



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İPLİK BOYAMA ATIKSULARININ MEMBRAN PROSESLER ile
GERİ KAZANIMININ İNCELENMESİ**

Belkıs GÜZEL

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Ender ÇETİN**

**II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Temmuz, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

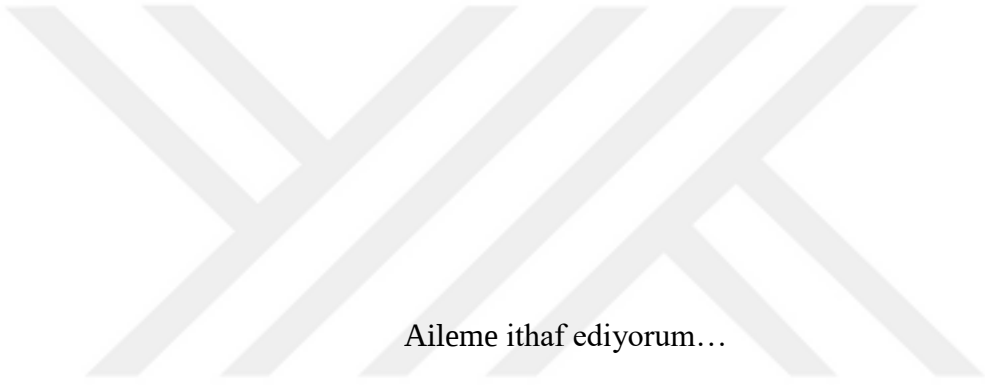
Belkıs GÜZEL tarafından, **Doç. Dr. Ender ÇETİN** ve **Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI** danışmanlığında hazırlanan " **İPLİK BOYAMA ATIKSULARININ MEMBRAN PROSESLER ile GERİ KAZANIMININ İNCELENMESİ** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **05/07/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi		İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Doç. Dr. Ender ÇETİN		
	İstanbul Üniversitesi		☒ Kabul
	Cerrahpaşa		☐ Ret
	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı		
ÜYE	Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ		
	İstanbul Üniversitesi		☒ Kabul
	Cerrahpaşa Çevre		☐ Ret
	Mühendisliği Anabilim Dalı		
ÜYE	Prof. Dr. Sevgi KOCAOBA		☒ Kabul
	Yıldız Teknik Üniversitesi		☐ Ret
	Kimya Anabilim Dalı		

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Belkıs GÜZEL



Aileme ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

İPLİK BOYAMA ATIKSULARININ MEMBRAN PROSESLER ile GERİ KAZANIMININ İNCELENMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Evreni yaratan ve insanı bir damla sudan yaratan Yüce Allah'a sonsuz şükür ederken, yüksek lisans sürecim boyunca bana her zaman yardımcı olan, eşsiz bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Ender ÇETİN'e ve beni kabul eden, benden eşsiz bilgi ve tecrübe ve desteklerini esirgemeyen ikinci danışman hocam Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI'ya içtenlikle minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımı yürütebilmem için laboratuvarı kullanmam konusunda bana yardımcı olan Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Başkanı Prof. Dr. Güleda ENGİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Araş. Gör. Oruç Kaan TÜRK ve doktora öğrencisi İsmail Hakkı ZENGİN'e ve katkılarından dolayı YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü personeline, Merve SARAL' a, Gülin Biçe YILDIRIM' a teşekkürlerimi sunarım.

Benden hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, daima yanımda olacaklarını bildiğim kıymetli geniş aileme ayrıca ablam Doç. Dr. Betül Yılmaz'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans sürecim boyunca her türlü fedakarlık ve özverisini esirgemeyen, maddi ve manevi beni her zaman destekleyen kıymetli hayat arkadaşım Fatih Çağrı GÜZEL'e ve ihmal ettiğim, sabrıyla bana yardımcı olan canım kızım Serra' ya yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2024

Belkıs GÜZEL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
Sayfa No.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xiv
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xvi
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	2
2.1. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	2
2.1.1. Tekstil Endüstrisinin Tanımı	2
2.1.2. Tekstil Endüstrisi Üretim Prosesleri	5
2.1.3. Türkiye’de Tekstil Sektörünün Genel Durumu.....	9
2.1.4. Tekstil Endüstrisi Atıksuları Karakteristiği.....	11
2.2. İPLİK BOYAMA ENDÜSTRİSİ	14
2.2.1. İplik Üretimi.....	14
2.2.2. Boyama Endüstrisinde Kullanılan Boyarmaddeler	17
2.2.3. Boyar Maddelerin Sınıflandırılması.....	18
2.2.4. Boyama Atıksuları Karakteristiği.....	21
2.3. BOYAR MADDE VE TEKSTİL ATIKSULARI GİDERİM YÖNTEMLERİ	23
2.3.1. Biyolojik Arıtma Yöntemleri	27
2.3.2. Kimyasal Arıtım Yöntemleri.....	29
2.3.3. Fiziksel Arıtım Yöntemleri	30
2.3.4. Membran Prosesler.....	31

2.4. BOYARMADDE ATIKSULARININ ARITIMI VE YENİDEN KULLANIMI ÇALIŞMALARI	38
3. YÖNTEM	44
3.1. İplik Boyama Endüstrisi Atıksuyu ve Karakterizasyonu	44
3.2. Deney Düzenekleri	47
3.2.1. Jar Test Düzeneği	47
3.2.2. Membran Düzeneği	48
3.3. Moleküler Ağırlık Dağılımının Belirlenmesi	48
3.4. Atıksu Karakterizasyonu İçin Yapılan Analizler	50
3.5. Membran Karakterizasyonunda Kullanılan Analizler	53
3.5.1. Temas Açısı Belirleme Analizi	53
3.5.2. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM) ve Enerji Dağılımı X- ışını Spektroskopisi (EDS)	54
3.5.3. ATR-FTIR Spektrum Analizi	54
4. BULGULAR	55
4.1. Atıksulara Ait Karakterizasyon Çalışmaları	55
4.2. Koagülasyon-Flokülasyon Çalışması	55
4.3. Moleküler Ağırlık Dağılımını Belirleme Çalışmaları	58
4.3.1. Açık Kahve Renk ve Yıkama Suyu için Yürütülen Moleküler Ağırlık Dağılım Çalışmaları	58
4.3.2. Lacivert Boya, İlk Yıkama Suyu ve 2. Yıkama Suyu ile Yürütülen Moleküler Ağırlık Dağılım Çalışmaları	62
4.3.3. Siyah Boya, 1. Yıkama Suyu ve 2. Yıkama Suyu ile Yürütülen Moleküler Ağırlık Dağılım Çalışmaları	67
4.3.4. 436 nm, 525 nm, 620 nm Absorbans Değerlerinde Renk Değerlerinin Moleküler Ağırlık Dağılımının İncelenmesi	71
4.3.5. BOİ ₅ Değerlerinin Moleküler Ağırlık Dağılımının İncelenmesi	72
4.3.6. UV Değerlerinin Moleküler Ağırlık Dağılımının İncelenmesi	74
4.3.7. Moleküler Fraksiyon Çalışmasına Ait Akı Değerleri	78
4.3.8. Temas Açısı Ölçümü	82
4.3.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımı X- ışını Spektroskopisi Analizleri (EDX)	84
4.3.10. ATR-FTIR Spektrum Değerleri	88
5. TARTIŞMA	92
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	97
EKLER	107

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	107
ETİK KURUL İZİN YAZISI	107
KURUM İZNİ YAZILARI.....	107
ÖZGEÇMİŞ	107



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2. 1: Tekstil sektörü prosesleri.	3
Şekil 2. 2: Tekstil proseslerinde uygulanan terbiye işlemlerinin oransal dağılımı (Schönberger ve Schafer, 2003).	6
Şekil 2. 3: Islak işlem proses adımları (Adane ve diğ., 2021).	6
Şekil 2. 4: Haşılama işlemi (Sabır ve Sarpkaya, 2011).	7
Şekil 2. 5: Haşıl giderme işlemi (Tanapongpipat ve diğ., 2006)	8
Şekil 2. 6: Tipik bir boyama makinesi örneği (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).	9
Şekil 2. 7: İplik üretim süreçleri (EPA,1997).	15
Şekil 2. 8: Boyama kazanından çıkan boyanmış bobinler.	16
Şekil 2. 9: Boyama kazanları	17
Şekil 2. 10: Algılanabilen renk bileşenleri (Brad, 2016).	17
Şekil 2. 11: Boyar madde içeren atıksuyun çevreye etkisi (Patel ve Bhatt, 2022).	26
Şekil 2. 12: Boyarmadde içeren tekstil atıksuyu örneği (Patel ve Bhatt, 2022).	26
Şekil 2. 13: Bir endüstriden deşarj edilen tekstil atıksuyu örneği (Patel ve Bhatt, 2022).	27
Şekil 2. 14: Klasik bir aktif çamur sisteminin akım diyagramı (Biyolojik arıtım, 2020, https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/fakbal/133073/Biyolojik%20Ar%C4%B1t%C4%B1m.pdf , Erişim Tarihi: 10 Mayıs, 2024).	28
Şekil 2. 15: Anaerobik arıtmanın genel işleyiş mekanizması.	29
Şekil 2. 16: Aktif karbonla giderim yöntemine ait şema (Shabir ve diğ., 2022).	31
Şekil 2. 17: Membran proses şeması: (Madsen, 2014).	32
Şekil 2. 18: Membran türleri ve sınıflandırılması (Türk, 2019).	34
Şekil 2. 19: Membran gözenek çapları ve tutulan türler (Kavurucu ve diğ., 2022).	34

Şekil 2. 20: MF Membranı (Uyak ve diğ.,2014).....	35
Şekil 2. 21 : UF Membranı (Uyak ve diğ., 2014)	36
Şekil 2. 22: UF membranı için üretilen boşluklu elyaf membranı (Büyükdere, 2008).....	36
Şekil 3.1: İplik Boyama Fabrikası İş Akım Şeması	45
Şekil 3. 2: Açık kahve renk ipliklerin boyanma işlem adımları.....	46
Şekil 3. 3: Lacivert ve siyah renk ipliklerin boyanma işlem adımları	47
Şekil 3. 4: Membran düzeneğinin şematik gösterimi.....	48
Şekil 3. 5: Boya ve yıkama sularında moleküler fraksiyon için kullanılan membran gözenek boyutları.....	49
Şekil 3. 6: Multiparametre cihazı	51
Şekil 3. 7: UV-VIS 1800 spektrofotometre cihazı	52
Şekil 3. 8: Renk ve bulanıklık ölçüm cihazı	53
Şekil 3. 9: Attension Theta Lite marka temas açısı cihazı.	53
Şekil 3. 10: ZEISS EVO MA10 marka SEM cihazı	54
Şekil 3. 11: JASCO FT/IR-4000 ATR-FTIR cihazı	54
Şekil 4. 1: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki KOİ değerleri.	59
Şekil 4. 2: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki iletkenlik değerleri.	60
Şekil 4. 3: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki sertlik değerleri.	60
Şekil 4. 4: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki alkalinite değerleri.	61
Şekil 4. 5: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki renk değerleri.	62
Şekil 4. 6: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki sülfat değerleri.	62
Şekil 4. 7: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki KOİ değerleri.	63
Şekil 4. 8: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki iletkenlik değerleri.	64

Şekil 4. 9: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki sertlik değerleri.	65
Şekil 4. 10: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki alkalinite değerleri.	65
Şekil 4. 11: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki renk değerleri.	66
Şekil 4. 12: Lacivert boya ile yürütülen moleküler fraksiyon dağılımı sonucu elde edilen süzüntülerde renk değişimi. a) Hamsu, b) 150 kDa, c) 50 kDa, d) 1 kDa, e) 0,2 kDa.....	66
Şekil 4. 13: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki sülfat değerleri.	67
Şekil 4. 14: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki KOİ değerleri.	68
Şekil 4. 15: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki iletkenlik değerleri.....	68
Şekil 4. 16: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki renk değerleri.	69
Şekil 4. 17: Siyah boya ile yürütülen moleküler fraksiyon dağılımı sonucu elde edilen süzüntülerde renk değişimi. a) Hamsu, b) 150 kDa, c) 50 kDa, d) 1 kDa, e) 0,2 kDa.....	69
Şekil 4. 18: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki sertlik değerleri.	70
Şekil 4. 19: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki alkalinite değerleri.	70
Şekil 4. 20: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki sülfat değerleri	71
Şekil 4. 21: UV spektrum değerleri (a) açık kahve boyama (b) açık kahve yıkama suyu.	75
Şekil 4. 20: UV spektrum değerleri (a) lacivert boya, (b) lacivert 1. yıkama suyu, (c) lacivert 2. yıkama suyu.....	77
Şekil 4. 23: UV spektrum değerleri (a) siyah boya, (b) siyah 1. yıkama suyu, (c) siyah 2. yıkama suyu.....	78
Şekil 4. 24: (a) Açık kahve boyama atıksuyu, (b) açık kahve boyama yıkaması atıksuyuna ait akı değerleri.	79
Şekil 4. 25: (a) Lacivert boya atıksuyu, (b) lacivert 1. yıkama atıksuyu, (c) lacivert 2. yıkama suyuna ait akı değerleri.....	80
Şekil 4. 26: (a) Siyah boya atıksuyu, (b) siyah 1. yıkama atıksuyu, (c) siyah 2. yıkama suyuna ait akı değerleri.	82

Şekil 4. 27: 150, 50 ve 1 kDa MWCO temiz ve kirli membranlara ait temas açısı görüntüleri (a) 150 kDa temiz membran, (b) 150 kDa kirli membran, (c) 50 kDa temiz membran, (d) 50 kDa kirli membran, (e) 1 kDa temiz membran, (f) 1 kDa kirli membran (siyah boyama).	83
Şekil 4. 28: 0,2 kDa MWCO temiz ve kirli membranlara ait temas açısı görüntüleri (a) 0,2 kDa temiz membran, (b) açık kahve boyama atıksuyu, (c) Açık kahve yıkama atıksuyu, (d) Lacivert boyama atıksuyu, (e) Lacivert 1.yıkama atıksuyu, (f) Lacivert 2.yıkama atıksuyu, (g) Siyah boyama atıksuyu, (h) Siyah 1.yıkama atıksuyu, (i) Siyah 2.yıkama atıksuyu.	83
Şekil 4. 29: 150 kDa temiz membrana ait SEM görüntüleri.	85
Şekil 4. 30: 150 kDa kirli (filtrasyon sonrası) membrana ait SEM görüntüleri.	85
Şekil 4. 31: 0,2 kDa temiz membrana ait SEM görüntüleri.	86
Şekil 4. 32: 0,2 kDa kirli (filtrasyon sonrası) membrana ait SEM görüntüleri.	86
Şekil 4. 33: 150 kDa temiz membranın EDX spektrumu.	86
Şekil 4. 34: 150 kDa filtrasyon sonrası membranın EDX spektrumu.	86
Şekil 4. 35: 0,2 kDa temiz membranın EDX spektrumu.	87
Şekil 4. 36: 0,2 kDa filtrasyon sonrası membranın EDX spektrumu.	88
Şekil 4. 37: 150 kDa temiz ve kirli (filtrasyon sonrası) membrana ait ATR-FTIR analizi.	89

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2. 1: Elyafların kaynaklarına göre sınıflandırılması (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,2017).	4
Tablo 2. 2: Tekstil dış ticaretinde öne çıkan ülkelerde Türkiye'nin konumu (STB, 2022).	10
Tablo 2. 3: Tekstil endüstrisi atıksuyu karakteristiği (Wang ve diğ., 2020).	13
Tablo 2. 4: Yaş proseslerde kullanılan su miktarı ve kirlilik yükleri (Correia ve diğ., 1994).	13
Tablo 2. 5: Boya türleri ve karakteristiği (Yazır, 2011).	15
Tablo 2. 6: Boyaların boyama özelliklerine göre sınıflandırılması (EPA, 1997).	20
Tablo 2. 7: Elyaf türlerine göre boyaların sınıflandırılması (EPA, 1997).	20
Tablo 2. 8: Azo boyar madde türlerinin insan sağlığına olan etkileri (Wang ve diğ., 2020).	22
Tablo 2. 9: Boyama atıksuyu karakteristiği(Kocaer ve diğ., 2002).	22
Tablo 2. 10: Tekstil üretiminden kaynaklanan boya atık sularının yüzdesi ve bileşimi (Adesanmi ve diğ.,2022).	23
Tablo 2. 11: SKKY ‘‘Sentetik Tekstil ve benzerleri’’ deşarj standartları (SKKY, 2022).	24
Tablo 2. 12: Membran proseslerin tarihsel gelişimi (Zengin, 2014).	32
Tablo 2. 13: Membranların por çapları ve özellikleri (Thamariselvan ve Noel, 2015).	37
Tablo 3. 1: Boyar maddelerin isim ve grupları.	45
Tablo 3. 2: Boyama ve yıkama sırasında kullanılan kimyasalların isim ve görevleri.	46
Tablo 3. 3: Kullanılan membranların özellikleri.	49
Tablo 3. 4: Karakterizasyon çalışmalarına ait parametreler.	50
Tablo 4. 1: Boya ve yıkama sularının karakteristik özellikleri.	55
Tablo 4. 2: Alüminyum sülfatın koagülant olarak kullanıldığı açık kahve boyama atıksularının koagülasyon- flokülasyon-çöktürme sonrası su kalite değerleri.	56

Tablo 4. 3: Alüminyum sülfatın koagülant olarak kullanıldığı lacivert boyama atıksularının koagülasyon- flokülasyon-çöktürme sonrası su kalite değerleri.	57
Tablo 4. 4: Siyah boyama atıksularının koagülasyon- flokülasyon sonrası alüm miktarına bağlı elde edilen kirletici değerleri.	57
Tablo 4. 5: UF ve NF membranlarına göre 436 nm, 525 nm ve 630 nm dalga boylarındaki renk değişimi.	72
Tablo 4. 6: Boyama atıksularıda BOİ ₅ parametresinin moleküler ağırlık dağılımı.	73
Tablo 4. 7: Yıkama sularında BOİ ₅ parametresinin moleküler ağırlık dağılımı.....	73
Tablo 4. 8: Temiz ve filtrasyon sonrası membranların ortalama temas açısı değerleri.	84
Tablo 4. 9: 150 kDa MWCO'ya sahip membranının EDX analiz sonuçları.	87
Tablo 4. 10: 0,2 kDa MWCO'ya sahip NF membranının EDX analizi sayısal verileri.	88

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kisaltmalar	Açıklama
AKM	: Askıda katı madde
ATR-FTIR	: Zayıflatılmış toplam yansıma-Fourier transform infrared spektroskopisi
BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
EDX	: Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
MF	: Mikrofiltrasyon
MWCO	: Moleküler ağırlık ayırma sınırı
NF	: Nanofiltrasyon
PAC	: Poliamonyum klorür
PES	: Polietersülfon
RO	: Ters osmoz
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TÇK	: Çözülmüş katı madde
TKN	:Toplam kjeldahl azotu
TOK	:Toplam organik karbon
UF	: Ultrafiltrasyon

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

İPLİK BOYAMA ATIKSULARININ MEMBRAN PROSESLER ile GERİ KAZANIMININ İNCELENMESİ

[Belkıs GÜZEL]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

[Danışman : Doç. Dr. Ender ÇETİN]

II. Danışman : Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI]

Doğal su kaynaklarının azalmasında çevresel faktörlerin ve kontrolsüz su kullanımının etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Tekstil su kullanımının ve atıksu oluşumunun yüksek olduğu endüstrilerden biridir. Türkiye için stratejik bir öneme sahip olan tekstil endüstrisi, üretim süreçlerinde çeşitli kimyasal maddelerin yanı sıra büyük miktarda su kullanmaktadır. Üretime bağlı olarak değişen kimyasal ve hammadde kullanımlarıyla tekstil endüstrisi atıksuları genellikle yüksek konsantrasyonda KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı), BOİ₅ (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı), renk ve diğer kirleticileri içermektedir. Özellikle boya atıksuları, toksik ve yüksek kirletici özellikleri sebebiyle doğal çevreyi olumsuz etkileyebilmektedir. Hem doğal kaynakların hem de çevrenin korunması amacıyla tekstil endüstrisi atıksularının arıtılması ve geri kazanılması büyük önem taşımaktadır. Tekstil atıksularının arıtılması amacıyla konvansiyonel ve ileri arıtma prosesleri kullanılmaktadır. Membran prosesler, tekstil atıksularının arıtılması amacıyla yaygın kullanılan ileri arıtma proseslerinden biridir.

Bu tez çalışması kapsamında, iplik boyama işlemlerinden kaynaklanan açık kahve, lacivert ve siyah boya atıksuları ile bu boyaların yıkama sularına farklı konsantrasyonlarda alüminyum sülfat ilave edilmiştir. Alüminyum sülfat ilavesi sonrasında Jar Test cihazında koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Alüminyum sülfat konsantrasyonundaki artışla KOİ giderme verimi artarken suya verilen sülfat sebebiyle sülfat konsantrasyonunda ve iletkenlik değerlerinde de artış görülmüştür. Koagülant ilavesi ile genel olarak partiküler

kirleticilerin giderildiği ve kirletici konsantrasyonlarında önemli bir azalma olmadığı görülmüştür. 150 kDA, 50 kDA, 1 kDA ve 0,2 kDA membranlar ile suların moleküler ağırlık dağılımı çalışması gerçekleştirilmiştir. Kirleticiler moleküler büyüklüklerine göre sudan ayrılmıştır. KOİ'yi oluşturan organik maddelerin kullanılan boya türüne göre farklı moleküler ağırlıklarda olduğu ve moleküler ağırlıkların da kirletici giderimi üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bu moleküler ağırlıklar dikkate alınarak membran öncesi ön arıtma üniteleri ile uygun membran seçiminin yapılması gerektiği ortaya konulmuştur. |

Temmuz 2024 , |112| sayfa.

Anahtar kelimeler: | Tekstil endüstrisi, atıksu arıtımı, membran prosesler, boyama atıksuları, koagülasyon yöntemi, moleküler ağırlık dağılımı |



ABSTRACT

M.Sc. THESIS

**INVESTIGATION OF THE RECOVERY OF YARN DYEING WASTEWATER WITH
MEMBRANE PROCESSES**

Belkıs GÜZEL

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Environmental Engineering Programme

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ender ÇETİN

Co-Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI

The effects of environmental factors and uncontrolled water usage on the depletion of natural water resources are increasingly significant. The textile industry is one of the industries with high water usage and wastewater generation. The textile industry, which is strategically important for Turkey, uses a large amount of water in its production processes, alongside various chemical substances. Depending on the production process, the textile industry's wastewater generally contains high concentrations of COD (Chemical Oxygen Demand), BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand), colour, and other pollutants. In particular, dyeing wastewater can have toxic and highly polluting characteristics that negatively impact the natural environment. Therefore, the treatment and recovery of textile industry wastewater are of great importance for the protection of both natural resources and the environment. Conventional and advanced treatment processes are used for the treatment of textile wastewater. Membrane processes are among the advanced treatment methods commonly used for this purpose.

In this thesis study, aluminum sulfate was added to dyeing wastewater from yarn dyeing processes, which contained different colors such as light brown, navy blue, and black, at various concentrations. Following the addition of aluminum sulfate, coagulation, flocculation, and sedimentation processes were carried out using a Jar Test device. With the increase in aluminum sulfate concentration, the COD removal efficiency improved, but there was also an increase in sulfate concentration and conductivity due to the added sulfate. Generally, it was observed that particulate pollutants were removed with the addition of the coagulant, although there was no

significant reduction in pollutant concentrations. Molecular weight distribution studies of the water were conducted using membranes of 150 kDA, 50 kDA, 1 kDA, and 0.2 kDA. Pollutants were separated from the water based on their molecular size. It was found that the organic substances constituting COD varied in molecular weight according to the type of dye used and that molecular weights also had an effect on pollutant removal. Based on these molecular weights, it was concluded that appropriate membrane selection should be made with pre-treatment units before membrane filtration. |

July 2024, |112| pages.

Keywords: | Textile industry, wastewater treatment, membrane processes, dyeing wastewaters, coagulation method, molecular weight distrubution |



1. GİRİŞ

İklim değışikliği, artan nüfus ve kullanılabilir su kaynaklarının su kaynaklarının kirletilmesi sebebiyle yeterli miktarda tatlı su kaynaklarına ulaşmak gün geçtikçe güç olmaktadır. Su kaynakları çoğalmaz iken suya olan talepte ise sürekli artış olmaktadır. Daha az suya ihtiyaç duyan ekipmanların kullanılması ve atıksuların geri kazanılıp yeniden kullanılması gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Su tüketiminin yoğun olduğu tekstil endüstrisinde suların geri kazanımı ve yeniden kullanımı önemlidir. Tekstil endüstrisi birçok alt sektörden oluşmaktadır. Boyama kirleticilerin suya yoğun karıştığı alt sektörlerden biridir. Her bir boyama işlemi için farklı kimyasallar farklı konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. Bu durum atıksudaki kirleticiler ve konsantrasyonlarında farklılıklar oluşturmaktadır. Bu sebeple, tekstil boyama sektöründe atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması için uygun arıtma proseslerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Uygun arıtma proseslerinin belirlenmesinde de kullanılacak olan tüm kimyasallar ve bu kimyasalların atıksudaki muhtemel konsantrasyonları dikkate alınmalıdır.

Tekstil atıksularının arıtılması amacıyla konvansiyonel arıtma ünitelerine ilave olarak ileri arıtma prosesleri de kullanılmaktadır. Kimyasal ve biyolojik arıtma prosesleri sonrasında membran proseslerin kullanılması gün geçtikçe artmaktadır. Atıksudaki kirletici tür ve konsantrasyonlarına göre uygun membranların belirlenmesi geri kazanım açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada iplik boyama endüstrisi atıksularının özellikleri ve bu atıksuların çevresel etkileri, ilgili standartlar ve arıtım yöntemleri üzerine detaylı bir literatür araştırılması yapılmıştır. Tekstil endüstrisinde sıklıkla kullanılan dispers boyalardan açık kahve, lacivert ve siyah boyalar ile bu boyaların yıkama sularının arıtılabilirliği araştırılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda alüminyum sülfat koagülant olarak kullanılmıştır. Flokülasyon ve çöktürme prosesleri sonrasında kirletici giderme verimleri belirlenmiştir. Farklı malzemelerden üretilmiş ve farklı moleküler ağırlıklara sahip membranlar kullanılarak atıksulardaki kirleticilerin moleküler fraksiyonları belirlenmiştir. Böylece, iplik boyama atıksularının geri kazanılması amacıyla kullanılabilecek membranlar ve kirletici giderme verimleri de değerlendirilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

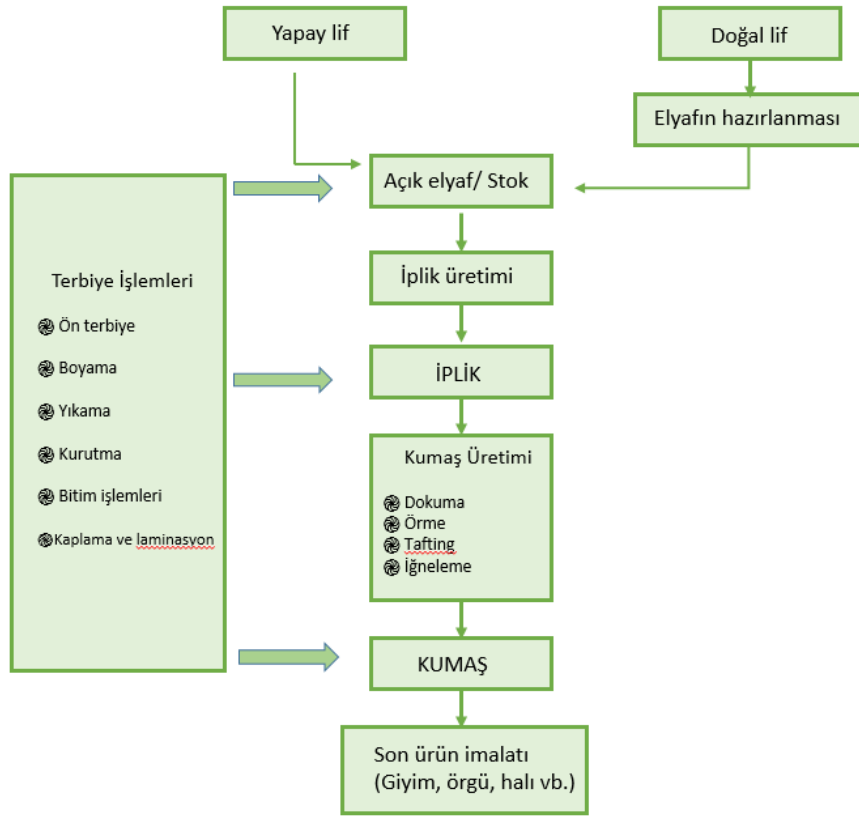
2.1. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1.1. Tekstil Endüstrisinin Tanımı

Tekstil ürünleri, giyim, korunma ve çeşitli teknik ihtiyaçları karşılamak amacıyla kullanılan, doğal ve yapay hammaddelerden üretilen malzemelerdir (Türkay Yılmaz,2016). Tekstil endüstrisi ise tekstil ürünlerinin üretildiği tesisleri kapsamaktadır (Büyükdere,2008).

Tekstil endüstrisi, elyaf üretimi, elyafların iplik haline getirilmesi, kumaş üretimi, örme, halı imalatı gibi süreçleri bünyesinde barındırırken, konfeksiyon (hazır giyim) ve çırçırılama prosesleri tekstil endüstrisi kapsamının dışında tutulmaktadır (Büyükdere,2008). Hazır giyim sektörü, tekstil endüstrisi aracılığıyla üretilen ara ürünlerin, moda sektörü için uygulandığı bir sektördür (STB, 2022).

Tekstil endüstrisi, hammaddelerin işlenmesinden son ürünlerin üretimi ve dağıtımına kadar uzanan bir süreci kapsamaktadır (Schönberger ve Schafer, 2003). Tekstil üretim süreci doğal, sentetik ve yapay hammaddelerden elyaf üretimi ile başlamaktadır. Bu elyaflar farklı teknolojik yöntemlerle iplik üretimi, dokuma, örme, eğirme, fıkse gibi işlemlerden geçerek kumaş, halı gibi tekstil ürünleri haline getirilmektedir. Kumaş konfeksiyona hazırlık aşamasında kasar, boyama, baskı, apre gibi terbiye işlemleri uygulanarak çeşitlendirilmektedir (EPA,1997; Büyükdere,2008; Gergin,2017). Terbiye işlemlerinden sonra ise kesme, dikme vb. uygulamalarla tekstil ürünleri tüketicinin kullanımına hazır hale getirilip satışa sunulmaktadır (Schönberger ve Schafer, 2003). Tekstil prosesleri Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2. 1: Tekstil sektörü prosesleri.

Tekstil endüstrisinde ana hammadde elyaflardır. Doğal ve sentetik olarak iki başlıkta değerlendirilen elyaflardan doğal olanların hammaddesi genellikle hayvansal veya bitkisel kökenlidir. Bu durum genellikle tarım veya hayvancılık faaliyetleriyle ilişkilendirilmektedir.

Sentetik elyaflar organik maddelerin selülozik olmayanlarından üretilmektedirler (Büyükdere,2008; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,2017). Kalınlık, kıvrımlılık, mukavemet, nem çekme, uzunluk, bükülebilme, yoğunluk, ateşe dayanıklılık, statik elektriklenme, ütülenme gibi fiziksel özellikler elyafların tekstil endüstrisinde kullanılabilmesi için gerekli özelliklerdir (Taydaş,2010; Brad,2016). Bunlar doğrudan iplikçilik, dokuma, terbiye ve konfeksiyonu etkilemektedir (Taydaş, 2010).

Tablo 2. 1: Elyafaların kaynaklarına göre sınıflandırılması (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,2017).

Doğal lifler	Hayvansal Kaynaklı	Yapak, Kıl, İpek ; Moher, Kaşmir, Deve Tüyü, Alpaka, Angora, İpek	
	Bitkisel Kaynaklı	Pamuk, Kenevir, Keten, Rami, Jüt	
	Mineral Kaynaklı	Asbest	
	Doğal Polimer Lifler	Viskoz, Asetat lifi, Kazein, Zein vb.	
Sentetik lifler	Sentetik Polimer Lifler	İnorganik polimerler	Metal Elyaf, Cam
		Organik polimerler	Akrilik, Elastan Poliamid, Polyester, Polipropilen, Poliakrilonitril

Giyilen elbiselerden, kullanılan perdeler, havlular, halılar, yatak örtüleri gibi çeşitli malzemelere kadar pek çok alanda kullanılan tekstil ürünleri, günlük yaşamın her aşamasında tekstil endüstrisinin vazgeçilmez bir rol oynadığını göstermektedir. Çok çeşitli alanlarda kullanılan tekstil ürünlerinin üretim aşamaları da bu alanlara göre şekillenmektedir. Bu durum farklı endüstriyel proseslerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Türkay Yılmaz,2016). Böylelikle farklı proseslerin olması tüketilen birim atıksu miktarı ile oluşan atık sudaki kirletici tür ve konsantrasyonlarında değişiklik göstermesine neden olmaktadır (Güyer ve diğ., 2016).

Diğer endüstrilere göre tekstil endüstrisi atıksularının karakteristik özellikleri daha tehlikeli ve kanserojen etkide toksik özellikler içermektedirler. Ayrıca diğer endüstri atıksularına oranla bu endüstri alanında kirletici özellikler de daha fazladır. Bu durum giderek artan çevresel etkilere neden olmaktadır. Temiz üretim için doğal kaynakları yeniden kullanım ile enerji ve hammadde tasarruf edilmesi ve sonuç olarak daha az atık üretilmesi gerekli koşul haline gelmiştir. Bu durum çevreye verilen atık yükünü azaltmanın yanı sıra “endüstriyel verimlilik”, “ekonomik kalkınma” ve “doğal kaynakların korunması” noktasında da pozitif etki sağlayacaktır (Türkay Yılmaz, 2016; Brad, 2016).

2.1.2. Tekstil Endüstrisi Üretim Prosesleri

Tekstil endüstrisi ürün çeşitliliği çok fazla olan bir sektör olup bu ürünler ev tekstili, teknik tekstiller ve hazır giyim olarak üç grupta toplanmaktadırlar. Üretim süreçleri ise elyaf üretimi, iplik üretimi, kumaş üretimi, kumaşların terbiye işlemleri olmak üzere dört grupta incelenebilmektedir (Türkay Yılmaz, 2016).

Kesik halde ya da sonsuz uzunlukta filamalar biçimindeki elyaflar doğal ve fabrikasyon olarak iki grupta sınıflandırılmaktadırlar. Doğal elyaflar bitkisel ve hayvansal kökenli iken fabrikasyon elyaflar yapay ve sentetik kökenlidir (Göknil ve Saatçi, 1982).

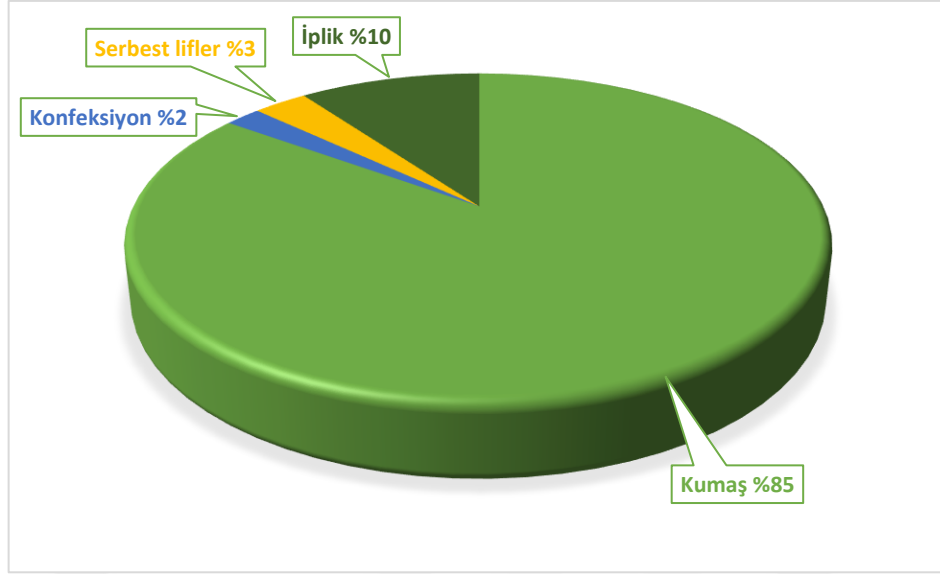
Tekstil endüstrisinde üretim liflerin özelliklerine göre değişmektedir. Üretim açısından değerlendirildiğinde yapılan işlemler kuru ve yaş prosesler olarak iki grupta incelenmektedir (Adane ve diğ., 2021).

İplik imalatı tamamen doğal lifler, tamamen kimyasal kesikli lifler ya da doğal ve kimyasal liflerin karışımıyla yapılmaktadır. Ancak kaygan yüzeyli spor giysileri gibi birkaç konfeksiyon ürününde tamamen filament iplikler kullanılmaktadır. Kesikli liflerin iplikler haline dönüştürülerek tekstil sanayinde kullanıma uygun hale getirilmesi iplik üretimini tanımlamaktadır (BAT Referans Dokümanı,2002). İplik üretiminde elyaftan iplik çekme yöntemi, eğirme yöntemi, çekerek büzme yöntemi ve akabinde hazırlık adımı olarak bobinlere aktarma ile bükme yöntemleri kullanılmaktadır (Türkay Yılmaz, 2016).

Kumaşlar; pamuk, yün, ipek gibi kesikli ve filament iplikler, çeşitli yöntemlerle bir araya getirilerek üretilmektedir. Bu iplikler birbirlerine dik ve paralel durumda iken ipliklerin alttan ve üstten geçirilmesi ile kumaş haline gelerek dokuma tekstil, örme tekstil, zemin örtüleri ve non-woven kumaşlara dönüştürülmektedir (Arslan, 2022 ; BAT Referans Dokümanı,2002). Bu işlemler kuru prosesler olarak adlandırılmaktadır. Kuru proseslerde çıkan atıklar çoğunlukla katı atıklar olarak değerlendirilmektedir (Adane ve diğ., 2021).

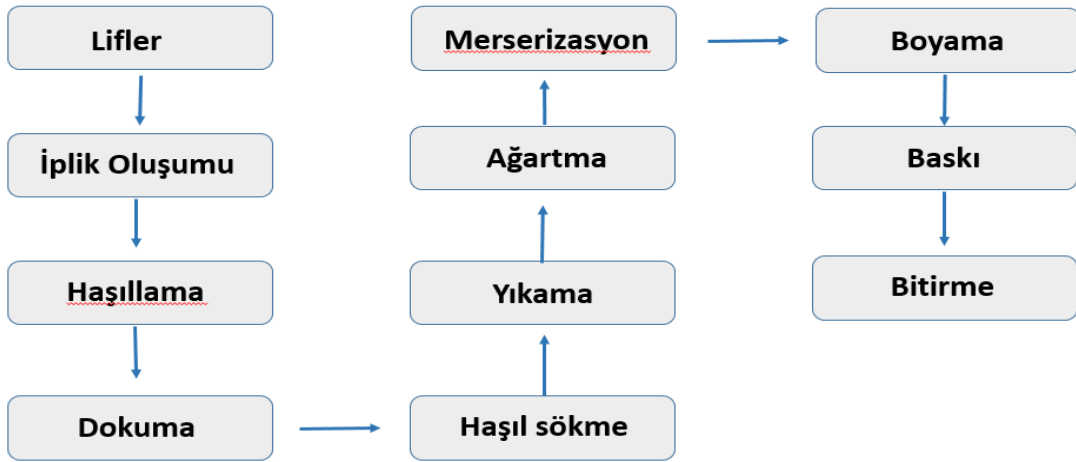
Kumaş terbiye işlemleri, tekstil ürününün üretim süreci esnasında gerçekleştirilen ve kumaşın tüketicinin talep ettiği duruma getirilmesi amacıyla uygulanan ıslak işlem süreçlerinin tamamını ifade etmektedir. Terbiye işlemleri elyaflar, iplikler, kumaşlar, hazır tekstil gibi tüm tekstil zincirinde uygulanabilmekle birlikte daha çok kumaşlarda ön plana çıkmaktadır.

Şekil 2.2’ de tekstil üretim zincirinde uygulanan terbiye işlemlerinin oransal dağılımı verilmektedir (Schönberger ve Schafer, 2003).



Şekil 2. 2: Tekstil proseslerinde uygulanan terbiye işlemlerinin oransal dağılımı (Schönberger ve Schafer, 2003).

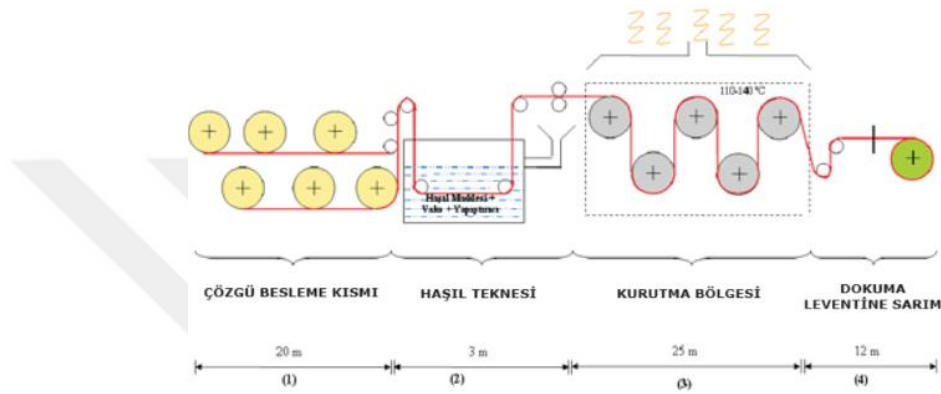
Terbiye işlemleri için haşıllama, haşıl sökme, ağartma, merserize etme, boyama ve apreleme gibi yaş proses yöntemleri uygulanmaktadır (Gökkuş, 2006). Islak işlem prosesi yöntemlerinde çok fazla su kullanıldığı için kirli ve kimyasal içerikli toksik atıksular daha çok bu aşamalarda meydana gelmektedir (Adane ve diğ., 2021; Kocaer ve Alkan, 2002). Şekil 2.3’ de liflerin üretiminde yer alan ıslak işlem proseslerine ait aşamalar gösterilmektedir (Adane ve diğ., 2021).



Şekil 2. 3: Islak işlem proses adımları (Adane ve diğ., 2021).

Haşıllama: Çözümlü iplikleri, kullanılırken dokuma makinelerinde tarak dişlerinden geçmesi, tefe vurma işlemleri vb. aşamalardan geçmektedir. Aynı hareketlerin tekrarlanması ve bu sebeple sürekli değişen gerilim ve sürtünme sebebiyle hırpalanıp zedelenmektedirler. Bu ipliklerin dirençlerini ve dokunabilirliklerini artırmak için doğal kaynaklı nişasta ve selüloz türevleri,

sentetik kaynaklı polivinil alkol ve akrilat gibi kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu işleme haşıllama adı verilmektedir. Haşıllama işlemi dokumada verim ve kalite artışı, kumaş yüzeyi pürüzsüzleşmesi gibi birçok avantajlara sahiptir (Sabır ve Sarpkaya, 2011). Bunun yanı sıra haşıl maddelerinin kullanılmasından kaynaklı oluşan atık su miktarı az olmasına karşılık atık suyu kirletme oranı fazla olup biyolojik oksijen ihtiyacını artıran en önemli sebepler arasında gösterilmektedir (Gökkuş, 2006). Şekil 2.2’de haşıllama işlemi gösterilmektedir (Sabır ve Sarpkaya, 2011).

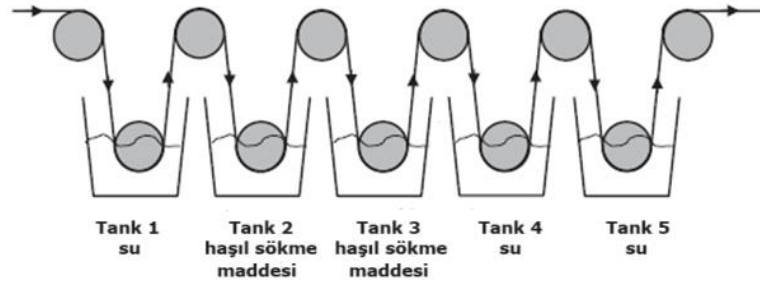


Şekil 2. 4: Haşıllama işlemi (Sabır ve Sarpkaya, 2011).

Yıkama ve Haşıl Giderme: Boyama ve diğer süreçlerden önce kumaş ve iplik kalitesini yükseltmek için elyaftan haşıl maddelerinin ve tozların haşıl giderme ve yıkama işlemiyle giderilmesi gerekmektedir. Suda çözünmeyen nişasta vb. kimyasal maddelerin bitkisel veya hayvansal enzimler ve asitler kullanılarak suda çözünebilir şekerler haline getirilerek hidrolize edilmesi haşıl sökme veya giderme olarak ifade edilmektedir.

Yıkama işleminde de sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum karbonat (Na_2CO_3) gibi bazik maddeler kullanılarak haşıl maddeleri ortadan kaldırılmaktadır. Haşıl maddesinin türü, sıcaklık, elyafın türü gibi faktörler yıkama verimliliğini etkilemektedir (Epa,1997; Tanapongpipat ve diğ., 2006; Biroğul, 2012; Göknil ve Saatçi, 1982). Bu işlemlerle tekstil atık sularının kirlilik yükü en az %30 oranında artış göstermektedir (Gökkuş,2006). Bu yüzden haşıl sökme işlemlerinin çevresel etkisini daha aza indirmek amacıyla amaca uygun haşıl maddelerinin tercih edilmesi gerekmektedir (BAT Referans Dokümanı, 2002).

Şekil 2.5’ te haşıl giderme işlemi görülmektedir (Tanapongpipat ve diğ., 2006).



Şekil 2. 5: Haşıl giderme işlemi (Tanapongpipat ve diğ., 2006).

Ağartma: Pamuk gibi doğal lifler ve diğer liflerin sarımsı veya kahverengi gibi kendilerine ait doğal renkleri ve çırcırlama, eğirme gibi çeşitli iplik ve kumaş üretim süreçlerinde oluşan diğer renk değişimlerinin çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak ortadan kaldırılma işlemidir (Abdel-Halim ve Al-Deyab, 2013; Gokarneshan, 2018; Abdel-Halim, 2012). Pamuk ve kumaşlar koyu tonlarda boyanırsa çoğunlukla ağartma işlemine gerek duyulmamaktadır (Xu ve diğ., 2011). Ağartıcı olarak genellikle hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılmaktadır (Abdel-Halim ve Al-Deyab, 2013). Bunun yanı sıra kireç kaymağı ($CaOCl_2$), sodyum hipoklorit ($NaOCI$) de ağartıcı madde olarak kullanılmaktadır (Türkay Yılmaz, 2016).

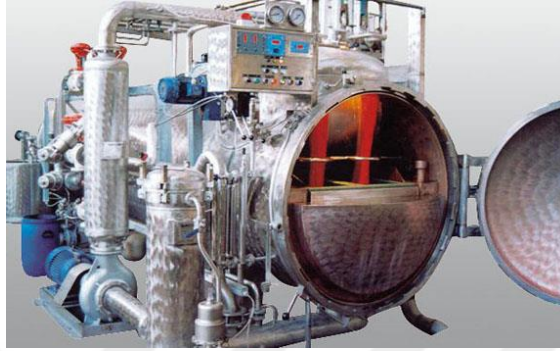
Tekstil atıksularındaki biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) yükünün neredeyse %5'i bu prosesten kaynaklanmaktadır (EPA,1997).

Merserize Etme: Liflerin ve kumaşın düzgün bir görünüm sağlaması ve böylelikle liflerin boya absorblaması ve mukavemetinin artması aynı zamanda elyafın parlaklığının artırılması amacıyla yapılan işlemdir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilmektedir. Ancak yüzde 15 ila 20'lik bir kısmı kostik (NaOH) kullanılarak soğuk işlemde geçirilmektedir (EPA,1997).

Merserizasyondan kaynaklanan bu atıksular, yüksek pH içeren alkali içeriğe sahip olsa da geri kazanılabilir ve yeniden kullanılabilirler (EPA,1997).

Boyama: İpliğe ve kumaşa renk kazandırmak amacıyla üretimin çeşitli aşamalarında uygulanan işlemler boyama olarak adlandırılmaktadır. Boyama işlemi ürüne çeşitlilik sağlayarak ürünün değerini artırmaktadır. Piyasada toz, granül, macun ve sıvı dispersiyon şeklinde boyalar bulunmaktadır. Genellikle tekstilde sentetik boyalar kullanılmaktadır (EPA,1997). İplik ve boyanın özelliği boyanın tekstil üzerine adsorbe olmasını etkilemektedir. Adsorbsiyonun etkisi zaman, sıcaklık, pH gibi faktörlerden etkilenmektedir.

Boyama işlemi atıksularda yüksek oranda kirlilik yüküne sahip olmakla beraber yüksek derecede renklilik ve atık meydana getirmektedir (Biroğul, 2012). İplik, kumaş, yün, pamuk gibi boyanan elyaf türüne ve kullanılan boyanın çeşitine göre farklı makineler kullanılmaktadır. Şekil 2.6’ da örnek bir boyama makinesi gösterilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).



Şekil 2. 6: Tipik bir boyama makinesi örneği (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

Boyalar ve özellikleri tez konusu kapsamında bulunduğundan bu kısım “İplik Boyama Endüstrisi” bölümünde daha detaylı olarak anlatılmıştır.

Apreleme: Birçok işlemden geçen ve fiziksel ve kimyasal özellikleri artık değişmiş olan kumaş yumuşaklık, sağlamlık, pürüzsüzlük, görünüş vs özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla doğal ve sentetik balmumu, nişasta (kola), amonyum ve çinko klorit, sentetik reçineler, yumuşatıcı maddeler ve farklı spesifik kimyasallar kullanılarak işlenir. Bu işlem apreleme olarak isimlendirilmektedir. Apreleme işleminde kullanılan kimyasallar ile su geçirmeme, yanmama, küflenmeme gibi kaliteyi artıracak nitelikler sağlanmaktadır (Gökkuş,2006; Biroğul, 2012).

Tekstil endüstrisinde işlenen elyafın cinsine bağlı olarak ne tür proses ve işlemlerden geçeceği belirlenmektedir. Genellikle kullanılan elyaflar pamuklu, yünlü, sentetik olmak üzere başlıca 3 grupta sınıflandırılmaktadır. Örneğin yünlü elyaflar çok fazla kirlilik taşıdığı için başlangıçta yıkanması ve sonrasında iplik haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu ilk yıkama gereksinimi ile yünlü tekstil sentetik ve pamuk elyaflardan ayrılmaktadır (Adane ve diğ., 2021; Biroğul, 2012).

2.1.3. Türkiye’de Tekstil Sektörünün Genel Durumu

Büyük ve orta ölçekli sanayilerin ilerlemesi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin büyümesi ve modernleşmesinde en önemli faktörlerden biridir. Bu bağlamda çeşitli istihdam olanaklarının

ve farklı ekonomik sektörlerle etkileşiminin olması nedeniyle tekstil endüstrisi, ülkeleri özellikle ekonomide ileriye taşıyacak sektörlerin başında yer almaktadır (Adane ve diğ., 2021).

Türkiye’de de tekstil ve konfeksiyon sektörü sanayileşme ve ülke ekonomisine büyük miktarda katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle tekstil sektörü Türk ihracat sektöründe en önemli rolü üstlenerek güçlenmeye devam etmekte ve otomotiv sektöründen sonra 2.sırada yer almaktadır. Bu durum şu anda ülkemizin sektör anlamında gelişim düzeyini etkilediği gibi ilerleyen yıllarda da dünya çapında gerek komşu ülkelerle gerek dünya ülkeleriyle ikili ekonomik ilişkilerin de gelişme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Çukul, 2008; Güyer,2016). Bu gelişimde ülkemizin 1996 yılında AB ile yaptığı Gümrük Birliği Anlaşması ile Avrupa Birliği pazarına kotasız ihracat yapmaya başlamasının da katkısı olmuştur.

Türkiye’de tekstil sektörü toplam ihracat sektörünün yaklaşık %40’ını karşılamakta olup, %10’luk oranda toplam endüstriyel işgücüne katkıda bulunmaktadır (Gönüllü, 2021).

2021 yılında Türkiye % 4,25 oranıyla ülkeler arasında dördüncü, dünya hazır giyim ihracatından aldığı %3,7’lik oran ile altıncı büyük ihracatçı konumuna gelmiştir. Aynı zamanda THD (tekstil, hazır giyim, deri) sektöründe imalat sanayi değerinin %15’ini ve oluşan katma değer %16’sını istihdam ve dış ticaret fazlası ile karşılamaktadır. Bu rakamlar ülkemizi dünyanın önde gelen tekstil ve hazır giyim üreticisi konumuna yükseltmektedir (STB,2022). Tablo 2.2’ de tekstil sektöründe dış ticaret konusunda Türkiye’nin diğer ülkelere göre konumu görülmektedir (STB, 2022).

Tablo 2. 2: Tekstil dış ticaretinde öne çıkan ülkelere Türkiye’nin konumu (STB, 2022).

Ülke Adı	2019 Değer (1.000 \$)	2020 Değer (1.000 \$)	2021 Değer (1.000 \$)	2020/2021 Değişim	2021 Pay
Çin	122.335.115	156.072.263	133.589.050	-%14,40	%35,00
Hindistan	19.243.533	17.381.028	26.264.324	%51,10	%6,90
ABD	20.910.426	18.660.071	20.382.708	%9,20	%5,30
Türkiye	12.511.407	12.342.286	16.163.088	%31,00	%4,20
Almanya	14.374.630	14.389.755	15.580.284	%8,30	%4,10
İtalya	12.226.264	10.079.343	12.482.309	%23,80	%3,30
Vietnam	9.386.232	10.069.052	11.218.390	%11,40	%2,90
Güney Kore	10.737.486	9.096.027	10.264.387	%12,80	%2,70
Pakistan	7.853.099	7.420.051	9.615.399	%29,60	%2,50
Tayvan	8.711.037	7.154.869	8.576.975	%19,90	%2,20
Hollanda	6.014.731	6.165.093	7.308.548	%18,50	%1,90
Belçika	6.644.291	6.198.551	6.989.562	%12,80	%1,80
Japonya	7.209.413	6.095.630	6.746.703	%10,70	%1,80
Fransa	5.331.249	4.737.392	5.571.565	%17,60	%1,50

Tablo 2.2 (devam): Tekstil dış ticaretinde öne çıkan ülkelerde Türkiye'nin konumu (STB, 2022).

Hong Kong	6.329.867	5.346.832	5.291.209	-%1,00	%1,40
İspanya	4.821.542	4.174.389	5.266.286	%26,20	%1,40
Endonezya	4.592.431	3.564.991	4.548.783	%27,60	%1,20
Avustralya	3.631.080	2.148.947	4.392.949	%104,40	%1,20
Brezilya	3.407.835	3.929.463	4.322.574	%10,00	%1,10
Tayland	4.464.258	3.687.355	4.256.515	%15,40	%1,10
Liste Toplamı (İlk 20 Ülke)	290.735.926	308.713.388	318.831.608	%3,30	%83,60
Diğer Ülkeler	58.067.750	55.758.665	62.515.760	%12,10	%16,40
Genel Toplam	348.803.676	364.472.053	381.347.368	%4,60	%100,00

Tekstil sektörü uygulamalarında artışın olması, tatlı suya olan talebin ve su tüketiminin de daha fazla olmasını beraberinde getirmektedir. Ülkemizde tekstil sektörü tatlı su kullanımında ikinci sırada(toplamda %15) yer almaktadır. Örneğin tekstil sektörünün yoğun olduğu Ergene Bölgesi'nden tekstil kaynaklı günlük tonlarca metreküp atıksu havzaya aktarılmaktadır (Güyer ve diğ., 2016). Bu yüzden Türk tekstil endüstrisinde su kaynaklarının kirliliğinin önlenmesi ve su tüketiminin azaltılmasına yönelik katı deşarj standartları uygulanmaya başlanmıştır. Bu durum endüstrileri zorlamaktadır. Bu nedenle endüstriler daha temiz üretim yapmak ve suyu geri kazanmak amacıyla yeni yöntem arayışı içerisinde bulunmaktadır (Öztürk ve diğ., 2016). ‘‘Atıksuların alıcı ortama deşarj standartları Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği ‘‘ile belirlenmektedir.

2.1.4. Tekstil Endüstrisi Atıksuları Karakteristiği

Tekstil endüstrisinin birçok alt kategorizasyona sahip olması ve müşteri talebi üzerine çeşitli proseslerle üretim gerçekleştirmesi nedeniyle atıksu bileşiminde farklılıklara neden olmaktadır. Buna bağlı olarak atıksu karakterizasyonu da kullanım amacına göre değişkenlik göstermektedir (Bisschops ve diğ., 2008; Aydın, 2012). Tekstil atıksularının bileşenleri içerisinde yüksek organik madde, boyarmaddeler, toksik kimyasallar ve sodyum hidroksit, gibi inorganik bileşikler ile asit sodyum klorür ve deterjanlar bulunmaktadır (Azanaw ve diğ., 2022).

Tekstil endüstrisinde çevre kirliliğine yol açan en büyük kirleticiler boyalar ve pigmentler olup tekstil ürünleri üretimi sırasında ortalama 700.000 ton boya çeşidi ve 8000 den fazla kimyasal madde kullanılmaktadır (Mishra ve diğ., 2019).

Literatürdeki verilere göre, tekstil üretim sürecinde birçok proses için kullanılan su miktarının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle en fazla su ve enerji tüketen sektörlerden birisi de tekstil endüstrisidir (Oral ve diğ., 2011; Varadarajan ve Venkatachalam,2016; Fersi ve diğ.,

2005). Bilinska ve diğ erleri (2017) tarafından bildirilene göre, 1 kg ürün için 300 litre atıksu kullanılmaktayken, Varadarajan ve Venkatachalam (2016) tarafından bildirilen verilere göre, ortalama büyüklükteki bir tekstil işletme ünitesinin yaklaşık olarak 125 litre su tüketimi bulunmaktadır. Azanaw ve diğ erlerinin (2022) bildirdiğine göre ise bitmiş bir tekstil ürününde kilogram başına 50-240 litre aralığında su kullanımı mevcuttur.

Yaş ve kuru prosesler olarak ikiye ayrılan tekstil endüstrisinde kuru proseslerde çok fazla atıksu oluşmazken, haşılama, haşıl sökme, temizleme, ağartma, merserize etme, boyama, bitirme gibi yaş prosesler atıksuyun çok daha fazla oluştuğu işlemlerdir (Adane ve diğ ., 2021; Verma ve diğ ., 2012; Delee ve diğ ., 1998; Xu ve diğ ., 2011).

Diğ er endüstrilere göre tekstil endüstrisi, atıksu bileşimi ve hacmi ile değerlendirildiğinde kirletici özelliğ inin daha fazla olduğu bilinmektedir (Emreol Gönlüğü,2019). Atıksuda boyalar, pigmentler, inorganik tuzlar, reçine, yüzey aktif maddeler, enzimler, ağır metaller, asit ve bazlar, tekstil yardımcı maddeleri gibi farklı organik ve inorganik bileşiklerin kullanılması kimyasal kirlilik yükünü de beraberinde getirerek endiş e kaynağı olmaktadır. Yüksek organik madde, renk gibi birçok kirlilik parametrelerini oluşturan bu etmenler, elyaf türlerine ve kullanılacak teknolojilere bağlı olarak farklılık göstermektedir (Sharma ve diğ ., 2007; Gürtekin ve Şekerdağ, 2008; Öztürk ve diğ ., 2016). Bunula birlikte atıksu arıtımında en önemlenecek parametrelerden birisinin boyalar olduğu bilinmektedir (Gürtekin ve Şekerdağ, 2008).

Kompozit tekstil atıksuyu; KOİ, BOİ, renk, askıda katı madde toplam çözünmüş katı madde ve pH içeriğ i ile karakterize edilmektedir (Varadarajan ve Venkatachalam,2016; Gürtekin ve Şekerdağ, 2008; Curic ve diğ ., 2021).

Tablo 2.3.' te Wang ve diğ erleri (2020)' ne göre tekstil atıksularının genel karakteristiğ ine ait bilgiler yer almaktadır.

Tablo 2. 3: Tekstil endüstrisi atıksuyu karakteristiği (Wang ve diğ., 2020).

Kod	Parametreler	Değerler
1	pH	6-10
2	Sıcaklık (°C)	35-45
3	BOİ (mg/L)	80-6,000
4	KOİ (mg/L)	150-12,000
5	Yağ (mg/L)	10-30
6	Toplam askıda katı madde (mg/L)	15-8,000
7	Serbest amonyak	<10
8	Toplam çözünmüş katı madde (mg/L)	2,900-3,100
9	Klorit (mg/L)	1,000-1,600
10	Sodyum (mg/L)	70
11	Eser elementler (mg/L)	<10
12	Silika (mg/L)	<15
13	Kjeldal azot (mg/L)	70-80
14	Renk (platin-kobalt)	50-2,500

Tekstil atıksularında boyama ve terbiye işlemleri en büyük kirlletici sebeplerindendir (Wang ve diğ., 2020) Yıkama ve haşıl giderme atıksudaki kirlilik yükünü %30 oranında artırırken haşıllama işlemi tekstil atıksularında en yüksek BOİ oluşturan etmenler arasındadır. Bununla birlikte ağartma prosesi %5 BOİ yükünü oluşturmaktadır. Boyama işleminde yüksek miktarda oluşan kirlilik yükünün yanı sıra renk problemi de giderilmesi gereken işlem olarak bilinmektedir (EPA, 1997; Gökkuş, 2006).

Correia ve diğerlerine (1994) göre bazı elyaf türlerine göre yaş prosesler esnasında kullanılan su miktarları ve getirdiği kirlilik yükü miktarları Tablo 2.4.' te gösterilmektedir.

Tablo 2. 4: Yaş proseslerde kullanılan su miktarı ve kirlilik yükleri (Correia ve diğ., 1994).

Elyaf	Proses	pH	BOİ5 (mg/l)	TKM (mg/l)	Su kullanım (l/kg)
Pamuk Yün Naylon	Haşıl sökme	---	1.700-5.200	16.000-32.000	3-9
	Piştirme	10-13	50-2.900	7.600-17.400	26-43
	Kasar	8,5-9,6	90-1.700	2.300-14.400	3-124
	Merсерizasyon	5,5-9,5	45-65	600-1.900	232-308
	Boyama	5-10	11-1.800	500-14.100	8-300
	Piştirme	9-14	30.000-40.000	1.129-64.448	46-100
	Boyama	4,8-8	380-2.200	3.855-8.315	16-22
	Yıkama	7,3-10,3	4.000-11.455	4.830-19.267	334-835
	Nötralizasyon	1,9-9	28	1.241-4.830	104-313
	Kasar	6	390	908	3-22
	Piştirme	10,4	1360	1882	50-67
	Boyama	8,4	368	641	17-33

Tablo 2.4 (devam): Yaş proseslerde kullanılan su miktarı ve kirlilik yükleri (Correia ve diğ., 1994).

Akrilik Polyester Viskon	Piştirme	9,7	2190	1.874	50-67
	Boyama	1,5-3,7	175-2.000	833-1.968	17-33
	Son Durulama	7,1	668	1.191	67-83
	Ön Terbiye	---	500-800	---	24-42
	Boyama	---	480-27.000	---	17-33
	Son Durulama	---	650	---	17-33
	Ön Yıkama, Boyama	8,5	2832	3.334	17-33
	Tuz Banyosu	6,8	58	4.890	4-13
Asetat	Ön Yıkama, Boyama	9,3	2.000	1.778	33-50

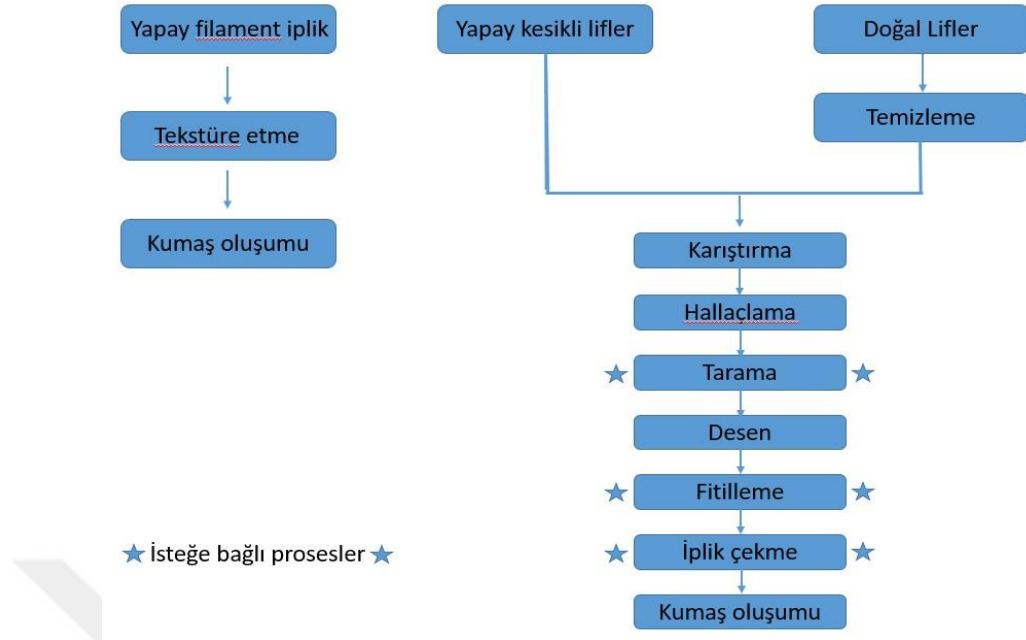
2.2. İPLİK BOYAMA ENDÜSTRİSİ

2.2.1. İplik Üretimi

İplik üretimi doğal ve sentetik elyafların grüplama ve büküm işlemlerinden geçerek elde edilmektedir (EPA, 1997; Schonberg and Schafer, 2003; Adane ve diğ.,2021). Grüplama ve büküm işlemlerini takip eden eğirme işlemleri de iplik oluşumunun bir sürecidir. (EPA,1997). Doğal ve sentetik hammaddelerden oluşan gevşek bir şekilde toplanmış elyaflar çeşitli işlemlerden geçerek eğirme işlemine tabi tutulmaktadır. Elyaf balyalarını yabancı maddelerden arındırmak, kısa lif ve şeritler oluşturmak amacıyla kardelenip taranma işlemi gerçekleştirilmektedir. Eğirme işlemiyle bu şeritler bükülerek iplik halinde uzatılmaktadır (Kalliala ve Talvenmaa, 2000).

Eğrilmiş ve filament iplikler tekstil ürünün temelini oluşturmaktadır. İpek dışında çoğu filament yapay hammaddelerden elde edilmektedir (Kalliala ve Talvenmaa, 2000). Yapay elyaflar filament iplikler ve şapel elyaflar şeklinde iki formda işlenmektedirler. Filament iplikler, uzun ve sürekli filamentler şeklinde üretilebilmektedirler. Bir dokuma veya örme işlemine tabi tutulmadan önce veya sonra kullanılabilirler. Yapay elyaflar aynı zamanda şapel uzunlukta elyaflar halinde işlenebilmektedirler. Bu şapel elyaflar, daha kısa ve kesik parçalardan oluşup doğal liflerin uzunluğuna benzeyebilmektedirler. Şapel elyaflar, önce eğrilip sonra iplik haline getirilmektedirler.

Doğal elyafların iplik oluşturma sürecinde ise açma, harmanlama, tarama gibi hazırlık aşamaları bulunmaktadır. Şekil 2.7 iplik oluşum süreçlerini göstermektedir (EPA,1997).



Şekil 2. 7: İplik üretim süreçleri (EPA,1997).

Boyama işlemi, lifler ve boya arasındaki uyumdur. Boyalar liflere fiziksel ya da kimyasal olarak ya da her iki şekilde bağlanabilmektedirler. Bu uyum boyanın lif üzerinde istenildiği gibi kalıcı etki bırakmasını sağlamaktadır (Adane ve diğ., 2021).

İplik boyama işleminde haşılama ve haşıl sökme prosesleri kullanılmamaktadır. Bu özelliği ile dokuma kumaş terbiye proseslerinden, merserize işlemi ve su kullanımı konusunda da örme kumaş terbiye işlemlerinden ayrılmaktadır (UNEP, 1994).

İpliklerin boyanması sürecinde, ipliğin türü, yapısı ve kullanım amacı gibi faktörlerle ilişkili olarak kimyasal yapıları ve türleri farklı olan boyarmaddeler kullanılmaktadır. Kullanılmakta olan boyarmaddeler boyama kalitesini de etkilemektedir. Tablo 2.5’ te Yazır, (2011)’a göre farklı liflerde kullanılan boya türleri ve boyaların karakteristik özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2. 5: Boya türleri ve karakteristiği (Yazır, 2011).

Boyarmadde	Karakteristik	Lif	Fikse Oranı	Tipik Kirleticiler
Asit	Suda çözünabilir anyonik bileşiklerdir	Polyamid, yün	80-93	Renk, Organik Asitler
Bazik	Suda çözünabilir parlak renkli	Akrilik, bazı polyesterler	97-98	Renk
Direkt	Suda çözünabilir amonyak bileşiklerdir	Selüloz, rayon	70-95	Renk, katyonik fiksator, yüzeyaktif madde, köpük kırıcı, egalizator
Kükürt	Kükürt içeren organik bileşikler	Selüloz ve türevleri	60-70	Renk, alkali, oksidatif ve redüktif maddeler

Tablo 2.5 (devam): Boya türleri ve karakteristiği (Yazır, 2011).

Dispers	Suda çözülmez	Polyester, asetat diğer sentetikler	80-92	Renk, organik asitler, keriver egalizatör, köpük kırıcı, dispergator
Reaktif	Suda çözülebilir anyonik bileşikler, en geniş sınıf	Selüloz ve türevleri, Yün	60-90	Renk, tuz, alkali, köpük kırıcı ve yüzeyaktif maddeler
Kükürt	Kükürt içeren organik bileşikler	Selüloz ve türevleri	60-70	Renk, alkali, oksidatif ve redüktif maddeler
Küp	Suda çözünmez kompleks yapılar	Selüloz ve türevleri	80-95	Renk, alkali, oksidatif ve redüktif maddeler

İplik boyama endüstrisinde amaç; ipliklerin boyanmasıyla, dokuma işleminde birbirinden farklı ekoseler, şeritler ve desenler oluşturmaktır. Boyar madde boyama ile iplik liflerine nüfuz etmektedir (EPA, 1997). İplikleri boyalı olan dokunmuş kumaşlar görünüm olarak daha canlı ve zengindirler. İplik boyama işlemi farklı şekillerde yapılmaktadır. Çile, bölgesel, bobin, çözgü boyama bunlardan bazılarıdır (Yazır, 2011). Şekil 2.8’ de bobin boyama yöntemine bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 2. 8: Boyama kazanından çıkan boyanmış bobinler.

Bobin boyama işleminde iplikler boyama patronu adı verilen bobinlere sarılarak özel boyama kazanlarında belirli bir basınç ve sıcaklıkla boyanmaktadır. Boyama aparatları genellikle silindir biçimindedirler (Yazır, 2011). Şekil 2.9 ’da boyama kazanlarına bir örnek gösterilmektedir.

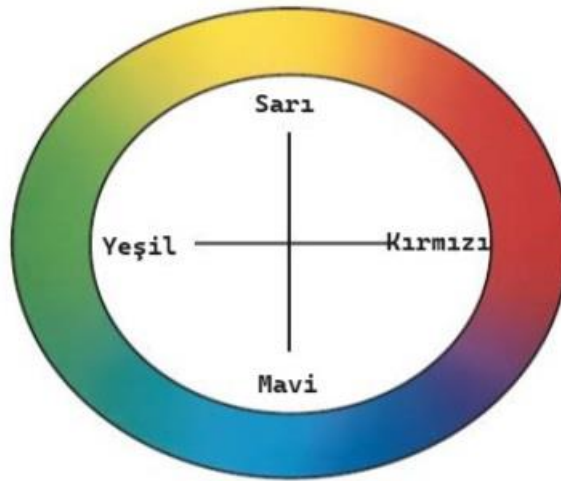


Şekil 2. 9: Boyama kazanları.

Birçok endüstri dalı boyama işlemiyle çeşitli boyar maddeler kullanmaktadır. Ancak tekstil endüstrisi bu kullanımda daha fazla yer almaktadır. Bunun bir sonucu olarak boya kaynaklı toksik atıksu en fazla tekstil endüstrisi tarafından oluşturulmaktadır (Donkadokula ve diğ., 2020).

2.2.2. Boyama Endüstrisinde Kullanılan Boyarmaddeler

Bütün organik bileşikler elektromanyetik enerjiyi emerler ancak insan gözü ile renklerin görülebilir aralığı ~350-700 nm dalga boyları arasındır (Van der Zee, 2002). Brad (2016)'ya göre görüp algıladığımız renk bileşenleri Şekil 2.10.' da renk tekerleğinde verilmiştir.



Şekil 2. 10: Algılanabilen renk bileşenleri (Brad, 2016).

Görülebilir aralıktaki rengi oluşturan organik bileşikler doymamış kromofor grubunu taşımakta ve kromojen adını almaktadır. Kromojenler kromoforlarla birlikte oksokrom denilen amino [$-NH_2$], yer değiştiren amino [NHR , $-NR_2$], hidroksil [$-OH$], metoksil [$-OCH_3$], sülfonik [SO_3H]

ve karboksil [COOH] gruplarını da içerdği zaman boyar madde haline gelebilmektedir (Ölmez,1999). Bilinen kromoforlar ise $[-C=C-]$, $[-C=N-]$, $[-C=O]$, $[-N=N-]$, $[NO_2]$ 'dir (Van der Zee ve Villaverde ,2002).

Boyarmaddeler suda renk vererek çözünen, uygulandığı cisimde renklilik oluşturan, uygulandığı yüzey ile kimyasal ya da fizikokimyasal değişiklik oluşturarak cismin yüzey yapısını değiştirerek cismin renklenmesini sağlayan organik yapıları maddeler olarak tanımlanmaktadır (Gökkuş,2006; Bayrak,2022). Genellikle suda çözünabilir yapıda oldukları bilinen boyar maddelerin, bir kısmı da proses sırasında çözünabilirlik kazanmaktadır. Bu sebeple suda ve sonraki aşamalarda çözünemeyecek duruma gelmektedirler (Ölmez,1999).

Tekstil endüstrisinde boyar maddeler; toz, granül, macun, sıvı dispersiyon şeklinde büyük miktarlarda petrol bazlı ya da kömür katranından elde edilen sentetik ürün olarak; pamuklu, keten, yün, ipek gibi doğal kumaşların ve viskon, rayon, poliamid, poliakrilik elyafları renklendirme amacıyla kullanılmaktadır (EPA,1997; Biroğul,2012). Boyar maddelerin kimyasal yapısı ve uygulandığı ipliğin türü, boyar maddenin ipliğe nasıl ve ne kadar adsorbe olacağını belirlemektedir(Kocaer ve Alkan 2002). Aynı zamanda boyar maddenin ne kadar kullanılacağı da boyanın renk tonuna bağlı olarak değişmektedir (Kalliala ve Talvenma, 1999).

2.2.3. Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

4000 yıldan daha fazla süredir var olan tekstil boyama endüstrisinde 150 yıl öncesine kadar boyalar doğal yollarla elde edilmekteyken günümüzde daha çok sentetik boyalar; daha ucuz ve daha parlak olması, daha pratik kullanımı sebebiyle tercih edilmektedir (Ferreira ve diğ., 2004).

Boyar maddeler literatürde kimyasal yapısı, rengi, uygulama metotları, boyama özellikleri, çözünürlükleri gibi çeşitli yöntemlere ayrılarak sınıflandırılmaktadır (Savcı,2019; Gökkuş,2006). Sınıflandırmada boyar maddelerin boyama özellikleri bakımından hangi gruba girdiği daha çok ön plana çıkmaktadır(Gökkuş,2006).

2.2.3.1. Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırma

Suda çözünen boyar maddeler ve suda çözünmeyen boyar maddeler olarak iki grupta incelemek mümkün olmaktadır (Yılmaz,2018).

1-Suda Çözünabilen Boyar Maddeler: Boyar maddelerin moleküler yapısındaki tuz gruplarının karakteristik yapılarına göre 3 başlıkta incelenmektedir.

- a)Anyonik suda çözünebilen boyar maddeler
- b)Kasyonik suda çözünebilen boyar maddeler
- c)Zwitter iyon katkılı boyar maddeler

2-Suda Çözünmeyen Boyar Maddeler: Bu grup boyar maddeler 6 başlıkta incelenmektedir.

- a)Substratta çözünen boyar maddeler
- b)Organik çözücülerde çözünen boyar maddeler
- c) Geçici çözünürlüğü olan boyarmaddeler
- d) Polikondensasyon boyarmaddeleri
- e)Elyaf içinde oluşturulan boyarmaddeler
- f)Pigmentler

2.2.3.2. Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırma

Boyar maddelerdeki molekülün temel yapısı, kromojen ve renk verici kısmı da göz önünde bulundurularak kimyasal yapılarına göre sınıflandırma yapılmaktadır. Kimyasal yapılarına göre 7 kategoride sınıflandırılmaktadır (Yılmaz,2018).

- a) Azo Boyar Maddeleri
- b) Nitro ve Nitrozo Boyar Maddeleri
- c) Polimetin Boyar Maddeleri
- d) Arilmetin Boyar Maddeleri
- e) Aza Anulen Boyar Maddeleri
- f) Karbonil Boyar Maddeleri
- g) Kükürt Boyar Maddeleri

2.2.3.3. Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırma

Boyama özelliklerine göre sınıflandırma boyar maddenin elyafa bağlanma şekline dayanmaktadır. Bu bağlamda boyar maddelerin boyama özelliklerine göre hangi sınıflandırmada olduğu daha çok dikkate alınmaktadır (Gökkuş, 2006).

Tablo 2.6’da boyar maddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması ve Tablo 2.7’de kullanılan elyaf türlerine göre boyaların sınıflandırılması yer almaktadır (EPA, 1997).

Tablo 2. 6: Boyaların boyama özelliklerine göre sınıflandırılması (EPA, 1997).

Boya Sınıfı	Özelliği
Asit Boyalar	Suda çözünen anyonik bileşenler.
Bazik Boyalar	Suda çözünen, zayıf asidik boyar maddeler, çok parlak boyalar.
Direkt Boyalar	Suda çözünen, anyonik bileşenler. Mordantsız selülozklere doğrudan uygulanabilme.
Dispers Boyalar	Suda çözünmeyen boyalardır.
Reaktif Boyalar	Suda çözünebilen, anyonik bileşenler, en geniş sınıf aralığına sahip.
Sülfür Boyalar	Sodyum sülfatın sülfür içeren organik bileşenleri.
Vat Boyalar	En eski boyalar, kimyasal yapıları fazlaca karışık, suda çözünmemeye.

Tablo 2. 7: Elyaf türlerine göre boyaların sınıflandırılması (EPA, 1997).

Pamuk	Yün	İpek	Polyester	Polyester Pamuk
Direkt boya		Asit boya	Dispers boya	Dispers boya
Reaktif boya	Asit boya	Direkt boya	Azo boya	Vat boya
Vat boya				
Azo boya				

2.2.3.4. Dispers Boyar Maddeler

Önceleri selüloz asetat liflerinde boyama gerçekleştirmek için üretilen dispers boyalar; polyester liflerine daha iyi renk verdiği tecrübe edildiğinde hızla gelişerek sentetik liflerde en çok kullanılan boyar madde olarak yerini almıştır (İyizaman,2014). Dispers boyaların polyester, selüloz asetat için uygulanırken aynı zamanda naylon ve akrilik boyama için de elverişli kullanım alanına sahip olduğu bilinmektedir (Türkoğlu, 2007).

Dispers boyalar noniyonik (nötral) karakterleri sebebiyle suda çok az çözünmektedirler. Moleküllerin noniyonik yapılarının yanı sıra içerdikleri –OH veya –NH₂ gibi gruplar su ile ilişkiye girebilmektedirler. Düşük molekül ağırlığına sahip olan bu bileşikler amino ve hidroksil grubunu içermektedirler. Bu boyar maddeler, çözünmeyen “basit azo boyarmaddeleri” ve “çözünmeyen aminoantrakinon boyarmaddeleri” olarak iki sınıfta toplanmaktadır (Biroğul, 2012). Bunun dışında metal kompleks içeren türleri de vardır (Baser ve diğ.,1990).

Sentetik elyaf dispers boya ile boyanırken sulu süspansiyon çözeltisi kullanılmaktadır. Boyama sırasında eser miktarda çözünmüş halde bulunmaları tamamıyla çözünmez olmadıklarını göstermektedir. Boyar madde ile elyaf buluştuğunda boyar maddenin bir kısmını elyaf içine alırken aynı oranda boyar madde de tekrar çözeltinin içine geçmektedir. Bu işlem boyama bitene kadar tekrarlanmaktadır (Türkoğlu, 2007). Dispers boyalar iplik ve kumaşlara 110 - 130°C aralığındaki yüksek sıcaklıklarda uygulanmaktadır.(Baser ve diğ.,1990). Genellikle pH 4,5-5,5 aralığında boyama işlemi uygulanmaktadır (Yazır, 2016).

2.2.4. Boyama Atıksuları Karakteristiği

Boyama endüstrisi kaynaklı atıksular içerdiği kimyasallar ve toksik etkileri nedeniyle tehlikeli atıksular olarak kabul edilmektedir. Bu atıksuların doğrudan deşarj edilmesi; insan sağlığı için kanserojen , ekosistem ve özellikle su ekosisteminde yaşayan organizmalar ve balık türleri için mutajen etkilere sebep olabilmektedir (Azanaw ve diğ.,2022; Yusuff ve Sonibare, 2004). Tablo 2.8’de en sık kullanılan boyalardan biri olan azo boyaların insan sağlığı üzerindeki etkileri gösterilmiştir (Wang ve diğ., 2020).

Tablo 2. 8: Azo boyar madde türlerinin insan sağlığına olan etkileri (Wang ve diğ., 2020).

Boyalar	Toksosite ve yan etkileri
Asit fuşin	Akut oral toksisite ve nörotoksosite
Kök kırmızısı	Klastojenisite, aşırı duyarlılık, çevresel toksisite, östrojenisite, genotoksosite, ışıkla indüklenabilir toksisite, mutajenisite ve akut oral toksisite
Oramin O	DNA zararı, mutajenisite, hücre zehirlenmesi, kanser üretkenliği ve genotoksosite
Kongo kırmızısı	Bakteri, maya, yosun, tek hücreliler vasıtasıyla zehirli, genotoksosite, mikrobiyal toksisite, kanser üretkenliği, hücre zehirlenmesi, mutajenisiteye neden olma
Kristal mor	Kromozom zararı, mutajenisite, hücre zehirlenmesi, deri yoluyla toksisite ve akut oral toksisite
Turuncu-II	Kanser üretkenliği, balık toksisitesi, mutajenisite ve diğer çevresel toksisite
Eozin Y	Çevresel toksisite, kanser üretkenliği, mutajenisite, kardiyojenisite, nükleik asit zararı, mikrobiyal toksisite, akciğer ve deri toksisitesi, tekrarlayıcı toksisite
Metil turuncu	Mutajenisite, kanser üretkenliği ve genotoksosite
Bakırtaşı yeşili	Genotoksosite, mitokondriyal toksisite, kronik toksisite, DNA zararı
Metilen mavisi	Mikrobiyal toksisite, mutajenisite, hematoksosite, nükleik asit zararı, teratogenisite, fotodinamik toksisite, tekrarlayıcı toksisite ve atık madde toksisitesi
Rodamin 6G	Kanser üretkenliği, mutajenisite, genotoksosite ve DNA zararı

Atıksu arıtımında önemsenecek parametrelerden en önemlilerinden birinin boyalar olduğu ifade edilmektedir (Gürtekin ve Şekerdağ, 2008). Dünya genelinde üretilen boya atıksularının %54'ü tekstil atıksuyundan kaynaklanmaktadır (Rafıqul İslam ve Mostafa, 2020) ve yılda ortalama 280.000 ton tekstil kaynaklı boyalı atıksu çevreye salınmaktadır (Wang ve diğ., 2020). Endüstride kullanılan kimyasal türleri, boya ve baskı işlemleri kirleticilerin türünü belirlemektedir (Rafıqul İslam ve Mostafa, 2020).

Tablo 2. 9: Boyama atıksuyu karakteristiği (Kocaer ve diğ., 2002).

Boya türü	Elyaf çeşidi	Renk ADMI	BOİ, mg/L	TOK, mg/L	AKM, mg/L	ÇKM, mg/L	pH
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5.1
1:2 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. 10: Tekstil üretiminden kaynaklanan boya atık sularının yüzdesi ve bileşimi(Adesanmi ve diğ., 2022).

İşlem prosesi	Boya atık su deşarjının %'si	Atık su kompozisyonu	Atık su karakteristiği
Haşıl sökme	% 21	Nişasta, karboksimetil selüloz, polivinil alkol, parafinler, amonyak	Yüksek BOİ ve KOİ, çözülmüş katılar
Yıkama	% 52	Parafinler, kostik soda, yüzey aktif maddeler, soda külü	Yüksek KOİ, çözülmüş katılar
Ağartma	%62	Kostik soda, hipoklorit, yüzey aktif madde, asitler, klorin, hidrojen peroksit	Alkalinite, askıda katılar (AKM)
Merserizasyon	% 4	Sodyum peroksit, pamuk parafin	Yüksek pH, düşük BOİ, yüksek çözünmeyen katılar
Boyama	% 85	İndirgeyici ajanlar, yükseltgen ajanlar, deterjanlar, boyar maddeler, üre, suda eriyen madde	Yüksek renk, ağır metaller, yüksek BOİ, düşük AKM
Baskı	% 13	Zamk, nişasta, bağlayıcılar, yağ, indirgeyici ajanlar	Yüksek renk, yüksek BOİ, yağlı görüntü, AKM
Bitirme	% 58	Klorlu bileşikler, parafinler, inorganik tuzlar, yumuşatıcılar	Düşük BOİ, düşük alkali, düşük toksisite

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), boyar maddeler, pH, toplam çözülmüş katılar, bulanıklık vs. bileşenlere sahip tekstil endüstrisi atıksularının alıcı ortama deşarj edilmesi, su ve ekosistem üzerinde ciddi zararlar meydana getirerek çevre sorunlarına yol açmaktadır.(Azanaw ve diğ., 2022). Günümüzde, yeraltı suyu rezervlerinin azalması sorunuyla karşı karşıya kalındığı da düşünüldüğünde, su kaynaklarının etkin bir şekilde idare edilmesi ve tekstil atıksularının sürdürülebilirlik çerçevesinde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir ve ileri teknolojiler kullanılarak tekstil üretiminde atık oluşumunu azaltacak tedbirlerle atıksuların geri kazanımı, suyun verimli bir şekilde kullanılması ve yeraltı suyu rezervlerinin korunması sağlanabilir. Bu gerçekten yola çıkarak, endüstriyel tesisler artan bir şekilde atık su geri kazanım alternatiflerini araştırmakta ve uygulamaktadırlar. Bu çerçevede, endüstriyel atık suların geri kazanılması, su kaynaklarının korunması sürdürülebilir bir çevre için gerekmektedir (Pattnaik ve Dangayach,2021; Güyer ve diğ., 2016).

2.3. BOYAR MADDE VE TEKSTİL ATIKSULARI GİDERİM YÖNTEMLERİ

Tekstil endüstrisi de dahil olmak üzere günümüz endüstrilerinde sürdürülebilir kalkınma önemli bir öncelik olup su yönetimi, tekstil sektöründe özellikle vurgulanmaktadır (Bilinska ve diğ., 2017). Deşarj edilen atıksularda kirlilik kompozisyonu ve hacim miktarıyla tekstil sektörü en ön sıralarda bulunmaktadır. Tekstil sektöründe atık minimizasyonu ve atıksuların yeniden kullanımı gerek kirliliğin azaltılması gerekse ekonomik kaygılar sebebiyle büyük öneme

sahiptir (Babu ve diğ., 2007; Bes-pia ve diğ., 2009). Özellikle baskı, yıkama, boyama gibi ıslak işleme proseslerinde büyük miktarda kullanılan temiz su, son aşamada yüksek miktarda organik bileşikler ve yoğun renkleri de içinde barındıran farklı kirletici konsantrasyonlarında atıksu haline gelmektedir. Bu atıksuların en uygun arıtma teknolojileri kullanılarak kontrol altına alınması ve tesislerdeki suyun yeniden kullanımı temel hedef olarak belirlenmesi gerekmektedir (Emreol Gönlgür,2019).

Tekstil endüstrisi atıksularında genellikle fiziksel (toplam askıda ve çözünmüş katı maddeler (TAKM ve TÇKM), bulanıklık, renk) ve kimyasal (BOİ, KOİ, çözünmüş oksijen, pH, alkalinite, toplam organik karbon (TOK)) parametreler değerlendirilerek arıtım yöntemleri belirlenmektedir. Bu içeriklere sahip atıksular alıcı ortama deşarj edilmeden önce uygulanacak arıtma ve yeniden kazanım uygulamaları için yönetmelikler tarafından belirlenen deşarj kalite limitlerini sağlayarak arıtılması gerekmektedir.(Bes-pia ve diğ., 2009; Azanaw ve diğ., 2021).

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği endüstriyel kaynaklı atıksuların kompozit numune alma sıklığına göre alıcı ortama deşarj standartlarını belirlemektedir. Tablo 2.11’ de SKKY’ e göre ‘‘Sentetik tekstil ve benzerleri için atıksularının alıcı ortama deşarj standartları ‘‘ verilmiştir (SKKY, 2022).

Tablo 2. 11: SKKY ‘‘Sentetik Tekstil ve benzerleri’’ deşarj standartları (SKKY, 2022).

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	300
SÜLFÜR (S⁻²)	(mg/L)	0.1
FENOL	(mg/L)	1
ÇİNKO (Zn)	(mg/L)	12
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)	-	3
pH	-	6-9
RENK	(Pt-Co)	280

Tekstil atıksularının arıtımı genellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerin kombinasyonunu içeren bir süreçtir (Gürtekin ve Şekerdag, 2008; Gül ve Yıldız, 2020). Bu yöntemler, atık suların arıtılması için birbirini takip eden aşamalarda kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, atık sularındaki çeşitli kirleticilerin etkin bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlamak için farklı arıtma prensiplerinin bir araya getirilmesini içerir (Büyükdere,2008). Tekstilde farklı işlem aşamalarından kaynaklı atıksu çeşitliğinden dolayı arıtma verimliliği için öncelikli olarak

dengeleme yapılması gerekmektedir. Biyolojik arıtmada istenilen verimin elde edilmesi için boyar maddeler ve kimyasalları dengeleme ya da havalandırma işlemlerinden geçirmek gerekmektedir (Shindhal ve diğ., 2020).

Izgaradan geçirme, dengeleme, nötralizasyon, aktif karbon oksidasyonu, kimyasal çöktürme, biyolojik arıtma, filtrasyon vb. gibi birçok yöntem atıksuların arıtılmasında kullanılmaktadır (Gönüllü, 2021).

Tekstil endüstrisinde boya önemli bir proses aşaması olarak kabul edilmektedir. Ancak boyama işlem süreçlerinde yüksek miktarda su ve kimyasallar kullanılarak renk, bulanıklık BOİ, KOİ, pH gibi parametrelerle birlikte toksisitesi yüksek atıksular ortaya çıkmaktadır. Bu atıksuların kontrol altına alınması için birçok ülkede yönetmeliklerle düzenlemeler yapılmaktadır (Tore ve diğ., 2018; Brad,2016).

Boyar maddeler alıcı ortama doğrudan deşarj edildiğinde suda renk vererek çözündüklerinden çok düşük konsantrasyonlarda dahi görünür özelliğe sahip olmaktadır. Bu durum alıcı ortamda ışık geçirgenliğini azaltıp sucul bitkilerin ve diğer su canlılarının yaşamını tehdit etmektedir. Ayrıca boyar maddelerin yapılarında bulundurdıkları azo grupları kontrolsüz anaerobik şartlarda toksik etki oluşturarak birincil çevre problemlerini de beraberinde getirmekte ve canlılarda toksik etki oluşturmaktadır (Savcı,2019; Bayrak,2022; Bisschops ve diğ., 2008). İnsanlarda da karsinogenik etki oluşturmalarının yanı sıra böbrek, karaciğer ve merkezi sinir sisteminde tahribatlara yol açmaktadır (Savcı,2019). Tekstil atık sularının doğrudan alıcı ortama deşarjı toksik etkiyle birlikte estetik açıdan da çevresel bir problem oluşturmaktadır (Arslan ve diğ., 2022). Dolayısıyla tekstil boyar maddelerinin, miktarı az da olsa suda istenmeyen bir durum olarak kabul edilmektedir (Bayrak,2022).

Şekil 2.11' de tekstilden gelen boya atıksuyun çevreye etkisi gösterilmektedir (Patel ve Bhatt, 2022).



Şekil 2. 11: Boyar madde içeren atıksuyun çevreye etkisi (Patel ve Bhatt, 2022).

Günümüzde dünyada 10.000’ den fazla boya çeşidi ile 100.000’den fazla ticari boya bulunduğunu ve buna bağlı olarak 700.000 tona kadar yüksek hacimde boyar madde üretimi yapılmaktadır. Şekil 2.12. ve Şekil 2.13’ te boyar madde içeren bir tekstil atıksuyu örneği gösterilmektedir (Patel ve Bhatt, 2022).



Şekil 2. 12: Boyarmadde içeren tekstil atıksuyu örneği (Patel ve Bhatt, 2022).



Şekil 2. 13: Bir endüstriden deşarj edilen tekstil atıksuyu örneği (Patel ve Bhatt, 2022).

2.3.1. Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Biyolojik arıtma yöntemleri ortamdaki oksijen varlığına göre aerobik ve anaerobik yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca biyosorpsiyon da biyolojik arıtma yöntemi olarak kullanılmaktadır.

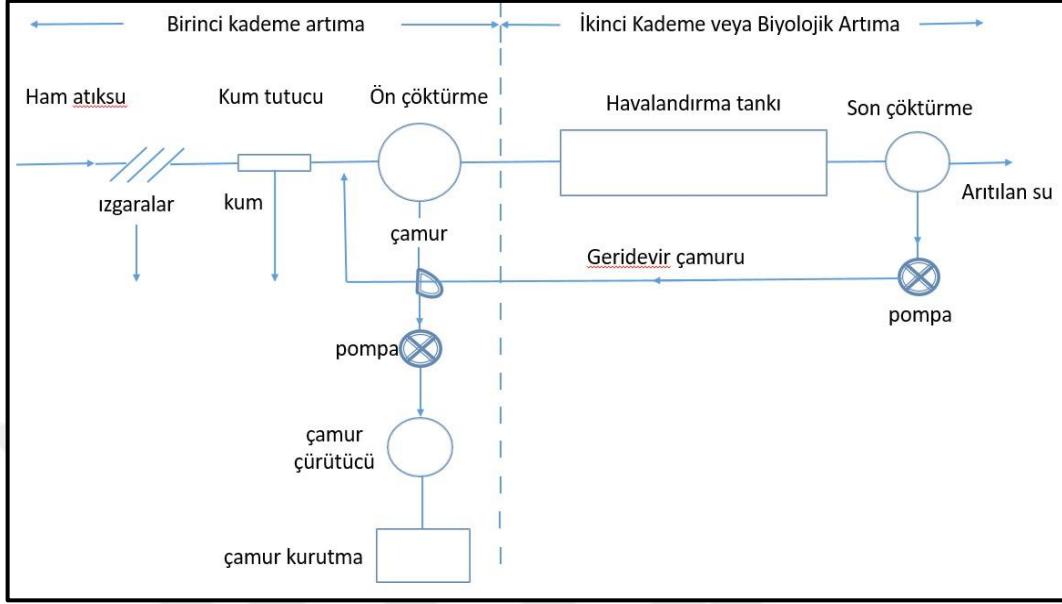
Bu arıtma yönteminde kullanılan bakteriler aerobik, anaerobik ve fakültatif bakterilerdir (5. biyolojik arıtma, 2024). Aerobik ve anaerobik yöntemlerde çamur oluşumu, yan ürün olarak metan ve hidrojen sülfür oluşumu dezavantajlar olarak bilinmektedir (Adesanmi ve diğ., 2022)

2.3.1.1. Aerobik yöntemler

Aerobik ve fakültatif bakterilerin atıksudaki organik maddeleri oksijenli ortamda parçalayarak inorganik maddelere ayrıştırması işlemidir. Bu arıtma biçimiyle kötü koku problemi azaltılmış olmaktadır. Aktif çamur yöntemi ve biyofilm işlemi bu arıtma yöntemine dahil edilmektedir (Mani ve diğ., 2019).

Aktif çamur yöntemi dengeleme, havalandırma, çöktürme, temizleme süreçlerinden oluşmakta ve aerobik arıtmada en fazla kullanılan yöntemler arasında bulunmaktadır. Boyar maddelerde(özellikle polyester boyar maddelerinde) çok etkili olmadığı bilinmektedir (Gönüllü, 2021). Klasik bir aktif çamur sisteminde ilk önce ızgara, kum tutucu ve ön çöktürme sistemleri uygulanarak askıda ve çökelebilen maddeler giderilerek BOİ oranında %25-35'lik bir azalma meydana gelmektedir (Eroğlu, 2014).

Şekil 2.14'te klasik bir aktif çamu diyagramı görülmektedir (Biyolojik arıtım, 2020).

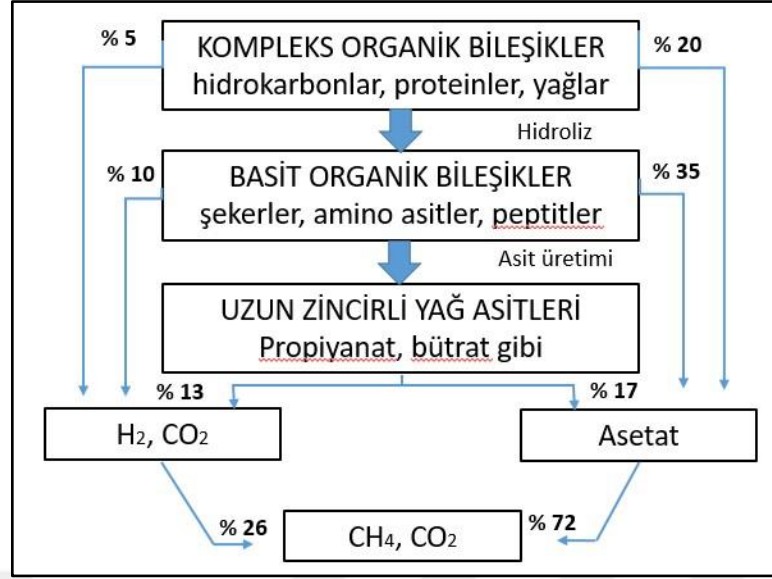


Şekil 2. 14: Klasik bir aktif çamu sisteminin akım diyagramı (Biyolojik arıtım, 2020, <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/fakbal/133073/Biyolojik%20Ar%C4%B1t%C4%B1m.pdf>, Erişim Tarihi: 10 Mayıs, 2024).

Biyofilm işleminde mikroorganizmalar kum, taş vs. gibi sabit bir nesne üzerine tutunup film tabakası oluşturmaktadır. Devamında atıksuyla temas ederek biyolojik arıtım gerçekleşmektedir (Mani ve diğ., 2019).

2.3.1.2. Anaerobik Yöntemler

Karbonhidratlar, yağlar ve proteinlerin asidojenik bakteriler tarafından düşük moleküler ağırlıklı fermentasyon ara ürünlerine dönüştürülmesi bu yöntemde ilk aşamadır. Daha sonra bakteriler çıkan ara ürünleri kullanarak asetat, karbondioksit, ve metana indirgerler. İndirgenen maddelerin sonucunda biyogaz oluşumu gerçekleşmektedir (Kocaer ve Alkan, 2002).



Şekil 2. 15: Anaerobik arıtmanın genel işleyiş mekanizması (Anaerobik arıtım sistemleri, 2020, file:///C:/Users/belki/Downloads/Anaerobik%20Ar%C4%B1t%C4%B1m%20(1).pdf, Erişim Tarihi: 10 Mayıs, 2024).

2.3.1.3. *Biyosorpsiyon*

Atıksu arıtımında biyolojik maddeler ile adsorpsiyon mekanizmasının kullanılmasıdır. Ucuz ve çevre dostu olduğu bilinmektedir. Bu işlemde biyosorbent olarak isimlendirilen adsorbantlar kullanılmaktadır (Gül ve Yıldız, 2020).

2.3.2. *Kimyasal Arıtım Yöntemleri*

Atıksudaki organik içeriğin kimyasallar kullanılarak giderilmesi yöntemidir (Saravanathamizhan ve Perarasu, 2021). Bu yöntemin kullanılması tesislerde kurulum ve işletme maliyeti açısından biyolojik ve fiziksel yöntemlere göre ekonomik olmadığı için tercih edilmemektedir. Ayrıca boya gideriminde ortaya çıkan ikincil toksik bileşenlerin bertarafının gerekmesi kimyasal arıtım yöntemlerinin dezavantajlarından (Adesanmi ve diğ., 2022)

Oksidasyon, cucurbituril ile arıtım, koagülasyon ve flokülasyon yöntemleri tekstil atıksuyu arıtılmasında kullanılan kimyasal yöntemlerdendir (Kocaer ve Alkan, 2002).

2.3.2.1. *Oksidasyon yöntemi*

Güçlü oksidant maddeler kullanılarak boya ve yardımcı kimyasal maddelerin bulunduğu suları arıtma yöntemidir. Biyolojik arıtmanın devamında renk parametresi giderilmemişse bu yöntem kullanılabilir (Gönüllü, 2021). Oksidasyon yöntemlerinde fenton işlemi, ozon işlemi, fotokimyasal yöntemler, sodyum hipoklorit, elektrokimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Demir çamuru oluşumu, reaksiyon süresinin uzun olması, fenton prosesinin dispers ve vat

boyalarda etkisiz olması, yüksek elektrik maliyetinin olması gibi etkenler bu yöntemdeki dezavantajlardandır (Adesanmi ve diğ., 2022).

2.3.2.2. *Cucurbituril ile Arıtım*

Bu arıtım yönteminde cucurbituril adlı bir bileşik kullanılmaktadır. Şekil olarak Cucurbitaceae adlı bitki sınıfından balkabağına benzediği için bu ismi almıştır. Cucurbiturilin farklı türdeki boyalar için iyi sorpsiyon yeteneğine sahip olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konulmuştur. Reaktif boyaların adsorbsiyonu için etkili olabileceği düşünülmektedir (Kocaer ve Alkan, 2002).

2.3.2.3. *Koagülasyon- Flokülasyon (Pıhtılaştırma- Yumaklaştırma) Yöntemi*

Suda bulunan ve çökelemeyen, genellikle negatif yüklü, organik veya inorganik maddelerin hareket ederek bir araya gelmelerine yardımcı olmak amacıyla suya $FeCl_3$ ve Al gibi kimyasallar eklenmektedir. Bu işlem koagülasyon olarak adlandırılmaktadır. Birbirinden ayrı hareket eden bu kararsız parçacıklar biraraya gelerek flok oluştururlar. Bu parçacıklar birbirine temas edip sıvı fazdan ayrılarak topaklaşmaktadırlar. Bu işlem flokülasyon işlemi olarak adlandırılmaktadır (Azanaw ve diğ., 2022; Pattnaik ve Dangayach, 2021).

Koagülasyon- flokülasyon yönteminde pıhtılaştırıcı olarak $FeSO_4$, $FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$, $Ca(OH)_2$ ve polieloktrolitler kullanılmaktadır (Gönüllü, 2021).

Bu yöntemle ikincil arıtmaya geçmeden önce önemli miktarlarda çökelebilen katıların yaklaşık % 90-98 'ini sudan ayırdığı için atıksuların arıtımında birincil arıtma yöntemi olarak sık kullanılan ve tercih edilen yöntemler arasındadır (Pattnaik ve Dangayach, 2021). Tekstil atıksularında $BOİ$ ve $KOİ$ ' yi azaltma konusunda çok verimli olmamakla birlikte fazla miktarda çamur oluşumu da sistemin dezavantajları arasındadır (Gönüllü, 2021; Adesanmi ve diğ., 2022).

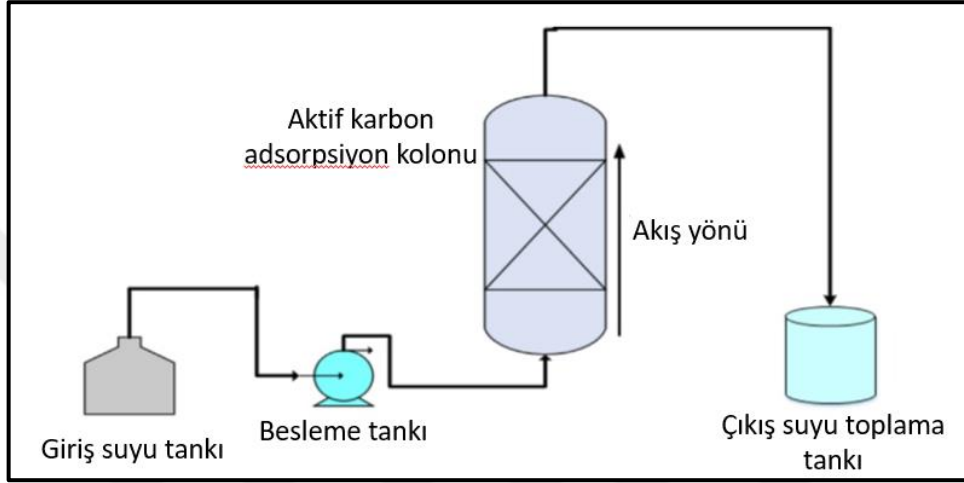
2.3.3. Fiziksel Arıtım Yöntemleri

Adsorbsiyon, iyon değişimi ve membran filtrasyon yöntemi olmak üzere 3 başlıkta incelenmektedir.

2.3.3.1. *Adsorpsiyon*

Konvansiyonel metodlarda kararlılığı fazla olan kirleticilerin gideriminde yüksek verimliliğe sahip olan yöntemdir. Adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi vs. etkenler adsorpsiyon prosesini etkilemektedirler (Kocaer ve Alkan, 2022). Kullanılan

adsorban maddeler aktif karbon /biyokömür malzemeleri, tarımsal atık (biyokütle), polimerler/manyetik polimerler, kovalent/metal-organik maddelerdir (Ewuzie ve diğ., 2021). Bunlardan en yaygın olarak aktif karbon yöntemi kullanılmaktadır. Adsorpsiyon yöntemi dispers, direkt, vat, pigment ve reaktif boyaların gideriminde yeterli olmamaktadır (Kocaer ve Alkan, 2022). Ayrıca aktif karbonun maliyetinin yüksek olması gibi dezavantajlarda bulunmaktadır (Shabir ve diğ., 2022).



Şekil 2. 16: Aktif karbonla giderim yöntemine ait şema (Shabir ve diğ., 2022).

2.3.3.2. İyon Değişimi Yöntemi

İyon değişimi yönteminde atıksuyun iyon değiştirici reçinelerden geçirilerek istenilen değişime uğranması beklenmektedir. Ancak özellikle dispers boya ve diğer bir çok boyada etkili olmaması nedeniyle çok fazla kullanılan yöntemlerden birisi değildir (Adesanmi ve diğ., 2022; Kocaer ve Alkan, 2022).

2.3.4. Membran Prosesler

Membran incelemelerine 18. yüzyıl dolaylarında başlanmış olup imkanların yeterli olmaması sebebiyle membranların çalışma prensibini açıklayabilmek için balık, domuz gibi bazı hayvanların mesane ve diğer iç organları kullanılmıştır. Birinci dünya savaşı sonrasında Avrupa’ da içme suyu temin etmek güç duruma gelmiş ve insanlar su temini konusunda yeni bilimsel arayışlara girmişlerdir. Almanlar tarafından laboratuvarında membranlar ilk mikrofiltrasyon örneği olarak gösterilmektedir (Zengin, 2014).

Endüstriyel anlamda ilk membran prosesleri üretimi 20. yüzyılın ortalarında elektrodializ sistemi ile başlamıştır. Daha sonra geliştirilerek ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon gibi sistemler üretilmiştir (Türk, 2019). Günümüzde bu gelişim ve ilerlemesini

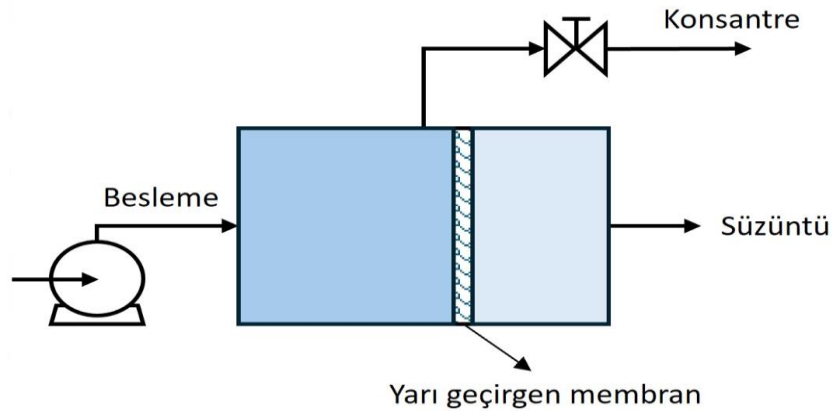
sürdürerek nehir, göl, deniz gibi yüzeysel sulardan ve kuyulardan içme suyu temini, endüstriyel proseslerden kimyasal madde ve su geri kazanımı gibi özellikle endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan bir teknoloji haline gelmiştir (Büyükdere, 2008). Bu bağlamda geleneksel fiziksel ve kimyasal arıtma proseslerine göre arıtma verimliliği daha yüksek alternatif arıtma yöntemleri arasında yerini almıştır (Sivaranjanee ve Kumar, 2021). Membran proseslerin tarihsel gelişimi Tablo 2.12’de gösterilmektedir (Zengin, 2014).

Tablo 2. 12: Membran proseslerin tarihsel gelişimi (Zengin, 2014).

Membran Prosesi	Ülke	Yıl	Uygulama
Mikrofiltrasyon	ABD	1920	Laboratuar kullanımı
Ultrafiltrasyon	Almanya	1930	Laboratuar kullanımı
Hemodiyaliz	Hollanda	1950	Yapay böbrek
Elektrodiyaliz	ABD	1955	Tuz giderimi
Ters Ozmos	ABD	1965	Su tuzsuzlaştırması
Ultrafiltrasyon	ABD	1971	Makromoleküllerin yoğunlaştırılması
Gaz ayrımı	ABD	1979	Hidrojen kazanımı
Pervaporasyon	Almanya, Hollanda	1982	Organik çözücülerin dehidrasyonu
Çapraz akımlı mikrofiltrasyon	Avustralya, ABD	1980	Su arıtımı
Nanofiltrasyon	ABD	1986	Su yumuşatma
Elektrodeiyonizasyon	ABD	1987	Deminerilizasyon

Membran iki fazı birbirinden ayıran geçirgen ya da yarı geçirgen bir tabakadır. Membran filtrasyonu ile atıksularda bulunan askıda katı maddeler, iyonlar, kolloidler, partikül ve büyük moleküllü maddelerin ayırımı sağlanmaktadır (Eroğlu, 2014).

Şekil 2.17’ de bir membran prosesin basitçe bir şeması verilmiştir (Madsen,2014).



Şekil 2. 17: Membran proses şeması: (Madsen, 2014).

Membranlar, etkili bir yöntem olduğu keşfedilince ilk defa sağlık alanında kullanılmaya başlanmıştır. Ancak ilerleyen süreçte yüksek basınç gerekliliği sebebiyle yüksek maliyet gerektirdiği fark edilmiştir. Bu anlamda maliyeti azaltmak için basıncın azaltıldığı, etki alanının farklılaştırıldığı yeni membranlar araştırılmış ve üretilmiştir. Günümüzde fayda ve maliyet olarak en uygun ve en etkili membran çeşitleri üretilmeye aynı zamanda araştırılmaya da devam etmektedir (Türk, 2019). Bu bağlamda membran teknolojilerinin kullanıldığı birçok uygulama alanı mevcuttur.

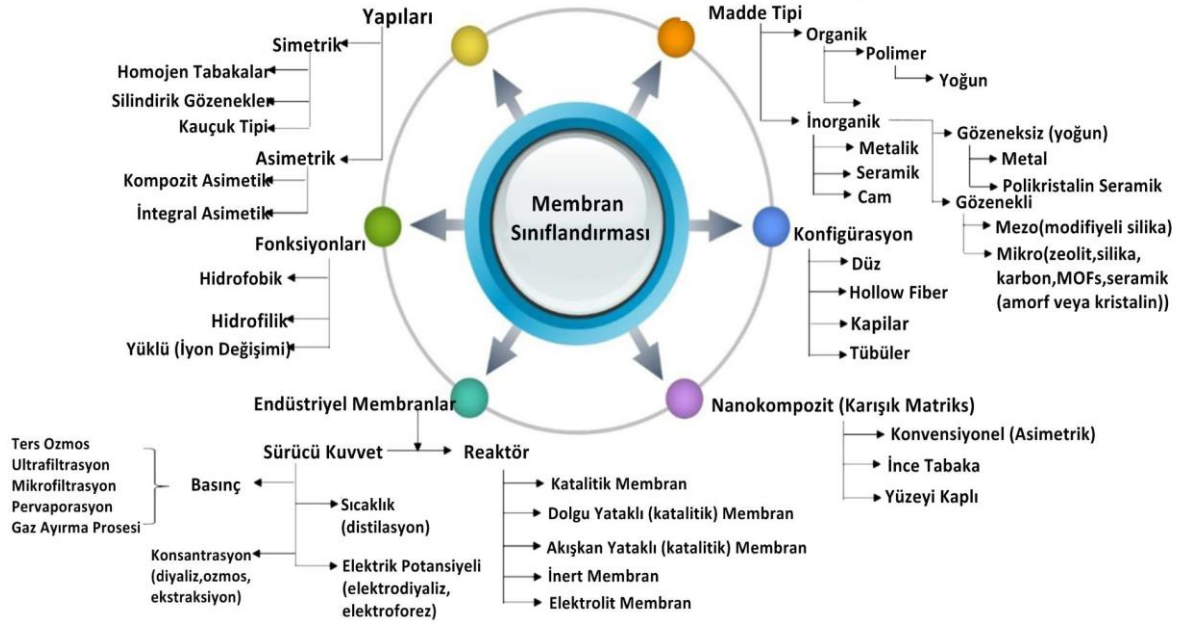
Bunlardan bazıları şu şekildedir (Koyuncu ve Taşdemir, 2018):

- İçme sularının temini,
- Tuzlu su ve deniz suyunun arıtılıp yeniden içme suyu olarak kullanılması
- Biyoenjerji ve biyogaz üretilmesi
- Bakteri giderimi
- Evsel atıksu ve endüstriyel atıksuların yeniden kazanımı
- Süt, peynir, alkollü içecekler gibi gıda ürünlerinin üretilmesi

2.3.4.1. Membranların sınıflandırılması

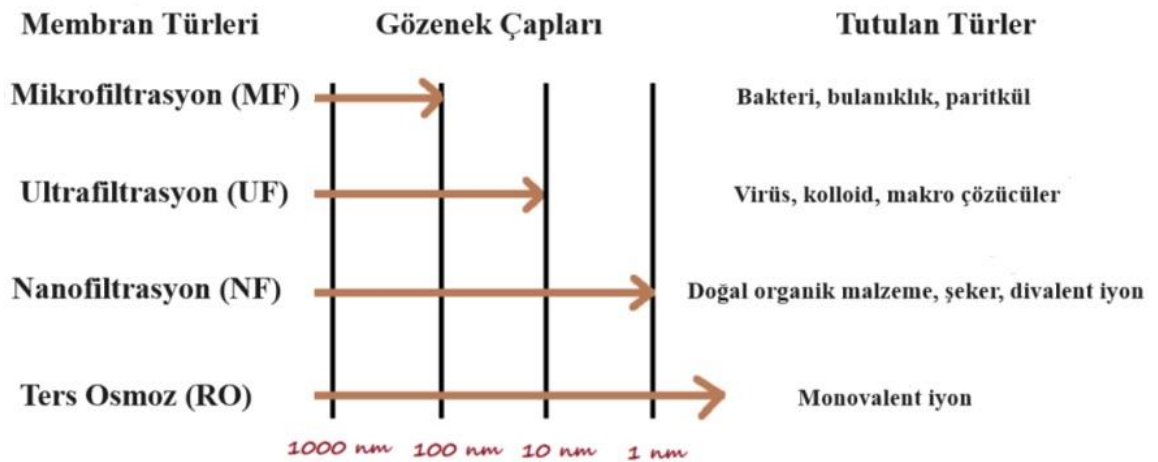
Membranlar geometrik yapıları ve doğalarına göre iki sınıfta kategorize edilmektedirler. Doğalarına göre ise biyolojik ve sentetik olarak iki ana başlıkta ifade edilmektedirler. Membran teknolojilerinde sentetik membranlar yaygın olarak kullanılan membran türleri arasındadır. Sentetik membranlar yapıları, sürücü kuvvetleri, bileşimleri gibi farklı türlerdeki karakteristikleri ile sınıflandırılmaktadır (Vinoba ve diğ., 2017).

Şekil 2.18' de Türk (2019)'e göre membran türlerinin ve sınıflandırılmasının bulunduğu şema görülmektedir.



Şekil 2. 18: Membran türleri ve sınıflandırılması (Türk, 2019).

Membranlar por çapına ve basınç sürücü kuvvetlerine bağlı olarak su ve atıksu arıtımında ve geri kazanımında yaygın olarak kullanılan ultrafiltrasyon (UF), ters osmoz (RO), mikrofiltrasyon (MF), nanofiltrasyon (NF) şeklinde sınıflandırılmaktadırlar (Türk, 2019; Büyükdere, 2008). Membranların geçirgenlik seviyesi gözenek çapına veya başka bir ifadeyle tuttukları partikül boyutuna bağlı olarak farklılık göstermektedir. Mikrofiltrasyon membranı en büyük por çapına sahipken, ters osmoz membranı ise en düşük por çapıyla en seçici membran türüdür (Eroğlu, 2014; Madsen, 2014). Membran proseslerde atıksuyun özelliklerine bağlı olarak ne tür membranlar kullanılacağına karar verilmektedir (Madhaw ve diğ., 2018).



Şekil 2. 19: Membran gözenek çapları ve tutulan türler (Kavurucu ve diğ., 2022).

a) Mikrofiltrasyon (MF) Membranlar

0,1-3 μm gözenek çaplı membranlardır. Moleküler ağırlığı ayırma sınırı (MWCO) 1000 Da'dan büyük olan makromolekül, askıda katı madde (AKM), maya hücreleri, büyük patojenler içeren atıksularda kullanılmaktadır (Kavurucu ve diğ., 2022). Pigment içeren boyalar ve durulama banyosu atıksularının gideriminde kullanılmaktadır (Madhaw ve diğ., 2018). Ters osmoz ve nanofiltrasyon öncesi kullanılabilir (Madhaw ve diğ., 2018; Dutta ve Bhattacharjee, 2021).



Şekil 2. 20: MF Membranı (Uyak ve diğ.,2014)

b) Ultrafiltrasyon (UF) Membranlar

0,005-0,1 μm boyutlu por çapına sahip membran türüdür. MWCO 500-1000 Da olan makromoleküle sahip atıksularda kullanılmaktadır. Bu atıksuların saflaştırma, fraksiyonlama ve konsantrasyonunu artırma işlemleri için idealdir (Kavurucu ve diğ., 2022).

UF membranları birçok endüstride uygulanmasına rağmen tekstil endüstrisinde düşük moleküler ağırlıklı boyaları kısmen arıtması sebebiyle çok tercih edilen membranlar arasında değildir (Petrinic ve diğ., 2015). Boya gideriminde ters osmoz membranı öncesi kullanılabilir (Madhaw ve diğ., 2018).



Şekil 2. 21 : UF Membranı (Uyak ve diğ., 2014)



Şekil 2. 22: UF membranı için üretilen boşluklu elyaf membranı (Büyükdere, 2008)

UF membranlarında por çapı ifade edilirken moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) kavramı daha çok kullanılmaktadır. MWCO, giderme miktarı % 90 olan moleküler ağırlık değeri olarak tanımlanmaktadır. Bu kavram bir örnekle açıklanacak olursa; MWCO değeri 50 kDa olan bir membran, 50 kDa'dan büyük molekül ağırlığına sahip organik yapıllı maddeler, virüs gibi birçok maddeyi %90 oranıyla membran yüzeyinde tutabilmektedir (Uyak ve diğ., 2018).

c) Nanofiltrasyon (NF) Membranlar

0,001 μm por çapına sahip, MWCO 180-500 Da aralığında 3-40 bar basınç uygulanarak işletilen membranlardır (Kavurucu ve diğ., 2022). Renkli tekstil atıksularının gideriminde uygun bir yöntem olarak tercih edilmektedir (Madhaw ve diğ., 2018).

d). Ters Osmoz Membranlar

Yüksek basınçla çalıştırılan, diğerlerine göre en küçük por çapına sahip bu sistemde renk ve tuz giderimi gerçekleşmektedir. Deniz ve kuyu sularının arıtılmasında da kullanılan bu yöntemle ortalama % 90 oranında verim sağlanmaktadır (Petrinic ve diğ., 2015; Madhaw ve diğ., 2018; Dutta ve Bhattacharjee, 2021).

Tablo 2. 13: Membranların por çapları ve özellikleri (Thamariselvan ve Noel, 2015).

Karakteristiği	Ters Osmoz (RO)	Nanofiltrasyon (NF)	Ultrafiltrasyon (UF)	Mikrofiltrasyon (MF)
Por Çapı (µm)	< 0.002	< 0.002	0.2-0.02	4-0.02
Reddetme	HMWC, LMWC Sodyum klorit glukoz amino asitleri	HMWC, mono- di- ve oligosakkaritler çok değerlikli negatif iyonlar	Makro moleküller, proteinler, polisakkaritler, virüs	Parçacıklar, vücut bakterisi
Membran Yöntemleri	CA, PSO, PES, ince film	CA, PSF, PES, ince film	Seramik PSO, PVDF, CA PP, ince film	Seramik PSO, PVDF
Membran Modülü	Borumsu, spiral sargı, plaka ve çerçeve	Borumsu içi boş elyaf, spiral sargı	Borumsu içi boş elyaf, spiral sargı	Borumsu
İşletme Basıncı (bar)	15-150	5-35	1-10	<2
LMWC= Düşük moleküler ağırlık kesme sınırı; HMWC= Yüksek moleküler ağırlık kesme sınırı; CA= Selüloz asetat; PSO= Polisülfon; PES= Polieter sülfon; PVDF= Poliviniledin florit; PP= Polipropilen				

Membran sistemlerinde por çapı, pH, sıcaklık, basınç, akı, ön arıtım membran proseslerinin verimliliğini etkileyen faktörler arasında bulunmaktadır (Türk, 2019). Thamariselvan ve Noel (2015) membran seçiminde por çapı verimliliği etkileyen en önemli özellik olduğunu bildirmektedir. Bununla birlikte Akbari ve diğerleri (2002)'nin çalışmasında membran proseslerin en büyük dezavantajının membran yüzeyinde biriken moleküllerin (konsantrasyon polarizasyonu) süzüntü akısını azaltması olarak ifade edilmektedir.

2.3.4.2. Membran Teknolojisinin Avantajları

Geleneksel arıtma yöntemlerine göre membran teknolojisi kullanım alanında birçok avantaja sahiptir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Membran filtrasyon sistemleri membran biyoreaktörleri şeklinde biyolojik arıtma süreçleriyle entegre edilebilmektedir. Modüler yapısı ve membran konfigürasyonları nedeniyle geleneksel arıtma tesislerine göre daha az alan kaplamakta ve daha küçük ayak izi meydana getirmektedir (Petrinic ve diğ., 2015; Thamariselvan ve Noel, 2015; Jegatheesan ve diğ., 2016).

- Hidrolize boyar maddeleri ve yardımcı kimyasalları azaltarak boya ve renk gideriminde etkili olmaktadır (Petrinic ve diğ.,2015).

-Tuz gideriminde biyolojik arıtma yönteminden daha üstün etkiye sahiptir (Bilinska ve diğ., 2017).

- Yüksek giderim verimliliğine sahip olması ve atıksuların yeniden kullanımını sağlamanın yanı sıra atıksulardaki boya gibi değerli bileşenlerin de geri kazanılarak yeniden kullanımını sağlamaktadır (Akbari ve diğ., 2002; Dutta ve Bhattacharjee, 2021; Adesanmi ve diğ., 2022).

-Renk gideriminin yanı sıra BOİ ve KOİ miktarını düşürmede etkilidir (Dutta ve Bhattacharjee, 2021).

- Kolay erişilebilir, basit kurulumu sahip ve kolay kullanılabilir bir yöntem olması sebebiyle yüksek etkiye sahiptir (Şimşek ve Yetiş.2024; Saif ve diğ., 2022; Sivaranjane ve Kumar, 2021).

- Bazı bileşenler için yüksek seçici geçirgenlik özelliklerine sahiptir. Askıda katı maddeleri, kolloidal parçacıkları ,organik ve inorganik maddeleri sudan uzaklaştırabilmektedirler (Saif ve diğ., 2022).

-Düşük enerji gereksinimi nedeniyle ekolojiye dost bir yöntemdir (Kavurucu ve diğ., 2022).

Membran teknolojilerinde üstün olan yöntemlerle beraber membranların konsantrasyon polarizasyonu sebebiyle tıkanması ve bunun sonucunda akının azalması ve membranın ömrünün kısılması bu yöntemin olumsuzlukları olarak sıralanabilmektedir (Zengin, 2014).

2.4. BOYARMADDE ATIKSULARININ ARITIMI VE YENİDEN KULLANIMI ÇALIŞMALARI

Yaman vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada uygun arıtım yöntemlerinin ve geri kullanımın belirlenmesi amacıyla pamuk boyama endüstrisinde boyama ve ağartma işlemleri kaynaklı atık sularda moleküler fraksiyon yapılmıştır. Bunun yanı sıra organik maddeleri belirlemek amacıyla da UV₂₅₄, SUVA analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 100, 10, 1, 0,5 ve 0,1 gözenek çapına sahip membranlar kullanılmış ve UV₂₅₄, BOİ, KOİ, TKN, TOK ve amonyum analizleri yapılmıştır. Sırasıyla yapılan membran filtrasyonlarında kirletici konsantrasyonlarının giderek azaldığı görülmüştür. 0.1 kda membrandan elde edilen ağartma prosesi kaynaklı

durulama atıksuyu süzöntüsünün BOİ/KOİ oranının düşük olduğu ve bu süzöntüde organik maddelerin giderimi için anaerobik arıtım + membran filtrasyonun uygun olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte boyama kaynaklı durulama atıksuyunun BOİ/KOİ oranının fraksiyon yapılırken giderek arttığı görülmüştür. Durulama suyunda bulunan hidrofilik yapıdaki organik maddeler nedeniyle SUVA değeri 2'nin altında olduğundan koagülasyon/flokülasyon uygun olmadığı ancak bu organik maddelerin membran filtrasyonu ile giderilebileceği belirtilmiştir. Tüm bu sonuçlara dayanarak NF ve anaerobik arıtma birlikte kullanıldığında proste suyun yüksek kalitede tekrar kullanımının mümkün olduğu ve deşarj standartlarına uygun şekilde çevreye zarar vermeden salınabileceği belirtilmiştir.

Yaman ve diğ. (2015) tarafından pamuk boyama tekstil atıksuyunda uygun arıtma yöntemi belirlemek amacıyla moleküler ağırlık dağılımı çalışması yapılmıştır. Çalışmada sırasıyla 0,1, 0,5, 1, 3, 5, 10, 30, 50, 100 kDa por çapına sahip membranlar kullanılmıştır. Kullanılan numuneler boyama, ağartma ve karma proseslerden elde edilmiş olup her bir numune için farklı fraksiyonlarda BOİ, KOİ, TOK analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca UV254 ve SUVA değerleri incelenilmiştir. BOİ, KOİ ve TOK değerlerine aerobik arıtmanın boyama, ağartma ve karma prosesler için uygun olmadığı, ancak sedimantasyon veya MF/UF membranları ön arıtma olarak uygulanıp ardından NF/RO membranlarının kullanılması daha uygun olacağı belirtilmiştir. Bütün atıksuların hidrofilik karaktere sahip olması nedeniyle organik maddeleri uzaklaştırmak için koagülasyon—flokülasyon prosesinin uygulanması uygun görülmemiştir. Boyama ve karma atıksularından gelen rengin bir kısmı 0,05 µm gözenek çaplı membranlarla kaldırmaya yeterli olduğu belirtilmiştir. Ağartma prosesi kaynaklı renk mevcut olmadığı belirtilip kalan rengin NF membranları kullanılarak giderilebileceğinin yeterli olduğu ifade edilmiştir. Yapılan bu çalışmada uygulanan yöntemlerin bir arıtma alternatifi olabileceği belirtilirken maliyet analizi yapılarak pilot ölçekte bir çalışmanın yapılmasıyla daha uygun arıtım alternatiflerinin belirlenebileceği sonucuna varılmıştır.

Aouni ve diğ. (2012) yaptığı çalışmada reaktif boyalar ve durulama suyu atıksularının en az kimyasal kullanarak arıtımı ve geri kazanımı amaçlanmıştır. Bu amaçla 1 kDa ve 10 kDa'lık UF membranları ve NF 200 ve NF270 membranları kullanılarak renk, iletkenlik ve KOİ giderim verimleri incelenmiştir. UF membranları için 2-7 bar aralığında, NF membranları için 4- 15 bar basınç aralığında süzöntü akıları ve moleküler ağırlık dağılımı çalışılmıştır. Çalışmada kimyasal eklenmeden de tekrar kullanıma uygun kalitede su elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca her iki UF membranı içinde boya çözeltilerinde %80 KOİ giderim verimi ve

mavi ve kırmızı boyalardan kaynaklı rengin hemen hemen hepsinin giderildiği ifade edilmiştir. Her iki NF membranı için ise %80 oranında iletkenlik verimi %90 KOİ verimi elde edilmiştir. Elde edilen tüm verilere göre deneysel çalışmada kullanılan sentetik reaktif boya ve durulama atık suyunun geri kazanımı için gerekli kalitede su elde edebilecek giderim verimi en iyi membranın NF membranı olacağı sonucuna varılmıştır.

Bouchareb ve diğerleri (2021) nin yaptığı iplik ve kumaş boyama atıksularında bulunan KOİ, renk, tuzluluk ve iletkenlik parametreleri NF, RO ve elektrokimyasal yöntemler kullanılarak giderim verimleri kıyaslanmaktadır. Elektrokimyasal oksidasyon yönteminde pH değerleri 6 ya düşürüldüğünde %90 oranında renk giderimi gerçekleşmiş ancak iletkenlik değerlerinin %31,2 oranında giderilmesi ile istenilen su kalitesi sınırlarının üzerinde olduğu ifade edilmiştir. BOİ/KOİ oranının %0,08'den %0,48' e çıktığı ve bunun sonucunda ara ürünlerin biyolojik parçalanabilir ürünlere dönüştüğü sonucuna varılmıştır. Membran yönteminde kullanılan NP010 ve NP030 NF membranları ile istenilen düzeyde KOİ, renk ve iletkenlik verimleri elde edilemezken SW30 ve BW 30 ters osmoz membranlarında daha yüksek oranda verim elde edilmiştir. Elektrokimyasal oksidasyonda %80 oranında ve ters osmozda %98 oranında KOİ giderimi gerçekleşmiştir. Ancak ters osmoz membranı aynı zamanda iletkenliği de % 97 oranında azalttığı için ters osmoz membranlarının su arıtımı ve geri kullanımında daha etkili ve ekonomik kazanç sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Abou-Taleb ve diğerlerinin (2014) yaptığı iplik boyama atıksularının arıtılması çalışmasında alüm, magnezyum klorür ve demir klorür kullanılarak koagülasyon işlemi ve ardından granül aktif karbon kullanılarak adsorbsiyon yöntemi yapılmıştır. Koagülasyon yönteminde yardımcı olarak kireç, katyonik ve anyonik polimerler kullanılmıştır. 500 mg/l alüm ile birlikte 400 mg/l kireç ve 0,35 mg/l katyonik polimer kullanılması KOİ %69, AKM %65 ve renk %61 oranıyla en yüksek giderme verimini sağlamıştır. Koagülasyon işleminin ardından kullanılan granül aktif karbon yöntemiyle oksidasyon yapılması renk giderimini %94,6'ya, KOİ giderim verimini ise %77,5 'e ve renk giderimini ise %94,2'ye çıkarmıştır. Tüm bu sonuçlardan elde edilen verilere göre atıksuyun kanalizasyon deşarj edilmesi için gerekli standartları karşıladığı ifade edilmiştir.

Bes-Pia ve diğerleri (2003) nin yaptığı baskı, boyama ve bitirme tekstil endüstrisi atıksuyunun arıtımı çalışmasında fizikokimyasal yöntem ve NF membran yöntemi kullanılarak arıtılması ve tekrar kullanımı incelenmiştir. Fizikokimyasal arıtım için farklı kimyasal konsantrasyonlarda

ve farklı pH değerlerinde Al^{+3} ve Fe^{+2} koagülantları kullanılmıştır. Ardından bu işlemlerden geçen atıksulara 25°C sıcaklıkta, işletme basınçları 10, 15 ve 20 bar ve besleme akımları 0.2, 0.3, 0.4 m³/sa olan NF membranları ile arıtma yöntemi uygulanmıştır. Akış hızları sırasıyla 1.11, 1.66 ve 2.22 m/s 'de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar pH, iletkenlik BOİ5 ve KOİ parametreleri ile değerlendirilmiştir. Uygulanan jar testi sonucunda pH değeri 12'de iken KOİ gideriminin 700 mg/l'den 200mg/l 'ye düştüğü gözlemlenerek %70.5 , pH 11'de iken giderme veriminin %66 olduğu görülmüştür. Kullanılan Fe^{+2} ile pH 12 de en iyi sonuçların elde edildiği, membran yöntemlerinde ise en iyi sonuçların 20 barda ve 200 L/sa 'da elde edildiği gözlemlenmiştir. Tuz gideriminin ve akı hızının basınca bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Fersi ve diğerleri (2005) nin yaptığı çalışmada tesiste aktif çamurla biyolojik arıtımı gerçekleşmiş tekstil atıksuları kullanılarak farklı türlerde MF, UF ve NF membranlarla arıtımı ve geri kazanılabilirliği incelenmiştir. Membranlardan elde edilen süzüntü sularının verimliliği KOİ, TÇK (toplam çözünmüş katı madde), renk, iletkenlik parametreleriyle değerlendirilmiştir. MF membranından elde edilen süzüntünün renk ve bulanıklığının % 40 oranında giderildiği ve diğer verilerle birlikte değerlendirildiğinde deşarj standartlarını sağlamadığı UF membranla kıyaslandığında daha az etkili olduğu görülmüştür. UF membranında renk %50, bulanıklık %90, TÇK %30, iletkenlik %20 oranında iyileşme göstermiştir. NF membranında ise renk, bulanıklık ve TÇK'nin %90'ı aşan giderim verimi olmuştur. İletkenlik ise %70 oranında giderilmiştir. Elde edilen bütün sonuçlar dikkate alındığında NF membranının geri kazanım için en iyi kalitede su elde ettiği ifade edilmiştir.

Islam ve Mostafa (2020) nın tekstil boyama atıksularının kirlilik derecesini belirlemek ve koagülant verimliliğini değerlendirmek amaçlı koagülasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmada koagülant olarak PAC (poliamonyum klorür) kullanılmıştır. Kullanılan PAC için miktar olarak 300 mg/l , karıştırma hızı 60 rpm, sıcaklık değeri 30 °C ve 6-7 pH aralığı seçilmiştir. Bu çalışma sonucunda renk gideriminin %85-95 aralığında olduğu belirtilmiştir. KOİ değeri %82 ve BOİ değerinin %83,45, SO4 değerinin ise %72,88 oranında azaldığı belirtilmiştir. Koagülant kullanımının aynı zamanda ağır metal olan demir(Fe) ve kurşun(Pb)'u da sırasıyla %72,7 ve %98,52 oranında azalttığını belirlemiştir. Bütün bu sonuçlara dayanarak koagülant kullanımının pozitif yönde bir seçenek olduğunu ancak tek başına değil diğer arıtma seçenekleriyle beraber değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Moreira ve diğerleri (2022) tekstil atıksuyunun deşarj edilmeden geri kullanımı için membran tekniği ve ileri arıtma proseslerinin entegrasyonunu içeren bir çalışma yapmışlardır. Bu kapsamda çalışmada kullanılan teknolojilerin performansı ve maliyeti tartışılmaktadır. Membran filtrasyonu için MF ve NF membranlar kullanılmış olup ileri oksidasyon için UV/H₂O₂, fenton ve foto fenton işlemlerinden geçirilmiştir. MF membranı boyanın %99,1 'ini gidermiş olup MF-NF sistemlerin birlikte kullanımıyla KOİ'nin %92 ve rengin %98,5'ten fazlasının giderildiği bildirilmiştir. Ardından uygulanan ileri oksidasyon proseslerinde UV/H₂O₂ prosesiyle %63 devamında fenton prosesiyle % 84,7 ve fenton işleminin UV ışınlanması ile birlikte %92,2 oranında KOİ giderimi elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre sıfır su deşarjının mümkün olduğunu ve dolayısıyla atık bertarafının indirgenmesiyle maliyetin de azalacağı ifade edilmiştir.

Curic ve diğerleri (2021) tarafından UF membranlarının moleküler ağırlık dağılımı yapılarak örme kumaş fabrikası atıksularının arıtımı ve yeniden kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kullanılan UF membranlarının moleküler ağırlık ayırma sınırı (MWCO) 2 kDa ve 50 kDa arasında değişmektedir. Elde edilen süzüntülerin KOİ, BOİ, bulanıklık, renk parametreleri ve SO₄, Na₂, Ca₂, K konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre %79,8 KOİ, %56 BOİ, %82,4 TOC, %99,3 bulanıklık, %79,2 iletkenlik değerleriye büyük oranda beklenen düzeyde geri kazanım işlemi gerçekleşmiştir. Yapılan analizlerde en düşük MWCO değerine sahip olan membrandan en yüksek arıtma verimi elde edilmiştir. Ayrıca yapılan bu çalışmada herhangi başka bir arıtma işlemi olmadan yalnızca UF membranının kullanılması yenilikçi bir çözüm olması açısından umut verici görülmektedir. Elde edilen verilere göre UF teknolojisi kullanılarak arıtılan tekstil atıksularının tekrar kullanılabilmesi ifade edilmektedir.

Curic ve diğerleri (2021) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise pamuklu örme kumaş fabrikasının atıksularının koagülasyon, kum filtrasyonu ve membran sistemi kullanılarak yeniden kullanımı değerlendirilmiştir. Laboratuvar ölçekli yapılan çalışmada bulanıklık, Renk toplam organik karbon, KOİ, BOİ, sertlik parametreleri göz önünde bulundurularak atıksuyun yeniden kullanımı incelenmiştir. İlk olarak UF hollow fiber (UF-HF) kullanılmış, ikinci olarak 5, 10, 20 ve 50 kDa UF membranları kullanılarak moleküler fraksiyon yapılmıştır. Son aşama olarak NF ve RO membranları kullanılarak arıtma işlemi tamamlanmıştır. Uygulanan hibrit sistemlerin (UF-HF/5 kDa UF/RO ve UF-HF/5 kDa UF/NF) her ikisi içinde bulanıklık % 76,3–83,5, KOİ % 94,6–97,7, TOC % 88,5–99, BOİ % 95,4–98, iletkenlik % 59,2–99, sertlik % 88,7–98,7 ve renk % 80–100%, değerleriyle yüksek oranda giderim verimi elde edilmiş ve

kullanılan hibrit sistemin tam analizleri yapılarak beklenen düzeyin üzerinde sonuçlar elde edildiği ve arıtılan suyun istenildiği şekilde tekrar kullanılabileceği ifade edilmiştir.



3. YÖNTEM

3.1. İplik Boyama Endüstrisi Atıksuyu ve Karakterizasyonu

İstanbul Avrupa Yakası'nda bulunan bir iplik boyama fabrikasından atıksular temin edilmiştir. Tesiste müşteri talebine göre farklı renklerde üretim yapılmaktadır. İplik özellikleri ve boya rengine bağlı olarak kullanılan kimyasallar ile kimyasalların konsantrasyonlarında farklılıklar olmaktadır. Boya rengi ve kimyasallardaki farklılıklar oluşan boyama atıksularının karakteristiğinde değişikliklere yol açmaktadır. Fabrikada genellikle dispers boyar maddelerin kullanımı tercih edilmektedir.

Fabrikaya sentetik (polyester ve naylon) bobin halinde gelen iplikler liflerin bir arada tutulması ve dikiş rahatlığı sağlanması için büküm makinelerinde büküm işlemine tabi tutulmaktadır. Büküm işlemi gerçekleştirilen iplikler boya tutuculuğu daha kaliteli olması amacıyla yumuşak sarıma gönderilmektedir. Müşteri talebine göre boya rengi belirlenerek gerekli kimyasal ve boya ilavesiyle iplikler boyama kazanına dizilerek yaklaşık 130-140 °C derecelerde boyama işlemi gerçekleştirilmektedir. Ardından bobinler yıkama işlemine tabi tutulmaktadır. Boyama işlemi tamamlanan iplikler santrifüj işlemiyle fazla sudan arındırılarak kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Son sarımı yapılan iplikler ambalajlanarak sevkiyata gönderilmektedir.

Boyama atıksuları kullanılan iplik fabrikasına ait iş akım şeması Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1: İplik Boyama Fabrikası İş Akım Şeması

Şekil 3.1’de görülen iş akış diyagramında 5 nolu iş adımında atıksular oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında açık kahve, lacivert, siyah renk olmak üzere 3 farklı renkte boyama ve bu boyamalar sonrasında yapılan yıkamalardan numuneler temin edilmiştir. Açık kahve, lacivert, siyah renk olmak üzere 3 farklı renkte boyama ve açık kahve renkte 1 adet, siyah ve lacivert renklerde 2’şer adet olmak üzere 5 farklı yıkama suyu olacak şekilde toplam 8 farklı numune ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Boyalar ve kullanılan kimyasallar Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmiştir.

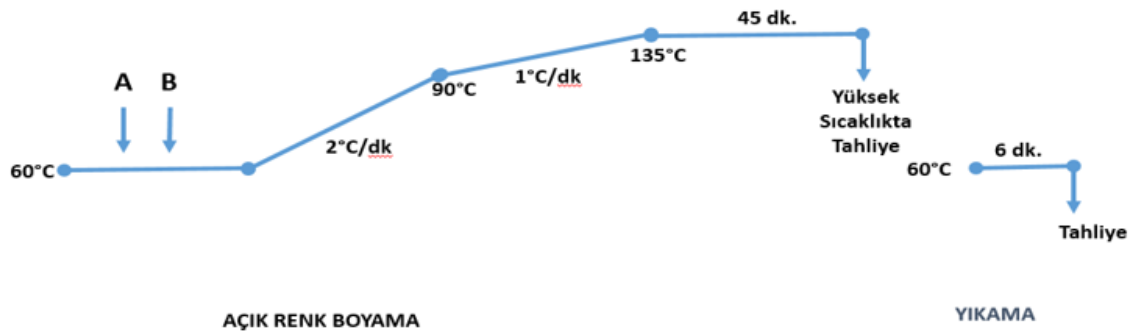
Tablo 3. 1: Boyar maddelerin isim ve grupları.

Boyarmadde Rengi	Ticari Adı	Boya Türü
Açık Kahve	Setapers Yellow Brown P-2R	Dispers
	Setapers Red EC2G	
	Setapers Blue TFBL	
Lacivert	Starcron Navy Blue S-3LS	Dispers
Siyah	Dispers Black CE-RN	Dispers

Tablo 3. 2: Boyama ve yıkama sırasında kullanılan kimyasalların isim ve görevleri.

Kimyasalın Adı	Görevi
Setalan ADN-O	Polyester egalizatörü
Setacid PBS	Asit tampon
Sera Gal PBMO New	Difüzyon artırıcı
Periwet ELR	Islatıcı- Hava giderici
Rucorit RAL	Asidik redüktif yıkama kimyasalı

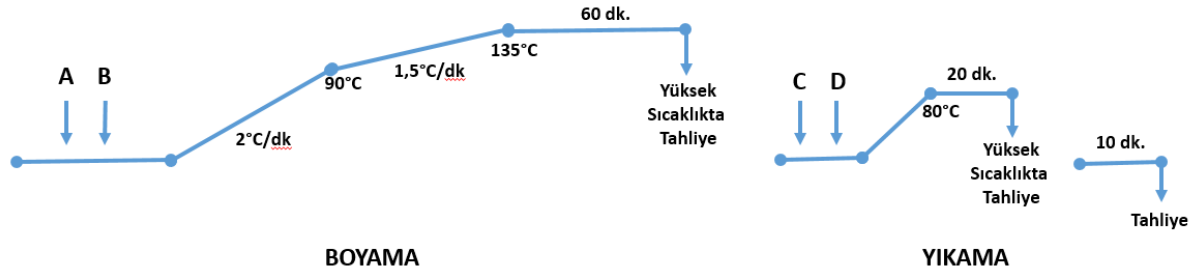
Fabrikada boyama işleminin gerçekleştirilmesinin ardından yıkama işlemlerinde açık renk boyalar ve koyu renk boyalar için farklı işlem adımları gerçekleştirilmektedir. Açık kahve renk boyama işleminden sonra yıkama işleminde herhangi bir kimyasal madde kullanılmazken, lacivert ve siyah boyama işlemlerinin ardından yapılan ilk yıkama işleminde boyarmaddeyi gidermek amacıyla çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Bu işlem adımları ve süreçte kullanılan kimyasal maddeler Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te görülmektedir.



A= Kimyasallar
A1= Polyester Egalizatörü = SETALAN ADN-O
A2= Asit tampon = SETACİD PBS
A3= Difüzyon artırıcı = SERA GAL PBMO New
A4= Islatıcı-hava giderici = PERİWET ELR
B= Boyarmadde

Şekil 3. 2: Açık kahve renk ipliklerin boyanma işlem adımları

Açık kahve renk boyama işlemi sonrasında boyama atıksuları yüksek sıcaklıkta tahliye edilmektedir. İplikleri soğutmak ve ipliklerin üzerinde kalan fazla kimyasal madde ve boyarmaddeleri uzaklaştırmak için yalnızca su ile yıkama yapılmaktadır.



- A= Kimyasallar
 B= Boyarmaddeler
 C= Asit veya asit tampon, boyama işlemi sonrası yıkama işlemi için pH ayarlamada kullanılan SETACİD PBS
 D= Asidik ortamda çalışan redüktif yıkama kimyasalı RUCORIT RAL

Şekil 3. 3: Lacivert ve siyah renk ipliklerin boyanma işlem adımları

Lacivert ve siyah renk boyama yapılmasının ardından yapılan ilk yıkama işleminde Şekil 3.3'te gösterilen C (Setacid PBS) ve D (Rucorit Ral) kimyasalları boyama işleminde kullanılan ve iplik üzerinde kalan fazla kimyasal madde ve boyarmaddeleri etkisiz hale getirip uzaklaştırmak amacıyla kullanılmaktadır.

3.2. Deney Düzenekleri

Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Velp Jar Test ve Sterlitech HP4750 membran hücresi ile Millipore YT30 142 HW membran hücresi kullanılmıştır.

3.2.1. Jar Test Düzeneği

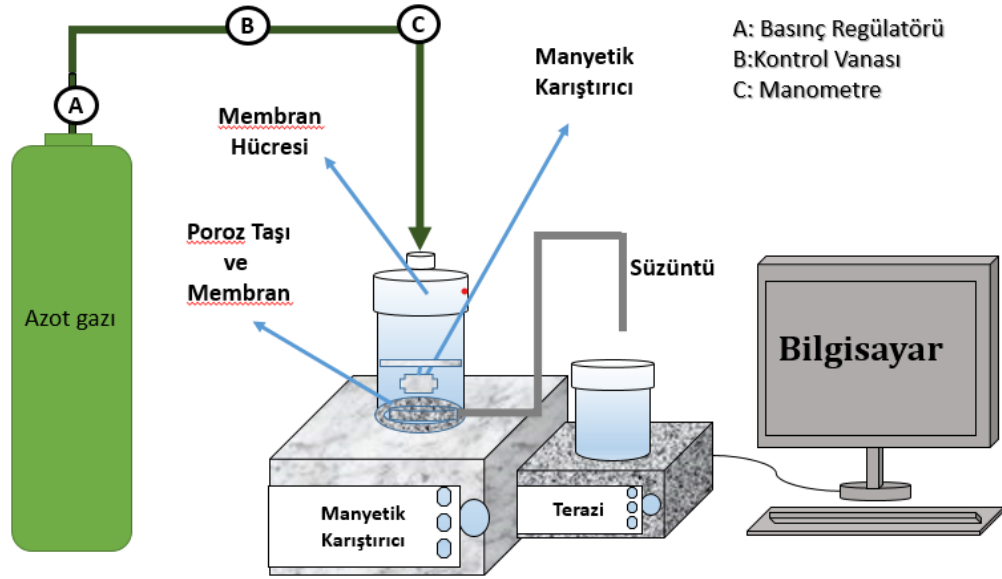
Koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme prosesleri laboratuvar ölçekli Velp marka Jar Test düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Koagülant olarak alüminyum sülfat ($Al_2SO_4.18H_2O$) kullanılmıştır. Kullanılacak alüminyum sülfat dozajları hazırlanan stok alüm çözeltisinden temin edilmiştir. Stok çözeltinin alüminyum sülfat konsantrasyonu 50 mg/L, 100 mg/L, 250 mg/L, 500 mg/L ve 1000 mg/L'dir. Çalışma 1000 mL hacimli cam erlenlere 500 mL numune ilave edilerek gerçekleştirilmiştir. Stok alüminyum sülfat çözeltisi kullanılarak belirlenen sülfat konsantrasyonlarında çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Alüminyum sülfat çözeltisi eklendikten sonra 5N NaOH, 0,1N NaOH ve 0,1N H_2SO_4 kullanılarak numunelerin pH değeri yaklaşık olarak 6,5'e ayarlanmıştır. Hazırlanan numuneler karıştırıcıda; 100 rpm'de 2 dk ve 20 rpm'de 30 dk karıştırılmıştır.

Karıştırma işlemi uygulanan numunelerden 45 ve 90 dk'lık bekleme sürelerinin sonunda ayrı ayrı 150 mL numune alınarak alınarak su kalite parametreleri (pH, iletkenlik, sertlik, sülfat, alkalinite, renk, KOİ, 436 nm, 525 nm, 620 nm'de UV) analiz edilmiştir.

3.2.2. Membran Düzenegi

İplik boyama fabrikasından temin edilen atıksularda moleküler fraksiyon dağılımı gerçekleştirildiği membran düzenegi Şekil 3.4'te görülmektedir. 150 kDa, 50 kDa ve 1 kDa membranlar için Millipore YT30 142 HW membran hücresi ve 0,2 Da membran için ise Sterlitech HP4750 membran hücresi kullanılmıştır. Sterlitech HP4750 membran hücresinin hacmi 300 mL ve efektif membran alanı 0,00146 m² iken Millipore YT30 142 HW membran hücresinin hacmi 1,4 L ve efektif membran alanı 0,12 m²'dir. Her iki membran hücresinde de basınç azot gazı ile sağlanırken oluşan membran süzöntü akısını belirlemek amacıyla 0,1 g ve 0,001 g hassasiyetli iki dijital terazi ve akı verilerinin kaydedilmesi için bilgisayar kullanılmıştır.



Şekil 3. 4: Membran düzeneginin şematik gösterimi.

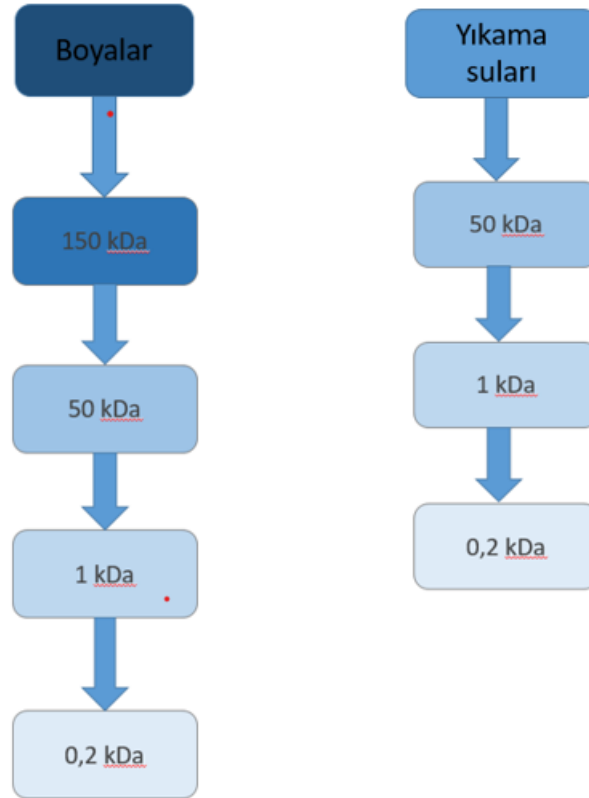
3.3. Moleküler Ağırlık Dağılımının Belirlenmesi

Açık kahve, lacivert ve siyah renk boyalar ile bu boyaların yıkama sularından alınan numunelerdeki kirleticilerin moleküler ağırlık dağılımlarının belirlenmesi amacıyla çalışma yapılmıştır. Moleküler fraksiyonda kullanılan membranlar ve özellikleri Tablo 3.3' de, boyalar

ve yıkama suları için yapılan moleküler ağırlık dağılımı çalışmaları Şekil 3.5’ te gösterilmektedir.

Tablo 3. 3: Kullanılan membranların özellikleri.

MWCO	Türü	Cinsi	Marka ve modeli	Akı (L/m ² .sa)
150 kDa	ultrafiltrasyon	PES	Nadir RM US 150 P 1060	➤ 286
50 kDa	ultrafiltrasyon	PESH	Nadir RM UH 050 P	➤ 85
1 kDa	ultrafiltrasyon	Kompozit poliamid	Sterlitech YMGESP3001	18/400 Flux (GFD) psi
0,2kDa	nanofiltrasyon	Poliperazin-amid	Sterlitech YMTS403001	20/110 Flux (GFD) psi



Şekil 3. 5: Boya ve yıkama sularında moleküler fraksiyon için kullanılan membrana ait moleküler ağırlık ayırma sınırı değerleri.

3.4. Atıksu Karakterizasyonu İçin Yapılan Analizler

Tez çalışmasında yapılan karakterizasyon çalışmaları ve elde edilen numuneler Tablo 3.4’te gösterilen analizlerle değerlendirilmiştir.

Tablo 3. 4: Karakterizasyon çalışmalarına ait parametreler.

Parametre	Analiz Metodu	Analiz Cihazı
pH	SM 4500	Thermo Scientific marka Orion 5-Star Plus multiparametre
İletkenlik	SM 2510	Thermo Scientific marka Orion 5-Star Plus multiparametre
Alkalinite	SM 2320	Titrasyon
Toplam sertlik	SM 2340	Titrasyon
Sülfat	SM 4500 E	Shimadzu marka UV-VIS 1800 spektrofotometre
Renk	SM 2120	Hach lange DR3900
Spektral Absorbsiyon Katsayısı (SAK) (436, 525, 620 nm)	DIN EN ISO 7887	Shimadzu marka UV-VIS 1800 spektrofotometre
BOİ ₅	SM 5210 D	Titrasyon
KOİ	SM 5220	Titrasyon
UV taraması (190 nm-800 nm)	SM 5910	Shimadzu marka UV-VIS 1800 spektrofotometre

pH ve iletkenlik: pH analizleri Standart Metotlarda (2017) tanımlanan SM 4500 yöntemine göre, iletkenlik analizleri ise yine Standart Metotlarda (2017) tanımlanan SM 2510 yöntemi dikkate alınarak yapılmıştır. pH ve iletkenlik değerleri ölçümü için Şekil 3.6’da görülen Thermo Scientific marka Orion 5-Star Plus multiparametre cihazı kullanılmıştır.



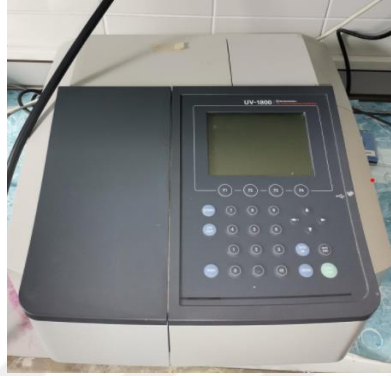
Şekil 3. 6: Multiparametre cihazı

KOİ Analizi: Standart Metotlarda tanımlanan SM 5220 C yöntemine göre yapılmıştır. Kit tüpleri içerisine yeterli oranda seyreltilmiş numuneden 2,5 mL alınarak 1,5 mL potasyum dikromat ve 3,5 mL gümüşlü sülfirik asit eklenip kapakları kapatıldıktan sonra Şekil 3.7’de görülen Velp Eco 23 termoreaktörde 150 °C’de 120 dk kaynatılmıştır. Oda sıcaklığına gelen numuneler DAS (demir amonyum sülfat) ile titre edilerek elde edilen sarfiyat kaydedilip KOİ hesaplaması yapılmıştır.

BOİ₅ Analizi: Standart Metotlarda tanımlanan SM 5210 D yöntemine göre yapılmıştır. Seyreltme oranı belirlenmiş her numuneden üç adet ayrı ayrı BOİ şişelerine konularak üzerine seyreltme suyu ilave edilmiştir. Seyreltme suyu ilave edildikten sonra numunenin içerisinde hava kalmaması sağlanmıştır. Pipet yardımıyla BOİ şişesinin dip kısmına 1 mL mangan sülfat ve 1mL alkali iyodür çözeltisi eklenerek 10 defa çalkalanmıştır. Çökelek oluşumundan sonra şişeye tekrar 1 mL derişik H₂SO₄ çözeltisi eklenmiştir. Her üç şişe içinde uygulanan bu yöntemlerden sonra şişelerden ikisi alınarak 5 gün boyunca beklemek üzere inkübatöre konulmuştur. Diğer şişedeki çözeltiden 200 mL erlene alınarak 0,025 M tiyosülfat çözeltisi ile titrasyon yapılmıştır. Açık sarı renk görüldükten sonra üzerine 2 damla nişasta çözeltisi eklenmiş ve çözeltinin rengi maviye dönmüştür. Çözelti renksizleşene kadar tekrar titrasyona devam edilerek oluşan değer kaydedilmiştir. 5 gün sonra inkübatörden alınan diğer şişeler için de aynı işlemler tekrarlanarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Sülfat Analizi: Sülfat analizleri Standart Metotlarda tanımlanan SM 4500 E yöntemine göre yapılmıştır. Numunelerin sülfat içeriklerine göre 1/5, 1/10, 1/20, 1/25 ve 1/50 oranlarında

seyreltmeler yapılmıştır. Numune ile seyreltme suyu hacmi toplam 50 mL'dir. 50 mL'nin üzerine 10 mL sülfat tampon çözeltisi ve 1g BaCl₂ eklenerek 1 dakika karıştırıcıda karıştırılmıştır. Elde edilen numuneler Şekil 3.8'de görülen Shimadzu marka UV-VIS 1800 spektrofotometre cihazında 420 nm dalga boyunda absorbanları ölçülmüştür. Absorbans dalga boyları kullanılarak sülfat değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. 7: UV-VIS 1800 spektrofotometre cihazı

Alkalinite Analizi: Standart Metotlarda tanımlanan SM 2320 yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Numunelerin alkalinite içeriklerine göre 1/5, 1/10, 1/20, 1/25 ve 1/50 oranlarında seyreltmeler yapılmıştır. Numune ile seyreltme suyu hacmi toplam 50 mL'dir. 0,1 N H₂SO₄ standart çözeltisi ile pH 4,3 ila 4,9 arasına gelene kadar titrasyon yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir.

Toplam Sertlik Analizi: Standart Metotlar da tanımlanan SM 2340 yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Numunelerin alkalinite içeriklerine göre 1/5, 1/10, 1/20, 1/25 ve 1/50 oranlarında seyreltmeler yapılmıştır. Numune ile seyreltme suyu hacmi toplam 50 mL'dir. 1 mL sertlik tampon çözeltisi ve erichrome black T eklenerek kırmızıya dönen renk 0,01 N EDTA ile renk maviye dönene kadar titrasyon yapıp sarfiyat kaydedilmiştir. Gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Renk Analizi: Renk ve bulanıklık sırasıyla Standart Metotlar da tanımlanan SM 2120 yöntemine göre Şekil 3.9'da görülen Hach Lange DR3900 marka spektrofotometrede yapılmıştır.



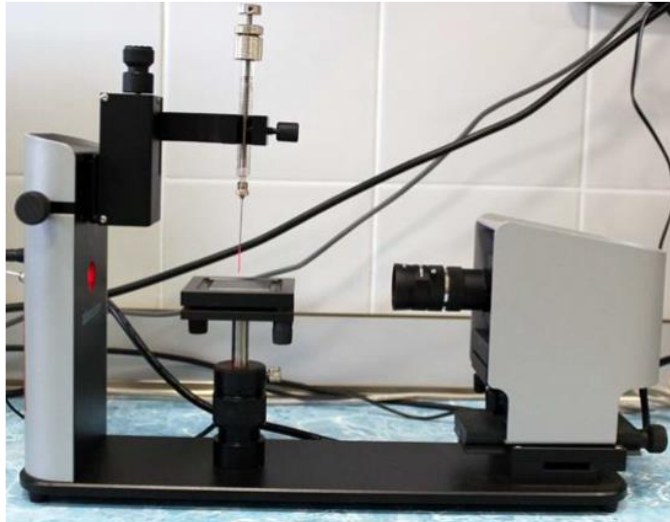
Şekil 3. 8: Renk ve bulanıklık ölçüm cihazı

UV Taraması: Standart metotlarda tanımlanan SM 5910 yöntemine göre yapılmıştır. Shimadzu marka UV-VIS 1800 spektrofotometre cihazı ile 190 nm -800 nm dalga boyu aralığında UV taraması gerçekleştirilmiştir.

3.5. Membran Karakterizasyonunda Kullanılan Analizler

3.5.1. Temas Açısı Belirleme Analizi

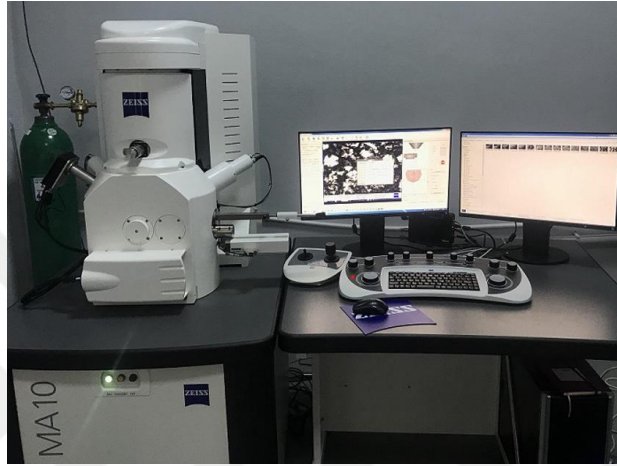
Yapılan moleküler ağırlık dağılımı çalışmasında kullanılan membranların hidrofobik ya da hidrofilik özelliklerini belirlemek amacıyla temiz ve kirli durumdaki hallerinin temas açıları belirlenmiştir. Bu amaçla Şekil 3.9'da görülen Attension Theta Lite marka temas açısını belirleme cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3. 9: Attension Theta Lite marka temas açısı cihazı.

3.5.2. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM) ve Enerji Dağılımı X- ışını Spektroskopisi (EDS)

SEM analizi membran yüzeyindeki belirlenen alanın elektronlar ile taranmasıyla membranlardaki mikroyapılar ve yapı özellikleri, EDS ise yüzeydeki elementler hakkında bilgi vermektedir. SEM ve EDS analizi Şekil 3.10’da görülen ZEISS EVO MA10 marka cihaz ile yapılmıştır. Her analiz temiz ve kirli membranlarda ayrı ayrı 100, 500, 2000 ve 10.000 kat büyütülmüş olup bu büyüklüklerde membran yüzeyleri analiz edilmiştir.



Şekil 3. 10: ZEISS EVO MA10 marka SEM cihazı

3.5.3. ATR-FTIR Spektrum Analizi

FTIR spektrum analizi temiz ve kirli membranların yapısındaki mikro değişimleri tespit ederek temiz ve kirli membranların spektrumları arasındaki farklılaşma gözlemlenmiştir. Bu amaçla Şekil 3.11’de görülen JASCO FT/IR-4000 isimli cihaz kullanılmıştır.



Şekil 3. 11: JASCO FT/IR-4000 ATR-FTIR cihazı

4. BULGULAR

4.1. Atıksulara Ait Karakterizasyon Çalışmaları

Açık kahve, lacivert ve siyah renk boyama suları ile bu boyaların yıkama suları karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon amacıyla pH, iletkenlik, sertlik, alkalinite, renk, KOİ, BOİ₅, UV dalga boyu taraması, 436 nm, 525 nm, 620 nm dalga boyunda renk taraması parametreleri analiz edilmiştir. Karakterizasyon çalışmasına ait veriler Tablo 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4. 1: Boya ve yıkama sularının karakteristik özellikleri.

Atıksular	pH	iletkenlik (µs/cm)	Sertlik (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Alkalinite (mg/L)	Renk (PtCo)	436 nm	525 nm	620 nm	KOİ (mg/L)	BOİ (mg/L)
Açık kahve rengi boya	4,63	708	800	87,06	300	21	1,09	0,506	0,178	1358	362
Açık kahverengi boya yıkama suyu	6,7	672	800	60,59	300	20	1,25	0,669	0,325	603	118
Lacivert boya	7	914	600	247,12	300	1240	50,5	28,8	15,7	1811	113
Lacivet 1.yıkama	4,11	953	800	248,37	300	62	2,24	0,85	0,215	301	91
Lacivert 2. yıkama	6,7	703	800	105,02	300	62	0,948	0,582	0,352	29	-
Siyah boya	7,5	1304	600	604,45	300	3440	153,6	101,2	76,4	5132	274
Siyah 1. yıkama	11,84	3290	600	895,475	1000	530	20,9	5,76	3,27	1207	436
Siyah 2. yıkama	7,35	928	600	284	400	53	1,95	0,633	0,333	118	19,5

31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”nde “Tablo 22: Atıksuların Atıksu Altyapı Tesislerine Deşarjında Öngörülen Atıksu Standartları” belirtilmiştir. Yönetmelikteki standartlara göre KOİ değerleri bakımından kanala deşarj standartlarına uygun değildir.

4.2. Koagülasyon-Flokülasyon Çalışması

Açık kahve, lacivert ve siyah boya ile yapılan koagülasyon çalışmasında koagülant olarak alüm (Al_2SO_4) kullanılmıştır. Alüm dozajları olarak 50 mg/mL, 100 mg/mL, 250 mg/mL, 500 mg/mL ve 1000 mg/mL kullanılmıştır. Koagülasyon-flokülasyon-çöktürme (45 ve 90 dk) işleminin ardından üst fazdan numuneler alınmıştır. pH, iletkenlik, alkalinite, sertlik, sülfat, KOİ, BOİ, renk parametreleri ve 436, 525, 620 nm dalga boyunda renk analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’ te analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo 4. 2: Alüminyum sülfatın koagülant olarak kullanıldığı açık kahve boyama atıksularının koagülasyon- flokülasyon-çöktürme sonrası su kalite değerleri.

Zaman (dk)	Alum miktarı (mg/L)	pH	İletkenlik (µs/cm)	Alkalinite (mg/L)	KOI (mg/L)	Sertlik (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Renk (PtCo)	436 nm	525 nm	620 nm
Hamsu	-	4,63	708	300	1358	800	87,06	21	1,09	0,506	0,178
45	50	6,42	978	300	1317	800	97,21	20	1,04	0,503	0,159
45	100	6,28	1112	300	1210	800	119,64	9	0,434	0,272	0,149
45	250	6,25	1300	300	1075	800	283,75	7	0,335	0,187	0,137
45	500	6,04	1740	300	941	800	403,45	7	0,333	0,186	0,12
45	1000	6,6	3290	300	376	800	700,525	6	0,326	0,162	0,1
90	50	6,75	950	300	1250	800	89,365	19	0,995	0,506	0,274
90	100	6,75	1090	300	1188	800	110,7	8	0,41	0,254	0,149
90	250	6,85	1285	300	965	800	263,75	7	0,330	0,185	0,133
90	500	6,75	1722	300	376	800	369,6	6	0,315	0,184	0,112
90	1000	6,68	3230	300	188	800	671,25	5	0,287	0,138	0,071

Tablo 4.2' ye göre açık kahve boya da alüminyum sülfat dozu artıkça iletkenlik değeri de doğal olarak artmıştır. Alüminyum sülfat içerisinde süfat olması sebebiyle sülfat konsantrasyonunda da artış görülmüştür. Buna mukabil, KOİ ve renk parametrelerinde ise artan koagülant dozuyla azalma görülmüştür. Çöktürmede artan bekletme süresi de KOİ ve renk parametresinde giderme verimini artırmıştır. Alüminyum sülfatın çözünmesi ile oluşan karbon dioksitin alkaliniteyi etkilemesi beklenmektedir ancak alkalinite önemli bir değişim görülmemiştir. Sertlik değeri de uygulanan kimyasal arıtmadan pek etkilenmemiştir.

Tablo 4.2'deki verilere göre 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği"de Tablo 22: Atıksuların Atıksu Altyapı Tesislerine Deşarjında Öngörülen Atıksu Standartları belirtilmiştir. Yönetmelikteki standartlara göre ancak 250 mg/L ve üzerinde alüminyum sülfat ilave edilmesi halinde KOİ parametresi kanala deşarj standardını sağlamaktadır.

Tablo 4. 3: Alüminyum sülfatın koagülant olarak kullanıldığı lacivert boyama atıksularının koagülasyon- flokülasyon-çöktürme sonrası su kalite değerleri.

Zaman (dk)	Alum miktarı (mg/L)	pH	İletkenlik (µs/cm)	Alkalinite (mg/L)	KOİ (mg/L)	Sertlik (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Renk (PtCo)	436 nm	525 nm	620 nm
Hamsu		4,6	914	300	1811	600	247,12	1240	50,5	28,8	15,7
45	50	6,33	1249	300	1810,06	600	387,5	1140	50,2	27,6	14,7
45	100	5,59	1490	300	1789,56	600	667,8	1070	49,6	26,6	13,4
45	250	6,2	1701	300	1663,35	600	685,1	1040	43,5	20,8	10,7
45	500	5,73	2005	300	1317,65	600	673,125	428	17,72	9,64	6,34
45	1000	5,9	2709	300	752,941	600	972,15	305	3,14	0,789	0,41
90	50	6,35	1246	300	1800,82	600	368,825	1070	56,5	32,6	19,5
90	100	5,82	1481	300	1676,82	600	564,4	950	55,5	32,6	18,7
90	250	6,29	1699	300	1278,35	600	656	900	49,7	27,7	14,3
90	500	5,86	2001	300	1129,41	600	526,4	390	16,8	8,95	5,65
90	1000	5,97	2707	300	748,94	600	969,125	96	1,7	0,5	0,30

Tablo 4.3’e göre lacivert boyama atıksularında analiz edilen kirleticilerin alüminyum sülfat dozu ile çöktürme süresine bağlı değişimi açık kahve boyama ile benzerlik göstermiştir. İletkenlik ve sülfat değerlerinde artış görülürken KOİ ve renk parametrelerinde ise azalma olmuştur. Sertlik ve alkalinite değerlerinde ise önemli bir değişim görülmemiştir.

Tablo 4.3’deki verilere göre 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”de Tablo 22: Atıksuların Atıksu Altyapı Tesislerine Deşarjında Öngörülen Atıksu Standartları belirtilmiştir. Yönetmelikteki standartlara göre ancak 1.000 mg/L ve üzerinde alüminyum sülfat ilave edilmesi halinde KOİ parametresi kanala deşarj standardını sağlamaktadır.

Tablo 4. 4: Siyah boyama atıksularının koagülasyon- flokülasyon sonrası alüm miktarına bağlı elde edilen kirletici değerleri.

Zaman (dk)	Alum miktarı (mg/L)	pH	İletkenlik (µs/cm)	Alkalinite (mg/L)	KOİ (mg/L)	Sertlik (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Renk (PtCo)	436 nm	525 nm	620 nm
Hamsu	-	7,5	1304	300	5132	600	604,45	3440	153,6	101,2	76,4
45	50	6,9	1748	300	4894	600	874	3340	148	100,2	75,1
45	100	6,5	1804	300	4329	600	933,45	3238	145	95,5	70,6
45	250	6,28	2076	300	3576	600	1154,55	2980	138,2	91,2	69,4
45	500	6,3	2425	300	3200	600	1465	2900	113,6	90	68,6
45	1000	6,1	3210	300	2447	600	1931,3	2120	102,5	89,6	66,3
90	50	6,77	1749	300	4235	600	790,1	3300	145	97,7	68,5
90	100	6,55	1811	300	3764	600	879	3210	142,3	94,4	70,4
90	250	6,25	2082	300	2823	600	1076,95	2960	135,8	90,2	68,4
90	500	6,25	2429	300	2550	600	1408	2420	110	89,7	65,3
90	1000	6,12	3180	300	2300	600	1843,2	2020	100	80,2	56,4

Tablo 4.4’göre artan koagülant dozu ve çöktürme süresi açık kahve boyama ile lacivert boyamaya benzer şekilde su kalitesinde değişim görülmektedir. KOİ değeri yaklaşık %50 oranında giderilebilmiş ve 2300 mg/L civarındadır. Bu KOİ değeri kanala deşarj standardı için oldukça yüksektir..

Tablo 4.4’deki verilere göre 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”nde “Tablo 22: Atıksuların Atıksu Altyapı Tesislerine Deşarjında Öngörülen Atıksu Standartları” belirtilmiştir. Yönetmelikteki standartlara göre KOİ değeri kanala deşarj standartlarını karşılamamaktadır. 1.000 mg/L ve üzerinde alüminyum sülfat konsantrasyonunda artış yönetmelikte belirtilen kanala deşarj sınır değeri aşmaktadır.

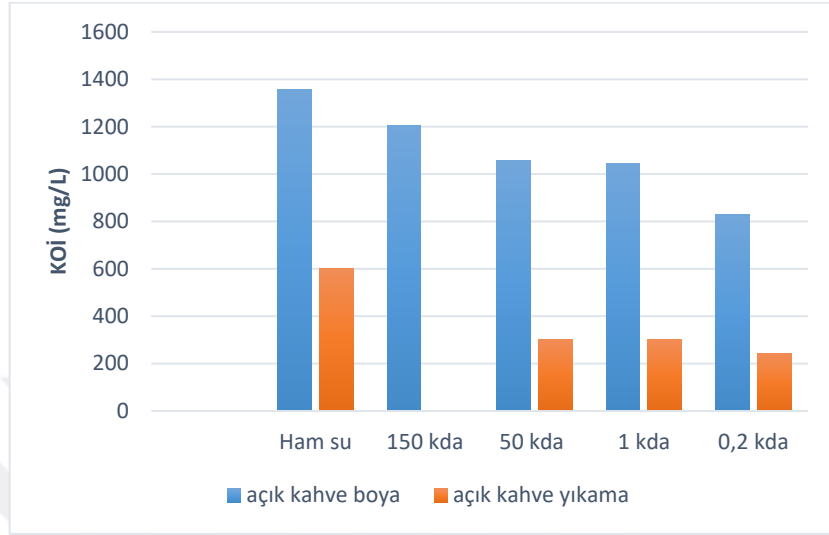
4.3. Moleküler Ağırlık Dağılımını Belirleme Çalışmaları

Sulardaki kirleticilerin moleküler ağırlıkları, kileticilerin giderilmesinde kullanılacak olan proseslerin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Farklı renklerde iplik boyama atıksularından alüminyum sülfat koagülantı kullanılarak kanala deşarj standardını sağlayacak seviyede KOİ giderimin pek sağlanamadığı görülmektedir. Alüminyum sülfat ilave edilerek KOİ konsantrasyonu azaltılırken aynı zamanda suyun hem iletkenlik ve hemde sülfat konsantrasyonu artmaktadır. Kirleticilerin moleküler dağılımlarına göre kullanılabilecek arıtma ünitesi alternatiflerinin belirlenmesi amacıyla moleküler ağırlık dağılımı çalışması gerçekleştirilmiştir. Boyama suları 150 kDa, 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa ile boyama sonrasında yapılan yıkamalar için ise 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa MWCO’ya sahip membranlar kullanılmıştır. Membran süzöntülerinde pH, iletkenlik, alkalinite, sertlik, sülfat, KOİ, BOİ₅ ve renk parametrelerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca UV taramasındaki absorpsiyon değerlerindeki değişimler de belirlenmiştir.

4.3.1. Açık Kahve Renk ve Yıkama Suyu için Yürütülen Moleküler Ağırlık Dağılım Çalışmaları

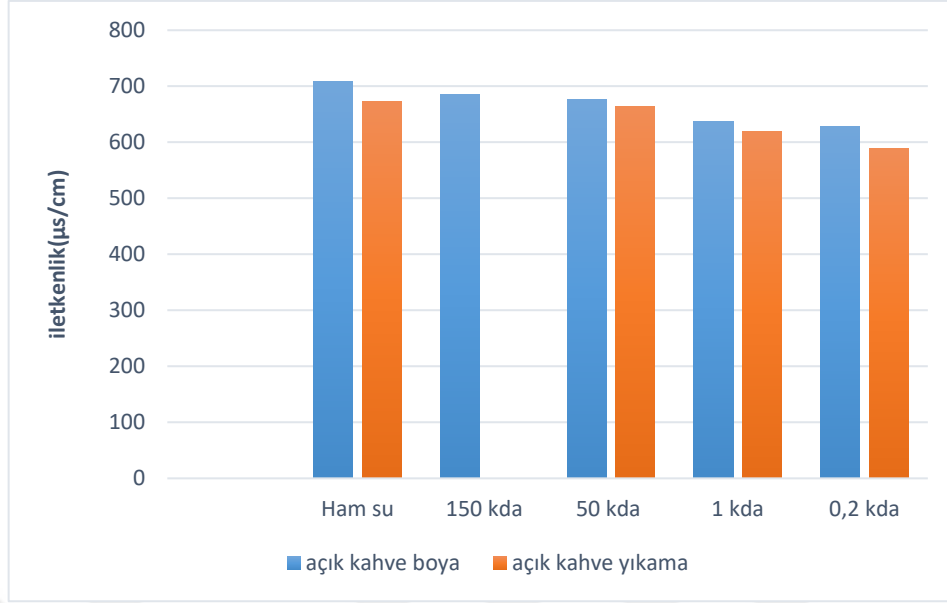
Açık kahve renk boyama ve yıkama suyun KOİ parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.1’de görülmektedir. Açık kahve renk boyama suyunda yapılan moleküler fraksiyon dağılımına göre ham suyun KOİ değerinin %11,1’inin 150 kDa’dan, %22,2’sinin 50 kDa ve 1 kDa’dan, % 38,8’inin de 0,2 kDa’dan daha büyük moleküler ağırlığa sahip olduğu görülmüştür. Açık kahve boya ile yıkama suyu için KOİ değerlerinin moleküler ağırlık dağılımı Şekil 4.1’de görülmektedir.

Açık kahve yıkama suyunda ise ham suyun KOİ parametresinde 50 kDa ve 1 Kda için %50 oranında giderim verimi görülmüştür. Ham suyun KOİ değerinin %60'ının 0,2 kDa'dan daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.



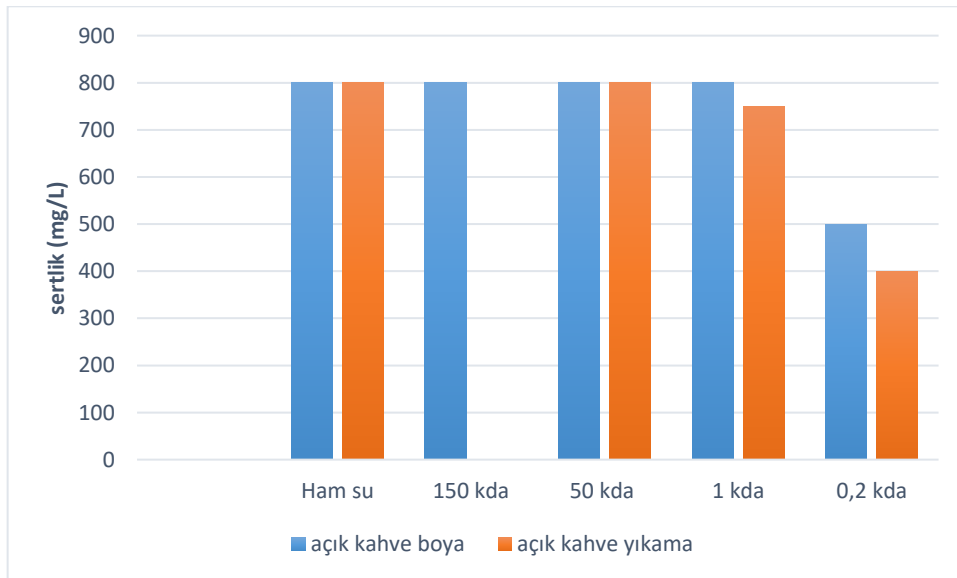
Şekil 4. 1: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki KOİ değerleri.

Açık kahve renk boyama ve yıkama suyun iletkenlik parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.2'da görülmektedir. Açık kahve boyada iletkenlik değerine katkı sağlayan iyonların % 11,15'inin 0,2 kDa'dan büyük olduğu görülmektedir. Açık kahve yıkama suyunda da boyama suyuna benzer sonuçlar elde edilmiştir. İletkenlik parametresinde kullanılan membranlar içinde en küçük MWCO'ya sahip olan 0,2 kDa için %12,35 oranında bir giderim elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan membranların elektriksel iletkenliğin giderilmesinde pek etkili olmadığını göstermektedir.



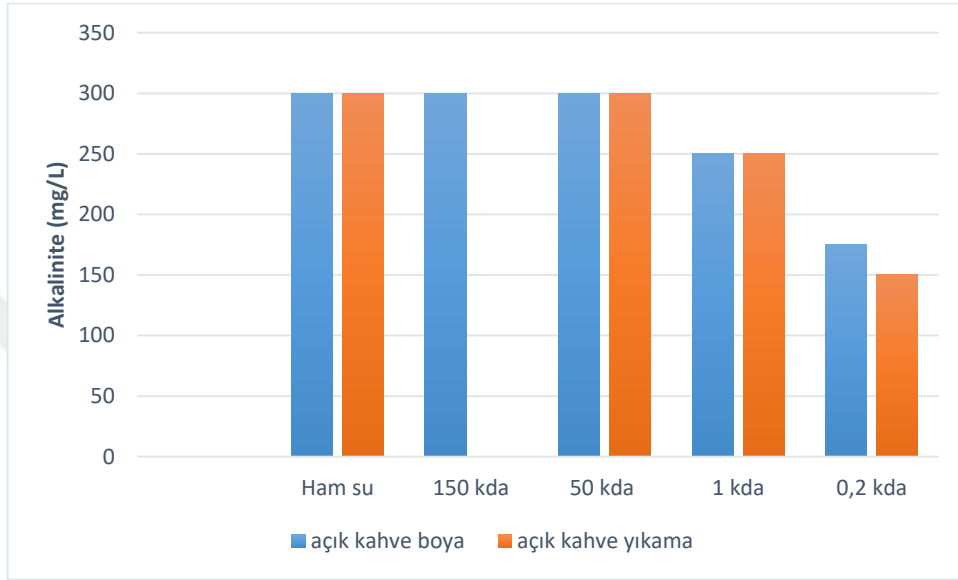
Şekil 4. 2: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki iletkenlik değerleri.

Açık kahve renk boyama ve yıkama suyun sertlik parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.3’de görülmektedir. Moleküler ağırlık dağılım çalışmasında 150 kDa, 50 kDa ve 1 kDa’da sertlik giderimi ihmal metrebesindedir. Sularda sertliğe neden olan $2+$ değerlikli Ca ve Mg iyonlarının 150 kDa, 50 kDa ve 1 kDa MWCO’lu membranlardan daha küçük moleküler ağırlık dağılımına sahip olmasıdır. Dolayısıyla sertlik giderim veriminin olmaması beklenen bir durumdur. 0,2 kDa MWCO’ya membranda açık kahve boya için sertlik giderim verimi %37,5 iken yıkama suyunda sertlik giderim verimi ise %50’dir.



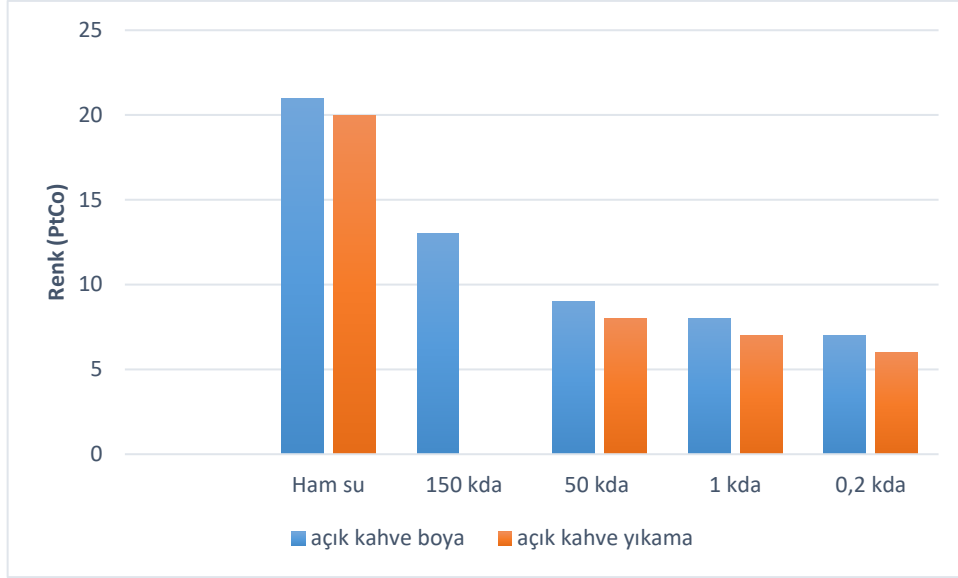
Şekil 4. 3: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki sertlik değerleri.

Açık kahve renk boyama ve yıkama suyun alkalinite parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.4'da görülmektedir. Alkalinite parametresi için 0,2 kDa'da açık kahve boyanın giderimi 300 mg/L'den 175 mg/L'ye düşerek %41,6 oranında, yıkama suyunda 300mg/L'den 150 mg/L'ye düşerek %50 oranında olduğu gözlemlenmiştir.



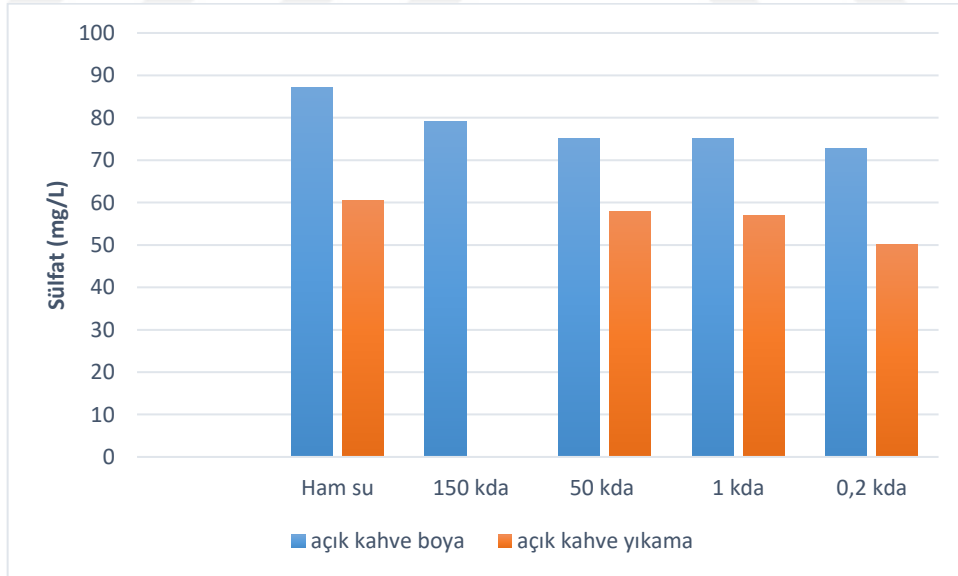
Şekil 4. 4: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki alkalinite değerleri.

Açık kahve renk boyama ve yıkama suyun renk parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.5'de görülmektedir. Açık kahve boyada yapılan moleküler ağırlık dağılımı çalışmasında renk parametresi analizinde açık kahve boyada 150 kDa'da %38, 50 kDa'da %57,1, 1 kDa'da %61,9 ve 0,2 kDa'da %66,7 oranında giderim verimi elde edilmiştir. Açık renk yıkama suyunda ise 50 kDa'da %60, 1 kDa'da % 65 ve 0,2 kDa'da %70 oranında giderim verimi elde edilmiştir.



Şekil 4. 5: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki renk değerleri.

Açık kahve renk boyama ve yıkama suyun sülfat parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.6’da görülmektedir. 0,2 kDa membran ile açık kahve boyama atıksuyundan % 16,3 sülfat giderme verimi elde edilmiştir. Açık kahve yıkama suyunda ise 0,2 kDa’da benzer şekilde %17,5 oranında sülfat giderimi sağlanmıştır.



Şekil 4. 6: Açık kahve boya ve yıkama suyunun moleküler ağırlık dağılımındaki sülfat değerleri.

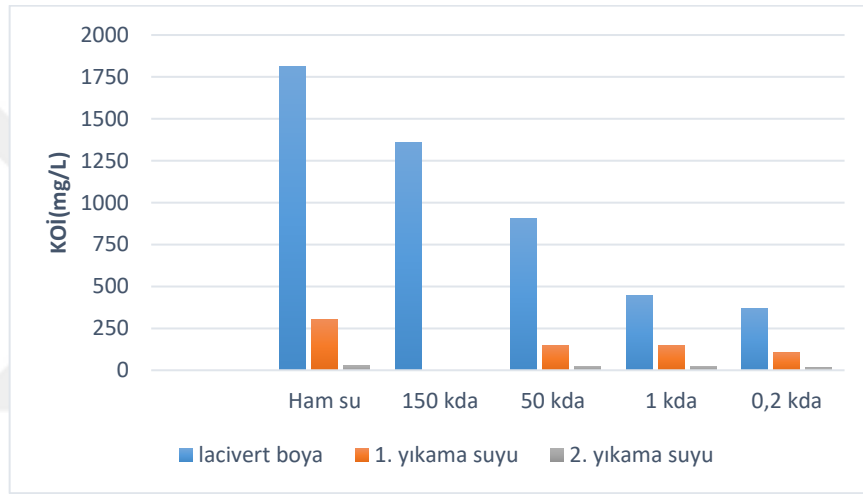
4.3.2. Lacivert Boya, İlk Yıkama Suyu ve 2. Yıkama Suyu ile Yürütülen Moleküler Ağırlık Dağılım Çalışmaları

Lacivert renk boyama ve yıkama sularında KOİ parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.7’de görülmektedir. Lacivert renk boyama suyunda yapılan

moleküler ağırlık dağılımına göre ham suyun KOİ değerinin % 25'inin 150 kDa, % 50'sinin 50 kDa, % 75'4' ünün 1 kDa ve %79,5'inin 0,2 kDa'dan daha büyük moleküler ağırlığa sahip olduğu görülmüştür.

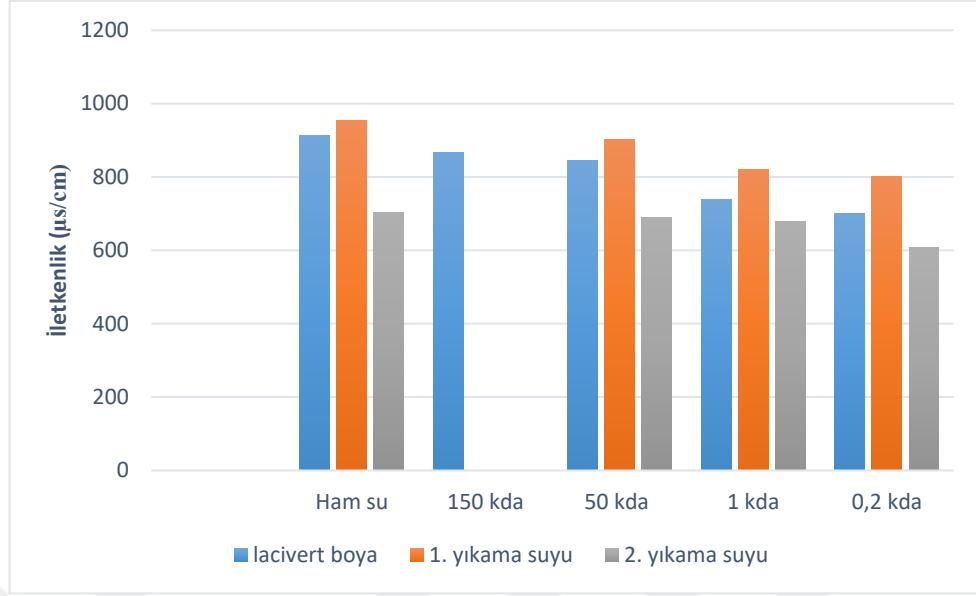
Lacivert boya 1. yıkama suyunda ise ham suyun KOİ parametresinde 50 kDa ve 1 kDa için %50 oranında giderim sağlanmıştır. KOİ değerinin %65,7'sinin 0,2 kDa'dan daha büyük olduğu görülmektedir.

Lacivert boya 2. yıkama suyunda ise ham suyun KOİ değeri 29 mg/L'dir. Yapılan moleküler ağırlık dağılımı çalışmasında KOİ değerlerinin <20 mg/L olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 7: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki KOİ değerleri.

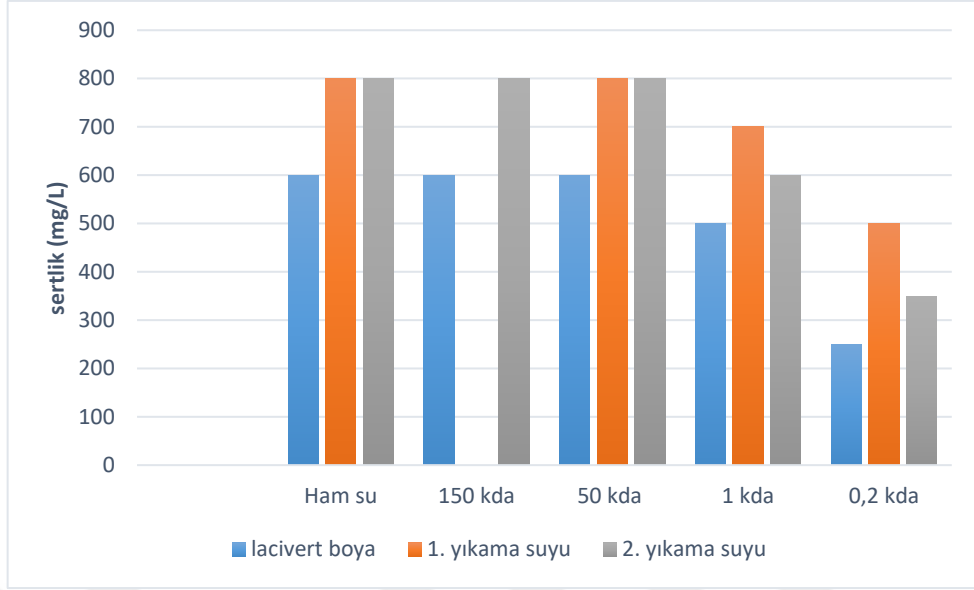
Lacivert renk boyama ve yıkama sularında iletkenlik parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.8'de görülmektedir. Lacivert boyada iletkenlik değerinin % 23,41'inin 0,2 kDa'dan büyük olduğu görülmektedir. Lacivert 1. ve 2.yıkama suyunda da boyama suyuna benzer sonuçlar elde edilmiştir. İletkenlik parametresinde kullanılan membranlar içinde en küçük MWCO'ya sahip olan 0,2 kDa için 1.yıkama suyunda %16 oranında, 2. yıkama suyunda ise %13,65 oranında giderim elde edilmiştir. Bu durum kullanılan membranların MWCO'ları suda mevcut iyonların giderilmesi için pek etkili olmadığı görülmektedir.



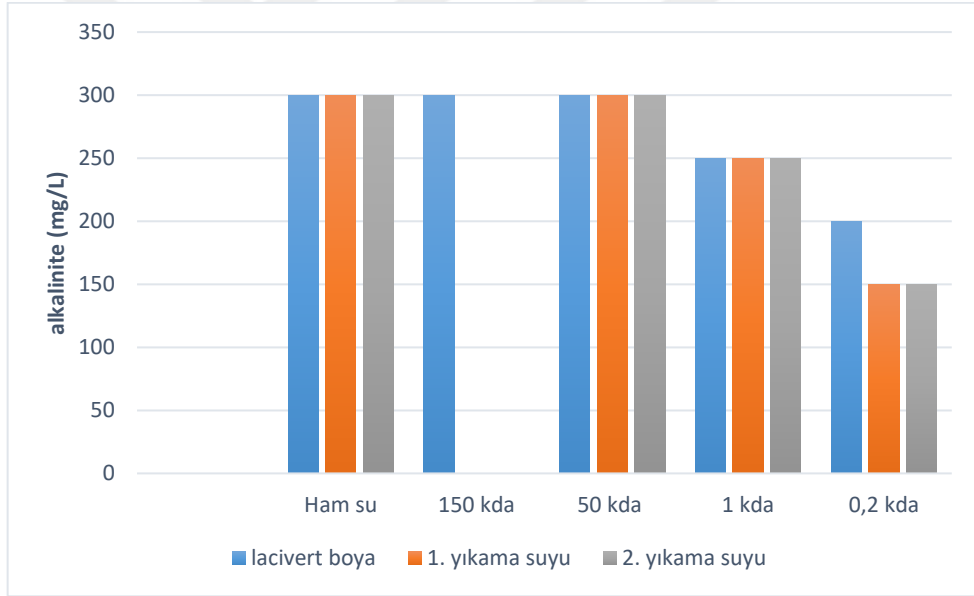
Şekil 4. 8: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki iletkenlik değerleri.

Şekil 4.8’de yıkama sularındaki iletkenlik değerlerinin boyama suyuna göre yüksek olduğu görülmektedir. Atıksuların temin edildiği fabrikada yıkama esnasında suya eklenen Setacid-PBS ve Rucorit RAL isimli asit tampon çözeltisi yıkama sularında iletkenliği artırdığı düşünülmektedir.

Lacivert renk boyama ve yıkama sularında sertlik ve alkalinite parametreleri için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da görülmektedir. Yapılan moleküler ağırlık dağılımı çalışmasında lacivert boya, 1. yıkama suyu ve 2. yıkama suyu için ölçülen sertlik ve alkalinite değerlerinde yalnızca 0,2 kDa’da giderim olduğu gözlemlenmiş olup lacivert boyada sertlik ve alkalinite değerlerinde sırasıyla % 58,3 ve % 33 oranında azalma eğilimindedir. Lacivert 1. Yıkama suyunda sertlik ve alkalinite değerleri sırasıyla % 37,5, % 50 oranında, 2. yıkama suyunda ise sırasıyla %56,25, % 50 oranlarında azalma meydana gelmiştir. Ölçülen değerler Şekil 4.9 ve 4.10’da gösterilmiştir. Yıkama sularında kullanılan Setacid-PBS ve Rucorit RAL isimli kimyasallar sertlik değerlerinin artmasına sebep olduğu düşünülmektedir.



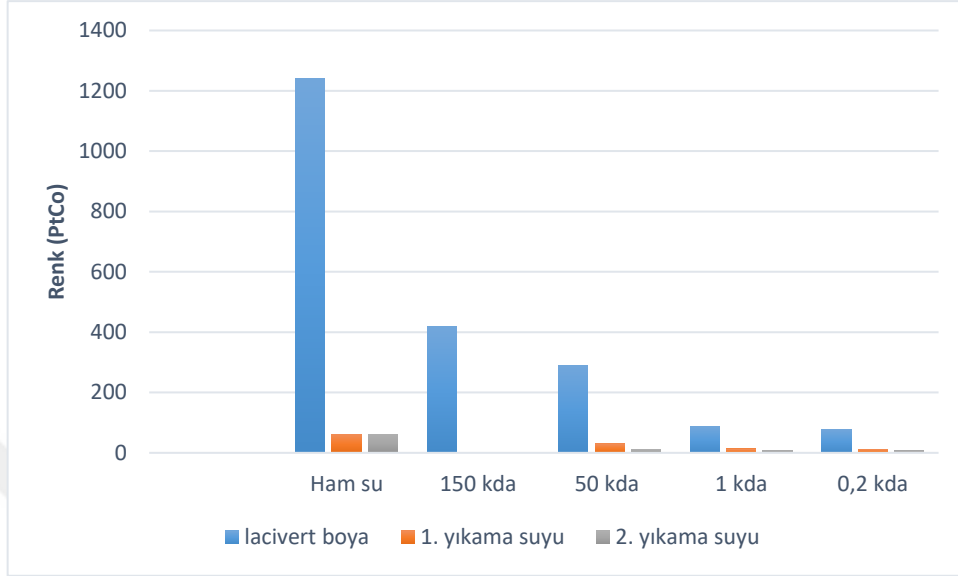
Şekil 4. 9: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki sertlik değerleri.



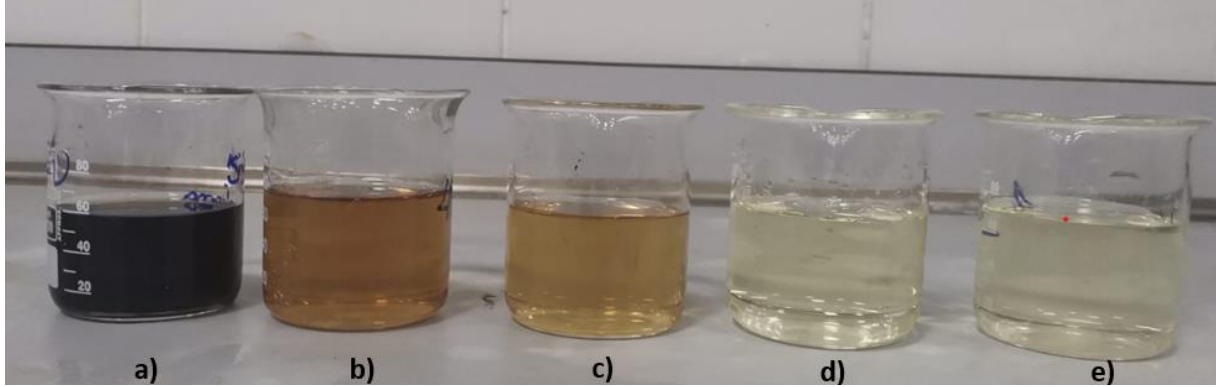
Şekil 4. 10: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki alkalinite değerleri.

Lacivert renk boyama ve yıkama sularında renk parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.11’de ve analize ait görsel ise 4.12’de görülmektedir. Lacivert boya ve yıkama sularında renk değişim değerleri beklenen düzeyde gerçekleşmiştir. 0,2 kDa membran ile lacivert boyada renk giderimi en yüksek seviyede, %93,6 oranında gerçekleşmiştir. 150 kDa ile %66, 50 kDa ile %76,6 1 kDa ile %92 oranında renk giderimi gerçekleşmiştir. 1 kDa ve 0,2 kDa’dan elde edilen sonuçlar oldukça yakın olduğu görülmektedir. 1. yıkama suyunda ise 50 kDa ile % 51, 1 kDa ile % 79 0,2 kDa ile % 80

oranında renk giderimi gerçekleşmiştir. 2. yıkama suyunda ise 50 kDa ile % 80, 1 kDa ile % 87 0,2 kDa ile % 88 oranında renk giderimi gerçekleşmiştir.

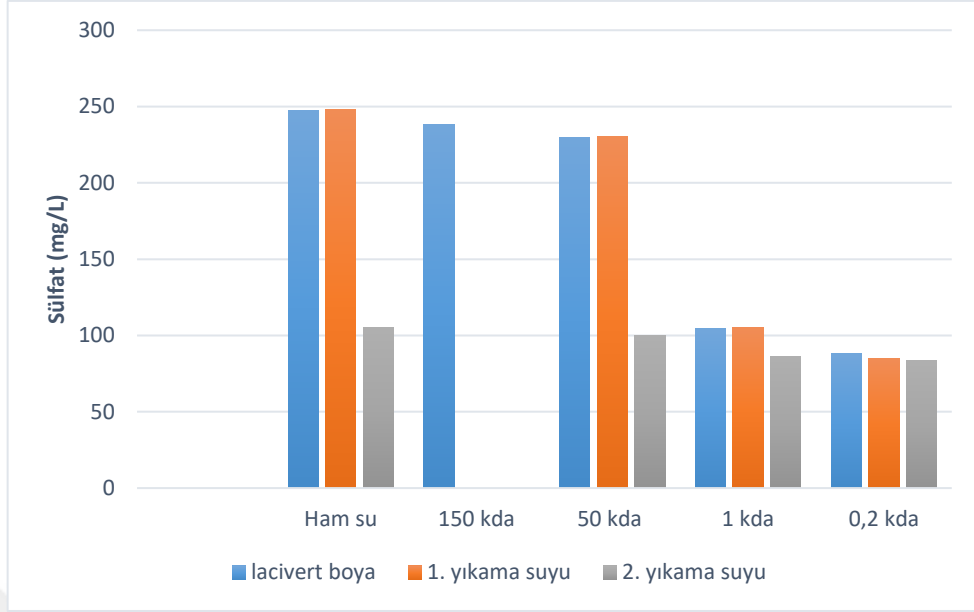


Şekil 4. 11: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki renk değerleri.



Şekil 4. 12: Lacivert boya ile yürütülen moleküler fraksiyon dağılımı sonucu elde edilen süzöntülerde renk değişimi. a) Hamsu, b) 150 kDa, c) 50 kDa, d) 1 kDa, e) 0,2 kDa.

Lacivert renk boyama ve yıkama sularında sülfat parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.13'de görülmektedir. Lacivert boyada yer alan sülfat iyonlarının %57,7'sinin 1 kDa'dan, %64'ünün 0,2 kDa'dan, lacivert 1. yıkama suyunda %57,7'sinin 1 kDa'dan, %65,7'sinin 0,2 kDa'dan, 2. yıkama suyunun %17'sinin 1 kDa'dan, %20,5'inin 0,2 kDa'dan daha büyük olduğu görülmektedir.



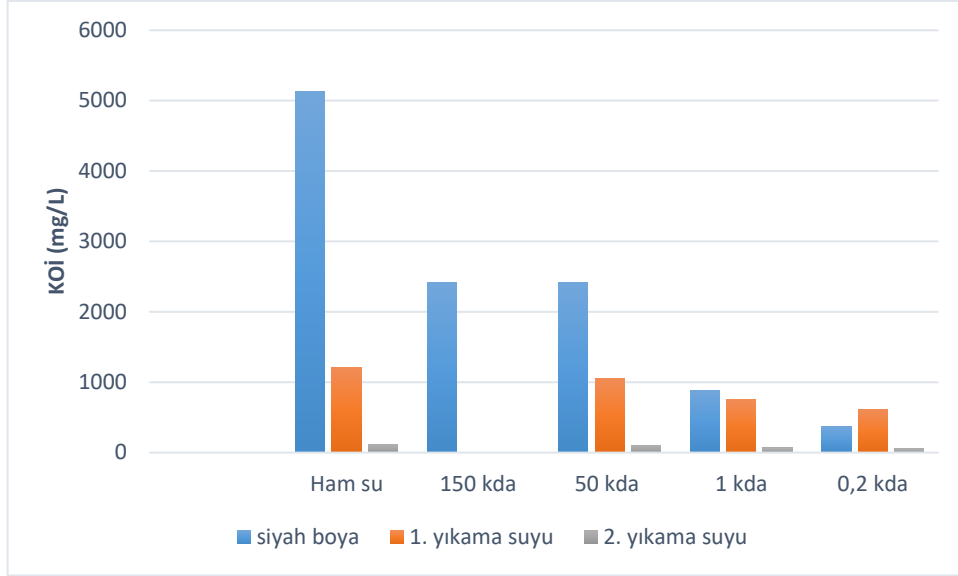
Şekil 4. 13: Lacivert boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki sülfat değerleri.

4.3.3. Siyah Boya, 1. Yıkama Suyu ve 2. Yıkama Suyu ile Yürütülen Moleküler Ağırlık Dağılım Çalışmaları

Siyah renk boyama ve yıkama sularında KOİ parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.14’de görülmektedir. Siyah renk boyama suyunda yapılan moleküler ağırlık dağılımına göre ham suyun KOİ değerinin %52,9’ unun 150 kDa ve 50 kDa’dan %82,6’sının 1 kDa ve %92’sinin 0,2 kDa’dan daha büyük moleküler ağırlığa sahip olduğu görülmüştür.

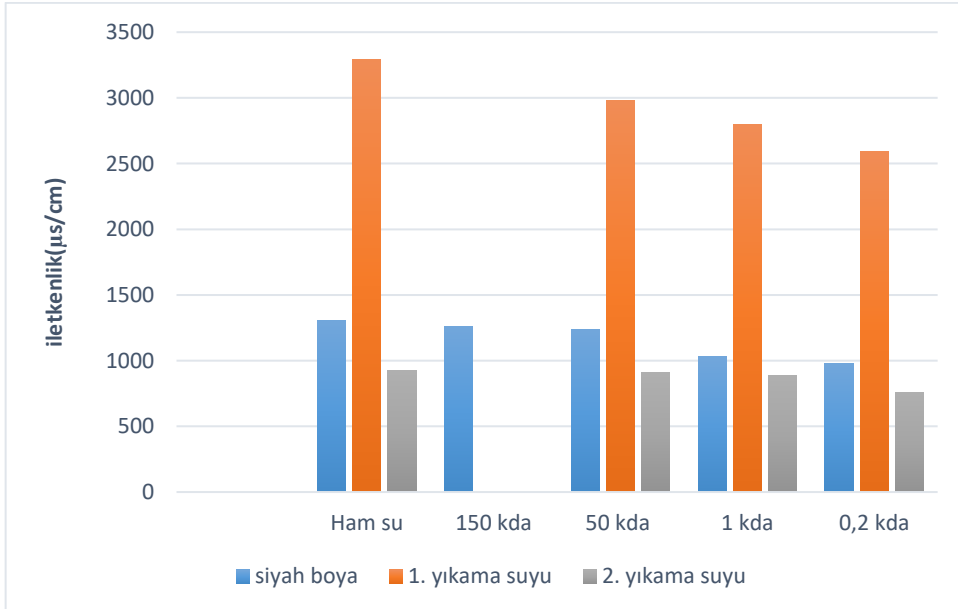
Siyah boya 1. yıkama suyunda ise ham suyun KOİ parametresinde 50 kDa için %12,5, 1 kDa için %37,5 oranında giderim verimi görülmüştür. Analiz sonuçlarına göre ham suyun KOİ değerinin %49,7’si 0,2 kDa’dan daha büyük moleküler ağırlığa sahiptir.

Siyah boya 2. yıkama suyunda ise ham suyun KOİ değeri %12,1 oranında 50 kDa , %43,4 oranında 1 kDa ve %49,7 oranında 0,2 kDa’dan büyük moleküler ağırlığa sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 14: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki KOİ değerleri.

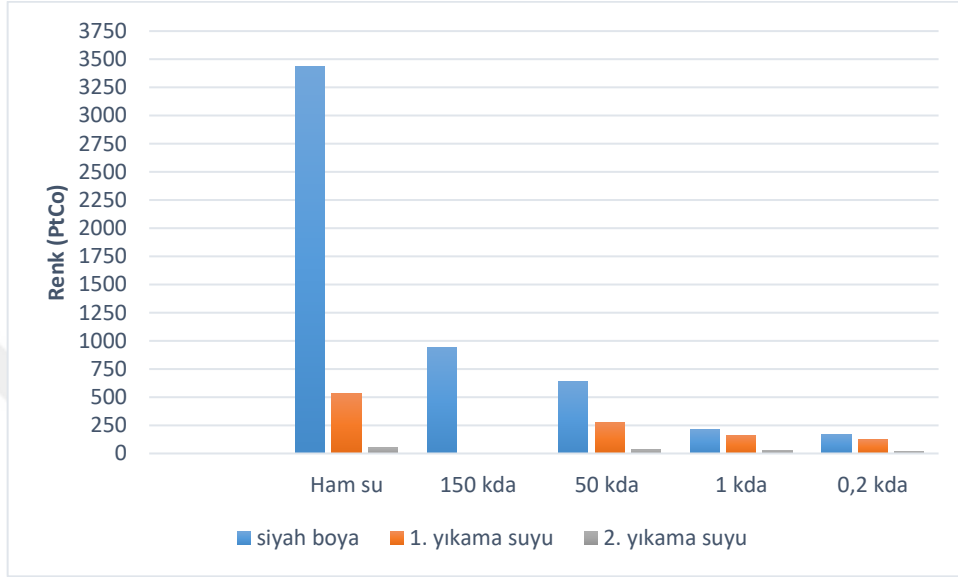
Siyah renk boyama ve yıkama sularında iletkenlik parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.15’de görülmektedir. Moleküler ağırlık dağılımındaki düşüş iletkenliğe de yansyarak değerlerde azalma görülmüştür. Siyah boyanın %24,76, 1. yıkama suyunun %21,3, 2. yıkama suyunun %18,31’i 0,2 kDa’dan daha büyük moleküler ağırlığa sahip iyonların olduğunu göstermektedir.



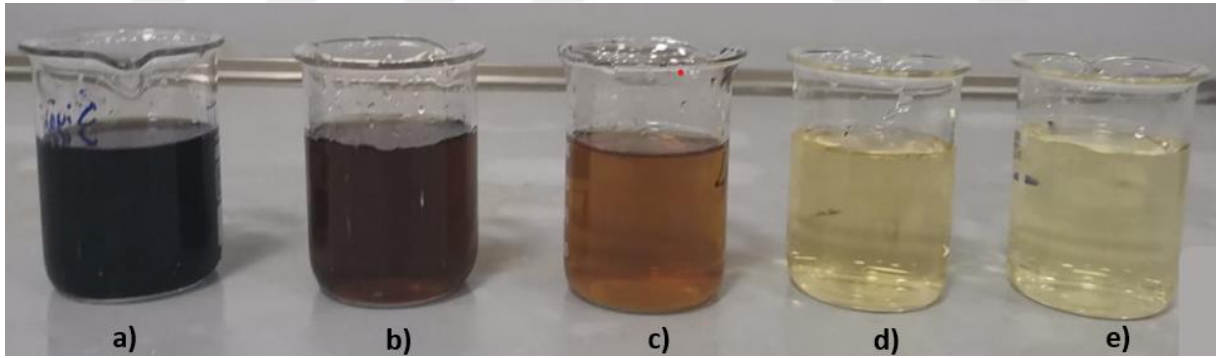
Şekil 4. 15: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki iletkenlik değerleri

Siyah renk boyama ve yıkama sularında renk parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.16’da ve analize ait görsel ise 4.17’de görülmektedir. Siyah

boyadan 150 kDa ile %72, 50 kDa ile %81 ve 1 kDa ile %93 oranında renk giderimi gerçekleşmiştir. 0,2 kDa ile %95 oranında renk giderilmiştir. 1. yıkama suyunda ise 50 kDa ile % 48, 1 kDa ile % 76 0,2 kDa ile % 69 oranında renk giderimi gerçekleşmiştir. 2. yıkama suyunda ise 50 kDa ile % 35, 1 kDa ile % 43 0,2 kDa ile % 62 oranında renk giderilmiştir.

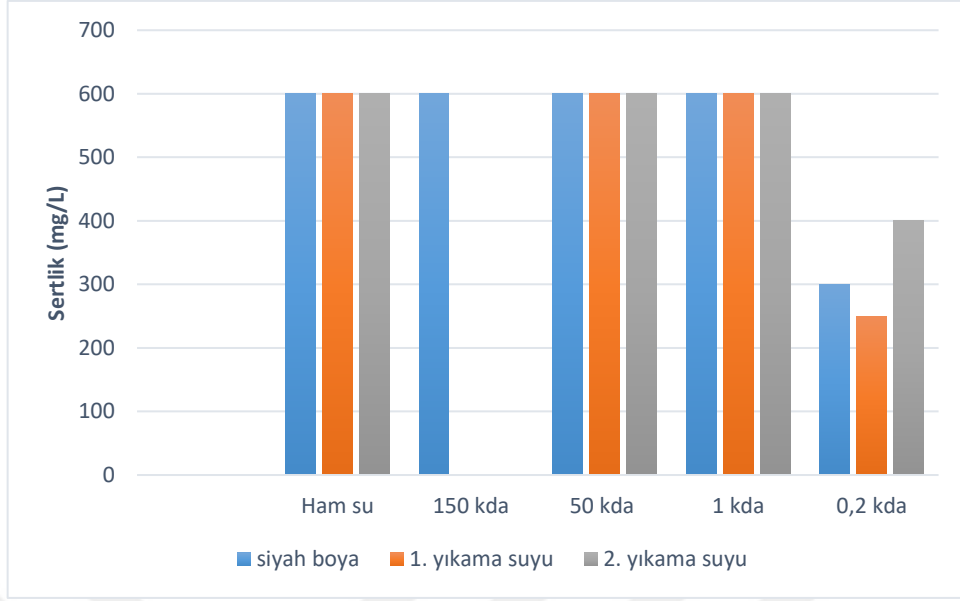


Şekil 4. 16: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki renk değerleri.



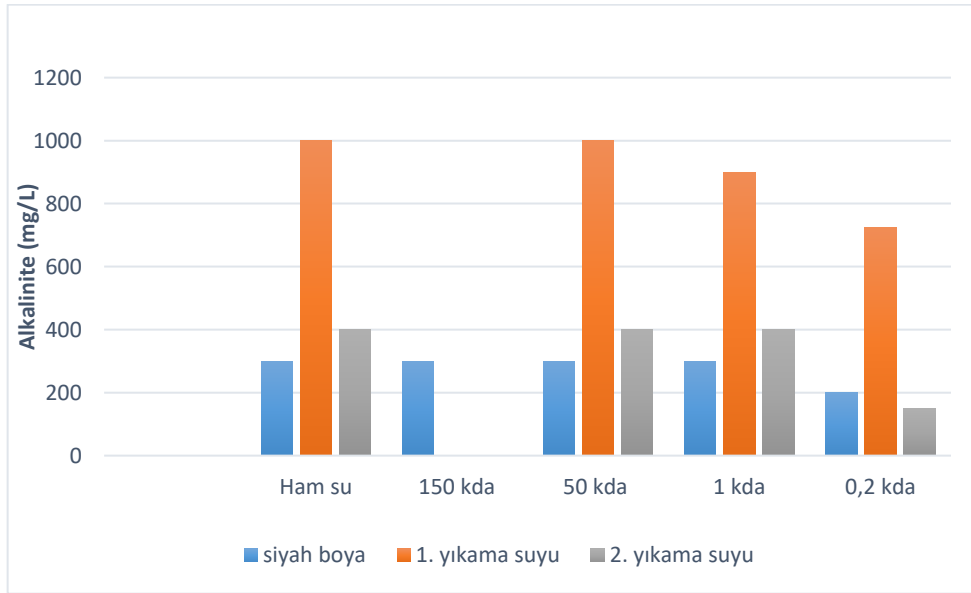
Şekil 4. 17: Siyah boya ile yürütülen moleküler fraksiyon dağılımı sonucu elde edilen süzöntülerde renk değişimi. a) Hamsu, b) 150 kDa, c) 50 kDa, d) 1 kDa, e) 0,2 kDa

Siyah renk boyama ve yıkama sularında sertlik parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.18'de görülmektedir. Sertlik değerini oluşturan iyonların moleküler ağırlıklarının siyah boyada % 50'sinin, 1. yıkama suyunda % 58'inin, 2. yıkama suyunda %33'ünün 0,2 kDa'dan büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 18: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki sertlik değerleri.

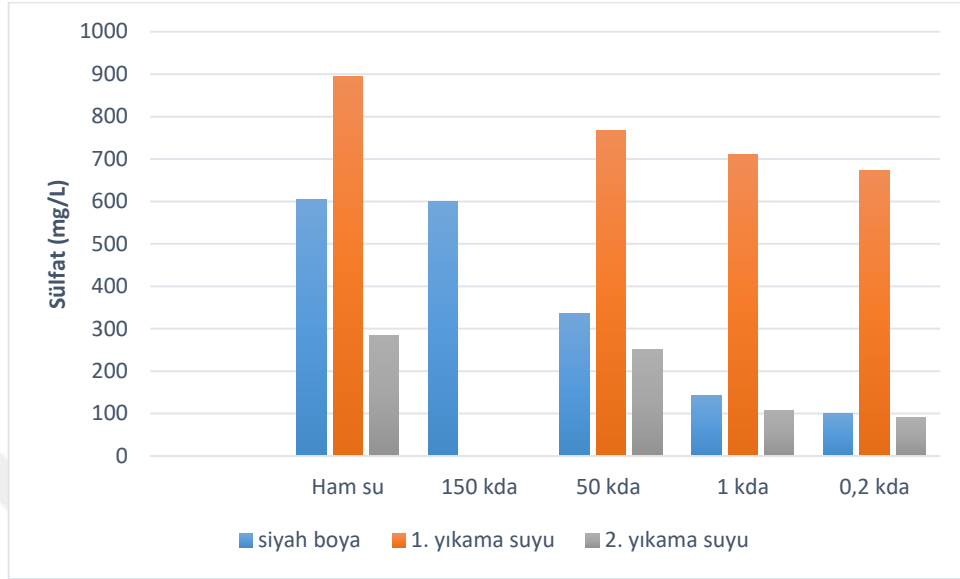
Siyah renk boyama ve yıkama sularında alkalinite parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.19’da görülmektedir. Alkalinite değerlerinden elde edilen sonuçlarda 0,2 kDa MWCO’ya sahip membran ile siyah boyada % 33,3, 1. yıkama suyunda % 27,5, 2. yıkama suyunda % 62,5 oranında giderim gerçekleşmiştir.



Şekil 4. 19: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki alkalinite değerleri.

Siyah renk boyama ve yıkama sularında sülfat parametresi için yapılan moleküler ağırlık dağılımı analiz sonuçları Şekil 4.20’de görülmektedir. Buna göre 0,2 kDa’lık membrana ait

sülfat giderim oranları siyah boya, 1. yıkama ve 2. yıkama sularında sırasıyla % 83, % 25 ve % 68 şeklindedir.



Şekil 4. 20: Siyah boya ve yıkama sularının moleküler ağırlık dağılımındaki sülfat değerleri

4.3.4. 436 nm, 525 nm, 620 nm Absorbans Değerlerinde Renk Değerlerinin Moleküler Ağırlık Dağılımının İncelenmesi

Açık kahve, lacivert ve siyah renk boyalar ile her bir boyanın yıkama sularına yapılan moleküler ağırlık dağılımı sonucu elde edilen süzüntülerin 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarındaki değişimi Tablo 4.5’de görülmektedir.

En yüksek absorbans değerleri siyah boyama atıksuyunda görülmüştür. Açık kahve boyamada da en düşük absorbans değerleri elde edilmiştir. Membranların MWCO değerleri azaldıkça 3 dalga boyunda da absorbans değerleri azalmıştır.

Üç boyamanın yıkama sularındaki renk absorbans değerleri boyama atıksu değerlerine göre oldukça düşüktür. Yıkama sularında da MWCO değerleri azaldıkça absorbans değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 4.12 ve Şekil 4.17’de görüldüğü üzere membranların MWCO değeri azaldıkça renginde de açılma görülmektedir.

Tablo 4. 5: UF ve NF membranlarına göre 436 nm, 525 nm ve 630 nm dalga boylarındaki renk değişimi.

Atıksu Kaynağı			436 nm	525 nm	630 nm
Boyama	Açık Kahve	Ham su	1,09	0,506	0,178
		150 kDa	0,61	0,388	0,276
		50 kDa	0,365	0,197	0,143
		1 kDa	0,352	0,181	0,140
		0,2 kDa	0,257	0,168	0,122
	Lacivert	Ham su	50,5	28,8	15,7
		150 kDa	16,18	7,22	3,6
		50 kDa	10,7	3,78	1,684
		1 kDa	2,87	0,508	0,221
		0,2 kDa	2,52	0,349	0,141
	Siyah	Ham su	153,6	101,2	76,4
		150 kDa	37,52	18,24	10,2
		50 kDa	23,84	9	3,76
		1 kDa	6,34	1,36	0,446
		0,2 kDa	4,86	0,793	0,283
Yıkama	Açık Kahve	Ham su	1,25	0,669	0,325
		50 kDa	0,339	0,231	0,177
		1 kDa	0,323	0,229	0,157
		0,2 kDa	0,307	0,208	0,116
	Lacivert 1.	Ham su	2,24	0,85	0,215
		50 kDa	0,966	0,317	0,153
		1 kDa	0,415	0,132	0,097
		0,2 kDa	0,400	0,116	0,033
	Lacivert 2.	Ham su	0,948	0,582	0,352
		50 kDa	0,474	0,232	0,126
		1 kDa	0,315	0,164	0,106
		0,2 kDa	0,26	0,137	0,091
	Siyah 1.	Ham su	20,9	5,76	3,27
		50 kDa	9,78	4,48	2,08
		1 kDa	4,35	1,58	0,467
		0,2 kDa	3,55	1,16	0,31
	Siyah 2.	Ham su	1,95	0,633	0,333
		50 kDa	1,23	0,606	0,272
		1 kDa	1,10	0,576	0,226
		0,2 kDa	0,903	0,346	0,147

4.3.5. BOİ₅ Değerlerinin Moleküler Ağırlık Dağılımının İncelenmesi

İplik boyama ve yıkama atıksularının BOİ₅ parametresinin moleküler ağırlık dağılımı Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de görülmektedir.

Tablo 4. 6: Boyama atıksularında BOİ₅ parametresinin moleküler ağırlık dağılımı.

Atıksu Kaynağı		MWCO	BOİ ₅ (mg/L)
Boya	Açık Kahve	Ham su	362
		150 kDa	149
		50 kDa	133
		1 kDa	92
		0,2 kDa	81
	Lacivert	Ham su	113
		150 kDa	107,5
		50 kDa	97,6
		1 kDa	88,2
		0,2 kDa	85,5
	Siyah	Ham su	274
		150 kDa	257
		50 kDa	181
		1 kDa	162,5
		0,2 kDa	127,4

Boyama atıksularının moleküler ağırlık dağılımı incelendiğinde açık kahve boyama atıksuyunda 0,2 kDa MWCO'ya sahip membranda %77,62 oranında BOİ₅ giderimi elde edilmiştir. Lacivert boyada ise 0,2 kDa için %24,33, siyah boyada ise % 53,50 oranında giderim gerçekleşmiştir.

Tablo 4.7'de görüldüğü üzere yıkama sularından elde edilen BOİ₅ giderim verimlerinin boyama atıksularına göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. 0,2 kDa için açık kahve yıkama atıksuyunda %69,73, lacivert 1. yıkama suyunda %95,05 ve siyah 1. yıkama suyu için %93,16 oranında giderim sağlanmıştır. Lacivert boya 2. yıkama atıksuyunda ve Siyah boya 2. yıkama atıksuyunda KOİ değerleri çok düşük olması sebebiyle BOİ₅ değerleri analiz edilmemiştir.

Tablo 4. 7: Yıkama sularında BOİ₅ parametresinin moleküler ağırlık dağılımı.

Atıksu Kaynağı		MWCO	BOİ ₅ (mg/L)
Yıkama	Açık Kahve	Ham su	118
		50 kDa	93,6
		1 kDa	50,3
		0,2 kDa	35,8
	Lacivert 1.	Ham su	91
		50 kDa	42,8
		1 kDa	31,8
		0,2 kDa	<10

Tablo 4.7 (devam): Yıkama sularında BOI₅ parametresinin moleküler ağırlık dağılımı.

	Lacivert 2.	Ham su	-
		50 kDa	-
		1 kDa	-
		0,2 kDa	-
	Siyah 1.	Ham su	55
		50 kDa	43,6
		1 kDa	31,97
		0,2 kDa	29,8
	Siyah 2.	Ham su	19,5
		50 kDa	-
		1 kDa	-
		0,2 kDa	-

4.3.6. UV Değerlerinin Moleküler Ağırlık Dağılımının İncelenmesi

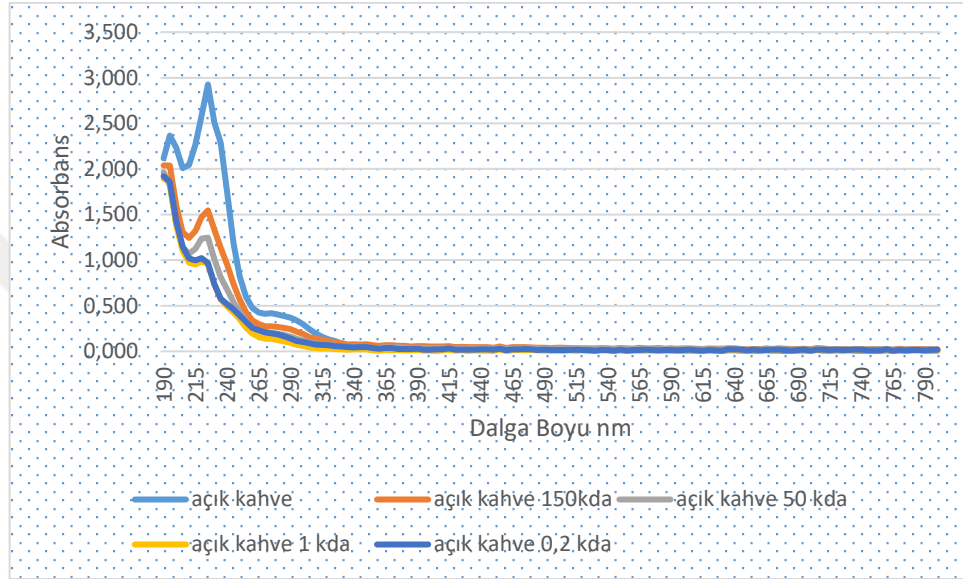
Moleküler ağırlık dağılımının belirlenmesi amacıyla boyama atıksuları için 150 kDa, 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa MWCO'ya sahip membranlar ile yıkama suları için ise 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa MWCO'ya sahip membranlar kullanılmıştır. Bu membranların süzüntü sularında 190 nm ile 800 nm dalga boyları arasında UV Spektrumlarında tarama yapılmıştır. Açık kahve boyama ve yıkama atıksularına ait UV tarama sonuçları Şekil 4.21'de görülmektedir.

Açık kahve boya ve yıkama suyu UV dalga taraması sonuçları göre 190 nm ve 225 nm dalga boyunda değerlerin pik yaptığı görülmektedir. 190 nm dalga boyu ve 225 nm dalga boyu organik aromatik bileşenlerin göstergesidir.

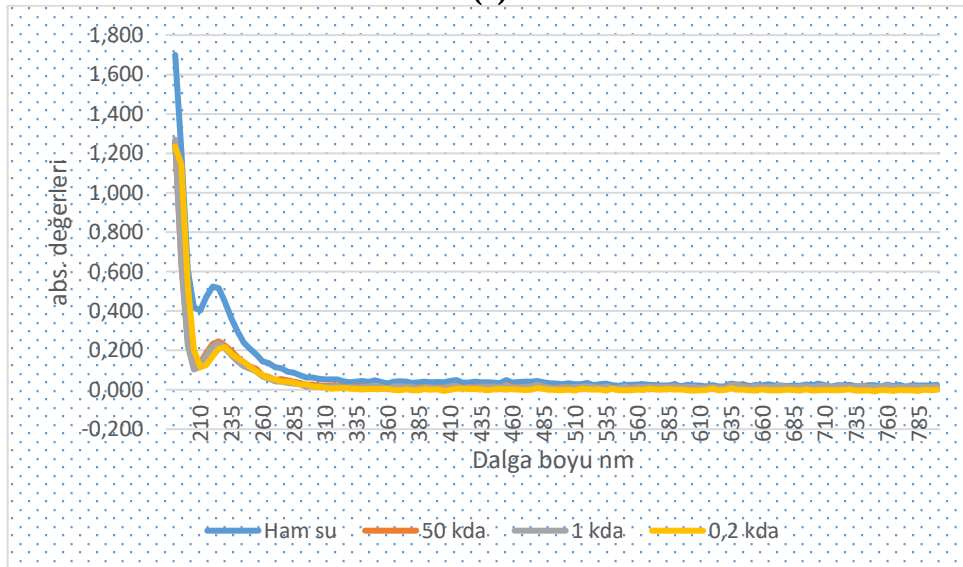
Açık kahve renkteki boyayı elde edebilmek için setapers yellow brown p-2r, setapers red ec2g, setapers blue tfbl new isimli boyalar karışım halinde kullanılmaktadır. Bu boyaların özellikleri incelendiğinde içeriğinde aromatik bileşenlere sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle UV dalga taramasında 225 nm dalga boyunda değerler pik yapmaktadır.

Lacivert boyama ve yıkama atıksularına ait UV tarama sonuçları Şekil 4.22'de görülmektedir. Lacivert boyanın 150 kDa, 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa' da süzüntülerinde 225 nm dalga boylarında sırasıyla 62,96, 39,34, 30,44, 15,195 ve 6,346 absorbans değerleriyle en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Lacivert 1. yıkama suyunda ise 225 nm dalga boyunda 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa membranlardan elde edilen süzüntülerde sırasıyla 4,752, 2,946, 1,641 ve 1,264 değerleriyle en yüksek abosarbans değerleri elde edilirken lacivert 2. yıkama suyunda 225 nm

dalga boyunda 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa süzöntülerinde sırasıyla 1,011, 0,628, 0,317 ve 0,22 absorbans değerleri elde edilmiştir. Lacivert dispers boya starcron navy blue s-3LS isimli boyar maddeden elde edilmektedir. Bu boyar madde organik içeriğe sahiptir.



(a)

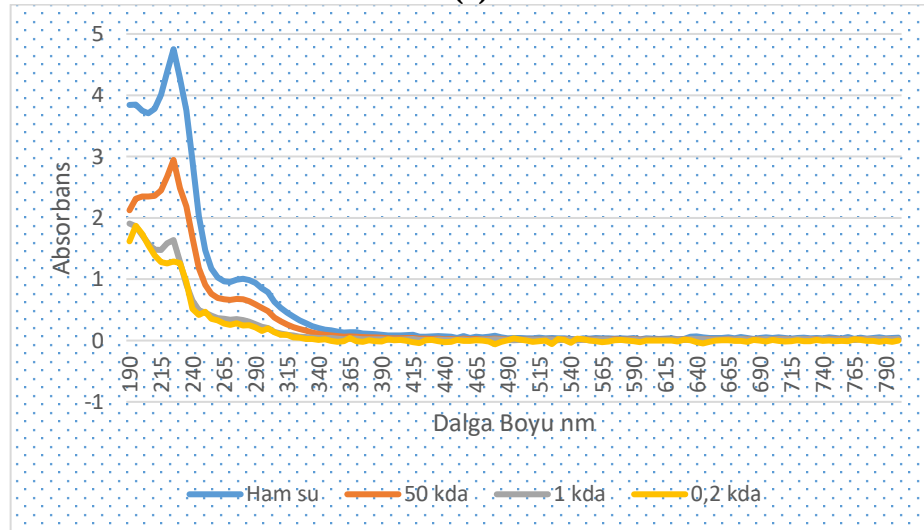
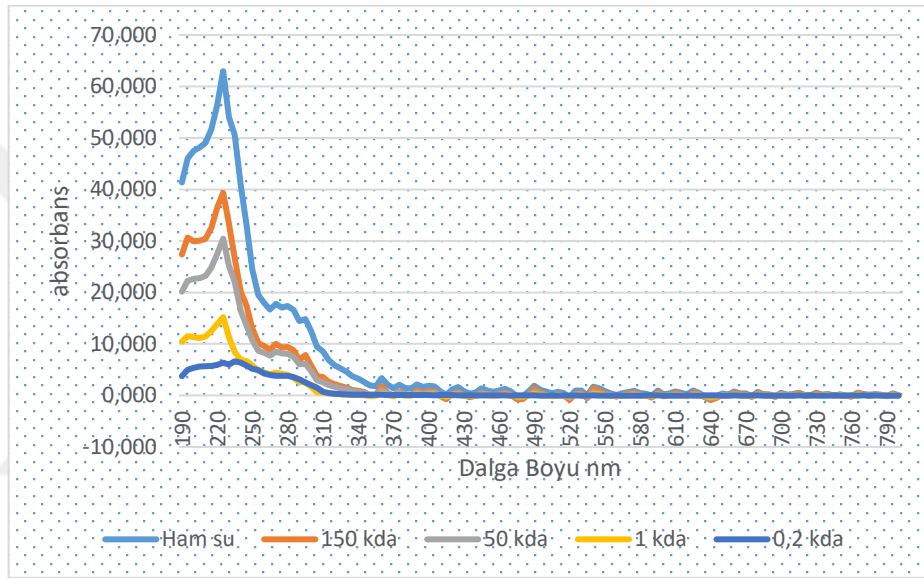


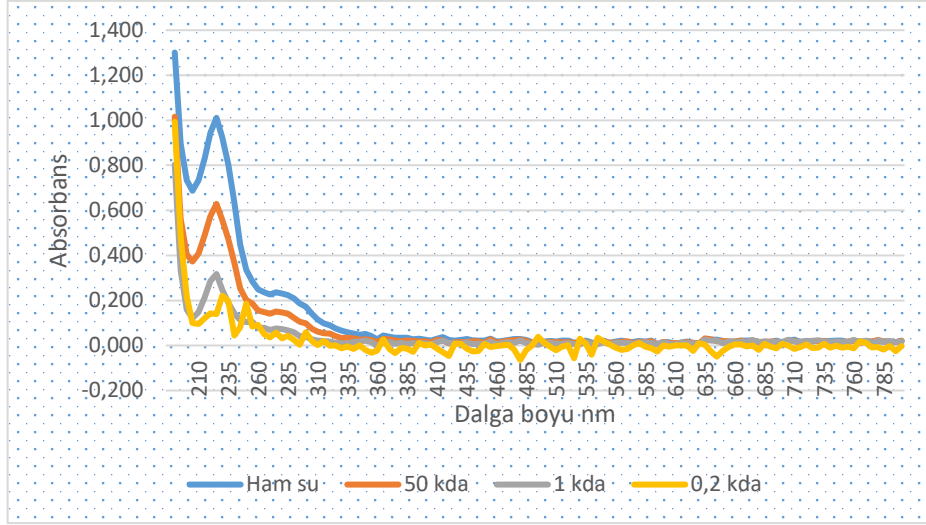
(b)

Şekil 4. 21: UV spektrum değerleri (a) açık kahve boyama (b) açık kahve yıkama suyu.

Siyah boyama ve yıkama atıksularına ait UV tarama sonuçları Şekil 4.23’de görülmektedir. Siyah boyama 150 kDa, 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa’ da 225 nm dalga boylarında değerler sırasıyla 168,95, 1,982, 1,274, 1713 absorbans değerleriyle pik yapmıştır. Siyah 1. yıkama

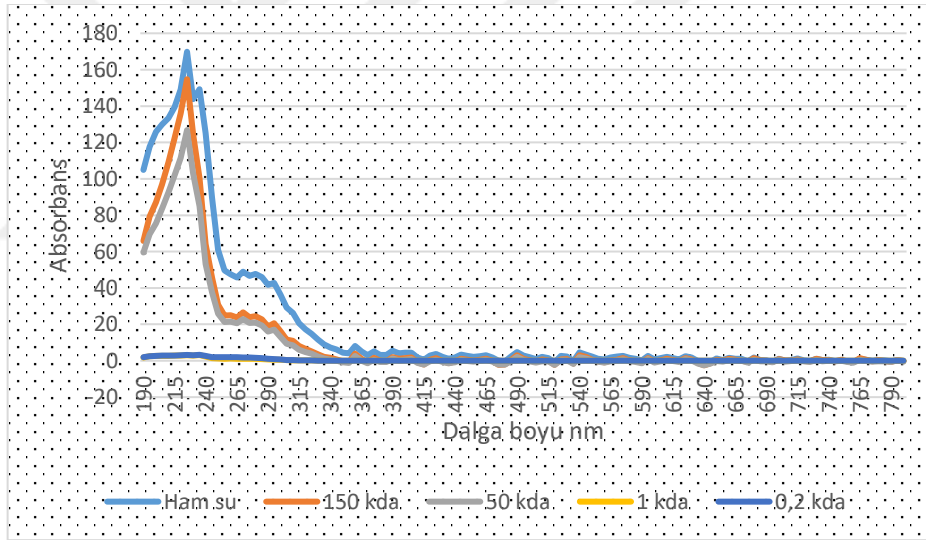
suyunda ise 225 nm dalga boyunda ham su, 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa membranlardan elde edilen süzöntülerde sırasıyla 32,94, 29,47, 2,514 absorbans değerleri elde edilmiştir. Siyah 2. yıkama suyunda 225 nm dalga boyunda ham su, 50 kDa, 1 kDa'da sırasıyla 2,642, 1,982, 1,274 ve 0,2 kDa'da 195 nm dalga boyunda 1,173 absorbans değerleri görülmektedir. Siyah dispers boya black ce-rn isimli boyar maddeden üretilmektedir. Aynı şekilde bu boyar madde organik bileşenlere sahiptir. Organik bileşiklerin UV spektrumları genellikle 200 ila 400 nm arasında absorbans göstermekle birlikte bu aralıklarda çoğu organik bileşikler belirgin absorbsiyon piklerine sahip olabilmektedir.



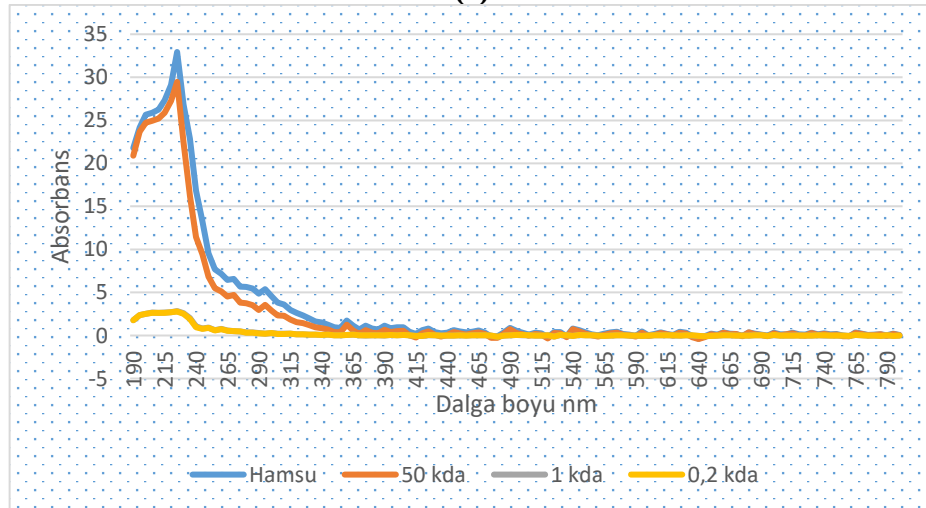


(c)

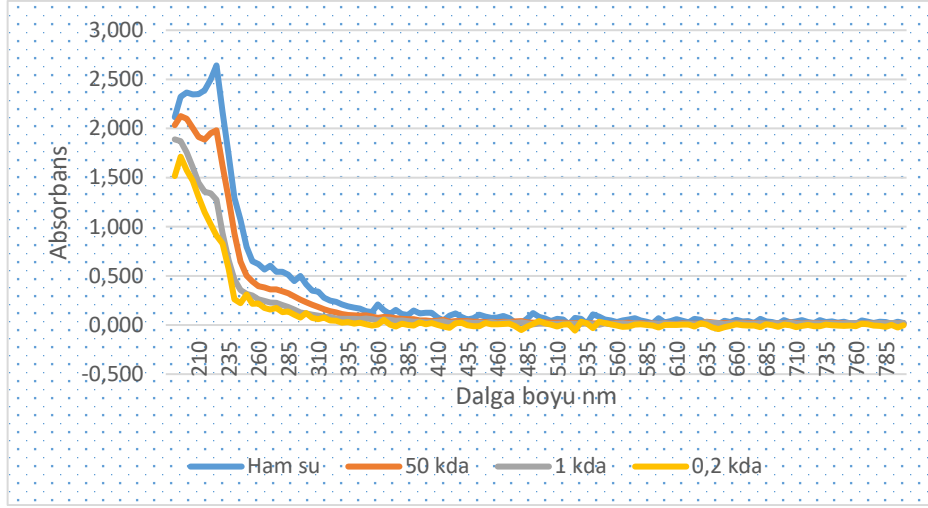
Şekil 4. 22: UV spektrum değerleri (a) lacivert boya, (b) lacivert 1. yıkama suyu, (c) lacivert 2. yıkama suyu.



(a)



(b)

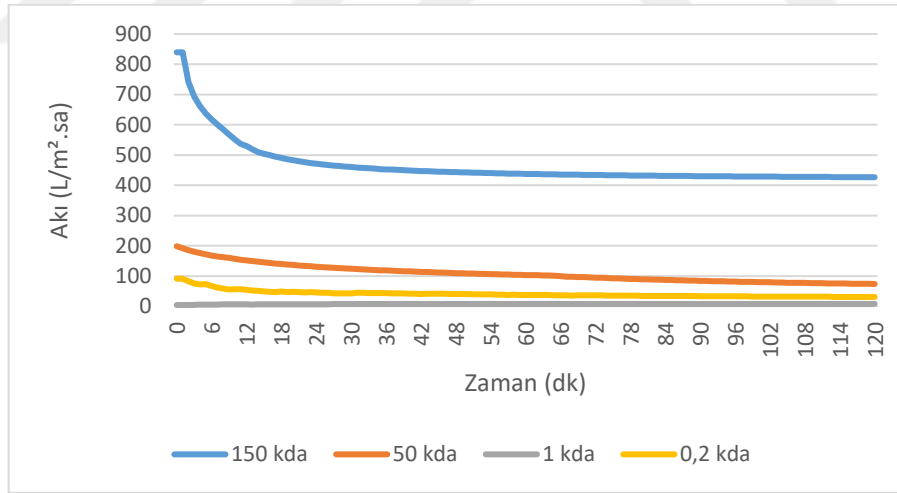


(c)

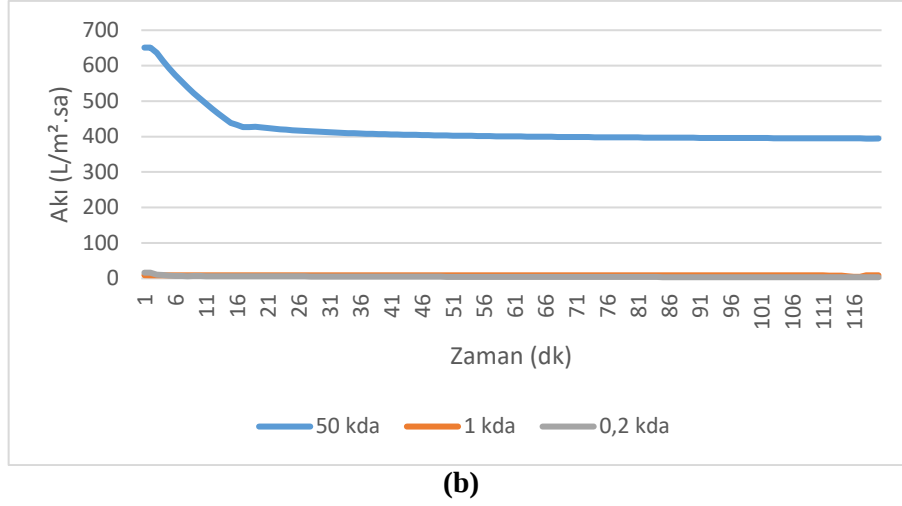
Şekil 4. 23: UV spektrum değerleri (a) siyah boya, (b) siyah 1. yıkama suyu, (c) siyah 2. yıkama suyu.

4.3.7. Moleküler Fraksiyon Çalışmasına Ait Akı Değerleri

Moleküler ağırlık dağılım çalışmasında kullanılan UF membranlar 2 bar ve NF membran ise 8 bar basınç altında işletilmiştir. Açık kahve boyama ve yıkama atıksularında akının zamana bağlı değişimi Şekil 4.24’de görülmektedir.



(a)

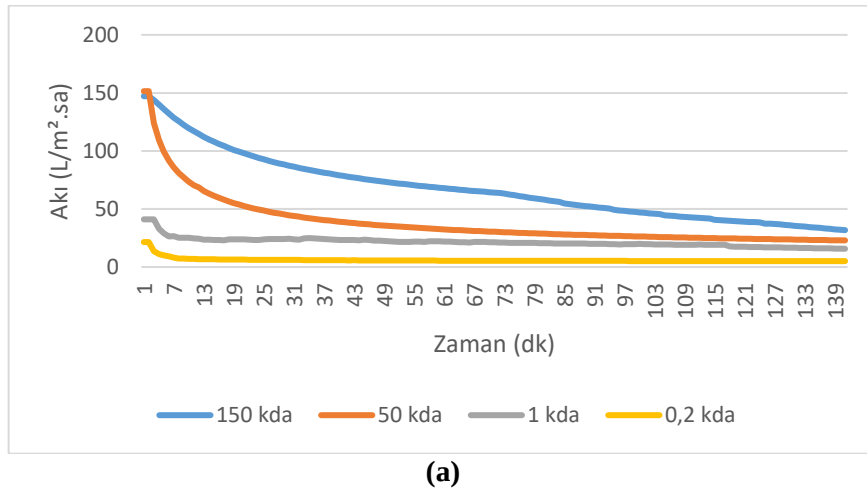


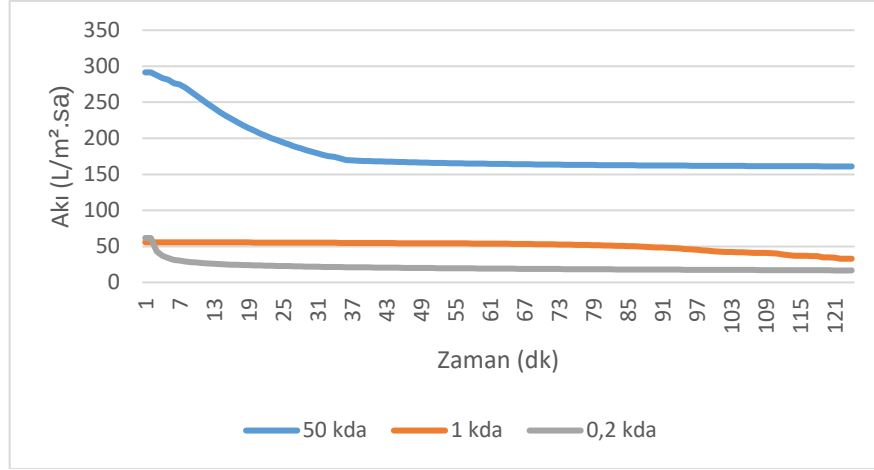
Şekil 4. 24:(a) Açık kahve boyama atıksuyu, (b) açık kahve boyama yıkaması atıksuyuna ait akı değerleri.

Açık kahve boyama atıksuyunda 150 kDa, 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa için ortalama akı değerleri sırasıyla 465,15 L/m².sa, 108,39 L/m².sa, 31,03 L/m².sa ve 7,77 L/m².sa'tir.

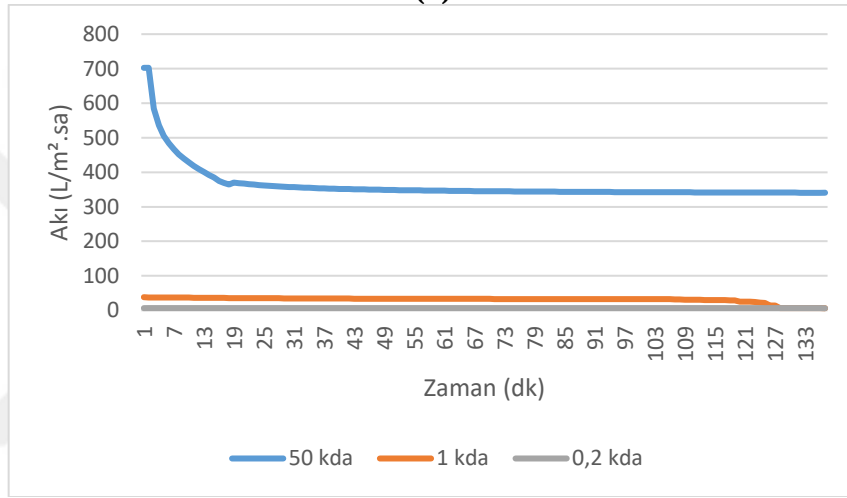
Açık kahve yıkama suyunda 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa için ortalama akı değerleri sırasıyla 573,66 L/m².sa, 8,85 L/m².sa ve 39,13 L/m².sa' tir.

Lacivert boyama ve yıkama atıksularında akının zamana bağlı değişimi Şekil 4.25'de görülmektedir.





(b)



(c)

Şekil 4. 25: (a) Lacivert boya atıksuyu, (b) lacivert 1. yıkama atıksuyu, (c) lacivert 2. yıkama suyuna ait akı değerleri.

Lacivert boyama atıksuyunda 150 kDa, 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa için ortalama akı değerleri sırasıyla 71,1 L/m².sa, 23,81 L/m².sa, 22,51 L/m².sa ve 5,93 L/m².sa'tir.

Lacivert 1. yıkama atıksuyunda 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa için ortalama akı değerleri sırasıyla 230,4 L/m².sa, 60,12 L/m².sa ve 18,95 L/m².sa'tir.

Lacivert 2. yıkama atıksuyunda 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa için ortalama akı değerleri sırasıyla 361,54 L/m².sa, 32,8 L/m².sa ve 5,85 L/m².sa'tir.

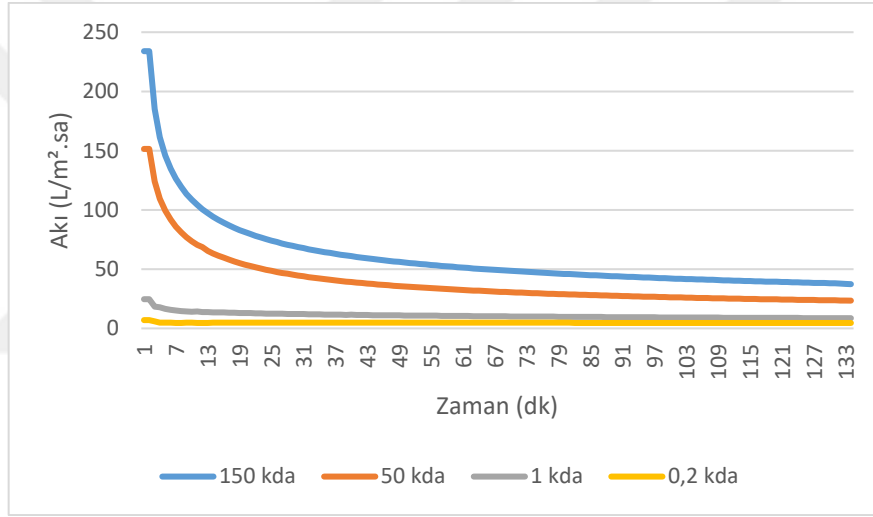
Siyah boyama ve yıkama atıksularında akının zamana bağlı değişimi Şekil 4.26'de görülmektedir.

Siyah boyama atıksuyunda 150 kDa, 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa için ortalama akı değerleri sırasıyla 60,95 L/m².sa, 23,73 L/m².sa, 7, 25 L/m².sa ve 4,13 L/m².sa'tir.

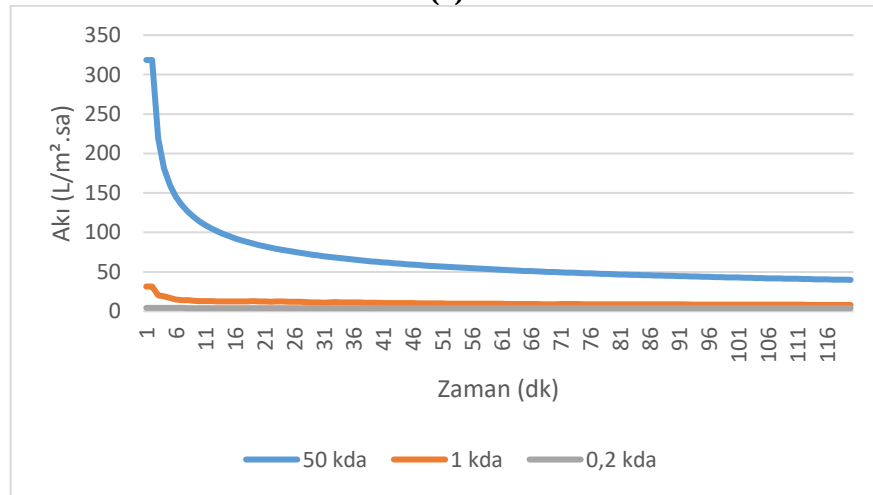
Siyah 1. yıkama atıksuyunda 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa için ortalama akı değerleri sırasıyla 117,04 L/m².sa, 10,49 L/m².sa ve 4,16 L/m².sa'tir.

Siyah 2. yıkama atıksuyunda 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa için ortalama akı değerleri sırasıyla 365,29 L/m².sa, 10,97 L/m².sa ve 6,93 L/m².sa'tir.

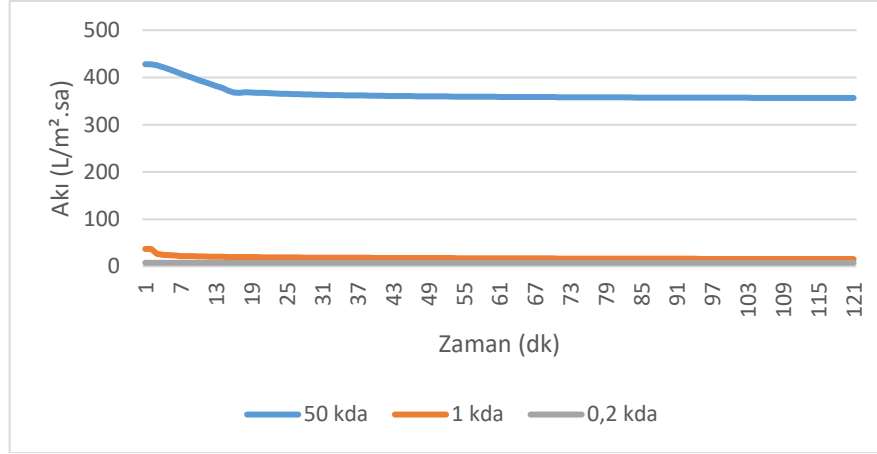
Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'te açık kahve, lacivert, siyah boyama atıksuları ve bu boyamaların yıkama atıksularının zamana karşı akı değerlerindeki değişimler görülmektedir. Akı değerlerinin zamanla azaldığı ilk 30 dakika sonrasında akıdaki azalma hızı azalmıştır. Atıksulardaki özellikle organik maddelerin membran yüzeyinde zamanla birikmesi sonucu akıda önemli bir azalma görüldüğü düşünülmektedir.



(a)



(b)



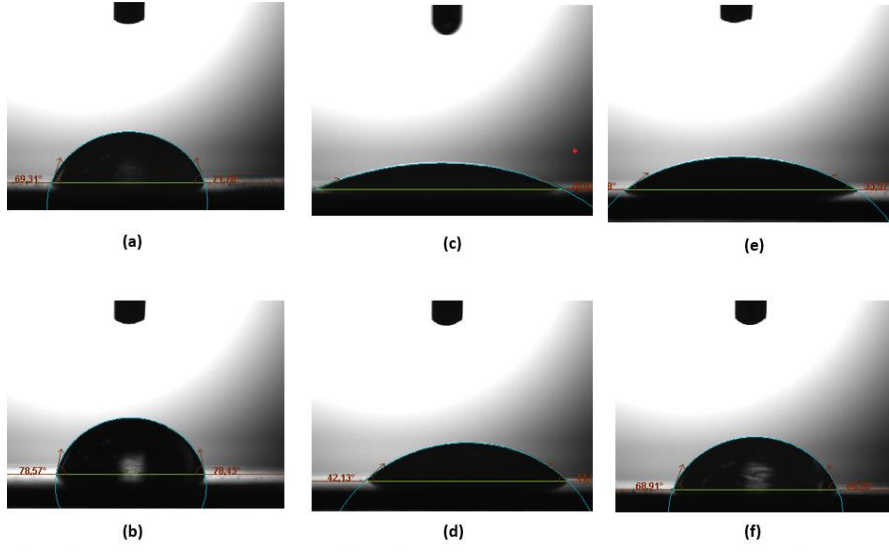
(c)

Şekil 4. 26: (a) Siyah boya atıksuyu, (b) siyah 1. yıkama atıksuyu, (c) siyah 2. yıkama suyuna ait akı değerleri.

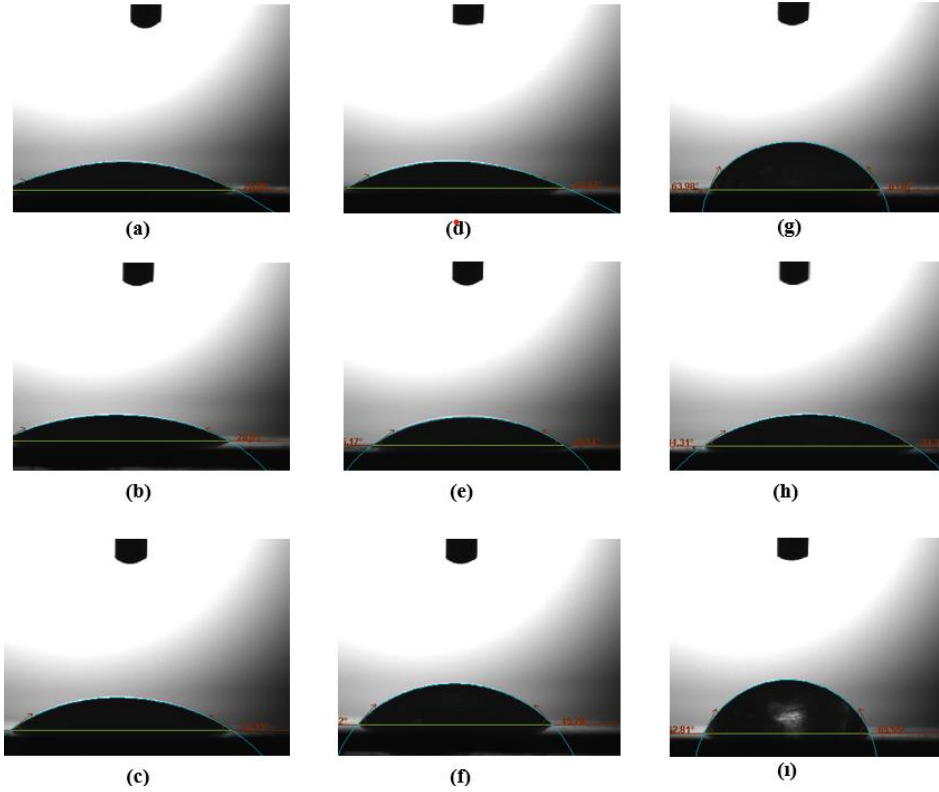
4.3.8. Temas Açısı Ölçümü

Temas açısı, bir damlanın sıvı-buhar sınırı ve katı yüzey arasında buluşan açıdır. Young denklemi ile katı bir yüzeyin bir sıvı tarafından ıslatılabilirliğini ölçmektedir. Genellikle, su temas açısı 90°'den küçükse katı yüzey hidrofilik (suyu seven veya su geçiren) ve su temas açısı 90°'den büyükse katı yüzey hidrofobik (suyu semeyen veya suyu geçirmeyen) olarak kabul edilir. Çalışmada kullanılan membranların moleküler ağırlık dağılımı çalışması öncesi (temiz) ve sonrası (kirli) durumlarında hidrofilik ve hidrofobik özelliklerinin değişiminin değerlendirilmesi amacıyla temas açısı ölçümü gerçekleştirilmiştir (Zang ve diğ., 2013).

Moleküler ağırlık dağılımının belirlenmesi amacıyla kullanılan membranların temiz ve kirli durumdaki temas açıları ölçülmüştür. Temas açılarına ait görseller Şekil 4.27 ile Şekil 4.28'da ve ölçüm sonuçları ise Tablo 4.8'da görülmektedir.



Şekil 4. 27: 150, 50 ve 1 kDa MWCO temiz ve kirli membranlara ait temas açısı görüntüleri (a) 150 kDa temiz membran, (b) 150 kDa kirli membran, (c) 50 kDa temiz membran, (d) 50 kDa kirli membran, (e) 1 kDa temiz membran, (f) 1 kDa kirli membran (siyah boyama).



Şekil 4. 28: 0,2 kDa MWCO temiz ve kirli membranlara ait temas açısı görüntüleri (a) 0,2 kDa temiz membran, (b) açık kahve boyama atıksuyu, (c) Açık kahve yıkama atıksuyu, (d) Lacivert boyama atıksuyu, (e) Lacivert 1.yıkama atıksuyu, (f) Lacivert 2.yıkama atıksuyu, (g) Siyah boyama atıksuyu, (h) Siyah 1.yıkama atıksuyu, (i) Siyah 2.yıkama atıksuyu.

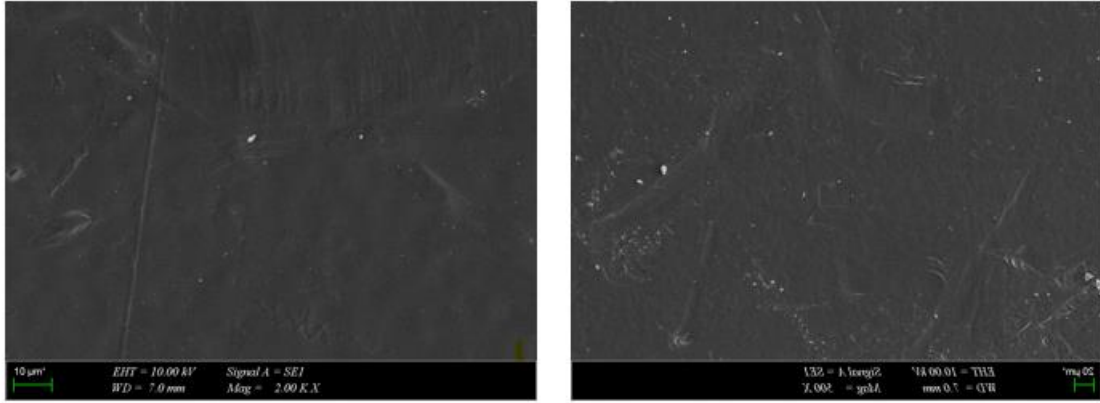
Membran	MWCO	1. ölçüm	2. ölçüm	Ortalama
Temiz membran	150 kDa	69,5	71,58	70,54
Temiz membran	50 kDa	24,35	24,74	24,545
Temiz membran	1 kDa	31,56	35,33	33,445
Temiz membran	0,2 kDa	24,55	24,28	24,415
Siyah boyama	150 kDa	78,14	78,95	78,545
Siyah boyama	50 kDa	35,94	50,26	43,1
Siyah boyama	1 kDa	68,6	68,6	68,6
Laci 2. yıkama	200 Da	45,18	48,16	46,67
Açık kahve boyama	200 Da	30,27	27,41	28,84
Açık kahve yıkama	200 Da	34,72	34,72	34,72
Lacivert boyama	200 Da	26,23	25,69	25,96
Lacivert 1. yıkama	200 Da	25,12	38,35	31,735
Siyah 1. yıkama	200 Da	34,84	34,84	34,84
Siyah boyama	200 Da	62,63	53,8	58,215
Siyah 2. yıkama	200 Da	64,17	53,2	58,685

Tablo 4. 8: Temiz ve filtrasyon sonrası membranların ortalama temas açısı değerleri.

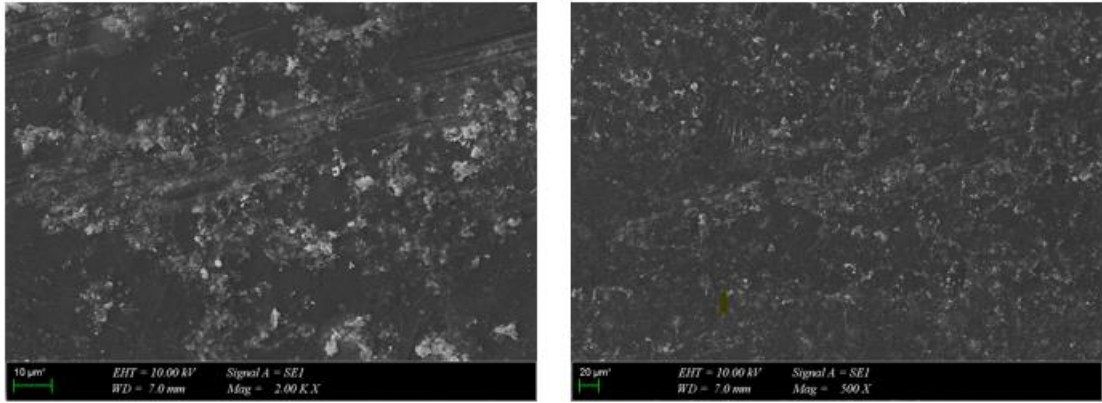
Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Tablo 4.9’da görüldüğü üzere her bir MWCO’ya ait temiz ve kirli membranlar kendi içlerinde kıyaslandığında kirli membranlarda temas açısı artışı görülmektedir. Bu sonuçlar, membran yüzeyinde zamanla kirlenme gerçekleştikçe membranların hidrofiliğinin azaldığı ve hidrofobik yapıya doğru değişmekte olduğunu göstermektedir. Bu sebeple yüzeyde biriken maddelerin hidrofobik yapıda olduğu değerlendirilmiştir. Hidrofiliğin azalması akıda da zamanla düşüşe sebep olmaktadır.

4.3.9. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Enerji Dağılımı X- ışını Spektroskopisi Analizleri (EDX)

Çalışmada kullanılan atıksuları içerisinde organik kirliliği en yüksek olan siyah boyama atıksuyu süzildikten sonra 150 kDa MWCO’ya sahip membranın SEM ve EDX analizleri yapılmıştır. Temiz ve kirli membranın SEM analiz sonuçları Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’da görülmektedir. Siyah boyama atıksuyunun süzülmesi sonrasında membranın yapısının değişimi ve membran yüzeyinde oluşan birikimler 2000x (solda) ve 500x (sağda) büyütme görülmektedir.

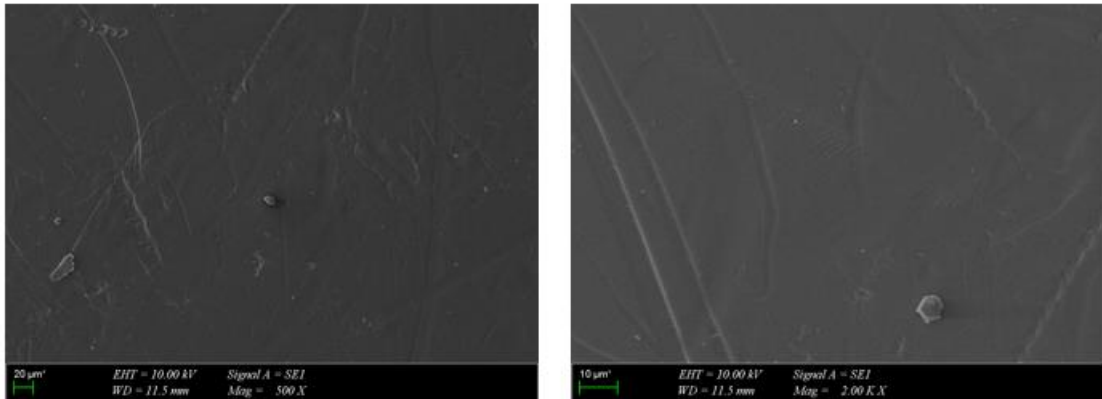


Şekil 4. 29: 150 kDa temiz membrana ait SEM görüntüleri.

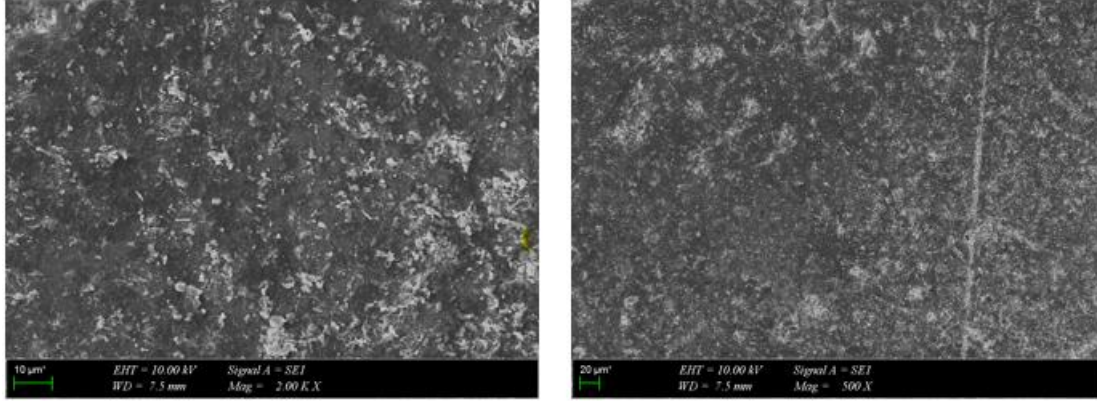


Şekil 4. 30: 150 kDa kirli (filtrasyon sonrası) membrana ait SEM görüntüleri.

Siyah boyama atıksuyu süzildükten sonra 0,20 kDa MWCO'ya sahip membranın SEM ve EDX analizleri yapılmıştır. Temiz ve kirli membranın SEM analiz sonuçları Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de görülmektedir. Siyah boyama atıksuyunun süzülmesi sonrasında membranın yapısının değişimi ve membran yüzeyinde oluşan birikimler 2000x (solda) ve 500x (sağda) büyütme görülmektedir.

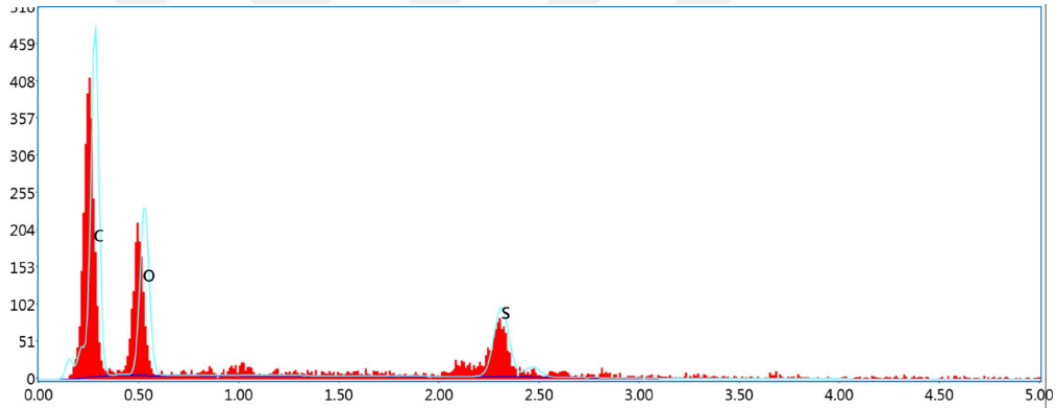


Şekil 4. 31: 0,2 kDa temiz membrana ait SEM görüntüleri.

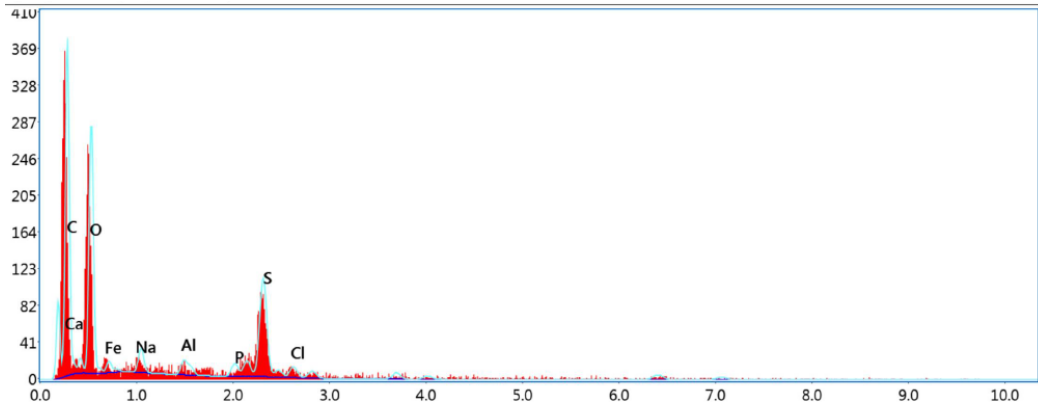


Şekil 4. 32: 0,2 kDa kirli (filtrasyon sonrası) membrana ait SEM görüntüleri.

Siyah boyama atıksularının süzüldeğü 150 kDa MWCO'ya sahip membranın temiz ve kirli durumlarına ait EDX ölçüm sonuçları Şekil 4.32, Şekil 4.33 ve Tablo 4.9'da görölmektedir.



Şekil 4. 33: 150 kDa temiz membranın EDX spektrumu.



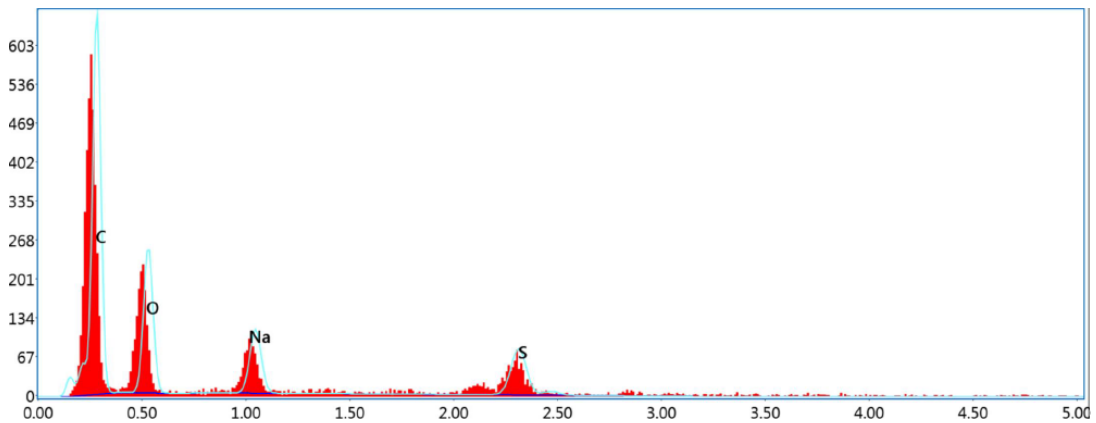
Şekil 4. 34: 150 kDa filtrasyon sonrası membranın EDX spektrumu.

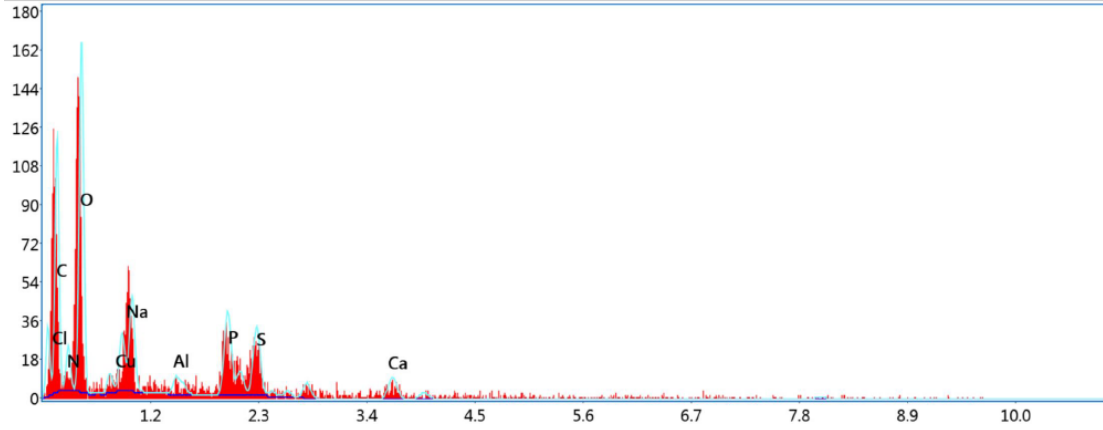
Tablo 4. 9: 150 kDa MWCO'ya sahip membranının EDX analiz sonuçları.

Temiz			Kirli		
Element	Ağırlık %	Atomik %	Element	Ağırlık %	Atomik %
C K	56,46	67,51	C K	33,66	49,83
O K	28,89	25,93	Ca L	18,56	8,23
S K	14,64	6,56	O K	27,75	30,84
			Fe L	2,15	0,68
			Na K	2,04	1,58
			Al K	1,01	0,66
			P K	1,31	0,75
			S K	11,9	6,6
			Cl K	1,69	0,82

150 kDa MWCO'ya sahip PES membranın temiz halinde C, O ve S elementlerinin varlığı polietter sülfondan elde edilen membranlarda doğal olarak bulunan bileşenlerin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kirli membranda görülen diğer elementlerin boya madde, boyama aşamasında kullanılan kimyasallar ile boyama yapılan poyesterden kaynaklanmaktadır. Ca varlığı boyar maddelerin yapısında bulunmasının yanısıra boyama sırasında eklenen polyester egalizatörü olarak kullanılan SETALAN ADN-O kimyasalında bulunabilecek olan Ca tuzlarından da olabileceği düşünülmektedir. Fe iyonlarının varlığı boyarmaddede ve boyama esnasında eklenen SETACID PBS ve PERIWET ELR kimyasallarından kaynaklı olabilir.

Siyah boyama atıksularının süzüldüğü 0,2 kDa MWCO'ya sahip membranın temiz ve kirli durumlarına ait EDX ölçüm sonuçları Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Tablo 4.10'da görülmektedir.

**Şekil 4. 35:** 0,2 kDa temiz membranın EDX spektrumu.



Şekil 4. 36: 0,2 kDa filtrasyon sonrası membranın EDX spektrumu.

0,2 kDa MWCO'ya sahip membran poliperazin amid maddesinden üretilmekte olup bu membranın yapısına bağlı olarak EDX spektrumundan elde edilen verilerde karbon, oksijen, sodyum ve sülfür varlığından söz edilebilmektedir. Kirli membranda görülen diğer elementler boyama aşamasında kullanılan kimyasallar ile boyama yapılan poyesterden kaynaklanmaktadır.

Tablo 4. 10: 0,2 kDa MWCO'ya sahip NF membranının EDX analizi sayısal verileri.

Temiz			Kirli		
Element	Ağırlık %	Atomik %	Element	Ağırlık %	Atomik %
C K	56,47	67,76	C K	26,61	38,82
O K	24,62	22,18	N K	6,74	8,43
Na K	8,83	5,53	O K	30,01	32,87
S K	10,08	4,53	Cu L	4,74	1,31
			Na K	7,41	5,65
			Al K	1,12	0,73
			P K	8,46	4,79
			S K	8,13	4,44
			Ca K	6,78	2,96

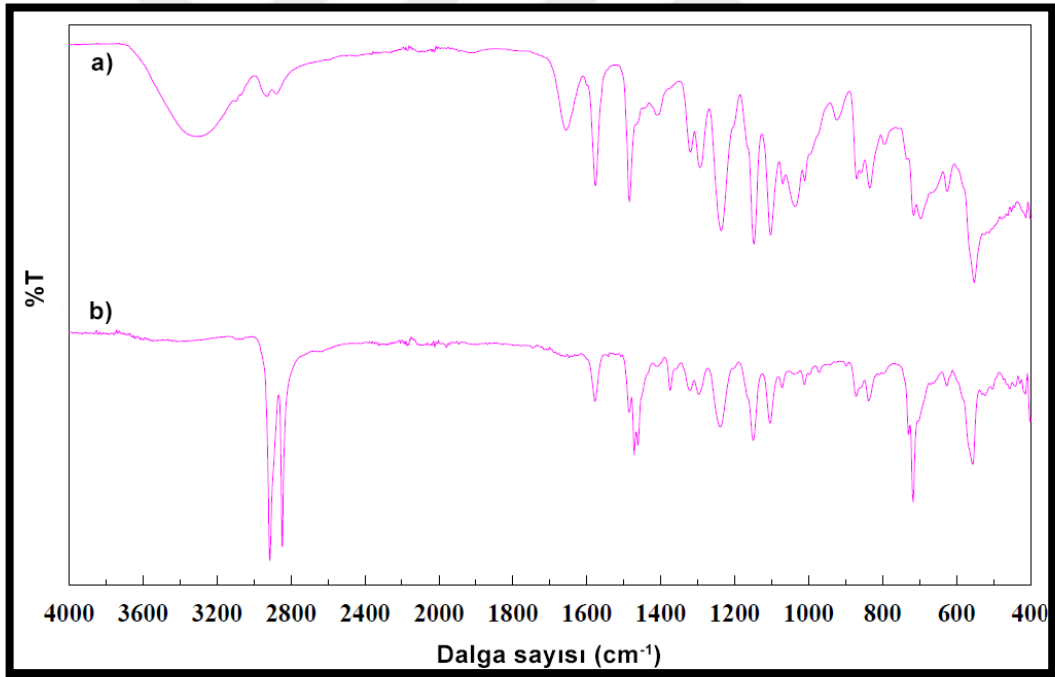
4.3.10. ATR-FTIR Spektrum Değerleri

Çalışmada kullanılan atıksular içerisinde organik kirliliği en yüksek olan siyah boyama atıksuyu süzildükten sonra 150 kDa MWCO'ya sahip membranın ATR-FTIR analizleri yapılmıştır. Temiz ve kirli membranın ATR-FTIR analiz sonuçları Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de görülmektedir.

FTIR sonuçlarına göre, 150 kDa MWCO'ya ait PES temiz membranda 1150- 1300 cm^{-1} aralığında görülen pikler, bu membranın yapısında bulunan SO_2 (sülfat) gruplarının gerilme titreşimlerini ifade etmektedir (Nandiyanto ve diğ., 2019). 1570 cm^{-1} civarında izlenen pik,

C=C aromatik halka titreşimlerinin olduğunu belirtmektedir (Silva ve diğ., 2018). 2900 cm^{-1} civarında zayıfta olsa bir pik değeri gözlemlenmektedir. Bu pik, C-H gerilme titreşimlerini temsil etmektedir (Nandiyanto ve diğ., 2023).

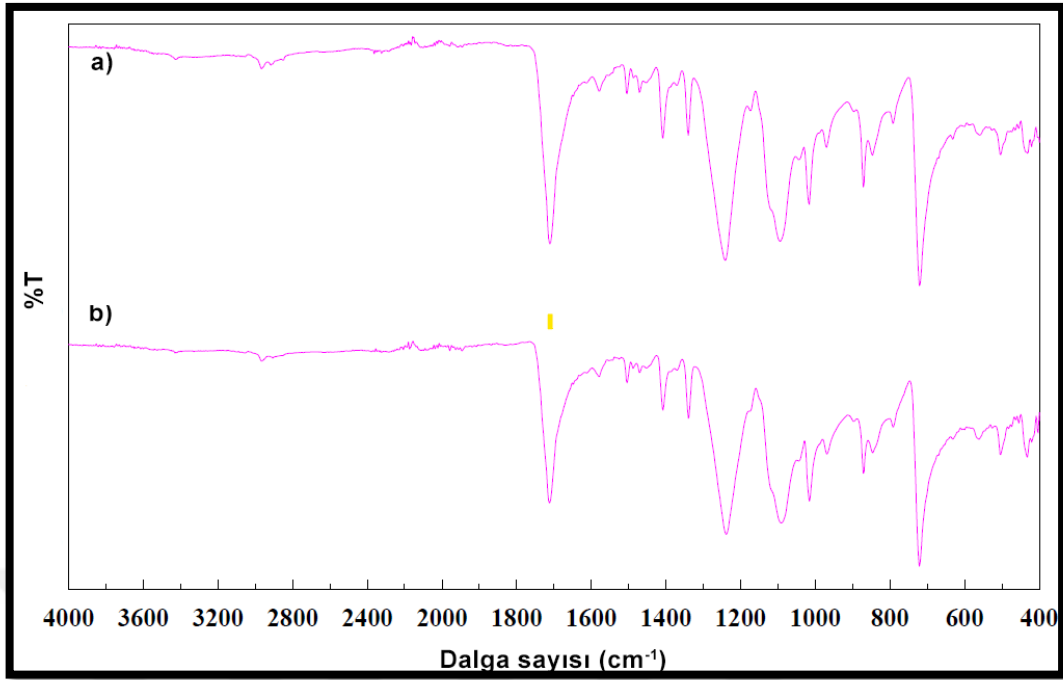
Siyah atıksuyun süzüldüğü PES membranında ise 1650 cm^{-1} civarında gözlemlenen güçlü pik belirmesi C=C gerilme titreşimleriyle ilişkilendirilmektedir (Nandiyanto ve diğ., 2019). Aynı zamanda N-H ya da C=N gerilmelerini de ifade edebilmektedir (Arya ve Malik, 2015). $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ aralığında belirgin bir şekilde pik yaptığı gözlemlenmektedir. Bu pikler C-H gerilme titreşimleriyle ifade edilebilirken membran yüzeyinde organik kirleticiler ve dispers boyar maddelerin yapısındaki diğer bileşenlerin birikmesi ile ilişkili olabilmektedir (Chung ve diğ., 2004). $1500\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ aralığında gözlemlenen ek pikler organik kirleticilerin aromatik C=C bağlarına işaret edebilmektedir (Basuki ve diğ., 2018). Bunun nedeninin kullanılan dispers boyaların yapısında aromatik bileşenlerin varlığı olarak düşünülmektedir.



Şekil 4. 37: 150 kDa temiz ve kirli (filtrasyon sonrası) membrana ait ATR-FTIR analizi

a) temiz membran, b) filtrasyon sonrası membran.

Siyah boyama atıksularının süzüldüğü 0,2 kDa MWCO'ya sahip membranın temiz ve kirli durumlarına ait ATR-FTIR ölçüm sonuçları Şekil 4.38'de görülmektedir.



Şekil 4. 38: 0,2 kDa temiz ve filtrasyon sonrası membran ATR-FTIR analizi
a) temiz membran, b) kirli (filtrasyon sonrası) membran

Temiz membranda $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ aralığında geniş bir pik görülmektedir. Bu gerilme titreşimleri O-H gerilmesi olarak ifade edilebilir (Bartosava ve diğ., 2017; Rodriguez ve diğ., 2023; Rodriguez, 2024). $1650-1750\text{ cm}^{-1}$ aralığında gözlemlenen C=O gerilmesi kullanılan membranın yapısında amid gruplarının varlığını göstermektedir. $1400-1600\text{ cm}^{-1}$ aralığında gözlemlenen farklı pikler C-C gerilmelerini ifade etmektedir ki bu da membranın yapısal özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Jalali ve diğ., 2019). $1000-1300\text{ cm}^{-1}$ aralığında asimetrik bir gerilmeden söz edilebilmektedir. Bu aralıktaki pikler eter gruplarında C-O gerilmeleri ile ilişkilendirilebilmektedir (Nasirian ve diğ., 2017).

Kirli membranın ATR-FTIR spektrumu incelendiğinde $1600-1650\text{ cm}^{-1}$, $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pikler temiz membranla kıyaslandığında daha belirgin olarak görülmektedir. Bu durum DISPERS BLACK CE-ERN boyanın aromatik yapısıyla ve yapısındaki diğer kirleticilerin varlığıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. $1500-1200\text{ cm}^{-1}$ aralığında yeni piklerin meydana gelmesi boyanın kimyasal yapısıyla ilişkilendirilmektedir. Böylelikle boyanın yapısında karbonil ve aromatik grupların varlığı ile ifade edilebilmektedir.

ATR-FTIR spektrumları sonucunda atıksuların temin edildiği iplik boyama fabrikasında kullanılan boyalar ve kimyasal bileşenler, içinde bulunan maddelerin membran yüzeyine

adsorbe olması ve bu durumun zamanla membranın kimyasal yapısını değiştirebileceği, aynı zamanda akıda ve membran performansında değişim oluşturabileceğini göstermektedir.



5. TARTIŞMA

Bu çalışmada iplik boyama fabrikasından 3 farklı renkte boyama ve bu boyamalardan sonra uygulanan yıkama suları olmak üzere 8 farklı numune temin edilmiştir. Atıksulardaki kirleticilerin alüminyum sülfat kullanılarak sudan uzaklaştırılabilirliği ve atıksuların arıtılmasında uygun arıtma alternatiflerinin belirlenmesine katkı sağlayacak olan moleküler ağırlık dağılım çalışması gerçekleştirilmiştir. Böylece, atıksuların hem kanala deşarj ve hem de yeniden kullanılabilirliği için arıtma ünite alternatiflerinin değerlendirilmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

3 farklı renkte temin edilen boyama ve bu boyamalara ait yıkama atıksularının karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre boyama atıksularının KOİ değerleri 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”de Tablo 22: Atıksuların Atıksu Altyapı Tesislerine Deşarjında Öngörülen Atıksu Standartları’nı sağlamamaktadır. Koagülasyon+flokülasyon+çöktürme üniteleri ile kanala deşarj standardının sağlanıp sağlanamayacağının belirlenmesi amacıyla farklı konsantrasyonlarda alüminyum sülfat koagülantı kullanılmıştır. Özellikle siyah boyama atıksularında 1.000 mg/L alüminyum sülfat konsantrasyonunda dahi KOİ parametresinin kanala deşarj standardı sağlanamamıştır. Yüksek konsantrasyonda alüminyum sülfat kullanılarak atıksudaki sülfat konsantrasyonu da artmıştır.

Kanala deşarj standardının sağlanması ve atıksuların geri kazanılıp yeniden kullanılmasının araştırılması amacıyla moleküler ağırlık ayrımı çalışması gerçekleştirilmiştir.

Sülfat, sertlik ve alkalinite partiküler formda değildir ve ancak moleküler dağılıma göre sudan uzaklaştırılabilmektedir. Moleküler ağırlık dağılımı çalışmalarında bu parametrelerin 0,2 kDa MWCO’ya sahip membran tarafından sudan uzaklaştırılabildiği görülmüştür. ± 2 ve daha düşük değerlikli iyonlar ultrafiltrasyon membranı (150 kDa, 50 kDa ve 1 kDa) ile sudan uzaklaştırılamamaktadır. Bu membranlar ile makromoleküller ve koloidal ile partiküler maddeler sudan uzaklaştırılabilmektedir. Açık kahve boyama ve yıkama atıksularında giderme verimleri 0,2 kDa membranı ile süzülmesi sonrasında sülfat giderim verimi sırasıyla %16,3 ve %17,5, sertlik giderim verimi sırasıyla %37,5 ve %50 ve alkalinite giderim verimi ise sırasıyla %41,6 ve %50’dir.

Açık kahve boyama atıksuyunda KOİ giderim verimleri; 150 kDa için %11,1, 50 kDa için %22,2, 1 kDa için %22,2 ve 0,2 kDa için ise %38,8 iken açık kahve yıkama suyundan elde edilen KOİ giderim verimleri; 50 kDa için %50, 1 kDa için %50, 0,2 kDa için %60'tır.

Açık kahve boyama atıksuyunda iletkenlik giderim verimleri; 150 kDa için %3,1, 50 kDa için %4,51, 1 kDa için %10 ve 0,2 kDa için ise %11,1 iken açık kahve yıkama suyundan elde edilen iletkenlik giderim verimleri; 50 kDa için %1,19, 1 kDa için %7,73, 0,2 kDa için %12,35' tir.

Açık kahve boyama atıksuyunda renk giderim verimleri; 150 kDa için % 38, 50 kDa için %57,1, 1 kDa için %61,9, ve 0,2 kDa için ise %66,7 iken açık kahve yıkama suyundan elde edilen renk giderim verimleri; 50 kDa için %60, 1 kDa için %65 ve 0,2 kDa için %70'tir.

Lacivert boyama atıksuyunun 0,2 kDa MWCO'lu membrandan süzülmesi sonrasında sülfat, sertlik ve alkalinite giderim verimleri boyama atıksuyu için sırasıyla %64, %58,3 ve %66, lacivert boyama 1. yıkama atıksuyu için sırasıyla % 65,7, %37,5 ve %66,6 ve lacivert boyama 2. yıkama atıksuyu için sırasıyla %20,5, %56,25 ve %50'dir..

Lacivert boyama atıksuyunda KOİ giderim verimleri; 150 kDa için % 25, 50 kDa için % 50, 1 kDa için % 75,4 ve 0,2 kDa için %79,5, lacivert boyama 1. yıkama atıksuyunda 50 kDa için % 50, 1 kDa için % 50 ve 0,2 kDa için % 65,7 iken lacivert boyama 2. yıkama atıksuyunda KOİ değerleri ise 20 mg/L'nin altında olduğu gözlemlenmiştir.

Lacivert boyama atıksuyunda iletkenlik giderim verimleri 150 kDa için % 5,14, 50 kDa için % 7,54, 1 kDa için % 19,14 ve 0,2 kDa için % 23,41, lacivert boyama 1. yıkama atıksuyunda 50 kDa için % 5,35, 1 kDa için % 13,9 ve 0,2 kDa için % 16 iken lacivert boyama 2. yıkama atıksuyunda ise 50 kDa için % 1,85, 1 kDa için % 3,27 ve 0,2 kDa için % 13,65'tir.

Lacivert boyama atık suyunda renk giderim verimleri; 150 kDa için % 66, 50 kDa için %76,6, 1 kDa için %92 ve 0,2 kDa için ise %93,6' dır. Lacivert boyama 1. yıkama atıksuyunda 50 kDa için %51, 1 kDa için %79 ve 0,2 kDa için %80 iken lacivert boyama 2. yıkama atıksuyunda 50 kDa için %80, 1 kDa için %8 ve 0,2 kDa için % 88'dir.

Siyah boyama atıksuyunun 0,2 kDa MWCO'lu membrandan süzülmesi sonrasında sülfat, sertlik ve alkalinite giderim verimleri sırasıyla % 83, %25 ve %68, siyah boyama 1. yıkama atıksuyu için sırasıyla %50, %58 ve %42 oranında gerçekleşirken alkalinite verimleri % 33,3, % 27,5 ve % 62,5 oranında gerçekleşmiştir.

Siyah boyama atıksuyunda renk giderim verimleri; 150 kDa için % 72, 50 kDa için %81, 1 kDa için % 93 ve 0,2 kDa için ise % 95, siyah boyama 1. yıkama atıksuyunda 50 kDa için % 48, 1 kDa için % 76 ve 0,2 kDa için %69 iken siyah boyama 2. yıkama atıksuyunda 50 kDa için % 35, 1 kDa için % 43 ve 0,2 kDa için % 62'dir.

Siyah boyama atıksuyunda KOİ giderim verimleri; 150 kDa için % 52,9, 50 kDa için %52,9, 1 kDa için % 82,6 ve 0,2 kDa için ise % 92, siyah boyama 1. yıkama atıksuyunda 50 kDa için % 12,5, 1 kDa için % 37,5 ve 0,2 kDa için % 49,7 iken siyah boyama 2. yıkama atıksuyunda 50 kDa için % 12,1, 1 kDa için % 43,4 ve 0,2 kDa için % 49,7'dir.

Siyah boyama ve yıkama atıksularında iletkenliğin pek giderilmediği görülmüştür. 0,2 kDa membran süzütüsünde siyah boyama atıksuyunda % 24,76, siyah boyama 1. yıkama atıksuyunda % 21,27 ve siyah boyama 2. yıkama atıksuyunda ise % 18,31 oranında iletkenlik giderimi sağlanmıştır.

Yaman ve diğ. (2015), pamuklu tekstil endüstrisinden elde edilen boyama, karışık atıksu ve ağartma suları kullanılarak 100-1 kDa, 1-0,1 kDa ve < 0,1 aralığında moleküler ağırlık dağılım çalışması gerçekleştirmiştir. Ağartma sularının KOİ giderme verimi sırasıyla %23, %14 ve %48 , boyama sularında %55, %8 ve %27 olarak belirlemiştir. En iyi KOİ giderim veriminin 0,1 kDa ile elde edildiğini görülmektedir. 1 kDa MWCO'lu membran ile renk %77 oranında giderilirken iletkenlik parametresinde ise önemli oranda bir giderme verimi elde edilememiştir. Yüksek iletkenlik değerine sahip tekstil atıksularında yeterli giderim sağlanabilmesi için biyolojik arıtma, ters osmoz veya membran distilasyonu yöntemleri ile arıtım gerçekleştirilmesinin daha uygun olduğu ifade edilmektedir. Buna göre bu çalışmada elde edilen veriler ile Yaman ve diğ. (2015)' nin çalışması uyumlu görülmektedir.

Marcucci ve diğ. (2001) tarafından kum filtrasyonu UF, NF ve RO kullanılarak pilot ölçekli tesiste tekstil atıksularının arıtımı ve yeniden kullanımı çalışması yapılmıştır. İlk aşamada kum filtrasyonu ve UF membran kullanılıp daha sonra NF ve RO'dan geçirilmiştir. Çalışma sonucunda RO membran ile %90 sertlik giderimi sağlanmıştır. Bunun yanı sıra iletkenlik ve sertlik giderim verimleri NF membranda yeterli olmayıp sırasıyla % 40 ve %75 olarak belirlenmiştir. UF membranı ile renk giderimi düşük iken RO membranında % 90'a varan giderim elde edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışma ile istenilen kalitede su elde edilebileceği belirtilmiştir. Dolayısıyla hibrit sistem ve bununla birlikte RO membranının kullanımı yeterli verimin elde edilmesiyle sonuçlanmaktadır.

Tekstil sektöründe boyama işleminde yüksek konsantrasyonlarda farklı tuzlar kullanılmaktadır. Bunun sonucunda yüksek iletkenlik değerleri meydana gelmektedir. (Şahinkaya ve diğ., 2019). Bu tez çalışması kapsamında kullanılan boya ve yıkama sularının alındığı işletmede yıkama sularında da ayrıca kimyasal olarak asit tampon çözeltileri kullanılmaktadır. Katılan bu kimyasalların yıkama sularında iletkenliği daha fazla artırdığı gözlemlenmiştir.

Bouchareb ve diğ. (2021) iplik ve kumaş boyama atıksularının elektrokimyasal oksidasyon ve NF ile RO membranları kullanılarak elde edilen veriler karşılaştırmışlardır. Elektrokimyasal oksidasyon ile %99 oranında renk giderimi ve %80 oranında KOİ giderim verimi elde edilirken, RO prosesinde %98 KOİ giderimi elde edilmiştir. Yine RO membran renk gideriminide büyük oranda sağlamıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre NF membranlarından elde edilen KOİ, renk ve iletkenlik giderimlerinin arıtım için yeterli düzeyde olmadığı ancak elektrokimyasal oksidasyon ve RO değerlerinin arıtım için yeterli düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

Çetinkaya ve Bilgili (2019) tekstil atıksularının RO prosesi ile arıtımı sonrasında KOİ miktarının %96,3 oranında giderilebileceği belirtilmiştir. Liu ve diğ. (2011) ise tekstil atıksularının RO membranıyla arıtımında % 94 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde hibrit sistem ile arıtım yapılmasının daha etkin giderimle sonuçlandığı görülmektedir. Curic ve diğ. (2021) tarafından UF-HF/ 5kDa ve UF/RO membranlarıyla yapılan çalışmada % 94,6 KOİ, %95,4 BOİ, %98,1 sülfat ve %80-90 oranlarında renk giderimi elde etmişlerdir. Bununla birlikte UF/RO membran kullanımıyla % 95 iletkenlik ve % 59 oranında sertlik giderim verimi elde etmişlerdir.

Cinperi ve diğ. (2019) ise MBR+ NF ve MBR+ RO ile yapılan arıtım sonucu kirletici giderimleri sırasıyla %40-99 ve % 52 aralığında gerçekleşmiştir.

Yaman ve diğ.(2015)'nin yaptığı moleküler ağırlık dağılımı çalışmasında 100 kDa, 50 kDa, 10 kDa, 1 Da ve 0,5 kDa MWCO'ya sahip membranlar kullanılmıştır. 0,5 kDa membran ile %49 oranında sülfat giderimi sağlanmıştır.

Bu çalışmada 3 farklı renkte boyama atıksuyu kullanılmıştır. Her bir renk boyama atıksuyu için farklı kimyasal konsantrasyonlarında reçeteler hazırlanmaktadır. Bu reçetelerin sudaki kirletici konsantrasyonlarını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Açık kahve renk boyama ile siyah renk boyamanın kirletici konsantrasyonlarının çok farklı olduğu görülmektedir.

Siyah boyama atıksuyunda KOİ konsantrasyonu diğer boyama atıksularına göre yüksektir ve 150 kDa ile en yüksek giderme verimi bu atıksu ile sağlanmıştır. Siyah boyama atıksuyunda 0,2 kDa ile KOİ %95 giderilebilirken lacivert boyamada %79,5 ve açık kahve renginde ise %38,8 oranında giderim sağlanmıştır. Farklı renkte boyamaları içerdiği organik maddelerin moleküler ağırlıklarının da önemli bir farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu değişkenlik atıksu arıtma prosesi seçimini de etkilemektedir. Özellikle 0,2 kDa ile giderme verimi düşük olan KOİ'lerin membran öncesinde sudan uzaklaştırılması için ön arıtma üniteleri tasarlanmalıdır.

Düşük moleküler ağırlıklı organik maddelerin koagülasyon, müteakip çöktürme ve filtrasyon ile sudan uzaklaştırılabilirliği oldukça zordur. Bu sebeple, biyolojik olarak parçalanabilir organik miktarının artırılması amacıyla ozon gibi ileri oksidasyon proseslerinin kullanılması ve sonrasında ise biyolojik arıtma üniteleri ile düşük moleküler ağırlıklı kirleticilerin giderilmesinin uygun alternatif olacağı düşünülmektedir. Böylece, 0,2 kDa MWCO'lu membrandan geçen organik madde miktarı azaltılır ve nanofiltrasyon veya ters osmoz membranının organik maddeler tarafından tıkanma olasılığı da azaltılabilir.

Boyama ile müteakip yıkama sularının kirletici konsantrasyonları da farklılıklar göstermektedir. Yıkama sularının kirletici konsantrasyonları daha düşüktür. Kirletici konsantrasyonu düşük olan yıkama sularının ayrı toplanarak arıtılabilir. Böylece, bu atıksuların geri kazanımı daha kolay sağlanabilir. Boyama suları ile yıkama suları karıştırılmadığı için boyama sularının hacimleri artmaz ve yoğun kirletici içeren atıksuların kanala deşarj standardını sağlayacak veya geri kazanımı için arıtılması sağlanabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada iplik boyama fabrikasından 3 farklı boya ve bu boyalardan sonra uygulanan yıkama suları olmak üzere toplam 8 farklı numune temin edilmiştir. Koagülasyon amacıyla alüminyum sülfat, moleküler ağırlık dağılımının belirlenmesi amacıyla da 150 kDa, 50 kDa, 1 kDa ve 0,2 kDa membranlar kullanılmıştır.

Artan alüminyum sülfat konsantrasyonu ile KOİ gideriminde artış olurken ilave edilen alüminyum sülfattaki sülfat konsantrasyonu sebebiyle sülfat konsantrasyonunda artış görülmüştür. Ayrıca, iletkenlik değerinde de artış olmuştur.

Farklı renklerdeki boyama atıksularında ve bu boyamaların yıkama atıksularında bulunan organik maddeler genellikle 150 kDa'dan daha düşük moleküler ağırlığa sahiptir. Düşük moleküler ağırlıklı organik maddelerin konvansiyonel arıtma üniteleri olan koagülasyon, çöktürme ve filtrasyon ile sulardan uzaklaştırılabilirliği oldukça güçtür. Düşük moleküler ağırlıkla veya çözünmüş formda bulunan organik maddelerin sudan giderilmesi ancak yüksek konsantrasyonlarda koagülant kullanımı ile kısmi olarak sağlanabilir. Bu çalışmada da 1.000 mg/L'ye kadar alüminyum sülfat kullanılmıştır. Atıksuyun hem iletkenlik ve hem de sülfat konsantrasyonunda önemli artışlar olmuştur.

Boyama ve yıkama atıksularının kirletici konsantrasyonları farklıdır. Yıkama atıksuları daha düşük kirletici konsantrasyonuna sahiptir. Bu suların arıtılıp geri kazanılması boyama atıksularına göre daha kolay olacaktır. Bu sebeple, boyama ve yıkama atıksularının ayrılması önerilmektedir.

Boyama atıksuları ile yıkama atıksularının ayrı toplanması halinde, boyama atıksuyu için daha küçük kapasiteli bir arıtma tesisi kurulmasına katkı sağlayacaktır.

İplik boyama fabrikasında farklı renklerin kullanımı sonrası oluşacak olan atıksuyun karakterizasyonunda da önemli farklılıklar vardır. Renklere bağlı olarak sularda bulunan organik maddelerin moleküler ağırlıklarının önemli farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Boyamada kullanılacak olan kimyasallar ile bu kimyasalların temas ettiği ipliklerden kaynaklacak kirletici konsantrasyonlarında olabilecek değişimlerin dikkate alınması

gerekmektedir. Hem kirletici konsantrasyonu ve hem de moleküler ağırlık dağılımındaki farklılıklar dikkate alınarak boyama kaynaklı atıksular için ayrı bir arıtma tesisi tasarlanmasının önemli olduğu görülmüştür.

Özellikle 0,2 kDa gibi düşük MWCO'lu membrandan geçen organik madde miktarı dikkate alındığında, boyama sularının biyolojik olarak parçalanabilir forma dönüşümünün sağlanması ile devamında biyolojik arıtmanın uygulanması membranların sağlıklı işletimi ve organik madde gideriminin artırılması açısından önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Sülfat, sertlik ve alkalinite genellikle atıksuda çözünmüş formda bulunmaktadır. Bu sebeple, bu kirleticilerin 1 kDa ve daha büyük MWCO'lu membranlar ile giderilme pek mümkün değildir. Çözünmüş iyonlar iletkenliği etkilemektedir. Çözünmüş formda bulunan iyonlar giderilemediği için iletkenliğinde bu membranlar ile giderilmesi oldukça güçtür.

KAYNAKLAR

- Abdel- Halim, E.S., Al-Deyab S.S., 2013, One-step bleaching process for cotton fabrics using activated hydrogen peroxide, *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1844-1849.
- Abdel-Halim, E.S., 2012, Simple and economic bleaching process for cotton fabric, *Carbohydrate Polymers*, 88(4), 1233-1238.
- Abou-Taleb, EM., Nazih, M., Hellal, MS., Abou-Elela, SI., 2014, Treatment of yarn dyeing wastewater using different coagulants followed by activated carbon adsorption, *International journal of sciences Basic and Applied Research*, 327-339.
- Adane, T., Adugna, T.A., Alemeyahu E., 2021, Textile industry effluent treatment techniques, *Journal of Chemistry*, 2021, 1-14.
- Adesanmi, B. M., Hung, Y., Paul, H., Huhnke, C., 2022, Comparison of dye wastewater treatment methods: A review, *GSC advanced research and reviews*, 10(2), 126-137.
- Akbari, A., Remigy, J.C., Aptel, P., 2002, Treatment of textile dye effluent using a polyamide-based nanofiltration membrane, *Chemical engineering and processing: process intensification*, 41(7), 601-609.
- Aouni, A., Fersi, C., Cuartas-Urbe, B., Bes-Pía, A., Alcaina-Miranda, MI., Dhahbi, M., 2012, Reactive dyes rejection and textile effluent treatment study using ultrafiltration and nanofiltration processes, *Desalination*, 297 (), 87-96.
- Arslan Batuk, L., 2022, *Türk tekstil ve hazır giyim sektörleri dış ticaretinin katma değer ve dikey uzmanlaşma açısından incelenmesi*, Uzmanlık Tezi, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, Yapısal Ekonomik Araştırmalar Genel Müdürlüğü.
- Arya, B., D., Malik, N., 2015, FTIR Spectroscopic analysis of various pharmataceutically important organic dyes, *World wide journal of multidisciplinary rearch and developoment*, 1 (5), 48-52.
- Aydın, M., İ., 2012, *Tekstil atıksularının membran proseslerle arıtımı sonucu oluşan konsantrenin biyokimyasal metan potansiyelinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Azanaw, A., Birlie, B., Teshome, B., Jemberie, M., 2022, Textile effluent treatment methods and eco-friendly resolution of textile wastewater, *Case studies in chemical and environmental engineering*, 6, 100-230.
- Bartošová, A., Blinová, L., Sirotiak, M., Michalíková, A., 2017, Usage of ftr-atr as non-destructive analysis of selected toxic dyes, *Research papers faculty of materials science and technology*, 25 (40), 103-111.
- Basuki, Suyitno, Kristiawan, B., 2018, Absorbance and electrochemical properties of natural indigo dye, *Aip publishing*, 030067, 1-5.

- Bayrak, Y., 2022, Tekstil boyar maddesinin aktif portakal kabukları ile giderilmesi, *Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 58-65.
- Bes-Pia, A., Iborra-Clar, A., García-Figueruelo C., Barredo-Damas, S., Alcaina-Miranda, M. I., Mendoza-Roca, J.A., Iborra-Clar, M.I., 2009, Comparison of three NF membranes for the reuse of secondary textile effluents, *Desalination*, 241(1-3), 1-7.
- Bes-Pia, A., Mendoza-Roca, J.A., Alcaina-Miranda, M.I., Iborra-Clar, A., M.I. Iborra-Clar, 2003, Combination of physico-chemical treatment and nanofiltration to reuse wastewater of a printing, dyeing and finishing textile industry, *Desalination*, 157 (1-3), 73-80.
- Bilinska, L., Gmurek, M., Ledakowicz, S., 2017, Textile wastewater treatment by AOPs for brine reuse, *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 420–428.
- Bilinska, L., Gmurek, M., Ledakowicz, S., 2017, Textile wastewater treatment by AOPs for brine reuse, *Process safety and environmental protection*, 109, 420-428.
- Biroğul, N., 2012, *Bir tekstil atık suyunun koagülasyon – flokülasyon – membran filtrasyon süreçleri ile arıtılabilirliğinin incelenmesi*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bisschops, I., ve Spanjers, H., 200ü, Literature Review On Textile Wastewater Characterisation, *Environmental Technology*, 24(11), 1399-411.
- Biyolojik arıtım, 2020, <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/fakbal/133073/Biyolojik%20Ar%C4%B1t%C4%B1m.pdf>, Erişim Tarihi: 10 Mayıs, 2024).
- Bouchareb., R., Bilici, Z., Dizge, N., 2021, Water recovery from yarn fabric dyeing wastewater using electrochemical oxidation and membrane processes, *Water Environment Research*, 1-10.
- Brad, R., 2016, A review of color measurements in the textile industry, *Fassicle of textiles, leatherwork*, 27th-28th of May 2016, Oradea, Romania, Oradea, Bihor, Romania, Editura Universităţii din Oradea Universitatea din Oradea, Str. Universităţii Nr. 1, 410087, E- ISSN 2457-4880, 19-24.
- Büyükdere, A., 2008, Tekstil endüstrisi atıksularının membran teknolojileri ile arıtılması ve geri kazanılması, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chung, C., Lee, M., Choe, E., K., 2004, Characterization of cotton fabric scouring by FT-IR ATR spectroscopy, *Carbohydrate polymers*, 58 (4), 417-420.
- Cinperi, N.C., Ozturk, E., Yigit, N.O., Kitis, M., 2019. Treatment of woolen textile wastewater using membrane bioreactor, nanofiltration and reverse osmosis for reuse in production processes, *Journal of cleaner production*, 223, 837–848.
- Correia V., Stephenson, T., Judd, S. J., 1994, Characterisation of textile wastewaters - a review, *Environmental Technology*, 15(10), 917-929.
- Curic, I., Dolar, D., Bosnjak, J., 2021, Reuse of textile wastewater for dyeing cotton knitted fabric with hybrid treatment: Coagulation/sand filtration/UF/NF-RO, *Journal of environmental management*, 295, 113-133.

- Çetinkaya, A., Y., Bilgili, L., 2019, Life cycle comparison of membrane capacitive deionization and reverse osmosis membrane for textile wastewater treatment, *Water, air and soil pollution*, 230(149), 148-158.
- Çevre mevzuatı nedir?, 2024, <https://cevreonline.com/cevre-mevzuati-nedir/> , [Ziyaret tarihi: 12 Mayıs 2024].
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığının çed alanında kapasitesinin güçlendirilmesi için teknik yardım projesi,, Tekstil sektörü*, <https://ced.csb.gov.tr/cevresel-etki-degerlendirme-ced-kapasitesinin-guclendirilmesi-icin-teknik-yardim-projesi-i-82696>, [Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2024].
- Çukul, D., 2008, Competitive aspects of Turkish and Chinese textile and clothing industries, *8th Global Conference on Business & Economics*, October 18-19th, 2008 Florence, Italy, ISBN: 978-0-9742114-5-9, 1-11.
- Delee, W., O'Neill, C., Hawkes F. R.,Pinheiro, H. M., 1999, Anaerobic treatment of textile effluents: A review, *Journal of chemical technology and biology*, 73, 323-335.
- Donkadokula, N.Y., Kola, A.K., Naz, I.,Saroj, D., 2020, A review on advanced physico-chemical and biological textile dye wastewater treatment techniques, *Reviews in environmental Science and Bio / Technology*, 19, 543-560.
- Dutta, S., Bhattacharjee, J., 2022, *A comparative study between physicochemicaland biological methods foreffective removal of textile dye from wastewater*, Development in wastewater treatment research and processes, Innovative Microbe-Based Applications for Removal of Chemicals and Metals in Wastewater Treatment Plants, Shah, M. P., Rodriguez-Couto, S., Kapoor, R. T. (ed.), Chapter 1, Elsevier, ISBN:978-0-323-85657-7, 1-21.
- Dutta,S. Bhattacharjee, J., 2021, *A comparative study between physicochemical and biological methods for effective removal of textile dye from wastewater*, Development in wastewater treatment research and processes, Innovative Microbe-Based Applications for Removal of Chemicals and Metals in Wastewater Treatment Plants, In: Shah,M.P., Rodriguez-Couto,S., Kapoor, R.T., (ed.), Chapter 1, Elsevier, India, ISBN:978-0-323-85657-7, 1-21.
- Emreol Gönlgür, M., 2019, *Sustainable production methods in textile industry*, Textile industry and environment, In: Körlü, A., (ed.), Chapter 1, Intechopen, United Kingdom, London, ISBN:1838800271, 9781838800277, 1-11.
- EPA, 1997, *Profile of the textile industry*, U.S Government printing office superintendent of documents, Washington.
- Eroğlu, V., 2014, Atıksuların tasfiyesi, *Orman ve su işleri bakanlığı*, Ankara, ISBN: 978-975-92794-2-4.
- Ferreira, E.S.B, Hulme, A.N., McNab, H., Quye, A., 2004, The natural constituents of historical textile dyes, *Chemical society reviews*, 33(6), 329-336.

- Fersi, C., Gzara, L. ve Dhahbi, M., 2005, Treatment of textile effluents by membrane technologies, *Desalination*, 185 (1-3), 399-409.
- Gergin, M. N., 2017, *Tekstil atıksularının membran filtrasyon yöntemleri ile geri kazanımı*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gokarneshan, N., 2018, Some significant trends in textile bleaching, *Journal of Research Updates in Polymer Science*, 7, 29-32.
- Gökkuş, Ö., 2006, *Dispers boyarmadde içeren tekstil atıksularında renk giderimi*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Göknıl, M., Saatçı, A. M., 1982, *Çevre Kirlenmesi Yönünden Tekstil Endüstrisi*, <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/96367>, [Ziyaret tarihi: 13 Ocak 2024].
- Gönüllü, T., 2021, *Endüstriyel kirlenme kontrolü*, Yıldız Teknik Üniversitesi basım yayın merkezi, İstanbul, ISBN:978-975-461-595-1.
- Gül U.D., Yıldız, Y., 2020, Yüzey aktif madde ile modifiye edilmiş atık yer fıstığı kabuğunun tekstil boyası biyosorpsiyonu kapasitesinin belirlenmesi, *Türk tarım ve doğa bilimleri dergisi*, 7(3), 533-539.
- Gürtekin, E. ve Şekerdağ, N., 2008, Color removal from textile wastewater with fenton process, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3), 216-226.
- Güyer, G.T., Nadeem, K., Dizge, N., 2016, Recycling of pad-batch washing textile wastewater through advanced oxidation processes and its reusability assessment for Turkish textile industry, *Journal of Cleaner Production*, 139, 488-494.
- Holkar, C. R., Jadhav, A. J., Pinjari, D. V., Mahamuni, N.M., Pandit, A. B., 2016, A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches, *Journal of Environmental Management*, 182, 351-366.
- <https://www.lorisbellini.com/en>, [Ziyaret tarihi: 18 Nisan 2024].
- İyizaman, 2014, *Dispers boyama atık suyunun ozonlama ile geri kazanımı ve tekrar kullanımı*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jegatheesan, V., Pramanik, B. K., Chen, J., Navaratna, D., Chang, C., Shu, L., 2016, Treatment of textile wastewater with membrane bioreactor: A critical review, *Bioresource technology*, 204, 202-212.
- Kalliala, E., Talvenmaa, P., 2000, Environmental profile of textile wet processing in Finland, *Journal of Cleaner Production*, 8(2), 143-154.
- Kavurucu, B., Ekmen, E., Yaman, Ö., Yazan, S. Y., Kanmaz, N., Ünver, Ü., 2022, Türkiye’de endüstriyel su tüketimi ve arıtımı, *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 3(1), 19-33.

- Kocaer, F.O., Alkan, U., 2002, *Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri*, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 7, 47-55.
- Küçükler tekstil san. ve tic. a.ş , <http://www.kucuker.com>, [Ziyaret tarihi: 18 Nisan 2024].
- Lopez-Rodriguez, D., Jordan-Nunez, J., Gispert-Paya, J., Diaz-Garcia, P., Bou-Belda, E., 2023, Dyeing with hydrotalcite hybrid nanoclays and disperse, basic and direct dyes, *International journal of molecular sciences*, 24 (1), 1-18.
- Lopez-Rodriguez, D., Jordan-Nunez, J., Mico-Vicent, B., Llopis, R., L., Moncho-Santonja, M., 2023, Synthesis and characterisation of hybrids composed of calcined hydrotalcite and residual textile dyes, *Boletin de la sociedad Espanola de ceramica y vidrio*, 63 (3), 172-186.
- Madhaw, S., Ahamad, A., Singh, P., Kumar Mishra, P., 2018, A review of textile industry:Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods, *Environmental quality management*, 27(3), 31-41.
- Madsen, H. T., 2014, Chapter 6-Membrane filtration in water treatment – removal of micropollutants, *Chemistry of advanced environmental purification processes of water*, 199-248,<https://www.sciencedirect.com/book/9780444531780/chemistry-of-advanced-environmental-purification-processes-of-water>, [Ziyaret tarihi: 5 nisan 2024].
- Mani, S., Chowdhary, P., Bharagava, R. N., 2019, *Textile wastewater dyes: toxicity profile and treatment approaches*, Emerging and eco-friendly approaches for waste management In: BharagavaR. N., Chowdhary, P., (ed.), Chapter 11, Springer, Singapore, ISBN 978-981-10-8669-4, 219-245.
- Marcucci, M., Nosenzo, G., Capannelli, G., Ciabatti, I., Corrieri, D., Ciardelli, G., 2001, Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane Technologies, *Desalination*, 138 (1-3), 75-82.
- Mishra, S., Chowdhary, P.,Bharagava, R.N., 2019, *Conventional Methods for the Removal of Industrial Pollutants, Their Merits and Demerits*, Emerging and eco-friendly approaches for waste management, In: BharagavaR. N., Chowdhary, P., (ed.), Chapter 1, Springer, Singapore, ISBN 978-981-10-8669-4, 1-35.
- Modak, P., 1994, The textile industry and the environment, *United nations environment programme industry and environment*, United nations publication, ISBN: 92-807-1367-1.
- Moreira, V., R., Lebron, Y., A., R., Couto, F., C.,Maia, A., Wagner, G., M., Amarali, M., C., S., 2022, Process development for textile wastewater treatment towards zero liquid discharge: Integrating membrane separation process and advanced oxidation techniques, 157, 537–546.
- Nandiyanto, A., B., D., Oktiani, R., Ragadhita, R.,2019, How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material, *Indonesian journal of science & technology*, 4(1), 97-118.
- Nandiyanto, A., B., D., Ragadhita, R., Fiandini, M., 2023, Interpretation of fourier transform infrared spectra (FTIR): a practical approach in the polymer/plastic thermal decomposition, *Indonesian journal of science & technology*, 8 (1), 113-126.

- Nasirian, M., Bustillo-Lecompte, C., F., Mehrvar, M., 2017, Photocatalytic efficiency of Fe₂O₃/TiO₂ for the degradation of typical dyes in textile industries: Effects of calcination temperature and UV-assisted thermal synthesis, *Journal of environmental management*, 196(), 487-498.
- Oral, O., Dirgar, E., Erdoğan, Ç., 2012, 1. Uluslararası moda ve tekstil tasarımı sempozyum bildirileri, *Akdeniz sanat dergisi*, Sayı 7, 1-172.
- Ölmez, T., 1999, *Tekstil endüstrisinde reaktif boya banyolarında ozon ile renk giderimi*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztürk E., Köseoğlu, H., Karaboyacı, M., Yiğit, N.Ö., Yetiş, Ü, Kitiş, M., 2016, Minimization of water and chemical use in a cotton/polyester fabric dyeing textile mill, *Journal of Cleaner Production*, 130, 92-102.
- Patel, D. D., Bhatt, S., 2022, Environmental pollution, toxicity profile, and physico-chemical and biotechnological approaches for treatment of textile wastewater, *Biotechnology and genetic engineering Reviews*, 38(1), 33-86.
- Pattnaik P. and Dangayach, G. S., 2021, *An overview of sustainability of textile wastewater management in textile sectors*, Water pollution and management practices, In: Singh, A., Agrawal, M., Agrawal, S.B. (ed.), Chapter 12, Springer, Singapore, ISBN: 978-981-15-8358-2, 279-303.
- Petrinić, I., Bajraktari N., Hélix-Nielsen, C., 2015, *Membrane technologies for water treatment and reuse in the textile industry*, Advances in membrane technologies for water treatment materials, processes and applications, In: Basile, A., Cassano, A., Rastogi, N. K. (ed.), Chapter 17, Woodhead publishing, ISBN: 978-1-78242-121-4, 537-550.
- Prehu, I., 2024, 5 environmental impacts of textile industry, and 3 ways to be more sustainable, <https://watertreatmentmagazine.com/en/impact-textile-industry/>, [Ziyaret tarihi: 12 Mayıs 2024].
- Rafiqul Islam, M., Mostafa, M., G., 2020, Characterization of textile dyeing effluent and its treatment using polyaluminum chloride, *Applied water science*, 119(10), 118-129.
- Ramesh Babu, B, Parande, A.K., Raghu, S., Prem Kumar, T., 2007, An overview of wastes produced during cotton textile processing and effluent treatment methods, *The Journal of Cotton Science*, 11(1), 110-122.
- Sabır, E. C., Sarpkaya, Ç., 2011, Haşıl prosesinin önemi, maliyet analizi, karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri, *Tekstil ve mühendis*, 18, 8-13.
- Saif S., Raza, M. A., Muhammad, G., Iqbal, M.M., Ur Rehman, N., Hussain, M. A., *An introduction to membrane-based systems for dye removal*, Membrane based methods for dye containing wastewater In: Muthu, S S. (ed.), Chapter 1, Springer, ISBN 978-981-16-4823-6, 1-22.
- Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, 2022, Faaliyet raporu, <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/plan-program/STB-2022YiliFaaliyetRaporuV2.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2024].

- Saravanathamizhan, R., Perarasu, V. T., 2021, *Improvement of biodegradability index of industrial wastewater using different pretreatment techniques*, Wastewater treatment cutting-edge molecular tools, techniques and applied aspects, In: Shah, M. P., Sarkar, A., Mandal, S. (ed.), Chapter 8, Elsevier, India, Chennai, ISBN:978-0-12-821881-5, 103-133.
- Savcı, S., 2019, *Boyar madde arıtım alternatiflerine genel bir bakış*, Türkiye’de mühendislik alanında yeni yaklaşımlar, In: Savcı, S.(ed.), Bölüm 1, İksad Publishing House, Ankara, Türkiye, ISBN: 978-605-7695-92-5, 3-15.
- Schönberger H., and Schafer T., 2003, Best available techniques in textile industry, Federal Environmental Agency, Berlin, ISSN:0722-180X.
- Sharma, K. P., Sharma S., Singh P. K., Kumar S., Grover R., 2007, A comparative study on characterization of textile wastewaters (untreated and treated) toxicity by chemical and biological tests, *Chemosphere*, 69(1), 48-54.
- Shindhal, T., Rakholiya, P., Varjani, S., Pandey, A., Ngo, H. H., Guo, W., Ng, H. Y., Taherzadeh, M. J., 2020, A critical review on advances in the practices and perspectives for the treatment of dye industry wastewater, *Bioengineered*, 12(1), 70-87.
- Silva, T., L., Cazetta. A., L., Souza, P., S., C., Zhang T., Asefa, T., Almeida V., C., 2018, Mesoporous activated carbon fibers synthesized from denim fabric waste: Efficient adsorbents for removal of textile dye from aqueous solutions, *Journal of cleaner production*, 171, 482-490.
- Sivaranjane, R., Kumar, P.R., 2021, Treatment of textile wastewater using biochar produced from agricultural waste , *Advances in textile waste water treatments*, Muthu, S. S., In: (ed.), Chapter 8, Springer, Singapore, ISBN 978-981-16-0065-4, 205-219.
- SKKY, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete (32046), 17.12.2022.
- Şahinkaya, E., Tunçman, S., Koç, İ., Güner, A., R., Çiftci, S., Aygün, A., Şengül, S., 2019, Performance of a pilot-scale reverse osmosis process for water recovery from biologically-treated textile wastewater, *Journal of environmental management*, 249, 109-382.
- Şimşek, N. Z., Yetiş, Ü., 2024, A life cycle assessment of the membrane processes applied for salt recovery from reactive dyeing wastewater, *Sustainable chemistry and pharmacy*, 39, 101-552.
- Tanongpipat A., Khamman, C., Pruksathorn, K. Hunsom M., 2008, Process modification in the scouring process of textile industry, *Journal of Cleaner Production*, 16(1), 152-158.
- Taydaş, S., 2010, Tekstil alanında doğal ve kimyasal elyaf kullanımının hazır giyim sektöründe verimlilik açısından etkisi, 3. Ulusal polimer bilim ve teknolojisi kongresi ve sergisi, 12-14 Mayıs 2010, Kocaeli, Kocaeli Üniversitesi, 96, 81.,
- Tezcanlı Güyer, G., Nadeem, K., Dizge, N., 2016, Recycling of pad-batch washing textile wastewater through advanced oxidation processes and its reusability assessment for Turkish textile industry, *Journal of Cleaner Production*, 139, 488-494.
- Thamariselvan, C., Noel, M., 2015, Membrane processes for dye wastewater treatment: recent progress in fouling control, *Critical reviews in environmental science and technology*, 45(10), 1007-1040.

- Tore, Y. G., Ata, R., Çelik, Ö.S., Sesler, K., Ş, 2018, Removal from biologically treated textile dyeing wastewater with natural and novel pre hydrolysed coagulants, *Journal of the Turkish chemical society chemistry*, 5(1), 23-36.
- Türk, O. K., 2019, *Eloksal kaplama atıksularının membran distilasyon ile arıtılabilirliği*, Yüksek Lisans, Fen bilimleri enstitüsü.
- Türkay Yılmaz, H., 2016, Tekstil atıksularının nanofiltrasyon membranı ile arıtımı sonucu oluşan konsantrenin anaerobik arıtılabilirliği ve moleküler ağırlık dağılımının incelenmesi, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Türkiye tekstil terbiye sanayicileri derneği, 2002, *Tekstil sanayii için en uygun teknikler (BAT) referans dokümanı*, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ippc/editordosya/BREF_Tekstil_Sanayii_2002_TR.pdf, [Ziyaret tarihi: 13 Ocak 2024].
- Türkoğlu, G., 2007, *Dispers boya banyo atıksularının elektrokoagülasyon ile arıtılabilirliğinin incelenmesi*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uyak, V., Akdağlı, M., Çakmakcı, M., Koyuncu, İ., 2014, Natural organic matter removal and fouling in a low pressure hybrid membrane systems, *The scientific World journal*, 2014, 1-11.
- Van Der Zee, F.P., Villaverde S., 2005, Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes—A short review of bioreactor studies, *Water research*, 39(8), 1425-1440.
- Varadarajan G., Venkatachalam P., 2015, Sustainable textile dyeing processes, *Environmental Chemistry Letters*, 14, 113-122.
- 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(1), 154-168.
- Vinoba, M., Bhagiyalakshmi, M., Alqaheem, Y., Alomair, A. A., Pérez, A., ve Rana, M. S. ,2017, Recent progress of fillers in mixed matrix membranes for CO2 separation: A review, *Separation and Purification Technology*, 188, 431-450.
- Wang, X., Jiang, J., Gao, W., 2022, Reviewing textile wastewater produced by industries: characteristics, environmental impacts, and treatment strategies, *Water Science & Technology*, 85 (7), 2076–2096.
- Xu, C., Hinks, D., El-Shafei, A., Hauser, P., Li, M., Ankeny, M., Lee, K., 2011, Review of bleach activators for environmentally efficient bleaching of textiles, *Journal of fiber bioengineering & informatics*, 4:3, 209-219.
- Yaman, F., B., Çakmakcı, M., Karadağ, D., Özkaya, B., Bali, V., Dora, B., 2018, Treatment processes based on the molecular distribution of textile dyeing wastewater, *Environment protection engineering*, 44(2), 147-158.

- Yaman, F.B., akmakc, M., Karadağ, D., Yetilmezsoy K., Özkaya, B., Turkay, H., Genc, T., 2015, Comparison of treatment efficiency and molecular weight distribution of membrane concentrate from textile wastewater, *Global Nest Journal*, 18 (2), 348-359.
- Yazır, E., 2011, *Boyama kalitesinin iyileştirilmesi yöntemleri*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, D., 2018, *Tekstil boyar maddelerinin elektrokimyasal ve spektroskopik karakterizasyonu*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yusuff, R.O., Sonibare, J.A., 2004, Characterization of textile industries' effluents in Kaduna, Nıgeria and pollution implications, *Global nest*,6(3), 212-221.
- 5.BiyolojikArıtma,2024,
chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum05.pdf, [Ziyaret tarihi: 13 Mayıs 2024].