T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOYAR MADDELERİN GİDERİMİ İÇİN POLİSÜLFON MEMBRAN ÜRETİMİ VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

TUBA SAÇAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOYAR MADDELERİN GİDERİMİ İÇİN POLİSÜLFON MEMBRAN ÜRETİMİ VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

TUBA SAÇAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. AHMET KARAGÜNDÜZ

GEBZE
2019

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

INVESTIGATION OF POLYSULFONE MEMBRANE PRODUCTION AND PERFORMANCE FOR DYE REMOVAL

TUBA SAÇAK

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. AHMET KARAGÜNDÜZ

GEBZE

2019

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/06/2019 tarih ve 2019/26 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 16/09/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Tuba SAÇAK 'ın tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ

ÜYE : Prof. Dr. Bülent KESKİNLER

ÜYE : Doc. Dr. Derya YÜKSEL İMER

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

ÖZET

Endüstriler, atık sularını alıcı ortama deşarj etmeden önce, yönetmeliklerle belirlenmiş deşarj standartlarına uygun olarak arıtma yapmak zorundadır. Türkiyede hızla gelişmekte olan bir sektör olan tekstil endüstrisi atıksuları alıcı ortama deşarj edilerek tekstil atıksuları hem yeraltı hem de yeryüzü sularının önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Tekstil endüstrisinde boyama işlemi sırasında, boyanın %50'si ila %100'ü kumaş tarafından emilir, emilmeyen boya ise atıksuya rastgele karışır. İstatistler, tekstil fabrikalarının bitmiş ürünün her bir kilogramı için ortalama 0.06-0.40 m^3 su tükettiğini göstermektedir. Ayrıca, tekstil endüstrisinde, boyama işlemi sırasında genellikle %10-15 boya kaybı olmaktadır. Sıklaşan deşarj yönetmelikleri ve artan su fiyatlarıyla birlikte tekstil endüstrisinde boyalı atıksuların arıtılması önem kazanmıştır. Tekstil atıksuyunun yanında, üretimde kullanılan hammaddelerden kaynaklı ciddi kimyasal atıklar da mevcut olup uygun arıtım yöntemleri ile giderimi sağlanmazsa çevre, su ve insan sağlığı için tehlike oluşturur. 1990'lı yıllardan bu yana, tekstil atıksularının arıtılmasında, koagulasyon/flokulasyon, aktif karbon üzerine adsorpsiyon, ozonla oksidasyon ve membran prosesleri önerilmektedir. Geleneksel atıksu arıtma yöntemlerine nazaran, membran prosesler tekstil boyama atıksularının arıtımı için hem boya giderimi hem de suyun geri kazanımı için etkili bir sonuç vermektedir. Bu tez kapsamında, boyama atıksularının arıtımında kullanılması için yeni nesil polisülfon membran üretimi gerçekleştirilmiştir. Membranlar, %1 oranında polyvinylpyrrolidone (PVP) polimer, %79, %81, %83, %85 ve %87 oranlarında N-methyl-2-pyrrolidine (NMP), %14, %16, %18, %20 oranlarında Polysülfone (PSf), %0.016 ve %0.008 oranlarında Titanyum Dioksit (TiO_2) kullanılarak üretilmiştir. Membran üretimi faz inversiyon metodu ile gerçekleştirilmiş olup, membran karakterizasyonunun belirlenmesi için, membran direnci, akı, SEM görüntüleri ve boyar madde giderim oranları takip edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil endüstrisi atıksu, Membran faz inversiyonu, Membran üretimi, Membran karakterizasyonu.

SUMMARY

Industries has to treat their wastewater, accordance with the regulated dischange standarts before discharging to a receiving media. The textile industry is rapidly growing in Turkey. The composition and quantities of wastewater show significant variations with complex structure. The amount of wastewater varies for each production process. Due to the complexity and variety of products in the textile industry, the amount and concentration of wastewater in each unit process vary, resulting different pollutants in wastewater. Treatment of textile wastewater to acceptable environmental standards has become one of the major problems. During the dyeing process, 50% to 100% of the dye is absorbed and the non-absorbed dye is mixed randomly into the wastewater. Textile industries typically generate 200-350 m^3 of wastewater per ton of finished product resulting in an average pollution of 100 kg COD per ton of fabric. It has been become more important to properly treat dyed wastewater in the textile industry due to strigent discharge regulations and increased water prices. In addition to the wastewater, there are also significant chemical wastes from the raw materials used in production. If they are not removed with appropriate treatment methods, they poses a danger for the environment, water and human health. Since the 1990s, coagulation/flocculation, adsorption on actived carbon, ozone oxidation and membrane processes are suggested for the treatment of textile wastewater. Compared to conventional wastewater treatment methods, membrane processes provide effective results for both dye removal and water recovery. In this thesis, novel polysulfone membrane was manufactured and applied for the treatment of dye wastewater. The membranes were composed of 1% of Polyvinylprrolidone (PVP) polymer, N-methyl-2-pyrrolidine (NMP) solution (81%, 83%, 85%, 87%), and Polysulfone (PSf) (14%, 16%, 18% ve 20%). The membranes also contained Titanium Dioxide (TiO_2) at 0.008 % and 0.016 %. Membrane production was carried out by phase inversion method. Contact angle, flux, SEM analysis an dye removal rates were followed to determine membrane characterization.

Key words: Textile wastewater treatment, Membrane phase inversion, Membrane production, Membrane Characterization.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans programına başladığım andan, tez çalışmamın sonuna kadar manevi desteklerini esirgemeyen, her aşamada sağladığı bilgi ve deneyimlerinden dolayı Sayın Hocam Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ'e sonsuz teşekkürlerimi, saygılarım ve sevgilerimi sunarım. Desteklerinden dolayı, Arş. Gör. Zehra Betül ÖCAL SARIHAN ve Philip OMWENE arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Laboratuvar ve ekipman desteklerinden dolayı Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendiliği, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü ve Nanoteknoloji Enstitüsü 'ne teşekkür ederim.

Hayatımın her anından yanımda olan, bana maddi ve manevi desteğini hiç bırakmayan annem Işık BEŞLİ'ye, en iyi arkadaşlarım ve kardeşlerim Tuğçe ve Elifnur SAÇAK'a, Esra AKYAPRAKLI'ya ve Sinan AKDAĞ'a teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Hayatımın en anlamlı oluşumuna katkı sağlayan çok değerli Meltem KÜÇÜK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteklerinden dolayı çok değerli yöneticim Handan AYDIN KENKİNER'e, iş arkadaşlarım; Olcay EREN'e, Mesut KAYMAZ'a ve Mehmet ÖZDEMİR'e sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1. Tekstil Endüstrisi	3
2.1.1. Tekstil Endüstrisi Üretim Prosesleri	4
2.1.2. Yekstil Endüstrisi Kirletici Parametleri	5
2.1.3. Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtım Yöntemleri	8
2.2. Membran Prosesleri	9
2.2.1. Membran Üretiminde Kullanılan Maddeler	11
2.2.2. Membran Filtrasyon Yöntemleri	16
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	18
3.1. Kullanılacak Membranın Hazırlanması	18
3.2. Ölü Uçlu Filtrasyon Sistemi	19
3.3. Direnç Hesaplamaları	22
3.4. Membran Formülasyonun Hazırlanması	23
4. BULGULAR	24
4.1. Polimer Miktarının Boya Giderimi Üzerindeki Etkisi	24
4.2. TiO_2 Miktarının Boya Giderimi Üzerindeki Etkisi	26
4.3. UV Kullanılarak Membran Yüzeyinde Boya Giderimi ve UV'nin Membrana Etkisi	28
4.4. Boya Çözeltisi Asit ve Baz Durumunun Membran Üzerindeki Etkisi	33
5. SONUÇLAR	35

KAYNAKLAR 37
ÖZGEÇMİŞ 40
EKLER 41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
A^0	:	Angstron
Jss	:	Atıksu Akısı
Jw,0	:	Safsu Akısı
Jw,1	:	İkinci Safsu Akısı
NH_3	:	Amonyak
Pb	:	Kurşun
Rf	:	Ri ve Rir Birleşimi ile Toplam Direnç
Rir	:	İrreversible (geri dönüşümsüz) Kirlenme Direnci
Rm	:	Membran Direnci
Rr	:	Reversible (geri dönüşümlü) Kirlenme Direnci
Rt	:	Toplam Direnç
TiO_2	:	Titanyumdioksit
Gr	:	Gram
hPa	:	Hektopaskal
v/v	:	Hacimce % madde
S^{2-}	:	Sülfit
μ	:	Suyun Viskozitesi
Mg	:	Miligram
NaOH	:	Kostik Soda
kPa	:	Kilopaskal
NH_4-N	:	Amonyum Azotu
Pa	:	Paskal
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
BOİ	:	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CD	:	Selülozit türevleri
D	:	Diyaliz
DMAC	:	N, N-Dimetilasetamid
EB	:	Elektron Işını
ED	:	Elektro-Diyaliz

EPS	:	Hücre Dışı Madde (Polimerik)
ECHA	:	Avrupa Kimyasal Ajansı
KOİ	:	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MD	:	Membran Distilasyonu
MF	:	Mikrofiltrasyon
NF	:	Nanofiltrasyon
PA	:	Poliamid
PAN	:	Poliakrilonitril
PCU	:	Platin Cobalt Unit
PES	:	Polietersülfon
PP	:	Polipropilen
PPM	:	Milyonda bir
PSf	:	Polisülfon
PVDF	:	Polivinilidenflorür
PVP	:	Polivinilpirolidon
REACH	:	Kimyasalların, Kayıtlandırılması, Değerlendirilmesi, Ruhsatlandırılması ve Kısıtlanması
SEM	:	Taramalı Ekron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
TO	:	Ters Osmoz
UF	:	Ultrafiltrasyon
UV	:	Ultraviyole

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Tekstil Üretim Prosesi Akış Diyagramı.	4
2.2:	Tekstil Üretim Prosesi Kirletici Bileşenleri.	5
2.3:	Toplam Atıksu Miktarının Yüzde Dağılımı.	6
2.4:	Membran Prosesleri Ayırma Karakterizasyonu.	10
2.5:	PP Membran Kimyasal Yapısı.	11
2.6:	PES Membran Kimyasal Yapısı.	12
2.7:	PSf Membran Kimyasal Yapısı.	12
2.8:	PVDF Membran Kimyasal Yapısı	13
2.9:	CD Membran Kimyasal Yapısı.	13
2.10:	PAN Membran Kimyasal Yapısı.	14
2.11:	NMP Molekül Yapısı.	15
2.12:	DMAC Molekül Yapısı.	15
2.13:	PVP Molekül Yapısı.	16
2.14:	Ölü Uç (a) ve Çapraz Akım (b) Membran Filtrasyonu.	17
3.1:	Membran Dökme Aparatı.	18
3.2:	Dökülen Membranlar.	19
3.3:	Ölü Uç Membran Filtrasyonu / Sterlitech HP4750.	20
3.4:	Ölü Uç Membran Filtrasyonu / Sterlitech HP4750.	20
3.5:	UV Işın İçerisinde Membran Yerleştirilmesi.	22
4.1:	Farklı Polimer Miktarlarında Sentezlenen PSf Membranlar ve Ticari Membrana Ait a) Safsu Akı Değerleri Grafiği b) Boyalı Çözeltiye Ait Akı Değerleri Grafiği c) Renk Ölçümleri.	25
4.2:	Farklı TiO_2 Miktarlarında Sentezlenen PSf Membranlara Ait Akı Değerleri Grafiği a) %0,008 Oranında TiO_2 b) %0,016 Oranında TiO_2.	27
4.3:	Farklı Membran Tiplerinin Direct Orange 46 Boyası Giderimine Etkisi.	27
4.4:	Titanyum Katkılı Membrnların Yüzey SEM Görüntüsü.	28
4.5:	%20 PSf ve %0,016 TiO_2 Membran Boya Giderim ve UV'nin Membrana Etki Grafiği a) Birinci Tekrar b) İkinci	31

	%20 PSf ve %0,016 TiO_2 Membran Boya Giderim ve UV'nin Membrana Etki Grafiği İkinci Tekrar c) Üçüncü Tekrar d)	32
4.6:	Dördüncü Tekrar.	
4.7:	Asit ve Baz Ayarlaması ile Boya Çözeltisinin Akı Sonuç Grafiği.	31

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
2.1:	Bitirme ve boyama prosesi atıksu özellikleri.	7
2.2:	Tekstil endüstrisi atıksu deşarj standartları.	7
2.3:	Atıksu Arıtma Yöntemleri, Avantaj ve Dezavantajları.	9
2.4:	Ölü Uç ve Çapraz Akım Proseslerinin Karşılaştırılması.	17
3.1:	Ölü Uç Membran Filtrasyonu Teknik Özellikleri.	21
3.2:	Membran % Formülasyon Tablosu.	23
4.1:	Tekrarlı UV Uygulaması Sonucu Elde Edilen Denge Akıları.	29

1. GİRİŞ

Son yıllarda, dünya nüfusunun artması ve gelişen ihtiyaçlar nedeniyle tatlı su ihtiyacı artış göstermiştir. Küresel su ihtiyacı, dünya nüfusunun %40'ını oluşturan bazı bölgelerde mevcut kaynakları aşmakta, dünya nüfusunun %60'ı 2025 yılına kadar susuzluk çekme sorunu ile karşı karşıyadır. Dünyadaki su kaynaklarının birçoğunun tuzlu su olduğu bilinmektedir. Yaklaşık %2,5 oranında bulunan tatlı sular ise yeraltında ya da karlı/soğuk dağlık alanlarda depolanmaktadır [1]. Dünya genelinde tatlı suların %70'ı tarımda sulama amacıyla kullanılmaktadır [2]. Su kaynaklarının böylesine kısıtlı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, endüstrilerde kullanılan suların geri kazanılması için yöntemler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle gelişmekte olan endüstrilerden kaynaklı atıksuların yeterli arıtım yapılmadan deşarj edilmesi, hem su kullanımından kaynaklı maliyeti arttırmakta hem de su kaynaklarına zarar vermektedir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Sıklaşan deşarj yönetmelikleri ve artan su fiyatlarıyla birlikte tekstil endüstrisinde boyalı atıksuların arıtılması önem kazanmıştır [3]. Tekstil ürünlerinin renklendirilmesinde kullanılan renklendiricilerin yaklaşık %40'ı, kansorejen olan organik klor içermektedir ve boyama işlemi sırasında, boyama işlemindeki verimsizlikler sebebiyle büyük miktarda boyarmadde salınır. Salınan kimyasallar, soluduğumuz havaya buharlaşır ve deri yoluyla cildimizden emilebilir. Tekstil boyalarının %60'ını oluşturan azo boyalar, metanojenik bakteri kültürünün büyümesi üzerinde güçlü bir etkisi vardır [4]. Ayrıca 1 ton renklendirilmiş ürün için yaklaşık 200-350 m^3 su gerekmektedir [5].

Genellikle kimyasal oksidasyon, foto-kataliz ve biyolojik arıtım gibi geleneksel yöntemler ile arıtımı yapılmakta olan tekstil boyama atıksuları düşük giderim verimleri nedeniyle yeterince arıtılamamakta, bu nedenle hem su sarfiyatı ve üretim maliyetleri artmakta hem de deşarj sorunlarına sebep olmaktadır [6]. Kullanılan yaygın yöntemlere kıyasla membran prosesler, tekstil boyama atıksularının arıtımı için hem boya giderimi hem de su geri kazanımı için etkili bir prosestir.

Arıtma sürecinin maliyetinin düşürülmesi ve yüksek giderim verimi, tekstil endüstrisinde membran proseslerin kullanımını yaygınlaştırmıştır [7].

Bu kapsamda boyama atıksuların arıtımında yüksek giderim verimi sağlayacak yeni nesil polisülfon membran üretimi amaçlanmış ve bu amaçla, farklı polimer içeriklerine sahip farklı membran formülleri oluşturulmuştur. Çalışmalarda sentetik atıksu kullanılmıştır. Filtrasyon deneyleri ölü uç filtrasyon düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen süzüntünün spektrofotometre ile renk tayini yapılarak membranların renk giderim performansları incelenmiştir. Membran yüzeyinde oksidasyodan kaynaklanan bir direnç olup olmadığının tespit edilmesi amacı ile SEM görüntüleri alınmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

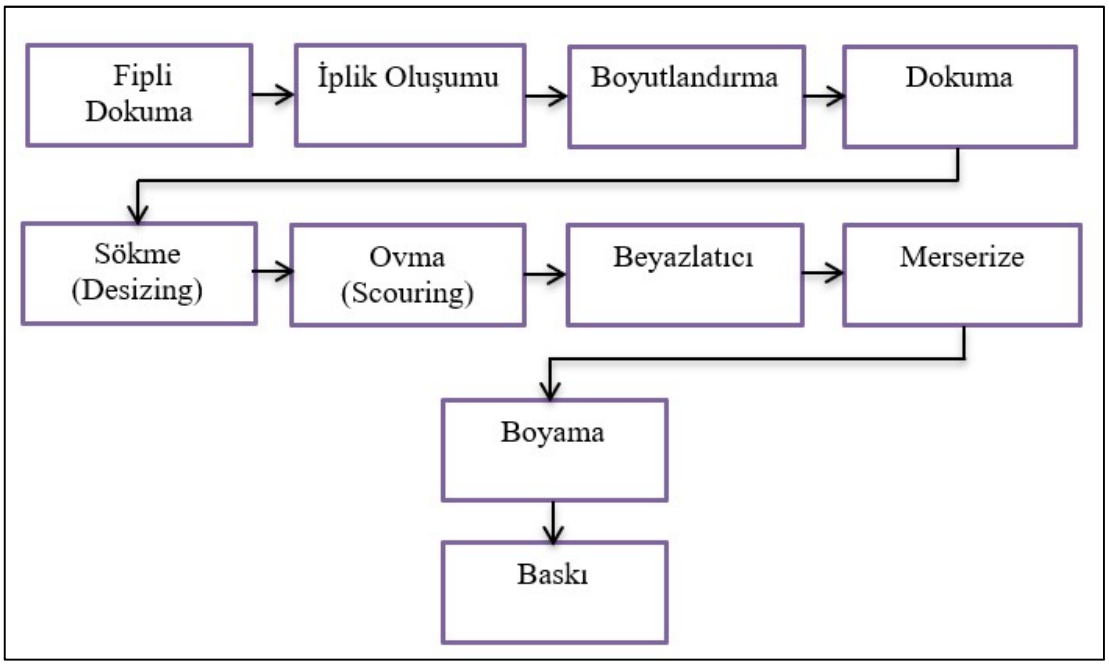
Tekstil endüstrisinde; ürünlerin üretim prosesleri birbirinden farklı olduğundan farklı atıksu karakterizasyonları görülmektedir. Ön işlem ve boya banyosu proseslerinin atıksuları yüksek kirletici konsantrasyonuna sahipken, durulama, yıkama, makine temizliği, ağartma ve bitirme terbiye proseslerinden kaynaklanan atıksuların kirletici içeriği görece daha düşüktür. Yeniden kullanıma açık ve geri dönüştürülebilir atıksuyun %60-90 oranında durulama/yıkama suyu proseslerinden kaynaklandığı bilinmektedir [8].

2.1. Tekstil Endüstrisi

Sentetik, doğal ve/veya yapay elyaf kullanılarak tekstil ürünlerinin üretilmesini, hammaddenin girdisinden nihai ürüne kadar üretim aşamalarını kapsayan endüstri tekstil endüstrisi olarak tanımlanmaktadır. Uygulama doğal, sentetik, yapay ipliklerin hazırlanması; dokuma, örme gibi yöntemlerle, örgü ve dokunmuş kumaşa boyama gibi işlemleri kapsamaktadır [9]. Tekstil endüstrisinde kullanılmakta olan yün, pamuk, yapay/sentetik elyaf gibi hammaddeler; dokuma, örme, keçeleştirme işlemleri sonucu yarı ürünleri oluşturur. Elde edilen yarı ürünler merserizasyon, ağartma, boyama ve apre olarak bilinen işlemlerden geçirilerek nihai ürünler oluşturulur.

2.1.1. Tekstil Endüstrisi Üretim Prosesleri

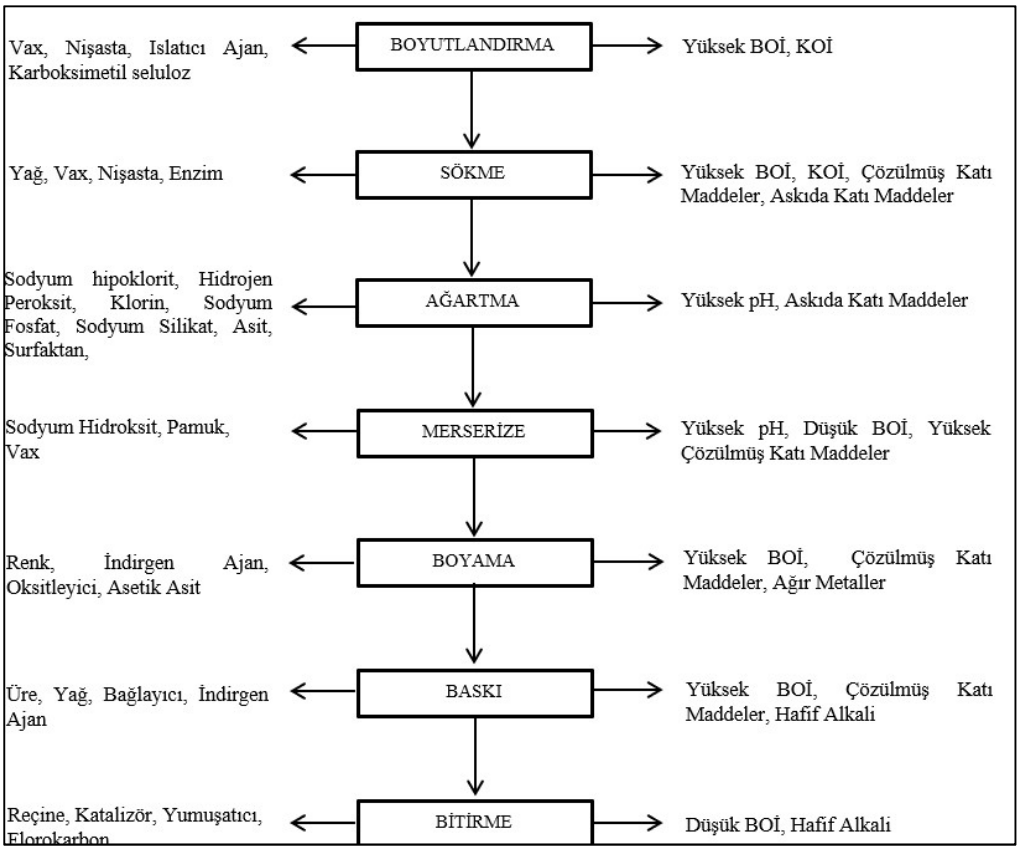
Tekstil endüstrisinde bir ürün oluşumu fipli dokuma ile başlamaktadır. Bu proses ile oluşturulan iplikler boyutlandırılarak dokuma materyali olarak kullanılmaktadır. Bu dokuma işlemi büyük ve kaba parçalar oluşturacak şekilde gerçekleştirilirdiğinden, elde edilen yarı ürünü istenilen boyutlara getirmek amacıyla sökme prosesi uygulanır. Kaba liflerden arındırmak amacıyla uygulanan ovma işlemi sonunda yün ve elyaf gibi hammedelerden kaynaklanan istenmeyen renklerin giderilmesi amacıyla yarı ürünler beyazlatılır. Merserizasyon aşaması ile yarı ürünü tambir tekstil üründen tam tekstil ürünü elde edilmektedir. Boyama ve baskı işlemlerinin ardından tam tekstil ürünü nihai ürüne dönüşmektedir. Tekstil üretim prosesi Şekil 2.1 ‘de verilmektedir.



Şekil 2.1: Tekstil üretim prosesi akış diyagramı.

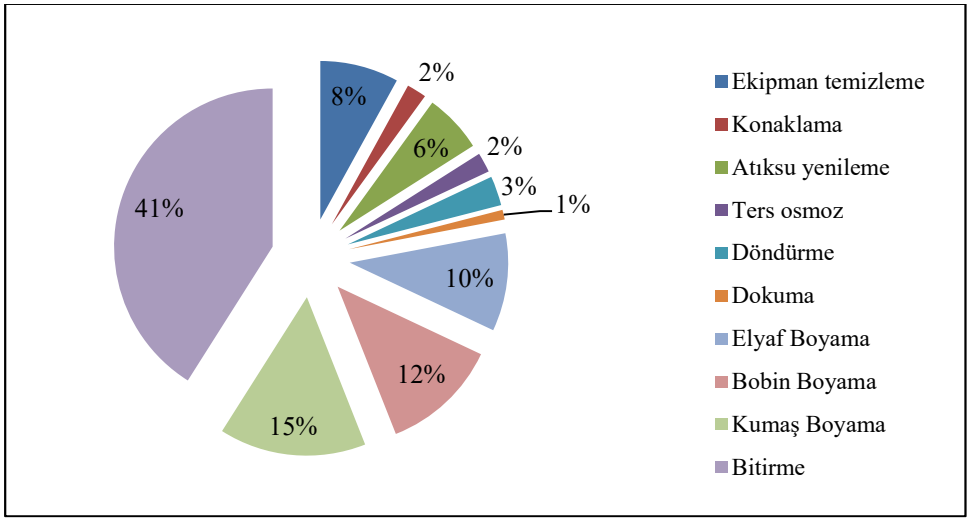
2.1.2. Tekstil Endüstrisi Kirletici Parametreleri

Tekstil endüstrilerinden gelen atık sular, tekstil endüstrisinde kullanılan proseslerin niteliğine bağlı olarak farklı kirleticiler içermektedir. En yüksek kirlilik, boyama işlemlerinden sonra birinci ve ikinci durulama proseslerinden gelen atıksuda görülmektedir. Bu kirleticiler, boya safsızlıkları, yardımcı ve yüzey aktif maddelerden kaynaklanmaktadır. Bu kimyasallar genellikle yavaş parçalanır. Boyar madde içeriği yüksek olan atık suların arıtılmadan alıcı ortama deşarjı genellikle mevzuatın getirdiği deşarj standartları nedeni ile mümkün değildir [10]. Şekil 2.2'de proses aşamalarına göre oluşan kirleticiler ve suda gösterdiği etkiler gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Tekstil Üretim Prosesi Kirletici Bileşenleri.

Tekstil endüstrisinde en fazla atıksuya sebep olan prosesler; ovma, boyama, bitirme ve yıkama prosesleridir. [11]. Tekstil malzemeleri, lif, iplik ve kumaş formlarındayken renklendirilebilir. Renklendirme proseslerinde boyama banyolarının hazırlanmasında, yıkama ve durulama işlemlerinde yoğun su tüketimi mevcuttur. Dokuma prosesi %3.1 , eğirme prosesi % 0.7, boyama prosesi %37.7, bitirme prosesi ise %40.9 oranında atıksu kaynağıdır [12]. Şekil 2.3'te toplam atıksu miktarının proses dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.3: Toplam Atıksu Miktarının Yüzde Dağılımı.

Tekstil atıksuları, yağ, gres, NaOH, Na_2SO_4, NH_3, S^{2-}, ağır metaller ve diğer toksik maddeler gibi çeşitli kimyasallar içermektedir. Tektil endüstisi üretim sırasında çıkan atıksular, yüksek sıcaklık, kompleks pH değerlerine sahiptir. Ayrıca BOİ ve KOİ değerleri, çözünmüş madde miktarı ve pigment içeriği yüksektir. Atıksu oluşumunda en yüksek paya sahip olan bitirme prosesi ve boyama prosesine ait atıksu karakterizasyonları Tablo 2.1'de ve tekstil endüstrisi kirleticilerine dair deşarj standartları Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Bitirme ve Boyama Prosesi Atıksu Özellikleri.

ÖZELLİKLER	BİTİRME PROSESİ	BOYAMA PROSESİ
pH	8,9-12,3	8,9-12,7
İletkenlik (mS/cm)	1-150	2,5-35
Bulanıklık (NTU)	138-879	25-350
Renk (Pt-Co)	844-10.113	650-10.000
KOİ (mg/L)	542-8524	520-3250
Alkalinite (mh/L $CaCO_3$)	382-41.163	240-8500
Toplam Askıda Katı Madde (mg/L)	40-1632	90-350

Tablo 2.2: Tekstil Endüstrisi Atıksu Deşarj Standartları.

Parametre	Birim	Kompozit Numune (2 saatlik)	Kompozit Numune (24 saatlik)
Amonyum Azotu (NH_4-N)	mg/L	350	240
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	5	-
Serbest Klor	mg/L	0.3	-
Toplam Krom	mg/L	2	1
Sülfür	mg/L	0,1	-
Sülfit (S^{2-})	mg/L	1	-
Yağ-Gres	mg/L	10	-
Balık Biyodeneyi (ZSF)		4	3
pH		6-9	6-9
Renk	(Pt-Co)	280	260

2.1.3. Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtım Yöntemleri

Tekstil atıksularının arıtımında adsorpsiyon ve membran prosesler yaygın olarak kullanılmaktadır. Koagülasyon proseslerinin de tercih edildiği bilinmektedir. Ancak görece düşük giderim verimi nedeniyle, son yıllarda koagülasyon prosesinin tercih edilebilirliği düşmüştür.

Tekstil atıksularının arıtımında adsorpsiyon prosesi; katyonik, asidik reaktif boyaların gideriminde kullanılan etkili bir yöntemdir. Aktif karbon türüne ve atıksuyun özelliğine bağlı olarak performansı değişmektedir. Kil, turba, hindistancevizi kabuğu, zeolit, silika tanecikleri, talaş gibi adsorpsiyon malzemeleri renk gideriminde kullanılmaktadır. Bu malzemelerin maliyetinin düşüklüğü ve kolay ulaşılabilirliği önemlidir [13]. Tekstil atıksuyundan renk gideriminde kullanılan fiziksel yöntemlerden birisi de membran prosesidir. Yüksek renk giderim performansı nedeniyle, membran prosesler, tekstil atıksularının arıtılmasında tercih edilmektedir. Tekstil atıksularından renk giderimi amacı ile kimyasal ve biyolojik oksidasyon prosesleri de kullanılmaktadır. Bu durum proses maliyetini yükseltmektedir. Maliyetin düşürülmesi için ön aşama olarak koagülasyon tercih edilmektedir. Tablo 2.3'te tekstil atıksuyu arıtma proseslerinin avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.3: Atıksu Arıtma Yöntemleri, Avantaj ve Dezavantaj.

Su Kazanım Metod	Avantaj	Dezavantaj
Koagülasyon İyon değişimi Elektrokimyasal oksidasyon	Su tekrar kullanılabilir.	Proses karmaşık ve maliyetlidir.
Mikro ve Nano Filtrasyon	Yeniden kullanılabilir ve temiz su elde edilir.	Membranların yenilenmesi gerektiğinden maliyet yüksektir.
Ultrason kullanımı	Tekstil boya çözeltilerinin renk gideriminde kullanılabilir.	Mineralizasyon sağlanamamaktadır.

2.2. Membran Prosesler

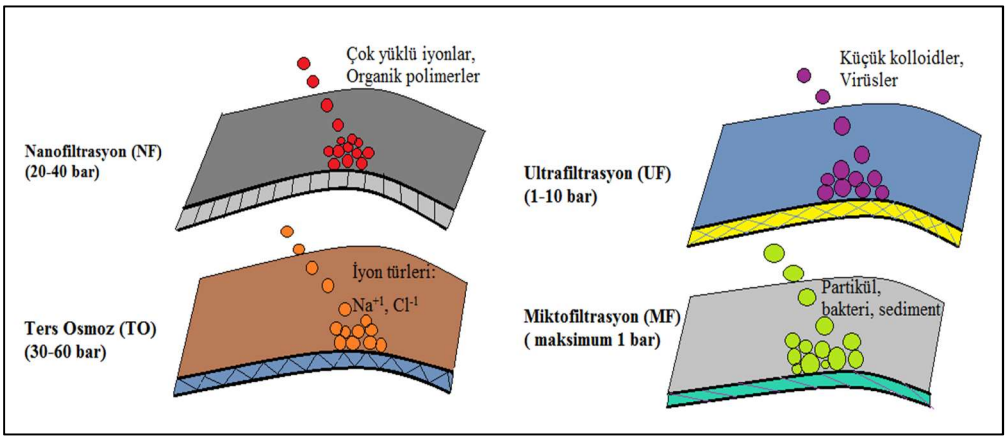
Sentetik membranlar; seçici tabakaların, morfolojilerine ve membran malzemelerine göre sınıflandırılmaktadır. Seçici tabaka gözenekli, gözeneksiz, enerji yüklü veya özel kimyasal bağa sahip olan geçirgenliğe ve ayırma mekanizmalarına sahiptir. Malzemenin membran boyunca taşınması için bir itici güç olması gerekmektedir. Çok ve tek değerlikli iyonlar, su, mikrofiltrasyon membranından geçebilmektedir. Mikrofiltrasyon membranları 0.1-1 mikrometre gözenek boyutuna sahiptir. Mikrofiltrasyon membranları arıtma proseslerinde ön arıtma süreci için tercih edilmekte olup, Ultrafiltrasyon (UF) veya Ters Osmoz (TO) öncesinde askıda kalan maddelerin ayrılmasında kullanılabilmektedir [14].

Ultrafiltrasyon membranların boyutu 2-100 nm'dir. Kolloidal malzemelerin, bakteri ve makro seviyedeki moleküllerin, askıda katı maddelerin temizlenmesi için kullanılmaktadır. Ultrafiltrasyon membran sistemleri yaygın olarak yüzey ve yeraltı sularının arıtılarak hem ekonomik hem de yüksek kalitede içme sularının elde edilmesinde kullanılmaktadır [15]. UF membranlar, mikro gözenekli yapıda olup,

proses gözenekli akış modeli ile gerçekleşmektedir [16]. TiO_2 aerojel membranlarına göre, aynı gözenek boyutlarındaki UF membranlar daha yüksek akılara sahiptir [17]. Ultrafiltrasyon, çözünen maddelerin konsantrasyonun düşürülmesi ve atıksu arıtımı için kullanılan önemli bir membran tipidir.

Nanofiltrasyon membranlar (NF), sertlik giderme, böcek ilacı temizleme ve renk gideriminde kullanılmaktadır. NF membranları, bazı çok değerlikli iyonları, virüsleri, bakterileri uzaklaştırmada etkilidir [7]. NF membranlar, suyun arıtılmasına, sertliğinin giderilemesine ve magnezyum iyonlarının uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Sertliği azaltmak için ilave kimyasallar kullanılmamaktadır [18]. Ayrıca, atıksulardaki organik maddelerin giderilmesinde kullanılmaktadır.

Ters Osmoz (TO); mevcut atık çözeltisine çözeltinin kendi osmotik basıncından daha büyük basınç uygulaması ile ortaya çıkan kütle transfer sürecidir. Bu sayede su; çözeltiden ayrılır, saf su tarafına geçer [19]. Hiper-filtrasyon olarak da bilinen ters osmoz prosesi, 10^{-3}-10^{-4} µm boyutarında küçük parçacıkların ayrılmasında kullanılmaktadır. En büyük avantajları, düşük konsantrasyonlarda ve/veya kolloidal formda çözünen kirleticilerin atıksudan yüksek oranda uzaklaştırılmasıdır. Ters osmoz, tuzlu ve deniz suyundan tuzun uzaklaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [20]. MF, UF, NF ve TO membranların tutma potansiyeli olduğu kirleticiler ile çalışma basınçları için görsel Şekil 2.4'te verilmiştir.

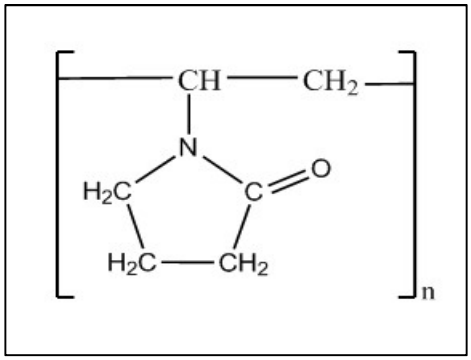


Şekil 2.4: Membran Prosesleri Ayırma Karakterizasyonu.

2.2.1. Membran Üretiminde Kullanılan Maddeler

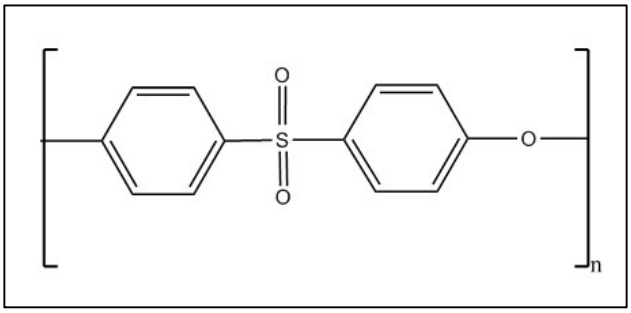
Membran üretiminde kullanılan en yaygın polimer malzemeler: Polipropilen (PP), Polietersülfon (PES), Polivinilpirolidon (PVP), Polisülfon (PSf), Polivinilidenflorür (PVDF), Selüloziktürevler (CD), Poliakrilonitril (PAN)'dir [21].

Polipropilen (PP)'in kimyasal formülü $(C_6H_9NO)_n$'dir. Düşük maliyetli olması sebebiyle MF ve UF membranlarda kullanılmaktadır. Genel olarak mikro gözenekli PP bazlı membranlar, ıslak işlemeye göre, ısıl olarak indüklenen faz ayırma yöntemi ile üretilmektedir. Çevre dostu olup, gözenek yapısı daha iyi kontrol edilmektedir [22]. PP membran için molekül yapısı Şekil 2.5'te verilmiştir, [23].



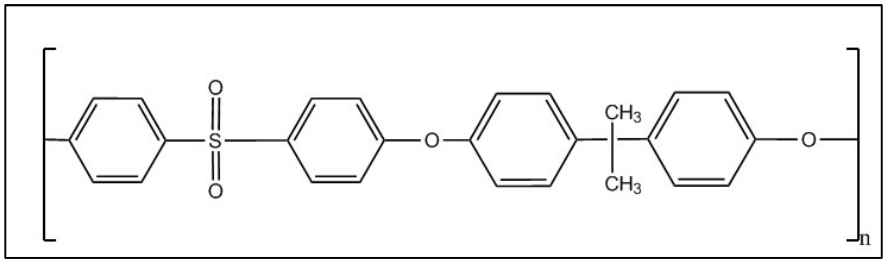
Şekil 2.5: PP Membran Kimyasal Yapısı.

Polietersülfon (PES)/ Polivinilpirolidon (PVP), NF membranlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle PES; NF membranları içme suyunun arıtılması ve atıksu arıtımı için etkili bir araçtır. Yağlara ve Greslere karşı direnç göstermektedir ve yüksek derecede hidrofiliktir. Benzen gibi organik çözücüler bu karışımdan üretilen malzemeye kolaylıkla yapışabilmektedir [21]. PES membran için molekül yapısı (Şekil 2.6) şeklinde verilmiştir [24].



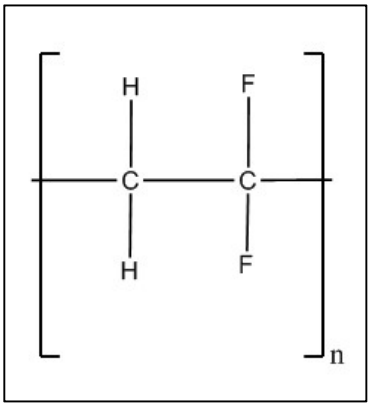
Şekil 2.6: PES Membran Kimyasal Yapısı.

Polisülfon (PSf), özellikle sülfonlandığında ters osmoz yardımıyla deniz suyunda tuz gideriminde %80 oranında verim sağlamaktadır. Sülfonatlanmış polisülfon, bir film oluşturabilir ve çözücünün bir kısmı buharlaştırıldıktan sonra çökeltilebilmektedir. Bu durum mükemmel bir kimyasal/fiziksel denge ve iyi bir elektrokimyasal özelliklere sahip bir zar oluşturmaktadır. [25]. Psf membrana ait molekül yapısı Şekil 2.7'de verilmiştir.



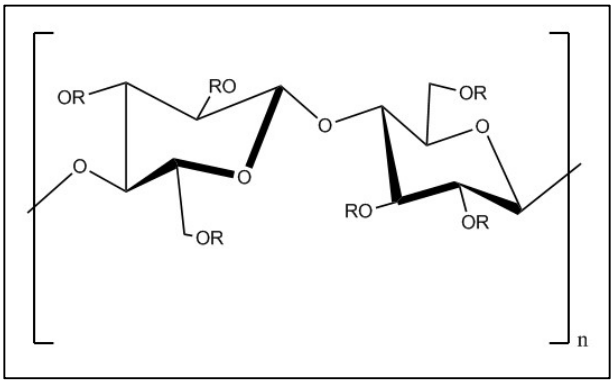
Şekil 2.7: PSf Membran Molekül Yapısı.

Polivinilidenflorür (PVDF); sensörler, piezoelektik malzemeler, biyomedikal uygulamalar, membranlar olmak üzere farklı tip önemli kullanım alanlarına sahiptir. Mükemmel bir kimyasal dirence (güçlü alkali koşullar hariç), UV stabilitesi ve yüksek termal ve mekanik denge durumlarına sahip olması yönünden önem taşımaktadır [26]. Polimerin polivinilidenflorür ile yapılması ve kayışın sıvı su banyosundan geçirilmesiyle faz inversiyonu işlemi gerçekleştirilmektedir. [25]. Şekil 2.8'de PVDF membran molekül yapısı görülmektedir.



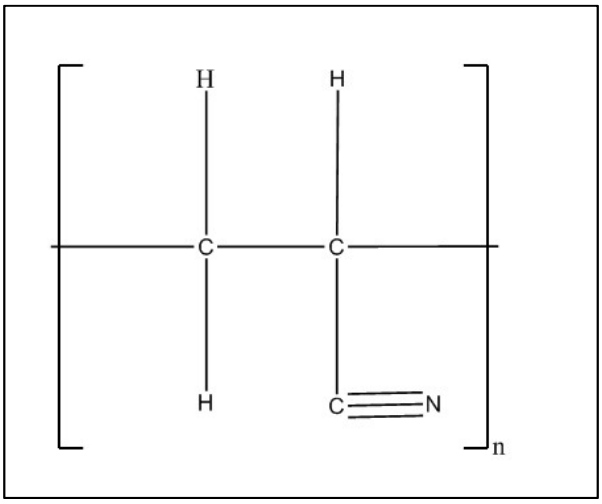
Şekil 2.8: PVDF Membran Molekül Yapısı.

Seluloziktürevler (CD); makromoleküller olarak selüloz türevleri ve ayrıca parçalanmış mikro iplikçikler halinde selüloz nanokristalleri (CNC'ler), uygun koşullar altında uygun koşullar altında uygun bir çözücü ile çözeltilerde veya süspansiyonlarda sıvı faz oluşturabilme yönüyle önem taşımaktadır [27]. Şekil 2.9'da CD kimyasal yapısı verilmiştir [28].



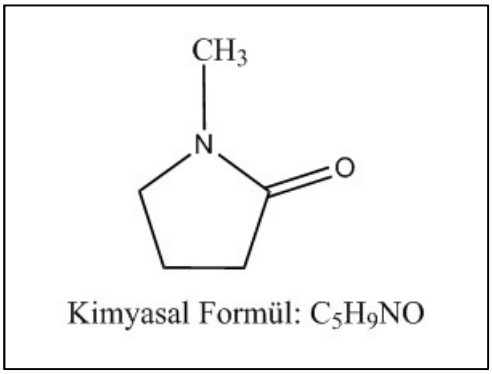
Şekil 2.9: CD Membran Molekül Yapısı.

Poliakrilonitril (PAN); ters osmoz membranından ziyade ultrafiltrasyon membranına benzeyen mikroporları içeren membran üretiminde kullanılmaktadır. PAN kullanılarak üretilen membranlar kurutma sonrası helyum ve hidrojen gazı plazmasına maruz bırakılmaktadır. Plazma işlemi; asimetrik poliakrilonitril desteği üzerinde sıkı, çapraz bağlanmış bir yüzey oluşturmaktadır [25]. Şekil 2.10'da PAN membran molekül yapısı görülmektedir.



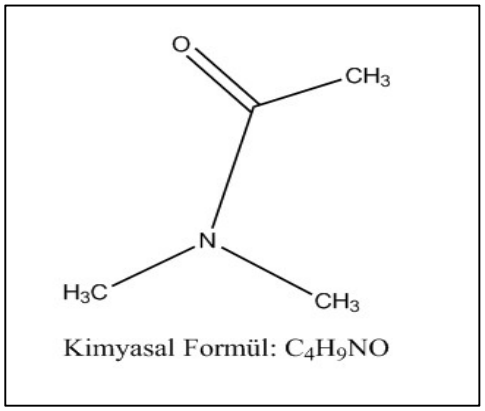
Şekil 2.10: PAN Membran Molekül Yapısı.

Polimerlerin çözülmesi amacı ile farklı solventler kullanılmaktadır. Örneğin, N-metil-2-pirolidin (NMP) su ile karıştırılabilen organik çözücüdür. NMP; petrokimya endüstrisi, pigmentler, kozmetik sektörü, ilaçlar, böcek ilaçları, herbisitler ve fungusitler dahil olmak üzere çeşitli bileşiklerin üretiminde kullanılmaktadır. NMP, kimyasal hidroliz yoluyla bozulma göstermemektedir. Temel yapı; 5-hidroksi-N-metil-2-pirolidon olarak bilinmektedir [29]. Şekil 2.11'de NMP molekül yapısı görülmektedir.



Şekil 2.11: NMP Molekül Yapısı.

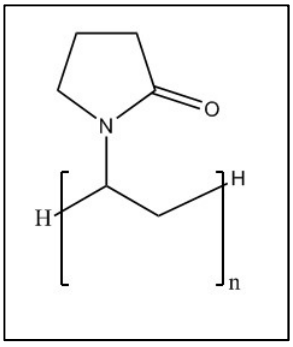
Membran üretiminde kullanılan bir diğer çözücü N,N-Dimetilasetamid (DMAC). çoğunlukla tesktil endüstrisinde kullanılan su ile her oranda karışabilen bir çözücüdür. Tekstil endüstrisinde, polimer erimesi için kullanılmaktadır [30]. Şekil 2.12'de DMAC molekül yapısı verilmiştir.



Şekil 2.12: DMAC Molekül Yapısı.

Membran üretiminde polimer ve çözücü dışında bazı yardımcı kimyasal maddeler de kullanılmaktadır. Polivinilpirolidon (PVP) membran su emme durumunu (hidrofilisitesi) arttırmak ve gözenek yapısını kontrol etmek için polimerizasyon işlemi sırasında kullanılmaktadır [31]. PVP polimer matrisine hidrofiliklik kazandırmakta ve sonucunda da su geçirgenliği artmaktadır. Bu artış oldukça sınırlı olup, PVP polimerinin sudaki bu şişmesi, gözenek büyüklüğünün azalmasına neden olmaktadır [32]. Membran karakterizasyonu, pürüzsüz yüzey, PVP modifikasyonu ve hidrojellerinin potansiyal oluşumunu belirten çapraz bağlanma miktarının arttırılması gibi özelliklerle EB (elekron ışını) ışımasıyla değiştirilmektedir.

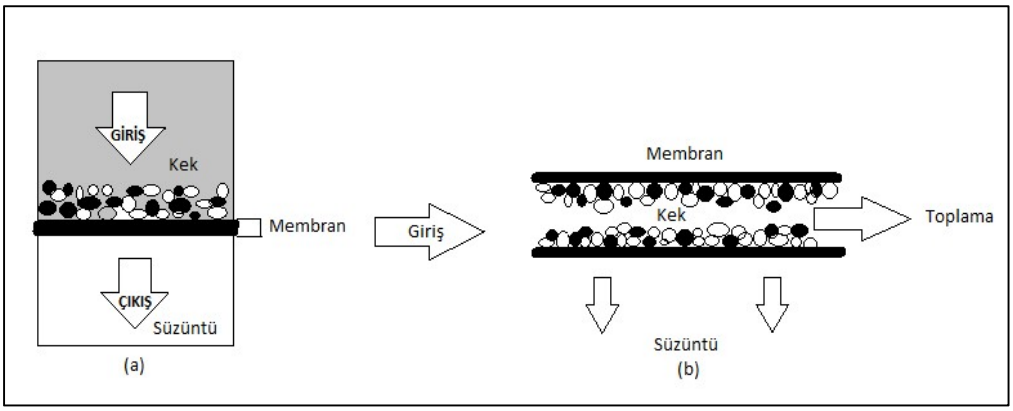
Uygun PVP konsantrasyonu kullanılarak, membranın alt yapısında makro düzeyde boşluklar oluşumu baskılanabilir ve gözeneklerin birbirine bağlanabildiği geliştirilebilmektedir. Şekil 2.13'de PVP molekül yapısı verilmiştir. Kimyasal Formül: $(C_6H_9NO)_n$



Şekil 2.13: PVP Molekül Yapısı.

2.2.2. Membran Filtrasyon Yöntemleri

Yaygın olarak kullanılan membran filtrasyon yöntemleri ölü uçlu membran ve çapraz akışlı membran yöntemleridir. 1-10 µm boyutlarında kalıntıların bulunduğu gazların ve/veya sıvıların ayrıştırılmasında ölü uçlu membran yöntemi ile filtrasyon tercih edilmektedir. Basınç ile çalışan bu sistemde, çözelti (atık) membranda dikey olarak hareket ederken, kalıntılar ve/veya askıda katı maddeler membran vasıtasıyla tutulur ve membran yüzeyinde birikir. Bu birikme; membran yüzeyinde ve gözeneklere nufüs etmiş bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu birikmeler filtrasyon akısının düşmesine yol açmaktadır [19]. Ancak düşük katı madde yüklesmesine ve / veya sınırlı geçirgenliğe sahip membranlar için bu yöntem uygulanabilir olmaktan uzaktır. Bu tip durumlarda, giriş suyunun belirli bir kısmının konsantre akış şeklinde biriktirildiği çapraz akışlı bir sistem kullanılır. Ölü uçlu filtrasyon işlemlerinde, direnç; membran üzerinde oluşturulan kekin kalınlığına bağlı olarak artarken, oluşan kek toplanan süzüntünün hacmiyle orantılıdır. Çapraz akışlı proseslerde ise; kek bir yapışkan sıvı yardımıyla sıvının temizleme kuvvetleri ile dengelenene kadar devam eder. Şekil 2.13'de ölü uç ve çapraz akım membran sistemleri, Tablo 2.4'te ise bu proseslerin karşılaştırılması görülmektedir [33].



Şekil 2.14: Ölü Uç (a) ve Çapraz Akım (b) Membran Filtrasyonu.

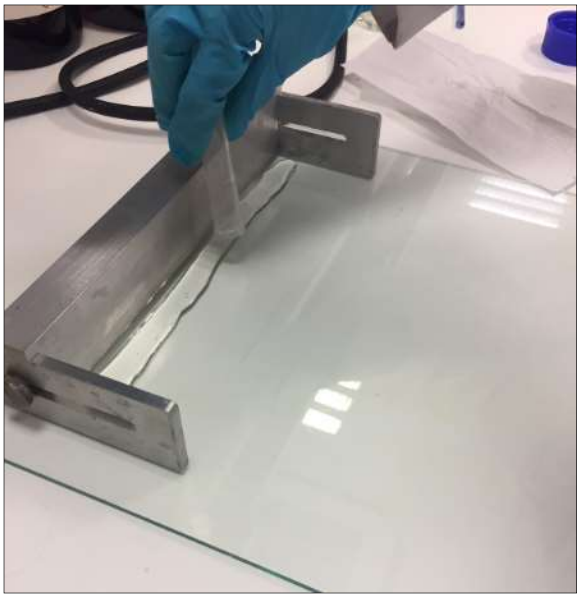
Tablo 2.4: Ölü Uç ve Çapraz Akım Proseslerinin Karşılaştırılması.

	Ölü Uç Filtrasyon	Çapraz Akım Filtrasyon
Avantaj	- Enerji ihtiyacı minimum düzeydedir. - Periyodik olarak yıkamaya elverişlidir.	- Askıda katı maddenin fazla olduğu atıkların arıtımında kullanımı uygundur. - Akı değerleri oldukça yüksektir. - Yıkama sistemine uyumluluk sağlar. - Yatırımı düşük maliyetlerde yapılabilmektedir.
Dezavantaj	- Askıda katı madde oranının düşük olduğu atıklarda kullanılmaktadır. - Membran deformasyonu mümkündür.	- Enerji ihtiyacı çok yüksektir. - Üretim maliyeti yüksektir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kullanılacak Membranın Hazırlanması

Deneylerde kullanılan membranlar Polisülfondan hazırlanmıştır. Farklı polimer içeriklerine sahip (%14, %16, %18 ve %20) membranların hazırlanmasında çözgen olarak NMP kullanılmıştır. Her membran karışımına %1 olacak şekilde PVP ilave edilmiştir. Karışım, 24 saat mekanik karıştırıcıda karıştırılarak hoojenize edilmiştir. Tamamen karışın çözelti bir cam üzerine dökülerek Şekil 3.1' de gösterilen metal aparat yardımı ile cam yüzeyinde belirlenen bir kalınlıkta ince tabaka bir film oluşturulmuştur. Cam, daha sonra saf suya daldırılarak faz inversiyonun oluşumu sağlanmış ve membran film üretilmiştir (Şekil 3.2). Membranlar, deneylerde kullanılmadan önce yaklaşık 3 gün suda bekletilmiştir.



Şekil 3.1: Membran Dökme Aparatı.

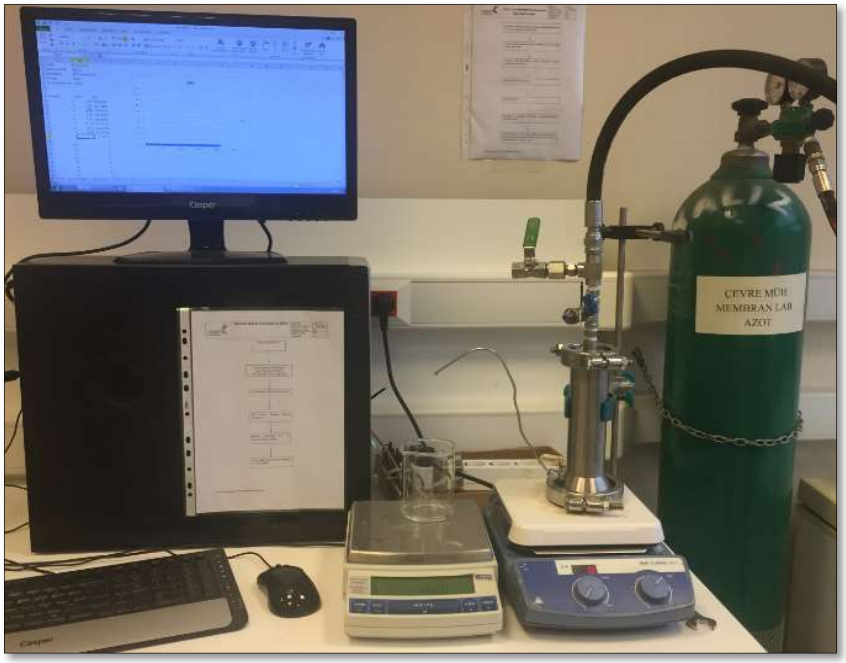
Şekil 3.2: Dökülen Membranlar.

3.2. Ölü Uçlu Filtrasyon Sistemi

Deneylerde, 300 mL kapasiteli "Sterlitech marka HP4750" ölü uçlu membran hücresi kullanılmıştır. Bu hücreye ait teknik özellikler Tablo 3.1'de verilmektedir. Ölü uçlu membran hücresinin alt kısmına üretilen membran uygun boyutlarda kesilerek yerleştirilir. Hücrenin içinde bulunan manyetik karıştırıcı çapraz akış etkisi sağlayarak kirlenmenin azaltılmasını sağlamak amacı ile kullanılır (Şekil 3.3). Daha sonra filtre edilecek su (atık su veya safsu) bu hücreye konulur. Üst kapak kapatıldıktan sonra, hücre üst kapağa bağlı bir azot tankı ile istenilen basınca ayarlarak filtrasyon işlemi başlatılır. Çıkış suyu, bir terazinin üzerine yerleştirilmiş bir behere verilmiş ve terazide görülen ağırlık değişimleri bir dakika ara ile bilgisayarda kaydedilir (Şekil 3.4). Bu veriler kullanılarak membran akılarının zamanla değişimi tespit edilebilir. Gerekli olduğunda, filtrasyon sonunda, çıkışın toplandığı beherden numune alınarak analizler gerçekleştirilir.

Çalışmalarda hem ticari UF membranı UC 010 hem de laboratuarda üretilen membranlar kullanılmıştır. Öncelikle her membran saf su ile 3-4 bar basınç altında sıkılaştırılarak sabit akı değerleri elde edilmiştir. Böylece her membranın direnci boyalı su deneyleri öncesinde hesaplanmıştır.

Şekil 3.3: Ölü Uç Membran Filtrasyonu / Sterlitech HP4750.



Şekil 3.4: Ölü Uç Membran Filtrasyonu / Sterlitech marka HP4750.

Tablo 3.1: Ölü Uçlu Membran Filtrasyonu Teknik Özellikler.

PARAMETRELER	TEKNİK ÖZELLİKLER
Membran Çapı	49 mm
Aktif Membran Alanı	14.6 cm^2
Hacim	300 mL
Maksimum Basınç	69 bar
Maksimum Sıcaklık	55 bar'da 121 ˚C
pH	Kullanılan Membran Tipine Bağlı
Malzeme	316L Paslanmaz Çelik
Hücre Çapı	5.1 cm
Hücre Boyu	19.9 cm
Hücre Genişliği	14.6 cm

Saf su deneylerini takiben, membranların sudan boya giderim performansı belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan su sentetik olup, renkli su Direct Orange 46 kullanılarak hazırlanmıştır. Öncelikle 300 mL boyalı su hücreye yerleştirilerek %75 oranında filtrasyonu gerçekleştirimiş ve zamana karşı akı değerleri hesaplanmıştır. Çıkış suyundan kompozit bir numune alınarak hem giriş ve hem de çıkışdaki renk değerleri spektrofotometre kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra hücrede kalan konsantre dökümüş ve hücre saf su ile doldurularak aynı membran ile filtrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada da akı takibi yapılmıştır. Sonrasında, membran hücreden alınmış ve Şekil 3.5'te görülen düzenekteki UV ışınına 15 dakika maruz bırakılmıştır. UV C ışık kaynağı kullanılarark temizleme işlemi yapılmıştır. UV ışığın gücü 8 watt olup, 6 tane lambadan oluşmaktadır. Işığın dalga boyu 200-280 nm, enerji aralığı ise 427-598 kj/Einstein. Membran daha sonra tekrar hücreye yerleştirilmiş ve saf su akıları belirlenmiştir.

Şekil 3.5: UV Işın İçerisinde Membran Yerleştirilmesi.

3.3. Direnç Hesaplamaları

Deney sonuçlarında elde edilen akılar kullanılarak membran ve kirlenme dirençleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda aşağıda verilen Darcy Yasası kullanılmıştır.

$$J = \frac{\Delta P}{\mu . Rt}$$

Burada, J filtrasyon akısı (L/m2/saat), R_t Toplam direnç (m^{-1}), μ suyun viskozitesi (cP) ve ΔP ise membrana uygulanan basınç farkını (bar) ifade etmektedir. Filtrasyon sıvısının saf su olması durumunda toplam diren membran direnç (Rm) olarak adlandırılır.

3.4. Membran Formülasyonun Hazırlanması

Polisülfon, NMP, PVP ve TiO_2 hammaddeleri ile hazırlanılan membran formülasyon Tablo 3.2'de verilmiştir. %14, %16, %18 ve %20 PSf ile %1 PVP formülasyonu hazırlanmış olup, %100'lük formül çalışmasının geri kalan kısmında, %85, %83, %81, %79 oranlarında NMP solventi eklenmiştir. Çalışma esnasında, ilk olarak TiO_2 kullanılmadan 30 mL'lik numune çalışması yapılmıştır. TiO_2 'siz çalışmalarda; ilk olarak numune kabına solvent ilave edilerek ardından solvent içerisine PSf eklenmiştir ve bir süre (gözle kontrol edildiğinde çözünmeyen partikül kalmayacak şekilde) PSf'nun çözünmesi için beklenilmiştir. Daha sonra %1 oranında PVP ilavesi yapılmıştır. PVP eklemesinin yavaş yavaş yapılmasına dikkat edilmiştir. PVP hammaddesinin, tamamının deney numunesi içerisine aniden ilave edilmesi PVP'nin çözelti içerisinde tamamen çözülememesine sebep olabilir. Tablo 3.2'de 5 ve 6 nolu numuneler TiO_2'li formülasyonları kapsamaktadır. %100'lük formülasyona %0.008 ve %0.016 TiO_2 ilave edilmiştir. TiO_2'nin çözünmesinin güç olması sebebiyle öncelikle %79 NMP solvent içerisinde, TiO_2 çözülmüştür.

Tablo 3.2: Membran % Formülasyon Tablosu.

Numune	PSf (%)	NMP (%)	PVP (%)	TiO_2(%)
1	14	85	1	-
2	16	83	1	-
3	18	81	1	-
4	20	79	1	-
5	20	79	1	0.016
6	20	79	1	0.008

4. BULGULAR

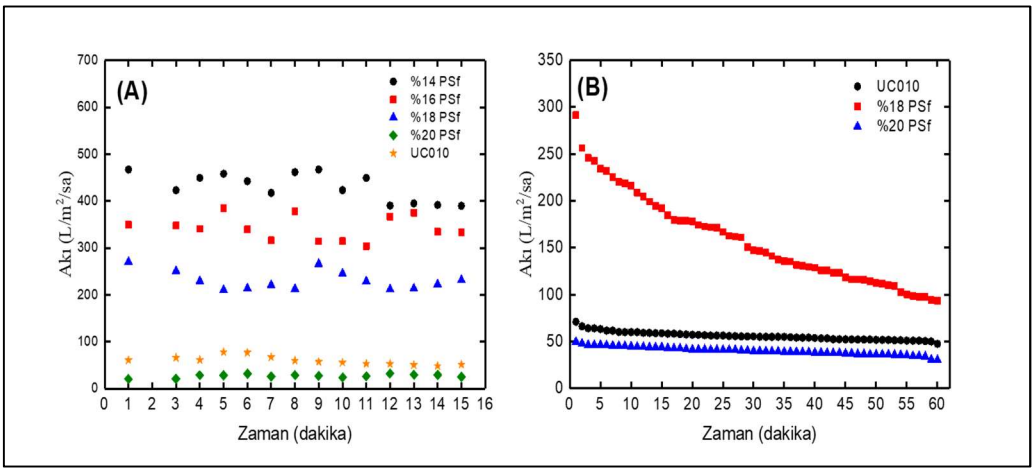
4.1. Polimer Miktarının Boya Giderimi Üzerindeki Etkisi

Labaratuvarda yapılan membranlardaki Polisülfon miktarının atıksuda renk giderimine olan etkisinin tespit edilmesi amacıyla %14, %16, %18 ve %20 oranlarında polisülfon içeren membranlar üretilmiştir. Bu membranlardan öncelikle saf su geçirilerek kirlenmemiş membranların akı deerleri belirlenmiştir. Labaratuarda üretilen membranın yanı sıra, ticari bir ultrafiltrasyon membran olan UC010 kodlu membran da çalışmalarda kullanılmış ve üretilen membranlarla performansı kıyaslanmıştır. Membranların 3 bar basınç altında saf su akıları Şekil 4.1.a)'da gösterilmiştir. Beklendiği gibi %14 polisülfon içeren membranın akısı 400 L/m^2/saat ile en yüksek değerde iken %20 polisülfon içeren membranların saf su akısı 30.2 L/m^2/saat olarak bulunmuştur. %18 polisülfon içeren membranın akısı %20'lik polisülfondan çok daha yüksek olup yaklaşık 230 L/m^2/saat seviyelerinde bulunmuştur. Ticari UF membranının aynı koşullarda saf su akısı ise 57.2 L/m^2/saat olarak tespit edilmiştir. Saf su akıları kıyaslandığında %20 polisülfon içeren membranın ticari UF membran olan UC010'dan biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Bu gerek gözenek boyutunun küçüklüğünden gerekse de membran kalınlığından kaynaklanabilir.

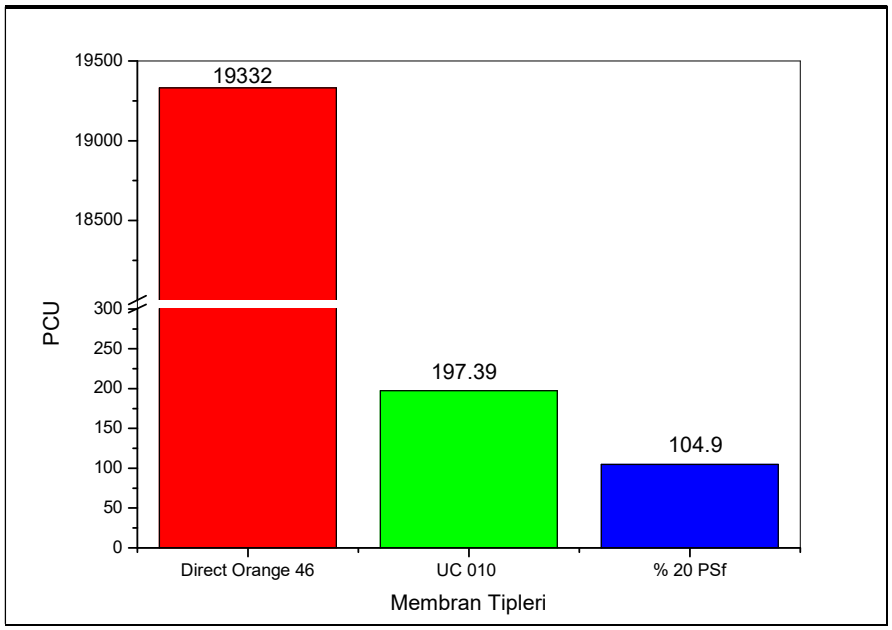
Şekil 4.1.b)'de %18, %20 polisülfon içeren membranlar ile ticari UF membranın boyalı (Direct Orange 46) su akıları verilmektedir. %18 polisülfon içeren membranın başlangıç akısı 280 L/m^2/saat iken bir saatlik filtrasyon süresinde akı 100 L/m^2/saat seviyelerine kadar düşmüştür. Saf su akılarında olduğu gibi %20 polisülfon içeren membranın akısı boyalı suda biraz daha düşük olmasına rağmen ticari membrana benzerlik göstermektedir. Akıdaki zamanla azalmalar %18'dekinden farklı olarak oldukça düşük seviyedegörülmektedir.

Şekil 4.1.c)'de Giriş ve filtratlarda ölçülen renk değerleri verilmiştir. Sentetik hazırlanan boyalı suyun renk değeri 193000 PCU iken UC010 çıkışında 197 PCU'ya %20 polisülfon içeren membranda ise 105 PCU'ya kadar düşmüştür.Gerek ticari ve gereksede labaratuvarda hazırlanan membranların Direct Orange 46 giderim verimleri oldukça yüksektir. Her iki membranın akı değerlerinin göreceli yüksek olması ve yüksek boya tutma kapasitesinin olduğu görülmektedir.

.



a) b)



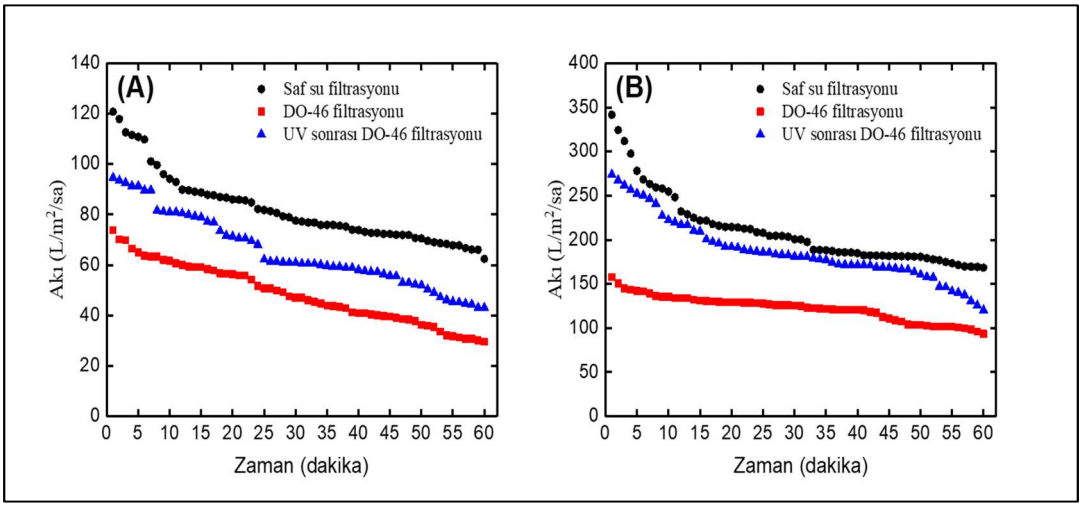
Şekil 4.1: Farklı polimer miktarlarında sentezlenen PSf membranlar ve ticari UF (UC 010) membrana ait a) saf su akı değerleri grafiği b) boyalı çözeltiye ait akı değerleri grafiği c) Renk Ölçümleri.

4.2. TiO_2 Miktarının Boya Giderimi Üzerindeki Etkisi

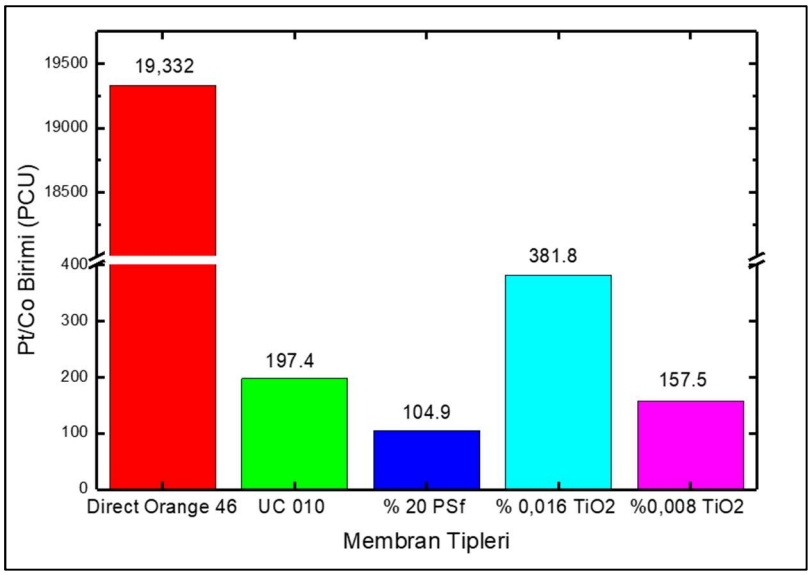
Boya yüzeyinde biriken boyanın UV/TiO_2 ile okside edilerek temizlenmesi ve yüksek akılı/yüksek boya giderimli bir işletimin test edimesi amacı ile membran polimere ve çözücü karışımına %0.008 ve %0.016 oranlarında TiO_2 katarak membran üretilmiştir. Şekil 4.2'de her iki membranın saf su akıları, DO 46 boyalı su filtrasyonu ve UV sonrası DO 46 boyalı su filtrasyonunda elde edilen akılar sunulmuştur. %0.008 oranında TiO_2 içeren membran ile gerçekleştirilen deneyde boyalı su akısının 80 L/m^2/saat seviyesinden 30 L/m^2/saat seviyesine azaldığı görülmektedir. Kullanılan membranın UV uygulaması sonrası akılarında ise önemli artışlar görülmektedir. Membranın başlangıç akısı 100 L/m^2/saat seviyelerine çıkmış ve zamala azalarak 43 L/m^2/saat seviyesine düşmüştür. %0.016 oranında TiO_2 içeren membranlarla gerçekleştirilen deneylerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Membranın, DO 46 boyalı su ile başlangıç akısı 150 L/m^2/saat seviyesinde olup, filtrasyon süresince bu değer 100 L/m^2/saat seviyesine kadar azalmıştır. UV sonrası diğer oranda gözlemlendiği gibi başlangıç akılarında ve zamanla gözlenen akılarda önemli artışlar gözlenmştir. Başlangıç akısı 275 L/m^2/saat seviyelerine kadar çıkmış, filtrasyon sonrasında ise değer 150 L/m^2/saat seviyesine düşmüştür. Deneylerde elde edilen bir değer sonuç ise TiO_2 miktarı arttıkça membran saf su ve boya filtrasyon akısı artmıştır. Bunun nedeninin PSf membranı terk eden TiO_2 membran yüzeyinde boşlukların oluşmasına ve akının artmasına neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.2'de titanyum ile üretilen bir membran yüzeyine ait görsel verlmiştir. Görüntüde görüldüğü TiO_2 membran yüzeyinde pürüzlü bir yapı oluşturmuş, polimerin arasına giren TiO_2 partikülleri membran akısının artışına neden olmuştur.

Şekil 4.3'te titanyum içeren mebranların boya giderim performansları görülmektedir. Başlangıç renk konsantrasyonu 19300 PCU iken %0.016 oranında TiO_2 içeren membran çıkışında renk 382 PCU'ya %0.008 oranında TiO_2 içeren membran çıkışında renk 158 PCU'ya düşmüştür. Ticari bir membran olan UC010 çıkışında boya konsantrasyonu 197 PCU ve %20 polisülfon içeren membran çıkısında ölçülen boya konsantrasyonu 105 PCU olarak belirlenmiştir. TiO_2 kullanılması ve TiO_2 oranının artması boya çıkış kondantrasyonununda az da olsa artışa neden olmuştur. Ancak başlangıçta ölçülen yüksek renk konsantrasyonu düşünüldüğünde tüm membranların renk gideriminin olukça yüksek olduğu görülmektedir. Yüksek oranda renk gideriminin yanında önemli oranda akı artışının gerçekleşiyor olması

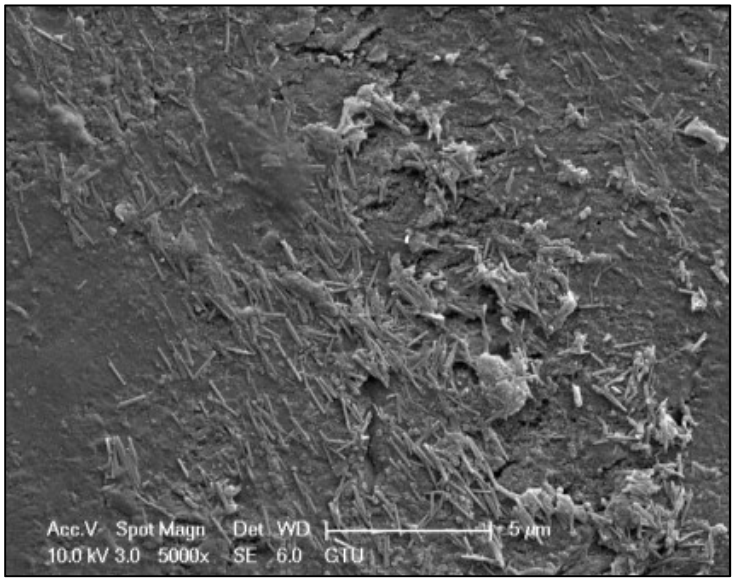
titnyum katkılı membranların önemli bir avantajı olarak ortaya çıkmaktadır. Hem renk gideriminde önemli azalmalara sebep olmamakta hemde akı önemli mertebelerde artmaktadır. Titanyum katkılı membranlar UV uygulaması yapımasa bile yüksek akılı membran üretimi amacı ile kullanılabilirler.



Şekil 4.2: Farklı TiO_2 miktarlarında sentezlenen PSf membranlara ait akı değerleri grafiği a) %0.008 oranında TiO_2 b) %0.016 oranında TiO_2.



Şekil 4.3: Farklı membran tiplerinin Direct Orange 46 boyası giderimine etkisi.



Şekil 4.4: Titanyum katkılı membranların yüzey SEM görüntüsü.

4.3. UV Kullanılarak Membran Yüzeyinde Boya Giderimi ve UV'nin Membrana Etkisi

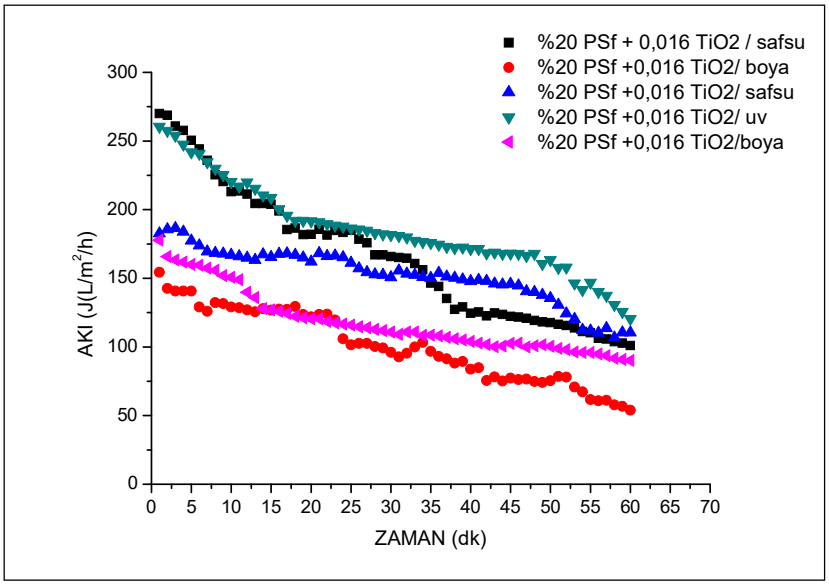
UV uygulamasının tekrarlanmasının membran performansına etkisinin belirlenmesi amacı ile dört tekrarlı deneyler gerçekleştirilmiştir. Bunun için daha yüksek akıya sahip formülasyon olan %20 PSf ve %0.016 TiO_2 denemelerde kullanılmıştır. Her tekrarda öncelikle safsu akısı belirlendi. Sonrasında boyalı su filtrasyonu, sonrasında saf su ve sonrasında ise UV uygulaması yapılarak tekrar safsu filtrasyonu gerçekleştirildi. Son olarak ise tekrar boya filtrasyonu gerçekleştirildi. Tüm aşamalar dört kez tekrarlanarak denemeler tamamlanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.5'de ve Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Tekrarlı UV uygulaması sonucu elde edilen denge akıları (L/m^2/saat).

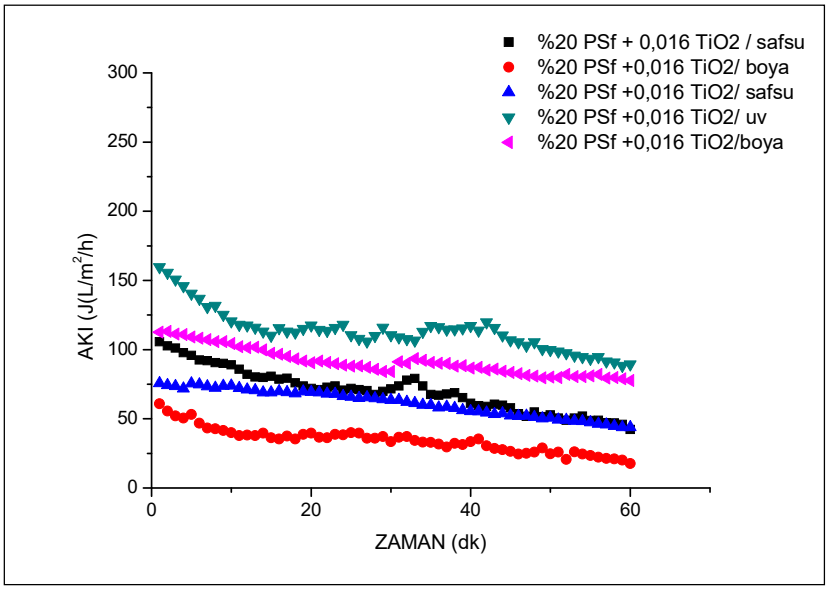
	Saf Su	Boyalı Su	Saf Su	UV Sonrası Saf Su	Boyalı Su
1. Tekrar	58.3±3.4	41.5±7.2	48.8±5.3	69.0±4.1	30.6±1.3
2. Tekrar	57.4±14.4	27.5±7.0	36±7.9	119.6±4.9	96.2±9.5
3. Tekrar	115.1±3.1	92.1±10.0	69.2±3.2	91.8±11.9	64.3±0.7
4. Tekrar	96.9±1.9	70.3±2.9	99.1±7.3	117.1±11.2	99.0±6.0

Membranın ilk kullanımında saf su ile elde edilen denge akı değeri 58.3 L/m^2/saat iken boyalı su akısı 41.5 değerine düşmüştür. Boyalı su sonrası membran yüzeyi saf su ile yıkanmış ve tekrar saf su akısı belirlenmiş olup değer 48.8 L/m^2/saat seviyesine çıkmıştır. Boyadan kaynaklanan ve fiziksel temizleme ile temizlenmeyen geri dönüşümsüz bir kirlenme sözkonusu olmuştur. UV uygulaması sonrası tekrar saf su akısı alınmış ve bu değer 69.0 L/m^2/saat seviyelerine çıkıp temiz membranla elde edilen değerin üzerine çıkmıştır. Bir sonraki boyalı su deneyinde ise akı, birinci tekrardaki en düşük seviye olan 30.6 L/m^2/saat'e inmiştir. İkinci tekrar başlangıcında membran yüzeyi tekrar saf su ile temizlenerek membranın saf su akısı belirlenmiştir. Bu değer 57.4 L/m^2/saat'e çıkmıştır. Her ne kadar birinci tekrardaki UV sonrası elde edilen membrana kıyasla akı düşmüş olsada, temiz membranın akı değerine yaklaşmıştır. Sonrasında boyalı su akısı 27.5 L/m^2/saat değerine düşmüştür. Birinci tekrara kıyasla membranda görülen kirlenme oldukça fazladır. Saf su ile fiziksel yıkama sonrası akı değeri 36.1'e çıkmış olup başlangıçtaki seviyenin oldukça altında kalmıştır. Geri döndürülemeyen bir kirlenme sözkonusudur. Ancak ikinci tekrarda UV uygulaması yapıldıktan sonra saf su akısında oldukça fazla br artışla 119.6 L/m^2/saat değerine çıkmıştır. Hemen sonrasında boyalı su ile yapılan filtrasyonda ise 96.2 L/m^2/saat seviyesinde olmuştur. Membran yıkandıktan sonra 3. Tekrar saf su akı değerleri belirlenmiştir. Daha sonrasında boyalı su, saf su UV uygulaması sonrası saf su ve boyalı su akıları tespit edilmiştir. Bunlar sırası ile 115.1, 92.1, 69.2, 91.8 ve 64.3 L/m^2/saat olarak bulunuştur. Dördüncü tekrarda is akılar sırası ile 96.9, 70.3, 99.1, 117.2 ve 99.0 L/m^2/saat olarak belirlenmiştir. Tüm sonuçlar UV uygulamasının membran akısını önemli oranda arttırdığını göstermektedir. Bunun, polimerin yapısının değişmesinden ve gözenek çapının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Akı artışı avantajlı olmakla birlikte boya tutma veriminde değişiklik

olup olmadığının tespiti amacıyla ilk boyalı su filtratlarından numune alınarak renk ölçümü gerçekleştirilmiştir. Direct Orange 46 için spektrofotometrede okunan değer 19332 PCU iken 1. Tekrarda filtrattaki boya konsantrasyonu 200.37 PCU, 2. Tekrarda filtrattaki boya konsantrasyonu 302.12 PCU, 3. Tekrarda konsantrasyon 116.79 PCU ve 4. Tekrarda ise 103.37 PCU olarak gözlenmiştir. UV uygulamasında boya giderim miktarlarında önemli bir değişiklik olmamış hatta tekrar arttıkça membranın boya tutma miktarı armaktadır. Membran akısının artmasının yanında boya tutma kapasitesinde bir değişiklik olmaması UV'nin oksidasyon etkisinden kaynaklanmaktadır. TiO_2 fotokatalitik aktivite özelliği göstermektedir. TiO_2 için enerji 3.2 eV'tur. Dalga boyu 388 nm ve daha düşük dalgaboylarında ışınları absorplamaktadır. Fotokatalitik reaksiyonlar titanyum dioksit ince filmlerinin yüzeylerinde oluşmaktadır. TiO_2 , ışık ile uyarıldığında reaksiyonlar başlamaktadır. Bu esnada organik moleküller parçalanmaktadır. TiO_2 elektrotu kullanarak su molekülünü fotokatalitik olarak oksijen ve hidrojene ayrıştırması ile ortaya atılan fotokatalitik özellik ışık ile temizleme sağlamaktadır. Bu sebeptendir ki membran yüzeyinde biriken boyar organik maddeler parçalanarak hem renk giderimi hem de akı değerleri artışlar gözlemlenmiştir [34].

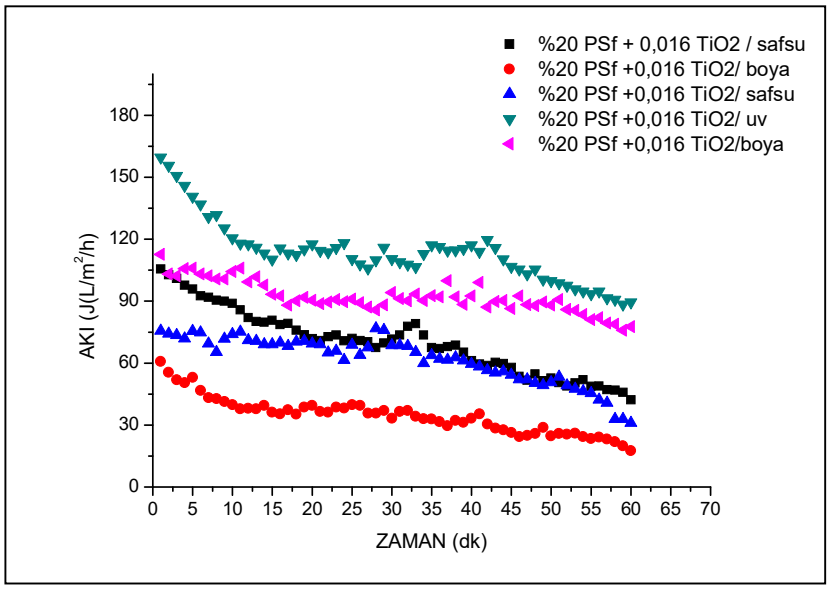


a)

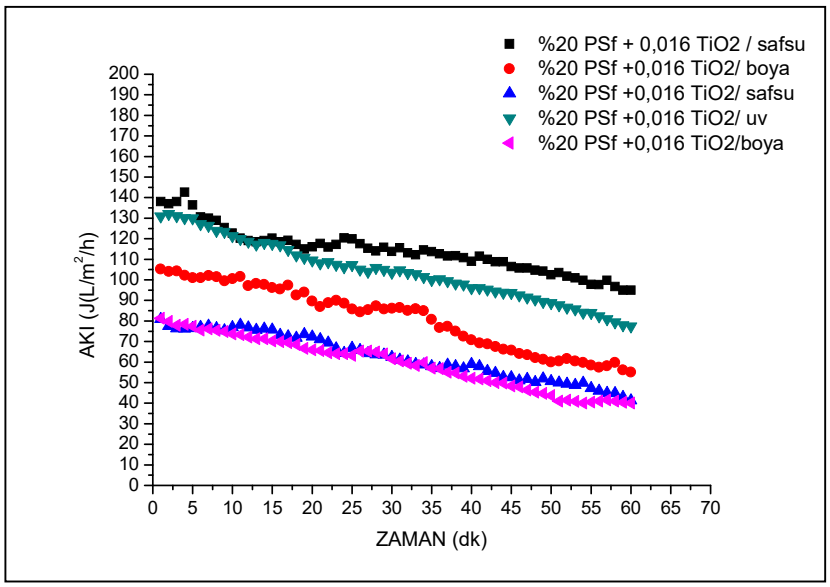


b)

Şekil 4.5: %20 PSf ve %0,016 TiO_2 membran boya giderim ve UV'nin membrana etki grafiği a) birinci tekrar b) ikinci tekrar



c)

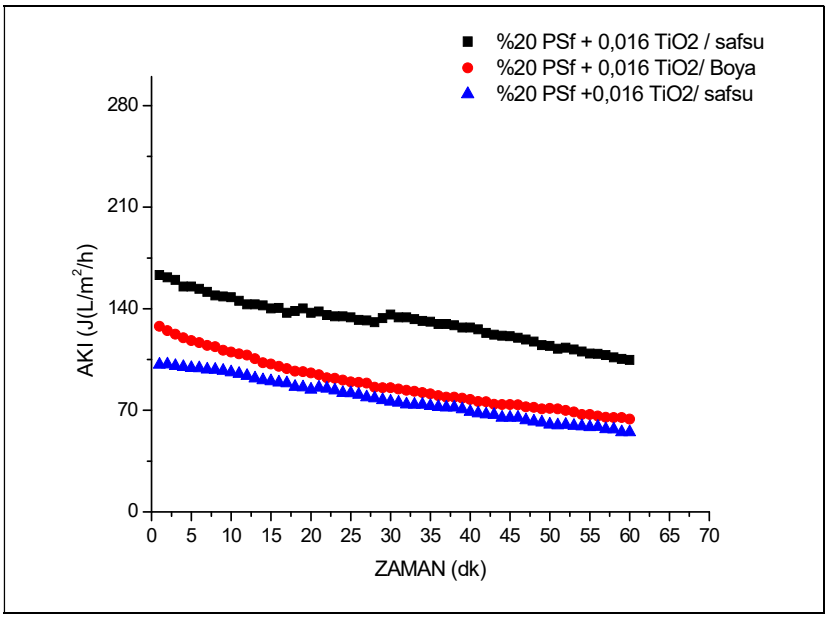


d)

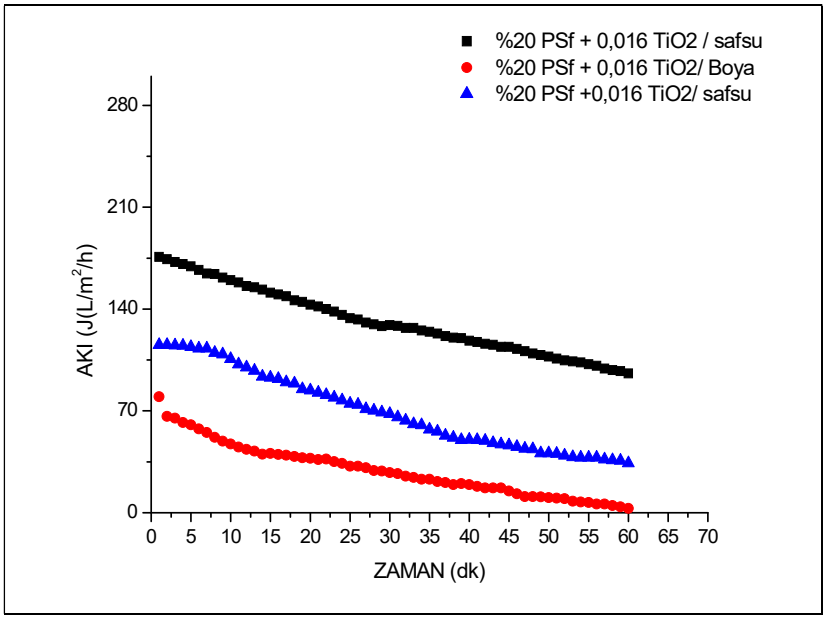
Şekil 4.6: %20 PSf ve %0,016 TiO_2 membran boya giderim ve UV'nin membrana etki grafiği c) üçüncü tekrar d) dördüncü tekrar.

4.4 Boya Çözeltisi Asit ve Baz Durumunun Membran Üzerindeki Etkisi

pH'nın boya filtrasyonuna ve boya tutma verimine etkisinin tespit edilmesi amacıyla pH 3 ve 11'de filtrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Akı sonuçları Şekil 4.6'da değerlendirilmiştir. Asidit çözeltiye ait akı değerleri, bazik çözeltiye göre özellikle başlangıçta daha yüksek bulunmuştur. Ancak filtrasyon zamanı artıkça akı değerleri birbirine yaklaşarak yaklaşık 75 L/m^2/saat seviyelerine ulaşmıştır. Bazik çözeltide akı azalması çok gözlenmemiştir. Asidik boya çözeltisinin boya konsantasyonu 15637 CPU'dan 484 CPU'ya düşerken, bazik çözeltinin renk konsantrasyonu 46775 CPU'dan 5107 CPU'ya düşmüştür. Bazik koşullarda boya giderim verimlerinde önemli azalma sözkonusudur. Her ne kadar verim %90'a yakın bir seviyede gerçekleşmiş olsa da nötral ve asidik koşullara kıyasla membranın boya tutma kapasitesinde azalma olmuştur. Bu membran yüzey yükününden kaynaklanabileceği gibi giriş konsantrasyonun yüksek olması nedeni ile difüzyon hızının artmasından da kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Asidik çözeltiye ait akı ve renk giderimi yüksek performansının daha yüksek olmasının başka bir sebebi ise OH• radikalleri oluşmasıdır. Negatif yüklü olan boya H^+ oluşturması sebebiyle membranda porları kapatır ve dolayısıyla renk giderimi ve akı değerleri yüksek bulunmuştur.



a)



b)

Şekil 4.7: Asit a) ve baz b) ayarlaması ile boya çözeltisinin akı sonuç grafiği.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmalarda, Direct Orange 46, 200 mg/L çözelti hazırlanmıştır. Membran dökme kalınlığı 3 mikron olarak çekilmiştir. 3 bar basınç altında çalışılmıştır. Süzüntü oluşması giriş-çıkış arasındaki basınç farkı sebebiyle hareket sağlanmaktadır. Basınç azot gazı ile sağlamıştır. 3 bar basınç altında süzüntü elde edilmiş akı ölçümleri alınmıştır.

Membranlar, %14, %16, %18 ve %20 oranlarında polisülfon polimeri kullanılarak hazırlanmıştır. Ticari bir membran olan UC 010 tipi membrana en yakın olan değerin %20 PSf ile hazırlanılan formülasyon olduğu tespit edilmiştir.

Titanyumla hazırlanan membranların akılarının titanyumsuz membranlara kıyasla daha yüksek olduğu, bunu yüzeydeki titanyum kolloidlerinin oluşturduğu pürüzlülüten ve daha büyük gözeneklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Deneylerin hazırlanması esnasında da karışımın homojen olmadığı, ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılması halinde bile TiO_2 maddesinin (boyutu 45 µm) homojen dağılım göstermediği görülmüştür. SEM'e bakıldığında TiO_2 miktarı sebebiyle, faz inversiyon işlemi aşamasında asimetrik yapıların oluşumu doğrulanmıştır. Sonuçlar; membran bileşimindeki TiO_2'nin nanopartikül düzeyde membranların gözeneklerini kapatmaya başladığı gözlenmiştir. Gözenekler tıkandığında, boşluklardan madde geçişi azalır, akı ve verim düşmüştür. SEM sonuçlarında da gözlendiği üzere, madde TiO_2 miktarının artması, membran deliklerinin sıkışması anlamına gelmektedir. Buna göre; bu durumun tercih edilebilir bir proses olmaktan kaçınılmıştır.

UV uygulaması, membran akılarının artmasına neden olmaktadır. Bunun, membranı oluşturan polimerin oksidasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

UV ışınlarına maruz kalan TiO_2'nin OH• radikalleri oluşturarak Direct Orange 46 boyasını parçaladığını ve membranların yüzeyini temizlediğini göstermektedir. UV sonrası membranın kendini temizlemesi sonucu akı değerlerinde yükselme gözlenmiştir. Ticari UF (UC 010) membran kullanılarak Direct Orange 46 boya çözeltisi fltrasyonu yapıldığında süzüntü suyu için renk verimi 197.4 PCU olup, %20 PSf ve %0.016 TiO_2 ile üretilen membran için renk giderimi 104.4 PCU olarak tespit edilmiştir.

Asidik ve bazik boya çözeltisinin membran ile filtrasyonu sonrası süzüntü suyu için renk giderimi yapılmıştır. Direct Orange 46 sulu çözeltisini 2.56 pH ve 11.16 pH değerlerine getirilmiştir. Asidik çözeltiye ait akı ve renk giderimi yüksek performansta bulunmuştur. Bunun en önemli sebebi OH• radikalleri oluşturmasıdır. Negatif yüklü olan boya H^+ oluşturması sebebiyle membranda porları kapatır ve dolayısıyla renk giderimi ve akı değerleri yüksek bulunmuştur.

Bu çalışmada; boyama atıksularının arıtımında kullanılması için TiO_2 içeren yeni nesil polisülfon membran üretimi gerçekleştirilmiştir. TiO_2 içeren membranlar daha yüksek akıya sahiptir. Tüm membranların DO-46 boyasının giderim verimi %98'den daha büyüktür. %20 PSf membranın ticari membrandan (UC 010) daha iyi boya giderim verimi sağlamıştır. TiO_2 içeren membranlar dört tekrarlı kullanılmış olup akı kaybı gözlenmemiştir

KAYNAKLAR

[1] Bhran A, Shoaib A., Elsadeq D., El-gendi A. , Abdallah H., (2018), "Preparation of PVC/PVP composite polymer membranes via phase inversion process for water treatment purposes", Chinese Journal of Chemical. Engineeing, 26, 715–722.

[2] Mollahosseini A., Abdelrasoul A., (2019) "Recent advances in thin film composites membranes for brackish groundwater treatment with critical focus on Saskatchewan water sources", Journal of Environmental Sciences, 81, 181-194

[3] Hessel C., Allegre C., Maisseu M., Charbit F., Moulin P., (2007) "Guidelines and legislation for dye house effluents", Journal Environmental. Managemen, 83, 171–180.

[4] Malik A., Grohmann E., Akhtar R., (2014), "Environmental Deterioration and Human Health : Natural and Anthropogenic Determinants", 1th Edition.

[5] Verma A, Dash R., Bhunia P., (2012), "A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters", Journal Environmental Management., 93, 154–168.

[6] Hao O., Kim H., Chiang P., (2000), "Decolorization of Wastewater", Critical Reviews Environmental Science Technology, 30, 449–505.

[7] Eren K., (2014), "Fabrication and Characterization of Silver Embedded Polymeric Membranes for Water and of Silver Embedded Polymeric Membranes for Water and Wastewater Treatment", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.

[8] Nadeem K., Guyer T., Keskinler B., Dizge N., (2019), "Investigation of segregated wastewater streams reusability with membrane process for textile industry", Journal of Cleaner Production, 228, 1437-1445.

[9] Dabas N., Yadav K., Ganguli A., Jha M., (2019), "New process for conversion of hazardous industrial effluent of ceramic industry into nanostructured sodium carbonate and their application in textile industry", Journal of Environmental Management, 240, 352-358.

[10] Baban A., Yediler A., D.Lienert, Kemerdere N., Kettrup A., (2003), "Ozonation of high strength segregated effluents from a woollen textile dyeing and finishing plant", Dyes and Pigments, 58, 93-98.

[11] Yukseler H., Uzal N., Sahinkaya E., Kitis M., Dilek F., Yetis U., (2017), "Analysis of the best available techniques for wastewaters from a denim manufacturing textile mill", Journal of Environmental Management, 203, 1118–1125.

[12] Özturk E., Cinperi N., (2018), "Water efficiency and wastewater reduction in an integrated woolen textile mill", Journal of Cleaner Production, 201, 686-696.

[13] Collivignarelli M., Abba A., Miino M., Damiani S., (2019), "Treatments for color removal from wastewater: State of the art", Journal of Environmental Management, 236, 727–745.

[14] Berk Z., (2018), "Food Process Engineering and Technology", 3th Edition, Academic Press.

[15] Yu W., Graham N., Fowler G., (2016), "Coagulation and oxidation for controlling ultrafiltration membrane fouling in drinking water treatment: Application of ozone at low dose in submerged membrane tank", Water Research, 95, 1-10.

[16] Nazir A., Khan K, Maan A., Zia R., Giorno L., Schroen K, (2019), "Membrane separation technology for the recovery of nutraceuticals from food industrial streams", Trends Food Science & Technology, 86, 426–438.

[17] Giwa A., JungS, Kong J., Hasan S., (2019), "Combined process of electrically-membrane bioreactor and TiO_2 aerogel filtration for efficient wastewater treatment", Journal of Water Process Engineering., 28, 107–114.

[18] Abdel-Fatah M., (2018), "Nanofiltration systems and applications in wastewater treatment: Review article Production and hosting by Elsevier", Ain Shams Engineering Journal, 9, 3077–3092.

[19] Singh L., (2017), "Waste Biomass Management- A Holistic Approach", 1th Edition, Springer..

[20] Alonso J. S., El Kori N., Melian Martel N., Del Rio GameroB., (2018), "Removal of ciprofloxacin from seawater by reverse osmosis", Journal of Environmental Management, 217, 337–345.

[21] Viktor K., Nunes S., (2010), "Further Volumes of this Series Nonporous Inorganic Membranes Materials Science of Membranes for Gas and Vapor Separation Membranen Membranes in Clean Technologies Membrane Technology and Applications", 4th Edition, Wiley-VCH.

[22] Jiang S., Wang W., Ding Y., Yu Q., Yao L., (2018), "Preparation and characterization of antibacterial microporous membranes fabricated by poly(AMS-co-DMAEMA) grafted polypropylene via melt-stretching method", Chinese Chemical Letters, 29, 390–394.

[23] Chmilenko F., Korobova I., Gurtovaya O., Chmilenko T., (2009), "Potentiometric membrane sensors for polyvinylpyrrolidone determination", Talanta, 78, 1259–1265.

[24] Tsehaye M., Velizarov S., Van Der Bruggen B., (2018), “Stability of polyethersulfone membranes to oxidative agents: A review”, Polymer Degradation and Stability, 157, 15-33.

[25] Majeed S., Fierro D., Buhr K., Wind J., Du B., Boschetti de Fierro A., Abetz V., (2012), "Multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs)mixed Polyacrylonitrile (PAN) ultrafiltration membranes", Journal of Membranes, 403-404, 101-109.

[26] Gharabli S., Kujawski W., Arafat H., Kujawa J., (2017), “Tunable separation via chemical functionalization of polyvinylidenefluoride membranes using piranha reagent”, Journal Membrane Science, 541, 567-579.

[27] Sato J., Sugimura K., Teramoto Y, Nishio Y., (2018), “Preparation and chiroptical properties of cellulose chlorophenylcarbamate-silica hybrids having a chiral nematic mesomorphic structure”, Polymer, 173, 172-181.

[28] Czaderna A., Kocemba A., Kozanecki M., Mucha M., Mroz P., (2018), “The influence of cellulose derivatives on water structure in gypsum”, Construction and Building Materials, 160, 628-638.

[29] Web 3, (2001), https://apps.who.int/iris/handle/10665/42404, (Erişim Tarihi: 11/10/2019).

[30] Web 4, (2001), https://hpvchemicals.oecd.org/ui/handler, (Erişim Tarihi: 14.10.2019).

[31] Nguyen M.Ç, Loulergue P., Karpel N., Teychene B., (2019), “Electron beam irradiation of polyvinylidene fluoride/polyvinylpyrrolidone ultrafiltration membrane in presence of zwitterions molecules evaluation of filtration performances”, Radiation Physics Chemistry, 159, 101–110.

[32] Sitter K., Dotremont C., Genne I. ve Stoops L., (2014), “The use of nanoparticles as alternative pore former for the production of more sustainable polyethersulfone ultrafiltration membranes”, Journal of Membrane Science, 471, 168–178.

[33] Judd S., Jefferson B., "Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-use", 1th Edition, Elsevier.

[34] Web 7, (2008), http://www.itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi_d/article/view/395, (Erişim Tarihi: 29/06/2019)

ÖZGEÇMİŞ

Tuba SAÇAK 1992 yılında Kocaeli'de doğdu. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümüne başlamış olup, 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2016 yılında Dyo Boya Fabrikası Dilovası Tesislerinde Yalıtım Ar-Ge Mühendisi olarak göreve başladı. 2017 yılı Ar-Ge Merkezi kapsamında şirket içerisinde çalışmalarına devam etti. Halen aynı şirkette çalışmaktadır.

EKLER

EK A: Tez Çalışması İçeriğinde Yapılan Yayınlar

Sacak T., Karagündüz A., (2019), "Boyar Maddelerin Giderimi İçin Polisülfon Membran Üretimi ve Performansının İncelenmesi", Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu & Tanıtım Günleri.

Sacak T., Imer D., Dizge N., Keskinler B., Karagündüz A., (2019), "TiO_2 Kullanılarak Sentezlenen Polisülfon Membranların Atıksudan Boya Giderimi ve Yüzey Temizleme Özelliklerinin Araştırılması", International Conference on Education & Educational Psychology ICEEPSY 2012.