir yüzeye uygulandığında dekoratif ve koruyucu bir tabaka oluşturan malzeme olarak tanımlanmaktadır. Sentetik organik boyarmaddelerin yapısında benzen, naftalin, antrasen gibi mürekkep içerikli bileşikler bulunmaktadır. Benzen, toluen, naftalinin türevleri gibi aromatik hidrokarbonlar ve anilin, benzidin, toludin, afitilamin gibi ara maddeler kullanılarak bu boyarmaddeler elde edilmektedir (Edecan 2006).

Boyarmaddenin yapısının dışında, boyanacak lifin cinsi gibi tekstil ürünlerinin yapısı, yardımcı kimyasal maddelerin kullanımı, boyama yöntemi boyama sıcaklığı, süresi gibi etkenler de boyama işlemini etkileyen faktörlerdendir. Boyarmaddelerin kullanım alanları, tekstil liflerinin türlerine göre değişiklik göstermektedir (Çoban 1999).

3.2. İplik Boyamada Kullanılan Boyarmaddeler

Sentetik boyarmaddeler tekstil, boya, kağıt ve baskı endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada 700.000 ton/yıl boyarmadde üretimi yapılmaktadır (Balcı 2007).

Tekstil endüstrisinde elyafa renk vermek için boyama prosesinde farklı boyarmaddeler kullanılmaktadır (Cırık ve ark. 2013). Boyarmaddeler kromoforlardan ve kromofor grubunun özelliklerini arttıran ve destekleyen oksokrom adı verilen gruplardan oluşmaktadır. Organik bir molekül içinde renkli görünümü sağlayan atom, atom grubu veya elektronlara kromofor denir. Kromofor grupları, azo (-N=N-), karbonil (-C=O), metil (-CH=) ve nitro (-NO₂) gruplarıdır (Liang ve Chiou 2005).

Azo boyarmaddeler; ticari uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan bir veya daha fazla -N=N- grupları ile aromatik bileşiklerden oluşan sentetik boyarmaddelerdir (Solanki ve ark. 2013). Azo boyarmaddeler çoğunlukla tekstil, plastik, gıda, kozmetik ve kağıt sektöründe kullanılmaktadır (Chen ve ark. 2011). Bu sentetik boyarmaddelerin bu kadar çok tercih edilmelerinin nedeni hızlı boyama özellikleri ve ışığa maruz kaldıklarında tüm ışığı absorplama yetenekleridir (Ege 2009, Chen ve ark. 2011). Ayrıca kolayca değiştirilebilen bir yapıya sahip olmaları ve pahalı olmayan materyallerden sentezlenebilmeleri de yaygın bir şekilde kullanılmalarını sağlamaktadır (Swamy, 1998). Bu boyarmaddeler, pamuk, yün, ipek, naylon liflerindeki OH-, NH- veya SH- gruplarıyla kovalent bağ oluşturan reaktif gruplarına göre birbirlerinden ayrılmaktadır.

Azo gruplar, kloro (-Cl), metil (-CH₃), nitro (-NO₂), amino (-NH₂), hidroksil (-OH) ve karboksil (-COOH) gibi farklı yapıları içeren benzen veya naftalin gruplarıyla birlikte boyarmaddenin kimyasal yapısını oluşturmaktadır. Azo boyarmaddenin kimyasal yapısında sıkça rastlanan bir diğer yapı sülfonik asit (-SO₃H) grubudur. Kimyasal yapısında bu grubu bulunduran azo boyarmaddeler, sülfonatlı azo boyarmaddeler olarak adlandırılmaktadır. Azo boyarmaddeler de diğer boyarmaddeler gibi kromofor ve oksokrom olmak üzere iki yapısal kısımdan oluşmaktadır. Bir azo kromofor (-N=N-) ile birbirine bağlanmış aromatik gruplardan oluşan azo boyarmaddelerin yapısında, oksokrom grubu olarak amin (-NH₃), karboksil (-COOH), sülfonik asit (-SO₃H) ve hidroksil (-OH) bulunmaktadır (Welham, 2000).

Azo boyarmaddelerin bazıları suda kolayca çözünebilirken, bazıları da hiç çözünmemektedir. Bu boyarmaddelerin sudaki çözünürlükleri, yapısında bulunan yardımcı grupların özelliğine göre değişmektedir. Suda disperse boyarmaddeler gibi çözünmeyen bazı azo boyarmaddeler hidrofobiktir ve yapılarında nitro (-NO₂) ve kloro (-Cl) gibi yardımcı gruplar bulundurmaktadır. Azo boyarmaddelerin hepsi mutajenik etkiye sahip bir nitro grubu içermektedir. Bazı azo boyarmaddeler asitlikleri nedeniyle sorun oluştururken bunların biyotransformasyon ürünleri de toksik etki gösterebilmektedir. Azo boyarmaddeler akut toksisiteden çok kronik toksisiteye neden olan bileşikler olarak tanımlanmaktadır (Ege 2009).

Azo boyarmaddelerdeki azo grubunun, çekme özellikleri ve spesifik süstitüsyonları, bu boyarmaddeleri güçlü hale getirmektedir. Azo boyarmaddeler bu özellikleri nedeni ile de renk gideriminde önemli yer tutmaktadır (Hsueh ve ark. 2009). Çoğu azo boyarmaddeler zehirlidir ve biyotransformasyon ile de kanserojen veya mutajen maddelere dönüşmektedir (Cui ve ark. 2012).

Boyarmaddeler, boyama özelliklerine göre asit, reaktif ve dispers boyarmadde olmak üzere genellikle üç grupta sınıflandırılmaktadır. Asit boyarmaddeler naylon, ipek, yün ve bazı akrilik tekstil ürünlerinde kullanıldıklarında, suda çözünür anyonik bileşikler oluşturmaktadır. Asit boyarmaddeler liflere hidrojen, Van Der Waals ve iyonik bağlarla bağlanmaktadır. Reaktif boyarmaddeler pamuk ve yapay ipeğe uygulandığında suda çözünür anyonik bileşikler oluşturarak liflere kovalent bağ ile bağlanmaktadır. Dispers boyarmaddeler ise daha çok oleofilik lifler ve polyesterler için kullanılmaktadırlar (Phalakornkule ve ark 2010).

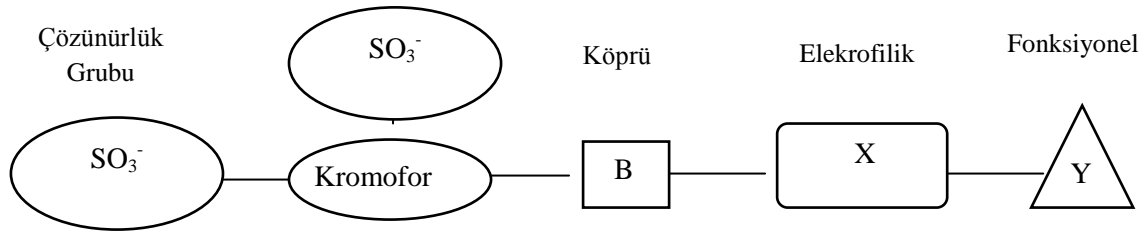
Boyarmaddeler çözünlüklerine göre suda çözünen ve suda çözünmeyen boyarmaddeler olmak üzere iki grupta toplanmaktadırlar. Suda çözünen boyarmaddeler genellikle anyonik, katyonik ve noniyonik olmak üzere 3 grupta, kimyasal yapılarına göre ise kükürt boyarmaddeler, nitro ve nitrozo boyarmaddeler, polimetin boyarmaddeler , arilmetin boyarmaddeler , aza (18) annulen boyarmaddeler ve karbonil boyarmaddeler olmak üzere 6 grupta sınıflandırılmaktadırlar (Cırık ve ark. 2013).

3.2.1 Reaktif boyarmaddeler

Sentetik kökenli ve karışık aromatik molekül yapıları maddeler olan reaktif boyarmaddeler selüloz liflerine kovalent bağ ile bağlanmaktadırlar (Won ve ark 2008). Suda çok yüksek oranda çözünlüğe sahip olduklarından son yıllarda tekstil endüstrisindeki kullanımları artmıştır. Reaktif boyarmaddeler çok parlak renklere sahiptirler (Eren ve Acar 2004). Bu boyarmadde grupları genellikle azo kromofor bazlı olup, yapılarına göre farklı özellik göstermektedirler (Won ve ark. 2008).

Bilindiği üzere boyarmaddelerde rengi oluşturan gruplar kromofor, oksokrom ve polarize olabilen gruplardır. Kromofor gruplar genel olarak elektron alan, oksokrom gruplar ise yapılarındaki ortaklaşmamış elektron çiftleri nedeniyle elektron veren gruplardır (Özgüney ve ark 2007). Belirli grupların moleküle bağlanması ile aromatik halkaların mor ötesi ışınlar bölgesinde olan absorpsiyonu, görünür spektrum bölgesine kayabilmektedir (Karaoğlu 2007).

Oksokrom gruplar renk oluşumunda kromoforların tamamlayıcıları olmakla birlikte sudaki çözünlükten ve boyarmaddenin reaktivitesinden de sorumludurlar. Oksokrom gruplarının cinsi, sayısı ve moleküldeki yeri önem taşımaktadır (Özgüney ve ark 2007). Bir reaktif boyarmaddenin yapısını oluşturan gruplar Şekil 3.2'de gösterilmiştir (Vardar 2006).



- SO ₃ ⁻	Azo	-NH -		F ⁻
	Azo Metal kompleks (Ni, Cu)	-CH ₂ -N- CH ₃		Cl ⁻
	Aritrikinen	-NH -C- O		Br ⁻
	Ftalosiyenin	-NH -SO ₂ -		OSO ₃ ⁻

Şekil 3.2. Reaktif boyarmaddenin yapısındaki gruplar (Vardar 2006)

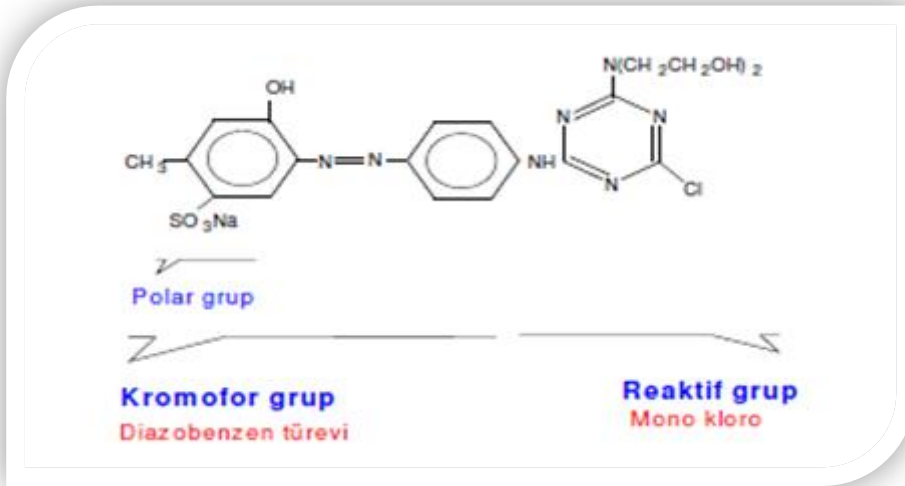
Çözünürlük grubunda protein elyafı ve selülozu boyayabilen reaktif boyarmaddelerde 1–4 adet sülfonik asit grubu bulunmaktadır. Bu sülfonik asit grubu moleküle çözünürlük sağlamaktadır.

Köprü grubu moleküldeki reaktif grup ile reaktif grubu birbirine bağlayan –NH-, -CO-, SO₂- gibi gruplardır. Bu grupların köprü görevinin yanısıra reaktif grubun reaktivitesi üzerinde de etkileri vardır. Bir amino köprüsünün dissosiyasyonu reaktiviteyi on kat düşürebilmektedir. Böyle durumlarda substantivite ve buna bağlı olarak bağlanma hızı düşmektedir. Ayrıca köprü bağlarının önemli bir özelliği boyarmadde ile elyaf bağının ayrılmasını önlemektir (Candan 2004).

Reaktif grup elyaftaki fonksiyonel grup ile kovalent bağ oluşturan gruptur. Reaktif grup ile reaksiyon verecek olan fonksiyonel gruplar, selüloz için hidroksil, yün ve ipek için amino, karboksil, hidroksil ve tiyoalkol, poliamidler için ise amino ve karboksil gruplarıdır. Bütün bu gruplar nükleofilik karakterde olup bu nedenle reaktif grubun yapısındaki elektrofilik merkeze katılmaktadırlar. Boyamanın yapıldığı ortamda su da mevcut olduğundan

sudaki hidroksil iyonları da reaktif grup ile reaksiyon verebilmekte, diğer bir ifade ile boyarmaddenin hidrolizi sözkonusu olmaktadır.

Hidrolize olmuş boyarmadde elyaf ile reaksiyona girmemektedir. Elyaf–boyarmadde bağlanma reaksiyonu ile su–boyarmadde hidroliz reaksiyonu rakip olduğundan şartlar bağlanma reaksiyonu yararına olacak şekilde hazırlanmaktadır. İkinci olarak reaktif boyarmaddelerle boyamanın etkinliği elyaf–boyarmadde arasındaki kovalent bağın stabilitesine de bağlıdır. Bu bağın yıkama ve apre işlemlerinde hidrolize karşı dayanıklı olması önemlidir. Selüloz liflerinin boyanmasında kullanılan en önemli boyarmadde sınıfı olan reaktif boyarmaddeler, parlak renge sahip olup, koyu tonlarda boyanabilmektedir. Fakat nötral tuz gerekliliği, boyarmadde artığının fazla olması, optimum boyama koşullarının değişmesi, yıkama işleminde fazla su ve enerji tüketimi gibi olumsuzlukları da mevcuttur (Vardar 2006). Şekil 3.3’de reaktif boyarmadde molekül yapısı verilmektedir.



Şekil 3.3. Tipik bir reaktif boyarmaddenin molekül yapısı (Gonca 2007)

3.2.2. Reaktif boyarmaddelerin sınıflandırılması

3.2.2.1 Kimyasal yapılarına göre

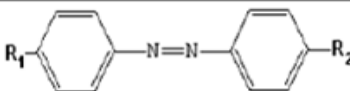
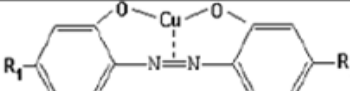
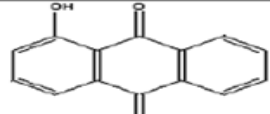
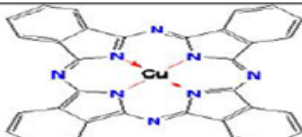
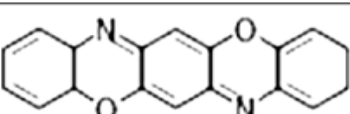
Reaktif boyarmaddelerin reaktif grupları, tekli (monofonksiyonel), ikili (bifonksiyonel) ve çoklu (polifonksiyonel) sayıda bulunabilmektedir. En bilinen tek reaktif

gruba sahip boyarmaddeler, siyanürük klorid (2,4,6-triklor, 1,3,5-triazin) türevleridir. Bunlar sentetik potansiyeli geniş olan moleküllerdir. Çünkü, triazin halkasındaki 3 klor atomu farklı reaktivite göstermektedir.

Ilıkta ve soğukta boyama yapılan çift reaktif gruplu reaktif boyarmaddeler, halotriazinil ve vinilsülfonil gruplarıyla hazırlanmaktadır. Triazin halkası ve elyaf arasındaki bağ, bazik şartlarda dayanıklıyken, vinilsülfonil grubu ile lif arasındaki bağ asidik ortamlara dayanıklıdır. Bu nedenle bu boyarmadde ile boyanan materyalin iyi haslık dayanımı geniş bir pH aralığında korunabilmektedir. Diklortriazinil, diklorkinoksalinil veya difloroklorprimidil grupları içeren bifonksiyonel reaktif boyarmaddeler, daha yüksek asit haslığı göstermekte ve peroksit içeren yıkamalar verimli olabilmektedir. Bifonksiyonel reaktif boyarmaddelerin önemi gittikçe artmasına rağmen, sadece monoklotriazin/vinilsülfon ve monoflorotriazin/vinilsülfon esaslı boyarmaddeler ticari değer taşımaktadırlar (İçoğlu 2006).

3.2.2.2. Kromofor gruplarına göre

Kromofor grup içeren aromatik halkalı sistemlere kromojen grup denir (Karaoğlu 2007). Kromofor gruplar genel olarak elektron alan gruplardır (Özgüney ve ark. 2007). Şekil 3.4’de bu grupların kimyasal yapıları ve özellikleri verilmektedir.

Kromofor Grup		
<p>AZO, DIAZO</p>  <p>Sarı, oranj, kırmızı, lacivert renkler Işık ve ağartma haslıları kimyasal formuna bağlıdır.</p>	<p>METAL- AZO KOMPLEKS</p>  <p>Kahve, rubin, violet, bordo, oliv, siyah (açık tonda) renkler Yüksek ışık haslığı Ter haslığı bazı durumlarda kritik</p>	<p>ANTRAKINON</p>  <p>Açık lacivert, parlak mavi renkler Yüksek ışık haslığı Yüksek ağartma haslığı Çok iyi yıkama haslığı</p>
<p>Cu(veya Ni) - FİTALOSİYANİN</p>  <p>Turkuaz ve parlak yeşil tonları Yüksek ışık haslığı Sınırlı yıkama haslıkları</p>	<p>TRİFENDİOKSAZİN</p>  <p>Açık lacivert, çok parlak mavi Yüksek ışık haslığı Bazı durumlarda yıkama haslığı sınırlı</p>	<p>Cu – FORMAZİNE</p> <p>Kombinasyon mavisi Yüksek ışık haslığı İyi ağartma haslığı Çok iyi yıkama haslığı</p>

Şekil 3.4 Kromofor grupları ve özellikleri (Özgüney ve ark. 2007)

3.2.2.3. Reaktifliklerine göre

Reaksiyon hızlarına göre soğukta boyama yapılanlar (ılıkta boyayanlar da bu gruba dahil) ve sıcakta boyama yapılanlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar.

Soğukta boyama yapılan reaktif boyarmaddeler, yüksek reaktiflik derecesine sahip oldukları için bu boyarmaddelerle 20–40°C sıcaklıklarda daha hızlı boyama yapılabilmektedir. Daha az kimyasal madde ve enerji tüketmesi, yüksek boyama verimi sağlaması ve tekrarlanabilirlik özelliği, düşük substantiviteyi nedeni ile boyama sonrası yıkanmalarının kolay olması avantajları arasında sıralanmaktadır. Tekstil sanayinde bu grupta yer alan Cibacron F, Procion MX, Remazol, Drimaren R/K, Lavafix E/EA/EN.-H,HE, HX. isimli boyarmaddeler yoğun olarak kullanılmaktadır.

Sıcakta boyama yapılan reaktif boyarmaddelerin ise reaktiflikleri oldukça zayıftır. Aktivite oluşturmak için boyama sıcaklığını (60–80 °C) ve alkali miktarını arttırmak gerekmektedir. Boyama sıcaklığının yüksekliği nedeniyle çok düzgün boyama sonuçları elde edilmektedir. Bu sınıf boyarmaddelerin nüfuz etme yetenekleri çok yüksektir. Hidroliz tehlikesinin az olması ve daha iyi sonuçların elde edilmiş olması, bu boyarmaddelerin en büyük avantajıdır. Tekstil sanayinde Procion H-EKL, Cibacron E, Drimaren X/XN, Basilen E/P. isimli bu gruba dahil boyarmaddeler yoğun olarak kullanılmaktadır (MEGEP 2008).

3.3. İplik Türlerine Göre Boyarmadde Seçimi

Protein (yün) liflerini boyayan boyarmaddeler

- ✓ Asit boyarmadde
- ✓ Reaktif (özel) boyarmadde
- ✓ Krom boyarmadde
- ✓ Küp boyarmadde
- ✓ Kompleks boyarmaddeler'dir.

Sentetik lifleri boyayan boyarmaddeler

Poliamid Lifleri için

- ✓ Dispersiyon boyarmaddeler
- ✓ Protein liflerini boyayan boyarmaddeler

Poliester Lifleri için

- ✓ Dispersiyon boyarmaddeler

Poliakritnitril Lifleri için

- ✓ Bazik boyarmaddeler'dir.

Selüloz liflerini boyayan boyarmaddeler;

- ✓ Substantif (direk) boyarmaddeler
- ✓ İnkişaf (Naftol) boyarmaddeler
- ✓ Oksidasyon boyarmaddeler
- ✓ Kükürt boyarmaddeler
- ✓ İndigozol boyarmaddeler
- ✓ Bazik boyarmaddeler
- ✓ Reaktif boyarmaddeler
- ✓ Küp boyarmaddeler'dir (Vardar 2006, Gonca 2007).

3.3.1. Yün liflerinin boyanması

Yün lifin yapısında H köprü bağı, sistin (kükürt) bağı ve tuz/iyon bağı olmak üzere üç önemli bağ bulunmaktadır. Selüloz liflerinde boyarmaddelerin liflere bağlanması öncelikle absorpsiyon yolu ile olurken, protein liflerinde elektrostatik çekim kuvvetleri önemli rol oynamaktadır.

Yünün boyanmasında iyon bağlarının önemi büyüktür. Genelde yün boyamacılığı asidik ortamda yapılmaktadır. Asidik ortamda yün pozitif yüklü olduğu için eksi yüklü

boyarmadde, artı yüklü lifler tarafından elektrostatik çekim kuvvetleri ile çekilerek liflere bağlanmaktadır (Çoban 1999).

a) Asit boyarmaddelerle yapılan boyamalar

Asit boyarmaddeleri yapıları gereği asidik ortamda aplike edilirken uygulanan pH aralığı asit boyasının yapısına göre farklılık göstermektedir.

Egalizasyon tipi asit boyarmaddelerin düzgün boyama yapabilmesi için % 5-10 sodyum sülfat ilave edilmektedir. Böylelikle boyama işlemi kuvvetli asidik ortamda (% 1-3 formik asit) yapılmaktadır.

Dinkleme tipi asit boyaları liflere karşı yüksek afiniteye sahiptir ve kaynama sıcaklığındaki migrasyon yetenekleri düşüktür. Bu yüzden bu boyarmaddeler daha nötr bir pH'da (asetik asit ile pH 5-7,5), sodyum asetat ya da amonyum sülfat ve egaliz maddesi ilavesiyle aplike edilmektedir.

Orta kuvvetteki asidik ortamda boyamaya uygun asit boyarmaddeleri (yarı dinkleme tipi boyarmaddeler veya ter haslığı yüksek boyarmaddeler), egalizasyon tipi asit boyarmaddelerine göre daha iyi haslık göstermekte ve migrasyon özelliklerini kısmen korumaktadır. Aplikasyon, migrasyonu arttırmak için egaliz maddesi ve sodyumsülfat (% 5 - 10) ilave edilen orta kuvvetteki asidik flottede (% 1-3 asetik asit) yapılmaktadır (Gontek ve ark. 2012).

b)1:1 ve 1:2 metalkompleks boyarmaddelerle yapılan boyamalar

Bu boyarmaddeler genelde üretimleri sırasında metal iyonları ile kompleks oluşturmuş durumdadırlar. Liflere hem elektrostatik çekim kuvvetleri hem de metal iyonları üzerinden bağlanabildikleri için genelde yaş haslıkları yüksek boyamalar elde edilmektedir.

c)Krom boyarmaddelerle yapılan boyamalar

Bu boyarmaddeler, kromla kompleks yapabilen özel seçilmiş asit boyarmaddelerdir. Yün lifleri önceden kromlanıp sonra boyama işlemine tabi tutulmakta ya da önce boyama,

sonra kromlama yapılabilir. Hatta her ikisi de aynı anda yapılabilir. En çok uygulanan şekli ise önce boyamanın yapılması, boyamanın sonuna doğru kromlama işleminin yapılması işlemidir. Asit mordan boyarmaddeleri olarak da adlandırılan bu grup, yün ve poliamid elyaf boyanmasında da kullanılmaktadır.

d) Reaktif boyarmaddelerle yapılan boyamalar

Reaktif boyarmaddenin boyama yöntem ve şartlarını, boyarmaddenin reaksiyon yeteneğini etkileyen reaktif grup belirlemektedir. Reaktif grup, suda çözünürlük kazandıran grup içerdiğinde boyamalar doğrudan bunların sudaki çözeltileriyle yapılmaktadır. Reaktif boyarmaddeler selülozun -OH gruplarıyla, poliasidlerin -NH₂ grupları ve protein esaslı liflerdeki -NH₂ ve -SH gruplarıyla kovalent bağ oluşturacak şekilde reaksiyon vermektedir (Vardar 2006, Gonca 2007).

3.3.2. Sentetik liflerinin boyanması

Poliamid lifleri hafif yün karakteri gösterdikleri için boyamalarında yünü boyayan boyarmaddeler ve sentetik lifleri boyayan dispersiyon boyarmaddeler kullanılmaktadır (Çoban 1999).

Polyester lifleri gibi saf polyesterden imal edilen materyaller yüksek sıcaklık şartları altında sadece kesikli boyama yöntemleri kullanılarak boyanmaktadır. Yüksek sıcaklık boyamacılığında işlem, genelde asetik asit ilavesiyle sağlanan asidik ortamda (pH 4-5), 125–135 °C'deki sıcaklıklarda ve belli bir basınç altında yürütülmektedir. Bu şartlar altında aşırı hızlı absorpsiyonu önlemek için egaliz maddeleri kullanılmaktadır. Bir başka uygulama yöntemi ise, öncelikle polyester/pamuk karışımları için kullanılan termosol yöntemidir. Boyarmadde, materyale bir anti-migrasyon maddesiyle birlikte emdirilmektedir. Kurutma adımı 100–140 °C'da gerçekleştirilmekte ve boya 200–225 °C sıcaklıkta 25 saniye boyunca fikse edilmektedir. Açık tonlarda, materyalin boyama sonrasında sadece durulanması veya sabunlanması yeterli olmaktadır. Koyu tonlarda ise, yüksek ışık hasılları sağlamak için temizleme adımı gerekmektedir. Polyester lifleri, lif üretimi esnasında asidik bileşenlerin komonomer olarak kullanılması halinde (anyonik grupların oluşumu) katyonik boyarmaddelerle de boyanabilmektedir.

Hidrofob özellikte olan akrilik lifler molekül yapılarında anyonik gruplar içermekte buna bağlı olarak da dispers ve katyonik boyarmaddelerle boyanmaktadır. Polimere katyonik komonomerlerin katılması durumunda, liflerin boyanmasında asit boyarmaddeleri de kullanılmaktadır (Gontek ve ark. 2012).

3.3.3. Selüloz liflerinin boyanması

Pamuk, viskon, keten gibi başlıca selüloz liflerinin açık elyaf olarak boyanmaları çok ender yapılan işlemlerdir. Çünkü bu lifler ıslak durumda çok katı ve flotte geçişini engelleyen bir yapı oluşturmaktadır. Bazı durumlarda ham bez boyaması yapılabildiği gibi çoğunlukla ön terbiye işlemi görmüş ve yüzey haline getirilmiş malların boyanması söz konusudur. Canlı renkler elde etmek için ağartma yapmak gerekmektedir. Mersevizasyon veya kostikleme işlemi yapılarak kumaşın boyarmadde alma yeteneği artırılmaktadır.

Substantif (direk) boyarmaddelerle yapılan boyama işleminde bu boyarmaddeler çoğunlukla azo grubu boyarmadde olmakta ve herhangi bir madde ve özel işlem gerektirmeden suda çözünebilmektedirler. Boyama işlemi substantiflik yani liflere bağlanma isteği söz konusu olduğu için çektirme yöntemine göre yapılmaktadır. Yani boyamalarda haspel, jet, overflow, airflow ve universal boyama aparatları kullanılmaktadır. Boyama işleminde H-köprüleri, Vander Waals kuvvetleri ve Diphol çekim kuvvetleri etkili olmaktadır.

Reaktif boyarmaddelerle yapılan boyama işleminde, boyanacak selüloz liflerinin birbirlerine kovalent bağ ile bağlanmaları, yaş haslıkları yüksek olan boyamalar elde edilmesini sağlamaktadır. Reaktif boyarmaddeler bugün için gerek boyama gerekse baskıcılıkta en çok kullanılan boyarmadde grubunu oluşturmaktadır. Bu boyarmadde grubu klortriazin ve vinilsulfon yapılarından oluşmaktadır (Çoban 1999).

Reaktif grup selülozun -OH gruplarıyla reaksiyona girerek kovalent bağ oluşturmaktadır. Selülozun bazik ortamda reaksiyona girme isteğinin fazla olması ve kovalent bağ oluşumu sırasında açığa çıkan HCl'i nötrleştirerek liflere zarar vermesinin engellenmesi için reaktif boyarmaddelerle boyamada ortamın bazik olması gerekmektedir.

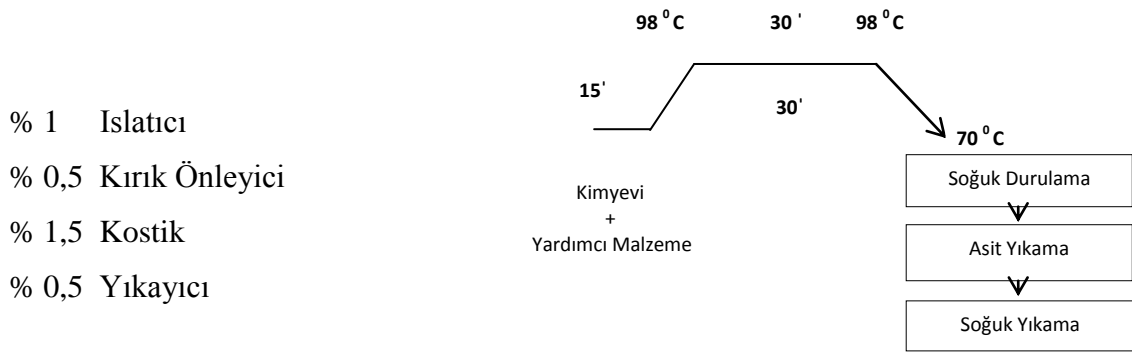
Reaktif boyarmaddelerle boyama sırasında, boyarmaddenin reaktif grubu (R), yalnız selüloz makro moleküllerinin -OH gruplarıyla değil, aynı zamanda suyun -OH gruplarıyla da

tepkimeye girmektedir. Hidrolize uğrayan boyarmadde lif ile reaksiyona girme isteğini kaybetmekte ve boyama verimi düşmektedir.

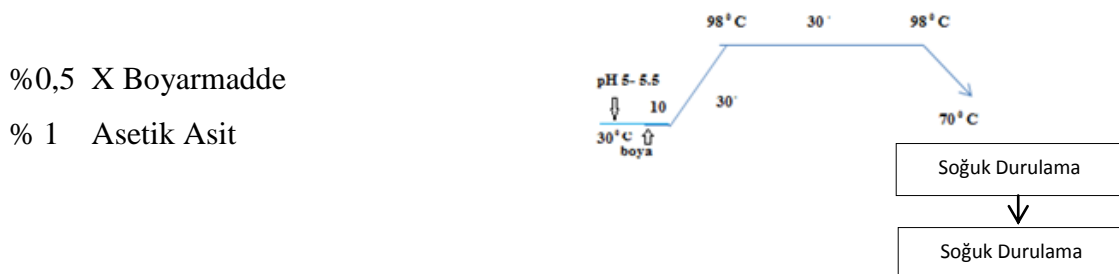
Hidroliz olan boyarmadde, liflerin yüzeyine mekanik olarak tutunarak özellikle boyamanın yaş haslıklarının düşmesine neden olmaktadır. Reaktif boyarmaddenin hidrolizi engellenemeyen bir süreçtir ve boyarmaddenin lifler tarafından hızla alınması sağlanmalıdır. Hidroliz olan boyarmadde miktarı %15–40 arasında değişmektedir.

Sıcaklık, bazik ortam ve yüksek flotte oranı hidrolizin artmasına etki eden faktörlerdir. Bu nedenle düşük flotte oranında çalışılmalı baz, flotteye en son dozajlanarak verilmelidir (MEGEP 2011).

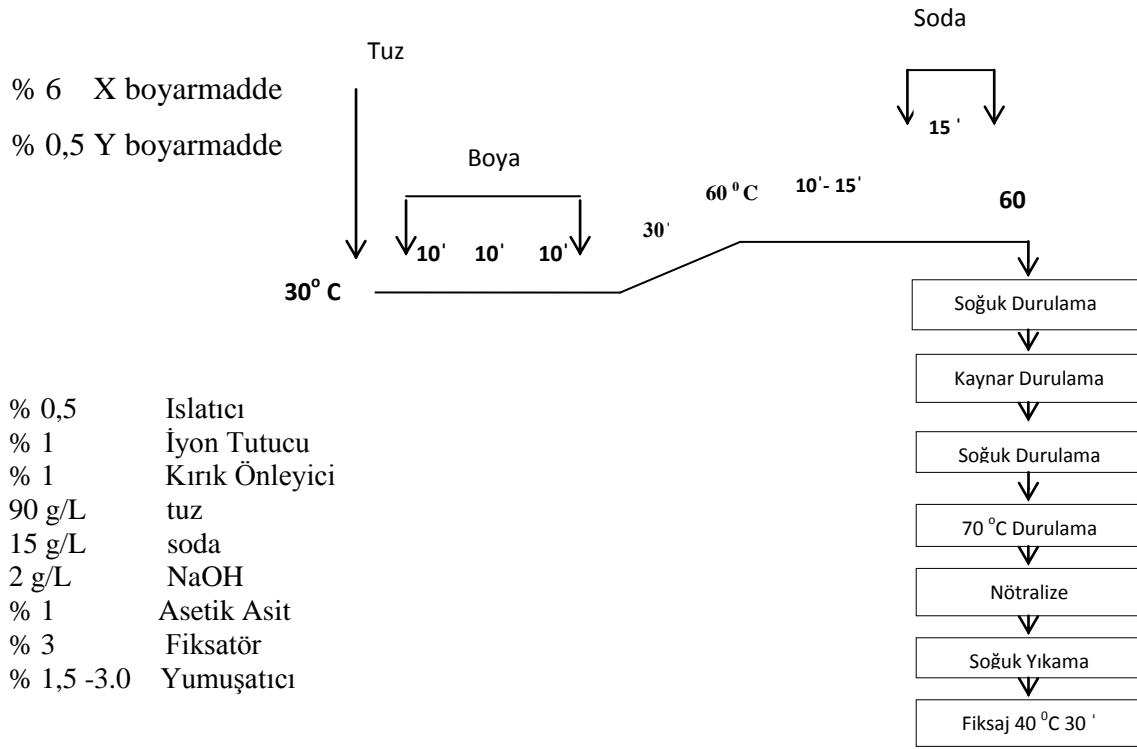
Koyu renk boyama işleminde, reaktif boyarmaddenin kullanımına ait örneklerden Şekil 3.5’de boyama öncesi ön işlem basamakları, Şekil 3.6 ve 3.7’ de ise boyama türleri şematize edilmektedir.



Şekil 3.5. Boyama öncesi ön işlem basamakları



Şekil 3.6. Naylon boyama işlemi



Şekil 3.7. Pamuk boyama işlemi

Reaktif boyarmaddelerin selüloz lifleri ile OH grubu üzerinden kovalent bağ yapmaları bazik ortamda gerçekleşmektedir. Bazik ortamı sağlamak için de, sodyum hidroksit (NaOH), soda (Na_2CO_3), trisodyumfosfat (Na_3PO_4) ve sodyum hidrojen karbonat (NaHCO_3) kullanılmaktadır.

Reaktif boyarmaddelerle yapılan boyama işlemi yaş haslıklarının yüksek olması, reaktif boyarmaddelerin renk çeşitliliği, boyama sonrası canlı ve parlak tonlar elde edilmesi gibi avantajlar sağlamaktadır. Ancak boyama sırasında, boyarmaddenin bir kısmının su ile reaksiyona girerek bozuşması, bozuşan bu boyarmaddelerin liflere, kumaşa zayıf kuvvetlerle bağlanmaları ve bunların zahmetli ve masraflı son yıkamalarla uzaklaştırılmaları en önemli dezavantajlarıdır. Bunun yanısıra enerji, su ve atıksuda bulunan boyarmaddelerin arıtımı da işletim maliyetini arttırmaktadır (Çoban 1999).

Küp boyarmaddeler pamuk bileşeninin boyanması için de kullanılabilir. Bu boyarmaddeler suda anyonik dispersiyonlar oluşturmaktadırlar. Pigmentlerin kendileri noniyoniktirler ancak boyama sırasında suda çözünebilir anyonlara dönüşmektedirler.

Boyama işlemi alkali eşliğinde indirgen maddeler kullanılarak yapılmaktadır. Küp boyarmaddeler pahalı ancak çok iyi haslıklara sahip boyarmaddelerdir. Çözümleri ve uygulamaları zor bir boyarmadde sınıfı olan küp boyarmaddeler, art oksidasyon ve sabunlama adımları gerektirmektedirler (Aniş ve Eren 2003).

Kükürt boyarmaddelerle yapılan boyama işlemi suda çözünmez, suda çözünür ve küp kükürt boyarmaddeler olmak üzere üç grupta sıralanmaktadır. Suda çözünmez yapıdaki normal kükürt boyarmaddeler suda az çözünmektedir. Bu nedenle bu boyarmaddeler, bazik ortamda indirgenerek çözünür duruma getirilmektedir. Ortamın bazik şartlara dönüşmesinde ise çoğunlukla sodyum sülfür (Na_2S) kullanılmaktadır. İndirgenmiş haldeki kükürt boyarmaddenin selüloz liflerine afinitesi fazladır. Bu nedenle düzgün boyama için dikkat edilmesi gerekmektedir. Boyama işlemi yüksek sıcaklıkta, bazik ve tuz miktarı fazla ortamda gerçekleştirilmektedir. Bu gruptaki kükürt boyarmaddeler, yapı olarak çekirme yöntemiyle (overflow, jet) boyamaya daha uygundur. Kükürt boyarmaddenin çözünür durumda kalması için banyonun sıcak tutulması gerekmektedir. Ancak sıcaklık arttıkça boyarmadde alımı da artmaktadır. Bu nedenle emdirme yönteminde özellikle açık renklerde kumaşın başı ile sonu arasında ton farkı olmaktadır.

Suda çözünebilir hale getirilmiş kükürt boyarmaddeler ise indirgenen kükürt boyarmaddelerinin tiyosülfatlama işlemine tabi tutulması ile suda çözünen ve normal şartlarda oksitlenmeyen forma getirilmiş kükürt boyarmaddeleridir. Bu haliyle boyarmaddenin afinitesi yoktur, ancak suda çözünmektedir. Bu özellikleri nedeniyle bu gruptaki kükürt boyarmaddeler, diskontinü ve kontinü boyama yöntemlerine daha uygun olmaktadır.

Kükürt-küp boyarmaddeler kükürt ve küp boyarmaddeleri arasında yer alan boyarmadde sınıfıdır. Küp boyarmaddelerine nazaran daha ucuzdur. İyi ışık ve yıkama haslıklarına rağmen klor haslıkları kötüdür, kolaylıkla indirgenebilmektedirler. Bu gruptaki boyarmaddeler kontinü ve diskontinü boyama yöntemlerine uygun olmaktadır (MEGEP 2008).

Tüm bu boyarmaddelerin önemli bir kısmı boyama işlemi sırasında elyafa tam olarak bağlanamamakta ve renkli atıksu olarak açığa çıkmaktadır. Boyarmaddeler çoğunlukla insanlar üzerinde mutajenik ve kanserojenik etkiye sahip toksik kimyasallardır. Bu nedenle atıksudan giderilmeleri insan ve çevre sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Önemli bir

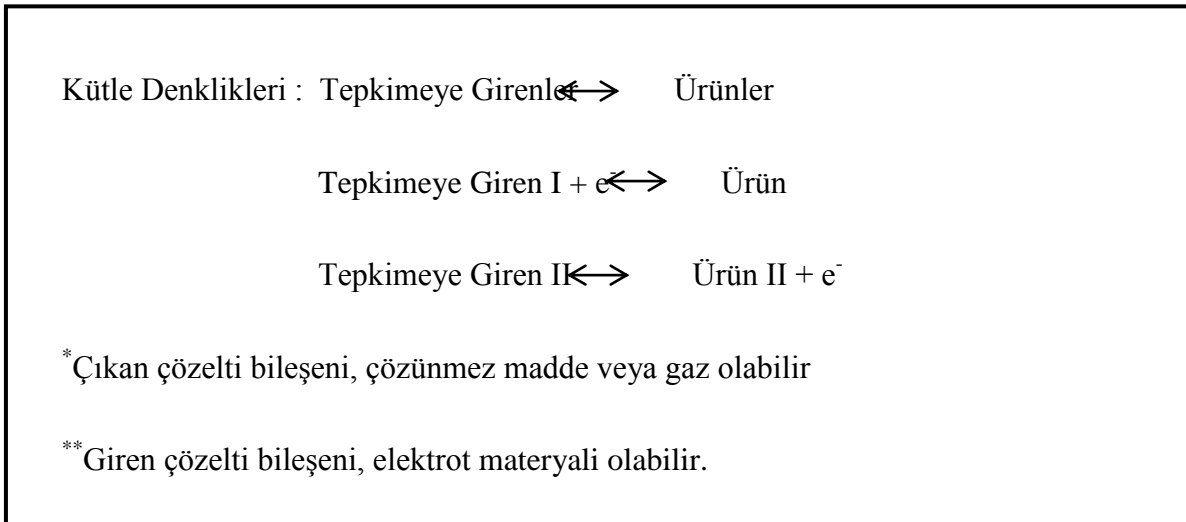
sanayi kolu olan tekstil sanayinin kaçınılmaz sonucu olarak ortaya çıkan bu atıksuların arıtımı, çeşitli çalışmalarla uygulanabilirlikleri de dahil olmak üzere çok yönlü olarak araştırılmaktadır. Pek çok arıtım yönteminin incelendiği çalışmalar çoğunlukla elektrokoagülasyon ve adsorpsiyon gibi fiziko-kimyasal yöntemler üzerine yoğunlaşmaktadır.

4. ELEKTROKİMYASAL PROSESLER

4.1. Elektrokimya

Asit, baz veya tuz çözeltilerinin içinde bulunan elektrotlara harici bir voltaj uygulanarak çözeltiden akım geçirilmesiyle elektrokimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlardaki akım ve kimyasal tepkimeleri inceleyen bilim dalı elektrokimya olarak adlandırılmaktadır. Elektrokimyasal reaktörler kimyasal reaktöre ek olarak elektrot içeren reaktörlerdir. Bu sistemlerde elektrotlar arasında gerilim farkı yaratılarak elektrokimyasal tepkimeler gerçekleştirilmektedir (Üneri 1978, Gürel 2006).

Elektrokimyasal reaktörlerde gerçekleşen elektrot tepkimeleri, katı-sıvı ara yüzeyinde yeralan heterojen indirgenme ve yükseltgeme tepkimeleridir. Elektrokimyasal işlemler sürekli ve kesikli olmak üzere iki farklı şekilde ilerlemektedir. Sürekli sistemlerde reaktör devamlı olarak elektrolit ile beslenmekte ve işlem görmüş elektrolit sistemden uzaklaştırılmaktadır. Kesikli sistemlerde ise elektrolitin değiştirilmesi sırasında proses durdurulmakta sonrasında yeniden başlatılmaktadır. Bir elektrokimyasal reaktörde gerçekleşen olaylar ve kütle denklilikleri Şekil 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Elektrokimyasal reaktörde gerçekleşen olaylar ve kütle denklilikleri (Gürel 2006)

Elektroliz tepkimelerini ayrıntılı olarak ilk defa M. Faraday incelemiş ve eletroliz hücresinden geçen akım miktarı ile ayrılan madde miktarı arasındaki ilişkiyi iki kanunla açıklamıştır. 1. Faraday Yasası tepkimelerde, elektrotlardan açığa çıkan madde miktarı ile uygulanan elektrik akımı ve süresi arasındaki ilişkiyi vermektedir.

$$\Delta m = k_e \cdot i \cdot t \quad (4.1)$$

$$\Delta m = \frac{\overline{E}_k \cdot i \cdot t}{F} \quad (4.2)$$

$$\Delta m = \frac{A \cdot i \cdot t}{96500 \cdot z} \quad (4.3)$$

$$\Delta m = k_e \cdot Q \quad (4.4)$$

$$Q = i \cdot t \quad (4.5)$$

$$\overline{E}_k = f \cdot k_e \quad (4.6)$$

Burada

Δm = Elektrotlardan ayrılan maddeyi (g)

k_e = Orantı faktörü

i = Akım şiddeti (A)

t = Elektroliz süresi (sn)

\overline{E}_k = Kimyasal ekivalent

F = Faraday sayısı (96500 kulon)

Q = Elektrik miktarı (kulon)

2. Faraday yasası ise belli bir elektrik miktarının değişik elektrolitlerden geçmesiyle serbest hale geçen madde miktarını açıklamaktadır. Bu değer bir ekivalent sayıda maddenin ayrılması için yaklaşık 96500 kulon olarak verilmekte ve bu “1 Faraday” olarak adlandırılmaktadır (Alpaut 1978, Üneri 1978).

4.2. Elektrokimyasal Arıtım Yöntemleri

Elektrokimyasal tepkimelerden atıksu arıtımında da yararlanılmaktadır. Özellikle endüstriyel atıksuların arıtımında dirençli kirleticilere karşı son dönemlerde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. İlave kimyasal madde gerektirmemesi ve buna bağlı olarak da çamur oluşumunun azalması, kullanımının yaygın olmasının temel nedenlerindedir. Bu yöntemin en önemli avantajı ana reaktifin elektron olması ve arıtım için gerekli ürünlerin işlem sonunda oluşmasıdır. Elektrokimyasal arıtım prosesleri başta elektrokoagülasyon olmak üzere, elektroflotasyon, elektrooksidasyon, elektrodializ ve elektroforez gibi çeşitli başlıklar altında toplanmaktadır (Vardar 2006, Karaoğlu 2007 ve Won ve ark. 2008).

Elektrokoagülasyon karmaşık bir arıtım prosesidir. Bu durumun temel nedeni elektrokoagülasyon prosesinin, elektrokimya, koagülasyon, oksidasyon ve flotasyon mekanizmalarına dayalı olarak gerçekleşmesidir. Bu mekanizmaların her biri kendi içinde pek çok çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Elektrokoagülasyon prosesinin güvenilir bir arıtma teknolojisi olabilmesinde, çalışmaların hedef kirletici odaklı yürütülmesi büyük önem taşımaktadır (Holt ve ark. 2005).

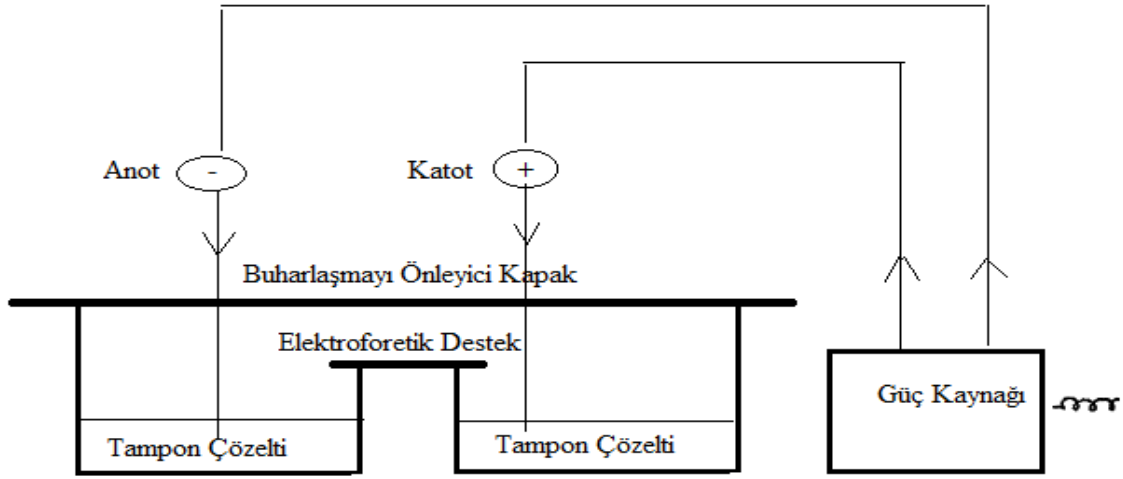
4.2.1. Elektrodializ yöntemi

Elektrodializ, seçilmiş iyon zarlariyla eriyikten elektriksel olarak yüklenmiş taneciklerin ayrılması işlemidir. Bir elektrodializ ünitesi, bir anot ve bir katot arasında, anyon değişimi ve katyon değişimini sağlayan zarlariın sıralanmasıyla meydana gelmektedir (Can ve ark. 2002).

Elektrodializ hücreleri, tek bir membran olarak işlem görmekte katyonik membranlardan (+) yüklü iyonların anyonik membranlardan (-) yüklü iyonların geçmesine izin vermektedir. Bu yöntem genellikle tuzlu sulardan içme suyunun elde edilmesinde kullanılmaktadır (Özdemir ve ark. 2008).

4.2.2. Elektroforez yöntemi

Elektroforez, elektriksel alanda yüklü partiküllerin hareketine dayanmaktadır (Çelik 2002). Bu yöntem elektrik yüklü parçacıkların elektriksel bir alan içinde elektrik akımının etkisi ile taşıdıkları yükün ters yönüne taşınması prensibine dayanmaktadır (Berik 2002). Böylelikle yüklü moleküller farklı taşınma yetenekleri ile sudan ayrılmaktadırlar. Bu harekette elektriksel alanın gücü, partikülün net yükü ve elektroforetik ortamın yoğunluğu taşınım sırasındaki önemli değişkenlerdir (Çelik 2002). Şekil. 4.2’de bir elektroforez ünitesinin çalışma prensibi verilmektedir.



Şekil 4.2 Elektroforezin çalışma şeması (Berik 2002)

Çalışma şemasındaki güç kaynağında tek yönlü sabit bir akım kullanılarak elektriksel alan oluşturulmaktadır. Tampon çözeltiler de oluşan bu elektrik akımını iletmek, pH'ı sabit tutmak ve moleküllerin tek yönde göç etmelerini sağlamakla yükümlüdürler. Elektroforezde bir çok tampon çözelti kullanıldığı gibi en yaygın kullanılanı trisbarbital tamponu ve trisborikasıit-EDTA tamponudur. Elektroforetik destek ortamında elektroforez işlemi gerçekleşmektedir. Bu destek ortamında ilk olarak Tiselius tarafından bulunan sıvı kanallar kullanılmış, sonrasında ise kağıt kullanılmaya başlanmıştır (Berik 2002).

4.2.3. Elektroflotasyon yöntemi

Elektroflotasyon, proses süresince reaktör içerisinde üretilen hidrojen ve oksijen gaz kabarcıklarının çözültiden ayrılması istenen maddeleri su yüzeyine taşımalarını sağlayan bir işlemdir.

Elektroflotasyon ilk olarak cevherlerden değerli minerallerin ayrılması için 1904 yılında Elmore tarafından önerilmiş bir prosestir. Bir elektroflotasyon sisteminin performansı, kirletici giderme verimi, kimyasal madde ve enerji ihtiyacı ile değerlendirilmektedir. Kirletici giderme verimi, üretilen kabarcıkların boyutu ile büyük oranda ilişkilidir.

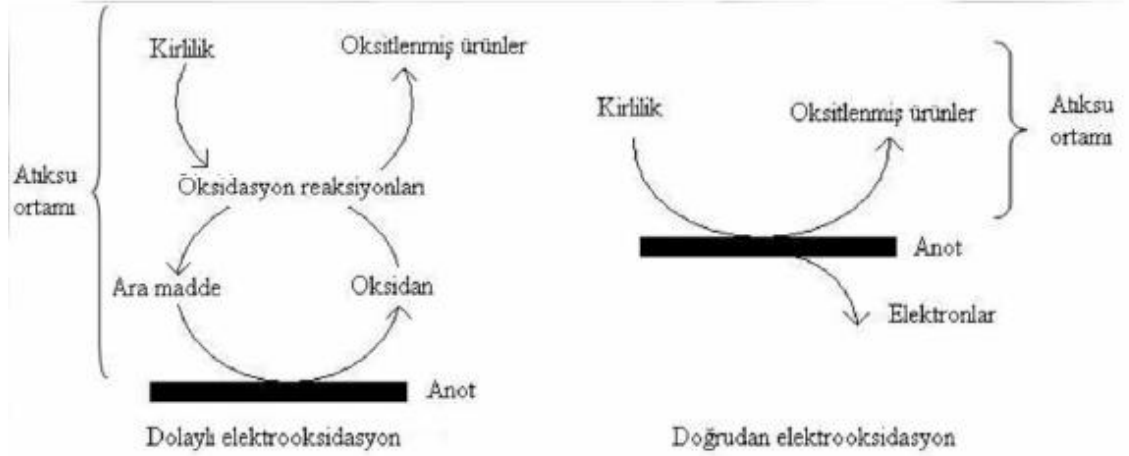
Güç tüketimi hücre tasarımı ve elektrot malzemelerinin yanısıra akım yoğunluğu gibi çalışma koşulları ile bağlantılı olarak değişmektedir (Chen 2004).

Elektroflotasyon boyutları küçük olmasına rağmen dispersiyon yeteneğine sahip gaz kabarcıklarına dayalı olarak ilerleyen bir prosestir. Burada gaz kabarcıkları prosesin temelini oluşturmaktadır. Elektrotun cinsi ve yüzey alanının yanısıra akım yoğunluğu ve reaktör tipi de büyük önem taşımaktadır. Genel olarak elektroflotasyon prosesinin işletme şartlarının optimizasyonunda akım, elektrot tipi, pH ve sıcaklık gibi parametreler değiştirilerek sistem için optimum işletme şartları belirlenmektedir. Atıksulardan elektroflotasyon yöntemiyle yağ ve emülsiyonlar gibi düşük yoğunluklu maddelerin yanısıra askıda katı madde giderimi de sağlanabilmektedir. Özellikle bazı tesislerde problem oluşturan KOI'nin bir kısmı bu yöntemle giderilebilmektedir. Elektroflotasyon yöntemi metal kaplama, tekstil, boya ve kimya sanayi atıksuların arıtımında kullanılmaktadır (İlhan ve ark. 2007).

4.2.4. Elektrooksidasyon yöntemi

Elektrooksidasyon çözünmeyen bir anot malzemesi kullanılarak organik maddelerin elektrokimyasal olarak doğrudan veya dolaylı olarak oksitlenmesi esasına dayanmaktadır (Avcu 2010, Fil ve ark. 2012). Elektrooksidasyon prosesinde aktif rolü oynayan elektrot anottur. Bundan dolayı bu proseste etkili olan parametrelerin başında anodun katalitik aktivitesi gelmektedir. Ayrıca akım, sıcaklık, pH ve organik bileşiklerle diğer oksidantların difüzyon hızı da önem taşımaktadır. Anodun yüksek potansiyeli nedeni ile atıksuda bulunan klorür iyonları kloro dione dönüşebilmekte veya organik bileşiklerin doğrudan oksidasyonu gibi

ikincil reaksiyonlar da meydana gelebilmektedir (İlhan ve ark. 2007). Klorlu organik bileşiklerin ara veya son ürüne dönüşümleri bu tekniğin uygulamasını engellemektedir (Vardar 2006). Ayrıca bu uygulamada atıksuyun klorür içeriğinin düşük olması durumunda proses verimini artırmak için yüksek miktarda tuz ilavesi gerekmektedir (Chen 2004). Şekil 4.3’de elektrooksidasyon prosesinin ilerleyişi verilmektedir.



Şekil 4.3 Elektrooksidasyon prosesinde kirleticilerin parçalanması (Fil ve ark. 2012)

Şekil 4.3’te de ifade edildiği gibi, doğrudan anodik proseste kirleticiler ilk önce anot yüzeyine adsorbe olmakta ve daha sonra anot yüzeyinden elektron transferi gerçekleşmektedir. Organik kirleticilerin doğrudan oksidasyon hızı, anodun aktif noktalarına organik bileşiklerin difüzyon hızı ve uygulanan akım şiddeti yardımıyla anodun katalitik aktivitesine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Dolaylı elektrooksidasyon süresince organik maddelerin oksidasyonunda etkili olan klor, hipoklorit, hidrojen peroksit ve ozon anodik olarak üretilebilmektedir (Fil ve ark. 2012).

Kirleticiler elektrokimyasal olarak oluşturulan H_2O_2 ile de oksitlenebilmektedir. Bu sistemde katot gözenekli karbon politetrafloroetilen (PTFE) malzemeden, anot ise Pb/PbO₂, Ti/Pt/PbO₂ veya Pt’den yapılmaktadır (Chen 2004).

Elektrooksidasyon prosesleri literatürde genellikle Ti/Pt-Ir, Ti/RhO_x-TiO₂, Ti/PdO-CO₃O₄, TiO₂/TiRuO₂, Ti/Pt, PbO₂/SnO₂, PbO₂/Ti, SnO₂, PbO₂, BDD vb. anot elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Etkili giderim ve çamur oluşumunun çok az olması nedeni ile elektrokimyasal yöntemler arasında tercih edilen bir yöntem olarak yer almaktadır (İlhan ve ark. 2007).

Kirleticilerin elektrooksidasyonu, fiziksel olarak adsorbe olan aktif oksijen (adsorbe olan hidroksil radikalleri, •OH) veya kimyasal olarak sorbe olan aktif oksijenin (MO_{x+1}) oluşturulması ile anotta doğrudan gerçekleşebilmektedir. Bu proses genellikle anodik oksidasyon veya direkt oksidasyon olarak bilinmektedir (Vardar 2006).

Fiziksel olarak adsorbe olan aktif oksijen organik bileşiklerin (R) tam oksidasyonunu sağlamaktadır. Kimyasal olarak sorbe olan aktif oksijen ise seçici oksidasyon ürünlerinin;



oluşumunda yer almaktadır. Genellikle •OH, kirletici oksidasyonunda MO_{x+1} içindeki oksijenden daha etkili bir oksidandır.

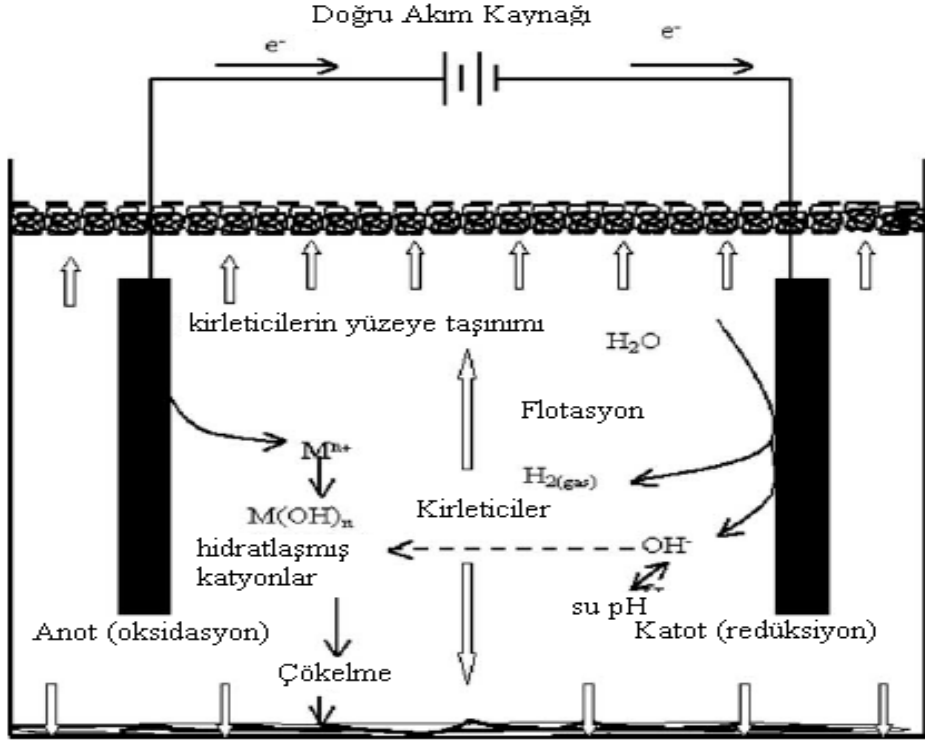
Anodik oksidasyonda atıksuya yüksek miktarda kimyasal ilavesi veya katotlara O₂ ilavesi yapılmamakta ve bu nedenle de ikincil kirlilik oluşumuna neden olmamaktadır. Anodik oksidasyonun bu özelliği diğer oksidasyon proseslerine göre avantaj sağlamaktadır (Chen 2004).

4.2.5. Elektrokoagülasyon yöntemi

Elektrokoagülasyon prosesi koagülasyon, adsorpsiyon, flotasyon ve oksidasyonun eş zamanlı olarak meydana geldiği ve son yıllarda gelişmiş ülkelerde endüstriyel atık suların arıtımı için yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir yöntemdir. Kimyasal madde ilavesi söz konusu olmadığı için ikincil kirlilik problemi ile karşılaşılması, basit ekipman, daha az iş gücü ve daha küçük alanlarda uygulanabilir olması tercih edilmesinin başlıca sebeplerindendir (Bayar ve ark. 2012).

Elektrokoagülasyon kolloidlerin, süspansiyonların ve emülsiyonların elektriksel yüklerden etkilenmesi prensibine dayanmaktadır. Proseste anotun çözünmesi ile metal iyonları açığa çıkmakta ve bu metal iyonlarının oluşturduğu metal hidroksit floklarının koagülasyon, adsorpsiyon ve çöktürme proseslerini gerçekleştirilmesiyle kirletici giderimi

sağlanmaktadır (Bayar ve ark. 2012, Özyonar ve ark. 2012). Şekil 4.4’de elektrokoagülasyon prosesinin ilerleyişi verilmektedir.



Şekil 4.4. Elektrokoagülasyon prosesinin ilerleyişi (Mollah ve ark. 2004)

Elektrokoagülasyon yönteminde birbirini izleyen 3 temel aşama vardır;

- ✓ Elektrotların yüzeyinde oluşan elektrolitik reaksiyonlar
- ✓ Sıvı fazda koagülantların (metalik iyonların) oluşumu
- ✓ Çözünebilir ya da koloidal kirlenmelerin adsorpsiyon, koagülant, sedimentasyon veya flotasyon mekanizmaları ile giderilmesi (Mollah ve ark. 2001)

Elektrokoagülasyonla emülsifiye maddeler, askıda katı maddeler ve koloidal maddeler kararlı hale getirilmektedir. Bu yüzden elektriksel uygulamalarda partiküller nötralize olmakta ve büyük floklar oluşturmaktadır. Elektrokoagülasyon prosesinde metalik iyonların adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olması nedeni ile alüminyum ya da demir elektrotlar kullanılmaktadır (Larue ve ark. 2003).

Elektrokoagülasyon yöntemi zeytinyağı, gıda işleme (Koby ve ark. 2007), patates cip üretim (Koby ve ark. 2006a), tavuk üretim tesisleri (Bayramoğlu ve ark. 2006, Koby ve ark. 2006b), restaurant (Chen ve ark. 2000), tabakhane (Muruganathan ve ark. 2004) ve mandıra (Şengil ve Özacar 2006) atıksularının arıtımında başarı ile uygulanmaktadır.

4.2.5.1. Elektrokoagülasyon yöntemini etkileyen faktörler

Elektrokoagülasyon prosesinin verimi üzerinde akım yoğunluğu, başlangıç pH'ı, elektrolit ilavesi, sıcaklık, elektrot malzemesi gibi parametreler etkili olmaktadır.

Akım Yoğunluğu

Akım yoğunluğu, proses hızını belirlemekte ve birim elektrot alanına düşen akım olarak tanımlanmaktadır. Elektrokoagülasyon sistemlerine sağlanan akım miktarı elektrotlardan çözünen metal iyonlarının miktarını belirlemektedir. Yüksek akım miktarı küçük elektrokoagülasyon ünitesi anlamına gelmektedir. Optimum akım yoğunluğu elektrokoagülasyon prosesinin uygulandığı yerin ekonomik ve coğrafik durumuna bağlı olarak değişmektedir (Türkoğlu 2007). Su ve atıksuda bulunan kirleticilerin giderimi uygulanan akım yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bu durum proses sırasında oluşan metal hidroksit türlerinin miktarı ile ilişkilidir (Özyonar ve Karagözoğlu 2012). Akım yoğunluğu seçilirken pH, sıcaklık ve debi gibi diğer işletme parametreleri de göz önünde bulundurulmalıdır (Chen 2004).

Başlangıç pH'ı

Başlangıç pH'ı elektrokoagülasyon esnasında oluşan metal hidroksitlerin çözünürlüğünü belirleyici bir parametredir (Vardar 2006). Alüminyum elektrot kullanıldığı zaman çözelti pH'ı asidik ise çıkış suyunda pH daha yüksek, çözelti pH'ı bazik ise çıkış suyu pH'ı daha düşük olmaktadır. Demir elektrot kullanıldığında atıksu çıkış pH değeri başlangıç pH değerinden her zaman daha yüksek olmaktadır. Başka bir deyişle, çözeltinin pH'ı düşük olduğu zaman pH'da bir artış, çözeltinin pH'ı yüksek olduğunda pH'da bir düşüş meydana gelmektedir. Bu sonuçlar elektrokoagülasyon prosesinin özellikle alkali ortamda bir miktar tampon kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. (Chen 2004).

Elektrolit İlavesi

Elektrokoagülasyonun verimini arttırmak ve atıksuyun iletkenliğini istenilen seviyeye getirmek amacıyla sodyum nitrat, sodyum sülfat gibi inert tuzlar, sodyum klorür ve potasyum bromür gibi halojenli tuzlar kullanılmaktadır (Türkoğlu 2007).

Yüksek iletkenlik, yüksek çözünürlük, düşük klorür maliyeti ve aktif klorun güçlü oksitleme özellikleri nedeniyle destekleyici elektrolit ve elektrokimyasal prosesler için klorür reaktantının bir kaynağı olarak genellikle sodyum klorür kullanılmaktadır (Vardar 2006). Bu elektrolit tekstil boyama prosesinde yaygın olarak kullanılmakta bu nedenle tekstil endüstrisi atıksularında doğal olarak bulunmaktadır (Türkoğlu 2007). Klorür iyonları ortamda bulunan HCO_3^- , SO_4^{2-} gibi anyonların olumsuz etkilerini azaltmaktadır. Karbonat ve sülfat iyonları elektrot yüzeyinde izole bir tabaka oluşturacak şekilde Ca^{2+} veya Mg^{2+} iyonlarının çökmesine neden olmaktadır. Oluşan bu tabaka elektrotlar arası potansiyeli arttırmakta ve akım verimini azaltmaktadır. Su ve atıksu arıtımında elektrokoagülasyon prosesinin verimli bir şekilde yürütülebilmesi için ortamda bulunan anyonların %20'sinin klorür iyonu olması önerilmektedir. Ayrıca sodyum klorür ilavesi iletkenliği artırdığı için güç tüketimini azaltmaktadır (Chen 2004).

Sıcaklık

Elektrokoagülasyon prosesinde de tüm kimyasal proseslerde olduğu gibi sıcaklığın artması reaksiyon hızını arttırmaktadır. Ancak sıcaklığın çok yüksek değerlere ulaşmasıyla iyon hareketinin artması yumak ve metal hidroksit floklarının tekrar çözünmesine buna bağlı olarak da veriminin azalmasına neden olmaktadır (Türkoğlu 2007).

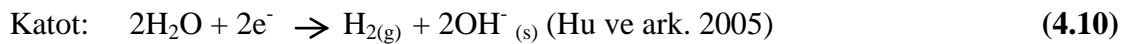
Akım veriminin 60 °C sıcaklığa kadar artması elektrot yüzeyindeki alüminyum oksit filmin bozunmasıyla artan aktiviteye bağlanmaktadır. Sıcaklığın çok daha yüksek değerlere ulaşması elektrot yüzeyinde birikmeye daha elverişli flokların oluşumuna yol açmaktadır. Bunun yanısıra sıcaklığın artması ile iletkenlik artmakta dolayısıyla enerji tüketimi azalmaktadır (Chen 2004).

Elektrot malzemesi

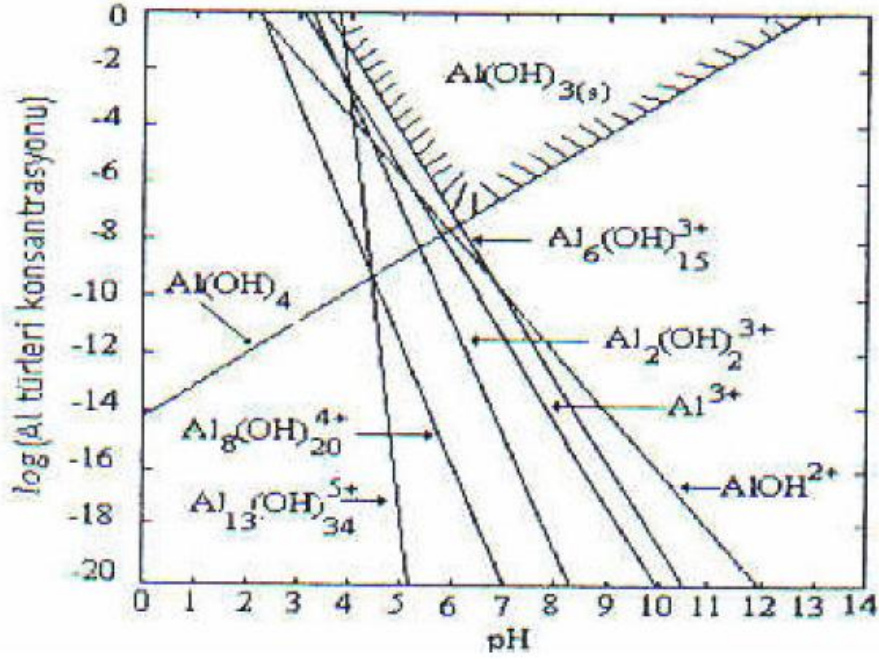
Kullanılacak elektrotlar mali açıdan uygun, kolay bulunabilir ve yüksek giderim verimi sağlayan malzemelerden seçilmelidir. Bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda en çok demir ve alüminyum elektrotların kullanıldığı görülmektedir. Demir ve alüminyum elektrot kullanılmasıyla kirletici maddelerin metal hidroksitlere adsorpsiyonu ve anotta kısmi oksidasyonu gerçekleşmektedir (Chen ve ark. 2000)

Genellikle atıksu arıtımı için demir, su arıtımı için alüminyum elektrotlar kullanılmaktadır (Chen 2004). Alüminyum plakalar Al^{3+} iyonunun yüksek koagülasyon verimi nedeniyle tek başına veya demir plakalarla kombinasyon halinde uygulanabilmektedir. Suda önemli miktarda Ca^{2+} veya Mg^{2+} iyonlarının bulunması durumunda katot malzemesi olarak paslanmaz çelik kullanılması tavsiye edilmektedir (Vardar 2006).

Alüminyum elektrot kullanımı ile gerçekleşen reaksiyonlarda Al, anotta çözünmekte ve katotta hidrojen gazı açığa çıkmaktadır. Alüminyumun çözünmesi sırasında anotta farklı Al türleri üretilmekte ve bunlar büyük boyutta floklar oluşturarak kirleticilerle birleşmektedir (Avcu 2010). Al anotlarının suda elektrolitik olarak çözünmesi;



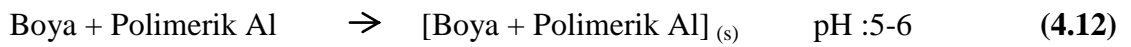
Al elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesinde farklı pH'larda Al^{+3} 'ün hidrolizi ve bunun sonunda da Şekil 4.5'de görüldüğü gibi çeşitli alüminyum hidroksit polimer kompleks ve çökeltileri meydana gelmektedir (Avcu 2010).



Şekil 4.5. Sulu ortamda alüminyum kompleksleri ve pH ilişkisi (Vardar 2006)

Değişik türdeki metal-polimer komplekslerinin oluşum oranı renk giderimin de önemli bir rol oynamaktadır. Boya molekülleri ve hidroksil ürünleri arasındaki etkileşim mekanizmaları aşağıda verilmektedir.

Çökelme



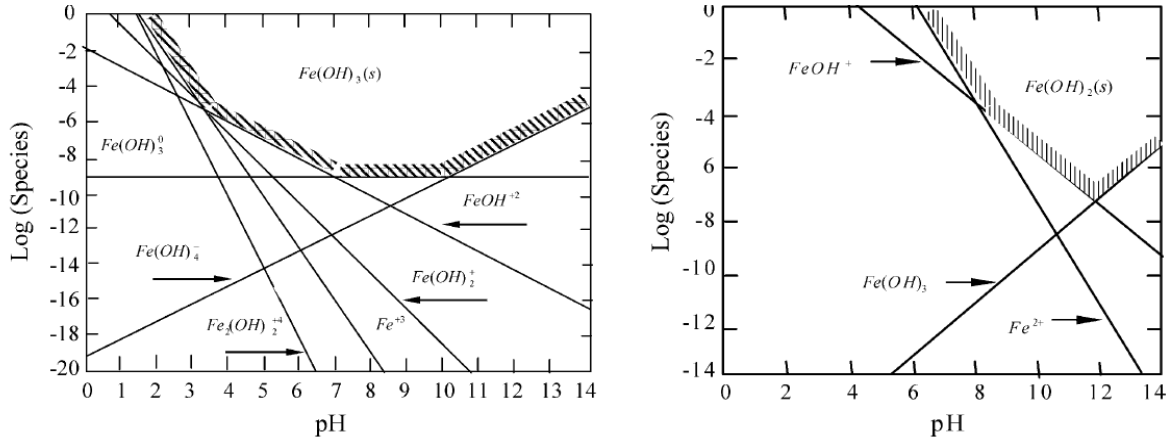
Adsorpsiyon



Bu eşitliklerde de görüldüğü gibi söz konusu etkileşim ortamın pH'ına ve mevcut iyonların tipine bağlıdır. Çökelme mekanizması daha düşük pH'larda, adsorpsiyon ise daha yüksek pH'larda gerçekleşmektedir.

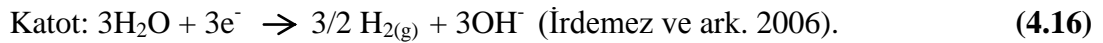
Oluşan amorf Al(OH)_3 floklarının geniş yüzey alanına sahip olmaları, atıksudaki kirlenmelerin hızlı bir şekilde adsorplanarak atıksudan uzaklaştırılmasını sağlamaktadırlar. Bu floklar $n\text{Al(OH)}_3 \rightarrow \text{Al}_n(\text{OH})_{3n}$ şeklinde polimerize olmakta ve ortamdan ya çökeltme ile ya da H_2 flotasyonu ile kolayca giderilebilmektedirler (Özyonar ve Karagözoğlu 2012).

Demir elektrot kullanımı ile gerçekleşen reaksiyonlarda ise demir iyonları çözelti pH'ına bağlı olarak Fe(OH)_3 ve Fe(OH)_2 gibi monomerik hidroksit türleri ve $\text{Fe(H}_2\text{O)}_6^{3+}$, $\text{Fe(H}_2\text{O)}_5(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe(H}_2\text{O)}_4(\text{OH})_2^{2+}$, $\text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O)}_8(\text{OH})_2^{4+}$ ve $\text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O)}_6(\text{OH})_4^{4+}$ gibi polimerik hidroksi kompleksleri oluşturmaktadır. Şekil 4.6'da sulu ortamda demir iyonlarının oluşturduğu hidroksit komplekslerin pH'ya bağlı değişimleri görülmektedir (Mollah ve ark. 2004).



Şekil 4.6. Sulu ortamda demir kompleksleri ve pH ilişkisi (İrdemez ve ark. 2006)

Demir için reaksiyon mekanizmaları eşitlik 4.15 ve 4.16'da ifade edilmiştir.



4.3 Elektrokoagülasyon Yöntemi ile İlgili Literatür Araştırmaları

Konya ve arkadaşları (2006) tarafından patates cipsi üretiminden kaynaklı atıksuların elektrokoagülasyon ile arıtımı incelenmiştir. Bu çalışmada elektrot tipi, pH, akım yoğunluğu ve reaksiyon süresi gibi optimum arıtım şartları ve işletme maliyetleri araştırılmıştır. Al ve Fe

elektrotların kullanıldığı ve reaksiyon süresinin 40 dakikadan az tutulduğu çalışma ortamında % 60 oranında KOI ve % 98 oranında da bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir.

Akyol (2012) tarafından boya imalatından kaynaklanan atıksuların elektrokoagülasyon ile arıtımı incelenmiştir. Bu çalışmada elektrot tipi (Al ve Fe), başlangıç pH'sı (2-10), akım yoğunluğu (5-80 A/m²) ve reaksiyon süresi (0-50 dakika) için optimum arıtım şartları araştırılmıştır. Akım yoğunluğunun 35 A/m², başlangıç pH'sının 6,95 ve reaksiyon süresinin de 15 dakika alındığı optimum deney ortamında KOI ve TOK kirleticilerinin giderim verimleri sırasıyla Fe elektrot için % 93 ve % 88, Al elektrot için % 94 ve % 89 olarak belirlenmiştir. İşletme maliyeti ise Fe elektrot kullanımı için 0,187 €/m³ Al elektrot kullanımı için ise 0,129 €/m³ olarak hesaplanmıştır.

Ün ve arkadaşları (2009) tarafından bitkisel yağ rafineri tesisinden kaynaklanan atıksuların elektrokoagülasyon ile arıtımı incelenmiştir. Bu çalışmada pH ve akım yoğunluğunun optimum çalışma şartları ile PAC ve Na₂SO₄ dozajının ilavesi de göz önünde bulundurularak KOI giderim verimi araştırılmıştır. Destek elektrolit (PAC ve Na₂SO₄) ilavesi ve pH'ın 7, akım yoğunluğunun da 35 mA/cm⁻² olduğu çalışma ortamında % 98,9 KOI giderim verimi elde edilmiştir.

Bayramoğlu ve arkadaşları (2006) tarafından tavuk mezbahanesinden kaynaklanan atıksuların elektrokoagülasyon ile arıtımı incelenmiştir. Bu çalışmada başlangıç pH'sı, akım yoğunluğu ve reaksiyon süresi proses değişkenleri olarak belirlenmiştir. Al elektrotun kullanıldığı, akım yoğunluğunun 150 A/m² ve başlangıç pH'sının da 3 olarak belirlendiği bu çalışmada % 93 KOI giderimi sağlanmıştır.

Kobyay ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan çalışmada tekstil atıksularının elektrokoagülasyon ile arıtımı monopolar paralel (MP-P), monopolar seri (MP-S) ve bipolar seri (BP-S) gibi farklı elektrot kombinasyonları kullanılarak incelenmiştir. Al ve Fe elektrotların her ikisi için de asidik çalışma ortamında yüksek KOI giderimi elde edilmiştir. Bulanıklık giderimi için ise Al elektrot için asidik ortam tercih edilirken, demir elektrot için nötr ortam tercih edilmiştir.

Zaied ve arkadaşı (2009) tarafından yapılan kağıt endüstrisinde siyah likörün elektrokoagülasyon ile arıtımı incelenmiştir. Bu çalışmada elektroliz süresi, akım yoğunluğu, elektrot tipi ve başlangıç pH'sı için optimum şartlar belirlenmiştir. Akım yoğunluğunun 14 mA cm^{-2} , başlangıç pH'sının 7 ve elektroliz süresinin de 50 dakika olduğu deney şartlarında % 98 KOİ, % 92 polifenol ve % 99 renk giderimi elde edilmiştir.

Katal ve arkadaşı (2011) tarafından bir kağıt fabrikası atıksularından elektrokoagülasyon yöntemi ile fenol, renk ve KOİ giderimi farklı elektrot kombinasyonları kullanılarak incelenmiştir. pH, sıcaklık ve akım yoğunluğu gibi çalışma şartlarının giderim verimi üzerinde etkisinin belirlendiği çalışmada en yüksek renk giderimi Al-Al, en yüksek KOİ ve fenol giderimi ise Fe-Fe elektrot kombinasyonları ile elde edilmiştir.

Bazrafshan ve arkadaşları (2012) tarafından farklı konsantrasyonlarda hazırlanan sentetik florür çözeltilerinin elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtımı incelenmiştir. Al ve Fe elektrotlar için giderimin verimlerinin aynı olduğu çalışmada, farklı florür konsantrasyonlarında en yüksek giderim verimi 40 V ve 60 dak. reaksiyon süresinde elde edilmiştir.

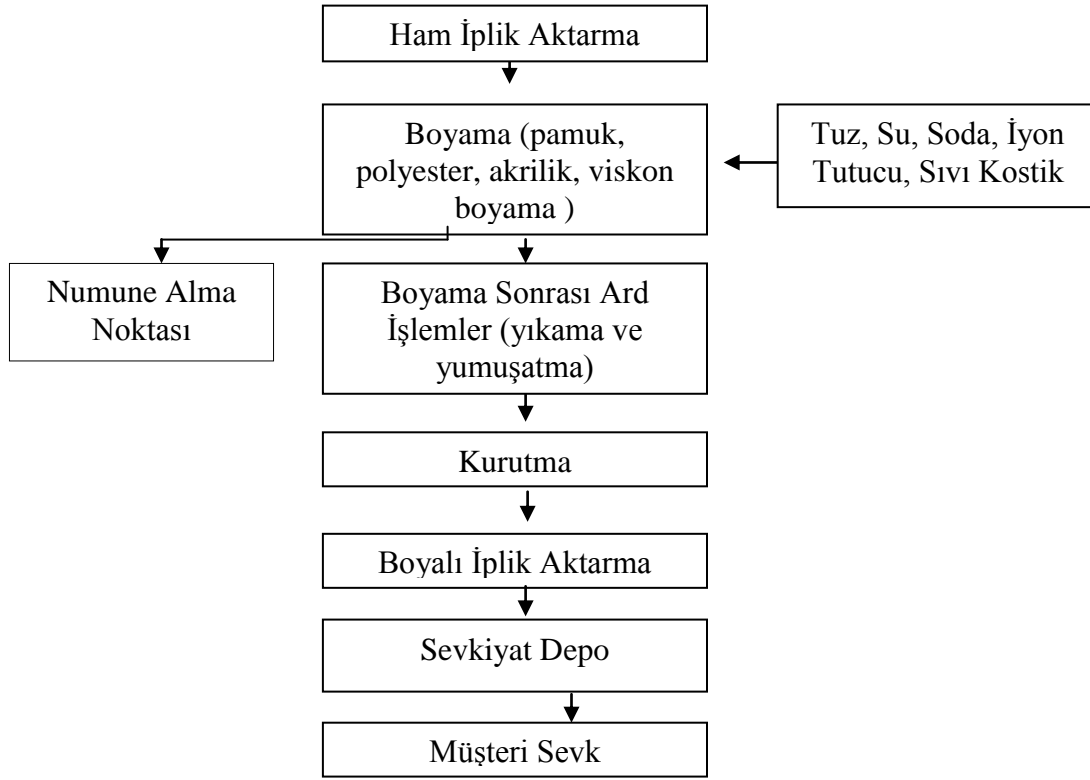
Koby ve arkadaşları (2011) tarafından içme sularından elektrokoagülasyon yöntemi ile arsenik giderimi, farklı elektrot kombinasyonları kullanılarak incelenmiştir. En yüksek giderim veriminin MP-S bağlı elektrotlarla sağlandığı çalışmada $2,5 \text{ A/m}^2$ akım yoğunluğu için optimum arsenik giderimi 2,5 dak. reaksiyon süresinde Fe elektrotlarla % 94,1, 4 dak. reaksiyon süresinde Al elektrotlarla % 93,5 olarak belirlenmiştir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Renk Giderimi

Çalışmada elektrokoagülasyon yönteminin renk giderimi üzerindeki etkinliği, tekstil sanayinde yaygın olarak kullanılan Setazol Black TNN isimli boyarmadde kullanılarak incelenmiştir. Deneyler Setazol Black TNN'nin kullanıldığı iplik boyama banyosundan alınan gerçek atıksular ve yine bu boyarmadde ile hazırlanan sentetik boya çözeltileri ile yürütülmüştür. Çalışma süresince gerçek atıksular Tekirdağ İl sınırları içerisinde iplik boyama, kumaş boyama ve kumaş baskı konularında faaliyet gösteren bir işletmenin iplik boyama banyosundan temin edilmiştir.

Tekstil endüstrisinin en önemli kollarından birisi olan iplik üretimi genel olarak, doğal veya yapay elyafların çeşitli işlemlerden geçirilerek istenilen numaralarda eğrilip bobinlenmesi basamaklarını içermektedir. Elyafın iplik haline getirilmesinin ardından istenilen renk ve tonlara uygun olarak boyama kazanlarında boyama işlemleri yapılmaktadır. Boyama işleminde boyama programı, başta boyanacak ipliğin türü olmak üzere boyarmadde özellikleri ve sıcaklık gibi pek çok faktör dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Bu nedenle sözkonusu tesise gelen iplikler, türlerine göre sınıflandırılmakta nem ve mukavemet kontrolünden geçirilmektedir. Bu işlemlerin ardından iplikler yumuşak sarım makinelerinde boya masuralarına aktarılarak boyanmaya hazır hale getirilmektedir. Pamuk, viskon, polyester ve akrilik boyama yapılan tesiste hazırlık işlemleri tamamlanan iplikler, değişik kapasitedeki boya kazanlarına doldurularak preslenmektedir. Şekil 5.1'de söz konusu tesisin iplik boyama ünitesi, proses akım şeması verilmektedir.



Şekil 5.1. İplik boyama ünitesi iş akım şeması

Boyama banyolarının hazırlanması ve boyama prosesi boyanacak ipliğin ve kullanılacak boyarmaddenin türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu özelliklere bağlı olarak hazırlanan reçeteler doğrultusunda elyafın boyarmaddeye hazırlanması, boyarmaddenin elyafa bağlanmasının kolaylaştırılması ve ortamdaki safsızlıkların giderilmesi sağlanmaktadır. Elyafın yapısında boyama işleminin gerçekleşmesini engelleyen yağ, vaks gibi maddeler bulunabilmektedir. Bu maddelerin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için elyaf alkali ortamda yüksek sıcaklıkta ıslatıcı ve iyon tutucular kullanılarak 40 dak. işlem görmektedir. Boyama banyolarında boyarmaddelerin tam olarak çözünürlüğünün sağlanmış olması, boyama verimi açısından oldukça önem taşımaktadır. Bunun sağlanması için çözünürlüğü arttırıcı kimyasal maddeler banyoya eklenebilir. Sıcaklık arttırılır, tuz ve soda eklenerek elyaf 45-60 dak. süre ile işleme tabi tutulur. Bu sürenin sonunda pH'ı dengelemek için yaklaşık 10 dak. asitleme yapılır. Elyafın üzerinde fikse olmamış boyanın giderilmesi için sabunlama ve birkaç defa tekrarlanan durulamanın ardından yaklaşık 30 dak. yumuşatma işlemi uygulanır. Çizelge 5.1'de boyarmadde olarak Setazol Black TNN'nin kullanıldığı boyama banyosu reçetesi verilmektedir. Bu reçeteye bağlı olarak soda ve kostik, ortamın pH'ını yükselterek boyarmaddenin life bağlanmasını, tuz (Na_2SO_4 , NaCl) boyarmaddenin lif

tarafından alınmasını, iyon tutucular ise boyama esnasında çözeltide bulunan ve boyamayı olumsuz etkileyecek iyonların giderimi sağlamaktadır.

Çizelge 5.1. İplik boyama banyosu reçetesi

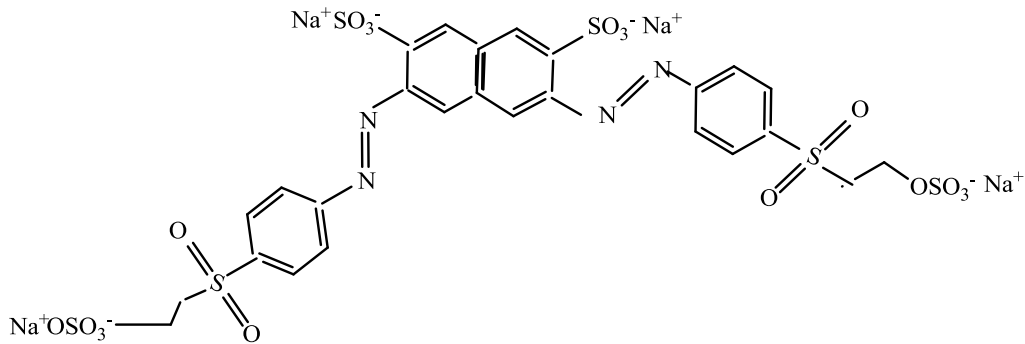
Bileşenler	Miktar	Birim
Setazol Black TNN	9,3	%
Su	100	g/L
Soda	5	g/L
Sıvı Kostik	3,42	g/L
İyon Tutucu	0,5	g/L
Tuz	100	g/L

Çizelge 5.2’de özellikleri verilen Setazol Black TNN, çoğunlukla doğal elyafların boyanmasında kullanılan reaktif bir boyarmaddedir.

Çizelge 5.2. Boyarmaddenin ticari özellikleri

Ticari İsmi	Formu	EC No	CAS No	Moleküler Formülü
Setazol Black TNN	Toz	241-164-5	17095-24-8	$C_{26}H_{25}N_5O_{19}S_6.4Na$

Kimyasal adı tetrasodyum 4-amino-5-hidroksi-3,6-di [[4-[[2-(sülfanatooksi) etil] sulfonil] fenil] azo] naftalin-2,7-disülfonat olan boyarmaddenin kimyasal yapısı Şekil 5.2’de verilmektedir.



Şekil 5.2. Setazol Black TNN’nin kimyasal yapısı

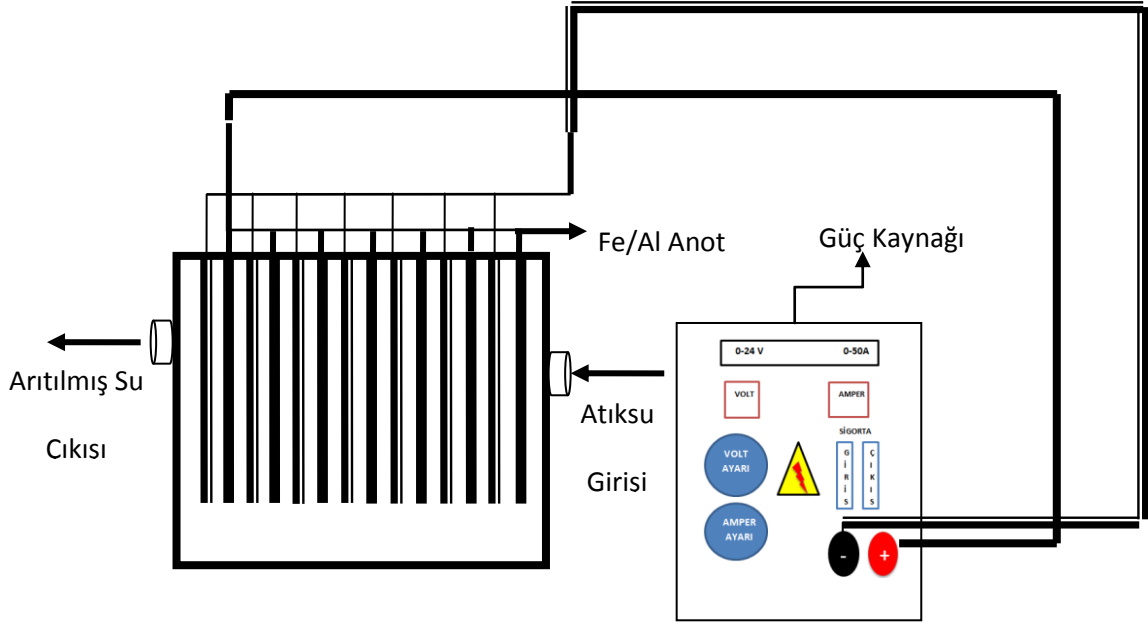
5.2. Deneyin Yürütülüşü

Elektrokoagülasyon yöntemi ile renk gideriminin incelendiği çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında sentetik boya çözeltisi ve gerçek boyahane atıksuları için Fe ve Al elektrotların giderim verimleri araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle bu iki atıksu ve elektrot malzemesi için proses verimi üzerinde doğrudan etkili olan akım, pH, seyrelme ve sıcaklık gibi parametreler açısından en uygun deney şartları belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, bu optimum deney şartları kullanılarak boyahane atıksuyu ve sentetik boya çözeltisinin uzun periyotlu arıtımı incelenmiştir. Böylelikle elektrokoagülasyon yönteminin Setazol Black TNN'nin kullanıldığı proseslere uygunluğu ve boyama banyolarında kullanılan ilave kimyasalların, giderim verimi üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Boyahane atıksuyu ve sentetik boya çözeltilerinin karakteristik özellikleri Çizelge 5.3'de verilmektedir.

Çizelge 5.3. Numunelerin elektrokoagülasyon reaktörü giriş değerleri

Parametre	Sentetik Boya Çözeltisi	Boyahane Atıksuyu
KOİ (mg/L)	1400	3050
pH	7,70	11,34
İletkenlik (mS/cm)	2,94	118,3

Renk giderim çalışmalarında kullanılan elektrokoagülasyon reaktörü 2 mm kalınlığında paslanmaz çelikten yapılmıştır. Reaktörün boyutları; 16 cm x 19 cm x 19 cm ve hacmi yaklaşık 3 L'dir. Reaktörde çalışmanın özelliğine bağlı olarak Fe ve Al elektrot grupları kullanılmıştır. 2 mm kalınlığında 14 adet paralel plakadan oluşan elektrot gruplarında, elektrotlar arasındaki mesafe 3 mm'dir. Fe elektrotların boyutları; 7,5 cm x 10 cm, Al elektrotların boyutları; 7,5 cm x 9 cm'dir. Elektrokoagülasyon ünitesinde 220 V giriş voltajlı, manuel voltaj ve amper kontrollü MERSAN marka güç kaynağı (MR-12) kullanılmıştır. Şekil 5.3'de kullanılan elektrokoagülasyon ünitesi şematik olarak verilmektedir.



Şekil 5.3. Elektrokoagülasyon ünitesi

Çalışmada spektrofotometre (Aquamate Thermospectronic) yardımıyla 436, 525 ve 620 nm olmak üzere üç farklı dalga boyunda ölçümler yapılmıştır (Aouni ve ark. 2012, Barredo-Damas ve ark. 2010). Bu ölçümler sonucunda elde edilen absorbans değerlerinin toplamı renk olarak kabul edilmiştir. KOİ analizi Standart Metotlar'da verilen 5220 C "Close Reflux, Titrimetric Method" başlıklı metoda uygun olarak yapılmıştır. Deneylerin yapılışında Spectroquant marka termoreaktör (TR 620), NÜVE marka santrifüj (NF 400), WTW marka pH-metre (pH 315i), ve yine WTW marka iletkenlik ve sıcaklık ölçer (Cond 3210) kullanılmıştır.

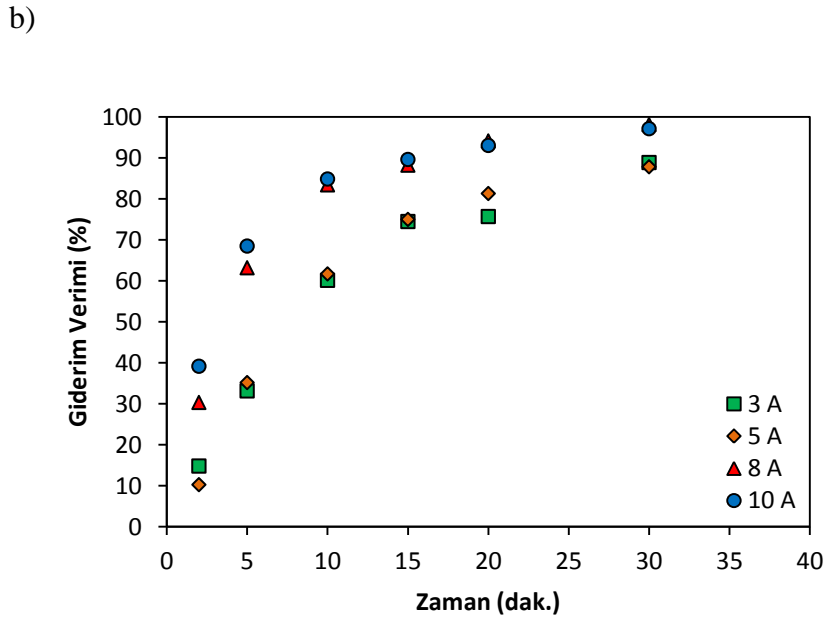
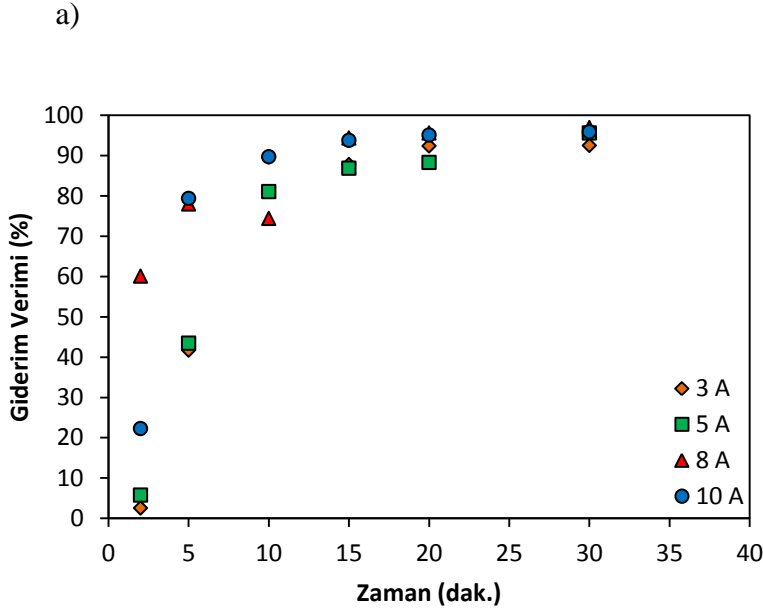
6. BULGULAR ve TARTIŞMA

6.1. Sentetik Boyarmadde Çözeltileri için Optimum Deneş Şartlarının Belirlenmesi

Çalışmanın ilk aşamasında, sentetik boya çözeltilerinden anodun elektrolitik oksidasyonuna dayanan, elektrokoagülasyon yöntemi ile renk giderimi incelenmiştir. Fe ve Al anotların kullanılması ile iki basamaklı olarak yürütölen çalışmada her iki elektrot materyali için akım, pH, başlangıç boya konsantrasyonu ve sıcaklığın giderim verimi üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla Setazol Black TNN kullanılarak 3000 mg/L konsantrasyonunda stok boya çözeltisi hazırlanmıştır. Kesikli çalışılan prosesde en uygun akım ve pH çalışmaları 50 mg/L konsantrasyonundaki boya çözeltileri ile gerçekleştirilmiştir. Renk giderim veriminin akım, pH, başlangıç boya konsantrasyonu ve sıcaklığa bağılı değişimini gösteren grafikler, Şekil 6.1-6.4'de verilmektedir.

İlk olarak Fe ve Al elektrotlar için en uygun akımın araştırıldığı deneylerde, 50 mg/L konsantrasyonundaki sentetik boya çözeltilerinin elektrokoagülasyon yöntemiyle doğal pH (7,57) ve oda sıcaklığında (21⁰C) 3, 5, 8 ve 10 amper akım altında arıtılabilirliği incelenmiştir. Fe ve Al elektrotlar için en yüksek giderimin sağlandığı akım değeri, çalışma kapsamında optimum olarak kabul edilmişlerdir.



Şekil 6.1. Akım yoğunluğunun a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki etkisi

Çalışmada giderim verimlerinin, uygulanan akıma bağlı olarak Fe elektrotlarda %93-97, Al elektrotlarda %88-98 arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 6.1. a-b). Sonuçlar incelendiğinde her iki elektrot için de mevcut reaktör ve arıtım şartlarında optimum akım, en yüksek giderim veriminin sağlandığı 8 A olarak belirlenmiştir.

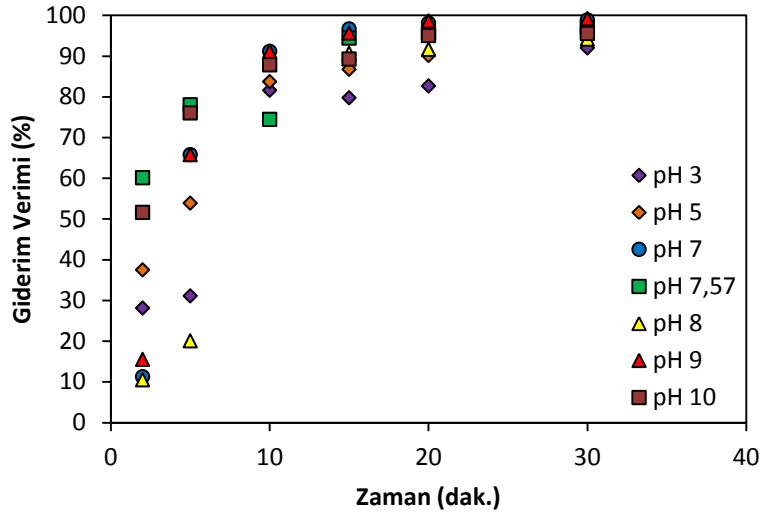
Elektrokoagülasyon prosesinde elektrot materyali, arıtım verimi üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Bu nedenle su ve atıksu arıtımında insan ve çevre sağlığı açısından zararlı özellik taşımayan, kolay ulaşılabilir, uygulanabilir ve ucuz materyal tercih edilmelidir (Daneshvar ve ark. 2007, Zaied M ve Bellakhal N 2009). Bu çalışmada tüm bu özelliklerinin yanısıra verimi de kanıtlanmış olan Fe ve Al elektrotlar kullanılmıştır.

Tüm elektrokimyasal prosesler Faraday Kanunları ile açıklanmaktadır. 1. Faraday Kanunu'na göre uygulanan akım ile elektrotlardan ayrılan metal miktarı doğru orantılı olarak değişmektedir. Akım, metal iyonlarına bağlı olarak koagülant üretim hızını, reaksiyon hızını ve üretilen baloncukların boyutunu belirlemektedir. Böylelikle elektrokoagülasyonun giderim verimi üzerinde doğrudan etkili olmakta, prosesin ilerleyişini yönlendirmektedir.

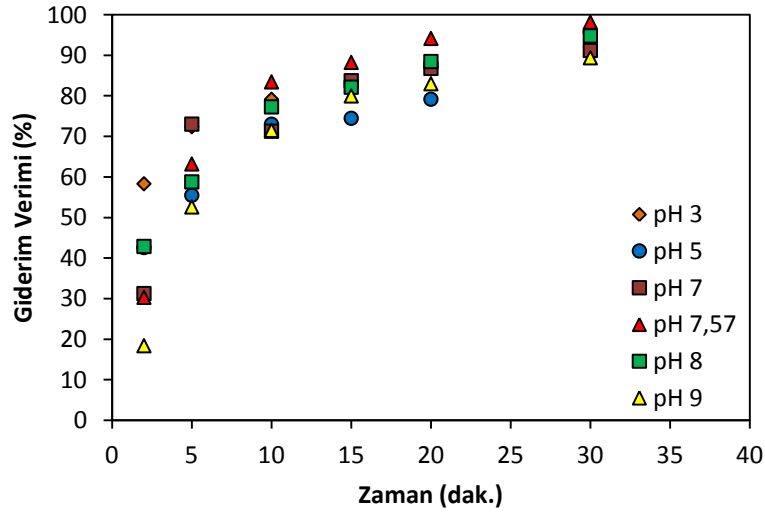
Ancak akımın artması enerji tüketiminin, buna bağlı olarak da arıtım maliyetinin artması anlamına gelmektedir. Bu nedenle herbir elektrokoagülasyon ünitesi için en uygun akım ya da bu akım ve anotların toplam alanına bağlı olarak hesaplanan akım yoğunluğunun belirlenmesi önem kazanmaktadır (Yılmaz ve ark. 2005, Daneshvar ve ark. 2006, Daneshvar ve ark. 2007).

En uygun pH değerinin araştırıldığı deneylerde ise, 50 mg/L konsantrasyonundaki sentetik boya çözeltilerinin 8 A akım ve oda sıcaklığında Al elektrotlar için 3, 5, 7, 8, 9 ve doğal pH'da, Fe elektrotlar için ise 3, 5, 7, 8, 9, 10 ve doğal pH'da arıtılabilirliği incelenmiştir.

a)



b)



Şekil 6.2. pH'nın a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi

üzerindeki etkisi

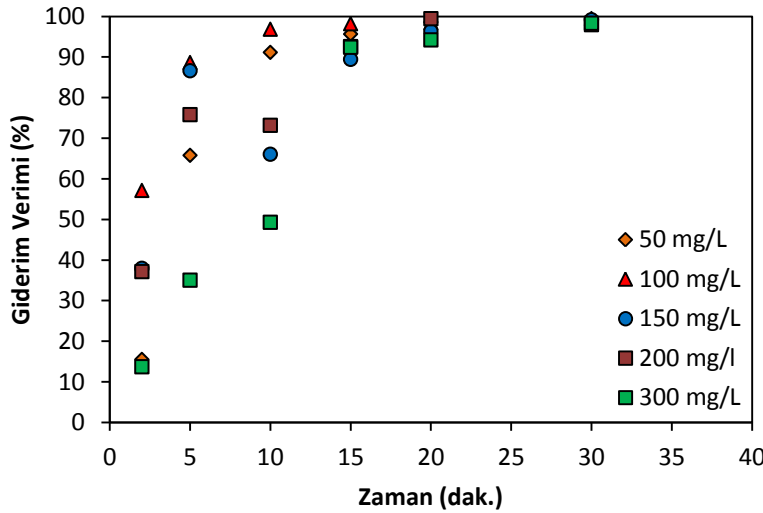
Çalışılan pH değerleri için verimin Fe elektrotlarda %92-99, Al elektrotlarda %89-98 arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 6.2 a-b). Optimum pH değeri Fe elektrotlar için 9, Al elektrotlar için doğal pH olarak belirlenmiştir.

pH, elektrokoagülasyon da dahil olmak üzere tüm koagülasyon prosesleri üzerinde performansı etkileyen önemli bir parametredir. Çünkü ortamın pH'ı proses süresince etkin

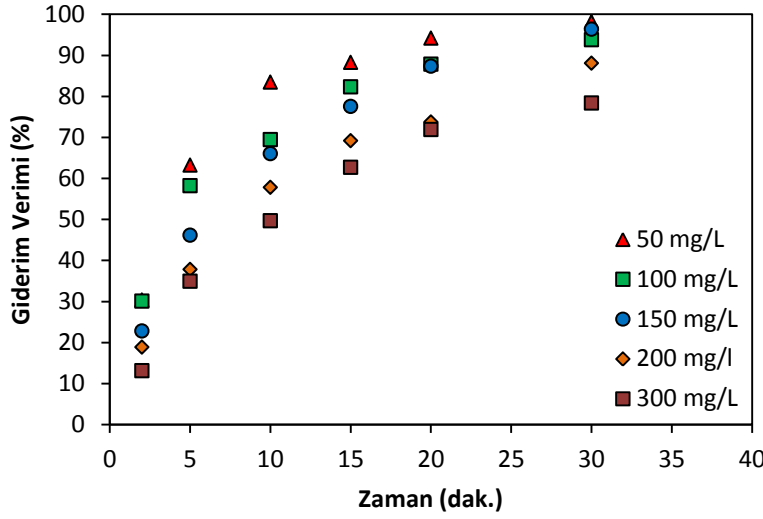
olacak metal hidroksit türleri üzerinde doğrudan belirleyici olmaktadır. Ortamda elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda üretilen metal ve OH⁻ iyonları, elektrot materyaline bağlı olarak (Al veya Fe) Al(OH)²⁺, Al₂(OH)₂⁴⁺, Al(OH)₄⁻, Al₆(OH)₁₅³⁺, Al₇(OH)₁₇⁴⁺, Al₈(OH)₂₀⁴⁺, Al₁₃O₄(OH)₂₄⁷⁺, Al₁₃(OH)₃₄⁵⁺, Fe(OH)₂, Fe(OH)₃, Fe(OH)₄⁻, Fe(H₂O)₆³⁺, Fe(H₂O)₅(OH)²⁺, Fe(H₂O)₄(OH)₂⁺, Fe₂(H₂O)₈(OH)₂⁴⁺, Fe₂(H₂O)₆(OH)₄⁴⁺ gibi çeşitli monomerik ve polimerik türleri oluşturmak için reaksiyona girmektedirler. Yapılan çalışmalar elektrokoagülasyonda düşük pH ve yüksek pH değerlerinde arıtma veriminin azaldığını göstermektedir. Bunun temel nedeni pH'a bağlı olarak ortamda ağırlık kazanan iyonik türlerdir (Kim T ve ark.2002, Inan H ve ark.2004, Yılmaz ve ark.2005, Daneshvar N ve ark.2006, Daneshvar N ve ark.2007, Zaied M ve Bellakhal N 2009).

En uygun akım ve pH değerlerinin ardından boya konsantrasyonu çalışmaları başlamıştır. Bu amaçla 8 A akım ve oda sıcaklığında Fe elektrotlar için pH 9, Al elektrotlar için doğal pH (7,57) değeri kullanılarak 50, 100, 150, 200 ve 300 mg/L olmak üzere 5 farklı boya konsantrasyonunda arıtım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

a)



b)



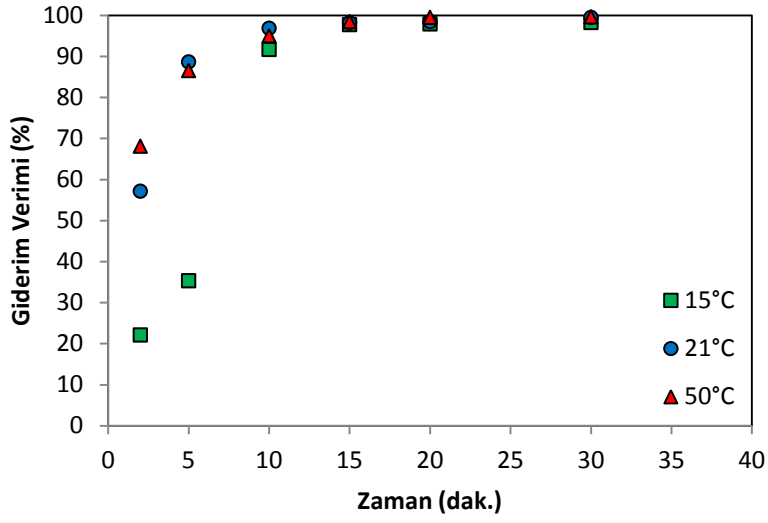
Şekil 6.3. Başlangıç boya konsantrasyonu a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki etkisi

Farklı boya konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda giderim verimi Fe elektrotlar için %98-99,5, Al elektrotlar için %78-98 arasında değişmektedir (Şekil 6.3 a-b). Bu sonuçlara bağlı olarak optimum başlangıç boya konsantrasyonu Fe elektrotlar için 100 mg/L, Al elektrotlar için 50 mg/L olarak belirlenmiştir.

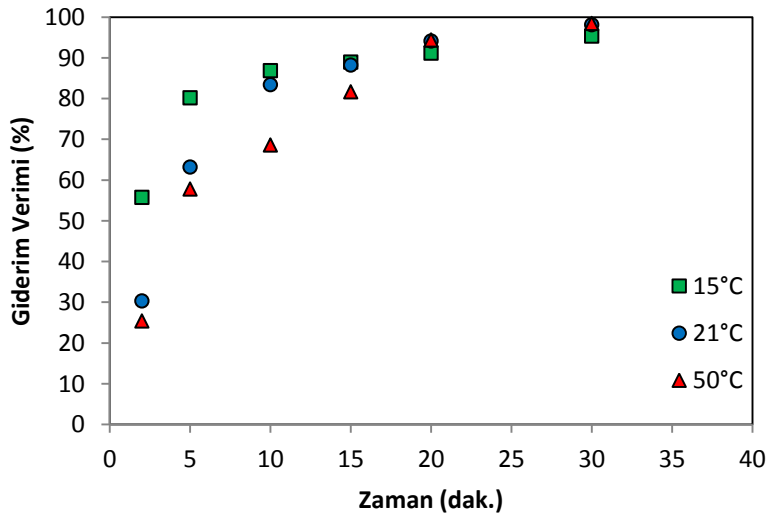
Elektrokoagülasyon proseslerinde kirletici konsantrasyonunun artması ile çoğunlukla giderim verimi azalmaktadır. Bu durum üretilen metal iyonuyla bağlantılı olarak flok oluşumunun, yüksek konsantrasyonlar için yetersiz kalmasıyla açıklanmaktadır.

Akım, pH ve başlangıç boya konsantrasyonunun belirlenmesinin ardından sıcaklığın elektrokoagülasyon üzerine etkisi araştırılmıştır. 8 A akım altında Fe elektrotlar için 100 mg/L boya konsantrasyonu ve pH 9'da, Al elektrotlar için 50 mg/L boya konsantrasyonu ve doğal pH'da 15, 21 ve 50°C sıcaklıklarda renk giderim deneyleri yapılmıştır.

a)



b)



Şekil 6.4. Sıcaklığın a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki etkisi

Deneyler sonucunda sıcaklık arttıkça giderim veriminin de arttığı görülmektedir. En yüksek giderim verimi Fe elektrotlar için %99,63, Al elektrotlar için ise %99 ile 50⁰C’de elde edilmiştir (Şekil 6.4 a-b).

Sıcaklığın elektrokoagülasyon prosesi üzerinde etkili olduğu kabul edilmekle birlikte bu konuda diğer parametreler kadar çalışma yapılmamıştır. Ancak belirli bir sıcaklığa kadar ortamdaki iyonların hareketliliğinin buna bağlı olarak da floklarla çarpışma ya da temas ihtimallerinin arttığı bilinmektedir. Yapılan çalışmalar, prosede akım veriminin 60⁰C'ye kadar arttığını, sıcaklığın daha fazla artması durumunda ise, akım veriminde düşüş meydana geldiğini ortaya koymaktadır (Daneshvar N ve ark. 2003, Chen 2004).

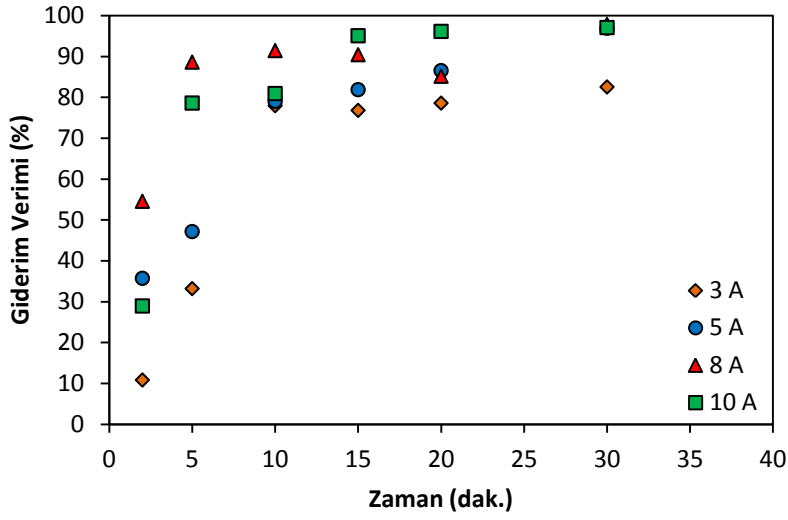
6.2. Boyahane Atıksuları için Optimum Deney Şartlarının Belirlenmesi

Çalışmanın ikinci aşamasında, iplik boyama banyosundan alınan atıksulardan elektrokoagülasyon yöntemi ile renk giderimi incelenmiştir. Fe ve Al anotların kullanılması ile yine iki basamaklı olarak yürütülen çalışmada her iki elektrot materyali için akım, pH, seyrelme ve sıcaklığın giderim verimi üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

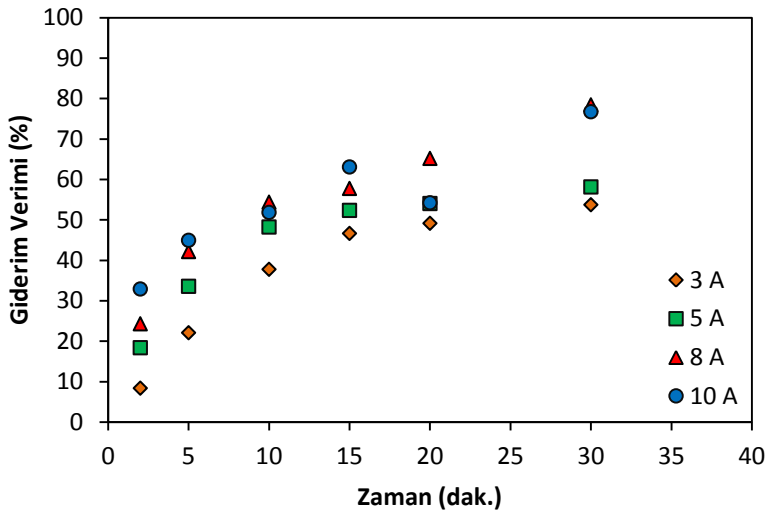
Boyahane atıksularının ve sentetik boya çözeltilerinin arıtılabilirlik çalışmaları aynı deney şartları altında yapılmıştır. Bu amaçla proses yine kesikli çalıştırılmış ve en uygun akım ve pH çalışmaları 1/60 oranında seyreltilmiş boyahane atıksuları ile gerçekleştirilmiştir. Boyahane atıksularının renk giderim veriminin akım, pH, seyrelme ve sıcaklığa bağlı değişimini gösteren grafikler, Şekil 6.5-6.8'de verilmektedir.

Fe ve Al elektrotlar için en uygun akımın araştırıldığı deneylerde, 1/60 oranında seyreltilmiş boyahane atıksularının doğal pH (9,32) ve oda sıcaklığında (21⁰C) 3, 5, 8 ve 10 amper akım şartları altında arıtılabilirliği incelenmiştir. Fe ve Al elektrotlar için en yüksek giderimin sağlandığı akım değeri, bu çalışma kapsamında optimum olarak kabul edilmişlerdir.

a)



b)

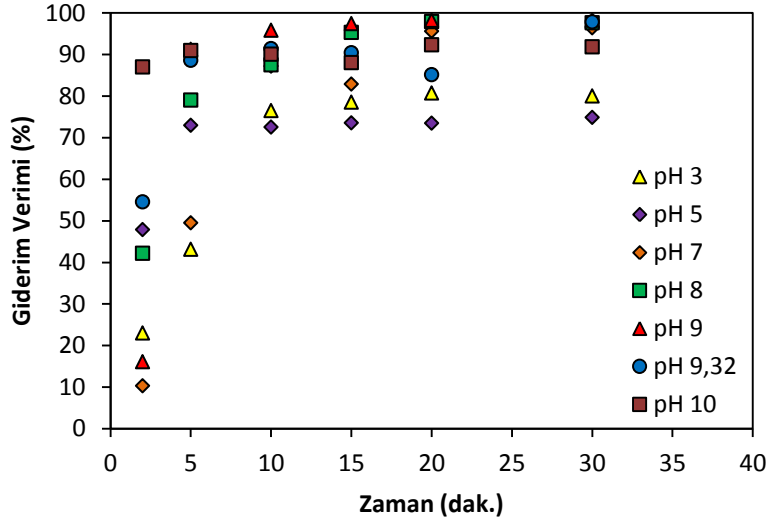


Şekil 6.5. Akım yoğunluğunun a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki etkisi

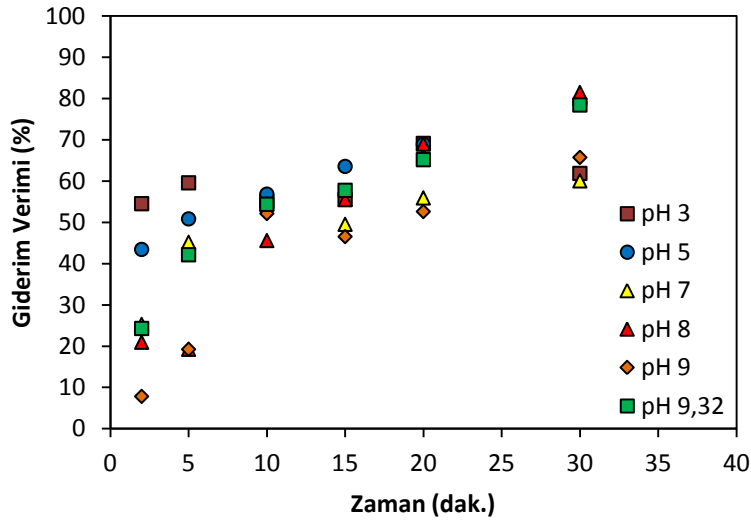
3-10 A arasında değişen akımlarda Fe elektrotlar için %83-98, Al elektrotlar için %54-78 arasında verimler elde edilmiştir (Şekil 6.5 a-b). Grafikler incelendiğinde en yüksek verimin iki elektrot için de yine 8 A olduğu belirlenmiştir.

pH değerinin araştırıldığı çalışmalarda, 1/60 oranında seyreltilmiş boyahane atıksularının 8 A akım ve oda sıcaklığında Al elektrotlar için 3, 5, 7, 8, 9 ve doğal pH'da, Fe elektrotlar için ise 3, 5, 7, 8, 9, 10 ve doğal pH'da arıtılabilirlikleri incelenmiştir.

a)



b)



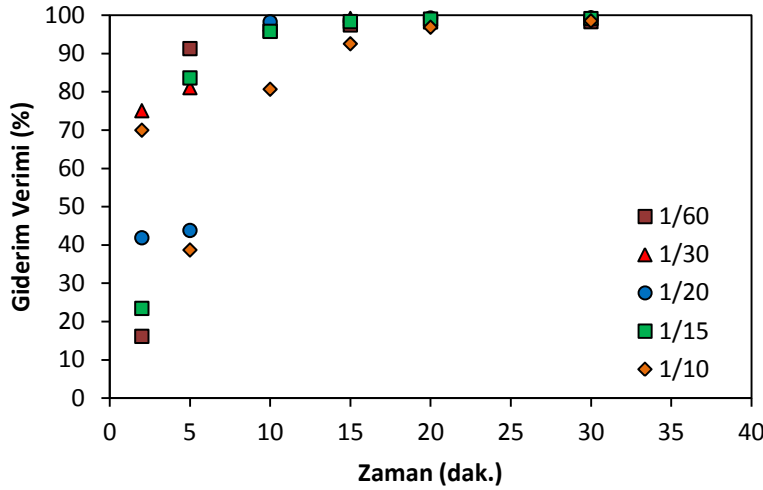
Şekil 6.6. pH'nın a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi

üzerindeki etkisi

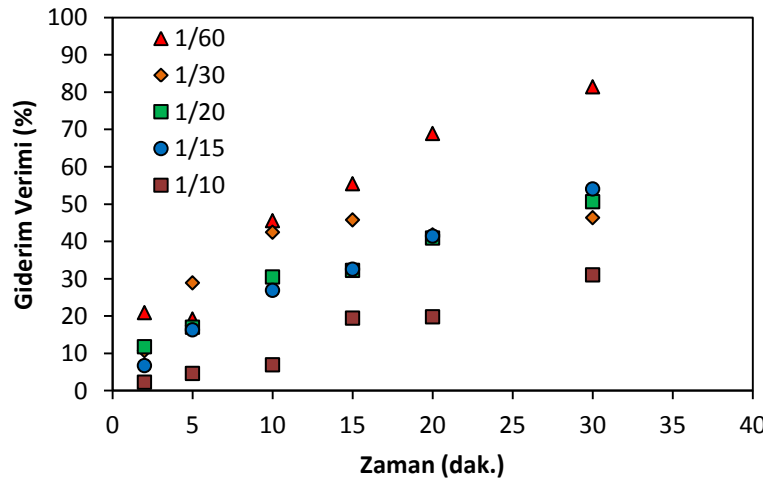
Fe elektrotlar için 3-10, Al elektrotlar için 3-9, aralığında değişen pH'larda yapılan deneylerde giderim verimlerinin Fe elektrotlarda %75-98, Al elektrotlarda %60-82 arasında olduğu görülmektedir (Şekil 6.6 a-b). Optimum pH değeri Fe elektrotlar için 9, Al elektrotlar için 8 olarak belirlenmiştir.

Seyrelmenin elektrokoagülasyon prosesi üzerindeki etkisinin araştırıldığı deneyler 8 A akım ve oda sıcaklığında Fe elektrotlar için pH 9, Al elektrotlar için pH 8 değerinde gerçekleştirilmiştir. Bu arıtım şartlarının yanısıra boyahane atıksuları elektrokoagülasyon reaktörüne 1/60, 1/30, 1/20, 1/15 ve 1/10 olmak üzere 5 farklı oranda seyreltilerek verilmiştir.

a)



b)

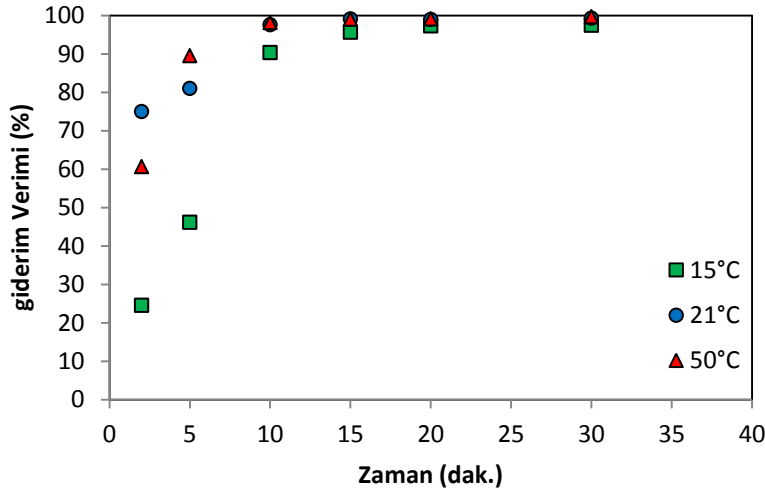


Şekil 6.7. Seyrelmenin a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki etkisi

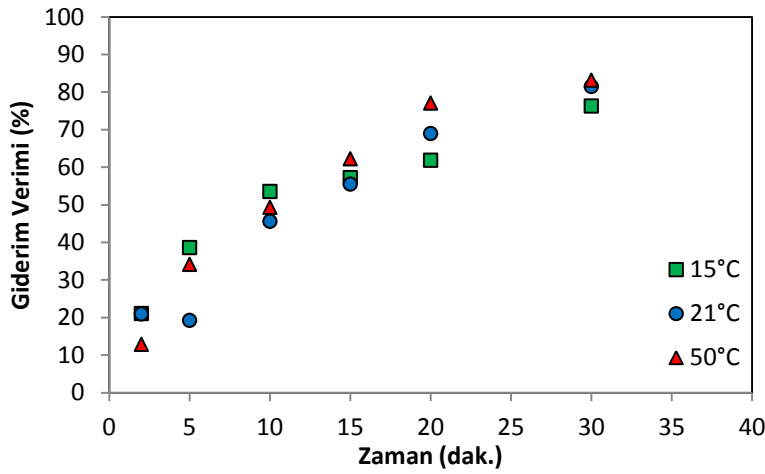
Giderim verimlerinin seyrelme oranlarına bağı olarak Fe elektrotlar için %98-99, Al elektrotlar için %31-82 aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 6.7 a-b). Optimum seyrelme oranı Fe elektrotlar için 1/30, Al elektrotlar için 1/60 olarak bulunmuştur.

Bu arıtım şartlarının ardından sıcaklığın boyahane atıksularının arıtımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 8 A akım altında Fe elektrotlar için 1/30 oranında seyreltilmiş atıksuların, pH 9'da, Al elektrotlar için 1/60 oranında seyreltilmiş atıksuların, doğal pH'da 15, 21 ve 50°C sıcaklıklarda arıtım deneyleri yapılmıştır.

a)



b)



Şekil 6.8. Sıcaklığın a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar için giderim verimi üzerindeki etkisi

Sonuçlar incelendiğinde giderim verimlerinin Fe elektrotlar için %98-99,72, Al elektrotlar için ise %76-83 arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 6.8 a-b). Her iki elektrot için de en yüksek verim 50⁰C’de elde edilmekle birlikte bu değer proses çıkış sularının sıcaklığına göre çok yüksektir.

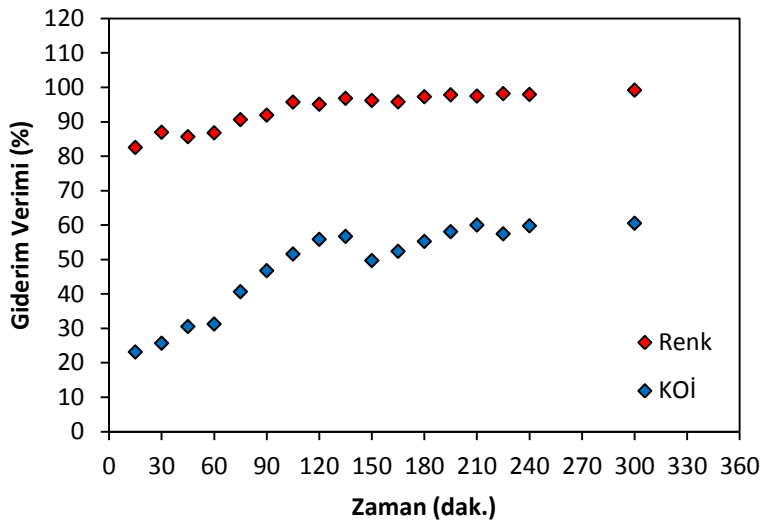
6.3. Sentetik Boya Çözeltileri ve Boyahane Atıksularının Elektrokoagülasyon

Yöntemiyle Arıtımı

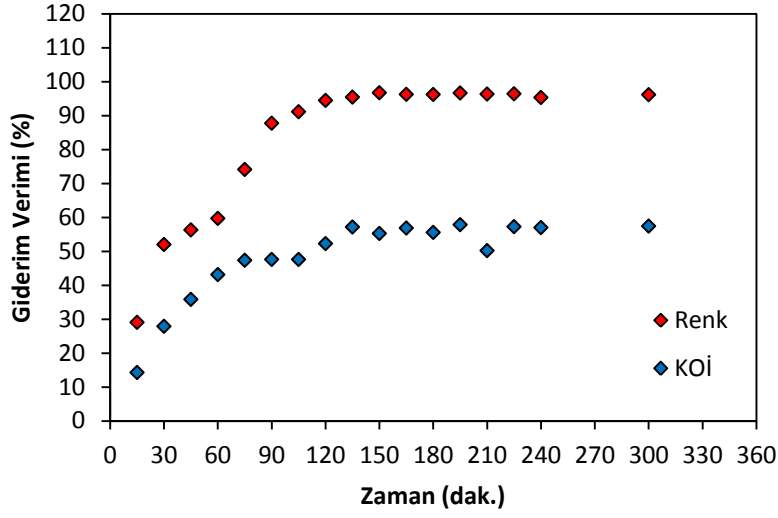
Çalışmanın üçüncü aşamasında sentetik boya çözeltileri ve boyahane atıksularının seyreltilmeden, optimum deney şartları kullanılarak uzun periyotlu arıtmaları gerçekleştirilmiştir. Fe ve Al anotların kullanılması iki basamaklı olarak yürütülen deneylerde renk gideriminin yanısıra KOİ giderimi de incelenmiştir.

Sentetik boya çözeltisinin elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtımı boyahane atıksuları ile aynı renk değerinde hazırlanan sentetik boya çözeltileri ile gerçekleştirilmiştir. Arıtım şartları 8 A akım ve Fe elektrotlar için pH 9, Al elektrotlar için çözeltinin doğal pH’sı olarak belirlenmiştir (Şekil 6.9 a-b).

a)



b)

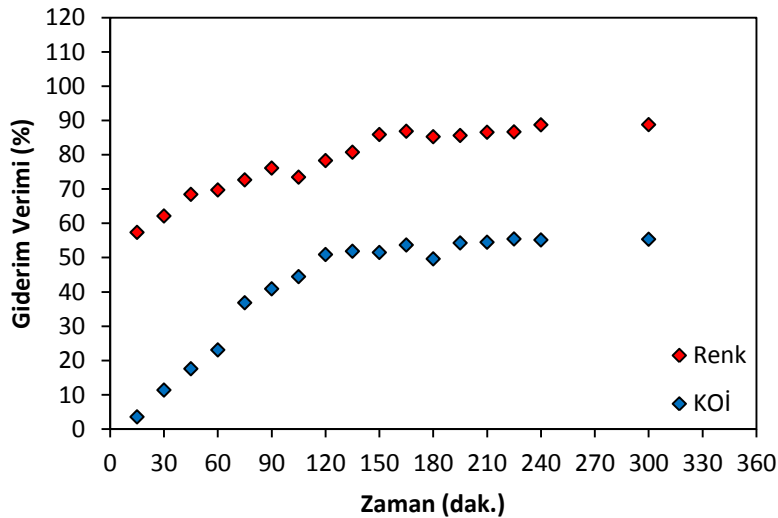


Şekil 6.9. a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar ile renk ve KOİ giderim verimi

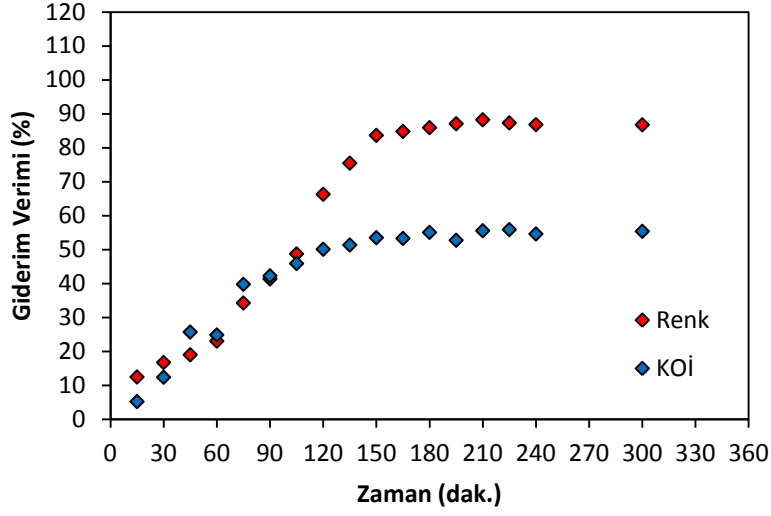
5 saat süre ile gerçekleşen arıtım çalışması sonucunda renk ve KOİ giderimi Fe elektrotlarla %99 ve %61, Al elektrotlarla %96 ve %57 olarak bulunmuştur. Ancak 120. dakikadan itibaren renk ve KOİ gideriminde Fe elektrotlarla %95 ve %56, Al elektrotlarla %94 ve %52 verime ulaşılmıştır.

Boyahane atıksularının arıtımında deney şartları 8 A akım ve Fe elektrotlar için pH 9, Al elektrotlar için pH 8 olarak belirlenmiştir (Şekil 6.10 a-b).

a)



b)



Şekil 6.10. a) Fe elektrotlar b) Al elektrotlar ile renk ve KOİ giderim verimi

Arıtım çalışması sonucunda renk ve KOİ gideriminde Fe elektrotlarla %89 ve %55, Al elektrotlarla %87 ve %55 verim elde edilmiştir. Deneylerde 135. dakikadan itibaren renk ve KOİ gideriminde Fe elektrotlarla %81 ve %52, Al elektrotlarla %76 ve %51 verime ulaşıldığı görülmektedir.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tekstil sanayi gerek üretim kapasitesi ve ihracat değerleri gerekse istihdam açısından ülkemizin en önemli sanayi kollarından birisini oluşturmaktadır. Tekstil başlığı altında toplanan bu sanayi dalı iplik üretimi, kumaş dokuma, örme, halı üretimi, terbiye işlemleri gibi çeşitli alt sanayi kollarına ayrılmaktadır. Bu alt sanayi kollarının en önemlilerinden birisi de iplik üretimidir. Bu proses ve devamındaki boyama genel olarak, doğal veya yapay elyafların çeşitli işlemlerden geçirilerek istenilen numaralarda eğrilip bobinlenmesi ve üretilen ipliklere istenilen renk ve tonların verilmesi işlemlerini içermektedir. Türkiye yaklaşık 617 tesisiyle 3500000 ton iplik üretim kapasitesine sahiptir. Bu tesislerin yaklaşık %29'u Marmara Bölgesi'nde yer almaktadır.

Tekstil sanayi ekonomik özelliklerinin yanısıra birim mamul başına yüksek su tüketimi, yoğun boyama işlemi ve boyama banyolarında kullanılan kimyasal maddeler nedeniyle çevresel açıdan da önem kazanmaktadır. Üretim özelliklerine bağlı olarak atıksu açısından prosesdeki en önemli noktalar boyama ve yıkama üniteleridir. Genel olarak boyama ünitelerinde birbirinden çok farklı kimyasal yapı ve özelliklere sahip boyarmaddeler ile boyama işlemi yapılmaktadır. Bunlara ilave olarak yine bu ünitelerde boyama işlemlerinin istenilen ölçüde gerçekleşebilmesi için yardımcı kimyasal maddeler de yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu kimyasalların kullanımı hazırlanan reçeteler doğrultusunda olmakla birlikte elyafın boyarmaddeye hazırlanması, boyarmaddenin elyafa bağlanmasının kolaylaştırılması ve ortamdaki safsızlıkların giderilmesi sağlanmaktadır. Yıkama ünitelerinde ise elyafa bağlanmamış boyarmaddelerin uzaklaştırılması için sabunlama ve durulama işlemleri yapılmaktadır. Tüm bu işlemler sonucunda önemli miktarda, yoğun boyarmadde içeren ve çoğunlukla yüksek pH değerine sahip atıksular açığa çıkmaktadır. Son dönemlerde bu atıksuların arıtımı, farklı yöntemlerin kullanılması ile çeşitli çalışmaların yapıldığı bir araştırma konusu durumuna gelmiştir. Elektrokoagülasyon prosesi, bu yöntemler içerisinde renk giderim verimi nedeniyle etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Renk giderimi ve bu konuda başarılı yöntemler günümüzde özellikle yönetmeliğe renk parametresinin eklenmesi ile daha da önem kazanmıştır.

Bu çalışmada da elektrokoagülasyon yöntemi ile iplik boyama, kumaş boyama ve kumaş baskı konularında faaliyet gösteren bir işletmenin iplik boyama banyosu atıksularından renk giderimi incelenmiştir. Arıtım çalışmaları boyarmadde olarak Setazol Black TNN'nin kullanıldığı iplik boyama banyosundan alınan gerçek atıksular ve bu boyarmadde ile hazırlanan sentetik boya çözeltileri ile gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal temellere dayanan elektrokoagülasyon prosesi, çözünen elektrotların kullanıldığı bir arıtım yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Bu prosesde koagülasyon, anot materyalinin elektrolitik oksidasyonu ile üretilen koagülantlar vasıtasıyla meydana gelmektedir. Elektrokoagülasyonda akım, pH gibi prosesinin ilerleyişi ve koagülant üretimi üzerinde doğrudan etkili olan parametreler giderim verimini belirlemektedir. Bu nedenle arıtılabilirlik çalışmaları bu parametreler için en uygun değerlerin araştırılmasıyla başlamaktadır. Birkaç basamaklı gerçekleştirilen bu çalışmada da öncelikle sentetik boya çözeltileri ve boyahane atıksuları için arıtım şartlarına bağlı giderim verimi değişimi incelenmiştir.

Deneylemler sonucunda en uygun akım, pH, başlangıç boya konsantrasyonu ve sıcaklık sentetik boya çözeltilerinde, Fe elektrotlar için sırasıyla, 8A, 9, 100 mg/L ve 50°C, Al elektrotlar için 8A, 7,57, 50 mg/L ve 50°C olarak belirlenmiştir. Boyahane atıksularında ise yine en uygun akım, pH, seyrelme ve sıcaklık değerinin Fe elektrotlar için sırasıyla, 8A, 9, 1/30 ve 50°C Al elektrotlar için 8A, 8, 1/60 ve 50°C olduğu görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde, aynı elektrot malzemesi için iki atıksuda da optimum değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Arıtım şartlarının belirlenmesinin ardından, sentetik boya çözeltileri ve boyahane atıksuları elektrokoagülasyon yöntemi ile seyreltilmeden oda sıcaklığında 5 saat süre ile arıtılmışlardır. Bu çalışmada renk giderimi ile birlikte KOİ giderimi de izlenmiştir. Sentetik boya çözeltilerinde 5 saat sonunda Fe elektrotlar için %99 renk ve %61 KOİ giderimi, Al elektrotlar için %96 renk ve %57 KOİ giderimi elde edilmiştir. Boyahane atıksularında ise Fe elektrotlar için %89 renk ve %55 KOİ giderim verimi, Al elektrotlar için %87 renk ve %55 KOİ giderim verimi sağlanmıştır. Ancak pratikte elektrokoagülasyon yöntemiyle 5 saatlik arıtım ekonomik açıdan uygun değildir. Bunun yanısıra grafikler incelendiğinde, sentetik boya çözeltileri için 120. dakikadan itibaren Fe ve Al elektrotlarla %90'ın üzerinde renk ve %50'nin üzerinde KOİ giderim verimi elde edildiği, boyahane atıksularında ise 135. dakikadan itibaren %75'in üzerinde renk ve %50'nin üzerinde KOİ giderimi sağlandığı görülmektedir. Yapılan bu çalışma, elektrokoagülasyon yönteminin sözkonusu

boyarmaddeden hareketle, yoğun renk içeren atıksular için bir arıtım basamağı olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

8.KAYNAKLAR

- Akbaş H, etinkaya R, Smertaş E, şirin Y, Baykut H, ağıran H (2013). Tekstil Fabrikası. evre ve şehircilik Bakanlığı evresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü
- Akyol A (2012). Treatment of Paint Manufacturing Wastewater by Electrocoagulation. Desalination, 285:91-99
- Albayrak , Tohumcu K S, Ayhan Y, Gl B, Bülbül C, Akdemir E (2012). Tekirdağ İl evre Durum Raporu. Tekirdağ Valiliği evre ve şehircilik İl Müdürlüğü
- Alinsafi A, Khemis M, Pons M, Leclerc J, Yaacoubi A, Benhammou A, Nejmeddine A (2005). Electro-Coagulation of Reactive Textile Dyes and Textile Wastewater, Chemical Engineering and Processing, 44:461-470
- Alpaut O (1978). Elektrokimya: Fizikokimya. Hacettepe Üniversitesi, Ankara
- Aniş P, Eren H (2003). Poliester/Pamuk Karişımlarının Boyanması: Uygulamalar ve Yeni Yaklaşımlar. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 8:131-139
- Anonim (2014). İhracat Stratejileri. <http://www.timakademi2023.org/wp-content/themes/a23/docs/tekstil-hazir-giyim.pdf> (Erişim Tarihi, 22.02.2014)
- Aouni A, Fersi C, Cuartes-Uribe B, Bes-Pia A, Alcaina-Miranda M I, Dhabbi M (2012). Reactive Dyes Rejection and Textile Effluent Treatment Study Using Ultrafiltration and Nanofiltration Processes, Desalination 297, 87-96
- Avcu F (2010). Atıksulardaki Fenolün Elektrokoksidadasyon ile Arıtılması için Elektroaktif Elektrot Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı, Adana
- Balcı B (2007). Atıksulardan Tekstil Boyarmaddelerinin Sürekli ve Kesikli Sistemlerde Ağaç Kabuğu (Eucalyptus Camaldulensis) Kullanılarak Adsorpsiyon ile Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Barredo-Damas S, Alcaina-Miranda M I, Bes-Pia A, Iborra-Clar M I, Iborra-Clar A, Mendoza-Roca J A (2010). Ceramic Membrane Behavior in Textile Wastewater Ultrafiltration, Desalination 250, 623-628
- Bayar S, Boncukçuoğlu R, Fil B, Yılmaz A (2012). Elektrokogülasyon Yöntemi Kullanılarak Direct Red 23 Boyarmaddesinin Gideriminin İncelenmesi, İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2: 21-28.

- Bayraktar T (2003) . Türkiye’de İplik Üretim Kapasitesi ve Makina Parkı Üzerine Genel Bilgiler, İTKİB Genel Sekreterliği Ar - Ge ve Mevzuat Şubesi
- Bayramoğlu M, Kobyay M, Eyvaz M, Şentürk E (2006). Technical And Economic Analysis of Electrocoagulation for The Treatment of Poultry Slaughterhouse Wastewater, Separation Purification Technology, 51:404-408
- Bazrafshan E, Ownagh K A, Mahvi A H(2012). Application of Electrocoagulation Process Using Iron and Aluminum Elektrodes for Fluoride Removal from Aqueous Environment. Journal of Chemistry,9(4):2297-2308
- Berik N (2002). İŐlenmiŐ ve İŐlenmemiŐ Su Ürünlerinin Elektroforez Yöntemi İle Cinslerinin Tanımı. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Avlama Ve İŞleme Teknolojisi Anabilim Dalı İŞleme Teknolojisi Programı, İstanbul
- Can M, Etemoğlu A, Avcı A (2002). Deniz Suyundan Tatlı Su Eldesinin Teknik ve Ekonomik Analizi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7: 147-160
- Candan C (2004). Çoraplarda Boya ve Terbiye İŞlemleri. Çorap Örmek Teknolojisi, Çorap Sanayicileri Derneği, İstanbul, 163
- Chen G (2004). Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. Separation and Purification Technology , 38 : 11-41.
- Chen X, Chen G, Yue P (2000). Separation of Pollutants from Restaurant Wastewater by Electrocoagulation, Sereration Purification Technology, 19: 65-76
- Chen B, Zhang M, Chang C,Ding Y, Chen W, Hsueh C(2011). Deciphering Azo Dye Decolorization Characteristics by İndigenous Proteus Hauseri: Chemical Structure,Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers, 42 : 327–333
- Cırık K, Çınar Ö, Őahinkaya E, Uysal Y, BaŐak S, AydođmuŐ D, Özdemir Ő, Yiğit N, KitiŐ M, Civelekoğlu G, Doğan A, Harman İ, Köseoğlu H, Sayılđan E, Partal R, Gören S, Güyer G T, Karaca F, Petek M, Anıl İ, Tanrıseven Y, Yıldız A, Aydemir R, YetiŐ Ü (2013). Boyarmadde İçeren Atıksu Arıtma Tesislerinin İŐletilmesine Yönelik El Kitabı. Çevre ve Őehirçilik Bakanlığı, Ankara
- Cui D, Li G, Zhao D, Gu X, Wang C, Zhao M(2012). Microbial Community Structures in Mixed Bacterial Consortia for Azo Dye Treatment Under Aerobic and Anaerobic Conditions, Journal of Hazardous Materials , 221– 222 : 185– 192
- Çelik V (2002). Nükleik Asitlerin Elektroforezi.Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Bölümü, Elazığ

- Çimen E (2013). Kırmızı Gül Yapraklarından Farklı Ekstraksiyon Yöntemleri İle Doğal Boyarmadde Eldesi ve Tekstil Alanında Uygulanabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı Anorganik Kimya Programı, İstanbul
- Çoban S (1999). Tekstil Boyacılığı. Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri, Ege Üniversitesi. Emel Akın Meslek Yüksek Okulu, İzmir, 70-84
- Daneshvar N, Ashassi-Sorkhabi H, Tizpar A(2003). Decolorization of Orange by Electrocoagulation Method , Separation Purification Technology,31:153-162
- Daneshvar N, Oladegaragoze A, Djafarzadeh N(2006). Decolorization of Basic Dye Solutions By Electrocoagulation: an Investigation of The Effect of Operational Parameters, Journal of Hazardous Material, B129:116-122
- Daneshvar N, Khataee A, Ghadim A, Rasoulifard M (2007). Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 Solution by Lectrocoagulation Process:Investigation of Operationel Parameters and Evaluation of Specific Electrical Energy Consumption(Seec), Journal of Hazardous Material,148:566-572
- Edecan E (2006). Kombine Ultrases/Aktif Karbon Kullanarak Tekstil Boyarmaddesinin Renk Gideriminin Modellenmesi ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum
- Ege N (2009). Deri Endüstrisinde Kullanılan Boyarmaddelerin Renk Giderimi ve Biyodegradasyonunda Kullanılabilecek Bakterilerin İzolasyonu ve Etkinlik Derecelerinin Saptanması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, İzmir
- Ekti E (2013). Tekstil Sektörü Raporu. T.C. Doğu Marmara Kalkınma Ajansı Düzce Yatırım Destek Ofisi.
- Eren Z, Acar F (2004). Uçucu Kül Adsorpsiyonu ile Reaktif Boya Giderimi. Yüksek Lisans Tezi Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10: 253-258
- Eraslan H, Bakan İ, Helvacıoğlu Kuyucu A (2008). Türk Tekstil ve Hazırgiyim Sektörünün Uluslararası Rekabetçilik Düzeyinin Analizi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,13: 265-300
- Fırat Kalkınma Ajansı (2011). Bingöl İli Tekstil ve Konfeksiyon Sektörü
- Fil B, Boncukoğlu R, Yılmaz A, Bayar S (2012). Antep Fıstığı İşleme Atıksularının Elektrokodasyon Yöntemiyle Ön Arıtım Çalışmaları. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2:29-36

- Gonca B (2007). Reaktif Kırmızı 195 (Rr195) Azo Boyarmaddesinin Katalitik Ozonlanması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Gontek J, Montes I, Nadolski A, Wojcik K, Seoánez C, Öztürk A, Yılmaz K, Aktaş İ, Demir M, Tok E, Savaş Ş, Gülay Ö, Gürpınar Ö, Başarısoy P (2012). Eşleştirme Projesi Tr 08 Ib En 03 Ippc – Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tekstil Sanayi için Met Kılavuzu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara
- Gürel C (2006). Tekstil Atıksularından Boyarmaddelerin Elektrokimyasal Yükseltgeme ile Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir
- Hacıbebekoğlu M, Yiğitbaşı G, Ercan Ş (2011). Pamuk İpliği Üretim Tesisi Yatırım Fizibilitesi, Progem Eğitim Danışmanlık Ltd. Şti .
- Halkbank (2010). Tekstil ve Hazır Giyim Sektör Raporu, Halkbank Kurumsal Sosyal Sorumluluk Projesi
- Holt P, Barton W, Mitchell C (2005). The Future for Electrocoagulation as A Localised Water Treatment Technology, Chemosphere, 59:355-367
- Hsueh C, Chen B, Yen C (2009). Understanding Effects of Chemical Structure on Azo Dye Decolorization Characteristics by Aeromonas Hydrophila, Journal of Hazardous Materials, 167: 995–1001
- İçoğlu H (2006). Pamuklu Dokunmuş Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanması ve Uygulama Yöntemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- İlhan F, Kurt U, Apaydın Ö, Arslankaya E, Gönüllü T (2007). Elektrokimyasal Arıtım ve Uygulamaları: Katı Atık Sızıntı Suyu Çalışması. AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 1-9, İstanbul
- İrdemez Ş, Demircioğlu N, Yıldız Y (2006). The Effects of Ph on Phosphate Removal From Wastewater by Electrocoagulation with Iron Plate Electrodes, Journal of Hazardous Materials, B137:1231-1235
- İTKİB (2013). Dünya’da ve Türkiye’de İplik Üzerine Güncel Bilgiler, İTKİB Genel Sekreterliği Ar - Ge ve Mevzuat Şubesi
- Karaoğlu M (2007). Sulu Çözeltilerden Bazı Boyarmaddelerin Fizikokimyasal Yöntemlerle Giderimi. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir

- Katal R, Pahlavanzadeh H(2011). Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater. *Desalination*, 265:199-205
- Kim T, Park C, Shin E, Kim S(2002). Decolorization of Disperse And Reactive Dyes By Continuous Electrocoagulation Process, *Desalination*, 165-165-175
- Koby M, Şentürk E, Bayramoğlu M (2006a). Treatment of Poultry Slaughterhouse Wastewaters by Electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, B133:172-176
- Koby M, Hız H, Şentürk E, Aydın C, Demirbaş E (2006b). Treatment of Potato Chips, Manufacturing Wastewater By Electrocoagulation, *Desalination* , 190:201-211
- Koby M, Bayramoğlu M, Eyvaz M (2007). Techno-Economical Evaluation of Electrocoagulation for The Textile Wastewater Using Different Electrode Connections, *Journal of Hazardous Materials*, 148: 311-318
- Koby M, Ulu F, Gebeloğlu U, Demirbaş E, Öncel M S(2011). Treatment of potable water containing low concentration of arsenic with elektrocoagulation: Different connection modes and Fe-Al electrodes, *Separation and Purification Technology*, 77:283-293
- Larue O, Vorobiev E, Vu C, Durand B (2003). Electrocoagulation and Coagulation by Iron of Latex Particles in Aqueous Suspensions, *Separation Purification Technology*, 31:177-192
- Liang L & Chiou Y (2005). Optimal Decolorization Efficiency of Reactive Red 239 By Uv/Tio2 Photocatalytic Process Coupled with Response Surface Methodology. *Chemical Engineering Journal*, 112:173–179.
- MEGEP (2008). *Tekstil Teknolojisi Selülozu Boyama 1. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi*. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara
- MEGEP (2011). *Tekstil Teknolojisi Selülozu Boyama 3*. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara
- Mollah M, Morkovsky P, Gomes J, Kesmez M, Parga J, Cocke D (2004). Fundamentals, Present and Future Perspectives of Electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, B114:199-210
- Mollah M, Schennach R, Parga J, Cocke D (2001). Electrocoagulation (EC)—Science and Applications *Journal of Hazardous Materials*, B84:29-41
- Murugananthan M, Raju G, Prabhakar S (2004). Separation of Pollutants from Tannery Effluents by Electro Flotation, *Separation Purification Technology*, 40:69-75
- NKÜ (2014). *Tekstil Mühendisliği Bölümü Sergi Panosu*, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ

- Özdemir S, Özdemir C, Yangılar F, Yılmaz M (2008). Süt Sanayinde Elektrodializinin Kullanımı. Türkiye 10. Gıda Kongresi, 661-664, Erzurum
- Özdemir F (2010). Tekstil Liflerinin Modifiye Edilerek Boyama Verimini Artırmasının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri
- Özgüney T , Özkaya K, Özerdem A (2007). Reaktif Boyalı Örgü Kumaşların Parça Baskıdaki Isıl İşlem Sonrasında Renk Değiştirme Eğilimlerinin İncelenmesi. Ege Üniversitesi.
- Özyonar F, Karagözoğlu B (2012). Elektrokoagülasyon Prosesi ile Tekstil Sanayi Atıksuyunun Arıtımı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28:29-37
- Özyonar F, Karagözoğlu B (2012). İçme Sularından Elektrokoagülasyon ve Kimyasal Koagülasyon ile Bulanıklık Giderimi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27:81-89.
- Phalakornkule C, Polgumhang S, Tongdaung W, Karakat B, Nuyut T(2010) Electrocoagulation of Blue Reactive, Red Disperse And Mixed Dyes, and Application in Treating Textile Effluent. Journal of Environmental Management 91: 918–926
- Sanayi Genel Müdürlüğü (2012). 81 İl Durum Raporu. T.C. Bilim Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı. Mayıs 2012, Ankara
- Solanki K, Subramanian S,Basu S(2013). Bioresource Technology, Microbial Fuel Cells for Azo Dye Treatment With Electricity Generation: A Review, 131: 564-571
- Swamy, J., 1998, The Biodecoloration of Textile Dyes by The White Rot Fungus Trametes Versicolor, Thesis, Queen’s University, Kingston, Ontario, Canada, 116 P
- Şenel B (2012). 2012 Yılı Tekstil Sektörü İhracat Değerlendirme Raporu. AKİB Genel Sekreterliği Sanayi Uygulama Şubesi.
- Şengil İ, Özacar M (2006). Treatment of Dairy Wastewaters by Electrocoagulation Using Mild Steel Electrodes, Journal of Hazardous Materials, B137:1197-1205
- TÜİK (2012). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları 2012. Türkiye İstatistik Kurumu. Yayın No 3902, Ankara
- Türkoğlu G(2007). Dispers Boya Banyo Atıksularının Elektrokoagülasyon ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, İstanbul

- Ün U, Koparal A, Oğütveren U (2009). Electrocoagulation of Vegetable Oil Refinery Wastewater Using Aluminum Electrodes. *Journal of Environmental Management*, 90:428-433
- Üneri S (1978). *Elektrokimya*. Hacettepe Üniversitesi, Ankara
- Vardar B (2006). *Tekstil Endüstrisi Reaktif Boya Banyolarının Elektrokimyasal Yöntemler ile Arıtımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi. Fen Bilimleri. Enstitüsü, İstanbul
- Welham A, 2000, *The Theory Of Dyeing (And The Secret Of Life)*, *Journal of The Society of Dyers and Colourists* 116: 140-143.
- Won S, Han M, Yun Y (2008). Different Binding Mechanisms in Biosorption of Reactive Dyes According to Their Reactivity. *Water Research*, 42: 4847 – 4855
- Yılmaz A, Boncukcuoğlu R, Kocakerim M, Keskinler B (2005). The Investigation of Parameters Affecting Boron Removal by Electrocoagulation Method. *Journal of Hazardous Materials*, B125:160-165
- Zaied M, Bellakhal N (2009). Electrocoagulation Treatment of Black Liquor from Paper Industry, *Journal of Hazardous Materials*, 163:995-1000

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Kocaeli’de doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimlerini Kocaeli’de tamamladıktan sonra 2006-2007 eğitim-öğretim yılında Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2010 yılında Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2010 yılında Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı.