



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEKSTİL ATIKSULARININ ELEKTRODİYALİZ ARITMA
YÖNTEMİ ile TUZSUZLAŞTIRILMASI ve GERİ KULLANILMASI

Ecem Tuğçe SÜREN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

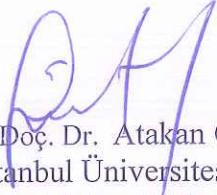
İSTANBUL-2019

Bu çalışma 13.09.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliğı Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliğı Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ



Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Atakan ÖNGEN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Ömer APAYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 2293 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince tüm bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, engin bilgi birikimi ve tecrübeleriyle yardım ve desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım boyunca benden yardım ve desteğini esirgemeyen, yol gösteren, çalışmalarına büyük katkı sağlayan çok değerli hocam Araş. Gör. Burak YÜZER ve Araş. Gör. M. İberia AYDIN' a yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimimin en başından beri her zaman birlikte olduğumuz, maddi ve manevi her zaman dayanışma içerisinde olduğumuz “Yüksek Çevreciler” grubunda bulunan tüm arkadaşlarıma ve çalışmalarım sırasında benimle birlikte çalışan, desteğine ve arkadaşlığına çok kıymet verdiğim sevgili arkadaşım Büşra HASANÇEBİ' ye ve ‘Yüksek Çevreciler’ grubunda yer alan yüksek lisans arkadaşlarıma bana vermiş olduğu desteklerden ötürü çok teşekkür ederim.

Son olarak bugünlere gelmem için her konuda sonsuz destek veren, tüm yaşamımda her konuda yanımda olan canım annem Emine EKİMCİ' ye ve her yolda beni yürekten destekleyen, yanımda olan çok değerli eşim Mert SÜREN' e sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Eylül 2019

Ecem Tuğçe SÜREN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. 1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ	1
1.2. 1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI	3
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN GENEL TANIMI	5
2.2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN TÜRLERİ	5
2.2.1. Pamuklu Tekstil Endüstrisi.....	6
2.2.2. Yünlü Tekstil Endüstrisi.....	8
2.2.3. Sentetik Tekstil Endüstrisi.....	9
2.3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ GENEL PROSESLERİ	11
2.3.1. Haşılama	11
2.3.2. Yıkama ve Haşıl Giderme	12
2.3.3. Ağartma	12
2.3.4. Merserizasyon.....	13
2.3.5. Boyama.....	13
2.3.6. Apreleme ve Baskı İşlemleri	13
2.4. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN BOYARMADDELER.....	14
2.4.1. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması	15
2.4.1.1. Boyarmaddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması.....	15
2.4.1.2. Boyar Maddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması	16
2.4.2. Boyar Maddelerin Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırılması.....	17
2.5. REAKTİF BOYARMADDELER.....	18
2.5.1. Reaktif Boyarmaddelerin Çevresel Etkileri.....	20

2.5.2.	Reaktif Boyarmaddelerin Arıtmaya Olan Etkileri.....	21
2.6.	TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSU KAYNAKLARI VE KİRLETİCİ PARAMETRELERİ	22
2.6.1.	Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları	22
2.1.14.1.	<i>Fiziksel Parametreler</i>	23
2.6.1.1.	<i>Kimyasal Parametreler</i>	23
2.6.1.2.	<i>Biyolojik Parametreler</i>	23
2.6.2.	Tekstil Atıksularında Yer Alan Kirletici Parametreler.....	25
2.6.2.1.	<i>Askıda Katı Madde</i>	25
2.6.2.2.	<i>Ağır Metal</i>	26
2.6.2.3.	<i>pH</i>	26
2.6.2.4.	<i>Su Sertlik Değeri</i>	26
2.7.	TEKSTİL ATIKSULARININ ARITILMASI	27
2.7.1.	Ön Arıtma Yöntemleri.....	28
2.7.2.	Fiziksel Arıtma Yöntemleri	28
2.7.3.	Kimyasal Arıtma Yöntemleri	28
2.7.3.1.	<i>Adsorbsiyon</i>	28
2.7.3.2.	<i>Koagülasyon – Flokülasyon</i>	29
2.7.4.	Biyolojik Arıtma Yöntemleri	30
2.8.	TEKSTİL ATIKSULARINDA KULLANILAN GERİ DÖNÜŞÜM METODLARI	31
2.8.1.	İleri Oksidasyon Metodları.....	31
2.8.1.1.	<i>Ozonlama</i>	31
2.8.1.2.	<i>Fenton Oksidasyonu</i>	32
2.9.	MEMBRAN PROSESLER.....	32
2.9.1.	Mikrofiltrasyon (MF)	33
2.9.2.	Nanofiltrasyon (NF)	34
2.9.3.	Ultrafiltrasyon (UF).....	34
2.9.4.	Ters Osmoz (RO)	35
2.9.5.	Elektromembran	35
2.10.	ELEKTRODİYALİZ	36
2.10.1.	Elektrodiyaliz Mekanizması ve İşleyişi.....	37
2.10.2.	ED Sürecine İlişkin Parametreler	39
2.10.3.	Elektrodiyaliz Prosesinin Bileşenleri	41
2.10.3.1.	<i>İyon Değiştirici Membranlar</i>	41

2.10.3.2. Elektrotlar.....	41
2.10.3.3. Doğru Akım Kaynağı	41
2.10.3.4. Çözücü ve Elektrolitler	41
2.10.4. Elektrodiyaliz Türleri	42
2.10.4.1. Konvansiyonel Elektrodiyaliz	42
2.10.4.2. Bipolar Membranlı Elektrodiyaliz.....	42
2.10.4.3. Elektrodeiyonizasyon.....	43
2.10.4.4. Elektro-elektrodiyaliz	43
2.10.4.5. Ters Elektrodiyaliz.....	43
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	44
3.1. TEKSTİL ATIKSULARI GERİ DÖNÜŞÜM SENARYOSU.....	45
3.2. TEKSTİL ATIKSU KARAKTERİZASYONU	46
3.3. TEKSTİL ATIKSUYU ÖN ARITMA ÇALIŞMALARI.....	47
3.3.1. Koagulant Madde ile Renk Giderimi.....	47
3.3.2. İyon Değiştirici Reçine ile Renk Giderimi	48
3.3.3. Ozon Oksidasyonu ile Renk Giderimi.....	49
3.3.4. NaOH Kimyasal İlavesi ile Sertlik Giderimi.....	50
3.4. ELEKTRODİYALİZ ÇALIŞMALARI VE SİSTEM ÖZELLİKLERİ	51
3.5. ÇALIŞMADA UYGULANAN ANALİZLER.....	56
3.5.1. pH ve İletkenlik	56
3.5.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	57
3.5.3. Klorür Tayini	57
3.5.4. Sertlik Tayini	57
3.5.5. Spektrofotometrik Metot ile Renk Tayini	58
3.5.6. Absorbans Tayini.....	58
3.5.7. Alkalinite Tayini.....	58
4. BULGULAR.....	59
4.1. KONVANSİYON ELEKTRODİYALİZ (ED) YÖNTEMİ İLE TEKSTİL ATIKSULARININ GERİ DÖNÜŞÜMÜ	59
4.1.1. ED Çalışmalarında Voltaj Değişiminin Etkisi	60
4.1.2. ED Çalışmalarında pH Değerinin Etkisi	62
4.1.3. ED Çalışma Öncesinde Dekolorant (Hydrodec 5D ilavesi ile) ile Ön arıtmanın Etkisi.....	64
4.1.4. ED Çalışmalarında NaOH İlavesi ile Sertlik Gideriminin Etkisi.....	68
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	71

KAYNAKLAR	73
EKLER	79
1. BİYOLOJİK ARITILMIŞ TEKSTİL ATIKSUYU ED ÇALIŞMALARI.....	79
1.1.1. Farklı Voltaj Değerlerinde İletkenlik Değişimi.....	79
ÖZGEÇMİŞ	81



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: Ülkemizde sektörlere göre 2012 yılında gerçekleşen ve 2023 yılında beklenen su tüketimi (SYGM, 2016).....	1
Şekil 2.1: Pamuklu Tekstil Endüstrisi İş Akım Şeması.....	7
Şekil 2.2: Yünlü tekstil endüstrisi iş akım şeması.....	9
Şekil 2.3: Sentetik Elyaf Endüstrisi İş Akım Şeması	11
Şekil 2.4: Reaktif Boyarmadde Karakteristik Yapısı	19
Şekil 2.5: Tekstil endüstrisi genel arıtma şeması (Şimşeker, 2009).....	27
Şekil 2.6: MF membranlarında por büyüklüğü dağılımı (Rautenbach, 1997).....	34
Şekil 2.7: Osmoz ve ters osmoz şematik gösterimi (Yazıcı, 2012).....	35
Şekil 2.8: Elektrodializ sistemi K; kation değiştirici membran, A; anyon değiştirici membran.....	38
Şekil 2.9: Elektrodializ Hücresinin iç kesiti (1.ve 2. Elektrotlar ve plakalar, 3. Spacer, 4. Vidalar, 5. İyon değiştirici membranlar, 6. Anot hücresi, 7. Katot hücresi, 8. ve 9. Çözelti giriş-çıkış, 10. Bipolar membran) (İlhan ve diğ., 2014)	38
Şekil 2.10: Hücre çiftlerine uygulanan dirençler (İlhan, 2012).....	40
Şekil 2.11: İyon değiştirici membranlara ait potansiyel fark-akım yoğunluğu grafiği (Yüzer, 2018).....	40
Şekil 2.12: Elektrodializ genel işleyişi ve iyon değişimi.....	42
Şekil 2.13: Bipolar Membran Mekanizması.....	43
Şekil 3.1: Tekstil Atıksu Arıtımı ve Geri Dönüşümü.....	45
Şekil 3.2: Tekstil atıksuyuna Hydrodec 5D eklenerek ön arıtma işlemi	48
Şekil 3.3: Ozonlama Sistemi	49
Şekil 3.4: Ozonlama işlemlerinde kullanılan ozon jeneratörü.....	49
Şekil 3.5: Tekstil atıksuyuna ozonlama işleminin uygulanması.....	50

Şekil 3.6: 1- Ozonlama öncesi tekstil atıksuyu, 5.dakikada ozonlanmış tekstil atıksuyu, 10.dakikada ozonlanmış tekstil atıksuyu, 15.dakikada ozonlanmış tekstil atıksuyu.....	50
Şekil 3.7: Elektrodiyaliz sistemi genel görünümü.....	52
Şekil 3.8: Elektrodiyaliz sistemi bağlantılarının görünümü	52
Şekil 3.9: ED sisteminde kullanılan asit, diluat ve baz kolonlarının gösterimi.....	53
Şekil 3.10: ED sistemine ait güç kaynağı ve pompa sistemi (1-ana şalter, 2-eksi elektrik çıkışı, 3-artı elektrik çıkışı, 4-maksimum amper ayarı için potansiyometre, 5-anolit çıkışı, 6-konsantre girişi).....	53
Şekil 3.11: ED reaktörü ve ekipmanları	54
Şekil 3.12: Anyon değiştirici ve kation değiştirici membran türleri	55
Şekil 3.13: End spacer ve çözelti giriş-çıkışlarına yön veren spacer türleri.....	55
Şekil 3.14: ED sistemi membran ve spacer dizilimi.....	55
Şekil 3.15: ED sisteminde membran dizilimi.....	56
Şekil 3.16: ED sisteminde kullanılan pH ve iletkenlik ölçüm cihazı.....	56
Şekil 3.17: KOİ reaktörü	57
Şekil 3.18: Renk ve absorbans ölçümlerinin gerçekleştirildiği spektrofotometre.....	58
Şekil 4.1: Biyolojik çıkış tekstil atıksuyu ve konsantre çözelti iletkenlik değişimi (30 V)	59
Şekil 4.2: Tekstil atıksu-konsantre pH değişimi.....	59
Şekil 4.3: Biyolojik çıkış tekstil atıksuyu voltaj- akım (30V) değişimleri.....	60
Şekil 4.4: Biyolojik çıkış tekstil atıksuyu direncinin zamana bağlı değişimi.....	60
Şekil 4.5: Farklı voltaj değerlerindeki diluat bölmesinde yer alan tekstil atıksuyu iletkenlik değişimleri	61
Şekil 4.6: Farklı voltaj değerlerindeki asit bölmesinde yer alan konsantre çözeltilerde iletkenlik değişimleri	61
Şekil 4.7: Farklı voltajlardaki tekstil atıksularına ait pH değişimleri.....	62
Şekil 4.8: Farklı pH değerlerindeki diluat bölmesinde yer alan tekstil atıksuyu iletkenlik değişimleri	63
Şekil 4.9: Farklı pH değerlerindeki asit bölmesinde yer alan konsantre çözeltilerde iletkenlik değişimleri	64

Şekil 4.10: pH 5 değerindeki ED sistemine ait direnci.....	64
Şekil 4.11: Atıksuya renk giderimi için koagulant madde ilavesi öncesi ve sonrası.....	65
Şekil 4.12: Tekstil atıksuyunda Hidrodec 5D ile ön arıtmanın iletkenlik etkisi.....	65
Şekil 4.13: Dekolorant ilavesi ile renk giderimi yapılmış atıksuyun iletkenlik değişimleri	66
Şekil 4.14: Dekolorant ilavesi ile renk giderimi yapılmış atıksu çalışmasında konsantre iletkenlik değişimleri	66
Şekil 4.15: Dekolorant ilavesi ile renk giderimi yapılmış atıksuyun direnç değişimleri.....	67
Şekil 4.16: Dekolorant ilavesi ile renk giderimi yapılmış atıksuyun pH değişimleri.....	67
Şekil 4.17: Hidrodec 5D ilavesi ile renk giderimi sonrası ED çalışması sonrası atıksu renk değerleri.....	68
Şekil 4.18: NaOH ilavesi ile sertlik giderimi yapılmış atıksuyun iletkenlik değişimleri	69
Şekil 4.19: NaOH ilavesi ile sertlik giderimi yapılmış atıksuyun pH değişimleri	69

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri (Selçuk, 1997)	8
Tablo 2.2: Yünlü tekstil endüstrisinde yıkama suyunda yer alan kirletici parametreler ve miktarları (Emrah ve Yıldırım, 2013)	8
Tablo 2.3: Sentetik Elyaf Proseslerindeki Yer Alan Kirletici Parametreleri (Vardar ve Şar, 1998)	10
Tablo 2.4: Boyaların uygulanan ipliğe göre sabitleme ve çıkışta kaybedilen oranları.....	15
Tablo 2.5: Elyaf türlerine göre boyarmaddeler ve uygulama yöntemleri (Özkan, 2007)	18
Tablo 2.6: Yün yıkama suyunun ihtiva ettiği kirlilikler (Vardar ve Şar, 1998; Birgül, 2006).....	23
Tablo 2.7: Boyama atıksularının karakteristik özellikleri (Arslan, 2008).....	24
Tablo 2.8: Tekstil endüstrisi alt kategorisinde atıksu kaynakları (EPA, 1978; Sevimli, 2000).....	24
Tablo 2.9: Tekstil Atıksularının Karakterizasyonu (Bulut, 2011).....	27
Tablo 2.10: Literatürde bulunan biyolojik arıtma prosesine örnek çalışmalar (Bahadır, 2012).....	30
Tablo 2.11: Membran proseslerinin özellikleri (Yalçın, 2008).....	33
Tablo 3.1: Kullanılan Tekstil Atıksu Karakterizasyonu	46
Tablo 3.2: Renk giderici olarak kullanılan koagulant madde (Hidrodec 5D) kimyasal özellikleri.....	47
Tablo 3.3: Anyon değiştirici reçine kimyasal özellikleri	48
Tablo 3.4: ED Sistemi Genel Özellikleri.....	51
Tablo 3.5: ED sisteminde kullanılan iyon değiştirici membranların özellikleri.....	54

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
kg	: Kilogram
L	: Litre
NaCl	: Sodyum Klorür
NaOH	: Sodyum Hidroksit
R.NO₂	: Nitro
N₂O	: Nitrozo
-N=N-	: Azo
q	: Akış hızı
R	: Direnç
R_{am}	: Anyon değiştirici membran direnci
R_{cm}	: Katyon değiştirici membran direnci
R_{cp}	: Birim alanda bir hücre çiftinin direnci
R_{fc}	: Besleme bölümü direnci
R_{pc}	: Sızıntı bölümü direnci

Kısaltmalar	Açıklama
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyac
ED	: Elektrodializ
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MF	: Mikrofiltrasyon
NF	: Nanofiltrasyon
RO	: Ters Osmoz
TOC	: Toplam Organik Karbon
UF	: Ultrafiltrasyon
AKM	: Askıda Katı Madde
HBS	: Hidrolik Bekletme Süresi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEKSTİL ATIKSULARININ ELEKTRODİYALİZ ARITMA YÖNTEMİ ile TUZSUZLAŞTIRILMASI ve GERİ KULLANILMASI

Ecem Tuğçe SÜREN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK

Tekstil endüstrisi, doğal veya sentetik elyafları hammadde ürünü olarak kullanan, bu hammaddeleri farklı prosesler ve uygulamaların sonucunda çeşitli kumaş ve tekstil ürünlerinin oluşmasını sağlayan bir endüstri sektörüdür. Tekstil endüstrisinin üretim aşamalarında, yıkama, boyama, ağartma ve baskı gibi birçok proses aşamaları mevcuttur. Uygulanan bu proseslerde fazla miktarlarda su kullanılmaktadır. Prosesler boyunca kullanılan sulara boya, deterjan ve ağır metal gibi çok çeşitli kimyasalların karışması nedeniyle çevresel açıdan sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca tekstil endüstrisinde boyama proseslerinde sülfat solüsyonunun yüksek maliyetli olması sebebiyle klorür elektrolit olarak kullanılmaktadır.

Tekstil endüstrisinden kaynaklı atıksularında bulunan klorür iyonlarının ozon oksidasyonu uygulanması ile aktif klor veya klor içerikli toksik madde oluşturması nedeniyle ozonlama prosesi yaygın olarak kullanılmamaktadır. Yeryüzündeki su kaynaklarının ciddi ölçülerde azalması ve artan nüfus sayısına paralel olarak su ihtiyacının da artması nedeniyle proseslerde oluşan atıksuların geri kazanılması sonucunda, bu suların yeniden kullanılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Tuzluluk oranı yüksek olan tekstil atıksularının arıtılmasında kullanılan en etkili ve yaygın metot, “membran teknolojileri”dir. Tekstil prosesleri sonucu oluşan yüksek tuzluluk ve renk içerikli atıksuların, proseslerde tekrar kullanılması amacından hareketle, elektrodializ (ED) arıtma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında dekolörant, ozonlama

gibi gerekli ön arıtma işlemlerinden sonra, konvansiyonel elektrodializ proseslerinde tekstil atıksuların geri kazanılması araştırılmıştır. Kullanılan ED prosesi ile, tekstil atıksularında renk ve tuzluluk parametrelerinin giderilmesi ve yeniden kullanılabilmesi kapsamında geri dönüşüm süreçlerinin incelenmesinin yanı sıra, sulardaki asit ve baz oranlarının geri kazanım boyutu da irdelenmiştir.

Eylül 2019, 83 sayfa.

Anahtar kelimeler: Tekstil Endüstrisi, Tekstil Atıksularının Geri Kazanımı, Ön Arıtma, Renk Giderimi, Elektrodializ



SUMMARY

M.Sc. THESIS

DESALINATION AND REUSE OF TEXTILE WASTEWATER BY ELECTRODIALYSIS TREATMENT

Ecem Tuğçe SÜREN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK

“Membrane Technology” is the most impressive and common method for purifying wastewaters in the textile industry that have high percentage of salt inside. When the textile processes are completed, wastewaters occur and these waters have high amount of salinity and colourful contents. With the motivation of re-using of wastewaters in the processes, electro dialysis (ED) purifying methods are started to apply. This motivation is the main argument of the recent study. This study focuses on reclamation of textile industry’s wastewaters in the conventional electro dialysis processes when the preliminary treatment process like decolourant or ozonize can end. With the ED process, colour and salinity parameters in the textile industry’s wastewaters make disappear and reclamation periods can examine during the study. In addition to this factor, the study observes acid and base ratios of large-scale reclamation dimensions of wastewaters.

September 2019, 83 pages.

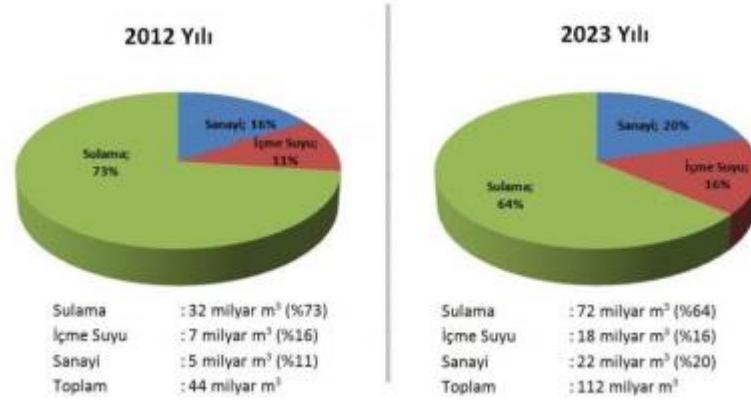
Keywords: Textile industry, Reclamation of Textile Industry's Wastewaters, Preliminary Treatment, Colour Removal, Electrodialysis



1. GİRİŞ

1.1.1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ

Ülkemizde artan nüfus ve sanayileşme ile birlikte, kullanabileceğimiz su kaynaklarının da giderek azalmakta olduğu bilinmektedir. Türkiye, bilinenin aksine su kıtlığı hususunda sınırda yer alan bir ülkedir. Türkiye'nin kullanım ihtiyacı olan su miktarının, önümüzdeki 25 yıl içerisinde günümüzdeki su kullanım miktarının 3 katı kadar olacağı tahmin edilmektedir (DSİ, 2009; SYGM, 2016). Ülkemizde kullanım alanlarına göre 2012 yılı içerisinde tüketilen ve 2023 yılında kullanılacağı öngörülen su kullanımı miktarları ve yüzde dağılımına bakıldığında, bugün ülkemizin kullanıma uygun durumdaki yüzey ve yeraltı su miktarının yıllık toplamı 112 milyar m³lük suyun tamamı 2023 yılında mevcut ve tümüyle kullanılabilir durumda olmak zorundadır. Ancak bu miktarın tamamının kullanılamayacağı gibi, küresel iklim değişikliğinin ülkemiz üzerinde etkisi ve azalan yağış miktarı ile kullanılabilir yerüstü ve yeraltı su kaynaklarında önemli ölçüde azalma olmaya başlamış ve bu azalma her geçen yıl artarak devam etmektedir (SYGM, 2016).



Şekil 1.1: Ülkemizde sektörlere göre 2012 yılında gerçekleşen ve 2023 yılında beklenen su tüketimi (SYGM, 2016)

Ülkemizdeki su kaynaklarındaki azalmanın yanı sıra sanayileşme ve üretim prosesindeki artış, çevresel açıdan tehdit oluşturmakta ve yüksek kirliliğe sahip atıksuların oluşumuna neden olmaktadır. Tekstil endüstrisi, ülkemizde üretim proseslerinde su tüketimi oldukça fazla olan başlıca sanayi kuruluşları arasında yer almaktadır. Tekstil endüstrisinde kullanılan zararlı kimyasal maddeler, yüksek miktarda su tüketimi ve buna bağlı olarak atıksu oluşumu, üretim

süreçlerindeki yüksek enerji tüketimi ile çevresel sorunlar açısından önemli zararlar meydana getirmektedir (Choudhury, 2014). Tekstil endüstrisinde yer alan üretim proseslerinde kullanım sonucu oluşan atıksular, genelde yüksek pH miktarına, yüksek renk oranına sahip olmakta ve biyolojik olarak parçalanabilirliğin düşük miktarda olduğu kirlilik yükü yüksek atıksular olarak tanımlanmaktadır. Tekstil atıksularında yüksek miktarda bulunan kirliliğin sebebi; tekstil endüstrisi proseslerinde yer alan yüksek miktarda kimyasal madde kullanımınıdır. Tekstil proseslerinde yer alan; boyama, ağartma, yıkama, haşılama, basma proseslerinde kullanılan zararlı kimyasallar, boyalar, ağır metaller ve tuzlar proses suyuna karışmakta ve çevresel açıdan tehlike içeren atıksu oluşumuna neden olmaktadır (Asghar vd., 2015).

Su kaynaklarındaki azalış karşısında dünya üzerindeki sanayileşmedeki artış ve sanayileşmenin getirdiği atıksu miktarındaki artış, endüstrilere suyun yeniden kullanım gereksinimini meydana getirmektedir. Suyun tekrar kullanıma hazır hale getirilerek proseslere yeniden dahil edilmesi, yüksek arıtma maliyetleri ve atıksu miktarındaki göz ardı edilemeyecek kadar artış karşısında uygulanmaya başlanmasına neden olmuştur (TÜBİTAK Projesi, 2014).

Tekstil atıksularının yeniden kullanılması amacıyla, çok çeşitli arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Tekstil endüstrisinde boyama proseslerinde solüsyon olarak sülfat kullanılarak boyama yapılması yüksek derecede kaliteli ürün eldesi ve boyanın kumaşa tutunması nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak sertlik oranı oldukça düşük olan sülfat tuzlarının yüksek maliyetli olması nedeniyle, genelde oldukça yaygın olarak tekstil boyama proseslerinde daha düşük maliyetli klorür tuzları kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak, oluşan atıksularda yüksek seviyede klor iyonu oluşmakta ve aktif klor iyonu da atıksuda klorlu toksik organik madde oluşumuna neden olmaktadır. Bu durum, tekstil proseslerinde tuzsuzlaştırma işlemi uygulanmasını kaçınılmaz hale getirmektedir (TÜBİTAK Projesi, 2014).

Tekstil atık sularının arıtma prosesleri çeşitli fiziksel ve kimyasal metodlara dayanmaktadır (Wang vd., 2007). Uygulanan bu arıtma metodları, yüksek maliyetli ve dikkat gösterilmesi gereken atıklar oluşturmaktadır. Tekstil endüstrisinde oluşan atıksuların geri kullanılabilmesi için, ileri arıtma proseslerinden yararlanmak gerekmektedir. Tekstil atıksularının arıtılması amacıyla, iyon değişimi, adsorbsiyon, oksidasyon ve membran filtrasyon gibi birçok arıtma prosesi uygulanmaktadır (Nikfar vd., 2016). Tuzluluğu oldukça yüksek miktarda olan bu atıksuların arıtılması ve geri kullanılması için kullanılan en yaygın proses; membran teknolojileridir.

Yüksek tuzluluk oranı kadar tekstil atıksularında karşılaşılan bir diğer problem ise boyama banyolarından kaynaklanan ve belli bir standart değeri bulunan renk problemidir. Özellikle su sıkıntısı ile birlikte renk standardının da uygulamaya başlanması ile tekstil sektöründe arıtmaya olan ihtiyaç hayli artmıştır. Yapısal olarak bozunmaya karşı dayanıklılık gösteren boya, içerdiği toksik içerikli maddeler nedeniyle de önemli çevresel kirlilik sorunların başında yer almaktadır (Turhan vd., 2012). Boyar maddelerin biyolojik olarak parçalanmaya karşı oldukça direnç göstermesi, proses sonucu oluşan atıksularda renk gideriminin daha güç hale getirmekte ve renk giderim işlemlerini zorlaştırmaktadır. Renk giderim sonucu oluşan tekstil atıksularında hem renk sorununun giderilmesi ve tekstil atıksuyundaki renk parametresinin belirlenen standart değerinin altında bir değere getirilmesi için de biyolojik arıtma veya membran teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Deşarj kriterleri ve limit değerleri Resmi Gazete’de yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde yer almaktadır.

Son yıllarda tekstil atıksu arıtımı için kullanılan ve geliştirilen ED uygulaması ile, iyonların anyon ve kation olarak ayırımı sağlanarak konsantre tuz yerine asit ve baz eldesi sağlanmıştır (Wang vd, 2007). Böylece ED proseslerinde hem atıksularının tuzsuzlaştırılması hem de asit ve baz olarak elde edilmesi sağlanmaktadır.

1.2.1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında konvansiyonel elektrodializ (ED) yöntemi kullanılarak, tekstil endüstrisi kaynaklı atıksularının, tuzsuzlaştırılması ve renk giderimi ile geri kullanılması amaçlanmaktadır. Çalışmanın başarılı olması neticesinde, çıkış veya membran konsantre atıksuları tuz solüsyonu olarak kullanılması hedeflenmekte ve böylelikle sanayide yüksek maliyetlere neden olan tuz kullanımının azaltılması hedeflenmektedir. Boyama prosesleri sonucu oluşan renk sorununun çözülmesinde ise ön arıtma yöntemi olarak dekolorant kullanılması hedeflenmekte ve ozonlama prosesi ile de renk giderimi gerçekleştirilerek karşılaştırılmalı olarak uygun prosesin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Birinci geri dönüşüm metodunda biyolojik olarak arıtılmış ve dekolorant koagulant madde ile renk giderme işlemi uygulanmış tekstil atıksuları, gerekli durumlarda adsorbsiyon, sertlik giderimi, pH ayarı gibi ön işlemlerden geçirilerek ED prosesi ile tuzsuzlaştırılarak tekstil endüstrisinde proses suyu olarak geri kullanılması amaçlanmaktadır.

Diğer bir geri donüşüm metodunda ise, biyolojik arıtma ve dekolorant koagulant madde ile renk giderimi uygulanmış tekstil atıksularının ED prosesi ile tuz, su, asit ve baz olarak geri kullanılması veya konsantre atısku hacminin azaltılarak daha düşük maliyet ile konsantre kontrolünün sağlanması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın temel amaç ve kapsamını ise, tekstil endüstrisinde oluşan atıksuların ED prosesi kullanılarak konsantre olacak şekilde atıksu oluşturmadan atıksularının arıtılması ve yeniden prosesde kullanılması hedeflenmektedir.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN GENEL TANIMI

Tekstil endüstrisi, doğal veya yapay elyafların hammadde ürünü olarak kullanımı sonucu, çeşitli proses ve uygulamalar neticesinde çeşitli kumaş ve tekstil ürünleri üreten endüstri sektörü olarak tanımlanmaktadır. Tekstil endüstrisi faaliyetleri arasında, doğal ya da fabrikasyon ipliklerinin imal edilmesi, örme, dokuma ve diğer tekstil proses yöntemleri ile kumaş, triko, halı tekstil ürünlerinin üretilmesinin yanı sıra, üretilen kumaş ve ipliklere, boyama, apreleme, baskı, merserizasyon, terbiye gibi proses işlemlerinin uygulanması bulunmaktadır (Emrah ve Yıldırım, 2013).

Türkiye’de hızla gelişmekte olan tekstil sektöründe, yüksek miktarlarda su kullanımı sonucu karmaşık yapıya sahip yüksek kirlilik yükü içeren atıksu oluşumu görülmektedir (Mahmoodi ve Arami, 2009). Tekstil endüstrisinde yer alan proseslerin başında yıkama, boyama, basma, bitirme, ağartma yaşı işlemleri yer almakta olup, mevcut proseslerde su kullanımı oldukça fazla olduğundan yüksek miktarda atıksu oluşmaktadır (Çakır, 2018). Oluşan tekstil atıksuyu içeriğinde bulunan asit, baz, boyarmadde, deterjan, tuz ve uygulanan diğer kimyasal maddeler, uygun bir arıtma işlemi uygulanmadan, alıcı ortama deşarj edilmesi ciddi ve kalıcı etkili çevresel sorunlara neden olmaktadır (Birgül ve Solmaz, 2007). Oluşan tekstil atıksuları, 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’ de belirtilen deşarj standartlarına göre alıcı ortamlara verilmektedir. Alıcı ortama deşarj edilen bu atıksuların arıtma maliyetleri de tekstil endüstrisinde önemli ölçüde bir yük oluşturmaktadır. Endüstri proseslerinde oluşan atıksuların arıtımı için harcanan yüksek maliyetlere ilave olarak, proseslerde kullanılan su sarfiyatının da oldukça fazla olması su kaynaklarımızın gün geçtikçe azalmasında etkili olan önemli nedenlerden birisidir (Bulut, 2011).

2.2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN TÜRLERİ

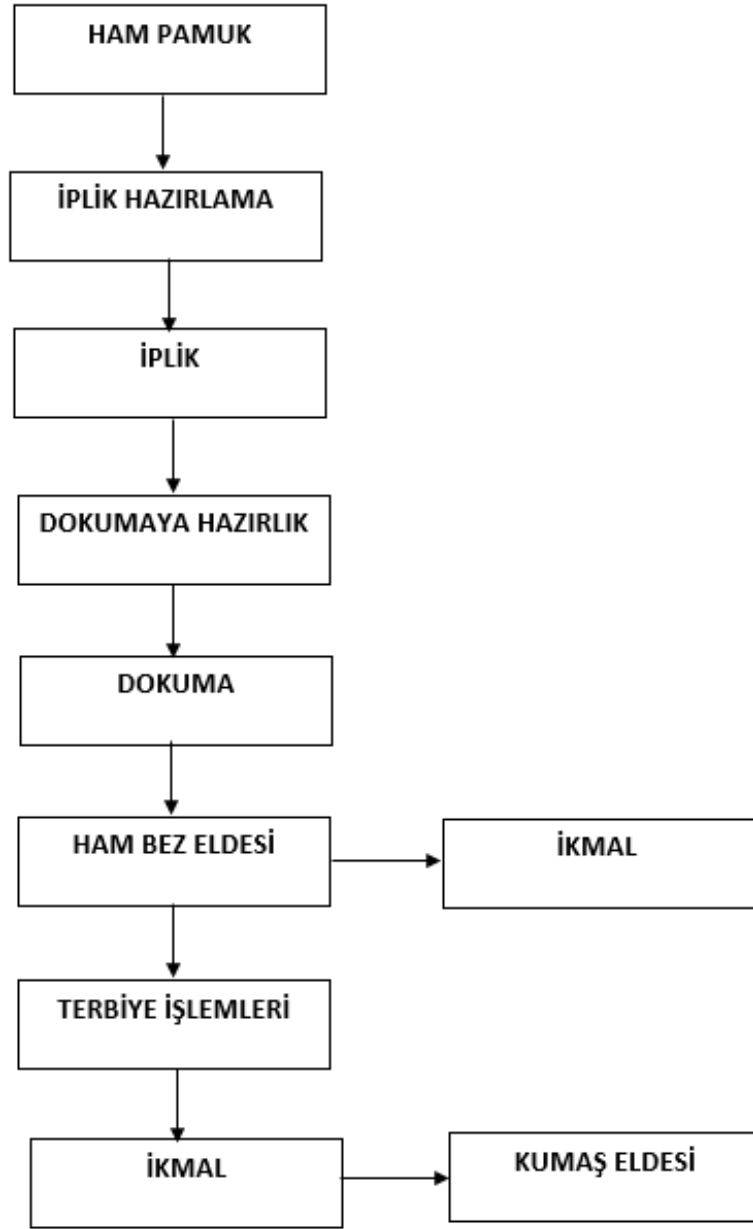
Tekstil endüstrisi, uygulanan proses ve işlemler esnasında kullanılan elyaf türüne göre 3 ana başlıkta kategorize edilmektedir:

- Pamuklu Tekstil Endüstrisi
- Yünlü Tekstil Endüstrisi
- Sentetik Tekstil Endüstrisi

2.2.1. Pamuklu Tekstil Endüstrisi

Pamuk; kimyasal yapısının temeli selülozdan oluşan ve tekstilde kullanımı açısından önemli yeri olan pamuk elyafının elde edildiği bitkidir. Pamuk elyafı; yaklaşık 5000 yıldır tekstil endüstrisinde kullanılan tüm tekstil elyaf türleri içerisinde dünyada en yaygın olarak kullanılan elyaf türüdür. Pamuk elyaf lifinin kimyasal yapısı; % 88-96 selüloz, % 1.5-5.0 protein ve pektin, % 1.0-1.2 anorganik maddeler, % 2.0-3.5 nem ve % 0.5-0.6 oranında vakslar ve yağlardan oluşmaktadır. Pamuk elyafı rengi açık kreme yakın beyaz tonlarından esmer sarı renge kadar renk artışı gösteren tonlarda görülebilmektedir (Vardar ve Şar, 1998).

Çırçır makinelerinde liflerinden ayrılan pamuk, balyalar halinde hazırlanarak işlenmek üzere fabrikalara sevk edilir. Gönderildiği fabrikalarda da iplik haline getirilir ve sonra dokuma ve örme proseslerinin yer aldığı işlemlere tabi tutulur. Her pamuklu kumaş, kusurlarının düzeltilmesi ve kullanışlı hale getirilmesi amacıyla, dokuma veya örme işlemlerinden sonra tüketiciye sunulmadan önce, terbiye işleminden geçirilir. Pamuklu kumaşlarda terbiye işlemleri; yıkama, haşıl sökme, pişirme, ağartma, merserizasyon, boyama ile baskı işlemi, apre (bitirme) işlemleri olarak sıralanabilir (Şengül, 1991).



Şekil 2.1: Pamuklu Tekstil Endüstrisi İş Akım Şeması

Pamuklu tekstil endüstrisinde yer alan proseslerde su kullanımını sonucu oluşan atıksu karakterizasyonuna ilişkin tablo, Tablo 2.1. 'de verilmektedir.

Tablo 2.1: Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri (Selçuk, 1997)

Proses	Önemli Kirletici Parametreler
Haşıl Sökme	Yüksek BOİ, yüksek toplam katı, nötr pH
Yıkama	Yüksek BOİ, yüksek alkali, yüksek toplam katı madde, yüksek sıcaklık
Ağartma	Yüksek BOİ, yüksek katı madde, alkali pH
Merserizasyon	Düşük katı madde, alkali pH, düşük katılar
Boyama ve Baskı	Yüksek BOİ, yüksek katılar, nötr-alkali pH

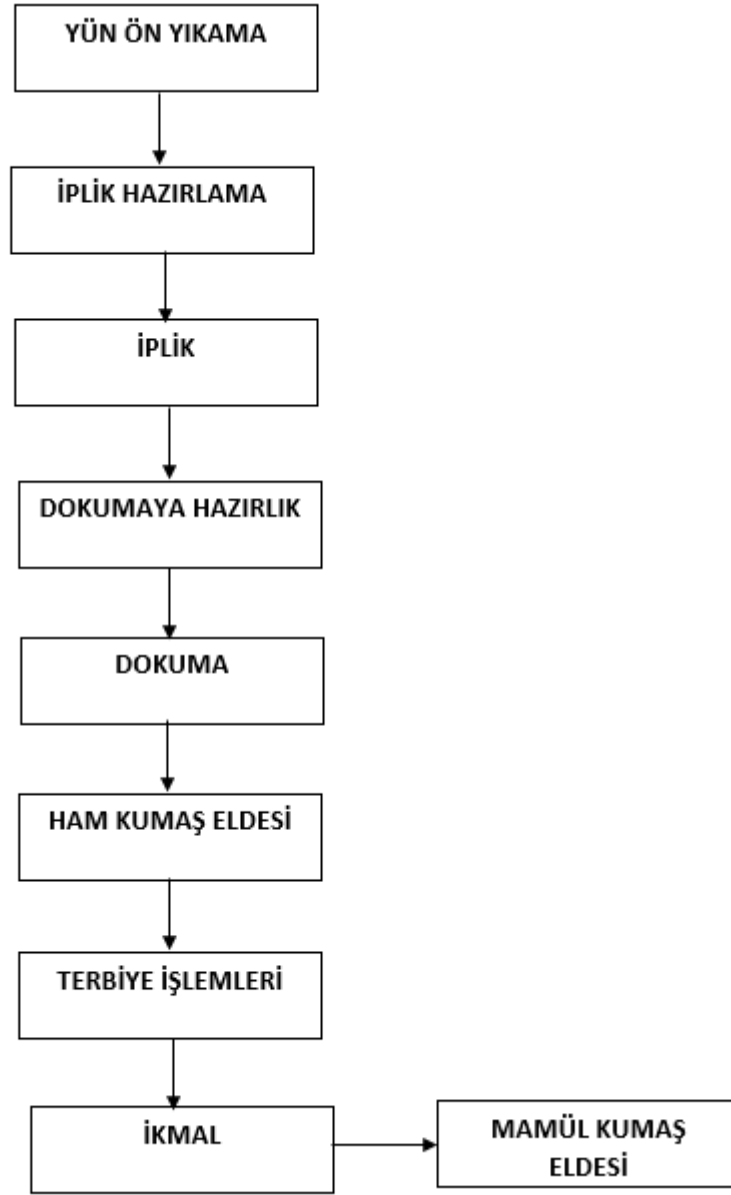
2.2.2. Yünlü Tekstil Endüstrisi

Yünlü tekstil endüstrisi, pamuklu tekstil endüstrisi işlem aşamaları ile benzerlik gösterse de her iki endüstrisi uygulamaları arasındaki en önemli fark, yünlerin ilk aşama olarak yıkanması işlemidir (Özdemir, 1999). Yıkama işlemi esnasında yünde bulunan yabancı maddeler, sıcak suda eriyerek yünden arındırılmaktadır. Yün yıkama işlem basamağı sonucu, çok yüksek miktarda kirlilik ihtiva eden atıksu oluşumu görülmektedir. Yabancı maddelerden arındırılmış olan yünler, sabun ve soda çözeltisinde yıkanır ve su sıkma işlemine tabi tutulur. Temizlenmiş olan yünlere ilk aşama olarak yün açma, tarama, eğirme gibi mekanik işlemler uygulanır. Diğer bir aşamada ise karbonizasyon, yıkama ve boyama işlemleri yünlere uygulanır. Karbonizasyon işlemi, yün üzerinde kalan bitkisel artıkların uzaklaştırılması amacı ile uygulanır. Karbonizasyon işlemi sırasında, yünler zayıf sülfirik asit çözeltisine batırılır ve kuruma işlemi amacı ile sıkıştırılır. Boyama işleminden sonra ise, yünlerdeki fazla boyayı temizleme amacı ile yünler deterjan ve su banyolarında yıkanır (Emrah ve Yıldırım, 2013).

Yünlerin yıkanması ve proses aşamaları kaynaklı oluşan atıksular, yüksek asidite ve boyar madde içerikli, tuz ve yüksek konsantrasyonda yağ içermektedir. Yünlü tekstil endüstrisinde kullanılan 1 kg yünün yıkanması için yaklaşık 100 L su kullanılmakta, bu nedenle yıkama sonucu oldukça yüksek miktarda atıksu oluşmaktadır.

Tablo 2.2: Yünlü tekstil endüstrisinde yıkama suyunda yer alan kirletici parametreler ve miktarları (Emrah ve Yıldırım, 2013)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
Yağ (mg/l)	3000	25800	8650
AKM (mg/l)	2400	30300	11500
Alkalinite (mg/l)	3430	29400	6780
BOİ ₅ (mg/l)	1200	22000	5500



Şekil 2.2: Yünlü tekstil endüstrisi iş akım şeması

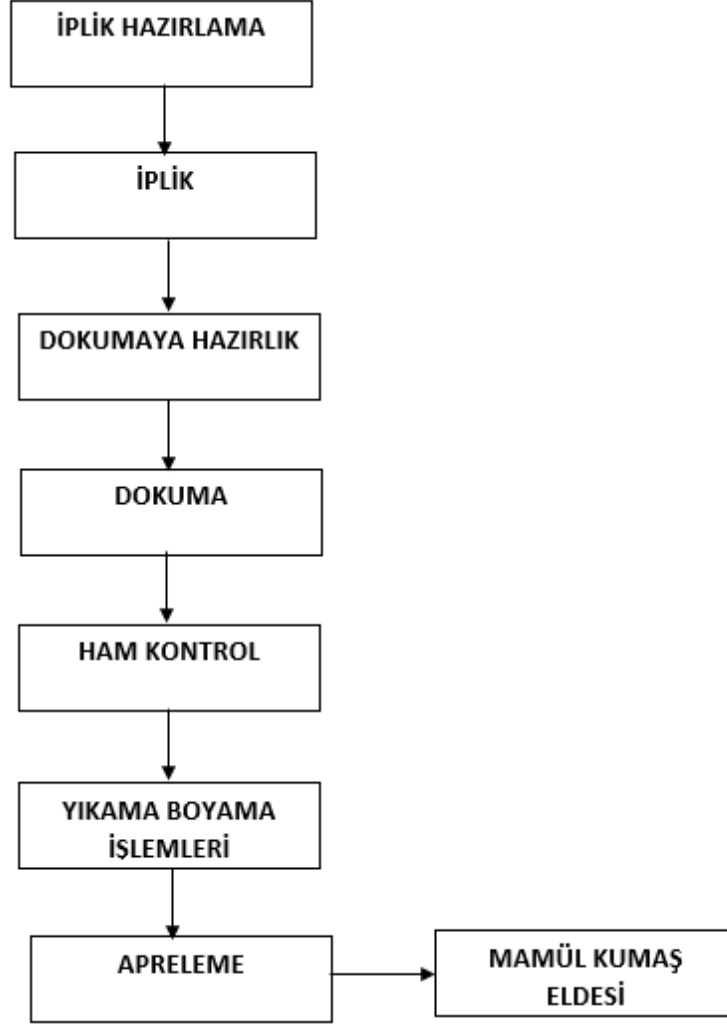
2.2.3. Sentetik Tekstil Endüstrisi

Sentetik tekstil endüstrisinde hammadde olarak kullanılan sentetik lifler, çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucu elde edilmektedir. Sentetik elyaflar, selülozik elyaflar (rayon, selüloz, asetat) ve selülozik olmayan elyaflar (naylon, akrilik, polyester) olarak iki gruba ayrılmaktadır. Selülozik ve organik polimer elyafları, pamuklu ve yünlü elyaflar ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Karıştırılmış olan selülozik elyaf ve yünlü-pamuklu elyaflar, sırası ile iplik

hazırlama, haşıl sökme, boyama ve apreleme proseslerine tabi tutulur. Sentetik tekstil endüstrisi prosesleri sonucu oluşan atıksularda; boya, sentetik deterjanları esterler, yumuşatıcılar gibi kirlilik parametreleri bulunmaktadır (Emrah ve Yıldırım, 2013).

Tablo 2.3: Sentetik Elyaf Proseslerindeki Yer Alan Kirletici Parametreleri (Vardar ve Şar, 1998)

Proses	Elyaf	pH	BOİ (mg/l)	TKM (mg/l)
Temizleme	Naylon	10,4	1360	1880
	Akrilik	9,7	2190	1874
	Polyester	-	500-800	-
Temizleme ve	Rayon	8,5	2832	3334
	Asetat	9,3	2000	1778
Boya	Naylon	8,4	368	641
	Akrilik	1,5-3,7	175-2000	833-1968
	Polyester	-	480-27000	-
Tuz banyosu	Rayon	6,8	58	4890
Son temizleme	Akrilik	7,1	608	1191
	Polyester	-	650	-



Şekil 2.3: Sentetik Elyaf Endüstrisi İş Akım Şeması

2.3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ GENEL PROSESLERİ

Tekstil endüstrisi üretim aşamasında uygulanan genel prosesler; haşılama, haşıl sökme, ağartma, boyama, apreleme olarak adlandırılır (Birgül, 2006). Terbiye prosesleri genellikle pamuklu, sentetik ve yünlü elyaflara uygulanır. Tekstil terbiye prosesleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

2.3.1. Haşılama

İnce kumaşların dokuma işlemi esnasında, kumaşa uygunluk olarak çok ince formda iplik kullanılır. Ancak ince formda kullanılan iplik, dokuma esnasında maruz kaldığı gerilim nedeniyle kopar. İnce ipliğin kopmasının engellenmesi amacı ile nişasta ve dekstrin gibi

maddeler kullanılarak geçici olarak sağlamaştırılır. Bu sağlamaştırma işlemi haşılama olarak adlandırılmaktadır (Birgöl, 2006, EPA, 2000).

Haşıl maddesi, dokuma esnasında kopmayı engellemek amacı ile çözgü iplerine uygulanır. Böylelikle gerilime maruz kalan iplikler, birbirine yapışarak daha sağlam hale gelir ve kayganlıklarının da artırılması ile dokuma işlemlerindeki performansı yükselttirilir (Kanlıoğlu, 2000).

Haşıl maddeleri; makromoleküllü, film oluşturabilen ve liflere tutunabilme özelliği bulunan, doğal veya yapay kökenli maddeler olarak ifade edilebilir. Haşıl maddesi olarak kullanılmakta olan polivinil alkol, deterjanın suda çözülmesi ile oluşturulan çözelti ile giderilebilir. Uygulanan işlem sonucu, askıda katı madde, yağ ve gres içerikli atıklar suya karışır. Suya karışan atıklar, ürün eldesi sonucunda meydana gelen katı artığın yaklaşık olarak yarısını oluşturmaktadır. Atıksulardaki KOİ'nin önemli bir bölümü de polivinil alkolden kaynaklanmaktadır (Kayacan, 2010).

2.3.2. Yıkama ve Haşıl Giderme

Boyama ve apreleme kumaş hazırlığı için, haşılama prosesinden kaynaklanan haşıl maddelerinin giderilmesi gerekmektedir. Haşıl maddelerini giderilmesi için uygulanan yıkama işlemleri sonucu oluşan atıksular, tekstil endüstrisinde oluşan toplam atıksularının ve kirlilik yükünün yaklaşık olarak %50'sini içermektedir. Boyama ve apreleme işlem aşamaları için temiz kumaş hazırlığı olarak, haşıl işlemi uygulanan kumaşlar sodyum hidroksit klor, silikat, sodyum bisülfid ve deterjan kullanılmaktadır. Kullanılacak kimyasalların türü ve yıkama suyunun sıcaklığı, uygulamaya tabi tutulacak elyaf türüne göre belirlenir. Boyama proseslerinde, boyar maddelerin elyafa nüfuz etmesi açısından haşıl maddelerin kumaş üzerinde giderimi son derece önemlidir. Aksi halde kumaşta temizlenmemiş olan haşıl maddeler, boyanın rengini değiştirebilir (Bulut, 2011).

2.3.3. Ağartma

Ağartma işlemi, liflerin üzerinde yer alan renklerin giderilmesi ve beyazlatılması, iplikler üzerinde yer alan kirlerin giderilmesi amacı ile kimyasalların uygulanmasıdır. Başlıca kullanılan ağartma maddeleri; güçlü oksitleyici maddeler olan sodyum hipoklorit ve hidrojen peroksit olup, kullanılan bu maddeler ipliklerden kaynaklanan pislikler ile birlikte çıktı olarak

deşarj edilir. Ağartma işleminde öncelikle kumaşın kimyasallara doygunluğu sağlanır, ardından uygun sıcaklık ve sürede ağartıcı kimyasallar ile teması sağlanır. Ağartma işleminin ardından kumaşa yıkama ve kurutma işlemleri uygulanır. Ağartma prosesi ile birlikte iplik üzerinde kirleticilerin ve renklerin giderimi sonucu atıksuların kirlilik yükü arttırılırken, atıksuyun biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerini de arttırmaktadır (EPA, 1997, Bahadır, 2012).

2.3.4. Mersevizasyon

Mersevizasyon işleminin asıl amacı, pamuklu liflere daha pürüzsüz ve parlak bir görünüm kazandırmaktır. Pamuklu iplik, yaklaşık 15°C sıcaklıkta olan sodyum hidroksit çözeltisine daldırılır ve ardından alkalinite giderimi için çalkalama işlemi uygulanır. Proses uygulamasından sonra kumaş yıkanır ve sülfürik veya hidroklorik asit kullanımı ile nötralize edilerek. çıkış suyunda yüksek deşarj miktarı önlenir (Pekel, 2009).

2.3.5. Boyama

Kumaşa ve ipliğe istenilen renklerin kazandırılması için boyama prosesi uygulanır. Boyama işlemi esnasında çok çeşitli boya türleri ve yardımcı kimyasalları kullanımının yanı sıra, inorganik çözeltiler de kullanılmaktadır. Uygulanan boyanın kumaşa ve ipliğe sabitlenmesi amacı ile yüksek sıcaklık ve tuz konsantrasyonlarında boyama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Boyama işlemi sonucu oluşan yüksek konsantrasyondaki çözelti, atıksu kirlilik yükünü büyük ölçüde arttırmakta ve yüksek tuz ile boya konsantrasyonları atıksularının arıtılmasını oldukça zorlaştırmaktadır (Birgül, 2006, Yüzer, 2018).

2.3.6. Apreleme ve Baskı İşlemleri

Uygulanan prosesler neticesinde fiziksel ve kimyasal özellikleri değişen kumaşın işlenmesi, apreleme prosesi olarak adlandırılmaktadır. Apreleme işlemi uygulanan kumaş, görünüş olarak daha yumuşak, sağlam, pürüzsün ve parlak hale getirilmektedir. Apreleme işlemi esnasında; nişasta (kola), dekstrin kolası, doğal veya sentetik balmumu, sentetik reçine, yumuşatıcı madde gibi kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasalların kumaşa uygulanması ile kumaşın aşınma, yanmama, küflenmeme, su geçirmeme gibi özelliklerinin kalitesi arttırılır (Kırdar, 1995).

2.4. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN BOYARMADELER

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmaddeler, kumaşa renk verebilecek boyarmmadde ve onu bağlayacak bileşimlerden oluşan, kendisi de renkli olan maddelerdir. Boyarmaddelerin yüzey üzerinde tutunabilmesi için bağlayıcı madde olarak reçine ve polimerler kullanılmaktadır. Boyarmaddenin tekstil boyama prosesinde kullanılabilmesi için, renklilik ve uygulanan elyaf üzerinde tutunabilme özellikleri dikkate alınmaktadır (Arıcı, 2000).

Tüm renkli organik bileşikler, içerdiği rengi oluşturan doymamış kromofor grubu içermekte ve bu bileşikler koromojen olarak adlandırılmaktadır. Kromojenin olarak adlandırılan organik bileşiklerin boyar madde olarak kullanılabilmesi için, bileşiklerinde kromofor gurubunun yanı sıra oksokrom denilen amino (- NH₂), yer değiştiren amino (NHR,-NR₂), hidroksil (-OH), metoksil (OCH₃), sülfonik (SO₃H) ve karboksil (COOH) gruplarının da yer alması gerekmektedir. Bileşikte yer alan bu gruplar, molekülün elyafa karşı afiniteye sahip olmasını ve suda çözünebilirlik özelliği sağlamaktadır.

Çift bağlı kromofor gruplarına örnek olarak;

- nitro (R.NO₂)
- nitrozo (N₂O)
- azo (-N=N-)
- karbonil (C=O)
- etilenik çifte bağ (-C=O-)
- tiyokarbonil (-C=S-) grupları gösterilebilir (Arıcı, 2000).

Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların farklı kimyasal yapıları ve uygulanan çeşitli proseslerden dolayı oldukça zordur. (Correia vd., 1994). Boyalar tekstil endüstrisinde boyama ve baskı işlemlerinde yaygın olarak kullanılmakta olup, Dünya'da yıllık yaklaşık 7x10⁵ ton miktar ve 10.000 farklı çeşitte boya ve pigment üretilmektedir. Üretilen boyarmaddelerin ise yaklaşık % 10'u endüstriyel atıksulara karışmaktadır (Delikanlı, 2013).

Tablo 2.4: Boyaların uygulanan ipliğe göre sabitleme ve çıkışta kaybedilen oranları

Uygulanan Boya Sınıfı	Boyanan İp	Sabitlenme derecesi	Çıkışta kaybedilen (%)
Asit	Poliamid	85 – 95	5 – 15
Bazik	Akrilik	95 – 100	0 – 5
Direk	Selüloz	70 – 95	5 – 30
Dispers	Polyester	90 – 100	0 – 10
Metal-Kompleks	Yün	90 – 98	2 – 10
Sülfür	Selüloz	60 – 90	10 – 40
Reaktif	Selüloz	50 – 90	10 – 50

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddelerin, genel anlamda dört özelliğe sahip olması beklenir:

- Boyama işlemi gerçekleştirildikten sonra boyar maddenin elyaf üzerinde renkli bir madde olarak kalabilmesi gerekmektedir.
- Boyama işleminin gerçekleştirilebilmesi için boyar maddenin suda çözünürlük özelliğe olması gerekmektedir.
- Boyarmadde ile boyama işlemi uygulanan elyaf arasında molekül bağı oluşarak birbirleri arasında afinite (substantivite) oluşmalıdır.
- Boyama uygulanmış materyal üzerinde boyarmadde her etkiye karşı dirençli olabilmelidir, yani dayanıklı ve iyi bir renk özelliğine sahip olmalıdır (Vursavuş, 1999).

2.4.1. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmaddeler, genel olarak kimyasal yapılarına, suda çözünürlüklerine ve boyama özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır.

2.4.1.1. Boyarmaddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Boyarmaddeler kimyasal yapılarına göre;

- Nitro ve nitrozo boyarmaddeler
- Trifenilmetan boyarmaddeler
- Fitalen ve ksanten boyarmaddeler
- Azo boyarmaddeler

- Antrakinon boyarmaddeler
- İndigo boyarmaddeler
- Ftalosiyenin boyarmaddeler olarak sınıflandırılır (Şimşeker, 2009).

Azo boyar madde türleri en geniş kapsamı oluşturmakta olup, diğer alt sınıflar boyaların molekül yapılarına göre sınıflandırılmaktadır.

2.4.1.2. Boyar Maddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması

Suda Çözünen Boyar Maddeler

Boyarmadde molekülü en az bir adet tuz oluşturabilen moleküler grup taşımaktadır. Boyarmaddenin sentezlenmesi esnasında başlangıç olarak kullanılan madde içeriğinde suda çözüdüremeye bileşik yoksa, bu bileşiği boyarmadde molekülüne sonradan dahil ederek boyarmadde çözünürlüğü sağlanabilir. Başlangıç madde olarak genelde iyonik bileşik grubu tercihe dilmektedir.

Suda çözünebilir boyarmaddeler, tuz içerikli grubun karakterine göre üç gruba ayrılır;

- Anyonik suda çözünen boyarmaddeler: Suda çözünen grup olarak genelde sülfonik (-SO₃-) ve karboksilik (-COO-) asitlerin sodyum tuzlarını ((-SO₃Na) ve (-COONa)) içerirler. Asit ve direkt boyarmaddeler bu gruba örnek gösterilebilir.
- Katyonik suda çözünen boyarmaddeler: Çözünürlüğü sağlayacak grup olarak, bazik grup (örneğin -NH₂), asitler ile tuz teşkil etmiş olarak molekülde bulunmaktadır. Asit olarak genelde kuvvetli anorganik asitler tercih edilmektedir.
- Zwitter iyon karakterli boyarmaddeler: Moleküllerinde hem asidik hem de bazik gruplar bulunduran boyarmaddelerdir. Boyama sırasında bazik ya da nötr ortamda anyonik boyarmadde özelliği gösterirler (Bahadır, 2012).

Suda Çözünmeyen Boyar Maddeler

Tekstilde kullanılan suda çözünmeyen boyarmaddeler, çeşitli gruplarda sınıflandırılır;

- *Substratta çözünen boyarmaddeler:* Suda çok ince süspansiyonlar olarak dağıtılarak, özellikle sentetik elyaf üzerine uygulanan dispersiyon boyarmaddelerdir.
- *Organik çözücülerde çözünen boyarmaddeler:* Her tür organik çözücüde çözünen bu boyarmaddeler, sprey veya lak halde uygulanmaktadır.

- *Geçici çözünürlüğü olan boyarmaddeler:* Bu tür boyarmaddeler, indirgenme maddeleri ile suda çözünebilir hale getirildikten sonra boyama işlemi yapılacak elyafa uygulanabilirler. Boyama sonrasında elyaf içerisinde yeniden yükseltgenerek suda çözünmez hale getirilirler. Vat ve kükürt boyarmadde türleri bu tür uygulama kullanılır.
- *Polikondensasyon boyarmaddeler:* Elyaf üzerine uygulanırken ya da uygulandıktan sonra birbirleriyle veya başka moleküllerle kondanse olarak büyük moleküller oluşturan boyarmaddelerdir.
- *Elyaf içinde oluşturulan boyarmaddeler:* İki ayrı bileşenin elyaf içerisinde kimyasal reaksiyon sonucu oluşturulan boyarmaddelerdir. Suda çözünmeyen pigmentlerden oluşan bu boyarmaddelere, azoik boyarmaddeler ve ftalosiyaninler örnek verilebilir.
- *Pigmentler:* Elyafa ve diğer substrat maddelerine karşı afinitesi bulunmayan, farklı yapıdaki boyarmaddelerdir. Süspansiyon pigment olarak kurumuş yağlar ve reçineler içerisinde uygulanırlar (Koca, 2006).

2.4.2. Boyar Maddelerin Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Bu tür sınıflandırmada, boyama teknolojisinde boyar maddenin kimyasal yapısından ziyade, elyafın hangi yöntem kullanılarak, boyarmaddenin boyama özelliklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Birgül, 2006).

- Asit boyarmaddeler
- Bazik boyarmaddeler
- Azoik (Nafyol AS) boyarmaddeler
- Direkt boyarmaddeler
- Küpe boyarmaddeleri
- Kükürt boyarmaddeleri
- Ingrain boyarmaddeler
- Oksidasyon boyarmaddeleri
- Krom boyarmaddeler
- Mordan boyarmaddeler
- Metal-kompleks boyarmaddeler
- Dispers boyarmaddeler
- Pigment boyarmaddeler

- Reaktif boyarmaddeler

Tablo 2.5: Elyaf türlerine göre boyarmaddeler ve uygulama yöntemleri (Özkan, 2007)

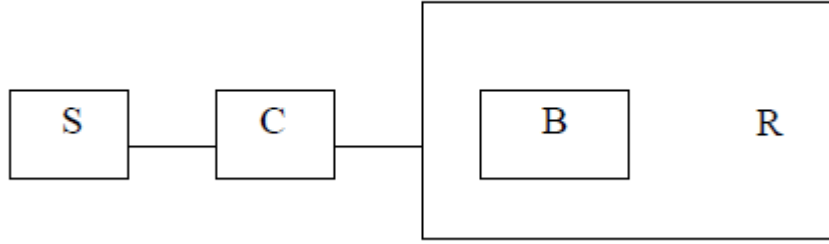
Boyarmadde sınıfı	Elyafa tutulma	Uygulandığı elyaf Türü	Uygulanma yöntemi	Atıksu özelliği	İçerdiği metal
Asit Boyar Maddeler	80 – 93	Yün , Naylon	pH = 3 – 5 arasında, asidik	Asidik , ağır metal tuzları	Cu, Cr, Co
Azo Boyar Maddeler	90 – 95	Pamuk, Viskon	Boyanın elyaf üzerinde		Yok
Bazik Boyar Maddeler	97 – 98	Akrilik bazı Polyester	pH = 4 – 6 arasında, asidik	Zayıf asidik	Yok
Direkt Boyar Maddeler	70 – 95	Pamuk, Viskon	Hafif alkali karakterde, 98 o C	Nötral yüksek tuz konsantrasyonu ağır	Cu
Dispers Boyar Maddeler	80 – 92	Polyester, asetat ve diğer	pH = 4,5 ' da 130 o C sıcaklıkta	Nötral	Yok
Reaktif Boyar Maddeler	50 – 80	Pamuk, Viskon, Yün	Alkali ortamda, tuz ilavesi ile	Alkali, yüksek tuz konsantrasyonu	Cu, Ni
Sülfür Boyar Maddeler	60 – 70	Pamuk, Viskon	Boya, alkali sodyum sülfürde	Alkali, yüksek tuz konsantrasyonu,	Yok
Vat (Küp) Boyar Maddeler	80 – 95	Pamuk, Viskon	Boya, alkalisodyum	Alkali oksitleyici kimyasallar	Yok
Mordan veya Krom Boyar	95 – 98	Yün	Asidik ortamda, sodyum dikormat	Asidik, ağır metaller	Cr

2.5.REAKTİF BOYARMADELER

Reaktif boyarmaddeler optimum koşullarda, selülozda bulunan hidroksil grupları, yünde bulunan amino ve hidroksil grupları, poliaminlerde bulunan hidroksil grupları ile kovalent bağ oluşturarak tekstil elyafları ile reaksiyon veren boyar maddelerdir (Arıcı, 2000).

Bu boyarmadde türlerinin tüm renk serisi tam bulunmakta olup, oldukça parlak renklere sahiptirler. Azoik boyarmaddeler ile elde edilen renk çeşidinin sınırlı olması ve tüm renk serisinin bulunmaması nedeniyle reaktif boyarmaddeler daha fazla tercih edilmektedir. Ayrıca reaktif boyarmaddelerin uygulanması ile elde edilen yaş haslıkları fonksiyonel gruplarla bağ oluşturma nedeniyle, bazik boyarmaddelere göre oldukça yüksek olması da tercih edilme sebebidir (Hunter ve Renfrew, 1999).

Reaktif boyarmaddelerin karakteristik yapısı şematik olarak aşağıdaki şekildedir (Arıcı, 2000);



Şekil 2.4: Reaktif Boyarmadde Karakteristik Yapısı

- S: Suda çözünebilen grup
- C: Moleküle renk veren grup
- B: Köprü bağları
- R: Reaktif grup

Çözünürlük Grubu (S)

Protein elyafı ve selülozu boyama özelliği gösteren boyarmaddelerde genellikle 1-4 adet bulunan sülfonik asit grubu, boyarmaddeye çözünürlük özelliği sağlayarak elyafı boyamasını sağlar (Metin, 2009).

Kromofor Grubu (C)

Reaktif boyarmaddelere renk verici grup olarak tanımlanan kromofor grubu, kırmızı, sarı ve turuncu boyarmaddelerin basit monoazo ve disazo yapısında, lacivert, mor ve koyu kırmızı boyarmaddelerin ise bakırlı mono ve disazo gruplarında, açık mavi ve parlak renklerde ise antrakinin ve gtalesiyenin türevleri olarak görülmektedir (Metin, 2009).

Köprü Bağları Grubu (B)

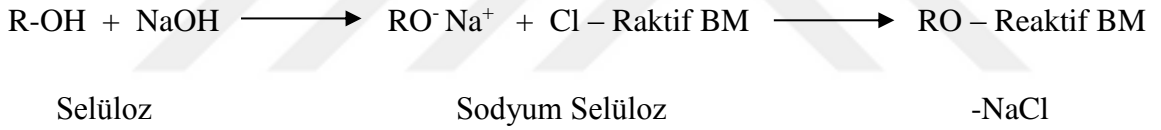
Reaktif grup ve renkli kromofor grubu birbirine bağlayan, -CO, -NH, -SO₂ benzeri gruplardır. Köprü görevi ile bağ kurmanın yanı sıra moleküler grubun reaktivitesine de etkisi bulunmaktadır. Köprü bağlarının en önemli işlevlerinden biri, elyaf ve boyarmaddenin birbirinden ayrılmasını önlemektir. Sülfür ve oksijen köprü gruplarının kolayca hidroliz olacak şekilde bağ oluşturmaları, aromatik ve alifatik halkalı köprü gruplarının ise boyarmaddenin su içerisinde çözünürlük oranını azaltması nedeniyle kullanım olarak tercih edilmemektedir. Buna

karşın, amino ve alkilamino köprü gruplarının kolay sentezlenmesi ve hidrolize karşı sayanıklılık göstererek çözünürlük oranının düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir (Metin, 2009).

Reaktif Grup (R)

Elyafta bulunan fonksiyonel grup ile kovalent bağ kuran gruptur. Reaktif grup ile bağ oluşturabilecek fonksiyonel gruplar, selüloz elyafta hidroksil grubu, yün ve ipekte ise amino, hidroksil, karboksil ve tiyoalkol gruplarıdır. Boyama uygulanan ortamda bulunan sudaki hidroksil iyonları ile de reaksiyon vererek hidroliz oluştururlar. Aynı zamanda hidroliz olan boyarmadde elyaf ile de reaksiyon gösterdiğinden, boyarmadde-su reaksiyonu ile boyarmadde-elyaf reaksiyonubirbirine rakip durumda bulunmaktadır. Bu nedenle boyama uygulanacak ortam koşulları, hidroliz reaksiyonu dikkate alınarak hazırlanmalıdır (Arıcı, 2000).

Reaktif boyarmaddeler, uygun koşullarda uygulandığı lif ile kimyasal reaksiyon göstererek oluşturduğu kovalent bağ oluşumu aşağıdaki gibidir;



2.5.1. Reaktif Boyarmaddelerin Çevresel Etkileri

Tekstil endüstrisi atıksularının en önemli özelliklerinden biri; büyük oranda organik ve inorganik kirlilik yükü ile yoğun miktarda renk içerikli olmasıdır. Tekstil endüstrisinde yaklaşık 10,000 çeşit boyar madde kullanılmakta ve dünyada her yıl neredeyse 280,000 ton boya içerikli atıksu alıcı ortama verilmektedir (Mass ve Chaudhari, 2005). Alıcı ortama deşarj edilen renk içerikli atıksu, su içerisindeki fotosentez reaksiyonunu ve ışığın geçirgenliğini olumsuz olarak etkilemenin yanı sıra, bazı sucul organizmalarda toksik olarak birikerek kanserojen ürünlerin oluşumuna sebep olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı boyar madde içerikli tekstil atıksuları çevresel açıdan önemli ölçüde tehlikeye sebep olmaktadır (Dokuzoğlu vd., 2008).

Suda çok yüksek çözünürlük ve oldukça fazla parlak renklere sahip olma özelliklerinden dolayı son yıllarda tercih edilen reaktif boyarmaddeler, tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler arasında en çok problem teşkil eden boya gurubu olarak tanımlanabilir (Karcher vd., 2001). Reaktif boyarmadde kullanımı, dünya marketinin yaklaşık olarak %30'unu kapsamaktadır. En

çok renk çeşitliliğine sahip olan bu boyarmadde sınıfı, neredeyse %20-40 oranında çıkış atıksuyuna karışmaktadır (William vd., 1997).

Koyu tonları bile boyayabilen parlak renkli reaktif boyarmaddeler, uygulama esnasında nötral tuz ihtiyacı, boyama sonucu oluşan boyarmadde miktarının fazlalığı, uygun boya koşullarının farklılık göstermesi ve yıkama işlemi esnasında yüksek su sarfiyatı ile enerji tüketimi nedenleri ile çevreyi olumsuz olarak etkilemektedir (Birgül, 2006). Birbirine azo köprüleri formunda bağlı olan bu boyarmaddeler, boyama sonucunda çevreye renkli atıksu formunda bırakılırlar (Fakı, 2007).

Reaktif boyarmaddelerin fiksasyon dereceleri yaklaşık olarak % 60-90 olduğundan, boyama sonucu fikse olmamış önemli miktarda boya atıksuya geçmektedir. Tekstil atık suyu yüksek KOİ'ye sahip, düşük miktarda biyolojik parçalanabilirlik özelliğinde ve yüksek tuz içerikli olarak karakterize edilmektedir. Bu özelliklerin yanı sıra içerdiği renk sebebi ile de estetik açıdan önemli ölçüde kirlilik kaynağı oluşturmaktadır (Vardar, 2006).

Reaktif boyarmaddelerin soğukta bekletilerek uygulanması büyük enerji tasarrufu sağlanmasını destekler. Enerji tasarrufu sağlaması nedeniyle üretici firmalar tarafından son yıllarda hızla geliştirilmiştir. Ayrıca yüksek yüksek miktarda tekrarlabılır olması, parlak renkler ve çok düzgün boyama sağlamasının yanı sıra, yıkama ve ışığa karşı olan çok iyi seviyedeki haslıkları çevresel etkiler açısından olumlu etki yaratmakta ve boya kullanımı açısından da avantaj oluşturmaktadır (Fakı, 2007).

2.5.2. Reaktif Boyarmaddelerin Arıtmaya Olan Etkileri

Tekstil endüstrisinde kullanılan reaktif boyar maddelerin su içerisinde çok yüksek oranda çözünürlük özelliği bulunduğundan, son yıllarda tercih ve kullanım oranı hızla artmaktadır. Çok parlak renkler bulunduran reaktif boyar maddeler sahip oldukları basit molekül yapıları nedeniyle, spektrumlarında çok dar ve şiddetli pikler göstermektedir (Eren ve Acar, 2004). Tekstil endüstrisi proseslerinde kullanılan boyar maddeler içerisinde arıtma esnasında en çok problem teşkil eden boyarmadde türü reaktif boyar maddelerdir (Karcher vd., 2001) .

Piyasada kullanılan boyarmaddelerin yaklaşık % 70'ini oluşturan azo kromoforlu reaktif boyalar, (- N=N-) çift bağı ile karakterize edilmektedir. Kompleks kimyasal yapıları ve bulundurdukları sentetik nedeniyle bu boyar maddelerin atıksudan giderim işlemleri oldukça

zordur. Boyar maddelerin atıksudan giderilmesi için, koagülasyon, flokülasyon, aktif karbon adsorpsiyonu, ters osmoz gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal prosesler, biyolojik arıtma prosesleri ve ileri oksidasyon-biyolojik arıtma kombinasyonu uygulanmaktadır. Uygulanan bu yöntemler, avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajlara da neden olmaktadır. Klasik olarak uygulanan biyolojik prosesler yüksek fotostabiliteye sahip reaktif boyar maddelerin gideriminde iyi bir etki oluşturmazken, fiziksel ve kimyasal proseslerde ise çamur oluşumu ve absorban rejenarasyonu ihtiyacı gibi oluşturduğu dezavantajlar nedeniyle boyarmadde gideriminde yetersiz bulunmaktadır (Dokuzoğlu ve diğ., 2008)

Çevreye olumsuz etkileri bulunan reaktif boyar maddelerin tekstil endüstrisinde geri kullanılabilmesi için tam anlamıyla arıtılması gereklidir (Karcher vd., 2001). Tekstil atıksularında bulunan reaktif azo boyaların konsantrasyonları 5-1500 mg/L arasında değişiklik göstermektedir. (Gottlieb vd., 2003). Suda çok iyi çözünürlükleri bulunduğu için reaktif boyar maddeler belirli absorbanlara karşı çok az eğilim göstermektedirler (Arslan ve diğ., 2000). Bunun yanı sıra bu boyarmaddelerin yaklaşık % 70'i azo boyar maddeler olduğundan aerobik koşullarda biyolojik arıtma da düşük miktarda olmaktadır. Azo boyar maddeler içerikli atıksuların toksik ve kanserojen etkisi bulunduğu için, önce ileri arıtma teknolojileri ile arıtılıp ardından klasik arıtmaya tabi tutulmalıdır (İnce ve Tezcanlı, 2001).

2.6.TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSU KAYNAKLARI VE KİRLİTİCİ PARAMETRELERİ

2.6.1. Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları

Tekstil endüstrisi kaynaklı atıksuların içeriğinde, yüksek kirlilik yüküne sahip parçalanması zor kirletici maddeler ihtiva etmektedir. Tekstil atıksularının içermiş olduğu zararlı kirleticilerin atıksudan uzaklaştırılması ve alıcı ortama ancak bu şekilde deşarj edilmesi gerekmektedir. Tekstil atıksu içeriğindeki yüksek KOİ, AKM, organik madde, renk, tuzluluk gibi kirleticilerin alıcı ortama deşarj edilmeden önce arıtılması için, klasik arıtma tekniklerinin yanı sıra ilave olarak ileri arıtma tekniklerinin de uygulanması gerekmektedir. (Bulut, 2011).

Tekstil endüstrisi prosesleri sonucu oluşan atıksular, kaynaklarına göre miktar ve içeriği açısından çeşitlilik göstermektedir. Genel olarak gruplandırmak gerek ise tekstil atıksular içeriğinde yer alan kirletici parametreler üç ana başlık altında gruplandırılabilir (Gökkuş, 2006).

2.1.14.1. Fiziksel Parametreler

Renk, koku, sıcaklık, korozyon, çözülmüş oksijen miktarı, radyoaktivite kirletici parametreleri fiziksel parametreler olarak tanımlanabilir.

2.6.1.1. Kimyasal Parametreler

Organik ve inorganik bileşimler, pH, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), asidite ve alkalinite, klor ihtiyacı, sertlik, toplam organik karbon (TOC), çözülmüş tuzlar parametreleri kimyasal parametreler olarak tanımlanabilir.

2.6.1.2. Biyolojik Parametreler

Kimyasal zehirlilik, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), patojenler parametreleri biyolojik parametreler olarak tanımlanabilir (Gökkuş, 2006). Tekstil endüstrisinde pamuklu, yünlü ve sentetik elyaf çeşitleri üretime kullanılmaktadır. Pamuklu ve sentetik elyaf türlerinin kullanımında herhangi bir ön yıkama işlemi gerekmemekte iken, yünlü elyaf kullanılan proseslerde, yünlerin başlangıçta çok kirli olması nedeniyle ön yıkama işlemi gerekmekte olup, bu yıkama işlemi neticesinde yüksek miktarlarda atıksu oluşmaktadır. Oluşan atıksu askıda katı madde, yağ emülsiyonu bakımından oldukça zengindir (Arslan, 2008).

Tablo 2.6: Yün yıkama suyunun ihtiva ettiği kirlilikler (Vardar ve Şar, 1998; Birgül, 2006)

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
Yağ (mg/L)	3000	25800	8650
AKM (mg/L)	2400	30300	11500
Alkalinite (mg/L)	3430	29400	6780
BOİ ₅	1200	22000	5500

Tekstil endüstrisinde atıksu oluşumuna neden olan bir diğer kaynak ise haşılama prosesidir. Kumaşların ve iplerin dayanıklılığının artırılması için kimyasal kullanılan haşılama prosesi sonrası, kullanılan kimyasalların giderilmesi için yıkama işlemleri uygulanmakta ve yıkama işlemi neticesinde kimyasal içerikli atıksu oluşumu gözlenmektedir (Köklü, 2004).

Tekstil sanayinde çeşitli boyar maddeler kullanılarak ürünler boyama işlemine tabi tutulmaktadır. Kullanılan boyar maddelerin ve boyama proseslerinde kullanılan diğer

kimyasalların yıkama ve proses sularına karışması ile yüksek kimyasal içerikli ve renk içerikli atıksu oluşumu görülmektedir. Boyama işlemlerinden kaynaklanan renk parametresi, atıksu karakterizasyonunu önemli ölçüde etkileyen ve kirlilik yaratan bir parametredir. Renklendirme işlemleri genelde asidik veya bazik pH aralıklarında gerçekleştirildiğinden, alıcı ortam atıksuyunda da pH yönünden çeşitlilik görülmektedir. Bunun yanı sıra renk parametresi suyun ışık geçirgenliğini azaltarak oksijen seviyesini düşürmekte ve estetik açıdan da sorun ihtiva etmektedir (Bulut, 2011).

Tablo 2.7: Boyama atıksularının karakteristik özellikleri (Arslan, 2008)

Boya Türü	Elyaf Çeşidi	Renk (ADMI)	BOİ (mk/L)	TOK (mg/L)	AKM (mg/L)	ÇKM (mg/L)	pH
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5,1
Metal Kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6,8
Bazik	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4,5
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6,6
Reaktif, Kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11,2
Reaktif, Sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9,1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11,8
Dispers, Yüksek sıcaklıkta	Polyester	1245	198	360	76	1700	10,2

Tablo 2.8: Tekstil endüstrisi alt kategorisinde atıksu kaynakları (EPA, 1978; Sevimli, 2000)

ALT KATEGORİLER	İŞLEMLER
Yapağı yıkama	Yıkama
	Durulama
	Boyama
	Ağartma
	Yıkama

Yünlü kumaş son işlemler	Durulama
	Karboniz ve yıkama
	Dinkleme ve yıkama
Az su kullanılan işlemler	Haşılama
Dokunmuş kumaş son işlemler	Haşıl sökme
	Piştirme-yıkama
	Merserizasyon-yıkama
	Ağartma-yıkama
	Boyama-yıkama
	Baskı
	Apre-ikmal
Örgü kumaş son işlemler	Yıkama
	Piştirme-ağartma
	Boyama
	Baskı
	Apre-ikmal
Halı üretimi son işlemler	Boyama ve baskı
	Kurutma
	Lateks Kaplama
Stok ve elyaf son işlemler	Boyama
	Ağartma
	Merserizasyon
	Yıkama
Dokusuz yüzeyli kumaş üretimi	Yapıştırma
Keçeleştirilmiş kumaş üretimi	Durulama
Koza işleme ve doğal ipek üretimi	Piştirme
	İpek çekimi
	Serisin giderme
	Ağartma
	Boyama
	Yıkama
	Avivaj
	Şarj

2.6.2. Tekstil Atıksularında Yer Alan Kirlenici Parametreler

2.6.2.1. Askıda Katı Madde

Askıda katı maddeler tekstil ürünlerinin üzerine tutunarak boyama sonrasında kötü bir görünüme neden olmaktadır. Askıda katı maddeler kumaş üzerine yapışması, ürünlerin

kalitesini olumsuz olarak etkiler ve üretim proseslerinde kullanılan cihazların da tıkanmasına sebep olabilmektedir.

2.6.2.2. Ağır Metal

Demir ve mangan benzeri ağır metaller, yüksek pH değerlerinde kostik ile gerçekleştirilen kasar prosesinde tepkimeye girerek kumaş liflerine zarar verirler ve kumaş üzerinde lekelerin oluşmasına sebep olurlar. Bunun dışında Mn^{2+} iyonları kullanılan makine ve teçhizata zarar vererek aşınmaya sebep olmaktadır. Fe^{2+} iyonları ise kullanılan cihazlarda birikerek kumaşlara bulaşabilmekte ve ağartma prosesinde katalitik etki göstererek üretilen ürünlerine zarar vermektedir.

2.6.2.3. pH

Tekstil endüstrisinde proses gereği kullanılan suların pH değeri asidik seviyede olduğu zaman tekstil ürünlerinin liflerini aşındırabilmektedir. Aynı zamanda üretimde kullanılan makinelerin ve boru hatlarının korozyona uğramasına sebep olmaktadır. Bunun dışında proses sularının pH seviyesi yüksek olduğu durumlarda metal iyonlarının çökmesine neden olarak ürünlerin üzerinde tabakalaşma meydana getirmektedir.

2.6.2.4. Su Sertlik Değeri

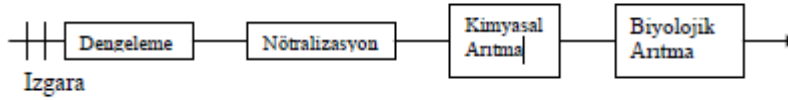
Tekstil atıksularında makine ve ekipmanlara zarar vermesi nedeniyle, sertliğe neden olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının giderilmesi gerekmektedir. Proses sularının sertlik derecesini belirlemek amacıyla Fransız sertlik birimi ($^{\circ}fH$) kullanılır. Buna göre değeri 0-5 $^{\circ}fH$ arasında olan sular çok yumuşak, 5-10 $^{\circ}fH$ arasında olan sular yumuşak, 10-20 $^{\circ}fH$ arasında olan sular orta sert, 20-30 $^{\circ}fH$ arasında olan sular sert ve >30 $^{\circ}fH$ olan sular ise çok sert olarak değerlendirilir.

Tablo 2.9: Tekstil Atıksularının Karakterizasyonu (Bulut, 2011)

PARAMETRE	BİRİMİ	DEĞER
pH	-	8,25
İletkenlik	mS/cm	6,01
KOİ	mg/L	198
AKM	mg/L	54
Sertlik	AS	20
Sülfür	mg/L	0,78
Sülfür	mg/L	<0,1
NH ₄ -N Amonyum	mg/L	1,51
Toplam Krom	mg/L	<0,03
Yağ Gres	mg/L	4,6

2.7.TEKSTİL ATIKSULARININ ARITILMASI

Tekstil endüstrisinde oluşan atıksuların içeriğinde, yüksek miktarlarda çeşitli kirleticiler ve renk içeriği bulunmakta ve bu maddelerin giderimi için de çeşitli arıtma yöntemleri bulunmaktadır. Atıksu içeriğinde bulunan kirleticilerin büyük bir kısmı, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri ile giderilebilmekte, ancak renk parametresi için birden fazla arıtma yöntemi uygulanması gerekmektedir. Arıtma yöntemleri genelde, tekstil atıksu karakteristik özelliklerine uygun olarak tercih edilmekte ve gerekli durumlarda ardışık olarak arıtma yöntemleri uygulanmaktadır.

**Şekil 2.5:** Tekstil endüstrisi genel arıtma şeması (Şimşeker, 2009)

Tekstil atıksularının arıtımı, ön arıtma, fiziksel-kimyasal arıtma, biyolojik arıtma ve ileri arıtma yöntemleri olarak dört aşamada gruplandırılabilir.

2.7.1. Ön Arıtma Yöntemleri

Önemli ölçüde kirletici parametre ve renk içerikli tekstil atıksuları, arıtmaya hazır hale getirilmek için öncelikle ön arıtma işlemlerine tabi tutulmaktadır. Ön arıtma işlem basamağında, atıksuyun uygun pH ayarı ve askıda katı madde giderim işlemleri gerçekleştirilir. Arıtma uygulanacak tekstil atıksuyu karakteristik özellikleri baz alınarak, kimyasal dozajlama veya dezenfeksiyon ızgaradan geçirme, kum tutucu ve filtrasyon ön arıtma işlemlerinin gerekli olanları uygulanmaktadır. Debi dengelenmesi ve bir sonraki arıtma basamağına hazır hale getirilmesi amacı ile, ön arıtma işleminin akabinde atıksular dengeleme havuzlarına iletilir. (Kayacan, 2010)

2.7.2. Fiziksel Arıtma Yöntemleri

Membran filtrasyon yöntemleri ile atıksu içeriğindeki boyaların ve kimyasalların giderimi gerçekleştirilebilmektedir. Boyarmaddelerin türlerine göre, atıksuda kullanılacak membran prosesi seçilmekte ve özellikle renk gideriminde kullanılmaktadır. Membran proseslerle boyar madde giderilmesi için uygun teknolojinin seçimi, boyanın türüne ve istenilen çıkış suyu kalitesine göre değişiklik göstermektedir (Şahin, 2006). Membran proseslerinin yüksek maliyetli olması, membran kirlenmesi, ön arıtma gerekliliği ve deşarj edilmeden önce konsantre akımın arıtılması gerekliliği dezavantajları olarak görülmektedir. (Verme ve diğ., 2012) Membran filtrasyonunda en çok bilinen uygulamalar ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, mikrofiltrasyon ve ters ozmoz olarak sıralanabilir.

2.7.3. Kimyasal Arıtma Yöntemleri

2.7.3.1. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, tekstil atıksuyu içerisinde bulunan renk parametresinin giderimi için yaygın olarak kullanılan etkili bir arıtma metodudur. Adsorpsiyon arıtma metodunda; atıksu içeriğindeki boyarmadde gibi biyolojik parçalanması çok zor olan organik maddelerin giderilmesi için, absorban olarak kullanılan maddelere tutunması sağlanmaktadır. Boyarmaddelere uygulanan adsorpsiyon yöntemine; absorban maddenin yüzey alanı, partikül büyüklüğü, temas süresi, pH ve sıcaklık faktörleri etki etmektedir. (Patel ve Vashi, 2010; Verma ve diğ., 2012).

Yaygın olarak tercih edilen adsorban madde aktif karbon olup, aktif kömür, silika jel, boksit, odun selüloz türevleri, zeolit, bentonit ve odun külü gibi kolay elde edilen ve ekonomik adsorban maddeler de renk gideriminde kullanılmaktadır (Pala ve Tokat, 2002).

Aktif karbon adsorpsiyonu, tekstil atıksuları arıtılmasında yaygın olarak kullanılan ve işletme yatırım maliyeti yüksek bir arıtma yöntemidir. Aktif karbon arıtma yöntemi kullanılarak yüksek miktarda organik madde giderimi sağlansa bile, tam anlamıyla renk gideriminin sağlanması oldukça zor olmaktadır. Ayrıca tekstil atıksu içeriğinde diğer bir sorun olan tuzluluk değeri adsorpsiyon yöntemi uygulandığında değişmediği gözlemlenmektedir. Bu nedenle, aktif karbon adsorpsiyonu membran arıtma yöntemleri önceliğinde, ön arıtma olarak organik madde giderimi için tercih edilmektedir. (Yüzer, 2018).

2.7.3.2. Koagülasyon – Flokülasyon

Kimyasal arıtım; organik maddeleri, zehirli maddeleri ya da her ikisini de dengelemek, fazla zehirliliği ya da organikleri biyolojik arıtımın büyüklüğünün optimizasyonu için uzaklaştırmak, ayrışabilen ve ayrışamayan organikler ile süspanse haldeki katı maddeler türünden çıkış suyu kalitesini iyileştirmek ve renk giderimi için biyolojik arıtmadan önce ya da sonra uygulanabilmektedir. (Kayacan, 2010)

Tekstil atıksu içerisinde bulunan organik madde ve zehirli maddeleri arıtmak amacı ile, kimyasal ilave edilmekte ve yumak oluşumu sağlanmaktadır. Oluşan yumaklaştırma floklarda kirletici parametreler toplanarak, çöktürme, filtrasyon ve yüzdürme gibi proses uygulamaları ile atıksudan arındırılmaktadır.

Kimyasal çöktürme yöntemi ile atıksuda yer alan askıda katı maddeler, yağ ve gres, renk, krom ve organik maddeler arıtılabilmektedir. Tekstil atıksularının kimyasal çöktürme prosesiyle arıtılması, hızlı karıştırma, yumaklaştırma ve çöktürme sırası ile gerçekleştirilmektedir. Kimyasal çöktürme işleminde giderim verimi çöktürme ile belirlendiğinden, yumaklaştırma işleminde polielektrolite ilavesi kullanılmaktadır. Kimyasal çöktürme arıtma yöntemi ile tekstil atıksularında yer alan renk parametresinin giderimi de suda çözünen boyar maddeler için kolaylıkla sağlanmaktadır. Ancak reaktif boyarmaddelerin flokülasyon arıtma verimi yaklaşık %20 olduğundan, yeterli miktarda renk giderimi bu tür boyarmadde içerikli atıksularda sağlanamamaktadır (Kayacan, 2010).

2.7.4. Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Konvansiyonel aktif çamur sistemleri ile biyolojik arıtma, tekstil atıksularının arıtılmasında kullanılan yaygın olarak kullanılan bir arıtma metodudur. Biyolojik arıtma yöntemlerinde, yüksek oranda KOI ve AKM giderimi sağlandığı görülmekte, ancak, indirgenmesi ve bozunması zor olan boya bileşikleri nedeniyle renk gideriminde yetersiz kaldığı görülmektedir (Bihendi vd., 2007).

Anaerobik arıtma, atıksu içerisinde bulunan renk, organik bileşikler ve ağır metal gideriminde başarı sağlamaktadır. Atıksu içerisinde yüksek miktarda renk bileşiği bulunuyor ise, anaerobik arıtmanın ardından aktif çamur sistemi de eklenerek %90'dan fazla bir KOI ve ve %96'dan fazla bir renk giderim başarısı elde edilebilmektedir. Renk ve KOI parametrelerinin yanı sıra, biyolojik olarak ayrışabilen atıksu içeriğinde organik maddelerin giderimi de sağlanabilmektedir (Baburşah, 2004). Tekstil atıksuları içerisinde bulunan BOI ve KOI konsantrasyonunun anaerobik arıtma için yeterli miktarda olmaması nedeni ile, aerobik aktif çamur biyolojik arıtma sistemleri tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksuların arıtılmasında daha uygun olan ve daha çok kullanılan bir proses haline gelmiştir (Yüzer, 2018).

Tablo 2.10: Literatürde bulunan biyolojik arıtma prosesine örnek çalışmalar (Bahadır, 2012)

Boya Tipi	Çalışma Koşulları	Sonuç	Referans
Reaktif boya	Anaerobik	%80 renk giderimi	Slokar ve ark. 1998
Konsantre boya atıkları	Anoksik/biyolojik kesikli sistemler	Anoksik fazda renk verici maddeler fakültatif m.o tarafından parçalanmakta, aerobik fazda ise	Krull ve arkadaşları
Azo boyalar	Karaturp peroksidaz	Degradasyon hızı atıksuyun pH'ına bağlı	Bhunia ve arkadaşları
Kristal violet boyalar	Beyaz kırmızı fungus	N-dimetilasyon ile yıkım	Bumpus ve ark. 1991
Pamuklu tekstil gibi sentetik atıksu	Anaerobik (YACYR)/aerobik (SKTR) ardışık reaktör sistemi.	Anaerobik reaktörde 2,8 gün hidrolik bekleme süresi (HBS) ve 1,13 kg/m ³ .gün'lük organik yüklemeye hızı ile %67 KOI giderimi ve %100 renk giderimi. Aerobik reaktörde ise 10 gün HBS ve 0,104 kg/m ³ .gün'lük organik yüklemeye hızı ile %77 KOI giderimi gözlenmiştir.	Işık ve Sponza 2004

2.8.TEKSTİL ATIKSULARINDA KULLANILAN GERİ DÖNÜŞÜM METODLARI

2.8.1. İleri Oksidasyon Metodları

Klasik arıtma işlemlerine tabi tutulmuş atıksularda arıtma sonrası kalan organik madde, askıda katı madde, çözünmüş madde gibi kirleticilerin arıtımı için ek bir arıtma işlemi gerekmektedir. İleri arıtım teknikleri, klasik olarak uygulanan arıtma sistemlerinde giderimi saplanamadan dayanıklı içeriklerin giderimi için uygulanan arıtma yöntemleridir.

Tekstil atıksuları için uygulanan deşarj standartlarının belirli aralıklarda olması, atıksu içeriğindeki renk parametresinin sınırlayıcı olması ve gün geçtikçe artış gösteren su kıtlığı nedeniyle atıksuların geri kullanım ihtiyacı, ileri arıtım teknolojilerine yönelimi sağlamaktadır. İleri arıtım yöntemleri ile tekstil atıksu içerisinde yer alan kirletici parametrelerinin bir bölümü giderilmekte, ancak tuzluluk ve iletkenlik parametrelerinde artış miktarı gözlemlenebilmektedir (Kaleli, 2006).

Genelde tekstil atıksularının arıtılmasından sonra ileri arıtım yapmak gerekmektedir. Tekstil atıksu içeriğinde bulunan ve biyolojik olarak ayrışamayan KOİ ve renk parametrelerinin giderimi amacı ile ileri arıtım yöntemleri uygulanmaktadır. Kimyasal çöktürme, aktif karbon adsorpsiyonu, ozonlama ve membran prosesler ileri arıtım yöntemlerine dahil edilmektedirler.

Atıksuların ileri arıtımında kullanılan teknolojilerden bazıları aşağıda verilmektedir:

- Membran Prosesleri
- İyon Değişirici Prosesleri
- Ozonlama
- Fenton Oksidasyonu

2.8.1.1.Ozonlama

Tekstil atıksuların arıtılmasında ozon ile oksidasyon, son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Atıksu içeriğinde bulunan organik madde ve renk kirletici parametrelerinin gideriminde kullanılan ozonlama ileri arıtım prosesi, olumlu sonuçlar vermektedir. Ozonlama prosesi yaygın olarak, biyolojik arıtım uygulanmış tekstil atıksuyunda renk giderimi amacı ile uygulanmaktadır (Yüzer, 2018).

Renk gideriminde başarı sağlanan ozonlama prosesinde, KOI giderimi için aynı başarı elde edilememekte ve düşük giderim verimi elde edilmektedir. Tekstil endüstrisi atıksuların arıtılmasında kullanılan ozon ileri arıtım teknolojisi, atıksuların geri kullanılması amacı ile renk standardının sağlanması ve yüksek molekül içeren bileşiklerin oksitlenerek uygun hale getirilmesi amacı ile kullanılmaktadır (Emrah ve Yıldırım, 2013)

2.8.1.2.Fenton Oksidasyonu

Tekstil atıksuların ileri arıtılmasında kullanılan Fenton oksidasyonu, atıksu içeriğinde yer alan oksitlenebilir maddelerin gideriminde etkin olarak kullanılmaktadır. Fenton oksidasyonu, atıksu içeriğindeki renk, KOI, toksisite gibi kirletici parametrelerin gideriminde oldukça etkili olduğu görülmektedir. Fenton prosesinin atıksuya uygulanması neticesinde, fenton çamuru oluşmakta, absorbe edilmiş olan organik maddeler sebebiyle çamurun kolaylıkla boşaltılamaması dezavantaj oluşturmaktadır. (Tezcan, 2010).

2.9.MEMBRAN PROSESLER

Endüstriyel atıksuların arıtılması ve geri kullanılması hususunda, son yıllarda kullanımı yaygınlaşan membran teknolojisi, tekstil atıksu geri kazanımı ve arıtılmasında da kullanılan ileri arıtma, geri kazanım ve yeniden kullanım yöntemlerinden biri olmaktadır. Membran arıtma prosesleri, deniz ve kuyu suyu arıtmalarında, endüstriyel proseslerde oluşan atıksuların arıtılarak yeniden üretime dahil edilmesinde, atıksuların için belirlenen deşarj standartlarında yer alan parametrelere ait aralıklara uygun olarak ayarlanmasını mümkün kılmaktadır (Ünlü, 2008)

Membran proseslerinin gelişen bir teknolojiye sahip olması, modüler olarak kullanılabilmesi, taşınabilmesi, fazla çalışma alanı gerektirmemesi, yüksek konsantrasyonlarda faaliyet gösterebilmesi, değişken sıcaklık değişimlerine karşı fazla tepki göstermemesi, kaliteli çıkış suyu eldesi, çevreye olumsuz etkileri olmaması, ilk yatırım ve işletme maliyetinin düşük olması gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir (Kayacan, 2010).

Tekstil, metal, boya, gıda gibi çeşitli endüstri alanlarında atıksuların geri kullanılmasında tercih edilen membran teknolojileri, özellikler yüksek miktarda atıksu kullanılan proseslere sahip olan endüstri alanları için çok önemlidir. Ayrıca kirletici yükleri oldukça yüksek olan tekstil endüstrisi atıksuların arıtılması oldukça problem teşkil etmekte, bu nedenle arıtma

tesisine giden atıksuyun yükünün azaltılması ve bazı kimyasal maddelerin geri kazanılması için membran sistemleri ekonomik bir çözümlü olmaktadır (Kayacan, 2010).

Membran prosesleri, ayırma mekanizmalarına, kullanım alanlarına ve sürücü kuvvetlerine göre aşağıdaki şekilde gruplandırılmaktadır;

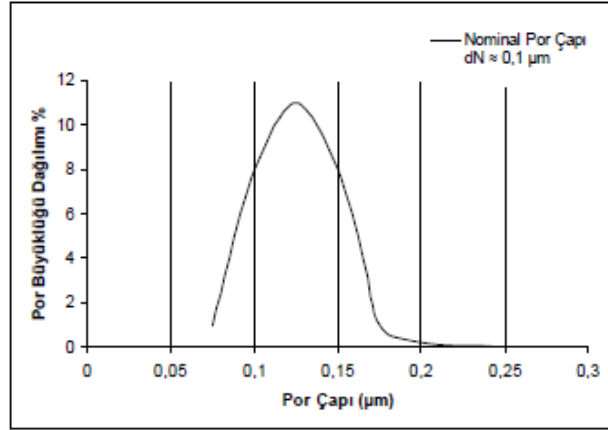
- Mikrofiltrasyon (MF)
- Nanofiltrasyon (NF)
- Ultrafiltrasyon (UF)
- Ters Osmoz (RO)
- Elektrodializ (ED)

Tablo 2.11: Membran proseslerinin özellikleri (Yalçın, 2008)

Proses	İtici Güç	Süzüntü	Tutulan
Mikrofiltrasyon	Basınç	Su, kolloidal	Su, çözümlü sıvılar
Ultrafiltrasyon	Basınç	Su, büyük moleküller	Su, küçük moleküller
Nanofiltrasyon	Basınç	Küçük moleküller,	Tek değerlikli
Osmoz	Kimyasal Potansiyel	Çözünenler, su	Su
Ters Osmoz	Basınç	Tüm çözünenler, su	Su
Dializ	Konsantrasyon Farkı	Su, büyük moleküller	Su, küçük moleküller
Elektrodializ	Voltaj/Akım	Su, iyonik olmayan	Su, iyonik çözünenler

2.9.1. Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon membranlarından yararlanarak, partikül boyutu 0,1 μ m'den 10,0 μ m'ye kadar olan maddeler tutulabilmekte ve mikrondan büyük boyutlarda olan partikül geçişini engellemektedir. Mikrofiltrasyon sisteminde, akım membran yüzeyine paralel ya da dik olacak şekilde uygulanabilmekte, membrandan geçemeyecek kadar büyük partiküller membran yüzeyinde birikmektedir. Membran yüzeyinde gözlemlenene partikül birikmesi, membranda tıkanmalara ve direnç artışına neden olmaktadır. Akı değerinin giderek azalmasına neden olan membran tıkanması sonrası, membranlar temizlenmeli veya yenisi ile değiştirilmelidir. Mikrofiltrasyon kullanım alanlarına; saf su üretimi, fermantasyon, meyve suyu üretimi, şarap ve bira ham madde ayırımı ve sterilizasyon örnek gösterilebilir (Koyuncu, 2001).



Şekil 2.6: MF membranlarında por büyüklüğü dağılımı (Rautenbach, 1997)

2.9.2. Nanofiltrasyon (NF)

Gözenek boyutu yaklaşık 0.002 µm olan, RO ve UF membran boyutları arasında gözenek boyutuna sahip membranlardır. Ters osmoza göre daha düşük basınçlarda işletilmesine rağmen, ters osmozda daha yüksek kaliteli su elde edilmektedir. Nanofiltrasyon membranları giderim mekanizmasında çözünme-difüzyon modeli uygulanmaktadır. Genelde NF cihazlarında spiral sargı membran çeşitleri kullanılmaktadır (Hasançebi, 2018). NF membran uygulamalarına örnek; suyun demineralizasyonu ve yumuşatılması, renk ve nitrat giderimi, ağır metallerin uzaklaştırılması, atıksuların geri kazanılması, organik madde giderimin ve tuzlu peynir sularının arıtımı gösterilebilir (Yazıcı, 2012).

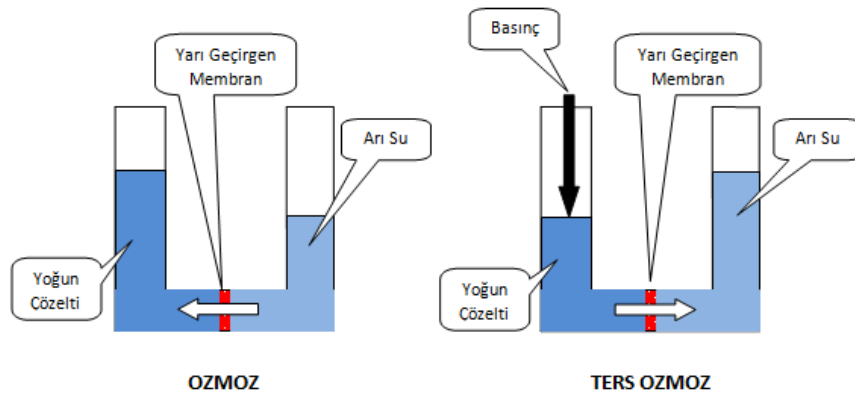
2.9.3. Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon membranlar, mikrofiltrasyon ile nanofiltrasyon arasında kalan ve gözenek boyutları yaklaşık 0.005-0.1 µm olan membran proseslerdir. Ultrafiltrasyon, işletme açısından mikrofiltrasyon membranlara benzemektedir. UF membranlar, çözülmüş maddeler ve küçük partiküller ayrılması amacı ile uygulanmaktadır. Ekonomik ayırım için, ultrafiltrasyon membran dar bir molekül ağırlığı, yüksek akı ve düşük basınca sahip olması beklenir. UF mekanizmalarında, yaygın olarak spiral-sargı, borsal ve kapiler çeşitleri kullanılmaktadır (Hacıoğlu, 2006). Ultrafiltrasyon kullanım alanlarına örnek olarak, tekstil endüstrisinde yün yıkama sularının geri kazanımı, yağ içerikli atıksuların arıtılması, mezbaha atıksularının arıtılması, gıda endüstrisi atıksuların arıtılması ve elektro kaplama endüstrisi gösterilebilir (Arnal vd., 2008).

2.9.4. Ters Osmoz (RO)

Doğal bir proses olan osmoz, farklı konsantrasyonda iki çözeltinin iyonik denge yakalanıncaya dek yarı geçirgen zardan düşük konsantrasyondan yüksek konsantrasyona sahip çözeltilere doğru su geçişi olarak tanımlanmaktadır. Ters osmoz prosesi ise konsantre çözeltilere osmotik basıncından daha yüksek bir basınç uygulaması ile gerçekleşmektedir. Ters osmoz membranları uygulana partikül boyutları yaklaşık olarak, 0.1-1 nm aralığında yer almaktadır. Ters osmoz membran prosesleri ile, en yüksek giderim verimi sağlanarak, anyon ve katyonlar, çözünmüş maddeler ve metal iyonların sudan arıtımı sağlanabilmektedir. (Aytaç, 2016)

Membran prosesi olarak en yaygın kullanılan ters osmoz prosesi, tekstil endüstrisinde renk giderimi, mezbaha atıksularının arıtımı, gıda endüstrisinde geri kazanım, kağıt endüstrisinde renk giderimi, madencilik, ilaç üretimi gibi birçok endüstriden yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca birçok endüstride ters osmoz (RO) düşük molekül ağırlıklı çözünmüş maddelerin, çözeltilerden giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. RO membranlar bütün çözünmüş organik ve inorganik türleri ayırabilmektedir. Ters osmoz prosesinin teorisi, solvent ve çözeltilerin membran üst tabakasında çözüldüğü ve difüze olduğu, çözünme-difüzyon modeline dayandırılmaktadır. Genellikle ters osmoz membranlarda, 30 – 100 bar arasında değişen yüksek basınçların uygulanması gerekmektedir (Dhodapkar vd., 2007).



Şekil 2.7: Osmoz ve ters osmoz şematik gösterimi (Yazıcı, 2012)

2.9.5. Elektromembran

Elektromembran proseslerde, membran çeşidi olarak iyon seçici membranlar ve sürücü kuvvet olarak da elektriksel potansiyel fark kullanılmaktadır. İyon seçici membranlar, kullanım

gerekliliğine göre anyon seçici membranlar veya katyon seçici membranlar olarak tercih edilmektedir. Elektro membran prosesler, atıksuların geri dönüşümünde ve atıklardan zararlı kimyasal maddelerin gideriminde yaygın olarak kullanılan çevre kirliliğini azaltan düşük enerjili proseslerdir (Koter ve Warszawski, 2000).

Elektromembran prosesler yapılarına göre üç ayrı başlık olarak gruplandırılmaktadır:

- Elektro-elektrodiyaliz
- Membran elektrodiyaliz
- Elektrodiyaliz

2.10. ELEKTRODİYALİZ

Günümüzde giderim mekanizması olarak oldukça yaygın olarak kullanılan elektrodiyaliz (ED) prosesleri, tuzsuzlaştırma işlemlerinde kullanılan ters osmoz ve damıtma proseslerinin önüne geçmektedir. Ayrıca iyon değişim membranlarının da geliştirilmesiyle birlikte ED proses çalışmalarında önemli gelişmeler sağlanmıştır (İlhan, 2012)

Seçici geçirgenlik özelliği bulunan membranlarda elektriksel itme gücü etkisi ile iyon değişimin sağlandığı ED prosesi, diyaliz ve elektroliz bileşiminden oluşmaktadır. Bu iki yöntem birlikte olarak ilk kez Maigrot ve Sabates tarafından 1980 yılında şeker çözeltisi demineralizasyonunda kullanılmıştır (Shaposhink vd., 2002)

Son yıllarda demineralizasyon işlemlerinde kullanılan ED prosesleri, deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasına ilave olarak, çeşitli endüstri dallarında da uygulanmaktadır. (69) Ayrıca gelişmiş bir proses olan elektrodiyaliz yöntemi saflaştırma, ayırma, metalürjik ve petrokimyasal işlemlerden değerli bileşiklerin eldesinde de kullanılmaktadır. (İlhan, 2012) Tuzlu ve acı suların içme suyu eldesi, ağır metal geri kazanımı, meyve asitlerinin giderilmesi, atıksularda bulunan istenmeyen iyonların uzaklaştırılması gibi işlemlerin uygulanmasında da ED prosesi arıtma yöntemi olarak tercih edilmektedir. (Hasançebi, 2018)

ED prosesinin atıksuda karakterizasyonu ile ilişkili olarak avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. ED çalışmalarının sağlamış olduğu birçok avantaj, diğer arıtım proseslerine göre daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır. ED proseslerinin diğer arıtım yöntemlerine göre avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmektedir.

ED prosesinin avantajları;

- Membran koruyucu gerektirmemesi
- Yoğun içerikli sularda etkili bir arıtma yöntemi olması
- Diğer proseslere göre düşük işletim ve bakım maliyetinin olması
- Prosesin basit, sorunsuz ve sessiz çalışması
- Yüksek basınçlı pompa gerektirmemesi ve düşük basınçlarda işletilebilmesi
- Öncesinde ufak bir ön arıtma yönteminin yeterli olması
- Ters osmoz prosesine nazaran 5 kat fazla uzun ömre sahip olması,
- Ters osmoz prosesi ile kıyaslandığında, her iki konsantr kısımda ayrı olarak geri kazanılabiliyor olması olarak sıralanmaktadır.

ED prosesinin dezavantajları ise;

- Membranlar arasında sızdırma sorunu ile karşılaşılması,
- pH ile ilişkili olarak klor veya oksijen üretiminin gerçekleşmesi
- Mikroorganizmalar ve organik kirleticiler üzerinde fazla etkili olmaması
- Elektrik tüketimi olarak sıralanabilir. (Hayes, 2004)

ED prosesi, diğer prosesler ile kıyaslandığında kimyasal madde gerektirmemesi, düşük yatırım ve enerji maliyeti ile işletilebilmesi, daha kaliteli ve çevreye zarar vermemesi özellikleri olarak sıralanmaktadır.

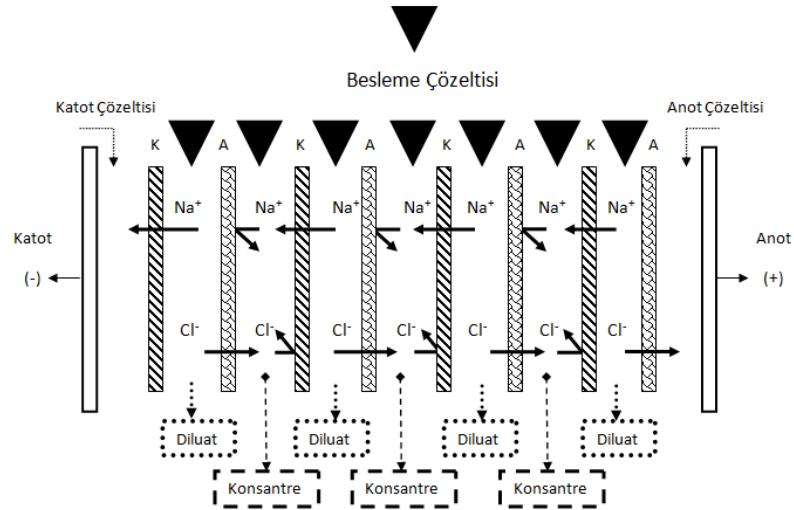
ED prosesinin başlıca kullanım alanları;

- Ağır metal geri dönüşümü
- Metal kaplama endüstrilerinde metal geri dönüşümü
- Tuzlu ve acı sudan içme suyu elde edilmesi
- Deniz suyundan sofr tuzu elde edilmesi
- Klor alkali üretim tesislerinde kostik soda üretimi
- Meyve sularının asitlerinin alınması örnek olarak gösterilebilir (Arslan, 2016).

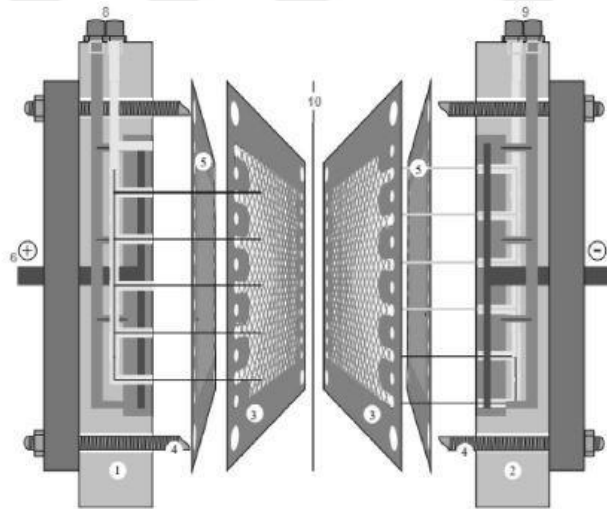
2.10.1. Elektrodializ Mekanizması ve İşleyişi

İyon değiştirici membran olarak kullanılmakta olan elektrodializ, elektriksel potansiyelin yanı sıra değişim farkının sürücü gücünden de yararlanılarak gerçekleştirilmektedir (Baker, 2004).

Elektrodiyaliz hücresi, anot ve katot bölmelerinin arasında dizilen, anyon seçici ve katyon seçici membranlardan meydana gelmektedir. Sisteme tuz çözeltisi gibi iyon içeren su pompalandığında, elektriksel potansiyel fark yardımı ile iyonların hareketi sağlanacak ve pozitif yüklü iyonlar katoda, negatif yüklü iyonlar ise anota doğru yönelecektir. (Yazıcı, 2012)



Şekil 2.8: Elektrodiyaliz sistemi K; katyon değiştirici membran, A; anyon değiştirici membran



Şekil 2.9: Elektrodiyaliz Hücresinin iç kesiti (1.ve 2. Elektrotlar ve plakalar, 3. Spacer, 4. Vidalar, 5. İyon değiştirici membranlar, 6. Anot hücresi, 7. Katot hücresi, 8. ve 9. Çözelti giriş-çıkış, 10. Bipolar membran) (İlhan ve diğ., 2014)

2.10.2.ED Sürecine İlişkin Parametreler

Membrana doğru taşınan iyonların miktarı, elektriksel akım I (A) veya akım yoğunluğu i (A/cm^2) ile orantılıdır. Elektriksel akıma ait eşitlikle aşağıdaki gibidir;

$$I = z F q \Delta c i \xi$$

Burada, z ; değerlik, F ; Faraday sabiti (1 Faraday = 96500 coulomb/ eg veya amper – saniye/ eg), q ; akış hızı, Δc ; besleme ve sızıntı arasındaki derişim farkı (eq/l) ve ξ ; akım kullanımınıdır.

Ohm kanununa göre, elektriksel akım elektriksel potansiyel ile ilişkilidir:

$$E = I . R$$

Membran yığınınına uygulanan toplam direnç R ile gösterilebilir. R 'nin değeri yığındaki hücre çifti sayısı (N) ile birim alanda bir hücre çiftinin direncinin (R_{cp}) çarpımına eşittir.

$$R = R_{cp} . N$$

Hücre çiftinin direnci seri içindeki dört direncin toplamına eşittir.

$$R_{cp} = R_{am} + R_{pc} + R_{cm} + R_{fc}$$

Denklemdede;

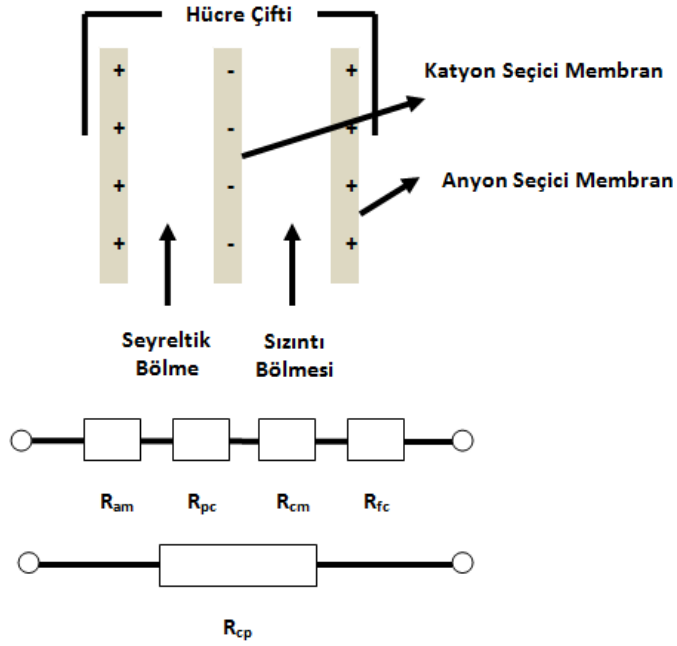
R_{cp} = birim alanda bir hücre çiftinin direnci

R_{am} = anyon değiştirici membranın direnci

R_{pc} = sızıntı bölümünün direnci

R_{cm} = katyon değiştirici membranın direnci

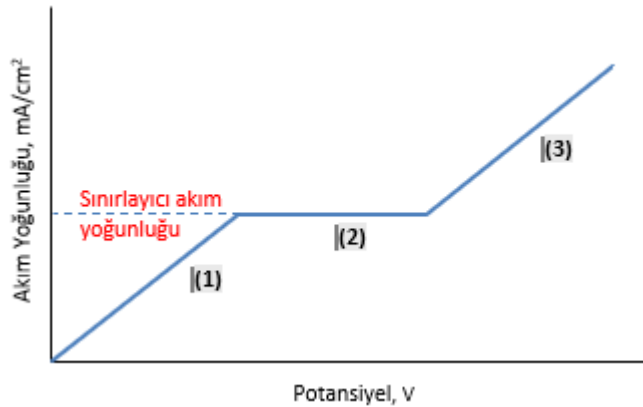
R_{fc} = besleme bölümünün direnci olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.10: Hücre çiftlerine uygulanan dirençler (İlhan, 2012)

Denklemlerde açıklanan dirençler, Şekil 2.10’da gösterilmektedir.

Elektrodializde elektriksel direnç ve akım miktarını belirlemedeki en önemli parametre limit akım yoğunluğudur. Şekil 2.11’de verilen grafikte; birinci bölgede elektriksel akımın elektriksel potansiyel farklı ile bağlantılı olan ohmik bölge, ikinci bölge ohmik direncin artım gösterdiği sınır akım yoğunluğu bölgesi, üçüncü bölge ise sınırlayıcı akım yoğunluğunun üstünde kalan yan proseslerin gerçekleştiği bölme olarak yer almaktadır. (Baker, 2012).



Şekil 2.11: İyon değiştirici membranlara ait potansiyel fark-akım yoğunluğu grafiği (Yüzer, 2018)

2.10.3. Elektrodiyaliz Prosesinin Bileşenleri

Elektrodiyaliz sistemini tamamlayan bileşenler; Doğru akım kaynağı, elektrotlar, iyon değiştirici membranlar, çözücü ve elektrolitlerdir.

2.10.3.1. İyon Değiştirici Membranlar

İyon değiştirici membranlar, homojen ve heterojen membranlar olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Homojen membran türleri, politetrafloroetilen, polistiren, poliflorür vinil eter ve divinilbenzen gibi çapraz bağlı kopolimer filmine iyonik grupların bağlanması ile meydana gelmektedir.

Heterojen membran türleri, yüksek elektriksel direnç gösteren ve iyon değiştirici reöine yardımı ile oluşturulan membran türleri olup, suyla büyük oranda şişmesi nedeniyle düşük mekanik dayanıklılığa sahiptirler. (Hasançebi, 2018)

2.10.3.2. Elektrotlar

Elektrotlar, süreç ile bağlı olarak değişiklik göstermekte ve genelde madeni levha ile kaplı olması elektrodiyaliz prosesinde tercih edilmektedir. Elektrodiyaliz prosesinde kullanılan elektrotların, kararlı, dayanıklı, düşük maliyetli, elektriği ilettebiliyor özelliklerini bulundurması beklenir.

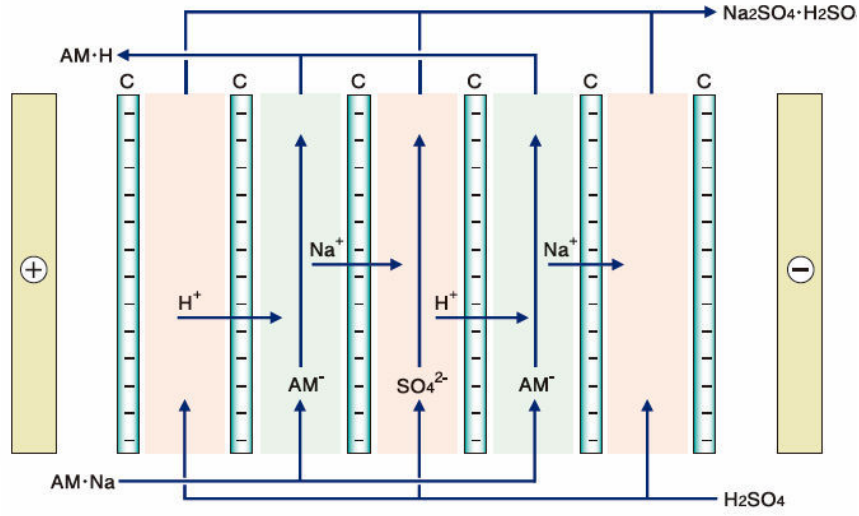
2.10.3.3. Doğru Akım Kaynağı

Doğru akım kaynağı, anot ve katot arasındaki iyon geçişi için gerekli olan elektriksel güç ve akım oranını ayarlamaktadır.

2.10.3.4. Çözücü ve Elektrolitler

Membran ve elektrotlar arasındaki iyon geçişi için kullanılan çözücüler, iyon geçişlerinde sürekliliği sağlarken, kullanılan elektrolitler ise anot ve katot arasındaki akımın iletilmesinde etkin rol oynamaktadır.

2.10.4. Elektrodializ Türleri



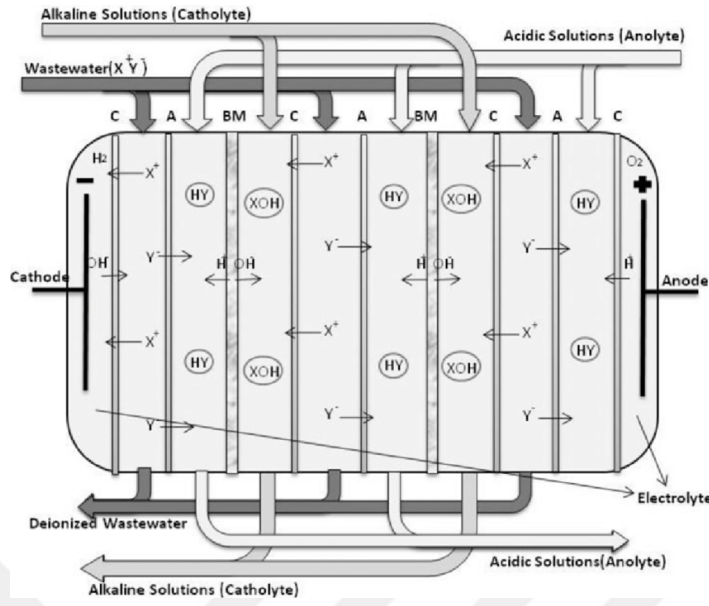
Şekil 2.12: Elektrodializ genel işleyişi ve iyon değişimi

2.10.4.1. Konvansiyonel Elektrodializ

İki elektrot arasında dizilmiş anyon değiştirici ve katyon değiştirici membranların dizilimi ile konvansiyonel elektrodializ sistemi oluşmaktadır. Uygulanan elektriksel alan etkisi yardımıyla anyonların anotave katyonların katoda yönelimi sağlanmaktadır (Nezungai ve diğ., 2016). Konvansiyonel elektrodializ prosesi uygulanarak, farklı iyon içerikli elektrolitlerin saflaştırılması, içerdiği minerallerden arındırılması sağlanmaktadır (Hasançebi, 2018)

2.10.4.2. Bipolar Membranlı Elektrodializ

İçme suyu eldesi ve endüstrilerde oluşan tuzlu suların geri dönüşümü için kullanılan bipolar membranlı elektrodializ prosesi, son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Konvansiyonel elektrodializ sisteminin bipolar membran ilavesi ile oluşturulan bu sistemde, asit ve baz geri kazanımı elde edilmektedir. Arıtma veriminin artırılması için, gerekli durumlarda çok kademeli olarak da kullanılmaktadır (Franken, 2000).



Şekil 2.13: Bipolar Membran Mekanizması

2.10.4.3. Elektrodeiyonizasyon

Elektrodeiyonizasyon, elektrodializ ve iyon değişiminin birleşiminden oluşmaktadır. Aralarında reçine olan membranların dış kısmında yer alan elektrotlara elektrik yükü uygulanarak, iyon değişiminin oluşması sağlanır (Mulder, 1996). Elektrodeiyonizasyon sisteminin bilinen dezavantajı, reçinelerinin sıklıkla yenilenme süreçleridir. Ultra saf su sistemlerinde ve sudaki tuzluluk gideriminde kullanılabilir.

2.10.4.4. Elektro-elektrodializ

Elektroliz ve elektrodializ proseslerinin birleşiminden meydana gelmektedir. Bu proseste, sadece anyon seçici membran ya da sadece katyon seçici membran kullanılabilir, tek tür membran kullanılması gerekmektedir (Xu, 2005)

2.10.4.5. Ters Elektrodializ

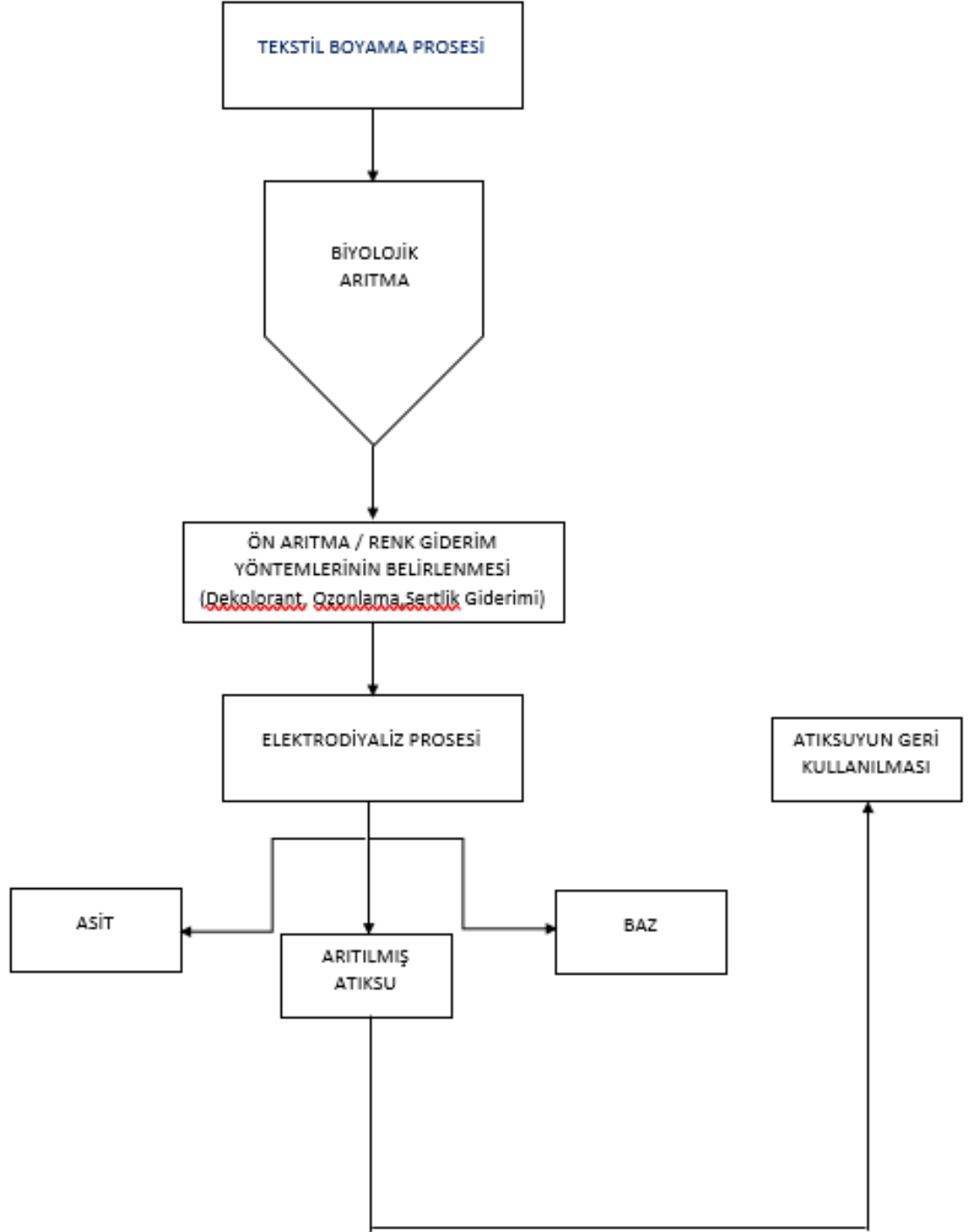
İyon değiştirici membranlardan oluşan ters elektrodializ prosesi, elektrodializ prosesi ile eşdeğerdir. Ters elektrodializ prosesinde yer alan hücreler elektrodializ prosesinde yer alan hücre ile aynı olup, tek fark girişlerinin tam ters yönde bulunmasıdır. Klasik elektrodializ prosesinde giriş olarak elektrik akımı ve çıkış olarak ise tuzluluk içeren sular kullanılırken, ters elektrodializ sisteminde ise giriş olarak tuzluluk içerikli atıksular ve çıkış olarak da elektrik akımı kullanılmaktadır (Vasselbehagh, 2017).

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasının amacı, biyolojik olarak arıtılmış yüksek tuzluluk ve renk içerikli tekstil atıksularının, uygun ön arıtma yöntemleri ve optimum koşullarının belirlenmesi ile ön arıtma sonrasında konvansiyonel ED prosesi ile atıksuların asit, baz ve tuz olarak ayrılarak geri kullanılmasıdır. Konvansiyonel ED yöntemi ile tuzsuzlaştırılan tekstil atıksuyunun tuzsuzlaştırılarak geri kullanılması hedeflenerek, arıtma yöntemi için en uygun çalışma koşullarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Tez çalışması kapsamında; çalışma yapılan biyolojik çıkış tekstil atıksuyunun tuzluluk, pH ve iletkenlik, renk, absorbans, toplam organik karbon (TOC), klorür, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), sertlik parametrelerinin ölçüm analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.TEKSTİL ATIKSULARI GERİ DÖNÜŞÜM SENARYOSU



Şekil 3.1: Tekstil Atıksu Arıtımı ve Geri Dönüşümü

3.2. TEKSTİL ATIKSU KARAKTERİZASYONU

Çalışmada Denizli ilinde yer alan Gümüşsu Arıtma A.Ş. tesisinden gelen biyolojik arıtmaya tabi tutulmuş tekstil atıksularının, koagulant renk giderici madde ile renk giderimi, NaOH ile kostik çöktürme, iyon reçinesi gibi çeşitli ön arıtma işlemleri uygulanarak veya hiçbir ön arıtma işlemi uygulamadan ED prosesi ile arıtılması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan çeşitli ön arıtma teknikleri ile farklı pH, akım gibi koşulların birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Biyolojik çıkış tekstil atıksuyu, koagulant madde ile renk giderimi uygulandıktan sonra, sertlik giderimi de sağlamak amacı ile NaOH çöktürme ve Na⁺ reçinesi kullanılarak ön arıtma işlemine tabi tutulmuş ve sonrasında ED prosesinde arıtma işlemi uygulanmıştır. Uygulanan tez çalışmalarında en uygun koşulların belirlenmesi amacı ile, bazı çalışmalarda ön arıtma işlemi uygulanırken, karşılaştırma yapmak amacı ile bazı çalışmalarda ise hiçbir ön arıtma işlemi yapılmadan ED cihazına verilmiştir. Böylelikle ED prosesi ile arıtılarak, ön arıtma proseslerinden en iyi arıtma işlemi gösteren belirlenmiştir. Tablo 3.1. 'de kullanılan biyolojik çıkış tekstil atıksu özellikleri verilmektedir.

Tablo 3.1: Kullanılan Tekstil Atıksu Karakterizasyonu

Parametre	Birimi	Sonuç
pH	-	8,55
İletkenlik	(mS/cm)	13,36
Renk	(PtCo)	396
Amonyak	(mg/L)	103
KOİ ₅	(mg/L)	1.140
BOİ ₅	(mg/L)	455
TOK	(mg/L)	383
Alkalinite	(mg/L)	524
AKM	(mg/L)	1.032
UAKM	(mg/L)	248
Sertlik	(mg/L)	950

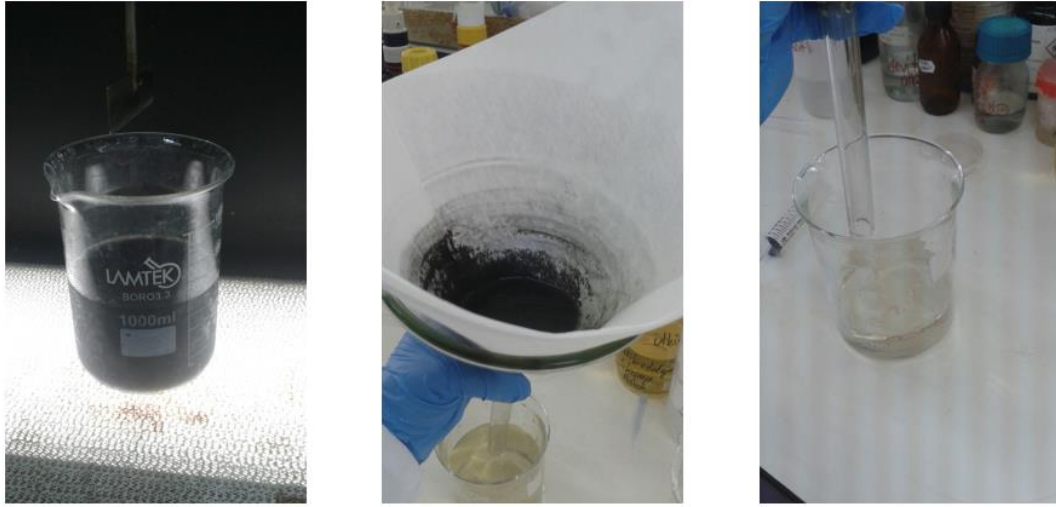
3.3. TEKSTİL ATIKSUYU ÖN ARITMA ÇALIŞMALARI

3.3.1. Koagulant Madde ile Renk Giderimi

Çalışmada kullanılan biyolojik arıtma yapılarak tarafımıza iletilen tekstil atıksuyu renk içerikli olduğundan, kimyasal madde kullanılarak renk giderim işlemine tabi tutulmuştur. Laboratuvar çalışmalarında Hidrodec 5D markalı renk giderici koagulant madde, farklı konsantrasyonlarda eklenerek renk giderim işlemi yapılmış ve uygun konsantrasyon miktarı belirlenmiştir. Kullanılan POLYKUAT 3200 renk giderici bir kimyasal ürün olup, katyoniktir. Tekstil atıksuyunda yer alan rengin çöktürülerek giderilmesini sağlamanın yanı sıra, atıksuyun KOİ miktarında da azalıma yardımcı olmaktadır. Tekstil atıksuyuna eklenmesi gereken en uygun dozaj jar testi deneyi uygulanarak belirlenmiş olup, jar testi deneyinde Hidrodec 5D eklendikten sonra 1 dakika süresince hızlı karıştırma, 30 dakika süresince ise yavaş karıştırma işlemi uygulanmıştır. 30 dakikanın sonunda ise yaklaşık 45 dakika süresince atıksu çökeltme için bekletilmiştir. Çökeltme neticesinde atıksu süzme işleminin ardından ED proses uygulanmasına hazır hale getirilmiştir. Çalışmada renk giderici olarak kullanılan koagulant maddenin kimyasal özellikleri Tablo 3.2.'de verilmektedir.

Tablo 3.2: Renk giderici olarak kullanılan koagulant madde (Hidrodec 5D) kimyasal özellikleri

Marka	Hidrodec 5D
Kimyasal İçerik	Polimetilenpoliamin
Yoğunluk	1,23 ± 0,05
pH	5,0 ± 1,0
Kimyasal Tanımı	Solüsyon içerisinde katyonik renk açıcı
Firma adı	Hidrodepur S.p.A.



Şekil 3.2: Tekstil atıksuyuna Hydrodec 5D eklenerek ön arıtma işlemi

3.3.2. İyon Değiştirici Reçine ile Renk Giderimi

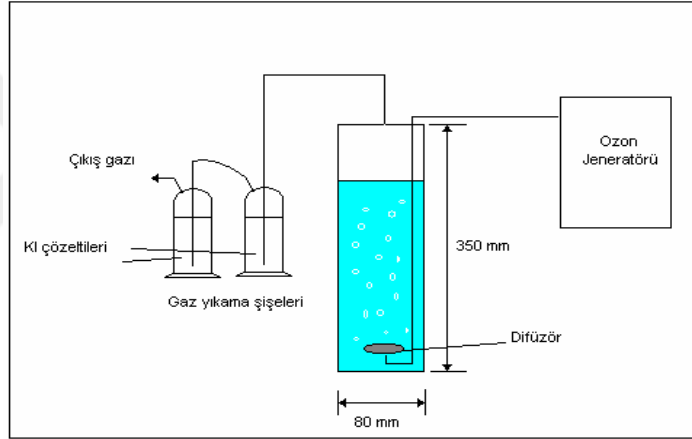
Biyolojik olarak arıtılmış tekstil atıksuyu, anyon değiştirici reçine kullanılarak renk giderim işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulama esnasında 40 cm uzunluklu ve 5 cm çap genişliğindeki kolon içerisine eklenen reçineden saf su geçirilerek uygulama öncesi yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işleminin ardından, peristaltik pompa ile kolonun üst kısmından verilen atıksu reçineden geçirilerek, kolonun altı kısmında biriktirilmiştir. Tekstil atıksuyu içerisinde bulunan renk giderimi sağlanana dek, yaklaşık 2-3 tekrar olacak şekilde işlem tekrar edilmiş olup, renk giderimi sağlanan atıksu ED proses uygulamasına hazır hale getirilmiştir. Tablo 3.3'te anyon değiştirici reçineye ait bilgiler verilmektedir.

Tablo 3.3: Anyon değiştirici reçine kimyasal özellikleri

Marka	Purolite A870
Polimer yapısı	Divinilbenzen ile çapraz bağlı jel poliakrilik
Görünüm	Küre boncuk
Fonksiyonel grup	Dörtlü ve üçlü Amonyum
İyonik form	FB/Cl ⁻
Toplam kapasite	1,25 eq/L (Cl ⁻ form)
Nem tutma	56-54% (Cl ⁻ form)
Partikül boyutu	300-1200 µm
Özgül Ağırlığı	1,08
Maksimum sıcaklık	35 °C

3.3.3. Ozon Oksidasyonu ile Renk Giderimi

Çalışmada kullanılan renk içerikli tekstil atıksuyu ozonlama işlemine tabi tutularak renk giderim işlemi gerçekleştirilmiştir. Ozonlama işlemi esnasında 1,5 m uzunluk ve 15 cm çap genişliğine sahip cam ozon reaktörü kullanılmış, ozon jeneratörü olarak da Sander marka ozon jeneratörü ile işlem gerçekleştirilmiştir. Cam ozon reaktörüne eklenen atıksuda renk giderilene dek ozonlama işlemi sürdürülmüş olup, reaktör çıkışında ise 20 g/L KI çözeltili bulunan gaz yıkama şişeleri bağlanarak kaçan ozon gazları biriktirilmiştir. Ozon gazlarının biriktirildiği KI çözeltili, sodyum tiyosülfat ile titre edilerek reaksiyona giren ozon miktarı belirlenmiştir. Renk giderim miktarının belirlenmesi açısından ozonlama işlemi esnasında her 5 dakikada bir ozon reaktöründen bir tüp numune alınmış ve renk giderim miktarlarına bakılmıştır.



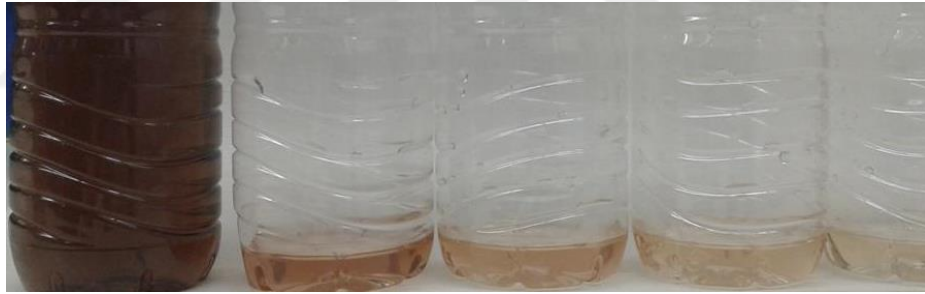
Şekil 3.3: Ozonlama Sistemi



Şekil 3.4: Ozonlama işlemlerinde kullanılan ozon jeneratörü



Şekil 3.5: Tekstil atıksuyuna ozonlama işleminin uygulanması



Şekil 3.6: 1- Ozonlama öncesi tekstil atıksuyu, 5.dakikada ozonlanmış tekstil atıksuyu, 10.dakikada ozonlanmış tekstil atıksuyu, 15.dakikada ozonlanmış tekstil atıksuyu

3.3.4. NaOH Kimyasal İlavesi ile Sertlik Giderimi

Biyolojik çıkış tekstil atıksuyuna NaOH kimyasal ilavesi eklenerek sertlik giderim işlemi uygulanmıştır. Atıksuyun pH derecesi 14 olana dek NaOH kimyasal ilavesi yapılmış ve ardından yaklaşık 1 saat çökelmeye bırakılmıştır. Çökelmenin ardından atıksu süzülerek ED arıtma prosesine hazır hale getirilmiştir. Uygun çalışma koşullarının belirlenmesi amacı ile, NaOH ilavesi ile pH değeri 14 olarak ayarlanan atıksuyun pH'ı ED çalışma öncesinde farklı pH aralıklarına düşürülmüştür. Hidrodec 5D renk giderici kimyasal ilavesi yapılmasının ardından da sertlik giderim işleminin uygulandığı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. NaOH kimyasal ilavesi

ile atıksuda bulunan ve sertliğe neden olan Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının çökelme ile atıksudan ayrılması sağlanmıştır.

3.4. ELEKTRODİYALİZ ÇALIŞMALARINI VE SİSTEM ÖZELLİKLERİ

Konvansiyonel ED çalışmalarında kullanılan ED reaktörü ve hücreleri, anyon ve katyon seçici membranlar, pompa sistemi Alman firması olan PCCell'den tedarik edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan ED sistemine ait özellikler Tablo 3.4'te gösterilmektedir.

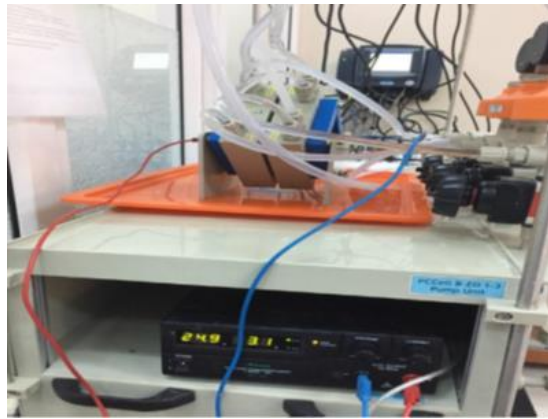
Tablo 3.4: ED Sistemi Genel Özellikleri

Cihaz markası	PC Cell 64 04
Membran boyutları	110 x 110 mm
Membran kalınlığı	0,5 mm
İşletim uzunluğu	80 mm
Aktif Membran Alanı	64 cm ²
Toplam membran alanı	0,25 m ²
Hücre sayısı	20 (en çok)
Elektrot membran aralığı	1 mm
Hücre malzemesi	Polipropilen
Anot	Pt/Ir kaplama Ti gergili metal
Katot	Ti gergili metal
Elektrik Bağlantı Bilgileri	Elektrik tipi DC akım
	Maksimum akım 5 A
	Maksimum voltaj Hücre çifti 2 V
	Hücre 30 V
	Bağlantı tipi 8 mm id hortum
	Elektrot-devre arası 150 L/saat
	Bir konsantre-diluat 4-8 L/saat
Hidrolik Bağlantı Bilgileri	10 çift konsantre- 40-80 L/saat
	Maksimum basınç Transmembran basıncı
	Hücre başına 0,5 bar

ED sisteminin genel görüntüsü şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te verilmektedir. ED sisteminde toplam üç adet kolon bulunmakta olup, ilk kolon asit bölmesi, ikinci kolon diluat bölmesi ve son olarak en sağda yer alan ise baz bölümüdür. Çalışmada her üç kolonda kullanılmış, ortada bulunan diluat bölmesine deneysel çalışmalarda kullanılan atıksu ilavesi yapılmıştır. Sol tarafta bulunan asit bölümündeki kolona 0,01 M HCL çözeltisi hazırlanarak ilave edilmiştir. Sağ tarafta bulunan baz kolonuna ise 0,01 M NaOH çözeltisi hazırlanarak ilave edilmiştir.



Şekil 3.7: Elektrodiyaliz sistemi genel görünümü



Şekil 3.8: Elektrodiyaliz sistemi bağlantılarının görünümü



Şekil 3.9: ED sisteminde kullanılan asit, diluat ve baz kolonlarının gösterimi



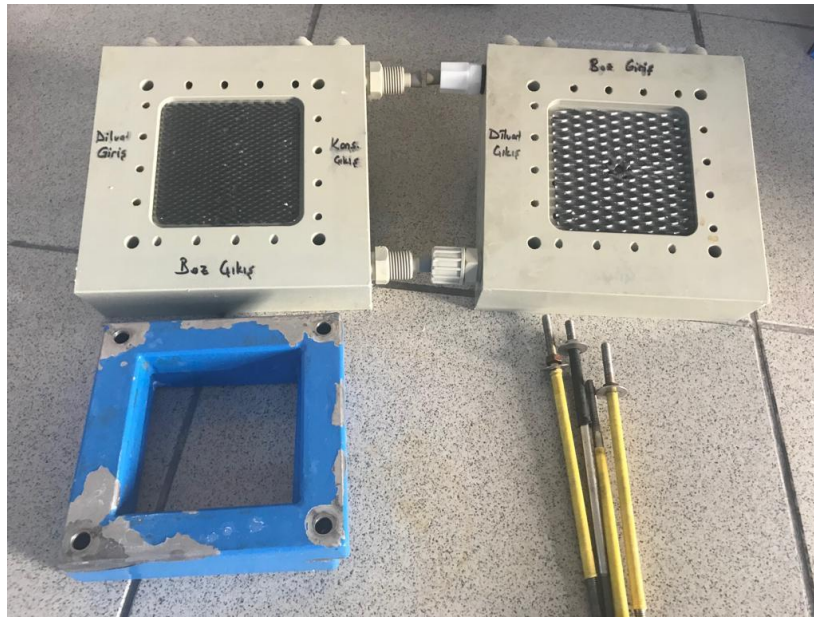
Şekil 3.10: ED sistemine ait güç kaynağı ve pompa sistemi (1-ana şalter, 2-eksi elektrik çıkışı, 3-artı elektrik çıkışı, 4-maksimum amper ayarı için potansiyometre, 5-anolit çıkışı, 6-konsantre girişi)

Konvansiyonel ED sisteminde, anyon değiştirici membran ve katyon değiştirici membran olmak üzere iki tür iyon değiştirici membran kullanılmıştır. Ayrıca membranlar arasındaki sıvı çözeltilerinin geçişini sağlamak için de asit spacer, diluat spacer ve end spacer olmak üzere üç ayrı tür spacer kullanılmıştır. ED hücrelerinde kullanılan membranların özelliklerine ilişkin bilgiler, Tablo 3.5'te verilmektedir.

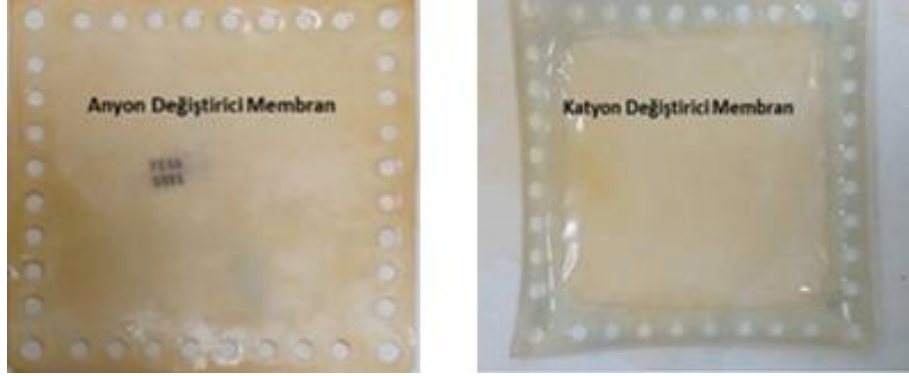
Tablo 3.5: ED sisteminde kullanılan iyon değiştirici membranların özellikleri

Membran Türü	PC SA (Anyon Seçici Membran)	PC SK (Katyon Seçici Membran)
Genel kullanımı	Standard tuzsuzlaştırma	Standard tuzsuzlaştırma
Membran tipi	Kuvvetli bazik	Kuvvetli asidik
	Amonyum	Sulfonik asit
Membran kalınlığı, μm	180-220	160-200
İyonik formu	Cl^-	Na^+
Transfer sayısı KCl (0.1/0.5 N) Asit (0.7/3)	>0.95	>0.95
Direnç /W.cm ²	≈ 1.8	≈ 2.5
Aktif membrane alanı, cm ²	64	64
Su içeriği (%)	≈ 14	≈ 9
Maksimum işletme sıcaklığı, °C	60	50

şekil 3.8’de membran diziliminin gerçekleştirildiği ED reaktörü verilmektedir. ED reaktöründe paslanmaz elik plakalar yer almaktadır. Paslanmaz elikten oluşan dişli çubuklar yardımı ile reaktör birbirine bağlanmakta ve membranların sabitliğinin sağlanması için vida yardımı ile sıkıştırılmaktadır.

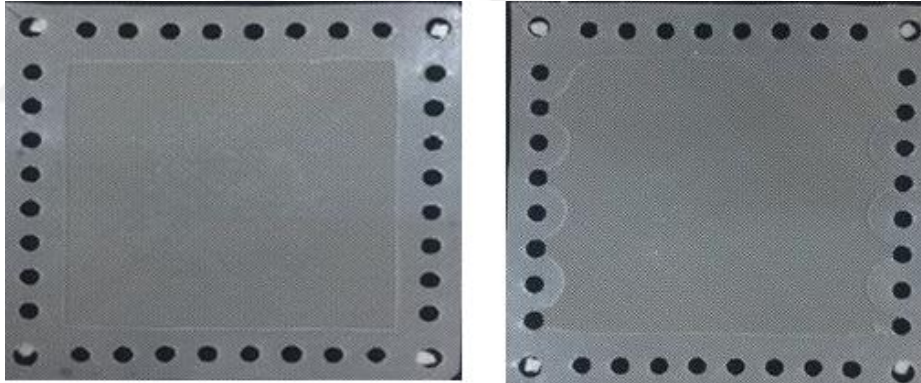
**şekil 3.11:** ED reaktörü ve ekipmanları

Konvansiyonel ED sisteminde kullanılan anyon değiştirici membran ve katyon değiştirici membran turlerinin görüntüsü Şekil 3.9’da verilmektedir.



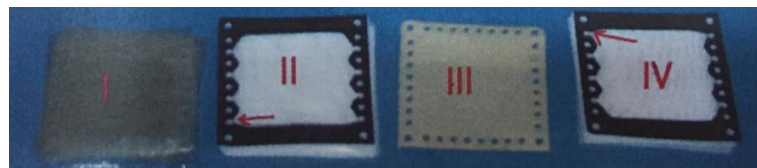
Şekil 3.12: Anyon değiştirici ve katyon değiştirici membran turleri

ED reaktörüne sıralanan membran dizilimi sırasında başlangıç ve bitiş kısımlarında end spacer ile belirli yönlerde sıvı geçişlerini sağlayarak yön veren spacer turleri Şekil 3.10’da verilmektedir.

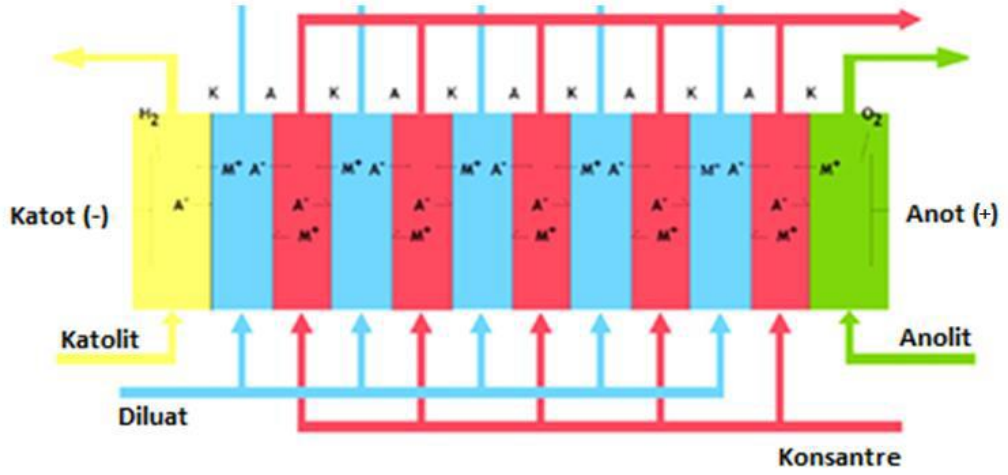


Şekil 3.13: End spacer ve çözelti giriş-çıkışlarına yön veren spacer turleri

Şekil 3.11’de gösterilen membran ve sapacer sırası ile; end spacer, katyon değiştirici membran (I), konsantre ıkış (II), anyon değiştirici membran (III), diluat ıkış (IV) olarak dizilmekte ve birden çok tekrarlı membran koyulacak ise aynı sıralama takip edilmektedir.



Şekil 3.14: ED sistemi membran ve spacer dizilimi



Şekil 3.15: ED sisteminde membran dizilimi

ED sistemi çalışması süresince asit, baz ve diluat çözeltilerine ait pH ve iletkenlik değerleri anlık olarak ölçülmekte ve her bir değer bilgisayar ortamında kayıt altına alınmaktadır.

3.5. ÇALIŞMADA UYGULANAN ANALİZLER

3.5.1. pH ve İletkenlik

ED çalışmaları kapsamında, asit, baz ve diluat çözeltilerine ilişkin pH ve iletkenlik değerleri çalışma süresince anlık olarak Hach sc 1000 cihazı ile ölçülmekte ve her ölçülen değer bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır. Ölçüm sonrasında elde edilen veriler gerekli şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 3.16: ED sisteminde kullanılan pH ve iletkenlik ölçüm cihazı

3.5.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

KOİ ölçümleri kapalı tüp metodu kullanılarak KOİ kitleri yardımı ile standart metoda göre ölçülmüştür. Her numune 2-3 ml kadar kitlere eklenerek ve yaklaşık 150 °C sıcaklıkta deney gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan kitler için Hach marka KOİ reaktörü kullanılmıştır.



Şekil 3.17: KOİ reaktörü

3.5.3. Klorür Tayini

Standart metodlara göre gerçekleştirilen klorür deneyinde; K_2CrO_4 indikatör çözeltisi, standart $AgNO_3$ çözeltisi ve standart $NaCl$ çözeltileri hazırlanır. 1 ml K_2CrO_4 indikatör çözeltisi hazırlanan 100 ml numuneye damlatılır ve titrasyon cihazı ile $AgNO_3$ çözeltisi eklenerek, kiremit kırmızısından sarı renk dönüşümüne dek titre edilmiştir.

3.5.4. Sertlik Tayini

EDTA metodu ile gerçekleştirilen sertlik ölçümünde, 0,01 M EDTA çözeltisi ve tampon çözelti (NH_4Cl+NH_4OH) hazırlanmıştır. 100 ml ED giriş ve çıkışlarında elde edilen numuneye bir damla tampon çözeltisi ve 1 ml de Eriochrome Black T. İndikatörü eklenmiştir. Ardından renk şarap kırmızısından maviye dönüşüme dek EDTA çözeltisi ile titre edilmiş ve toplam sertlik değeri hesaplamalar neticesinde elde edilmiştir.

3.5.5. Spektrofotometrik Metot ile Renk Tayini

Ticari konsantre platin kobalt renk çözeltileri için 100, 200, 300, 400 ve 500 ADMI birimleri hazırlanmış olup, aletlerin kalibrasyonlarında ve kalibrasyon eğrisindeki artışın doğrulanmasında kullanılmaktadır. Hach Lange DR5000 model spektrofotometre ile ED giriş ve çıkış numunelerine ait renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

3.5.6. Absorbans Tayini

ED giriş ve çıkış numunelerine ait absorbans analizleri, Hach Lange DR5000 model spektrofotometre ile 200-800 nm arasında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18: Renk ve absorbans ölçümlerinin gerçekleştirildiği spektrofotometre

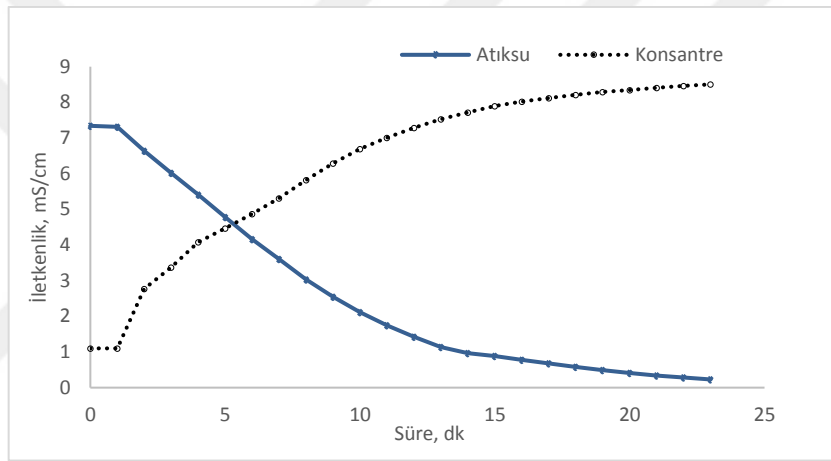
3.5.7. Alkalinite Tayini

ED giriş ve çıkışlarında elde edilen numunenin alkalinite tayininde standart ölçüm metodu kullanılmış ve titre edildikten sonra değerler kayıt altına alınmıştır.

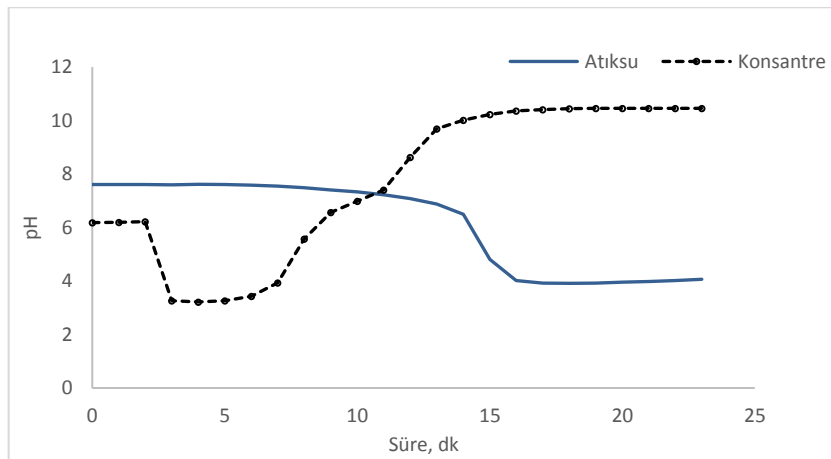
4. BULGULAR

4.1. KONVANSİYON ELEKTRODİYALİZ (ED) YÖNTEMİ İLE TEKSTİL ATIKSULARININ GERİ DÖNÜŞÜMÜ

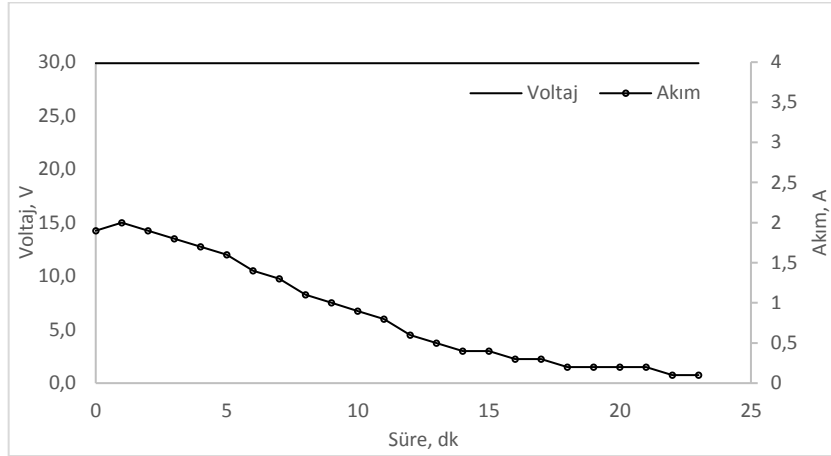
Deneysel olarak gerçekleştirilen konvansiyonel ED çalışmalarında, biyolojik olarak arıtılmış tekstil atıksuyu kullanılmış olup, çalışma esnasında pH ve iletkenlik değerleri anlık olarak ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Çalışma sürecinde sabit voltaj değeri olarak seçilen 30 V'da değişkenlik gösteren iletkenlik, pH, akım ve direnç parametrelerine ilişkin grafikler aşağıda verilmektedir.



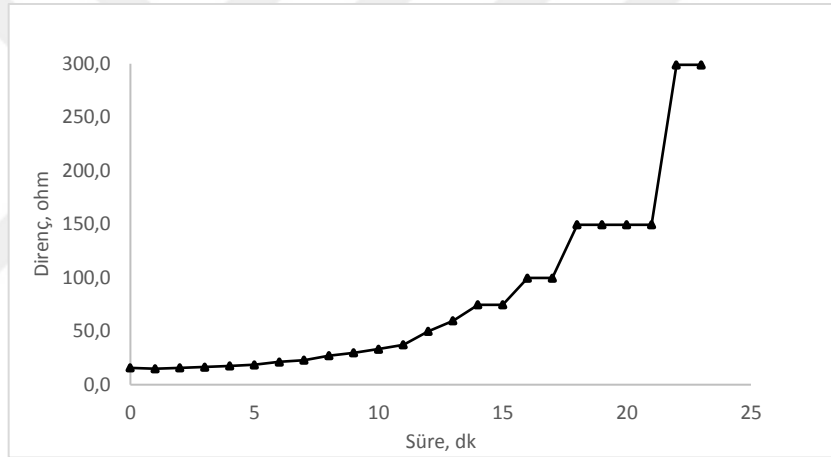
Şekil 4.1: Biyolojik çıkış tekstil atıksuyu ve konsantre çözelti iletkenlik değişimi (30 V)



Şekil 4.2: Tekstil atıksu-konsantre pH değişimi



Şekil 4.3: Biyolojik çıkış tekstil atıksuyu voltaj- akım (30V) değişimleri



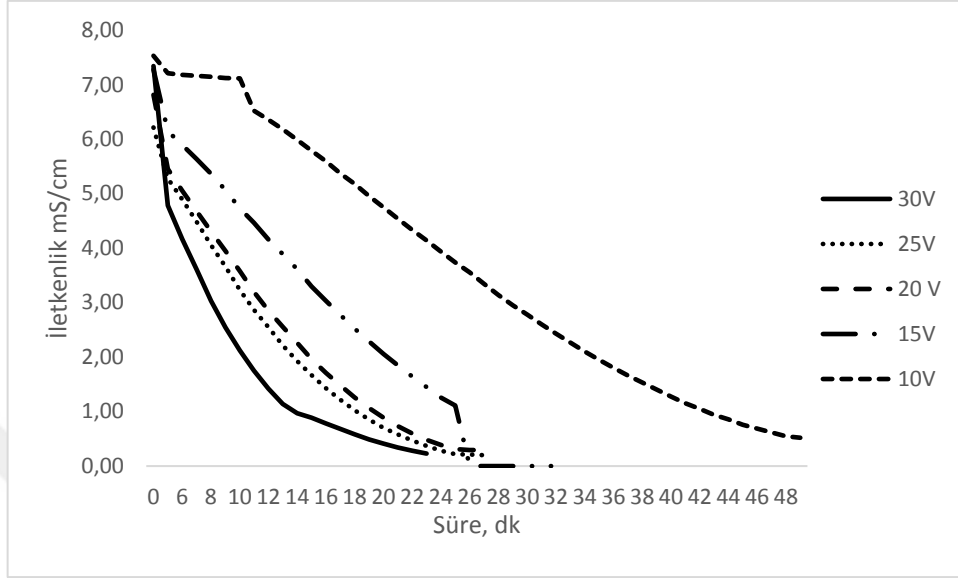
Şekil 4.4: Biyolojik çıkış tekstil atıksuyu direncinin zamana bağlı değişimi

Grafiklerde iletkenlik, pH, voltaj-akım ve direnç değerleri verilmiş olan biyolojik arıtılmış tekstil atıksuyu hiçbir ön işlem yapılmadan doğrudan ED cihazına verilerek çalışma yapılmış ve çalışma yaklaşık 25 dakika sürmüştür.

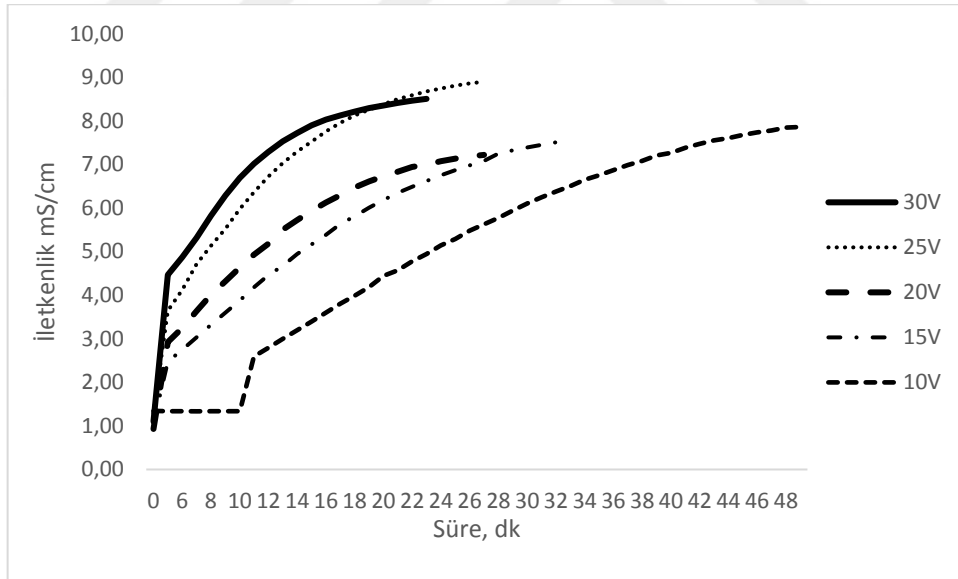
4.1.1. ED Çalışmalarında Voltaj Değişiminin Etkisi

Biyolojik arıtılmış tekstil atıksuyu ile gerçekleştirilen konvansiyonel elektrodializ çalışmalarında; sırası ile 30, 25, 20, 15 ve 10 voltaj değerleri olacak şekilde beş farklı voltajlarda çalışma yapılmış ve atıksuyundaki iletkenlik değişimleri gözlemlenmiştir. ED çalışmalarında elektrolit olarak 2 L Na_2SO_4 çözeltisi, 1 L HCl ve 1 L NaOH çözeltileri asit ve baz kolonlarında kullanılmıştır. Farklı voltajlara ait çalışmaların ayrı grafikler olarak gösterimi Ek-1'de verilmektedir. Şekil 4.5.'te görüldüğü gibi çalışmalarda konsantrasyon bölümünde iletkenlik

artış gösterirken, biyolojik olarak arıtılmış tekstil atıksuyunun yer aldığı diluat bölümünde ise iletkenlik değeri paralel olarak azalmaktadır.

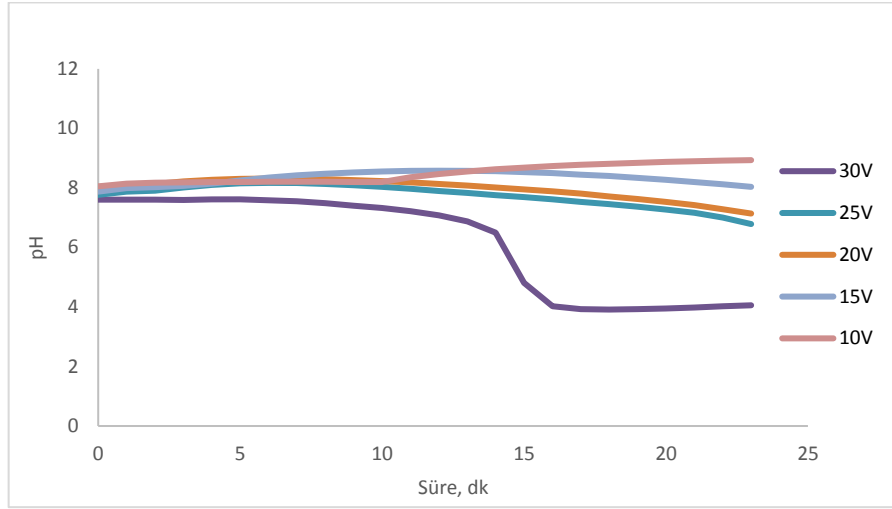


Şekil 4.5: Farklı voltaj değerlerindeki diluat bölümünde yer alan tekstil atıksuyu iletkenlik değişimleri



Şekil 4.6: Farklı voltaj değerlerindeki asit bölümünde yer alan konsantre çözeltide iletkenlik değişimleri

Konvansiyonel ED çalışmaları esnasında sistem otomatik olarak akım değerini ayarlamaktadır. Biyolojik arıtılmış tekstil atıksuyu ile farklı voltaj çalışmalarında konsantre değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 4.6'da verilmektedir. Çalışma neticesinde voltaj değeri azaldıkça çalışma süresinin de direnç nedeniyle uzadığı görülmektedir. Sonuç olarak en uygun çalışmanın 25 volt değerinde gerçekleştirileceği görülmektedir.

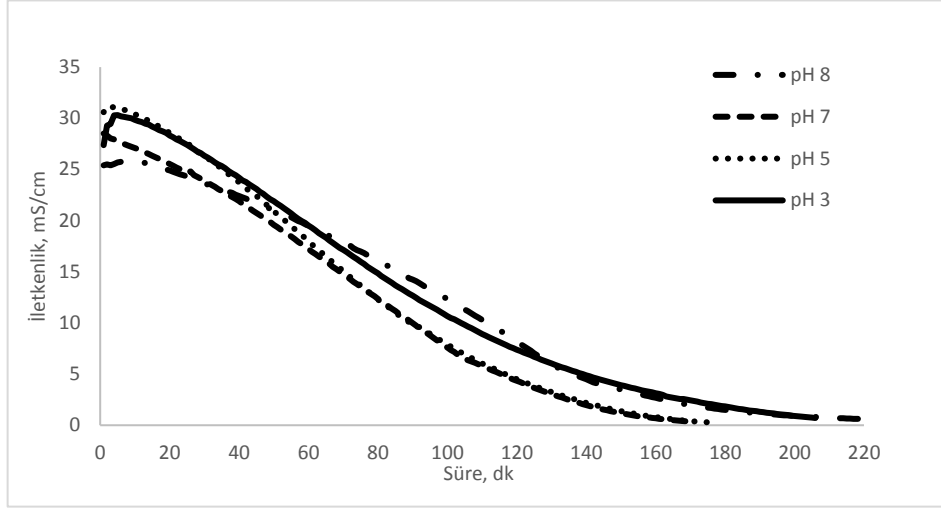


Şekil 4.7: Farklı voltajlardaki tekstil atıksularına ait pH değişimleri

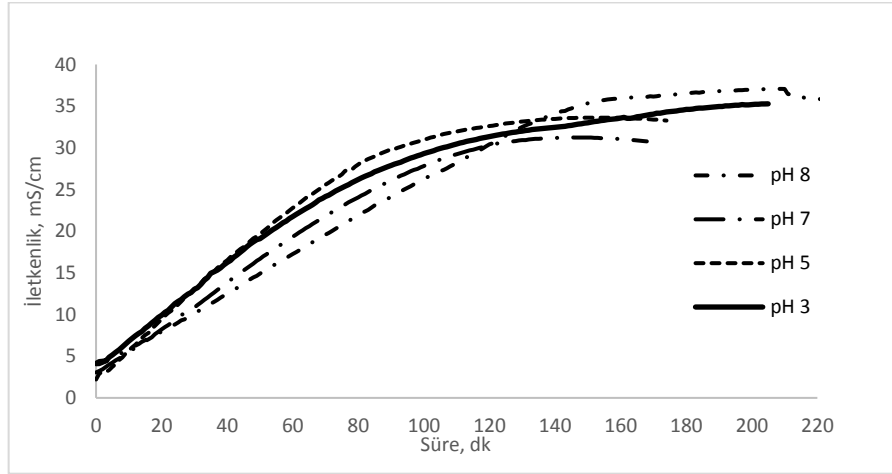
Çalışmada; 30V değerinde tekstil atıksu pH değeri 7,6 civarından 4,06 değerine kadar düşüş gösterdiği, 25V değerinde pH'ın 4,4 civarına düştüğü, 20V değerinde pH'ın 4,3'e düştüğü, 15V değerinde pH'ın 6,8 civarına dek düştüğü, 10V değerinde ise pH'ın 8 civarından 7,7 değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Atıksu bölmesindeki pH değerleri zamana bağlı olarak azalış gösterir iken, paralel olarak konsantre asit bölmesinde ise pH değerinin artışta olduğu görülmüştür.

4.1.2. ED Çalışmalarında pH Değerinin Etkisi

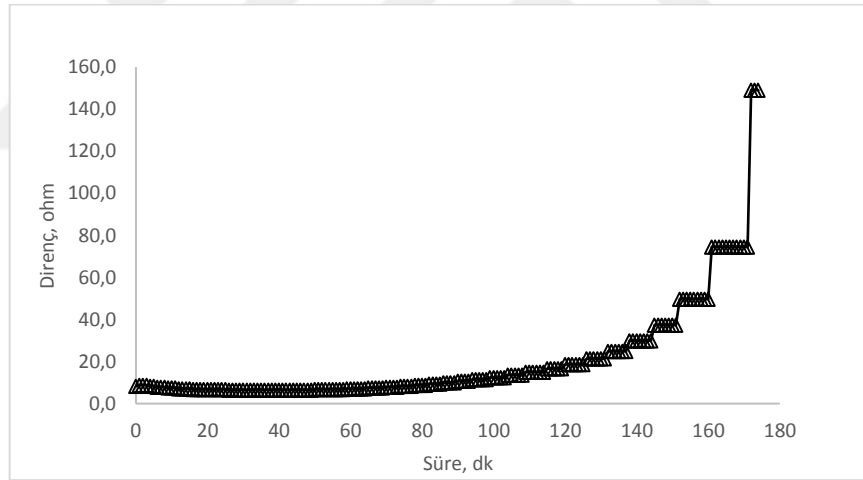
Konvansiyonel ED çalışmalarında pH değerinin etkisinin araştırılması ve optimum pH değerinin belirlenmesi için, farklı pH değerlerinde uygulamalar yapılmıştır. Şekil 4.8'de biyolojik olarak arıtılmış tekstil atıksuyuna ilişkin 8, 7, 5 ve 3 pH değerlerindeki çalışmalara ait atıksuda gözlemlenen iletkenlik değişimleri verilmektedir.



Şekil 4.8: Farklı pH değerlerindeki diluat bölmesinde yer alan tekstil atıksuyu iletkenlik değişimleri. Çalışmalarda pH değeri azaldıkça kalsiyum bikarbonat etkisi nedeni ile membran tıkanmalarının gerçekleştiği ve çalışma süresinin uzadığı gözlemlenmiştir. pH değeri düştükçe membran tıkanmaları ile direnç artışı olmakta ve çalışma veriminde azalma görülmektedir. Çalışma öncesi atıksuyun iletkenlik değeri yaklaşık 25,40 mS/cm değerinde iken, 165. dakikada pH 8 aralığında 2,25 mS/cm değerine, pH 7 aralığında, 0,45 mS/cm değerine, pH 5 değerinde 0,29 mS/cm değerine ve pH 3 değerinde ise 2,68 mS/cm değerine düştüğü görülmektedir. En iyi giderimin pH 5 değerinde elde edildiği belirlenmiştir. Bunun nedeni ise, pH 5'teki sodyum bikarbonat etkisi ile çözünmenin olması ve membranlar üzerinde çalışmayı engelleyici herhangi bir tıkanma olmamasıdır.



Şekil 4.9: Farklı pH değerlerindeki asit bölmesinde yer alan konsantre çözeltilerde iletkenlik değişimleri. Şekil 4.9'da konsantre çözeltilerdeki iletkenlik değişimleri verilmektedir. Diluat bölmesinde yer alan atıksuyun iletkenlik değeri ED çalışma süresince azalırken, paralel olarak asit bölmesinde yer alan konsantre çözeltilere ait iletkenlik değeri de artış göstermektedir.

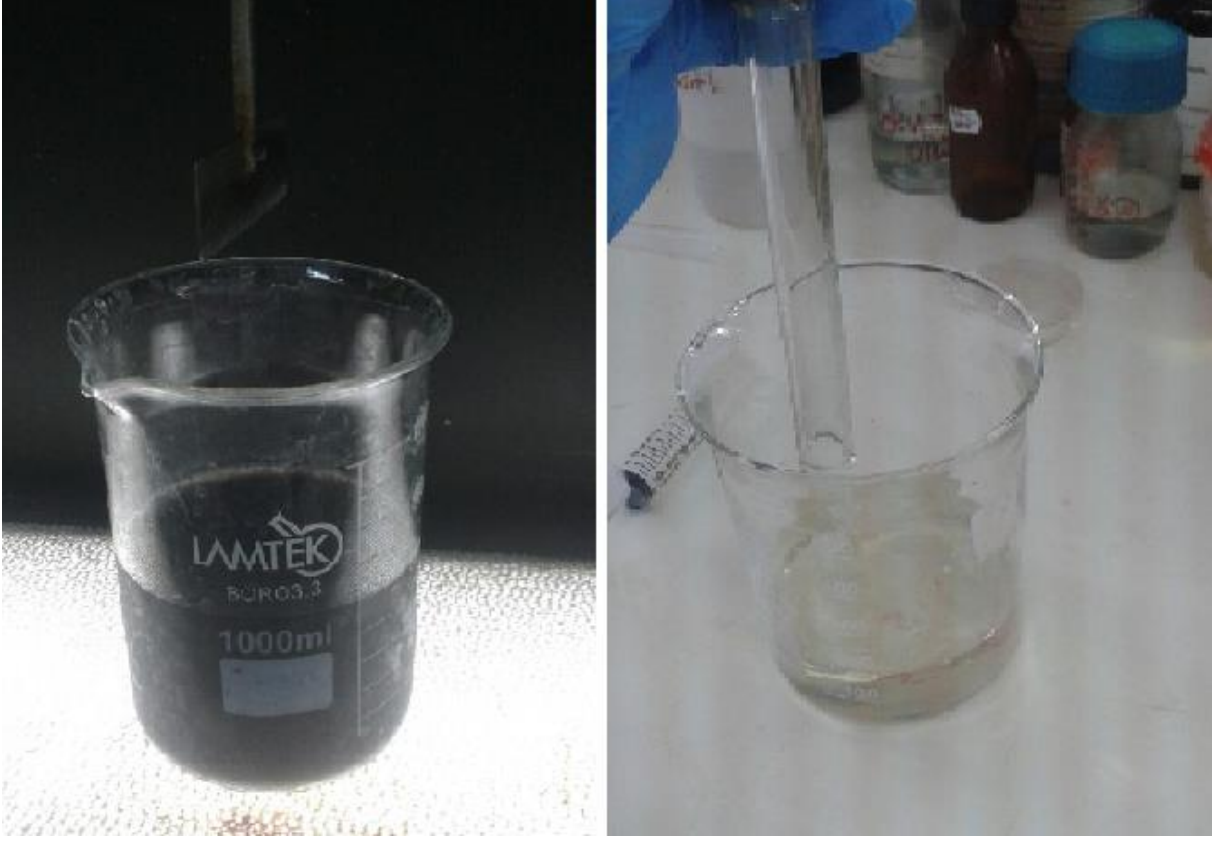


Şekil 4.10: pH 5 değerindeki ED sistemine ait direnci

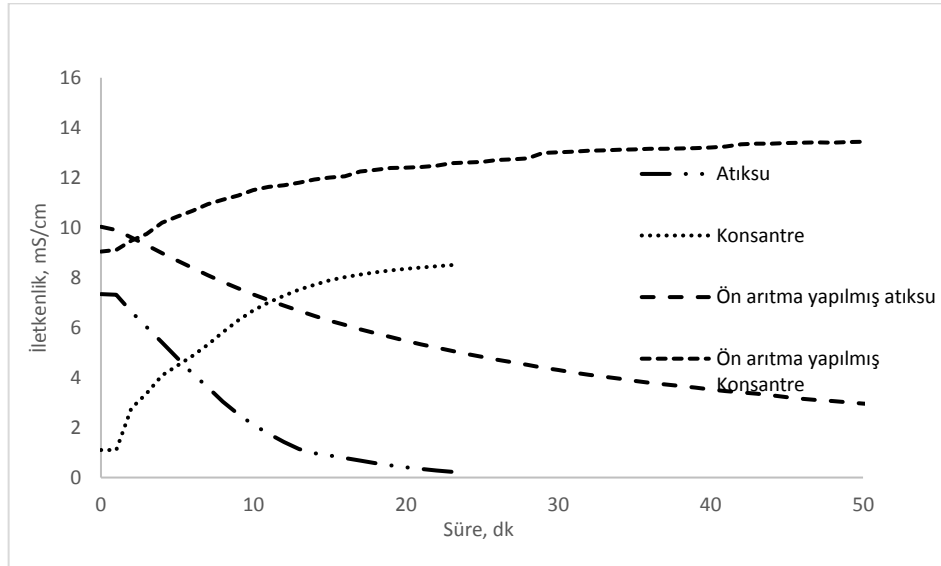
4.1.3. ED Çalışma Öncesinde Dekolorant (Hydrodec 5D ilavesi ile) ile Ön arıtmanın Etkisi

Bu çalışma kapsamında, Hidrodec 5D koagulanı ile biyolojik olarak arıtılmış tekstil atıksuyuna ön arıtma işlemi uygulanarak renk giderimi yapılmış ve ardından ED çalışması gerçekleştirilmiştir. Renk giderimi olan 300 ml Hidrodec 5D atıksuya eklenmiş ve ardından 1 saat jar testi uygulanarak çökmesi beklenmiştir. Çökme işleminin ardından süzülen tekstil

atıksuyu ED sisteminde arıtılmış, iletkenlik ve pH değerlerinin değişimleri anlık olarak ölçülmüştür.

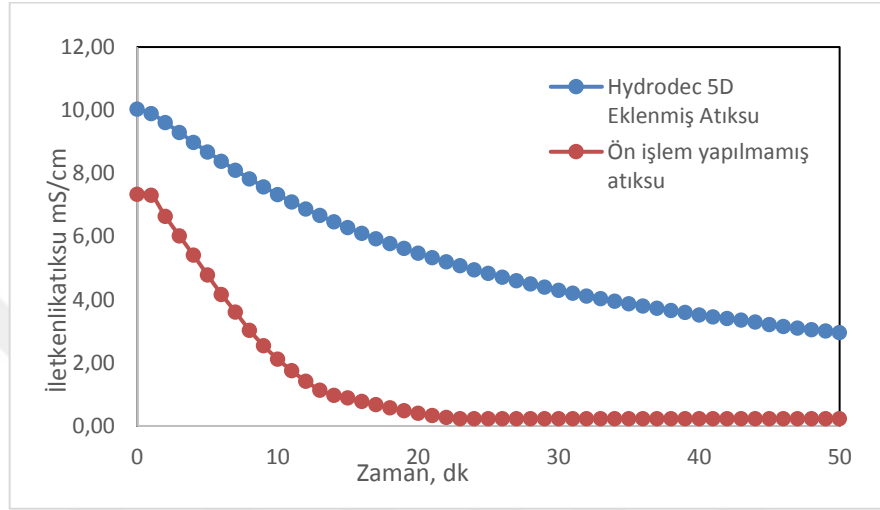


Şekil 4.11: Atıksuya renk giderimi için koagulant madde ilavesi öncesi ve sonrası

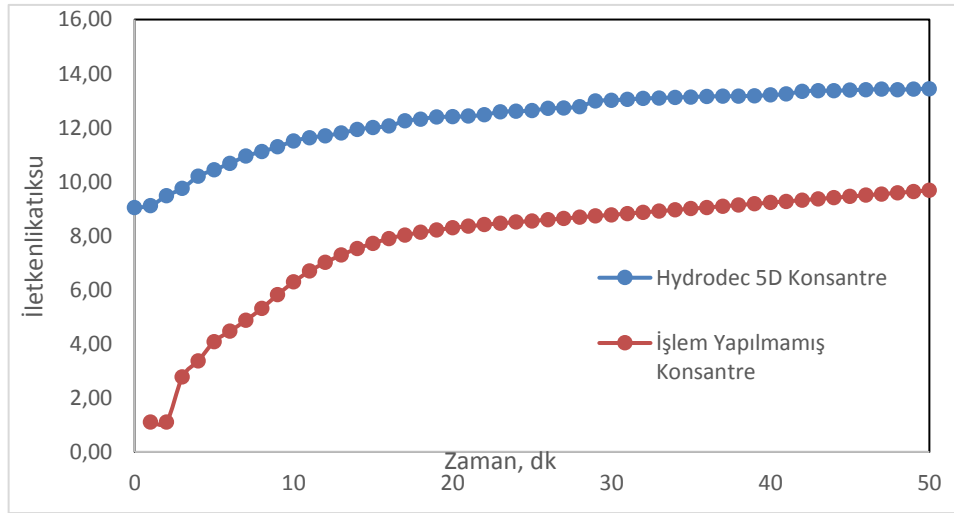


Şekil 4.12: Tekstil atıksuyunda Hidrodec 5D ile ön arıtmanın iletkenlik etkisi

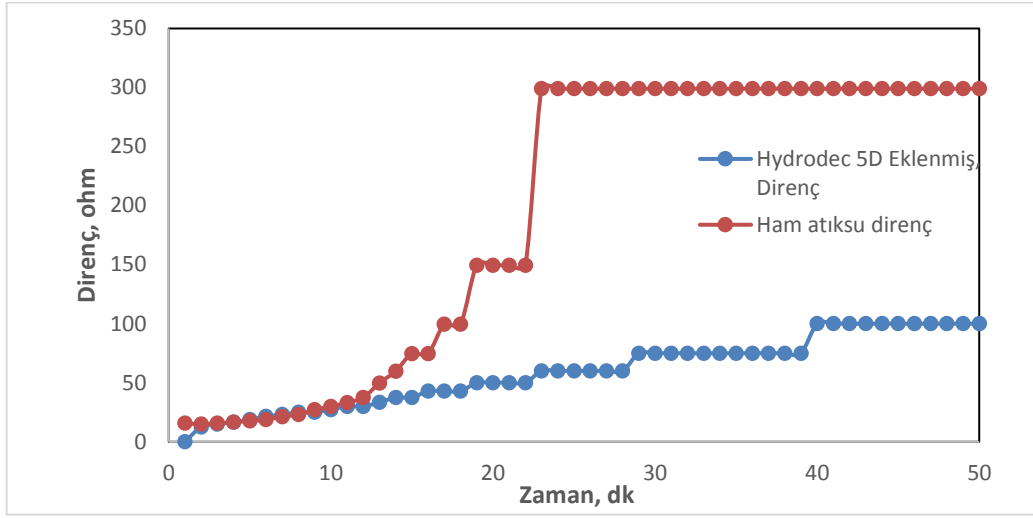
Şekil 4.12’de görüldüğü gibi ön arıtma yapılmış tekstil atıksuyu ED sistemine verildiğinde süre uzamakta ve neredeyse iki katı kadar bir sürede giderim sağlanmaktadır. Ön arıtma uygulanmamış tekstil atıksuyunda 25 dakika sürede 0,25 mS/cm değerine kadar düşüş elde edilirken, koagulant madde eklenerek renk giderimi yapılmış tekstil atıksuyunda ise 52. dakika sonunda 2,88 mS/cm değerine kadar düşüş elde edilmiştir.



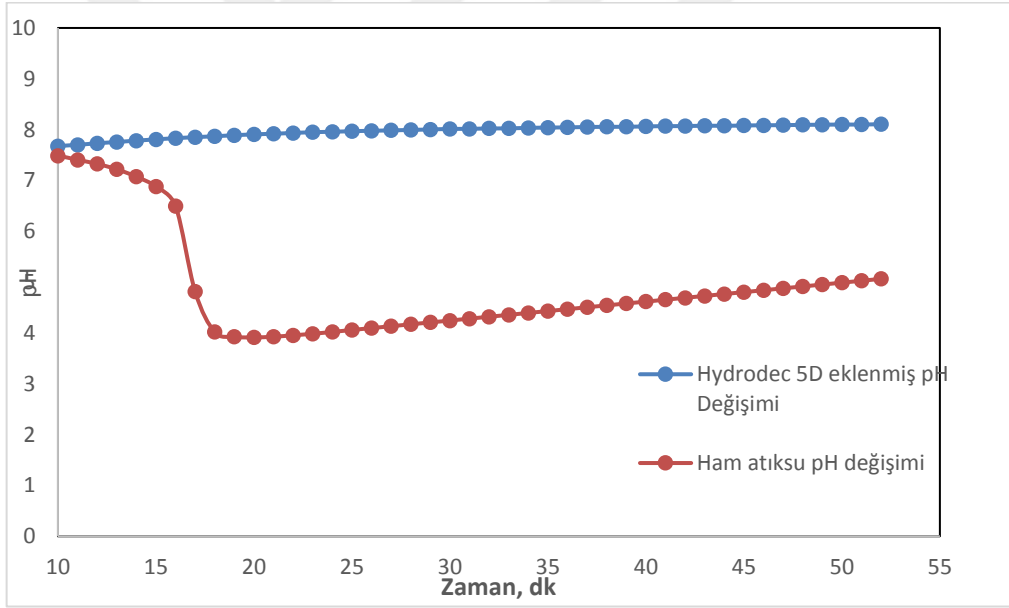
Şekil 4.13: Dekolorant ilavesi ile renk giderimi yapılmış atıksuyun iletkenlik değişimleri



Şekil 4.14: Dekolorant ilavesi ile renk giderimi yapılmış atıksu çalışmasında konsantre iletkenlik değişimleri



Şekil 4.15: Dekolarant ilavesi ile renk giderimi yapılmış atıksuyun direnç değişimleri

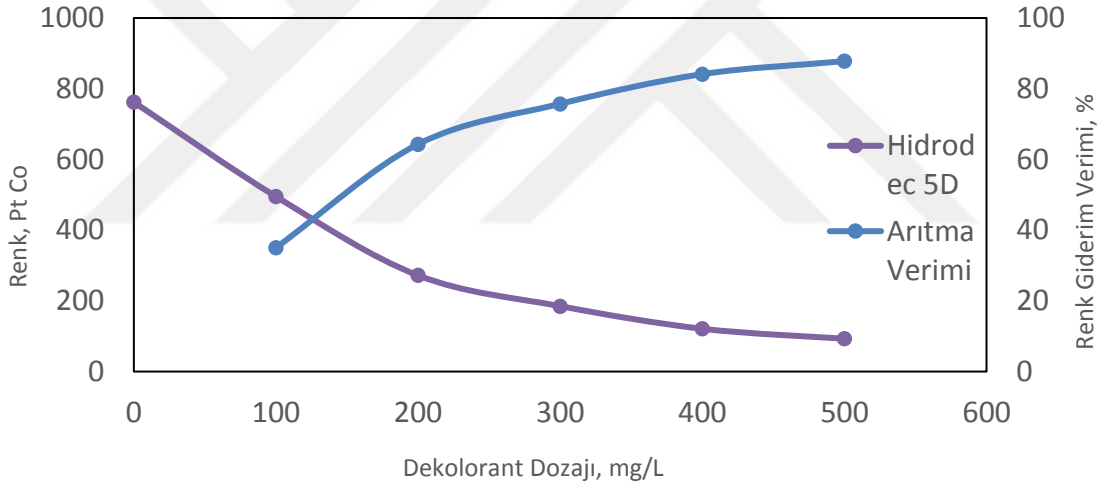


Şekil 4.16: Dekolarant ilavesi ile renk giderimi yapılmış atıksuyun pH değişimleri

Şekil 4.15'te grafikte görüldüğü üzere, ön arıtma yapılmamış ham tekstil atıksuyun direnci zamana bağlı olarak sürekli artış göstermekte ve ancak 300 ohm değerinde sabit hale gelmektedir. Hydrodec 5D ilavesi ile ön arıtma yapılmış tekstil atıksuyunda ise direnç daha düşük seviyelerde artış göstermekte ve zamanla ancak 100 ohm değerine kadar çıkış göstermektedir.

Şekil 4.16'da yer alan pH değişim grafiğinde, ham tekstil atıksuyun pH değeri ED çalışmasının il 20 dakikasında yaklaşık pH değeri 4 olana dek düşüş göstermekte ve ardından 20. Dakika itibari ile pH 5-5.5 arasındaki değerlere dek artış göstermektedir. Dekolorant ilavesi ile ön artıma yapılmış tekstil atıksuyunda ise; ED çalışması süresinde pH 8 değeri civarında seyir göstermiştir.

Numune Yeri	KOI (mg/L)	Renk (Pt- Co)
Biyolojik Arıtma ED Giriş	155	396

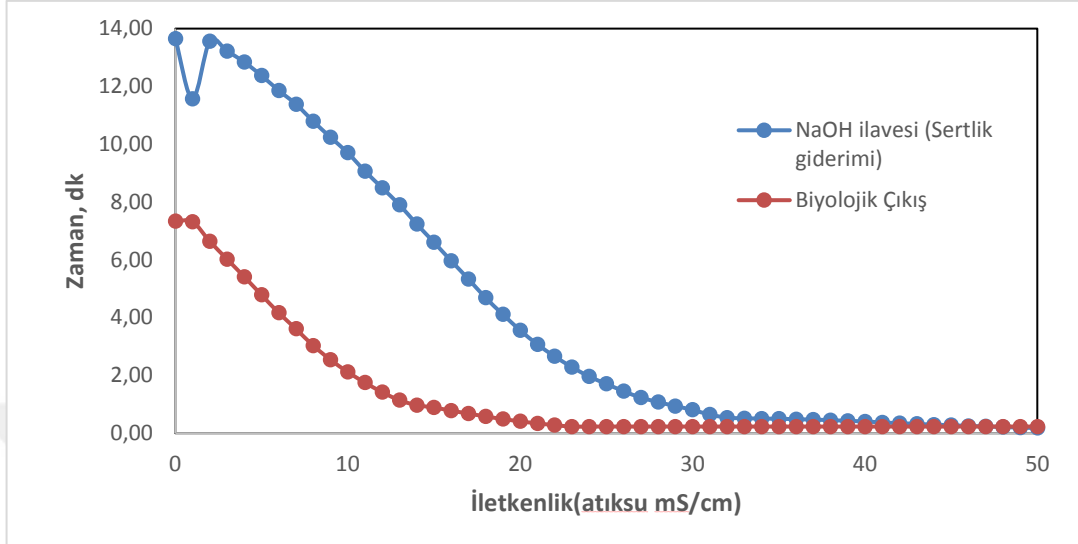


Şekil 4.17: Hidrodec 5D ilavesi ile renk giderimi sonrası ED çalışması sonrası atıksu renk değerleri. Şekil 4.17'de yer alan grafiğe Hidrodec 5D ilavesi ile renk değişimine bağlı olarak absorbans değerlerinin etkisi gözlenmektedir. Biyolojik arıtılmış tekstil atıksuyunun ED çalışma öncesi renk değeri 396 Pt-Co olarak ölçülürken, dekolörant ilavesi ile ön arıtma yapılmış tekstil atıksuyunun ED çıkışı sonrasında ise 6 Pt-Co olarak ölçülmektedir.

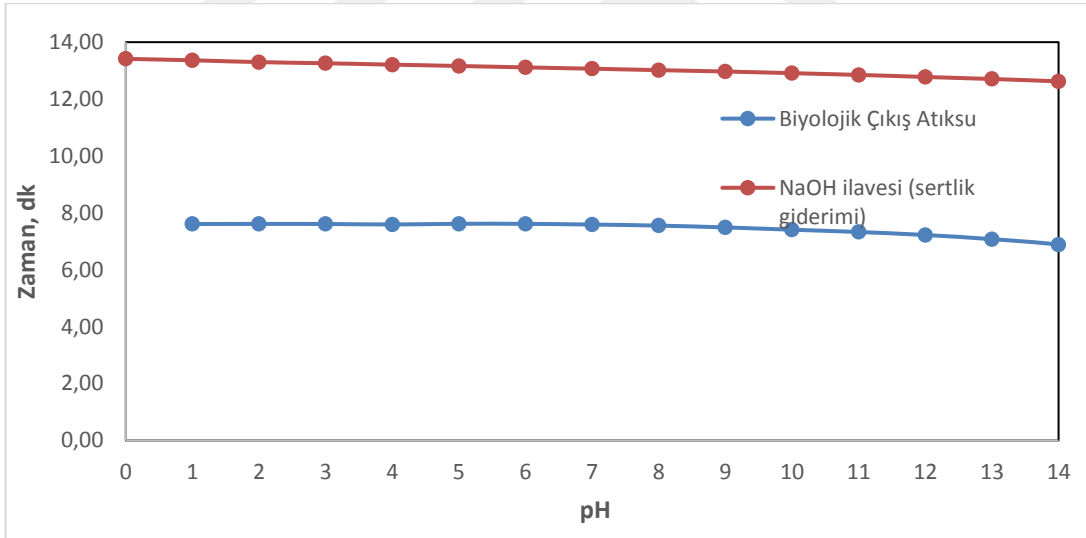
4.1.4. ED Çalışmalarında NaOH İlavesi ile Sertlik Gideriminin Etkisi

Bu çalışmada, ED çalışma öncesi biyolojik olarak arıtılmış tekstil atıksuyuna NaOH ilavesi ile birlikte atıksuyun pH değeri 14'e getirilmiş ve ardından çökmeye bırakılmıştır. Çökme işleminden sonra ise süzülen atıksuyunda sertlik giderimi sağlanmıştır. Ardından sertlik

giderimi yapılmış tekstil atıksuyu ED çalışmasına tabi tutulmuş olup, iletkenlik ve pH değişimleri anlık olarak incelenmiştir.



Şekil 4.18: NaOH ilavesi ile sertlik giderimi yapılmış atıksuyun iletkenlik değişimleri



Şekil 4.19: NaOH ilavesi ile sertlik giderimi yapılmış atıksuyun pH değişimleri

Şekil 4.18'de yer alan grafikte NaOH ilavesi ile ön arıtma işlemi uygulanarak sertlik giderimi yapılmış tekstil atıksuyunun ED çalışmasındaki değişimleri gözlenmektedir. Ön arıtma işlemi uygulanmamış pH değeri 8 civarında olan biyolojik çıkış tekstil atıksuyunun iletkenlik değeri 20 dakika civarında düşüş gösterirken, ön arıtma ile sertlik giderilmiş ancak pH değeri 14 civarında olan tekstil atıksuyunun ise ED çalışmasında 30. Dakikalarda iletkenlik değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Şekil 4.19’da yer alan grafikte ise, ön arıtma ile sertlik giderimi uygulanmamış biyolojik tekstil atıksuyun pH değerinin başlangıçta 8 civarında olduğu ve çalışma süresince pH 7 civarında değerini koruduğu gözlemlenmiştir. NaOH ilavesi ile ön arıtma uygulanmış tekstil atıksuyunda ise pH değerinin 14 başlangıç değerinden ancak 12 civarına düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada tekstil sanayi atıksuların elektrodializ yöntemi ile arıtılması ve proseslerde geri kullanılması amaçlanmaktadır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda gerekli durumlarda ön arıtma uygulanmış ve biyolojik arıtılmış tekstil atıksuyuna ilişkin elektrodializ çalışmaları yer almaktadır.

İlk çalışmada ED sisteminde voltaj değişiminin etkisi incelenmiş, farklı voltajlarda (10V, 15V, 20V, 25V, 30V) gerçekleştirilen çalışmalarda atıksu ve konsantreye ait pH ve iletkenlik değişimleri incelenmiştir. Çalışma neticesinde en iyi giderim veriminin 25V olduğu belirlenerek optimum çalışma aralığının bu voltaj değerinde olması gerektiği saptanmıştır. Atıksuyuna ait iletkenlik değeri ED çalışma öncesinde 8.18 mS/cm civarında iken, yaklaşık 25 dakikalık bir çalışma sürecinde 25V değerinde 0.25 mS/cm değerine kadar düşüş elde edildiği ve yaklaşık olarak %97 giderim verimi elde edilmiştir. Atıksuyuna ait pH değerinin ise ED öncesinde 7,76 civarında iken 25V voltaj değerinde çalışma sonucunda 4,40 değerlerine düşüş gösterdiği kayıt altına alınmıştır.

İkinci çalışmada ED sisteminde pH değerindeki değişimin (8, 7, 5, 3) tekstil atıksuyun arıtılmasındaki etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde, en yüksek giderim veriminin pH 5 değerinde elde edildiği ve atıksu iletkenlik değerinin ED öncesi 25,40 mS/cm iken, pH 5 değerinde ED çalışma sonrasında 0,29 mS/cm değerine dek düştüğü gözlemlenmiş ve yaklaşık olarak %95 oranında giderim verimi elde edilmiştir. pH 3 değerinde gerçekleştirilen çalışma neticesinde ise atıksu iletkenlik değerinin 2,68 mS/cm değerine düştüğü ve giderim veriminin %89 oranında olduğu belirlenmektedir. pH 3 değerinde zor giderimin sebebi, kalsiyum karbonat etkisi nedeniyle membran üzerinde tıkanmaların oluşmasıdır.

Ön arıtma uygulanmamış tekstil atıksuyunda 25 dakika sürede 0,25 mS/cm değerine kadar düşüş elde edilirken, koagulant madde eklenerek renk giderimi yapılmış tekstil atıksuyunda ise 52. dakika sonunda 2,88 mS/cm değerine kadar düşüş elde edilmiştir.

Boya ve sertliğe neden olan +2 değerlikli iyonlar (Ca^{2+} , Mg^{2+}) iyon değiştirici membranları hızla kirleterek tıkanmalara neden olmuştur. Tekstil atıksuyu ile doğrudan temas halinde olan anyon değiştirici membran boya ile kaplanarak belirli bir süre sonrasında kullanılamaz hale

gelmiştir. Sertliğe neden olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının ED prosesinde üretilen NaOH ile tepkimesi sonucunda membranı tıkadığı yürütülen deneyler ile kanıtlanmıştır.

Atıksu ilk pH değeri 8 olarak ayarlandığında 1 saatten kısa sürede iletkenlik 0.3 mS/cm seviyesine kadar düşürülmüştür. Bu durum kullanılan iyon değiştirici membranların atıksu pH değişimine karşı hassas olduklarını ve en iyi pH 7-8 aralığında çalıştığını ortaya koymaktadır.

Atıksudan iyonlar giderilip atıksu iletkenlik değeri azaldığında atıksu direnci artmaktadır ve bununla birlikte membran yüzeyinde meydana polarizasyon da artmaktadır. Artan polarizasyon ile beraber membran yüzeyinde suyun ayrışması gerçekleşmektedir. Bu durum atıksu pH değerinde ani düşmelere neden olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Arıcı, T., 2000, *Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boyarmaddelerinden Kaynaklanan Rengin Fenton Prosesi ile Giderilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arnal, J.M., León, J. Lora, Gozávez, J.M., Santafé, A., Sanz, D., Tena, J., 2008, "Ultrafiltration as a Pre-Treatment of Other Membrane Technologies in the Reuse of Textile Wastewaters, *Desalination* 221, 405-412.
- Arslan, I., Balcioğlu, I. A., Bahnemann, D.W., 2000, Advanced Chemical Oxidation of Reactive Dyes In Simulated Dyehouse Effluents by Ferrioxalate-Fenton/UV-A and TiO₂/UV-A Processes, *Dyes and Pigments* 47, 207-218.
- Arslan, M., 2016, *Membran Teknolojileri*, TÜÇEV, Ankara, ISBN: 978-605-9351-02-7.
- Asghar, A., Raman, A.A.A., Daud, W.M.A.W., 2015, Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical for textile wastewater treatment: a review, Anam Asghar, Abdul Aziz Abdul Raman, Wan Mohd Ashri Wan Daud, *Journal of Cleaner Production*, Elsevier
- Aytaç, E., 2016, *Elektrodiyaliz yöntemi ile atıksulardan kurşun, bakır ve nikel gideriminin araştırılması*, Doktora Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baburşah, S., 2004, *Tekstil Endüstrisi Atıksularının Gerikazanımı ve Yeniden Kullanılması*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bahadır, E.B., 2012, *Tekstil Endüstrisi Arıtılmış Atıksularında Renk ve Öncelikli Kirleticilerin Ozon Teknolojisi İle Gideriminin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Baker, R. W., 2004. *Membrane Technology and Applications*, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, Menlo Park, California.
- Bidhendi, G.R.N., Torabian, A., Ehsani, H., Razmkhah, N., 2007, Evaluation of Industrial Dyeing Wastewater Treatment With Coagulants and Polyelectrolyte As a Coagulant Aid, *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 1(4), 29-36.
- Birgül, A. ve Solmaz, S.K.A., 2007, Tekstil Endüstrisi Atıksuları Üzerinde İleri Oksidasyon ve Kimyasal Arıtma Prosesleri Kullanılarak KOI ve Renk Gideriminin Araştırılması, *Ekoloji* 15, 62, s: 72-80.
- Birgül, A., 2006, *Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bulut, F.B., 2011, *Tekstil Endüstrisinde Atıksuların Entegre Membran Arıtma Sistemi İle Arıtımı Ve Geri Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Choudhury, A.K.R., 2014, Environmental Impacts of the Textile Industry and Its Assessment Through Life Cycle Assessment, in “*Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing - Environmental and Social Aspects of Textiles and Clothing Supply Chain*”, Ed: M

Correia, V.M., Stephenson, T., Judd, S.J., 1994, Characterization of textile wastewater a review. *Environmental Technology* 15, 917-929.

Çakır S.A., 2018, *Tekstil Boyar Maddelerinin İleri Oksidasyon Yöntemleri (Uv, Uv/H₂O₂, Uv/Ozon, Uv/H₂O₂-Ozon) İle Muamele Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi

Delikanlı, N.E., 2013, *Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Biyoreaktör (Mbr) ile Arıtılması ve Renk Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi

Dokuzoğlu, Z., Alkan U., Yentürk, A., 2008, *Reaktif Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksuların İleri Oksidasyonu*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 13, Sayı 2, 119-128

Dörtkol M., 2014, *Doğal ve Modifiye Kil ile Sulu Çözeltilerden Boyar Madde Giderimi*, Yüksek lisans tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

DSİ, 2009, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri, Su ve DSİ, 5. Dünya Su Forumu, İstanbul, <http://www.dsi.gov.tr/docs/sempozyumlar/kuraklik-ve-su-yonetimi-toplantisi-ankara.pdf?sfvrsn=2>, [Erişim 19 Mayıs 2019].

Emrah, E., ve Yıldırım, G., 2013, *Tekstil Sanayi Atıksularında Renk Giderimi*, Bitirime Tezi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

EPA, 1997, Profile Of The Textile Industry, U.S. Government Printing Office Superintendent Of Documents, Washington.

EPA, 2000, Emergency Planning And Community Right-To- Know Act Section 313 Reporting Guidance For The Textile Processing Industry.

Eren, Z. ve Acar, F.N., 2004, Uçucu Kül Adsorpsiyonu ile Reaktif Boya Giderimi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 10, Sayı 2, Sayfa 253-258

Fakı A., 2007, *Reaktif Tekstil Boyarmaddelerinin Zeolit Kolonda Adsorbsiyon Yolu ile Giderilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Franken T., 2000, Bipolar membrane technology and its application, *Membrane Technology*, 125: 8-11.

Gottlieb, A., Shaw, C., Smith, A., Wheatley, A. and Forsythe, S., 2003, The Toxicity of Textile Reactive Azo Dyes After Hydrolysis and Decolourisation, *Journal of Biotechnology*, 101, 49-56

Hacıoğlu, B., 2006, *Elektrodiyaliz yöntemi ile model çözeltilerden sitrik asit geri kazanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hayes T., 2004, "The electro dialysis alternative for produced water management, Produced Water, GasTIPS.

Hunter, A. and Renfrew, M., 1999, Reactive dyes for textile fibres, the chemistry of activated bonds as reactive groups and miscellaneous topics, Society of Dyers and Colourists, Formerly Senior Research Chemist Zeneca Specialties, Blackley, Manchester

İlhan, F., 2012, *Sızıntı sularının elektrodializ prosesiyle arıtılabilirliğinin ve geri kazanım amaçlı kullanılabilirliğinin araştırılması*, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

İlhan, F., 2017, Elektrodializ proseslerinden kaynaklanan konsantre akımın minimizasyonu ve yeniden kullanılabilirliğinin incelenmesi: Tekstil atıksuyu örneği, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 21, Sayı 5.

İnce, N. H. ve Tezcanlı, G., 2001, Reactive Dyestuff Degradation by Combined Sonolysis and Ozonation, *Dyes and Pigments* 49, 145-153.

Kaleli, B., 2006, *Atıksuların İleri Arıtımında Membran Proseslerinin Kullanımının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Kanlıoğlu, B.Ü., 2000, *Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularında İyon Çifti Ekstraksiyonu Metodu ile Renk Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karcher, S., Kornmüller, A. and Jekel, M., 2001, Screening of Commercial Sorbents For The Removal of Reactive Dyes. *Dyes and Pigments*, 51, 111-125

Kayacan, B.B., 2010, *Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Proseslerle Geri Kazanımının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Kırdar, E., 1995, *Tekstil Atıksularında Renk Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Koca, M., 2006, *Mavi Reaktif Boyanın Örülmüş Pamuklu Kumaşa Uygulanmasında Değişik Parametrelerin Renk Verimine Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü.

Koter, S. ve Warszawski, A., 2000, Electromembrane Processes in Environment Protection, *Polish Journal of Environmental Studies* Vol. 9, No. 1, 45-56.

Koyuncu, İ., 2001, *Nanofiltrasyon membranları ile tuz gideriminde organik iyon etkisi*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Mahmoodi, N.M. ve Arami, M., 2009. Degradation and toxicity reduction of textile waste water using immobilized titania nanophotocatalysis, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 94, s: 20-24.

Mass, R., Chaudhari, S., 2005, Adsorption and biological decolorization of azo dye Reactive Red-2 in semi continuous anaerobic reactors, *Process Biochem*, 40, 699-705.

- Metin, E., *Kimyasal Çöktürme Çamurlarının Organik Madde Adsorpsiyonunda Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Mulder, M., 1996, Basic principles of membrane technology, 2nd Edition, *Kluwer Academic Publishers*, The Netherlands.
- Nezungai, C.D., Majazi, T., 2016, Optimum synthesis of an electro dialysis frame work with a background process-I: a novel electro dialysis model, *Chemical Engineering Science*, 147, 180-188.
- Nikfar, E., Dehghani, M.H., Mahvi, A.H., Rastkari, N., Asif, M., Tyagi, I., Agarwal, S., Gupta, V.K., 2016, Removal of Bisphenol A from aqueous solutions using ultrasonic waves and hydrogen peroxide, *J. Mol. Liq.*, 213, 332– 338.
- Özdemir, Ö., 1999, *Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtılmasında Arıtma Maliyetlerinin Birim Üretim Maliyetine Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Özkan, Ü., 2007, *Tekstil Endüstrisi Proses Suyu Hazırlanmasında Membran Proseslerin Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Pala, A., Tokat, E., 2002, Color removal from cotton textile industry wastewater in an activated sludge system with various additives, *Water Research* 36 (11): 2920-2925.
- Patel H, Vashi R.T., 2010, Treatment of textile wastewater by adsorption and coagulation, *E-Journal of Chemistry* 7 (4): 1468-1476.
- Pekel, L.C., 2009, *Çöktürme Yönteminin Kullanıldığı Boya Atıksu Arıtma Sisteminin Genelleştirilmesi Tahmin Edici Kontrol (GPC) ile pH Kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- RAUTENBACH, R., 1997, *Membranverfahren Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung*, Springer, Germany, 3-540-61573-3.
- Selçuk, H., 1997, *Tekstil Atıksularında Kimyasal Yöntemlerle Renk Giderilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Shaposhnik, V. A., Zubets, N. N., Strygina, I. P. ve Mill, B. E., 2002, High demineralization of drinking water by electro dialysis without scaling on the membranes, *Desalination*, 145: 329-332
- SYGM, 2016, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) *Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*, Proje Nihai Raporu, Ankara
- Şahin, Y., 2006, *Asit Boya Banyosu Atıksularının Kimyasal Prosesler İle Ön Arıtılabilirliğinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.
- Şengül, F., 1991, *Endüstriyel Atıksuların Özellikleri ve Arıtılması*, D.E.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Basım Ünitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Şimşeker, M., 2009, *Tekstil Endüstrisi İndigo Atıksularının Elektrokoagülasyon Ve Diğer Fiziksel-Kimyasal Yöntemler İle Arıtımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi

Tezcan, H., 2010, *Zeytinyağı Atıksularının Fenton Prosesi ile Arıtımı*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Turhan, K., Durukan, I., Ozturkcan, S.A., Turgut, Z., 2012, Decolorization of textile basic dye in aqueous solution by ozone, *Dyes Pigments*, 92, 897- 901, 2012.

TÜBİTAK, 2014, *Tekstil Proseslerinde Kaynağında Ayrı Arıtma Sistemleri ile Tuz ve Su Geri Kullanımı, Ağartma, Boyama, ve Yıkama Proseslerindeki Etkilerinin Araştırılması ve Yeni Proses Reçetelerinin Oluşturulması*, 3120115 nolu proje

Ünlü, M., 2008, *Indigo Dyeing Wastewater Treatment by the Membrane Based Filtration Process*, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.

Vardar, B., 2006, *Tekstil Endüstrisi Reaktif Boya Banyolarının Elektrokimyasal Yöntemler ile Arıtımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vardar, C. ve Şar, A., 1998, *Tekstil Atıksularının Arıtılabilirliğinin İncelenmesi*, Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Vaselbehagh, M., Karkhanechi, H., Takagi, R., Matsuyama, H., 2017, Biofouling phenomena on anion exchange membranes under the reverse electro dialysis process, *Journal of Membrane Science*, 530, 232-239.

Verma, A.K., Dash, R.R., Bhunia, P., 2012, A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters, *Journal of Environmental Management*, 93; 154-168

Vursavuş, E., 1999, *Boyarmaddelerin Açıklanması Ve Seçiminde Kullanılan Test Yöntemleri*.

Wang, Y., Gao, B-Y., Yue, Q-Y., Wei, J-C., Zhou, W-Z. and Gu, R., 2007, Color removal from textile industry wastewater using composite flocculants., *Environ. Technol.*, 28, 629–638.

William, A.R. and Leonard, T.F., 1997, Water and salt reuse in the dyehouse, *Textile Chemist and Colorist*, 29/4, 10-19

Xu, T., 2005, Ion Exchange membranes: State of their development and perspective, *Journal of Membrane Science*, 263 (1-2), 1-29.

Yalçın, B., 2008, *Membran prosesleri kullanılarak sulardan bor uzaklaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 73.

Yazıcı, S., 2012, *Elektrodiyaliz bipolar Membran Prosesleriin Tıkanma Mekanizması ve Önleme Çalışmalarının Analizi: Sızıntı Suyu Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

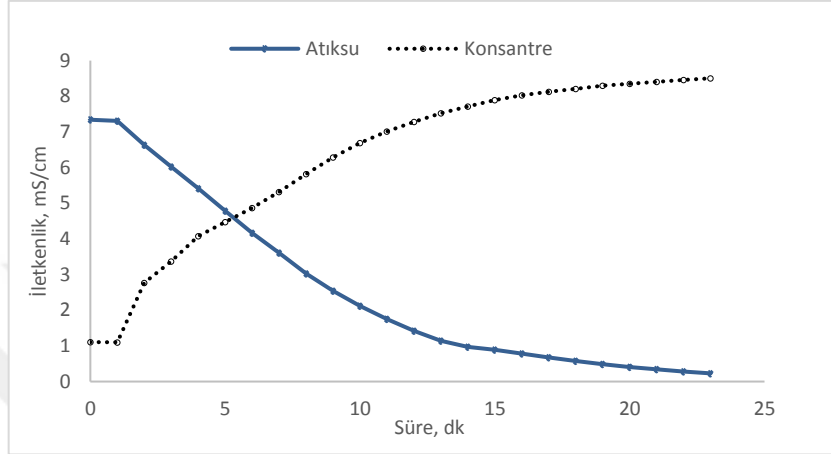
Yüzer, B., 2018, *Atıksuların Bipolar Membran Elektrodializ Prosesi ile Arıtılması ve Geri Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi



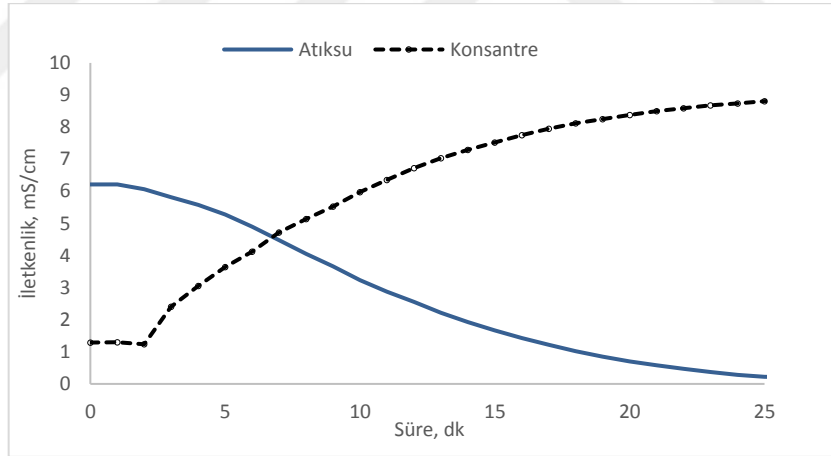
EKLER

1. BİYOLOJİK ARITILMIŞ TEKSTİL ATIKSUYU ED ÇALIŞMALARI

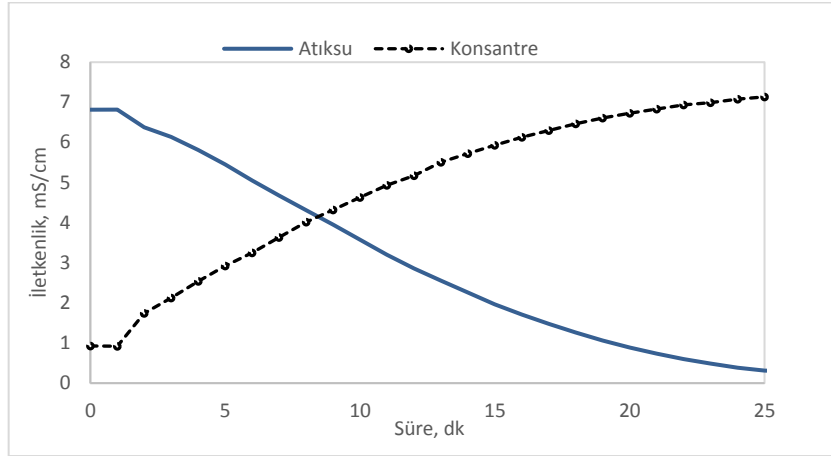
1.1.1. Farklı Voltaj Değerlerinde İletkenlik Değişimi



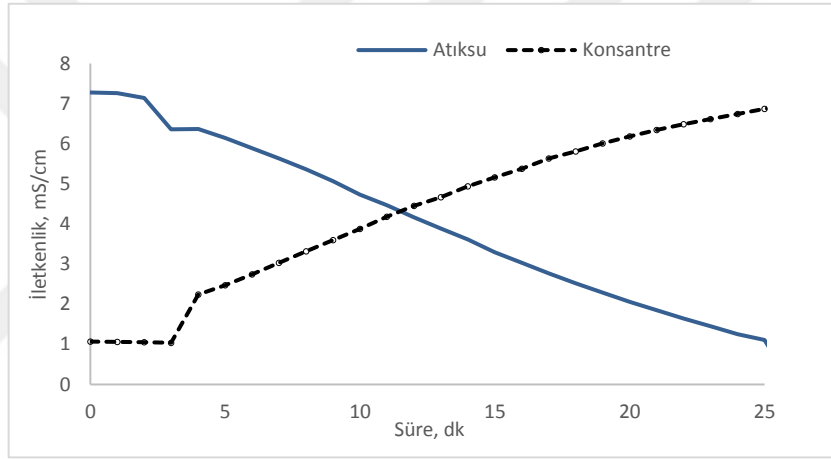
Şekil 4.20: 30V 5A



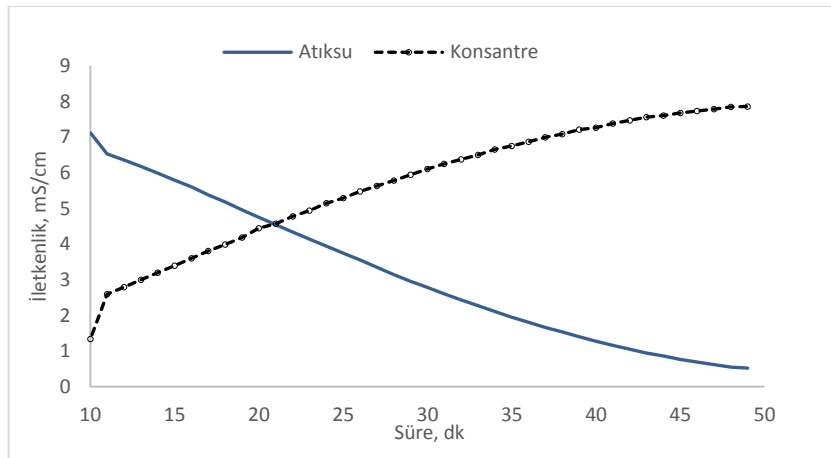
Şekil 4.21: 25V 5A



Şekil 4.22: 20V 5A



Şekil 4.23: 15V 5A



Şekil 4.24: 10V 5A

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ecem Tuğçe SÜREN
Doğum Yeri	Bakırköy
Doğum Tarihi	12.02.1989
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0541 340 53 34
E-Posta Adresi	Ecemtugce.s@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	24.07.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Fakültesi
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	