

NF90 Membranı ile Plastik Endüstrisi Atık Suyunun
Çapraz Akışlı Nanofiltrasyon Yöntemiyle Arıtımı

Büşra Elif Taş

YÜKSEK LİSANS

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2023

Treatment of Plastik Industry Wastewater by Cross-
flow Nanofiltration Method with NF90 Membrane

Büşra Elif Taş

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Chemical Engineering

December 2023

NF90 Membranı ile Plastik Endüstrisi Atık Suyunun
Çapraz Akışlı Nanofiltrasyon Yöntemiyle Arıtımı

Büşra Elif Taş

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Proses ve Reaktör Tasarımı Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Duygu Kavak

Aralık 2023

ONAY

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Proses ve Reaktör Tasarımı Bilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Büşra Elif Taş'ın** YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “NF90 Membranı ile Plastik Endüstrisi Atık Suyunun Çapraz Akışlı Nanofiltrasyon Yöntemiyle Arıtımı” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Duygu Kavak

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Duygu Kavak

Üye: Doç. Dr. Belgin Karabacakoğlu

Üye: Prof. Dr. Hande Çelebi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr.

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Duygu Kavak danışmanlığında hazırlamış olduğum “NF90 Membranı ile Plastik Endüstrisi Atık Suyunun Çapraz Akışlı Nanofiltrasyon Yöntemiyle Arıtımı” başlıklı Yüksek Lisans /Doktora tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 29/12/2023

Büşra Elif Taş

İmza

ÖZET

Günümüzde şehirleşme, sanayileşme ve artan insan faaliyetlerinin ortaya çıkardığı politikalar suyun kirlenmesine sebep olmaktadır. Artan dünya nüfusu ile birlikte suya duyulan ihtiyaç artmakla birlikte, atık suların geri kazanımı büyük önem kazanmış ve atık suyun arıtılarak tekrar kullanılması mecburiyeti doğmuştur. Evsel ve endüstriyel atık sular, çeşitli kullanım alanlarında su kaynaklarının kirlenmesinin ana kaynaklarıdır. Endüstriyel atık su arıtımında iyi performans sergileyen membranlar, atık suların yeniden kullanılması için etkili arıtma yöntemlerinden biridir.

Bu çalışmadaki amaçlanan konu, nanofiltrasyon yöntemi ile plastik endüstrisinin atık sularının tekrar kullanılabilirliğinin incelemesidir. Çalışmada NF90 membranı tercih edilmiştir. Plastik endüstrisinin atık suları ile iki farklı sıcaklık (25°C ve 30°C) ve 3 farklı basınç (4,6 ve 8 bar) koşullarında çalışılmıştır. Bu parametrelerin askıda katı madde, renk giderimi, bulanıklık verimleri ve iletkenlik değerleri incelenmiştir. 5, 15, 30 ve 45. dakikalarda alınan numuneler ile akı değerleri hesaplanarak sonuçlar yorumlanmıştır. Sonuçlar incelenerek plastik endüstrisi atık suyu arıtımı için ideal çalışma koşulları önerilmiştir.

Plastik atık suyu üzerinde yapılan deneylerde akı değerinin en yüksek olarak gözlemlendiği çalışma koşulu 35,2 (L/m²saat) akı değeri ile 25°C ve 8 bar olarak belirlenmiştir. Renk giderim verimi incelendiğinde ise 25°C ile yapılan analizde, 4 bar basınçta 5. dakikadan itibaren verim 100% olmuştur. 6 ve 8 barda ise renk giderim verimi başlangıçtan itibaren %100 olduğu gözlenmiştir. Askıda katı madde giderim verimi başlangıçta dahi %100 olmuştur. Bulanıklık giderim verimi ise en uygun çalışma koşulu 30°C ve 8 bar olarak belirlenmiştir. Son olarak iletkenlik analizinde 20,2 (µs/cm) değeri ile en verimli çalışma koşulu 30°C ve 8 bar olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık su, Atık su arıtımı, NF90 membran, Nanofiltrasyon, Plastik endüstrisi atık suyu, Askıda katı madde, Çapraz akışlı membran sistemi.

SUMMARY

Nowadays, policies resulting from urbanization, industrialization and increasing human activities cause water pollution. Although the need for water increases with the increasing world population, the recycling of wastewater has gained great importance and it has become necessary to treat and reuse wastewater quickly and safely. Domestic and industrial wastewater are the leading factors in the pollution of water resources with different areas of use. Membrane technologies that perform well in industrial wastewater treatment are also effective treatment methods for the reuse of wastewater.

The aim of this study is that investigate the treatment of plastic industry wastewater with the method of nanofiltration. Commercial NF90 membrane has been studied. Wastewater from the plastic industry was studied at two different temperatures (25°C and 30°C) and 3 different pressures (4.6 and 8 bar). Suspended solids, color removal, turbidity efficiency and conductivity values of these parameters were examined. The results were interpreted by calculating the flux values with the samples taken at 5, 15, 30 and 45. minutes by examining the results, ideal working conditions for plastic industry wastewater treatment were suggested.

As a result of the experiments with plastic wastewater, the operating condition in which the highest flux value was recorded was determined as 25°C and 8 bar with a flux of 35.2 (L/m²h). When the color removal efficiency was examined, in the analysis made at 25°C, the efficiency was 100% starting from the 5th minute at 4 bar pressure. It was observed that at 6 and 8 bars, the color removal efficiency was 100% from the beginning. Suspended solids removal efficiency was 100% even at the beginning. The most suitable operating conditions for turbidity removal efficiency were determined as 30°C and 8 bar. Finally, in the conductivity analysis, the most efficient operating condition was determined to be 30°C and 8 bar, with a value of 20.2 (µs/cm).

Keywords: Wastewater, Wastewater treatment, NF90 membrane, Nanofiltration, Wastewater of plastic industry, Suspended solids, Cross-flow membrane system.

TEŞEKKÜR

Uzun süredir üzerinde çalıştığım, ciddi emek ve özveri ile hazırladığım Yüksek Lisans Tezimi tamamlamanın sevinci ve gurunu yaşıyorum. Öncelikle çalışmamda her zaman desteğini hissettiğim, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum ve ihtiyaç duyduğum her an desteğini asla esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Duygu Kavak’a sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca beni her zaman destekleyip cesaretlendiren, hep yanımda olan canım ailem; annem Nermin Kığılcım, babam Salih Murat Kığılcım, abim Emre Kığılcım, kız kardeşim Eylül Kığılcım ve tez yazmamın son aşamasında beni büyük ölçüde yüreklendiren sevgili eşim Alpay Tekin Taş’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. SUYUN ÖNEMİ VE ATIK SU	3
2.1. Atık Suların Özellikleri.....	4
2.2. Atık Suyun Kaynağa Göre Sınıflandırılması.....	5
2.2.1 Evsel Atık Sular.....	5
2.2.2 Endüstriyel Atık Sular.....	6
2.3 Türkiye’de Atık Su Politikası.....	6
2.4. Atık Suların Arıtma Yöntemleri.....	7
2.4.1. Fiziksel (mekanik) Arıtma.....	8
2.4.2. Biyolojik Arıtma.....	9
2.4.3. Kimyasal Arıtma.....	9
2.5. Atık Suların Yeniden Kullanım Alanları.....	10
3.MEMBRAN ve MEMBRAN PROSESLERİ	12
3.1. Membranların Gözenek Çaplarına Göre Sınıflandırılması	12

İÇİNDEKİLER

Sayfa

3.2. Membranların Geometrik Şekillerine Göre Sınıflandırılması.....	14
3.3. Membranların Yapısına ve Morfolojisine Göre Sınıflandırılması.....	15
3.4. Membranların Malzemesine Göre Sınıflandırılması.....	16
3.5. Membranların Ayırma Prosesine Göre Sınıflandırılması.....	17
3.5.1. Basınç Farkının Yürütücü Kuvvet Olduğu Membran Prosesler.....	18
3.5.1.1. <u>Mikrofiltrasyon (MF)</u>	19
3.5.1.2. <u>Ultrafiltrasyon (UF)</u>	20
3.5.1.3. <u>Nanofiltrasyon (NF)</u>	21
3.5.1.4. <u>Ters Osmoz (TO)</u>	21
4. PLASTİK ENDÜSTRİSİ.....	23
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	25
6. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
6.1 Membran Sisteminin Çalıştırılması.....	30
6.2 Deneyde Kullanılan Membran'ın Özellikleri.....	32
6.3 Deneyde Kullanılan Atık Suyun Özellikleri.....	33
6.4. Deneyde Uygulanan Analitik Yöntemler.....	34
6.4.1. Bulanıklık Ölçümü.....	34
6.4.2. Askıda Katı Madde (AKM) Miktarı.....	34
6.4.3. İletkenlik Ölçümü.....	35
6.4.4. Akı Değerinin Hesabı.....	35
6.4.5 Renk Giderimi Hesabı.....	36

İÇİNDEKİLER

Sayfa

7. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
7.1. Akı Değerleri.....	37
7.2. Renk Giderim Verimleri (%).....	39
7.3. Askıda Katı Madde Giderim Verimi Ölçümü	42
7.4. İletkenlik ve Bulanıklık Ölçümü	44
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

Sayfa

2.1. Atık sularda bulunan katı maddelerin sınıflandırılması.....	5
2.2. Türkiye'nin atık su politikası.....	7
2.3. Atık su arıtma ve kademeleri.....	8
3.1. Membranların gözenek çapına göre sınıflandırılma ve ayırma özellikleri.....	13
3.2. Membranların morfolojik sınıflandırılması.....	15
3.3. Membran akımının şematik gösterimi.....	17
3.4. Basınca dayalı membran prosesleri için gözenek boyutları.....	19
6.1. Membran sistemi (a), bilgisayar (b), hassas terazi (c), besleme tankı ve pompa (d), ısıtıcı (e), hidrolik pompa (f).....	30
7.1. Plastik atık suyu için 25°C'deki akı (L/m ² saat) değerleri.....	37
7.2. Plastik atık suyu için 30°C'deki akı (L/m ² saat) değerleri.....	38
7.3. Plastik atık suyu için 25°C'deki (%) renk giderimi verimi.....	40
7.4. Plastik atık suyu için 30°C'deki (%) renk giderimi verimi.....	41
7.5. Plastik atık suyu için askıda katı madde giderim verimi (%).....	43
7.6. Plastik atık suyu için 25°C ve 30°C'deki iletkenlik değerleri (µs/cm)	44
7.7. Plastik atık suyu için 25°C ve 30°C'deki bulanık verimi (%).....	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

2.1. Arıtılmış atık suların yeniden kullanımı ve uygulamaları.....	11
3.1. Membran ayırma işlemlerinin itici güce göre sınıflandırılması.....	18
6.1. Deney parametreleri.....	29
6.2. Deneyde kullanılan ekipmanlar.....	32
6.3. Membran (NF90) özellikleri.....	33
6.4. Ham plastik atık suyunun ölçülen parametre değerleri.....	33
7.1. Plastik atık suyu için 25°C'deki renk giderim verimi (%).....	40
7.2. Plastik atık suyu için 30°C'deki renk giderim verimi (%).....	41
7.3. Plastik atık suyu için askıda katı madde ve giderim verimi (mg/L, %)	42
7.4. Plastik atık suyu için 25°C ve 30°C'deki iletkenlik değerleri (µs/cm)	44
7.5. Plastik atık suyu için 25°C ve 30°C'deki bulanık değerleri ve verimi (ftu - %)	45

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

A	Membranın etki alanı
C	Konsantrasyon
C _b	X'in besleme içindeki konsantrasyonu
C _s	X'in süzüntü içindeki konsantrasyonu
J _v	Membrandan geçen akı miktarı
P	Basınç
Q	Membrandan geçen akışın miktarı
R _x	X giderim verimi
T	Sıcaklık
t	Zaman

Kısaltmalar

Açıklama

AKM	Askıda katı madde
ANOVA	Varyans analizi
BOD	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
Ca	Karbon
cm	Santimetre
HCl	Hidroklorik asit
kDa	Kilodalton
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Acıklama</u>
L	Litre
m	Metre
MF	Mikrofiltrasyon
Mg	Magnezyum
MWCO	Moleküler ağırlık engelleme sınırı
NF	Nanofiltrasyon
O ₃	Ozon gazı
SCWO	Süperkritik su oksidasyonu
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TO	Ters osmoz
TOK	Toplam organik karbon
pH	Asitlik-baziklik değeri
UF	Ultrafiltrasyon
UV	Ultraviyole
WHO	Dünya sağlık örgütü
µm	Mikrometre

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Medeniyetin varlık ve refahının sebebi hayatın temeli olan sudur. Su, dün olduğu gibi bugün de medeniyetlerin yükselişinde belirleyici olmaya devam edecek ve kaliteli doğal su miktarı giderek de azalmaktadır. Bu durumda atık olarak değerlendirilen kullanılmış suyun geri dönüştürülmesi her zamankinden daha önemli hale geliyor. Su, doğal döngülerinde kendini arındırabiliyor ancak insan faaliyeti hızlandıkça doğal döngülerinde geçirdiği süre azalıyor ve bu, kirli suyun doğal yollarla arıtılmasını bekleyecek zamanın olmadığı anlamına gelmektedir. Günümüzde kentleşme, sanayileşme ve artan insan faaliyetleri nedeniyle atık suların hızlı ve güvenli bir şekilde arıtılıp yeniden kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Direk vd., 2022).

Çeşitli amaçlarla kullanılan su kaynaklarının kirlenmesinin ana kaynakları evsel ve endüstriyel atık sulardır. Çevre koruma yasa ve yönetmelikleri gereği sanayi işletmelerinin belirli standartları karşılaması ve üretim süreçlerinde çeşitli amaçlarla kullanılan veya su ve kanalizasyon borularından toplanan atık suların alıcı ortama deşarj edilmesi gerekmektedir. Çevre kirliliğinin önlenmesi için endüstriyel tesislerin bu standartları karşılaması ve atıksu arıtma tesisleri kurması gerekmektedir (Sügürtin, 2020).

Atık suyun özellikleri kaynağına göre büyük farklılıklar gösterebilir ve arıtma yöntemleri bu farklılıklara göre de değişir. Bu saflaştırma yöntemleri üzerine pek çok araştırma bulunmaktadır. Membran teknolojisi suyun yeniden kullanımında da oldukça etkili bir arıtma yöntemi olup, yeniden kullanım, ölçeklenebilirlik, geniş sıcaklık ve basınç aralığı gibi avantajları sayesinde son yılların en popüler arıtma prosesi haline gelmiştir (Ravanchi vd., 2009).

Günümüzde plastikler, hayatımızın her alanında bulunmaktadır. Artan refah ile birlikte, sanayileşmenin de gelişmesiyle bilhassa ambalajlama amacıyla kullanılan plastik miktarları her geçen sene artıyor. Bu atıkların da çevre dostu teknolojiler kullanılarak tekrar kullanması için geri dönüştürülmesi hem ekonomik açıdan hem de çevresel olarak oldukça önemlidir. Geri dönüşüm prosesinin ana atığı olan plastikten üretilen ambalaj atıklarının geri

dönüşümünde yıkama suyu kullanılmaktadır. Fakat bu durulama suyu arıtılma işleminden sonra proseste tekrar kullanılır. Arıtma amacı ile çöktürme tankları kullanılır. Ancak bu fiziksel ön arıtmanın uygulanması Su Kirliliği Yönetmeliğine göre uyulması gerekli olan deşarj limitleri için yeterli değildir (Şahinkaya, 2017).

Bu çalışmada, plastik endüstrisi atık suyunun membran prosesi olan nanofiltrasyon yöntemi ile arıtılması incelenmiştir. Literatür araştırmasında plastik atık suyu ile çalışılmış çok fazla inceleme bulunamamıştır. Benzer çalışmalar incelendiğinde, atık suyun arıtımı için nanofiltrasyon yöntemi kullanılarak membran prosesi ile çalışmaya uygun olduğu gözlenmiş, çalışma sistemi olarak çapraz akışlı membran prosesi ile çalışılmıştır. Bu deneysel çalışma, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) tarafından belirlenen standartlara göre arıtılmış suyun eldesi ve bu atık suyun çevreye deşarj edilmesinin negatif etkilerinin önüne geçmek amacıyla yapılmıştır. Arıtım işleminde, laboratuvar ölçekli membran filtrasyon modülleri ve endüstriyel atık sulara uygun ticari nanofiltrasyon membranı NF90, etkili sonuçlar verdiği için tercih edilmiştir. Nanofiltrasyon membran performansının saflaştırma verimi, 3 farklı basınç (4, 6 ve 8 bar), 2 farklı sıcaklık (25 ve 35°C) çalışma koşullarında incelenmiştir. Deneylerdeki sıcaklık ve basıncın akı, askıda katı madde, renk giderimi, iletkenlik ve bulanıklık verimleri üzerine etkisi araştırılmış, plastik endüstrisi için optimum çalışma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. SUYUN ÖNEMİ VE ATIK SU

Su, canlıların hayatını devam ettirmesi için gereken ve yaşam için büyük önem taşıyan maddedir. Fiziksel olarak incelendiğinde kokusu olmayan, aynı zamanda renksiz ve tatsızdır. Suyun canlılar ve özellikle insan yaşamı açısından önemi büyüktür. (Anonim, 2012). Başka bir deyişle su; yaşamın ve aynı zamanda canlıların kökenidir. İnsanların suyu kullanımı, ekosistem döngüsü, enerji üretimi, ekonomik boyut gibi suya ihtiyaç duyulan pek çok alan vardır (Aksungur vd., 2008).

İnsan faaliyetleri çevreyi doğrudan veya dolaylı olarak negatif olarak etkilemektedir. Aşırı nüfus artışı, endüstriyel süreçler, aşırı kaynak tüketimi çevreyi kirletmektedir (Tan, 2006). Son 20 yılda artan nüfus ve artan su talebi küresel bir su krizine neden oldu. Üstelik dünya nüfusunun ve su talebinin hızla artmasıyla birlikte siyasi, ekonomik ve çevresel hususlardaki mücadele ve çatışmalar çok daha geniş kapsamlı ve ciddi seviyelere ulaştı. Su kaynaklarımız; nicelik, nitelik ve sanayinin diğer açıdan tüm kullanımları, pek çok ciddi sorunla karşı karşıya kalmış durumdadır (Sevindi, 2005).

Dünyadaki mevcut kaynaklar ile yılda sadece 12 milyar insan beslenebilir. Ne yazık ki 1970'li yıllardan itibaren dünyanın kullanabilir kaynakları tükenmiştir. Kaynak tüketimi söz konusu olduğunda bilim insanları, her yılın yarısından hemen sonra bir sonraki yılın mahsulünü tüketmeye başladığımızı açıklıyor. Bu tarih her yıl hızla ileri alınmaktadır. Doğada bulunan kaynakların artması için belli bir süre içerisinde kendini yenilemesi gerekmektedir. Ancak ürettiğimizden fazlasını tüketerek, doğaya kendini yenilemesi için ihtiyaç duyduğu zamanı vermiyoruz (Yıldız, 2023). Aslında artık sadece Türkiye'de değil, tüm dünyada alarm zilleri çalıyor. Bu durum arz-talep dengesizliğini her geçen gün artırıyor, susuzluk sorununu da artırıyor. Kronik su kıtlığı nedeniyle mevcut su kaynaklarının ve atık suyun yönetilmesi önem taşımaktadır. Bu durum, gelecekte elde edilen suyun da ücret karşılığında sağlanacağı anlamına geliyor (Direk vd., 2022)

Çeşitli amaçlarla kullanılan su kaynaklarının kirlenmesinin ana kaynakları evsel ve endüstriyel atık sulardır (Süğürtin, 2020). Temiz su kaynaklarının artırılması önemlidir ve bu, su talebinin azaltılması, kirlenmiş kaynakların yeniden kullanılması veya su geri dönüşüm süreçlerinin ve sulama teknolojilerinin geliştirilmesiyle sağlanabilir. Bunlardan en önemlisi kullanılabilir suyun sağlanması için atık su arıtımıdır (Hacıfazlıoğlu, 2018).

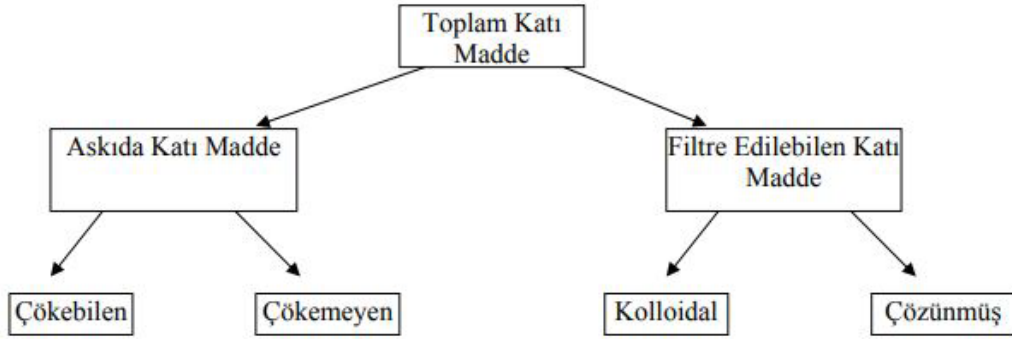
Atık suların geri kazanımı, mevcut su kaynaklarının korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Geleneksel olarak, kullanılan suyun çoğu, arıtma tesislerinden geçtikten sonra doğal su kaynaklarına deşarj edilir. Ancak, atık suların geri kazanımı sayesinde, bu sular yeniden kullanılabilir hale gelir ve yeni su kaynaklarının kullanımı azaltılır. Örneğin, evsel atık suların arıtılması ve yeniden kullanılmasıyla, parkların sulanması, araçların yıkanması ve endüstriyel süreçler için kullanılacak su miktarı azaltılabilir (Anonim, 2023).

Atık suyun yeniden kullanımını geliştirmenin başarısı, atık su geri kazanım teknolojisinin geliştirilmesine bağlı olan arıtılmış atık suyun kalitesiyle yakından ilgilidir. Atık su yeniden kullanımı için kullanılan prosesler arasında sodyum hipoklorit, ultraviyole (UV) radyasyon, O₃ gibi oksitleyici maddeler, inşa edilmiş sulak alanlar gibi anaerobik biyolojik işlemler, membran filtreleme, fiziksel ayırma ve elektrokimyasal işlemler yer almaktadır (Demir vd., 2017).

2.1. Atık Suların Özellikleri

Atık su arıtma düzeyinin belirlenebilmesi ve en uygun arıtma yönteminin seçilebilmesi için atık suyun miktarının ve niteliğinin bilinmesi önemlidir. Nüfus yoğunluğu ve kanalizasyon sistemleri atık suyun doğasını belirler. Oluşan atık su, kullanılan su miktarıyla orantılı olarak değişmektedir (Süğürtin, 2020).

Atık sulardaki en önemli ve ana organik bileşikler karbonhidratlar, proteinler, yağ kalıntıları, yağlar ve üredir. Orta derece ile kirlenmiş şekilde olan atık sularda, askıda katı maddelerin yaklaşık %75 oranı filtrelenebilir, katı maddelerin %40'ı organik yapıdadır. Ayrıca atık su, deterjanlar (yüzey aktif maddeler), pestisitler ve fenoller gibi çeşitli sentetik organik maddeleri de içerir (Öztürk, 2006). Atık sudaki katıların kategorizasyonu Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Atık sularda bulunan katı maddelerin sınıflandırılması (Öztürk, 2006)

2.2. Atık Suyun Kaynağa Göre Sınıflandırılması

Atık sular, üretildiği yere bağlı olarak iki farklı türde sınıflandırılabilir ve bunlar evsel atık su ve endüstriyel atık sudur (Gülcan, 2023).

2.2.1 Evsel Atık Sular

Evsel atık sular, bulaşık ve çamaşır makineleri, yemek artıkları, mutfak lavaboları, tuvaletler ve çamaşır yıkama alanlarından gelmektedir. Bu su başlangıçta içme, yiyecek

hazırlama, sıcak su sistemleri, banyo, kişisel bakım, çamaşır yıkama, bahçe işlerinde kullanılmakta olup daha sonra çevreye deşarj edilen evsel atık suyun bir kısmını oluşturabilmektedir. Tüm bireysel evsel atık su akıntıları, deşarj edilen atık sudaki toplam besin ve element yüküne farklı miktarlarda katkıda bulunur (Üçüncü, 2019).

2.2.2 Endüstriyel Atık Sular

Endüstriyel atık su, fabrika üretim prosesleri sonucunda oluşan atık suyu ifade eder. Endüstriyel atık suyun doğası endüstriden endüstriye büyük farklılıklar göstermektedir. Aynı endüstride bile drenaj yapıları, kullanılan malzeme ve proseslerdeki farklılıklara ve diğer birçok faktöre bağlı olarak farklılık gösterir. Endüstriyel atık sular yeterince arıtıldıktan sonra doğrudan yüzey sularına deşarj edilebileceği gibi, ön arıtmadan sonra belediyenin atıksu altyapı tesislerine deşarj edilip daha sonra belediyenin atık su arıtma tesislerine deşarj edilebilmektedir (Süğürtin, 2020).

Endüstriyel atık suyun ön arıtılıp arıtılmaması atık suyun özelliklerine bağlıdır. Çeşitli endüstriyel faaliyetler için önemli olan parametreler ve atık su arıtımında ulaşılması gereken deşarj standartları Su Kalitesini Koruma Yönetmeliği tablolarında listelenmiştir.

2.3 Türkiye’de Atık Su Politikası

Şekil 2.2, Türkiye’de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı koordinasyonunda uygulanan politikasını göstermektedir.

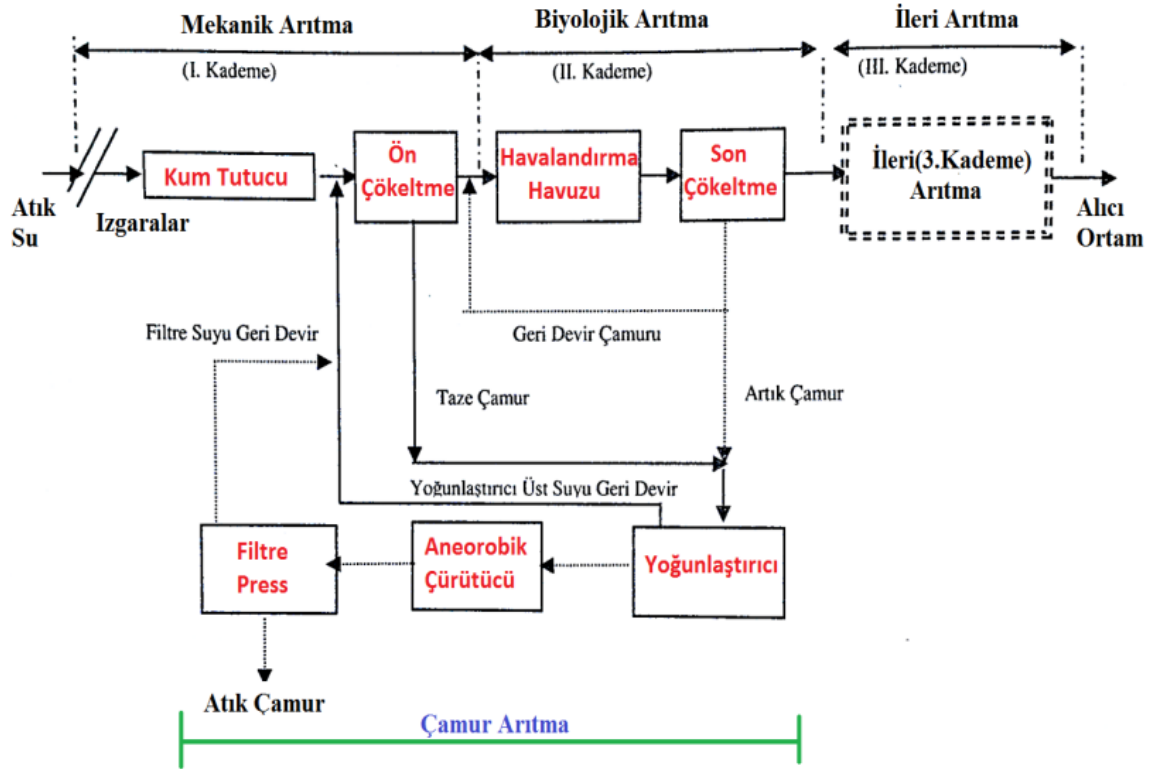


Şekil 2.2. Türkiye'nin atık su politikası (Özcan, 2014)

2.4. Atık Suların Arıtma Yöntemleri

Su, temas ettiği maddeleri kolaylıkla emebilmesi nedeniyle kolaylıkla kirlenir. Evsel ve endüstriyel atık suların kanunların belirlediği standartlara uygun olarak alıcı ortama deşarj edilmesi esastır. Standartlara uymayan atık suların, atık su arıtma tesisleri yapılarak kanunla belirlenen standartlara getirilmesi gerekmektedir. Suyun çeşitli kullanımlar yoluyla atık suya dönüştürülmesi nedeniyle kaybettiği kimyasal ve fiziksel özelliklerin bir kısmını veya tamamını geri kazandırmak ve/veya alıcı özelliklerinin korunmasını sağlamak için atık suya hem fiziksel, hem kimyasal, hem de biyolojik arıtma işlemleri uygulanır. Atık su arıtma, atık suyun çevreyi değiştirmeden deşarj edilmesi işlemidir (Yalçın ve Gürü, 2019).

Şekil 2.3'de atık suların arıtma ve kademeleri verilmiştir.



Şekil 2.3. Atık su arıtma ve kademeleri (Samsunlu, 2018)

Arıtma metotları, prosedüre bağlı olarak açısından üç grupta toplanabilir. Birinci metot, fiziksel arıtma işlemidir. İkinci metot mikroorganizmaları ve biyokimyasal reaksiyonları içeren biyolojik bir arıtma işlemidir. Bir diğer bir metot ise, kimyasal proseslerin bulunduğu arıtma metodudur. Atık suyun özelliklerine ve alıcı ortama deşarjına ilişkin standart değerlere bağlı olarak hangi arıtma yönteminin benimseneceğine ve arıtmanın hangi aşamada tamamlanması gerektiğine karar verilerek arıtma gerçekleştirilir (Süğürtin, 2020).

2.4.1. Fiziksel (mekanik) Arıtma

Fiziksel arıtma yöntemleri, kimyasallar, çözeltiler veya mikroorganizmalar kullanılmadan, fiziksel yöntemler ve yerçekimi akışlı ızgaralar ve benzeri mekanizmalar

kullanılarak atık sudan yağın ve çeşitli kaba atıkların uzaklaştırılmasını içerir. Kimyasal ve biyolojik arıtma öncesinde atık sudaki askıda çözünmeyen maddelerin ve çökelebilen katıların sistemden uzaklaştırılmasında kullanılır. Atık suyun içeriğine ve kirliliğine bağlı olarak değışirler ve genellikle ızgaralar, kum yağı tutucuları, dengeleme tankları ve kanalları ve ön arıtıcılar olarak sınıflandırılırlar (Uçar, 2019).

2.4.2. Biyolojik Arıtma

Biyolojik arıtma sistemleri, doğadaki çeşitli süreçleri optimum koşullar ve kontrol altında alarak atık sudaki kirletici maddeleri gidermek için tasarlanmıştır. Bu sayede doğal reaksiyonlar hızlandırılır ve daha kısa sürede, daha verimli bir arıtım elde edilir. Biyolojik arıtma işlemleri, atık sudaki askıda katıları veya çözünmüş organik maddeleri, mikroorganizmalar tarafından parçalanabilen ve çöktürebilen biyolojik toplaklara veya gaz olarak atmosfere salınan inorganik bileşiklere dönüştürür. Biyolojik arıtma yöntemleri oksijen kullanımına bağlı olarak aerobik ve anaerobik şeklinde sınıflandırılabilir. Oksijenin kullanıldığı aerobik sistemlerde mikroorganizmanın oksijen ile tepkimeye girmesi sağlanır. Böylece organik maddeler inorganik tuz formlarına dönüştürülür. Anaerobik sistemlerde ise oksijen kullanılmadığından mikroorganizma organik maddeleri inorganik tuzlar yerine karbondioksit ve metan gazına dönüştürür. (Uçar, 2019).

2.4.3. Kimyasal Arıtma

Kimyasal arıtma işlemlerinin amacı, içme suyu veya atık sudaki çözünmüş maddeleri kimyasal reaksiyonlar yoluyla daha az çözünen bileşiklere dönüştürmek veya koloidal maddelerin ve askıda katı maddelerin flok oluşumu yoluyla çökmesini sağlamaktır. Kimyasal arıtma prosesleri içme suyu arıtma proseslerinde ve endüstriyel atık su arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polielektrolit olarak kullanılan kimyasallar arasında kireç, şap, demir sülfat ve demir klorür bulunur. Atık su arıtma sistemlerinde bu proses suyun toplam askıda katı madde miktarının %80-90'ını, biyolojik oksijen ihtiyaç parametrelerinin %40-70'ini, kimyasal oksijen ihtiyaç parametrelerinin ise %30-60'ını giderir. Kimyasal

arıtma prosesi nötralizasyon prosesi ve flokülasyon/flokülasyon prosesi olarak ikiye ayrılabilir (Uçar, 2019).

2.5. Atık Suların Yeniden Kullanım Alanları

Atık su, nüfusun yoğun olduğu bölgelerde, kurak bölgelerde ve su kalitesinin sınırlı olduğu durumlarda önemli bir su kaynağı olabilir. Bu durum su kaynaklarının korunmasına yönelik yeni uygulama ve yöntemlerin önemini ortaya koymaktadır. Bu uygulamalardan en önemlisi atık suyun arıtılması ve yeniden kullanılmasıdır (Asan, 2013). Yeniden kullanım, kullanılmış suyun arıtılarak, amaçlanan kullanım kapsamında belirli bir amaç için kullanılması işlemidir (Başkan, 2006).

Atık suların geri kazanımının çok fazla yararı bulunmaktadır. Bunlar:

- Sürdürülebilir su kaynağı ve gerekli kontrollerle güvenilir su kaynağı olur
- Enerji tüketiminin düşmesine sebep olur.
- Temiz su kaynaklarının tüketimini azaltmayı sağlar.
- Yüzey suyu kalitesindeki bozulmayı azaltır.
- Suyun temini için maliyet düşmesini sağlar (Asan, 2013).

Son olarak, arıtılmış suyun çeşitli amaçlarla tekrar kullanılmasına olanak tanır. Çizelge 2.1’de arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı ve uygulamaları gösterilmiştir (Başkan, 2006).

Çizelge 2.1. Arıtılmış atık suların yeniden kullanımı ve uygulamaları (Demir vd., 2017)

Yeniden Kullanım	Uygulamalar
Çevresel	Dere akımı düzenleme, bataklık ve sulak alanlar, rekreasyonel alanlar (parklar, göller), balıkçılık ve su kültürü
Tarım ve Bahçe Sulama	Yem ve tohum mahsulleri, yenilebilir mahsuller, temel besleme suyu, çim ve ormanlar, fidanlık
Yeraltı Suyu Reşarjı	Buzlanmaya karşı koruma, içilebilir akiferin reşarjı, tuzlu su girişi kontrolü, depolama
Kentsel	Yangından korunma, tuvalet sifonu, sokak/araba yıkama, toz kontrolü, iklimlendirme
Endüstriyel	Soğutma, kazan besleme, inşaat baca gazı temizleme
İçme Amaçlı	Direkt içme, indirekt içme

3. MEMBRAN ve MEMBRAN PROSESLERİ

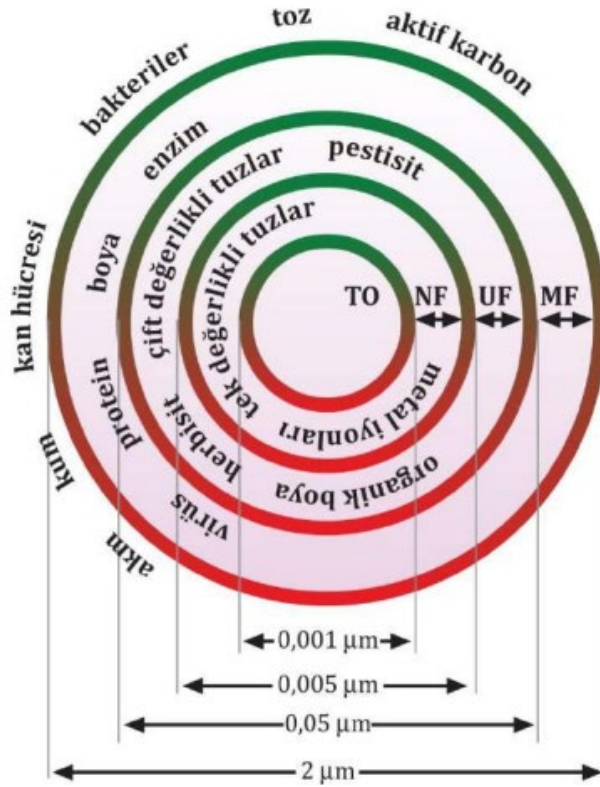
Su arıtımına yönelik membran teknolojisi, ilk öncü çalışmaları Almanlar tarafından başlatılmıştır ve 19. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır (Judd, 2017). Membran teknolojileri, neredeyse 50 senedir aktif şekilde farklı sanayi alanında kendine yer edinmiştir. Aynı zamanda kimya mühendisliği, polimer kimyası, çevre mühendisliği, ve elektrokimya gibi bilim-mühendislik konularında da membranlar ile etkin şekilde çalışılmaktadır (Lonsdale, 1982).

Membran teknolojisinin ilerlemesi ve membran proses uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte bu alandaki araştırma, araştırma-geliştirme ve üretim etkinlikleri de artmış, membranların sistematik şekilde sınıflandırılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Membranlar gözenek boyutu, şekli, morfolojisi, hammaddesi ve ayırma yöntemi gibi çeşitli kriterlere göre sınıflandırılır (Koyuncu, 2018).

Membranlar yalnızca atık suların arıtımı için kullanılmayıp, çoğu proses, biyolojik veya fizikokimyasal gibi bir yada daha fazla ayırma prosesini içermektedir. Membran prosesleri ayırma gibi, teknolojik proseslerde de önemli rol oynamaktadır (Kuzu, 2018).

3.1. Membranların Gözenek Çaplarına Göre Sınıflandırılması

Membranlar gözenek boyutlarına göre dört ana sınıfa ayrılır: mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (TO). Ayırma özellikleri aynı zamanda gözenek boyutuna da bağlıdır. Bu özelliklere göre membranların sınıflandırılması Şekil 3.1'de gösterilmektedir. (Koyuncu, 2018).



Şekil 3.1. Membranların gözenek çapına göre sınıflandırma ve ayırma özellikleri (Koyuncu, 2018)

Mikrofiltrasyon membranlarının gözenek boyutu 0,05 ile 2,0 μm arasında değişir. Belirtilen aralıktaki gözenek boyutlarına sahip MF membranlar, askıda katı maddenin, bulanıklığın, bakterilerin, parçacıkların ve benzeri maddelerin giderilmesinde oldukça etkilidir.

Moleküler ağırlık limiti (MWCO) terimi, "gözenek çapı" terimi yerine genellikle UF membranlarının gözenek çapı için kullanılır. MWCO, minimum giderim oranının %90 olduğu moleküler ağırlığı gösteren, performansla ilgili bir parametredir. Örneğin, MWCO değeri 10 KDa olan 41 UF'lik herhangi bir membran, molekül ağırlığı 10 KDa'dan büyük maddelerin %90' ını tutabilir. MWCO değeri azaldıkça, membranın gözenek çapı da paralelinde azalır. Bu, daha küçük gözenek boyutlarına sahip membranların daha düşük MWCO değerlerine sahip olduğu anlamına gelir. Ancak MWCO parametresi zarın maddeleri tutma yeteneğini gösterdiğinden moleküler boyut, polarite ve kirletici-zar

etkileşimleri gibi diğer unsurlar da bu parametreyi etkiler. Ayrıca membran yüzeyinin gözenek boyutu dağılımı ve yüzey gözenekliliği gibi unsurlar da önemlidir. Ultrafiltrasyon membranları proteinleri, enzimleri, virüsleri, organik maddeleri vb. ayırma yeteneğine sahiptir. Nanofiltrasyon membranların gözenek boyutu 0,005 ile 0,001 μm arasında değişmektedir. Bu membranlar iki değerlikli tuzların, organik boyaların, pestisitlerin, sertliğin ve benzeri parametrelerin giderilmesinde oldukça etkilidir. Ters ozmoz membranları (TO) tipik olarak gözeneksiz yapılardır. Öte yandan, Ters ozmoz membranları tek değerlikli tuzları, metal iyonlarını vb. ayırabilme yeteneğine sahiptir. Gözenek boyutundaki farklılıklar membranın uygulanabilirliğini sınırlamaz. Örneklendiğinde mikrofiltrasyon membranlar gözenek boyutu bakımından en büyük gözenek boyutuna sahip membranlardır. Ancak sadece mikrofiltrasyon uygulamalarında kullanılabileceğine dair bir kısıtlama bulunmaz. Örneğin hidrofobik mikrofiltrasyon membranlarının membran damıtmada kullanıldığı bilinmektedir. Ters ozmoz membranları ileri ozmoz proseslerinde de kullanılmaktadır (Koyuncu, 2018).

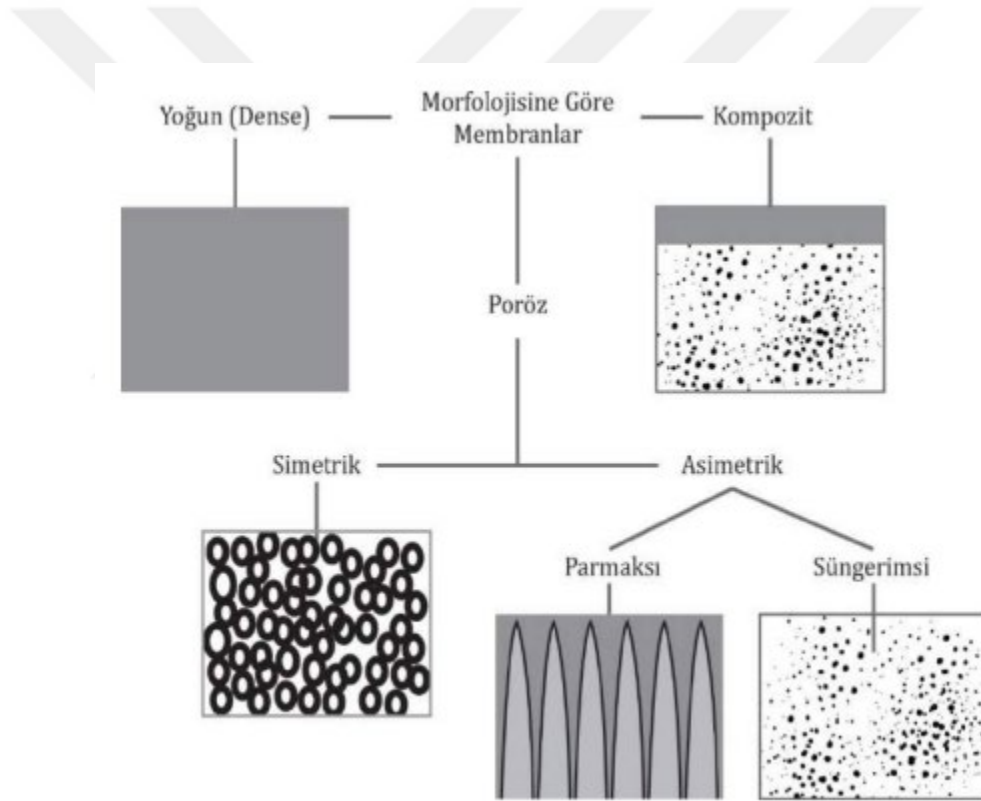
3.2. Membranların Geometrik Şekillerine Göre Sınıflandırılması

Membranlar genellikle dört farklı şekilde üretilir ve kullanılır: düz membranlar, içi boş fiber membranlar, boru şeklinde membranlar ve delikli membranlar. Düz membran plaka şeklindedir. Membranın bir tarafı aktif ayırma katmanı olup, diğer taraftan membrandan süzülen su uzaklaştırılır. İçi boş fiber membranlar silindiriktir ve içeriden dışarıya veya dışarıdan içeriye doğru çalışır. Yani ayırma işleminin gerçekleştiği katman iç veya dış yüzeyde oluşturulabilir. Boru şeklindeki membran silindiriktir ve çapı biraz daha büyüktür. Bunlar özellikle askıda katı madde içeriği yüksek olan sularda tercih edilir. Boru şeklindeki membranlar, silindirik dokunmamış kumaşın iç yüzeyinin bir polimerle kaplanmasıyla yapılır. Bu membranların iç yüzeyinde aktif bir katman bulunur ve içten dışa doğru çalışır. Gözenekli membran, yapısında birden fazla su akış kanalı içeren bir membrandır. Bunlar içten dışa prensibine göre çalışır. Bu membranlar polimerlerden yada seramikten yapılabilir (Koyuncu, 2018).

3.3. Membranların Yapısına ve Morfolojisine Göre Sınıflandırılması

Dışarıdan oldukça üniform gözükmekte olan membran yapıları, ileri derece görüntüleme teknikleri kullanılarak incelendiğinde çok da farklı yapıları ortaya çıkarabilmektedir. Bu morfolojiler membran sınıflandırması ve performansı açısından önemlidir.

Temel olarak membranlar morfolojik olarak üç sınıfa ayrılır: yoğun membranlar, gözenekli membranlar ve kompozit membranlar (Koyuncu, 2018). Şekil 3.2 'de membranların morfolojik sınıflandırması verilmiştir.



Şekil 3.2. Membranların morfolojik sınıflandırılması (Koyuncu, 2018)

3.4. Membranların Malzemesine Göre Sınıflandırılması

Membran üretiminde için malzeme seçilmesi öncelikle ayırma hızı, çalışma koşulları ve istenen membranın morfolojik yapısı gibi parametrelerle belirlenir. Ayrıca maliyet, kimyasal ve mekanik direnç de dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir (Saleh ve Gupta, 2016). Herhangi bir membran ayırma prosesinde membran filtrenin kendisi en önemli kısımdır. Bu nedenle membranlar farklı yapı ve işlevlere sahip çok çeşitli malzemelerden yapılmıştır.

Membran üretiminde kullanılan malzemeler tipik olarak üç gruba ayrılır:

- İnorganikler : Seramikler ve metaller
- Sentetik ürünler : Birçok polimer ve elastomer
- Değiştirilmiş doğal ürünler : Selülozik malzemeler

Bu malzemelerin membran üretimi için kullanıma bağlı olarak göre membranlar üç sınıfa ayrılır:

- Organik
- İnorganik
- Kompozit

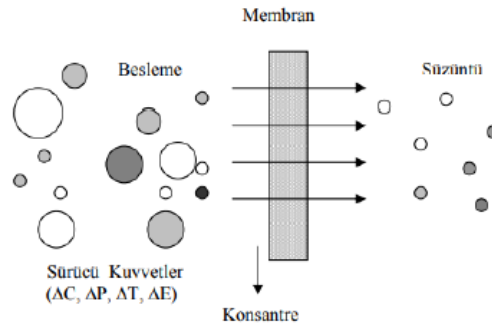
Membran üretimi için kullanılan malzemelerin verimli bir ayırma işlemini mümkün kılabilmesi için ideal olarak aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:

- Yüksek kimyasal direnç
- Yüksek mekanik direnci

- Yüksek ısı direnci
- Yüksek geçirgenlik
- Yüksek seçici veya tutma oranı
- Uygun maliyetli (Koyuncu, 2018)

3.5. Membranların Ayırma Prosesine Göre Sınıflandırılması

Membran ayırma prosesinde, besleme akımı, bir yürücü kuvvetin etkisi altında iki farklı akışa ayrılır. Membrandan geçen akışa "filtrat ", geçemeyen akışa ise "konsantre" adı verilir. Membranlar itme kuvvetlerine göre dört sınıfta incelenir. Bunlar; basınç, konsantrasyon, potansiyel, sıcaklık farkıdır (Bilstad, 1997). Membran akımının şematik diyagramı ise Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Membran akımının şematik diyagramı (Gülcan, 2023)

Membranların ayırma işlemleri Çizelge 3.1'de gösterildiği üzere itici kuvvete göre sınıflandırılabilir (Koyuncu, 2018).

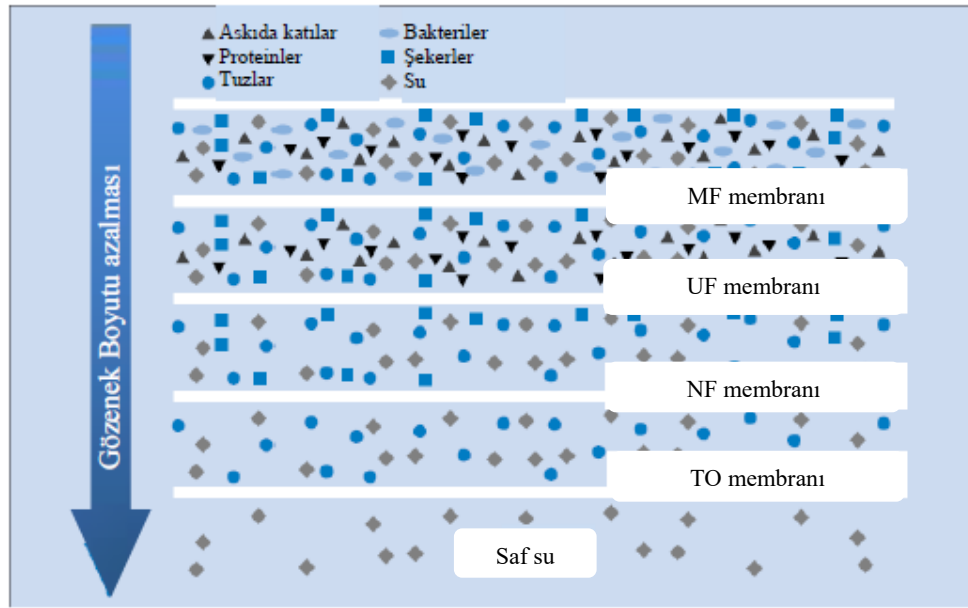
Çizelge 3.1. Membran ayırma proseslerinin sürücü kuvvete göre sınıflandırılması (Saleh ve Gupta, 2016)

Sürücü Kuvvet	Besleme Fazı	Süzüntü Fazı	Membran Prosesi	Ayırma Mekanizması
ΔP	Sıvı	Sıvı	Mikrofiltrasyon Ultrafiltrasyon Nanofiltrasyon Ters Osmoz	Boyut Boyut Boyut ve çekim Boyut ve çekim
	Gaz	Gaz	Gaz ayırma Buhar geçirgenliği	Boyut ve çekim
ΔE	Sıvı	Gaz	Pervaporasyon	Çekim
	Sıvı	Sıvı	Elektrodiyaliz Membran elektrolizi	Elektrik yükü Elektrik yükü
ΔC	Sıvı	Sıvı	Diyaliz Difüzyon diyalizi Membran kontaktör Osmoz Sıvı membranlar	Boyut Boyut ve çekim Çekim Çekim Kimyasal özellik
$\Delta C / \Delta P$	Gaz	Sıvı	Membran kontaktör	Çekim
	Sıvı	Gaz	Membran kontaktör	Çekim
$\Delta T / \Delta P$	Sıvı	Sıvı	Ters osmoz Membran distilasyonu	Buhar basıncı Buhar basıncı

3.5.1. Basınç Farkının Yürütücü Kuvvet Olduğu Membran Prosesler

Basınç kontrollü membran prosesleri, bir solventin (genellikle su) membrandan geçmesini sağlamak için süzüntü ve besleme arasındaki basınç farkını itici güç olarak kullanmaktadır. Çözülmüş bileşenler ve parçacıklar ve şekil, boyut ve yük gibi özelliklerle

kısmi olarak korunur. Basınç odaklı membran prosesi. Bunlar, zarın doğası, tutulan molekül boyutu, yükü, zar üzerine uygulanan basınç dahil olmak üzere çeşitli kriterlere bağlı olarak sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırma; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmoz şeklindedir (Van Der Bruggen vd., 2003). Basınca dayalı membran prosesleri için gözenek boyutları Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Basınca dayalı membran prosesleri için gözenek boyutları (Kuzu, 2018)

3.5.1.1. Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon sırasında, boyutları 0,1 ila 20 μm arasında olan moleküller membran üzerinde tutulur. En çok boru ve kılcal membran modülleri tercih edilmektedir. Ayırma mekanizması boyut farklılıklarına dayanmaktadır. Mikrofiltrasyon, fermantasyon ürünlerinden mikroorganizmaları uzaklaştırmak ve kolloidler, yağ molekülleri ve hücreler gibi eşit olmayan şekilde dağılmış parçacıkları ayırmak için kullanılabilir (Salt ve Dinçer, 2006). MF'nin uygulama alanları şunları içerir:

- Evsel veya endüstriyel atık suların arıtımı,
- NF membranı ve TO membranları için öncesinde ön arıtım işlemi olarak,
- Suda oluşabilecek tek hücreli canlılar, algler ve virüslerin yanı sıra kum, çamur, ve benzeri askıda, çökelmiş maddelerin uzaklaştırılması,
- MF membranlar, sentetil ve doğal organik maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır (Alkhattab, 2020)

3.5.1.2. Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon, membran proseslerinde ve partikül tutma yeteneklerinde nanofiltrasyon ve mikrofiltrasyon arasında yer alır. Gözenek boyutu 0,05 μm ile 1 μm aralığında değişir ve koloidal parçacıklar, polimerler, biyomoleküller, hümik asitler, virüsler, şeker iyonları, organik maddeler, yüksek moleküler ağırlıklı proteinler vb. içerir. Yüksek molekül ağırlıklı çözücüler ve tuzlar Ultrafiltrasyon membranları tarafından tutulabilmektedir (Büyükdere, 2008). UF membranlarda en yüksek direnç membranın üst katmanında meydana gelir ve bu da UF işleminin verimliliğini azaltır. Bu nedenle membran yüzeyi kirlenme eğilimini azaltacak önlemler alınmalıdır. Ayrıca membran içindeki akışı arttıran polimer yapılar ve tıkanmayı azaltan tasarımlar uygulanmalıdır. Ultrafiltrasyon işlemlerinin uygulama alanları şunları içerir:

- Yalnızca belirli boyut ve ağırlıktaki moleküllerin filtrelenme işleminde,
- Polimer, koloidal parçacıkların gideriminde,
- Tekstil sanayisi yün yıkama suyunun geri kazanılmasında,
- Gıda, ilaç endüstrisi,
- Evsel ve endüstriyel atık suların sterilizasyonunda,
- Mikroorganizmaların yok edilmesinde,
- TO işlemi öncesinde ön arıtma işlemi olarak kullanılırlar (Aslan, 2016).

3.5.1.3. Nanofiltrasyon (NF)

NF membranları ters ozmoz ve ultrafiltrasyon arasında gözenek boyutlarına sahiptir. Yüzey yükü esas olarak negatif olup membranın seçiciliği üzerinde güçlü bir etkiye sahip olur. Çok küçük molekülleri yüksek geri kazanımlarda ve çok küçük gözenek boyutlarında saflaştırabilen NF sistemlerinin çalıştırılması, membranın kirlenmesine yol açabilir, dolayısıyla enerji gereksinimini ve süzüntüyü stabilize etmek için gereken kimyasalları artırabilir. Bu sadece su kalitesini değil aynı zamanda işletme maliyetlerini de etkileyebilir. İnhibisyon seçiciliği nedeniyle membran geçirgenliğinin azalmasına yol açabilir (Bartels vd., 2007). Nanofiltrasyonun uygulama alanları şunları içerir:

- Tuzdan kısmi arındırma,
- Sakkaroz, yumurta albümini uzaklaştırılmasında,
- Tuzlu peynir altı suyunun tekrar kullanılabilir hale getirilmesinde,
- Tekstil sanayi TOK ve renk giderimi alanında,
- Süt endüstrisinden gelen atık suyun arıtılmasında,
- Metal sanayide metal nitrat ve sülfatların ayrıştırılmasında,
- Pestisit giderilmesinde,
- Dezenfeksiyon yan ürünlerini uzaklaştırmak için kullanılır (Aslan, 2016).

3.5.1.4. Ters Osmoz (TO)

Ters ozmoz (TO), çok düşük moleküler ağırlıklı maddeleri, iyonları ve düşük moleküler ağırlıklı molekülleri uzaklaştırmak için yarı geçirgen membranlar kullanan ve iyi bilinen bir su arıtma yöntemidir. Ozmozda doğal olarak oluşan ozmotik basınç, düşük konsantrasyonlu suyun membrandan yüksek konsantrasyonlu bir alana akmasına neden olur, öyle ki membranın her iki tarafındaki çözünen madde konsantrasyonları denge konumuna eşit olur (Büyükdere, 2008). Ters ozmoz işleminin uygulama alanları şu şekilde belirtilebilir:

- Deniz suyu arıtılması ve tuzdan arındırılmasında,
 - Kağıt, tekstil endüstrisindeki boya giderimi prosesinde,
 - Demir çelik, gıda sanayisinde,
 - Sızıntı suyu arıtımında,
 - Tarımsal atık sularının yeniden kullanılmasında,
 - Biradan alkol seyreltilmesinde,
 - Endüstriyel işletmeler içinde çözünmüş tuzları geri kazanımında,
 - Sanayinin çeşitli uygulama alanlarında istenilen standartlarda su kazanımında,
 - Su sertliğine neden olan Mg ve Ca, ya da benzeri bileşiklerin uzaklaştırılmasında,
 - Zehirli maddelerin, istenilmeyen bileşenlerin yada mikroorganizmaların uzaklaştırılması
- (Alkhattab, 2020).

4. PLASTİK ENDÜSTRİSİ

Plastikler izolasyondan gıda ambalajına kadar hayatımızın her alanında giderek daha fazla kullanılmakta ve plastikler tüm dünyada çelik, ahşap, cam gibi malzemelerin yerini almaktadır (Sevilmiş, 2012).

Yüksek kaynak verimliliği, düşük üretim ve geri dönüşüm maliyetleri, tasarım ve uygulama çeşitliliği nedeniyle plastik üretimi dünya çapında 50 yıldır hızla gelişmektedir. Plastik malzemeler, küresel bir başarı öyküsü olarak kabul ediliyor.

Plastik sektöründe, teknoloji kullanımının artmasına paralel olarak ihraç işler yapan ve küresel pazarlarda rekabetçi firmaların sayısı da artmaktadır. Toplam imalat istihdamının yüzdesi olarak ölçülen plastik ve kauçuk ürünleri işleme sektörü, toplam 23 sektörde 8'inci sırada yer almaktadır. Genel olarak ara malı imalat sektörünü temsil eden plastik sektörü, tarım, inşaat, otomotiv, dayanıklı tüketim malları ve elektronik endüstrisi olmak üzere imalat sanayine ve ambalaj malzemeleri gibi ürünlerle hizmet sektörüne çok önemli olan bir tedarikçi konumunda bulunmaktadır (Erkan, 2017).

Plastik ambalaj atıklarının geri dönüşümü, atıkların fabrikaya alınması, geri dönüşüme uygun atıkların kırılarak dulavratotu haline getirilmesi, yıkanması, susuzlaştırılması ve erimiş granül hammadde haline getirilmesiyle yapılmaktadır. Plastik atıkların geri dönüşümü sırasında plastik kalıntının yıkanması sonucu atık su oluşur. Bu tür atık sulara en önemli kirlilik parametreleri kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı maddeler ve renktir. Japonya'da bu tür atık sular, arıtma tesislerindeki çökeltme tanklarında arıtılarak tekrar temizlik amacıyla kullanılıyor. Bu sayede su kullanımı azaltılarak çevre dostu geri dönüşüm faaliyetleri gerçekleştirilmiş olur. Tekrarlanan kullanım, temizleme suyunun kirlenmesine neden olacak ve bir süre sonra artık temizlik için kullanılamaz hale gelecek ve temizleme suyunun değiştirilmesi gerekecektir. Bu durumda yıkama suyunun, Su Kirliliğini Önleme Yönetmeliği (2004) limitlerini karşılayacak şekilde arıtılıp deşarj edilmesi veya arıtılmak üzere başka bir arıtma tesisine gönderilmesi gerekir (Şahinkaya, 2017).

Türkiye'deki plastik üretimi, genellikle polietilen, polipropilen, polivinil klorür (PVC), polistiren, polietilentereftalat (PET) gibi çeşitli plastik türlerini içermektedir. Bu malzemeler, ambalaj sektöründen otomotiv endüstrisine, inşaat malzemelerinden tüketici elektroniğine kadar birçok sektörde kullanılmaktadır. (Gülcan, 2023).

Amerika, Avrupa, Avustralya ve Asya'da yapılan çalışmalarda, içme suyu ve sulama amacıyla kullanılan nehirlerle deşarj yapan kanalizasyon arıtma tesislerinin deşarj noktalarında mikroplastiklerin çalışması yapılmıştır (Akarsu vd., 2017). Dört farklı kıtada yürütülen beş çalışmanın bir derlemesi, deşarj edilen atık suyun yüksek düzeyde mikroplastik içerdiğini ortaya çıkardı. Mikroplastiklerin kirlilik miktarının genel olarak 0,2 MP/L ile 25,8 MP/L aralığında olduğu, en yaygın plastik türünün ise polietilen olarak ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Tutuoğlu, 2019).

Plastik zararlı bir kimyasaldır ve kullanımı her geçen gün artmakta dolayısıyla çevreye verdiği zarar da artmaktadır. Plastik üretimi sırasında kullanılan su atık hale gelmekte ve kaynaklar azalmaktadır. Plastik üretiminin artması ve sonucunda da atık suların ortaya çıkması yeni araştırmaların başlangıç noktası olmuştur (Gülcan, 2023).

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Zulaikha vd.nin (2014) çalışmalarında, ticari olarak temin edilebilen iki farklı UF membranının (UF PES-10 kDa ve UF PCDF-100kDa) ve iki farklı NF membranının (NF-90 ve NF-270) etkililiğini, orta büyüklükte olan Malay restoranının atık sularının arıtılması için değerlendirmişlerdir. İlk sonuçlar, incelenen tüm membranların çok benzer KOİ ve bulanıklık giderimi sağladığını (sırasıyla %97,8-99,4 ve %99,9), ancak farklı BOD5 ve iletkenlik giderimi sağladığını göstermiştir. Membranların KOİ ve bulanıklık açısından mükemmel ayırma verimliliği, KOİ ve bulanıklık değerlerine katkıda bulunan kirleticilerin, kullanılan membranların gözenek boyutundan daha büyük parçacık boyutlarına sahip olmasıyla açıklamışlardır. BOD5 ve iletkenlik giderimi açısından, NF membranların UF membranlardan daha iyi sonuçlar gösterdiği ve membranın gözenek boyutu ne kadar küçük olursa, BOD5 ve iletkenlik giderim oranlarının da o kadar yüksek olacağı ve bunun da daha yüksek kalitede arıtılmış atık su ile sonuçlanacağı bulunmuştur. Böylece NF-90, NF-270'in gösterdiği sırasıyla %82,2 ve %8'e kıyasla %86,8 BOD5 giderimi ve %82,3 iletkenlik giderimi elde etmişlerdir. Kirletici maddeler için daha yüksek ayırma oranları göstermesinin yanı sıra, NF-90'ın herhangi bir kimyasal temizleme maddesi kullanmadan basit bir durulama işlemiyle yüksek su akışı geri kazanım oranı nedeniyle kirlenmeye karşı daha az duyarlı olduğu da rapor edilmiştir. Araştırma bulguları, küçük ayak izi membran teknolojisinin yerel restoranlarda potansiyel olarak uygulanabileceğini, yalnızca yoğun organik madde yüklü atık suları arıtmakla kalmayıp aynı zamanda restoran sahiplerine arıtılmış atık suları içilemez amaçlar için yeniden kullanma konusunda faydalar sunabileceğini göstermiştir (Zulaikha vd., 2014).

Bouchareb vd. (2020) ahşap işleme atık su arıtımında kombine doğal/kimyasal pıhtılaşma ve membran filtrasyonu isimli çalışmalarında, pıhtılaşma/topaklama işleminin hem biyokoagülan hem de kimyasal pıhtılaştırıcılar kullanılarak bulanıklık, KOİ ve renk giderimini etkili bir şekilde sağlayabildiğini görmüşlerdir. Ancak bulanıklık, KOİ ve renk giderme verimleri yeterli olmamıştır. Bu nedenle su kalitesini iyileştirmek için membran filtrasyonunun ikinci aşaması gerekli olup, NF90 membranı kullanan nanofiltrasyon, uygun

nihai su kalitesine sahip olmak için pıhtılaşma/topaklama ile birleştirilen en etkili membran olarak değerlendirmişlerdir (Bouchared vd., 2020).

Yabalak vd. (2021) çalışmalarında, kombine kritik altı su oksidasyonu ve nanofiltrasyon kullanılarak tekstil banyosu atık suyundan suyun geri kazanımını araştırmışlardır. Tekstil banyo atık suyunu kritik altı su oksidasyonu (SCWO) ve basınç tahrikli membran prosesi ile arıtmışlardır. Çevre dostu SCWO yöntemi kullanılarak H_2O_2 varlığında %54,5 oranında kimyasal oksijen ihtiyacında (COD) azalma ve %91,7 oranında renk giderimi elde edilmiştir. SCWO sürecini optimize etmek için Box-Behnken tasarımı yapılmış ve modellerin hassasiyeti ANOVA ile değerlendirilmiş. SCWO ön işleminden önce ve sonra iki farklı nanofiltrasyon (NF270 ve NF90) membranı test edilmiş. COD azaltma ve renk giderme verimliliğini artırmak için membran tipinin (NF270 ve NF90) ve transmembran basıncının (10, 20, 30, 40 bar) etkisi araştırılmış. Sonuçlar, ön arıtma yöntemi olarak SCWO uygulandığında, kararlı durum süzüntü akışının 30 bar'da NF270 için 6,6'dan 23,5 L/m².saat'e ve 40 bar'da NF90 membran için 10,0'dan 12,4 L/m².saat'e yükseldiğini göstermiş. Sonuçlar SCWO ön işleminin süzüntü akışını neredeyse 2 e 3 kat arttırdığını göstermiş. KOİ ayrıca tüm süzüntüler için test edilmiş ve en yüksek KOİ azaltma verimliliği SCWO x NF90 kombine prosesinde elde edilmiş. En yüksek KOİ azaltma ve renk giderme verimleri sırasıyla %96,1 ve %99,3 olarak 40 barda kombine SCWO x NF90 prosesinde elde edilmiş. Önerilen birleşik SCWO ş NF90 prosesi, tekstil boya banyosu atık suyundan atık suyun geri kazanılmasında başarıyla kullanılmıştır (Yabalak vd., 2021).

Randani vd. (2021) çalışmalarında, Cezayir doğal yeraltı suyunun defloridasyonunda NF90 ve NF270 ticari nanofiltrasyon membranlarının performansını incelemişler. Su arıtımı için pilot çapraz akışlı filtrasyon ünitesi farklı basınçlarda gerçekleştirilmiş. İki ticari NF kompozit ince film membranın (NF90 ve NF270) performansı, üretkenlik, tuzdan arındırma verimliliği ve enerji tüketimi açısından değerlendirilmiş. Sonuçlar, NF90'ın en yüksek tutma verimliliğine sahip olduğunu, NF270'in ise en yüksek nüfuz akış hızına sahip olduğunu göstermiş. Bununla birlikte, NF90 membranının karmaşık bir doğal matrisin (Kouinine) florür iyonlarının %88'inden fazlasını tuttuğu, NF270'in ise %79'unu tutabildiği gözlemlendi. Süzüntüdeki florür içeriği (0,35 ve 0,62 mg L⁻¹), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) eşliğinin ve Cezayir standartlarının oldukça altındaydı. En iyi uzlaşma, NF90'ın, WHO ve

Cezayir standartlarının gerekliliklerine uygun kalitede üretilen su ile kullanılmasıyla elde edilmiştir (Randani vd., 2021).

Bektüre (2017) yüksek lisans çalışmasında, zeytinyağı ve deri fabrikalarından alınan atık suların çapraz akışlı membran filtrasyonu ile renk giderimi verimini incelemiştir. Deneylerinde sıcaklık ve basınç parametrelerinin süzüntü akısı ve giderim verimliliği üzerinde etkilerini gözlemlenmiştir. Deri atık suyu üzerinde 25°C ve 35°C 'de yapılan deneylerde basınç arttıkça debinin arttığı gözlemlenmiştir. Zeytinyağı içeren atık su üzerinde 25 °C ve 35°C'de yapılan deneylerde basınç artışıyla doğru orantılı olarak debide bir artış gözlemlenmiştir. Deri atık suyunda 25 °C'de gerçekleştirilen deneyler, 20, 25 ve 30 bar çalışma koşulları altında sırasıyla % 100, % 98,5 ve % 100 renk giderim verimliliği ile sonuçlanmış, boya çıkarma verimliliği, 35 °C sıcaklıkta ve 20, 25 ve 30 bar çalışma koşulunda üç parametrenin tamamı için %100 olmuştur. 25 °C'de çalıştırılan zeytinyağı atık suyu üzerinde yapılan deney sonuçları, 20,25 ve 30bar çalışma koşulları altında renk giderme veriminin sırasıyla % 96,71, % 89,91 ve % 89,56 olarak bulunmuştur. 35 °C'de ise 3 farklı basınçta da giderme verimliliği %100 olarak gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlar, her iki çalışmanın da çok yüksek renk giderme verimliliğine sahip olduğunu gösterdi. Literatür taramasına bakıldığında nanofiltrasyon membran sistemlerinin boya gidermeye uygun olduğunu sonucuna varmıştır (Bektüre, 2017).

Oruç (2017) yüksek lisans tezinde pamuklu tekstil fabrikasında reaktif boyama prosesinin atık suyundan saf suyun geri kazanılması için membran filtrasyonu yönteminin kullanımını araştırmıştır. Boyama, sıcak durulama, sabunla yıkama ve sıcak durulama banyosu dahil olmak üzere boyama hattının son üç aşamasından alınan atık su numuneleri kullanılarak laboratuvar ölçekli deneyler yapılmıştır. Deneyler iki sette gerçekleştirilmiştir: doğrudan nanofiltrasyon ve ön işlemden sonra nanofiltrasyon. Doğrudan uygulamalar için NF90 membranı, çeşitli transmembran basınçları ve çapraz akış hızlarında tam geri dönüşüm modu ile test edilmiştir. En yüksek süzüntü verimi, 14 bar basınçta; 58,9 ml/s çapraz akışta %99 toplam organik karbon ve %96 iletkenlik giderimiyle elde edilirken, süzüntü akış hızı 21,12 L/m²saat olmuştur. Çapraz akışın artırılması, hem süzüntü kalitesini hem de akışı önemli ölçüde iyileştirmezken, transmembran basıncının artırılması, ozmotik basıncın etkilerini azaltmıştır. Bildirilen optimum şartlar konsantre mod ile test edildiğinde, hacim

azaltma faktörü 2,06'ya ulaşana dek süzüntü kalitesi tatmin olmuş ve ikinci kısımda ilk olarak 0,45 µm Mikrofiltrasyon membranı ve 150 kDa Ultrafiltrasyon membranı test edilmiştir. UF'nin daha fazla umut verici bulunması nedeniyle ön tedavi sonrasında UF kullanarak NF çalışmalarını tamamlanmıştır. NF iletim renginde hafif bir iyileşme elde edilmiş ancak konsantrasyon polarizasyonu ve kirlenmedeki önemli azalma nedeniyle NF akış hızı 14 bar'da 35,08 L/m²saat'e yükselmiştir. Besleme suyuna boya banyosu ilavesinin olası etkileri araştırılmıştır. Ultrafiltrasyon membranının verimi etkilenmemiştir. Ama nanofiltrasyon süzüntüsünün kalitesi ve akış hızı önemli ölçüde kötüleştiği gözlenmiştir (Oruç, 2017).

Yurtsever vd. (2020) çalışmalarında, birçok nanofiltrasyon ve ters ozmoz membranları kullanarak tekstil sanayisi atık suları filtrasyon performanslarını değerlendirmiştir. Kullandıkları nanofiltrasyon membranları içerisinde ticari NF90 membranı KOİ ve iletkenlik gideriminde en yüksek verimde performans sergilemiştir. NFTS40, NFDK, NFDL ve NF270 membranları ise renk giderimi için etkin olup, iletkenlik gideriminde NF90 kadar iyi performans göstermemişler. pH'da yapılan farklılık akı değerlerini de etkilemiştir. Çalışma NF90 membranı ile %99 renk, %94 iletkenlik ve %97 oranlarında KOİ giderilmesi sağladığını göstermektedir. Daha yüksek giderim verimleri istenirse eğer ters ozmoz (TO) membranı gerektiğini ortaya koymuşlardır (Yurtsever vd., 2020).

Gülcan (2023) yüksek lisans tezinde, plastik endüstrisinden alınmış atık suyunun ticari NF270 membranı ile çapraz akışlı arıtım prosesi ile arıtma işlemi incelenmiştir. Deney sonuçlarında akı değeri sonuçlarının en yüksek görüldüğü çalışma koşulu 96,8 (L/m²saat) akıyla 25°C ve 6 bar olarak belirlenmiştir. Renk giderilme veriminde ise 30 °C 8 bar'da %99, iletkenlik verimi %43,5, askıda katı madde giderim verimi % 98,1, bulanıklık giderim verimi ise %99 hesaplanmıştır. 8 bar ve 30°C' de bulanıklık, iletkenlik ve askıda katı maddelerin giderilme verimlerinin maksimum değerlerinin görüldüğü çalışma koşulları olarak belirlenmiştir. Tüm analizlerin sonucunda plastik endüstrisinden kaynaklanan atık suyun arıtımında uygun koşullar belirlenmiş ve bu analiz için NF270 "uygun membran" olarak kullanılabilir sonucuna varılmıştır (Gülcan, 2023).

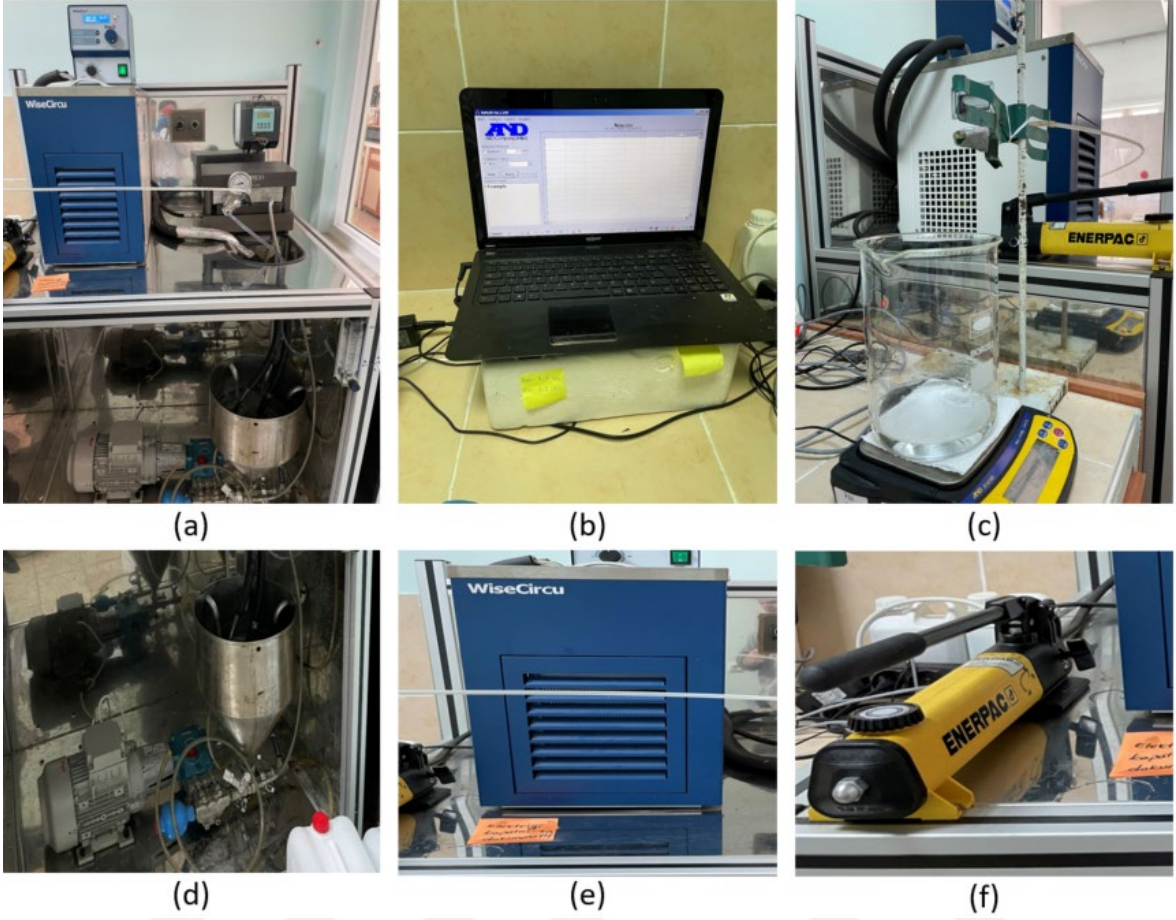
6. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada plastik endüstrisi atık suyunun nanofiltrasyon ile 25 °C ve 30 °C sıcaklık ve 4,6,8 bar basınç parametrelerinde, renk, askıda katı madde, iletkenlik, bulanıklık giderimi incelenmiştir. Akı deneylerinde belirlenen 2 farklı sıcaklık ve 3 farklı basınç için dakikada bir, 45 dakikaya kadar ölçümleri kaydedilmiştir. 5,15,30 ve 45. dakikalarda alınan örneklerin (numune) ölçümleri yapılarak renk giderimi verimleri hesaplanmıştır. Sonuçlar incelenerek basınç ve sıcaklığın akı üzerine etkisi incelenmiştir. Çizelge 6.1’de deney parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney parametreleri

Değişkenler	Değerler	Analizler
Sıcaklık (°C)	25, 30	Renk giderim verimi (%) Askıda katı madde giderim verimi (%) İletkenlik giderim
Basınç (bar)	4, 6, 8	Bulanıklık giderim verimi (%) Süzüntü akısı tayini

Deneyler Şekil 6.1’de verilen Sterlich marka çapraz akışlı paslanmaz çelik malzemesi ile üretilmiş membran filtrasyon düzeneği ile yapılmıştır. Düzenek zararlı olabilecek kimyasallara dayanıklı malzemeler kullanılarak üretilmiştir. Düzenek içerisinde; membran modülü, hassas terazi, süzüntü toplama bölümü, santrifüj pompa, hidrolik el pompası bilgisayar ve ısıtıcı bulunmaktadır. Membranın yüzey alanı 150 cm²’dir.



Şekil 6.1. Membran sistemi (a), bilgisayar (b), hassas terazi (c), besleme tankı ve pompa (d), ısıtıcı (e), hidrolik pompa (f)

6.1 Membran Sisteminin Çalıştırılması

Deneye başlamadan önce ilk aşamada düzenekteki safsızlıkları arındırmak amacı ile %2'lik HCl asit çözeltisi ile sistem yıkanmıştır. Sonrasında ise asit çözeltisi ile yıkanan düzeneğe saf sudan geçirilmiştir. Sistemin saf sudan geçirilmesinden sonra membran, uygun ölçülerde kesilerek modüle yerleştirilmiştir. Sonraki adım olarak bilgisayar ve çapraz akışlı filtrasyon sisteminin ilgili programı açılmıştır.

Tüm sistem açılmış, hidrolik el pompası 25°C, 900 psi olarak ayarlanmış, atık su kazana beslenmiş, membran modülü kapatılmış ve deneye başlanmıştır. Gösterge yardımı

ile değerin sabitlenip-sabitlenmediğı kontrolü sonrasında sisteme elektrik verilmiştir. Isıtıcı belirlenmiş olan sıcaklığa ayarlanarak, besleme tankının ayarlanan sıcaklığa gelmesinin ardından devir ayarı yapılmıştır. Düzenekten hassas terazi üzerindeki behere düşen ilk su damlası ile bilgisayar üzerinden program çalıştırılmıştır. Program aracılığı ile her bir dakikada süzüntü miktarı kaydedilmiştir. Numuneler 5,15,30 ve 45. dakikalarda alınmıştır. Uygulanan bu işlem deney parametreleri olan her sıcaklık ve basınçta tekrar edilmiştir.

Numunelerde renk giderim verimi hesaplanması için referans değeri saf su olmuştur. Bu sebepten dolayı cihaza saf su kullanılarak dalga boyu taraması yaptırılmıştır. Ham plastik atık suyun dalga boyunda alınan tüm örneklerin dalga boyu taratılmıştır.

Askıda katı madde giderim verimi hesaplanması için, ham atık su cihaza yerleştirilip değeri kaydedilmiş, sonrasında tüm numunelerde de ölçüm yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İletkenlik giderimi performansı için ham atık suyun ve numunelerin iletkenlik değerleri iletkenlik ölçer ile ölçülmüştür.

Bulanıklık giderim verimi hesabı için hem ham atık suyun hem de aynı zamanda numunelerin bulanıklık değerleri ölçülerek, kaydedilmiştir.

Deney esnasında kullanılan cihaz ve işlevi çizelge 6.2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Deneyde kullanılan ekipmanlar

Deneyde Kullanılan Ekipmanlar	İşlevi
Bilgisayar, Exper	Süzüntü tartım verilerinin kaydedilmesi
Çapraz Akışlı Membran Sistemi, Sterlitech	Nanofiltrasyon deneyleri
Hassas Terazı, A&J EJ6100	Süzüntü akısının miktarı
Hidrolik El Pompası, Enerpac	Membran sisteminin sıkıştırılması
Isıtıcı, WiseCircu	Deney sıcaklığının ayarlanması
İletkenlik Ölçer, Janvey 4310	İletkenlik ölçümü
UV Spektrofotometresi, Hach DR 2000, Hach DR 3900	Renk giderimi, bulanıklık ve askıda katı madde giderim veriminin ölçülmesi

6.2 Deneyde Kullanılan Membran'ın Özellikleri

Bu çalışmada poliamid malzemesinden nanofiltraston membranı kullanılmıştır. Endüstriyel atık su arıtımında kullanılan düz plaka NF90 membranının özellikleri çizelge 6.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Membran (NF90) özellikleri (Başaran, 2013 ve Bektüre, 2017)

Membran Adı	NF90
Membran Malzemesi	Poliamid, İnce film kompozit
Besleme	Endüstriyel Atık Su
Akı (GFD)/psi	46-60/130
pH aralığı	2-11
Ortalama Magnezyum sülfat ret yüzdesi	99%
Tip	Düşük enerji, düşük basınç
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	45°C

6.3 Deneyde Kullanılan Atık Suyun Özellikleri

Bu çalışmada analiz edilmiş olan atık su Eskişehir’de bulunan plastik üreticisi bir firmadan alınmıştır. Plastik atık suyunun özellikleri ve ölçülen parametreleri çizelgede verilmiştir. Analiz öncesinde ham atık su filtreleme yöntemiyle katı maddelerinden uzaklaştırılmıştır. Renk giderimi, iletkenlik, askıda katı madde ve bulanıklık analizi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.4’te plastik firması atık suyunun ölçülen parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Ham plastik atık suyunun ölçülen parametre değerleri

Parametre	Plastik Atık suyu
Maksimum Absorbans (nm)	320
Maksimum Absorbans A ₀ (abs)	1,864
Askıda Katı Madde (mg/L)	569
İletkenlik (µs/cm)	53,2
Bulanıklık (ftu)	1,924

6.4. Deneyde Uygulanan Analitik Yöntemler

Deneyde, birim zamanda (5,15,30 ve 45.dakika) alınan numunelerin “Hach DR 3900” , “Hach DR 2000” markaya sahip cihazlarla ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile renk, askıda katı madde, bulanıklık giderimi verimi ve iletkenlik giderimi hesaplanmıştır.

6.4.1. Bulanıklık Ölçümü

Bulanıklık, süspansiyon yada çözelti halinde bulunan maddeler tarafından saçılan ışığın ölçümüdür. Başlangıçta ham atık suyun bulanık değeri ölçülmüş ve sonrasında her basınç ve sıcaklık için alınan numunelerin bulanıklık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Son adım olarak verimi hesaplanmıştır.

6.4.2. Askıda Katı Madde (AKM) Miktarı

Askıda katı madde, filtrasyon ile arıtılan atık su örneği içerisinde bulunan toplam katıların ölçümüdür. Ham atık suyun AKM değeri ölçülmünde sonra belirlenen basınç ve sıcaklık değerlerinde alınan numunelerin AKM miktarları da ölçülerek kaydedilmiştir. Son adım olarak verimi hesaplanmıştır.

6.4.3. İletkenlik Ölçümü

Numune çözelti içerisindeki iyonlar arasındaki elektrik akımının varlığı ölçülerek, sulu çözeltinin iyon miktarının belirlenmiştir. Elde edilen veriler kaydedilmiş, ham atık su iletkenliği ile sonuçlar karşılaştırılmıştır.

6.4.4. Akı Değerinin Hesabı

Süzüntü akısının hesaplanmasında; AND, A&D Company, Limited programı ve hassas terazi kullanılmıştır. Hassas teraziye bağlanan bilgisayar aracılığı ile, terazi üzerinde numune toplama kabına damlayan süzüntü ağırlığını ölçülerek ilgili programa kaydedilmiştir. Kayıtlardan yardımı ile hesaplamalar yapılmıştır. Veriler Microsoft Excel programına kaydedilerek, akı değerleri ve işlemleri ile giderim verimleri hesaplanmıştır. Zamana karşı giderim verimi ve zamana karşı akı grafikleri çizilmiştir.

Akı, birim zamanda membran birim alanından geçen akım miktarıdır. Akı birimi ise, $\frac{m^3}{m^2 \cdot gün}$ veya $\frac{L}{m^2 \cdot saat}$ 'dir. Akının hesaplanması için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$Jv = \frac{Q}{A}$$

$$t_N (dk) \text{ anında } V = V_N$$

$$Q(t_2 - t_1) = V_2 - V_1 = \text{birim zamanda membrandan geçen süzüntü miktarı}$$

$$A = \text{süzüntünün geçtiği toplam alan, membran yüzeyi} = 150 \text{ cm}^2.$$

6.4.5 Renk Giderimi Hesabı

Atık suyun 4,6 ve 8 bar basınçta alınan numunelerin arıtmadan önce ve sonra absorbens değeri UV spektrofotometre aracılığı ile okunmuş, aşağıdaki eşitlik yardımı ile renk giderimi verimi hesaplanmıştır.

$$\%Rx = \frac{C_b - C_s}{C_b} * 100$$

Rx: Giderim verimi; x: Askıda katı madde, bulanıklık, renk

C_b: Besleme içindeki x değeri

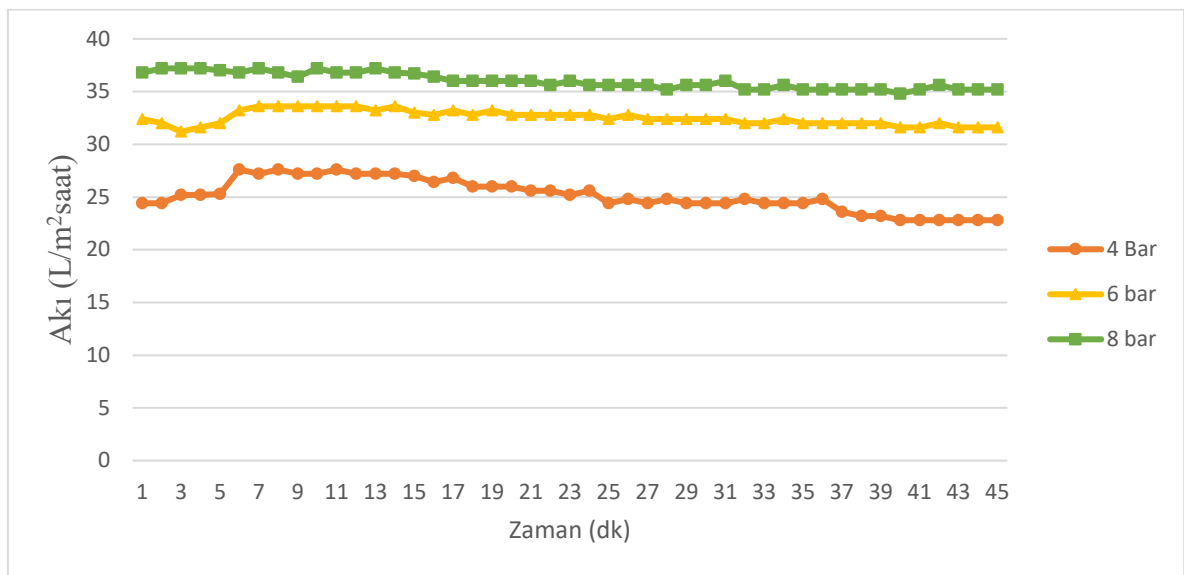
C_s: Süzüntü içindeki x değeridir.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

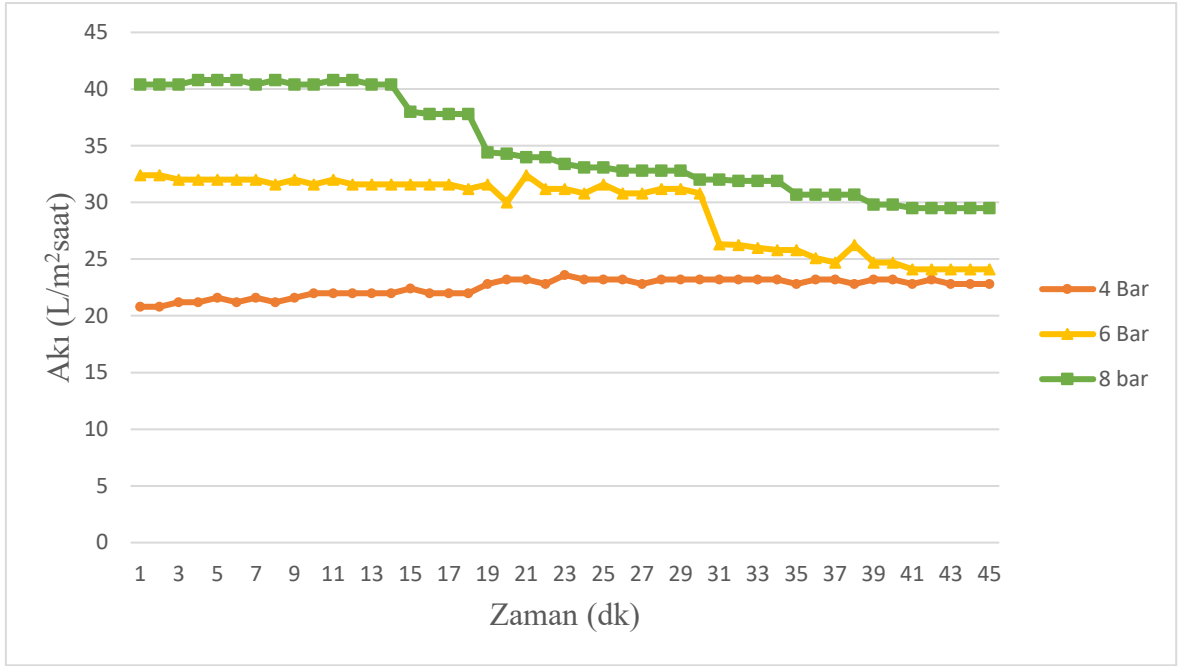
Bu deneysel çalışmada NF90 membranı kullanılarak, çapraz akışlı membran sistemi ile atık su arıtımı gerçekleştirilerek sonuçlar gözlemlenmiştir. Atık su olarak Eskişehir’de bulunan bir plastik fabrikasının süreç atık suyu kullanılmıştır. Arıtma sistemine sıcaklık ve basıncın etkisini değerlendirmek için 25°C ve 30°C sıcaklık, 4,6 ve 8 bar basınç parametreleri belirlenerek çalışılmıştır. Her dakikada bir süzüntü akısı bilgisayar aracılığı ile ölçülmüştür. Renk giderimi için dalga boyu ölçümü UV spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır. Son olarak bulanıklık tayini, iletkenlik ölçümleri ve askıda katı madde analizi de gerçekleştirilmiştir.

7.1. Akı Değerleri

Çalışmaya başlandığında, ilk olarak membranın akısı ölçülmüştür. Akıyı etkileyen parametreler gözlenmiştir. Çalışmada deney parametreleri olarak basıncın ve sıcaklığın akı üzerine etkileri plastik atık suyu için 25°C ve 30°C’de sırası ile Şekil 7.1 ve 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Plastik atık suyu için 25°C’deki akı (L/m²saat) değerleri



Şekil 7.2. Plastik atık suyu için 30°C’deki akı (L/m²saat) değerleri

Basıncın yürütücü güç olduğu membran arıtım sistemlerinde basıncın artmasıyla akının da artış göstermesi beklenir. Örneğin Şekil 7.1’de 25°C’de 45. dakikada 4 bar’da 22,8 L/m²saat ölçülen akı değeri, 6 bar basınçta 31,6 L/m²saat’e artmıştır. 6 bar’dan 8 bar’a arttırıldığında ise 35.2 L/m²saat olarak ölçülmüş, yani basınç arttıkça akıda artmıştır.

Şekil 7.2’de bir sonraki deney olan 30°C’de 4,6 ve 8 bar’da basınç için kaydedilen değerler gösterilmiştir. Bu deneyin sonucuna bakarsak basıncın artmasıyla akıda beklenen artış gerçekleştiği gözlenmiştir. Örneğin 45. Dakikada 4 barda 22,8 L/m²saat olarak ölçülen akı değeri 6 barda 24,1 L/m²saat, 8 barda 29,5 L/m²saat olarak ölçülmüştür. 30°C’deki 6 ve 8 bar için akı değerlerinin 25°C’ye oranla daha düşük olduğu görülmüştür.

İki farklı sıcaklıkta çalışılan veriler göz önünde bulundurursak aradaki sıcaklık farkının az olduğu için çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Eğer sıcaklık değişimi sonucu,

akı değerlerini aynı basınçlarda değerlendirirsek, sıcaklık artışıyla akıda bir azalma olduğu söylenebilir. Akıdaki azalmanın membran kirlenmesinin sonucu olduğu varsayılabilir. Ancak akı düşüşünün farklı düşük olduğu için membran tıkanıklığı olmadığı kanısına varılmıştır.

Gülcan (2023) tarafından yapılan plastik endüstrisi atık suyunun NF270 membranı ile arıtımı konulu çalışmada basıncın artışıyla akının da arttığı bulunmuştur. Uygulanan 3 farklı basınçta sıcaklık artmasına karşılık akıda bir artış gözlenmemiştir. 30°C’de kaydedilen akı değerlerinin 25°C’de kaydedilen akı değerlerinden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç ise membranın kirlenmesi, bu kirliliklerin membran gözeneklerinin tıkanmış olduğu kanısına varılmıştır.

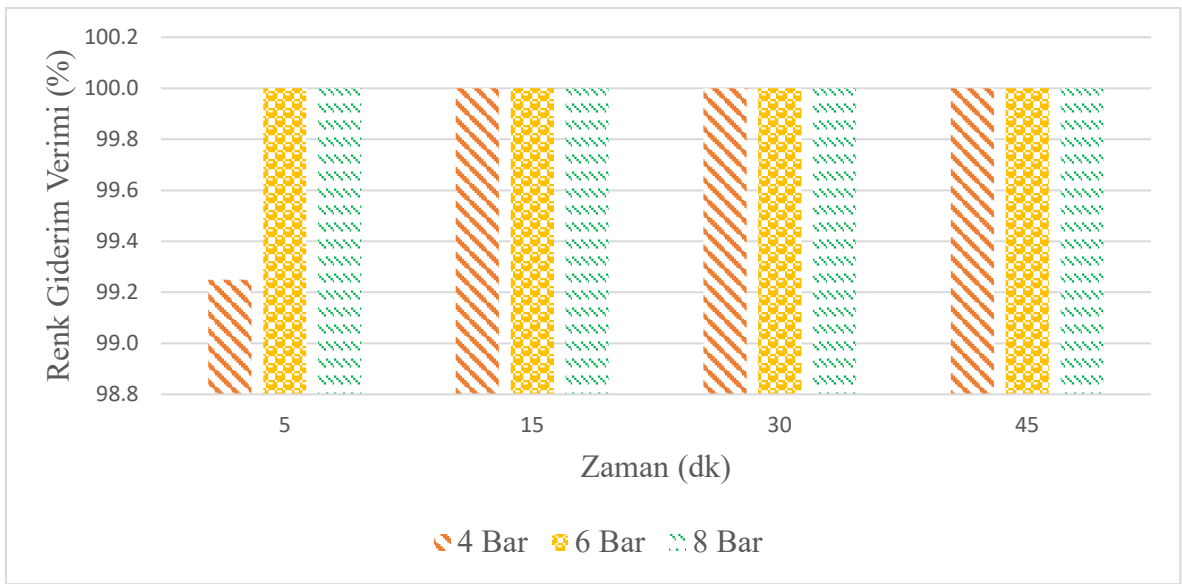
Gong vd. (2012) çalışmalarında, NF270 membranı akısının, 60 dakikalık filtreleme zamanında sonra %60 oranında, NF90 membranı akısının, aynı zaman içinde sadece %20 oranında azaldığını rapor etmişlerdir. Bu düşüş, küçük çaplı gözenekleri sebebi ile NF90’da adsorbe edilemeyen proteinin NF270 membran gözeneklerine adsorpsiyonu şeklinde açıklamışlardır. Ek olarak, Xu vd. de çalışmalarında, membranda gözenek boyutu azaldığında, membran kirlenmesi etkisinin önemli miktarda azaldığını rapor etmişlerdir (Nghiem ve Hawkes, 2007).

7.2. Renk Giderimi Verimleri (%)

Aşağıdaki 2 çizelgede 25°C ve 30°C, 4,6 ve 8 bar basınçta gerçekleştirilen renk giderim analizlerinin sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 7.1’de plastik atık suyu için 25°C’deki (%) renk giderimi değerleri ve Şekil 7.3’te bu değerlerin grafiği gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Plastik atık suyu için 25°C'deki renk giderim verimi (%)

Zaman (dk)	25 °C		
	4 Bar	6 Bar	8 Bar
5	99,2	100	100
15	100	100	100
30	100	100	100
45	100	100	100



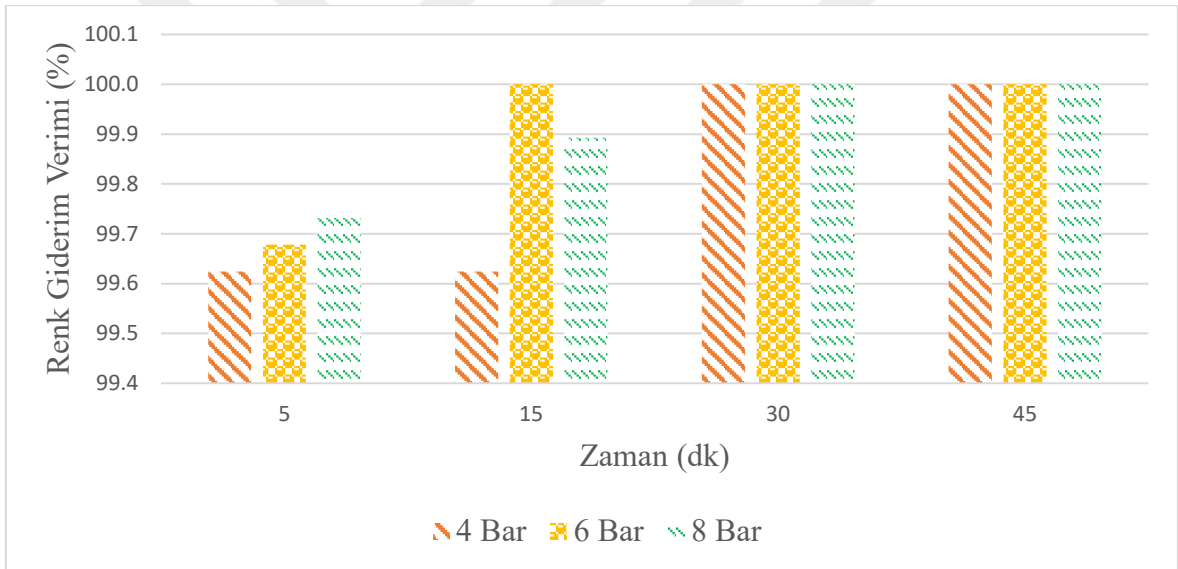
Şekil 7.3. Plastik atık suyu için 25°C'deki (%) renk giderimi verimi

Çizelge 7.1 ve Şekil 7.3'te görülen sonuçlara göre; 25°C'deki (%) renk giderimi verim değerleri incelendiğinde 4 bar basıncı ile yapılan analizler sonucunda 5. dakika sonrasında verim %100 olmuştur. 6 ve 8 bar ile yapılan analizler sonucunda ise renk giderimi ilk andan itibaren %100'dür. En yüksek giderim verim için, basınç arttığında verimin yükseldiği gözlenmiştir.

Çizelge 7.2'da Plastik Atık Suyu için 30°C'deki (%) renk giderim verimleri listelenmiştir. Şekil 7.4'te bu verilerin grafiği verilmiştir.

Çizelge 7.2. Plastik atık suyu için 30°C’deki renk giderim verimi (%)

Zaman (dk)	30 °C		
	4 Bar	6 Bar	8 Bar
5	99,6	99,7	99,7
15	99,6	100	99,9
30	100	100	100
45	100	100	100



Şekil 7.4. Plastik atık suyu için 30°C’deki (%) renk giderimi verimi

Çizelge 7.2 ve Şekil 7.4’te verilen sonuçlarda; 30°C’de renk giderim verimleri incelendiğinde 4,6 ve 8 bar basınçlarda ani düşüş veya artış gözlenmemiştir. 4 ve 8 bar

basınçta verim %100 e ulaşmıştır. 6 bar basınçta ise 15. dakikadan itibaren verim 100% olmuştur.

Sabit basınçta, 25°C’de renk giderimi daha kısa sürede 100% verim ile gerçekleşmiştir. Bu sonuç enerji tasarrufu açısından olumludur.

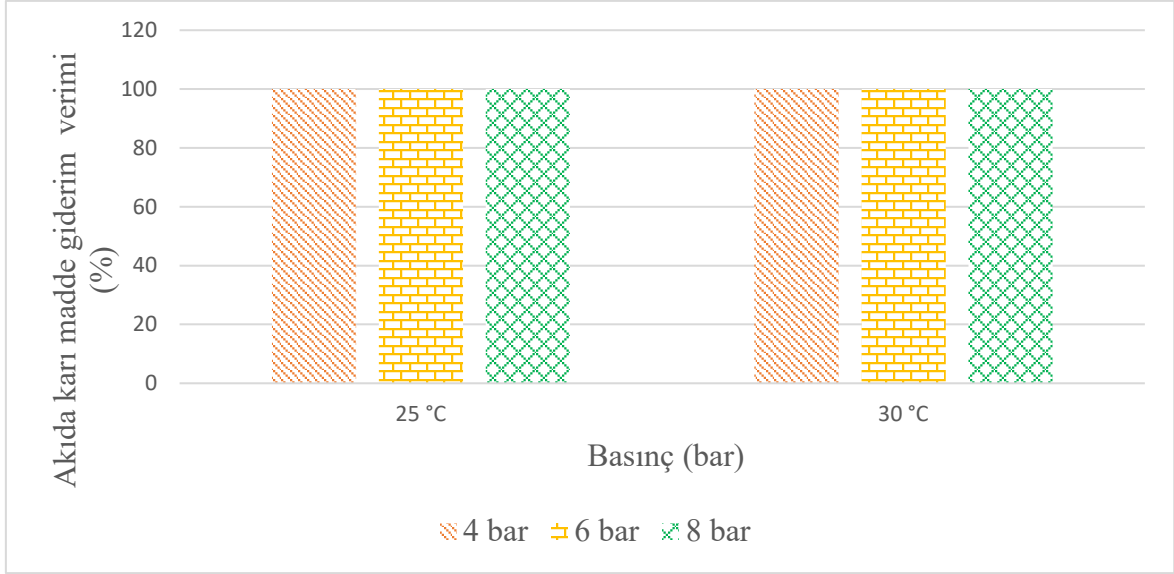
Yurtsever vd. (2020), tekstil atık sularının sonlu filtrasyon sistemiyle ters ozmoz ve nanofiltrasyon membranlarıyla filtrasyonu adlı çalışmasında, renk giderim verimleri karşılaştırması yapılmıştır. Analizde bütün pH’larda NF90 membranıyla %100’lük boya giderimi sağlandığı görülmüştür.

7.3. Askıda Katı Madde Giderim Verimi Ölçümü

Aşağıdaki Çizelge 7.3 ve Şekil 7.5’te askıda katı madde giderimi ölçüm sonuçlarından hesaplanan verimler gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Çizelge 7.3. Plastik atık suyu için askıda katı madde ve giderim verimi (mg/L, %)

Askıda Katı Madde Miktarı ve Giderim Verimi (mg/L , %)				
Ham Atık Su (mg/L)	569			
	25 °C		30 °C	
4 bar	0	100	0	100
6 bar	0	100	0	100
8 bar	0	100	0	100



Şekil 7.5. Plastik atık suyu için askıda katı madde giderim verimi (%)

Tüm basınç ve sıcaklıklarda %100 askıda katı madde giderilmesine ulaşılmıştır.

Kimya sanayiinden plastik madde üretimi atık sularının alıcı ortama deşarj standartlarında askıda katı madde 2 saatlik kompozit numune ölçümleri ile en uygun değer 65 mg/L'dir (SKKY, www.çevreorman.gov.tr). Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen AKM değerlerinin 65 mg/L değerinin altında olduğu gözlemlenmiştir. Atık suyun deşarj için uygun olabileceği sonucuna varılabilir.

Verimin başlangıçta dahi %100 olması, askıda katı madde giderimi verimi için deneyde kullanılan membranın seçiminin doğru olduğunu söyleyebiliriz.

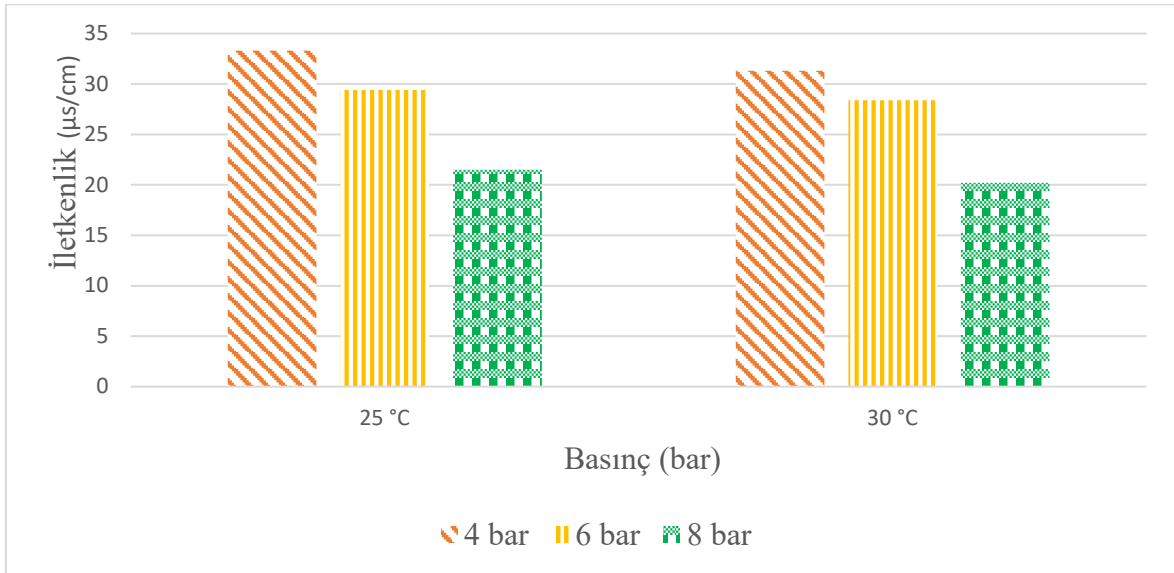
Doğan vd. (2023) tarafından yapılan nanofiltrasyon yöntemiyle kentsel atık su arıtımı çalışmasında, en iyi membran olarak belirlenen NF90 membran ile yürütülen deneyler sonucunda süzüntü akımında toplam koliformun yanısıra askıda katı madde ve fekal koliforma da rastlanmamıştır.

7.4. İletkenlik ve Bulanıklık Ölçümü

Aşağıda bulunan Çizelge 7.4. ve Şekil 7.6'da iletkenlik ve Çizelge 7.5 ve Şekil 7.7'de bulanıklık ölçüm sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.4. Plastik atık suyu için 25°C ve 30°C'deki iletkenlik değerleri (µs/cm)

İletkenlik (µs/cm)		
Ham Atık Su (µs/cm)	53,2	
	25 °C	30 °C
4 bar	33,3	31,3
6 bar	29,4	28,4
8 bar	21,5	20,2



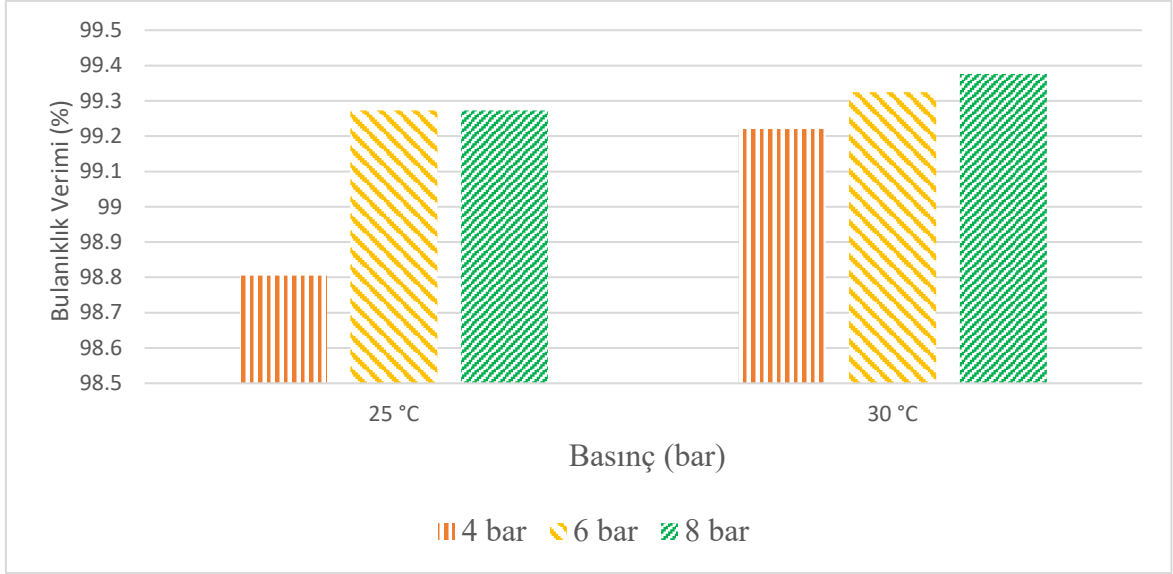
Şekil 7.6. Plastik atık suyu için 25°C ve 30°C'deki iletkenlik değerleri (µs/cm)

Gözlenen değerlerden yola çıkarak, 25°C ve 30°C'deki sıcaklıklar için basınç arttıkça iletkenlik değerinin azaldığı söylenebilir. Ham atık suyun iletkenlik değerini değerlendirildiğinde, 4 bar 25 °C en yüksek iletkenlik değeri kaydedilirken 8 bar 30°C'de en düşük iletkenlik değeri kaydedilmiştir. Bu durumda en verimli çalışma koşulu 8 bar 30°C belirlenmiştir.

Bulanıklık ölçüm verileri incelendiğinde, başlangıçta 1,924 ftu olan ham atık su bulanıklık değeri, 25°C sıcaklıkta basıncın artmasıyla azalmış, verim artmıştır. 30°C'de ise aynı durum gözlenmiştir.

Çizelge 7.5. Plastik atık suyu için 25°C ve 30°C'deki bulanık değerleri ve verimi (ftu - %)

Bulanıklık değerleri ve verimi (ftu - %)				
Ham Atık Su	1,924 ftu			
	25 °C		30 °C	
4 bar	0,023	98,80	0,015	99,22
6 bar	0,014	99,27	0,013	99,32
8 bar	0,014	99,27	0,012	99,37



Şekil 7.7. Plastik atık suyu için 25°C ve 30°C’deki bulanık verimi (%)

Kaydedilen değerlerden yola çıkarak çalışma koşulların bulanıklık giderimi için oldukça uygun olduğu söylenebilir. Tüm koşullarda çok yüksek %99 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. En yüksek bulanıklık giderimi ise 8 bar, 30°C’de elde edilmiştir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şehirleşme, sanayileşme ve artan insan faaliyetlerinin sonucu olarak su kirlenmesinde yüksek artışlar görülmektedir. Artan insan nüfusu ile birlikte suya duyulan ihtiyaç artmış ve atık suların geri kazanımı çok büyük önem kazanmıştır.

Bu deneysel çalışmada, plastik endüstrisinden alınan atık suyun, çapraz akışlı membran filtrasyon sistemi ile nanofiltrasyon yöntemi kullanılarak arıtımını incelemiştir. Atık su içerisinde boyar maddeler de bulunmaktadır. Deneysel çalışma sırasında NF90 membranı kullanılmıştır.

Atık suyun 2 farklı sıcaklık (25°C ve 30°C) ve 3 farklı basınçta (4, 6 ve 8 bar) yapılan analizleri sonucunda basınç arttıkça akı değerinin arttığı görülmüştür. Sıcaklık karşılaştırması yapılacak olursa, sıcaklık arttıkça akı değerinin düşük de olsa azaldığı görülmüştür. Çapraz akışlı membran sistemlerinde, akı basınç ile birlikte artar. Uygulanan 4, 6, ve 8 bar basınçlarında sıcaklık artmasına rağmen akıda bir artış gözlenmemiştir. Aksine akı değeri azalmıştır. Yani 30°C’de kaydedilen akı değerlerinin 25°C’de kaydedilen akı değerlerinden daha düşük olduğu gözlenmiştir. En yüksek akı değeri 35,2 (L/m²saat) olup, 45. dakikada 8 bar 25°C koşullarında kaydedilmiştir.

25°C’de renk giderimi verim sonuçları incelendiğinde 4 bar basıncı ile yapılan analizler sonucunda 5. dakika sonrasında verim %100 olmuştur. 6 ve 8 bar ile yapılan analizler sonucunda ise renk giderimi ilk andan itibaren %100’dür. En yüksek giderim verim için, basınç arttığında verimin yükseldiği söylenebilir. 30°C’de renk giderim verimleri incelendiğinde 4,6 ve 8 bar basınçlarda ani düşüş veya artış gözlenmemiştir. 4 ve 8 bar basınçta verim %100 e ulaşmıştır. 6 bar basınçta ise 15. dakikadan itibaren verim 100% olmuştur. Sabit basınçta, 25°C’de renk giderimi daha kısa sürede 100% verim ile gerçekleşmiştir. Bu sonuç enerji tasarrufu açısından olumlu olarak değerlendirilmiştir.

Yapılan askıda katı madde verimi analizinde tüm basınç ve sıcaklıklarda %100 askıda katı madde giderilmesine ulaşılmıştır. Verimin başlangıçta dahi %100 olması, askıda katı madde giderimi verimi için deneyde kullanılan NF90 membranın seçiminin doğru bir tercih olduğu kanısına varılmıştır.

İletkenlik değerlerine bakıldığında 25°C ve 30°C'deki sıcaklıklar için basınç arttığında iletkenlik değerinin de azaldığı söylenebilir. Ham atık suyun iletkenlik değerini değerlendirildiğinde, 4 bar 25 °C en yüksek iletkenlik değeri, 8 bar 30°C'de en düşük iletkenlik değeri kaydedilmiştir. Bu durumda en verimli çalışma koşulu 8 bar 30°C olduğu görülmüştür.

Bulanıklık ölçüm verileri incelendiğinde, başlangıçta 1,924 ftu olan ham atık su bulanıklık değeri, 25°C sıcaklıkta basıncın artmasıyla azalmış, verim ise artmıştır. 30°C'de ise aynı durum gözlenmiştir. Kaydedilen değerlerden yola çıkarak çalışma koşullarının bulanıklık giderimi için oldukça uygun olduğu söylenebilir. Tüm koşullarda çok yüksek (%99) bulanıklık giderimi elde edilmiştir. En yüksek bulanıklık giderimi ise 8 bar, 30°C'de elde edilmiştir.

Yapılan tüm bu analizler sonuçlarından yola çıkarak, plastik sektörü atık sularının arıtımı için uygun koşullar belirlenmiş ve NF90 membranı bu analizler için uygun bir membran olmuştur.

Son olarak su tüketiminin nüfusla ve birçok başka sebep ile arttığı, su kıtlığının gündem olmaya başladığı son zamanlarda atık suların yeniden kullanımına yönelik çalışmaların önemi giderek artmaktadır. Su geri kazanımı çalışmalarında bu çalışmanın sonuçları neticesinde çapraz akışlı membran sistemleri kullanılabilir sonucuna varılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akarsu, C., Kıdeyş, A. E., & Kumbur, H. (2017), Evsel atık su arıtma tesislerinin sucul ekosisteme mikropplastik tehditi. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi , 73-78.
- Aksungur, N., Firidin, Ş., 2008, Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik, Sumae Yunus Araştırma Bülteni, 8, 2, <https://dergipark.org.tr/en/download/articlefile/204321>, erişim tarihi: 18.12.2023.
- Alkhattab, A., 2020, Süt endüstrisi atık sularının nanofiltrasyon yöntemiyle arıtımı, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 98s.
- Anonim, 2012, Suyun hayatımızdaki yeri ve önemi, https://www.diatek.com.tr/Makale-Yontem/Mikrobiyolojik-Analiz/Suyun-Hayatimizdaki-Yeri-ve-Onemi_270.htm, erişim tarihi: 15.12.2023.
- Anonim, 2020, Su kaynakları yönetimi, <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/fakbal/133020/Su%20Kaynaklar%C4%B1%20Y%C3%B6netimi.pdf>, erişim tarihi: 18.12.2023.
- Anonim, 2023, Su kıtlığının önlenmesinde atık suların geri kazanımının önemi, <https://www.chemya.com.tr/su-kitliginin-onlenmesinde-atik-sularin-geri-kazaniminin-onemi/>, erişim tarihi: 19.12.2023.
- Asan C., Gri suların yeniden kullanımında membran biyoreaktör (MBR) uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Bartels, C., Lai, K., Wilf, M., 2007, New generation of low fouling nanofiltration membranes, 2007 EDS Conference, 11 p.
- Başkan, T., Arıtılmış evsel atıksuların tarımda sulama amaçlı yeniden kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- Başaran, G., 2013, Havacılık sanayisine ait yıkama banyolarından kaynaklanan atıksuların kimyasal yöntemle ve farklı membran filtrasyon sistemleri ile arıtımının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 96s.
- Bektüre, S.I., 2017, Nanofiltrasyon yöntemi ile deri ve zeytinyağı atıksularından renk giderimi, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 54s.
- Bilstad, T., 1997, Membrane operations, Water Science Technology, 36 (2-3), 17-24.
- Bouchareb, R., Derbal, K., Özay, Y., Bilici, Z., Dizge, N., 2020, Combined natural/chemical coagulation and membrane filtration for wood processing wastewater treatment, Journal of Water Process Engineering, 37, 101521, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714420303998>, erişim tarihi: 15.12.2023.
- Bruggen, B. V. D. B., Vandecasteele, C., Gestel, T. V., Doyen, W., Leysen, R., 2003, A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production, Environment Progress, 22, 46–56.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Büyükdere, A., 2008, Tekstil endüstri atıksularının membran teknolojileri ile arıtılması ve geri kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 110 s.
- Üçüncü, O., 2019, Atıksu arıtımı, atıksu deşarjı ve su kirliliği: Trabzon ili örneği, Türk Hidrolik Dergisi, 3, 2, 14-29, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/turhidder/issue/51144/643430> , erişim tarihi: 15.12.2023.
- Demir, Ö., Yıldız, M., Sercan, Ü., Arzum, C. Ş., 2017, Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 2, 1-14, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/346357>, erişim tarihi: 12.12.2023.
- Direk, M., Güngör, L., Acar, R., 2022, Atıksuyun önemi, değeri ve tarım ile ilişkisi, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 5, 47-54, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2149925#:~:text=%C5%9Eehir%20yak%C4%B1n%C4%B1daki%20tar%C4%B1m%20arazilerini%20sulamak,%2D80'ine%20katk%C4%B1da%20bulunabilir.> , erişim tarihi: 10.12.2023.
- Doğan, E.C., Narcı, A.O., Yaşar, A., Topkaya, E., Arslan, A., Veli, S., Kentsel atıksu arıtma tesisi ikinci arıtma çıkış suyundan nanofiltrasyon prosesi ile su geri kazanımı, Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, 9, 2, 355-374, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jarnas/issue/78006/1170160>, erişim tarihi: 16.12.2023.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Erkan, 2017, Plastik ve plastik ürünleri sektörü, <https://www.aso.org.tr/wp-content/uploads/2017/09/11.pdf>, erişim tarihi: 18.12.2023.
- Gülcan, S., 2023, Plastik endüstrisi atıksuyunun NF270 membranı kullanılarak nanofiltrasyon yöntemiyle arıtımı, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 52s.
- Judd, S. J., 2017, Membrane technology costs and me, Water research, 122, 1-9, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135417303846>, erişim tarihi: 10.12.2023.
- Kuzu, E.K., 2018, Reçel ve tekstil endüstrileri atık sularının nanofiltrasyon yöntemiyle arıtımı, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 103s.
- Lonsdale, H.K., (1982). The growth of membrane technology, Journal of Membrane Science, 10, 81-181.
- Oruç, B.K., 2017, Process optimization on clean water recovery from real reactive dyeing effluent by nanofiltration, Middle East Technical University Natural and applied sciences, Degree of master of science, 176p.
- Özcan, E. 2014, Türkiye kıyılarında yüzme suyu profillerinin belirlenmesi ve turizmde atıksu yönetimi, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/tay/webmenu/webmenu13378.pdf>, Erişim Tarihi: 20.12.2024.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Öztürk İ., 2006, 1. Atıksu miktar ve özellikleri, https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/bolum_1-20191127122643.pdf, erişim tarihi: 19.12.2023.
- Ramdani, A., Deratani, A., Taleb, S., Drouiche, N., Lounici, H., 2020, Performance of NF90 and NF270 commercial nanofiltration membranes in the defluoridation of Algerian brackish water, *Desalination and Water Treatment*, 212, 286-296, https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_212_papers/212_2021_286.pdf, erişim tarihi: 16.12.2023.
- Ravanchi, M. T., Kargari A., 2009, New Advances in Membrane Technology, *Advanced Technologies*, <https://www.intechopen.com/chapters/8710>, Jayanthakumaran K. (Ed.), Intech, p. 369-394, erişim tarihi: 16.12.2023.
- Şahinkaya, S., 2017, Plastik geri dönüşüm tesisi atıksularının fenton ve elektro-fenton prosesleri ile arıtımı, *Mühendislik Dergisi*, 8, 3, 631-639, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/445430>, erişim tarihi: 20.12.2023.
- Saleh, T. A., Gupta, V. K., (2016). *Membrane Classification and Membrane Operations, Nanomaterial and Polymer Membranes*, 55-79.
- Salt, Y., Dinçer, S., 2006, Özel ayıtma işlemlerinde bir seçenek: membran prosesleri, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 24, 1-23, <https://sigma.yildiz.edu.tr/article/1225>, erişim tarihi: 18.12.2023.
- Samsunlu, A.(2018), Atıksuların arıtılması. *Birsen Yayınevi*, 5, 726.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Sevilmiş, G., 2012. Ege bölgesi plastik sektörü raporu, AR-GE Bülten sektöre & bölgesel, İzmir Ticaret Odası.
- Sügürtin, U., 2020, Sakaryada bulunan atık su arıtma tesislerinin mikroheslerle kendi elektrik enerjilerini üretme potansiyellerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 83s.
- Tutuoğlu, N., 2019, Sucul ortamlardaki mikroplastiklerin insan sağlığına etkisi ve arıtma yöntemlerinin araştırılması, Uzmanlık tezi, Tarım ve Orman Bakanlığı, 118s.
- Uçar, C., 2019, Konya Atık su arıtma tesisi giriş atık su kimyasal içeriğinin ve ön arıtım ünitesindeki azot ve fosfor gideriminin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 45s.
- Yabalak, E., Ozay, Y., Gizir, A.M., Dizge, N., 2021, Water recovery from textile bath wasterwater using combined subcritical water oxidation and nanofiltration, Journal of Cleaner Production, 290, 125207, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620352513>, erişim tarihi: 15.12.2023.
- Yalçın, H., Gürü, M.(2010) Su teknolojisi, Palme yayıncılık, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/tay/webmenu/webmenu13378.pdf>, erişim tarihi: 22.12.2024.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Yıldız D, 2023, Su kaynakları sonsuz değil. Su kullanımı ve yönetimi paradigmamızı değiştirmeliyiz, <https://supolitikalaridernegi.org/2023/02/01/su-kaynaklari-sonsuz-degil-su-kullanimi-ve-su-yonetimi-paradigmamizi-degistirmeliyiz/>, erişim tarihi: 16.12.2023.
- Yürekli, Y., Polatoğlu, İ., Baştürk S. B., 2015, Filtrasyon Membranların Üretim ve Karakterizasyon Yöntemleri, CBÜ Fen Bil., 11, 2, 175-181, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/206483>, erişim tarihi: 10.12.2023.
- Yurtsever, A., Uçar, D., Şahinkaya, E., 2020, Tekstil endüstrisi atıksularının sonlu filtrasyon sistemi ile nanofiltrasyon ve ters ozmoz membranları kullanılarak filtrasyonu, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 9, 2, 875-891, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlisfen/issue/54927/597691>, erişim tarihi: 16.12.2023,
- Zulaikha, S., Lau, W.J., Ismail A.F., Jaafar, J., 2014, Treatment of restaurant wastewater using ultrafiltration and nanofiltration membranes, Journal of Water Process Engineering, 2, 58-62, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714414000336>, erişim tarihi: 15.12.2023.