

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI:
MURATLI ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ÖRNEĞİ

Sümeyra YAKA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Eyüp DEBİK

Şubat, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI: MURATLI
ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ÖRNEĞİ**

SümeYra YAKA tarafından hazırlanan tez çalışması 14.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Eyüp DEBİK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Eyüp DEBİK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yaşar AVŞAR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK, Üye
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

Danışmanım Prof. Dr. Eyüp DEBİK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Endüstriyel Atıksuların Geri Kazanımı: Muratlı Organize Sanayi Bölgesi Örneği” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

SümeYra YAKA



Aileme

ve

değerli arkadaşlarıma

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam kapsamında değerli bilgi, deneyim ve zamanını benimle paylaşan, Yüksek Lisans yolculuğumda her türlü gelişimime destek olan, her türlü sorumu içtenlikle cevaplayan, desteği ve yol göstericiliği için Danışmanım Prof. Dr. Eyüp DEBİK'e, bundan sonraki hayatımda da kullanacağım tüm değerli katkılarından dolayı sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca yanımda olan, her zorlandığımda bana cesaret veren, desteğini esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Elif GEDİKOĞLU ve Elif Sena UYAL'a teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim en kıymetlilerim, ailem; babam Abdullah YAKA, annem Hacer YAKA, ablam Havva YAKA ve erkek kardeşim Emir YAKA'ya bana verdikleri tüm desteklerden dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, akademik hayatım devam ederken mesleki anlamda da gelişimime katkı sağlayarak ilerlememi sağlayan, eğitim hayatıma olan desteğini, ilgisini ve yardımlarını her zaman hissettiğim değerli müdürlerim Tekirdağ Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürü Kaan Sinan TOHUMCU ve Tekirdağ Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Çevre Yönetim ve Denetim Şube Müdürü Ahmet FİDAN'a teşekkür ederim.

Sümeyra YAKA

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iiv
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
2 SUYUN ÖNEMİ	4
2.1 Dünyada Suyun Önemi	4
2.2 Türkiye’de Suyun Önemi	6
2.3 Su Yönetimi	7
3 MURATLI ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ	9
3.1 Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Kavramı	9
3.1.1 Türkiye’deki Organize Sanayi Bölgeleri	10
3.1.2 Muratlı Organize Sanayi Bölgesi	12
3.1.3 Fiziksel (Birincil&Mekanik&Ön) Arıtma	19
3.1.4 Biyolojik Arıtma	23
3.1.5 Kimyasal Arıtma	29
3.1.6 Çamur Susuzlaştırma	30
4 ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI	33
4.1 Endüstriyel Atıksuların Geri Kazanımı	33
4.2 Membran Teknolojileri ve Su Arıtma	36
4.2.1 Membran Prosesleri	37
4.2.2 Endüstriyel Atıksu Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri	44
4.3 Endüstriyel Simbiyoz	52

4.3.1 Endüstriyel Simbiyozda Su Yeniliği.....	53
5 MATERYAL METOD	54
5.1 Ultrafiltrasyon.....	57
5.1.1 Ultrafiltrasyon Çalışma Prensibi.....	58
5.2 Aktif Karbon.....	61
5.3 Ters Osmoz.....	64
5.3.1 Ters Osmoz Çalışma Prensibi.....	65
5.4 Geri Kazanım Ünitesi Akış Diyagramı.....	68
5.5 Geri Kazanılmış Suyun Dağıtım Tasarımı.....	70
5.5.1 Boru Metrajı ve Maliyeti	70
5.5.2 Kazı ve Dolgu Metrajı ve Maliyeti	71
6 BULGULAR VE TARTIŞMA	73
6.1 Geri Kazanılmış Suyun Dağıtım Şebekelerinde Maliyet Analizi	73
6.2 Geri Kazanım Tesisi İlk Yatırım Maliyet Analizi	75
6.3 Geri Kazanım Tesisi İşletme Maliyet Analizi	76
6.4 Geri Kazanım Tesisi Amortisman Hesabı	79
7 SONUÇ VE ÖNERİLER	81
KAYNAKÇA	83
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	96

SİMGELİSTESİ

\$	ABD Doları
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
μ	Mikro
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde



KISALTMA LİSTESİ

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	Askıda Katı Madde
ASC	Antiskalant
A ² O	Anaerobik/Anoksik/Oksik
BM	Birleşmiş Milletler
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CIP	Clean in Place
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirme
ED	Elektrodiyaliz
EDI	Elektrodeiyonizasyon
ES	Endüstriyel Simbiyoz
FO	İleri Osmoz
g	Gram
HRT	Hidrolik Bekletme Süresi
kg	Kilogram
km	Kilometre
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
kWh	Kilowatt Saat
L	Litre
m	Metre
Max	Maksimum
MBR	Membran Biyoreaktör
MC	Membran Kontaktör
MD	Membran Distilasyonu
MF	Mikrofiltrasyon
mg/L	Miligram Litre
Min	Minimum
mm	Milimetre
MWCO	Moleküler Ağırlığı Ayırma Sınırı
NF	Nanofiltrasyon

NS	Belirtilmemiş
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
P	Fosfor
PAN	Poliakrilonitril
PAO	Polifosfat Biriktiren Organizmalar
PEI	Polieterimid
PES	Polietersülfon
PHA	Polihidroksialkanoatlar
Pt-Co	Platin Kobalt
PTFE	Politetrafloroetilen
PV	Pervaporation
PVC	Polivinil Klorür
SDG	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TESKİ	Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi
TKN	Toplam Kjeldah Azotu
TL	Türk Lirası
TO	Ters Osmoz
TP	Toplam Fosfor
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UF	Ultrafiltrasyon

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Sürdürülebilir kalkınma hedefleri	6
Şekil 3. 1 Muratlı OSB.....	12
Şekil 3. 2 Muratlı OSB sanayi parselleri dağılımı.....	13
Şekil 3. 3 Muratlı OSB endüstri kategorizasyonu	14
Şekil 3. 4 Muratlı OSB AAT üstten görünüşü.....	15
Şekil 3. 5 Vaziyet planı.....	18
Şekil 3. 6 Genel akım şeması.....	19
Şekil 3. 7 Kaba ızgara ünitesi	20
Şekil 3. 8 Giriş terfi merkezi	20
Şekil 3. 9 İnce ızgara ve ızgara pres ünitesi	21
Şekil 3. 10 Havalandırma kum ve yağ tutucu ünitesi	22
Şekil 3. 11 Dengeleme havuzu	23
Şekil 3. 12 Biyolojik arıtma kademeleri	25
Şekil 3. 13 Anaerobik biyofosfor havuzları.....	26
Şekil 3. 14 Havalandırma havuzları	26
Şekil 3. 15 Aktif çamur prosesi	27
Şekil 3. 16 A ² O prosesi.....	28
Şekil 3. 17 Biyolojik çöktürme havuzu ve geri devir hattı	29
Şekil 3. 18 Hızlı ve yavaş karıştırma ünitesi	30
Şekil 3. 19 Kimyasal çöktürme havuzu	30
Şekil 3. 20 Dekantörler.....	32
Şekil 4. 1 Gözenek boyutuna ve tutulan türlere göre membranların sınıflandırılması.....	43
Şekil 4. 2 Tekstil üretiminde yer alan süreçler	45
Şekil 4. 3 Tekstil atıksuyunun membran proseslerle arıtılması.....	47
Şekil 4. 4 Su ve besin geri kazanımı.....	48
Şekil 5. 1 Akış diyagramı.....	56
Şekil 5. 2 Ultrafiltrasyon çalışma prensibi	58
Şekil 5. 3 Aktif karbon filtre minerali	62
Şekil 5. 4 Ters osmoz membran kabı dizilimi	64
Şekil 5. 5 Ters osmoz	65

Şekil 5. 6 Dağıtım hattı vaziyet planı	71
---	-----------



TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1	Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli	7
Tablo 3. 1	Organize sanayi bölgeleri su göstergeleri 2010-2018.....	10
Tablo 3. 2	Organize sanayi bölgeleri atıksu göstergeleri 2010-2018.....	11
Tablo 3. 3	Muratlı OSB AAT atıksu debiler.....	15
Tablo 3. 4	Muratlı OSB AAT giriş suyu dizayn parametreleri.....	16
Tablo 3. 5	SKKY tablo 19 Karışık endüstriyel atıksuların alıcı ortama deşarj standartları (küçük ve büyük organize sanayi bölgeleri ve sektör belirlemesi yapılmayan diğer sanayiler)	17
Tablo 4. 1	Membran proseslerinin genel özellikleri.....	37
Tablo 4. 2	MF membranların sektör uygulama alanları.....	39
Tablo 4. 3	UF membranların sektör uygulama alanları	40
Tablo 4. 4	NF membranların sektör uygulama alanları	41
Tablo 4. 5	TO membranların sektör uygulama alanları	42
Tablo 4. 6	Membran prosesleri avantaj/dezavantaj.....	43
Tablo 4. 7	Gıda endüstrisi atıksu arıtımında kullanılan farklı teknolojilerin KOİ, BOİ ve AKM giderim verimlilikleri	51
Tablo 5. 1	Muratlı OSB AAT giriş ve çıkış su kalitesi	54
Tablo 5. 2	Hamsu besleme pompası	57
Tablo 5. 3	Koagülant dozaj sistemi.....	57
Tablo 5. 4	Mekanik filtre	57
Tablo 5. 5	Ultrafiltrasyon sistemi.....	59
Tablo 5. 6	UF kimyasal yıkama ve ters yıkama sistemi	60
Tablo 5. 7	Ters yıkama asit dozaj sistemi.....	60
Tablo 5. 8	Ters yıkama kostik dozaj sistemi.....	60
Tablo 5. 9	Ters yıkama klor dozaj sistemi	61
Tablo 5. 10	Ters osmoz su besleme pompası.....	61
Tablo 5. 11	Aktif karbon filtre ünitesi	63
Tablo 5. 12	ASC dozaj sistemi.....	63
Tablo 5. 13	Asit dozaj sistemi.....	64
Tablo 5. 14	Ters osmoz sistemi.....	65
Tablo 5. 15	Otomatik durulama & CIP sistemi.....	67
Tablo 5. 16	Boru metrajı	71

Tablo 5. 17 Kazı metrajı.....	72
Tablo 5. 18 El ile dolgu metrajı	72
Tablo 5. 19 Makine ile dolgu metrajı.....	72
Tablo 6. 1 Boru maliyeti.....	73
Tablo 6. 2 Kazı maliyeti.....	74
Tablo 6. 3 El ile dolgu maliyeti.....	74
Tablo 6. 4 Makine ile dolgu maliyeti	74
Tablo 6. 5 Toplam dolgu (el ve makine) maliyeti.....	74
Tablo 6. 6 Kazı malzemesi taşıma maliyeti	74
Tablo 6. 7 Boru taşıma maliyeti.....	75
Tablo 6. 8 Toplam altyapı maliyeti.....	75
Tablo 6. 9 Geri kazanım tesisi toplam ilk yatırım maliyeti.....	76
Tablo 6. 10 Geri kazanım tesisi toplam işletme maliyeti.....	76
Tablo 6. 11 Arıtılmış su kalite değerleri	77
Tablo 6. 12 Şebeke suyu ile geri kazanılmış su birim fiyat karşılaştırması	78
Tablo 6. 13 Kuyu suyu ile geri kazanılmış su birim fiyat karşılaştırması.....	79
Tablo 6. 14 Geri kazanım tesisi amortisman hesabı	80
Tablo 6. 15 Geri kazanım tesisi yıllık toplam kâr.....	80

Endüstriyel Atıksuların Geri Kazanımı: Muratlı Organize Sanayi Bölgesi Örneği

SümeYra YAKA

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Eyüp DEBİK

Su, insan hayatının ve canlılığın devam edebilmesi için temel unsurların başında gelmektedir. Günümüzde sanayileşmenin hızlı olmasıyla mevcut su kaynakları tükenmekte ve kirlenmektedir. Geri kazanılmış suyun kullanımı, su kaynaklarının korunmasında ve artan su talebinin karşılanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada; Muratlı OSB (Organize Sanayi Bölgesi) AAT (Atıksu Arıtma Tesisi) çıkış sularının UF ve TO membran teknolojileri kullanılarak geri kazanılması ve elde edilen suyun kalitesine bağlı olarak OSB içinde 3 farklı sektörde yeniden kullanılması için yapılacak yatırım ve işletme birim maliyetlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Planlanan geri kazanım tesisi ilk yatırım ve işletme maliyeti dikkate alınarak geri kazanılmış su üretim bedeli 41,2 TL (\$1.42) olarak belirlenmiştir. Halihazırda OSB’de bulunan firmalar faaliyetleri için ihtiyaç duydukları suları şebekeden ve kuyudan sağlamaktadır. Kuyu suyu kullanan sanayi abonelerinin kuyu suyu kullanımını sınırlayabilmek için kuyu suyunun birim bedelinin 1-20 m³ kademe aralığında m³ başına 22 TL (\$0.76), 21-40 m³ için 32 TL (\$1.1) ve 41 m³ ve üzeri kullanımda 50 TL (1.73\$) ile bedellendirileceği varsayımı

yapılmıştır. Debiye bağı olarak şebeke-kuyu-geri kazanılmış su kullanım ücreti maliyet hesapları karşılaştırıldığında, geri kazanılan suyun kullanımının ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu sonucu elde edilmiştir. Ayrıca geri kazanım tesisi ilk yatırım maliyetini su üretim ücreti dikkate alınarak 48 ayda kendini amorti edeceği belirlenmiştir. Arıtılmış suların geri kazanımının su kaynaklarının sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağlayacağı gözönüne alındığında özellikle kuyulardan bilinçsiz su çekilmesinin önüne geçilmesi gerektiği ifade edilmelidir. Bunun için kuyulara su sayacı bağlanarak fiyatlandırma yapılması, hem mevcut su kaynaklarımızın korunmasını hem de geri kazanılmış su kullanımının sanayiciler tarafından tercih edilmesini sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, endüstriyel atıksu, geri kazanım, organize sanayi bölgesi.

Recovery of Industrial Wastewater: An Example for Muratlı Organized Industrial Zone

SümeYra YAKA

Department of Environment Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Eyüp DEBİK

Water is one of the most fundamental elements for human life and survival. With rapid industrialization, existing water resources are being depleted and polluted. The use of recycled water is importance in terms of protecting water resources and meeting the increasing water demand. In this study; it is aimed to determine the investment and operating unit costs for the recovery of Muratlı Organized Industrial Zone (OIZ) WWTP (Wastewater Treatment Plant) effluent by using UF and TO membrane technologies and reuse in 3 different sectors within the OIZ depending on the quality of the water obtained. Considering the initial investment and operation cost of the planned recycling plant, the cost of recycled water production was determined as 41.2 TL (\$1.42). Currently, companies in the OIZ obtain the water they need for their activities from the network and wells. In order to limit the use of well water by industrial subscribers using well water, it is assumed that the unit price of well water will be 22 TL (\$0.76) per m³ in the 1-20 m³ tier range, 32 TL (\$1.1) for 21-40 m³ and 50 TL (\$1.73) for 41 m³ and above. When the cost calculations of network-well- recovered water usage fee depending on the flow rate are compared, it is concluded that the use of recovered water is economically feasible. In addition, it was determined that the initial investment cost of the

recovery plant will pay for itself in 48 months, considering the water production fee. Considering that the recovery of treated water will contribute significantly to the sustainability of water resources, it should be stated that unconscious water withdrawal from wells should be prevented. For this purpose, connecting water meters to wells and pricing them will both protect our existing water resources and ensure that the use of recycled water is preferred by industrialists.

Keywords: Wastewater, industrial wastewater, recovery, organized industrial zone.



1.1 Literatür Özeti

Organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisleri karışık endüstriyel atıksuların arıtılmasında ve arıtılan suyun istenilen deşarj standartlarını sağlayacak şekilde alıcı ortama verilmesinde büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda su kaynaklarının sınırlı oluşu ve gün geçtikçe azalması, su kullanımı ve maliyetinin artması bununla birlikte atıksuların insan ve çevre sağlığına karşı tehdit oluşturmaması için endüstriyel atıksuların geri kazanılıp yeniden kullanılabilir potansiyeli sürdürülebilir üretim için alternatif bir kaynak olarak değerlendirilmesi önemli faktörler haline gelmiştir. Atıksuların geri kazanımı yalnızca maliyetlerin karşılanmasına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda çevre kirliliğini azaltırken daha fazla gıda, enerji ve su üretmek için döngüsel biyoekonominin temelini de sağlar (Karimi Estahbanati ve diğerleri 2021). Diğer taraftan geri kazanıma olan ilginin ve ihtiyacın giderek daha çok artması, alternatif ve ileri arıtma teknolojilerinin araştırılıp uygulanması ve bu teknolojiler üzerinde yapılacak olan yenilik çalışmalarını ön plana çıkararak teşvik etmektedir (Nandy ve diğerleri, 2007).

Genel olarak büyük miktarda su tüketen endüstrilerin, atıksularının yeniden kullanılması konusunda daha büyük bir potansiyele sahip olduğu açıktır. Membran teknolojisi, suyun geri kazanımında işletme maliyetlerinden ve su tüketiminden tasarruf sağladığı için geleneksel arıtma işlemlerine uygun bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Kim ve diğerleri, 2005).

Membran biyoreaktör (MBR), mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (TO) gibi membran proseslerinin kullanılması ve bunların entegrasyonu, etkinlikleri ve ekonomik uygulanabilirlikleri sebebiyle geri kazanılmış suyun yeniden kullanımı için potansiyel bir alternatiftir. Bu prosesler atıksu arıtımında kimyasal kullanımının azaltılması açısından da önemlidir (Xiao ve diğerleri, 2014).

Membran teknolojilerinin arıtma prosesleri benzer olmakla beraber ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz teknolojilerin tersine suyun kimyasal yapısında hiç bir etki yapmadan su içerisindeki bütün fiziksel özelliklerinde yüksek seviyede

iyileştirme yapar. Ters osmoz (TO) membranları kirlenmeye karşı çok hassas olduğundan, etkili bir ön arıtma olarak ultrafiltrasyonun (UF) olması kirlenmeyi ve ortaya çıkan süzöntü akışını azalttığından, ters osmoz için etkili ön işlem haline gelmiştir (Clever ve diğerleri, 2000; Qin ve diğerleri, 2002). Ancak ön arıtmanın seçimi büyük ölçüde besleme suyunun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik niteliklerine bağlıdır. Qin ve diğerleri (2002), bir ön ultrafiltrasyon (UF) adımının ters osmoz (TO) membranlarının kirlenmesini azaltacağını ve uzaklaştırma işleminin verimliliğini artıracığını öne sürmüştür. Örneğin ultrafiltrasyon (UF), bir ters osmoz (TO) membranının, membran bakımının %20 oranında azaltılmasına imkan tanıyacaktır (Redondo, 2001). Bir başka çalışmada; mevcut MBR prosesine TO membran entegre edilmesi ile oluşan membran sisteminde ortalama su geri kazanımı %64 olduğu, TO membran ile elde edilen ürün suyu kalitesinin tüm parametreler için birinci sınıf su kalitesi ile uyum sağladığı endüstriyel kullanıma yönelik besleme sularının soğutulması ile kâğıt hamuru ve kâğıt, tekstil endüstrileri için proses suyu özellikleri ile karşılaştırıldığında membranların yeterli kalite standartlarını sağladığı ortaya konulmuştur (Gündoğdu ve diğerleri, 2019).

Ultrafiltrasyon (UF) ve ters osmoz (TO) kombinasyonu ile oluşturulan arıtma prosesleri, endüstriyel atıksuların geri kazanımı/yeniden kullanımı açısından etkin olarak uygulanmaktadır. Deneysel ve teorik olarak yapılan çalışmalar genel olarak atıksuyun geri kazanımında ters osmoz membran teknolojisi aktif olarak kullanılmaktadır. Ters osmoz membran, endüstriyel atıksuyun geri kazanımında çoğunlukla ultrafiltrasyon veya nanofiltrasyon kombinasyonu ile arıtma prosesi birlikte kullanılmaktadır.

Sonuç olarak literatürdeki bilgilere göre; endüstriyel atıksuların geri kazanımında ileri kademe arıtma olarak ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranların kombinasyonu ile oluşturulan arıtma proseslerinin başarılı bir şekilde yeniden kullanılabilirlik çıkış suyu kalitesine ulaştıkları gözlenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, Muratlı OSB atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun ileri kademe teknolojiler uygulanarak geri kazanımının sağlanması amaçlanmıştır. Arıtılmış suyun istenilen kalitede olması için kombine ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları kullanılmıştır. Geri kazanılan suyun organize sanayi bölgesi içinde

bulunan faaliyet konuları farklı 3 sektör için (karton üretimi, kumaş boyama ve ham ve rafine yağ üretimi) su kullanım alanlarına bağlı olarak yeniden kullanımı belirlenmiştir. Ayrıca geri kazanılan suyun firmalara dağıtımının sağlanması için altyapı özellikleri belirlenerek maliyet hesabı yapılmıştır. Kullanılacak olan membranların işletme ve yatırım maliyetleri hesaplanarak ilave arıtma kademelerinin maliyetleri ortaya konmuş ve birim atıksu geri kazanım maliyeti belirlenmiştir. Sektörlerin üretimde su kullanım ihtiyaçlarını su kaynağı olarak şebekeden ve/veya kuyudan sağlamasını azaltmak için geri kazanılmış suyun kullanımının teşvik edilmesi tavsiye edilmiştir. Böylelikle endüstrilerde su yönetimi, su kaynaklarının kullanımının ekonomikleştirilmesi ve rasyonelleştirilmesine yönelik bir yaklaşım sergilenmiştir. Ayrıca gelecek çalışmalar için değerli bir bilgi birikimi sağlanmıştır.

1.3 Hipotez

Organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisi çıkışında ultrafiltrasyon (UF) ve ters osmoz (TO) kombinasyonu ile oluşturulan arıtma sistemi kullanılarak geri kazanılan suyun ücretlendirilmesi ve kuyuların sayaçlandırılarak kuyu suyu bedelinin şebeke suyu birim fiyatına yakın bir bedelle fiyatlandırılması geri kazanılmış su kullanımının tercih edilebilirliğini artıracak olup atıksuların geri kazanımının sürdürülebilir avantajlı bir alternatif olmasını sağlayacaktır.

2.1 Dünyada Suyun Önemi

İnsan ve canlı hayatının devam edebilmesi için su temel unsurların başında gelmektedir. Günümüzde sanayileşmenin artması sebebiyle halihazırdaki su kaynakları hızla kirlenmekte ve tükenmektedir (Ögenler ve Okuyaz, 2017). Küresel olarak çevre kirlenmesi devam ettikçe su sorunu artmaktadır. 2.3 milyar insan (küresel nüfusun % 29'u) güvenli ve sağlıklı bir şekilde yönetilen suya erişimden yoksun olup 721 milyon insan ise yüksek ve kritik düzeyde su kıtlığı olan ülkelerde yaşamaktadır (World Health Organization, 2017). Diğer taraftan; sürekli olarak gelişen ve değişen sosyoekonomik faktörlerin, su kalitesinin bozulmasına ve su kıtlığı gibi zorluklarla dünyadaki su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Günümüzde küresel olarak su kaynaklarına yönelik talep önemli ölçüde artmaktadır (Hoekstra, 2014; Y. Zhang ve diğerleri, 2017).

Su talebi dünya genelinde artmasına rağmen, yerel su kaynaklarının kapasitesi artmamaktadır. Hatta su kütlelerinin ve toprağın kirlenmesi, suyun aşırı çekilmesi ve iklim değişikliğinin sebep olduğu etkilerle dünyanın pek çok yerinde su kaynakları azalmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin sebep olduğu kuraklık durumları, su talebi ile mevcut su miktarı arasındaki açığı artırmaktadır. Yerel su talebini karşılamak için yeraltı suyunun aşırı çekilmesi, su kıtlığı sorununu azaltacak gibi düşünülse de aslında sürdürülemez bir çözümdür. Okyanusa yakın bölgelerde aşırı su çekimi, deniz suyu girişine ve sonrasında yeraltı suyu tuzluluğunun artmasına sebep olmaktadır. Buzulların erimesinin sebep olduğu yükselen deniz seviyesi, deniz suyunun sadece akiferlere değil, aynı zamanda nehir ağızlarına da girmesini sağlar. Ayrıca aşırı zirai ilaç ve gübre kullanımı, katı ve sıvı atıkların kontrolsüz bir şekilde araziye boşaltılması yeraltı ve yerüstü sularının bozulmasına sebep olmaktadır. 21. yüzyılda su yönetimi, geçmiş yıllara kıyasla çok daha büyük ve çok daha karmaşık bir sorun olarak karşı karşıya kaldığı en büyük zorluklardan biri olmuştur ve olmaya devam edecektir. Talep tarafındaki hızlı artışa ve arz tarafındaki hızlı kapasite ve kalite

kaybına yanıt olarak su yönetimi ve su teknolojisine yeni bir yaklaşım gerekmektedir (Wilderer, 2011).

Su kıtlığı sorunu ve sürdürülebilir su kullanımını sağlama ihtiyacı, su yöneticileri ve politikacılar için devamlı olarak dikkate alınması ve değişen şartlara bağlı politikaların güncellenmesi ihtiyaç duyulan önemli konu haline gelmiştir (Li ve diğerleri, 2022).

Su kıtlığı uzun zamandır bir sorun olmasına rağmen, küresel su kaynaklarına ilişkin tartışmalarla ancak 1997 yılında gerçekleşen Birinci Dünya Su Formu (First World Water Form) ve 2002 yılında gerçekleşen Sürdürülebilir Kalkınma Dünya Zirvesi (The World Summit on Sustainable Development) gibi toplantılarla uluslararası kalkınma ve çevre politikaları bağlamında “Dünyanın Ortak Mirası Su” olarak belirlenmiş ve merkezi bir konu haline gelmiştir.

Sonuç olarak, 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündeminin (Agenda for Sustainable Development) merkezinde güvenli ve yeterli suya erişim ortaya çıkmıştır (Şekil 2.1). Burada, suyun temel bir insani gereklilik olmasının yanı sıra, mevcut su miktarının ve su yönetiminin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDGs) genel başarısında kilit bir rol oynadığı kabul edilmiştir (Dalstein ve Naqvi, 2022).

Su kaynaklarının küresel dağılımı dengeli değildir. Farklı bölgelerde ve ülkelerde farklı miktarlarda su kaynakları bulunmaktadır. Bazılarında bu oran yüksek miktarlarda olup bazılarında ise ciddi eksiklikler vardır. İnsanların çevre ile olan ilgilerinin artması sonucu küresel ekolojik çevre tüm dünya ülkelerinde daha fazla ilgi görmeye başlamış olup, bu durum toplumların atıksu geri kazanımına daha fazla önem vermesine sebep olmaktadır. Geri kazanımının en önemli adımlarından biri, geri kazanılmış suyun farklı alanlarda kullanımı için kullanıcıların bilinçlendirilmesi ve suyun geri kullanımının teşvik edilmesidir. Geri kazanılmış suyun kullanımı, su kaynaklarının korunmasının önemli bir yöntemi olup, artan su talebinin karşılanması açısından büyük önem arz etmektedir (Li ve diğerleri, 2022).

Geri kazanım, su kaynaklarının verimli kullanımının sağlanması ve su kıtlığı sorununun hafifletilmesine yardımcı olabilir. Geri kazanılmış su halihazırda birçok ülkede tarım ve bahçe sulama, endüstriyel, sanayi suyu, yeraltı sularının suni beslenmesi, inşaat gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhao ve diğerleri, 2022).



Şekil 2. 1 Sürdürülebilir kalkınma hedefleri (Genius Watter)

2.2 Türkiye’de Suyun Önemi

İklim değişikliğinin etkileri sebebiyle, dünyada su en önemli doğal kaynaklardan biri haline gelmiştir. Bu açıdan su kaynaklarının korunması dünya için en kritik konulardan biridir. Günümüzde doğalgaz ve petrol konusunda yaşanan rekabetlerin gelecekte su konusunda da yaşanması muhtemeldir (Amery, 2002).

Dünya yüzeyinin %70’inden fazlası sularla kaplı olmasına rağmen, canlılığın devam etmesi için ihtiyaç duyulan su (tatlı su) miktarı azdır. Dünya üzerindeki toplam tatlı su miktarı yaklaşık 35 milyon km³ olup, bunun sadece %0,3’ü (yaklaşık olarak 115.000 km³) ekosistem ve insan kullanımına elverişli tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır. Geri kalan tatlı sular çoğunlukla yeraltı rezervleri, buzullar ve kutuplarda bulunmaktadır (Fekete, 2013). Ülkemiz için baktığımızda halihazırdaki su kaynaklarının kullanımı ve değerlendirilmesi konusundaki faaliyetleriyle Türkiye bulunduğu coğrafyada mevcut su miktarı açısından zengin ülkelerden biri olarak gözükmese de, sahip olduğu topoğrafyasındaki düzensizlikler, havza ortalama eğimlerinin yüksek olması, su kaynaklarının yönetim konusunda sıkıntı yaşaması, yeraltı su miktarının %15,5 oranına düşmesi ve suya olan talebin artması gibi sebeplerden dolayı yakın zamanda su sorunu yaşamaya aday bir ülke haline gelecektir (Demir ve diğerleri, 2017; Usta, 2016).

Türkiye'nin yüzölçümü toplam 783.577 km² olup üç tarafı su ile çevrili olsa da tatlı su kaynakları açısından zengin değildir. Ülkemizde yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 2020 yılında 1346 m³'tür (Devlet Su İşleri [DSİ], 2020). Kişi başına düşen kullanılabilir su miktarına göre ülkeler su fakiri, su azlığı çeken ve su zengini ülkeler olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1000 m³'ten az ülkeler su fakiri; 1000-2000 m³ arasında olan ülkeler su stresi çeken ve 2000 m³'ten fazla ülkeler ise su zengini olarak tanımlanmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda Türkiye, kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı açısından su stresi çeken ülkeler arasında yer almaktadır. Ayrıca Türkiye'nin yağış oranı dünya ortalamasının altında olması, hızlı göç artışının olması ve söz konusu iklim değişikliklerinin yaşanması kişi başına kullanılabilir su miktarına bakıldığında, tablonun giderek bozulmasına sebep olmaktadır (Demir ve diğerleri, 2017).

Türkiye'de ortalama kişi başına kullanılabilir su miktarı 2030 yılında 1100 m³ olacağı tahmin edilmekte olup bu durum Türkiye'yi su fakiri sınırında olan bir ülke konumuna getirecektir (Aküzüm ve diğerleri, 2010). Bu sebeple ülkemizde su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetimi ve kullanımı önem taşımaktadır. Ülkemizin su kaynakları potansiyeli Tablo 2.1' de gösterilmiştir.

Tablo 2. 1 Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli (DSİ, 2020)

SU POTANSİYELİ	
Yıllık ortalama yağış	574 mm/yıl
Yıllık yağış miktarı	450 milyar m ³
Yıllık yüzey akışı	112 milyar m ³
Kullanılabilir yüzey suyu	94 milyar m ³
Yıllık çekilen su miktarı	18 milyar m ³
Toplam kullanılabilir su miktarı	186 milyar m ³

2.3 Su Yönetimi

İklim değişikliği ve nüfus artışının sonuçlarından biri su kaynaklarında yetersizliğin ortaya çıkmasıdır. Yıllarca süren sürdürülemez politikalar ve aşırı kullanımı sonucunda, dünya nüfusunun yarısından fazlası (%57'si) su kıtlığı ile karşı karşıya kalacaktır. Yerüstü ve yeraltı su tüketiminin doğal besleme ve iyileştirme

kapasitesini önemli ölçüde aştığı mevcut senaryo, hidrolojik döngünün bozulmasının ve doğal su kaynaklarının tükenmesinin, uzun süre yeterince ele alınmadığı takdirde beklenenden çok daha hızlı tükeneceğini giderek daha belirgin olarak göstermektedir. Su kıtlığının etkileri, suyun önemini vurgulamaktadır. 785 milyon insanın temel su hizmetlerinden yoksun olduğu tahmin edilmektedir. Bu, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamaya yönelik gerçekleştirilecek girişimlerin, önümüzdeki on yılda önemini kanıtlayacak şekilde sürdürülebilir su yönetimi içermesi gerektiği anlamına gelmektedir. Maliyetli çözümlere başvurmadan veya doğal çevre üzerindeki baskıyı artırmadan mevcut suyun kalitesini ve miktarını iyileştirmeye yönelik acil bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Armenia ve diğerleri, 2023). Durumun ciddiyeti, Birleşmiş Milletler (BM) Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDGs) yönetim, sosyal, ekonomik ve politik zorlukları vurgulayarak su yönetimi ile sürdürülebilir kalkınma arasındaki ilişkiyi ana hatlarıyla belirtmektedir (Tsani ve diğerleri, 2020).

Su yönetimi döngüsel ekonomi perspektifinden, "azalt, yeniden kullan, geri dönüştür, geri kazan, iyileştir ve eski haline getir" stratejilerine dayalı sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı açısından önemlidir (Kakwani ve Kalbar, 2020). Döngüsel ekonomi perspektifi, pazarlar, müşteriler ve doğal kaynaklar arasındaki ilişkilere yenilikçi bir şekilde bakarak sürdürülebilir ve kaynak açısından verimli politikalar ve uygulamaları teşvik etmeyi amaçlamaktadır (Voulvoulis, 2018).

Sonuç olarak, su kaynaklarının nüfus artış hızına bağlı olarak sürekli azalması ve yeterli düzeyde ihtiyaçlara cevap vermeme durumunun oluşması gelecek dönemde evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların alternatif bir su kaynağı olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Halihazırdaki mevcut su kaynaklarımızın stratejik yönetimi geri kazanıma ve sonrasında yeniden kullanımı kapsayacak şekilde olmalıdır (Koyuncu, 2018).

3

MURATLI ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ

3.1 Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Kavramı

Sanayinin önemli yapılarından biri olan organize sanayi bölgeleri (OSB'ler), kendi faaliyet alanında bulunan firmalara toplu bir şekilde imkan sağlayan, sunduğu özel hizmetler ile maliyetleri düşürmeyi ve firmaların işleyişini kolaylaştırmayı hedefleyen ve bu sayede sektörlerin güçlenmesine katkıda bulunan önemli yapılardır. Organize sanayi bölgelerinin en önemli amaçları arasında; sanayinin uygun alanlarda kurulmasıyla planlı sanayileşme ve şehirleşmeyi sağlamak, bölgesel dengesizlikler yaratmadan sanayileşmede geri kalmış bölgeleri teşvik etmek, çevre sorunlarını önlemek, kaynakların sürdürülebilir ve randımanlı kullanılmasını sağlamak ayrıca sanayicilerin sorunlarına ortak çözüm üretmek yer almaktadır (Cansız, 2010).

Endüstriyel gelişmeler kapsamında; fabrikaların bazen atıksuların kontrolünde sıkıntı yaşaması ve atıksuların kontrolü için uygulaması gereken teknolojilerin pahalı olması sebebiyle endüstriyel kuruluşların atıksularıyla çevre, doğrudan kirletilmektedir.

Organize sanayi bölgeleri fabrikaların faaliyetleri sonucu çevrede oluşabilecek sorunları minimum düzeyde ve/veya ortadan kaldırılmas, bölgelerin ekonomik durumlarındaki farklılıklarda dengenin sağlanması, ortak atıksu arıtma tesislerinin kurulması/kullanılması sağlaması açısından önemli tüzel kişiliğe sahip kuruluşlardır (Üstün ve diğerleri, 2004; ÇED, İzin ve Denetim Müdürlüğü, 2020).

1960'lı yıllardan itibaren ülkemizde organize sanayi bölgeleri kurulmaya ve işletilmeye başlanmıştır. Özellikle sanayicilerin organize sanayi bölgelerini tercih etmelerini sağlamak amacıyla devlet tarafından organize sanayi bölgelerini destekleyici teşvikler ve proje çalışmaları yapılmaktadır. Günümüzde Türkiye'nin bütün bölgelerinde birden fazla OSB bulunmakta ve aktif faaliyet göstermektedir (Dursun ve diğerleri, 2019).

3.1.1 Türkiye’deki Organize Sanayi Bölgeleri

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ÇED, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü tarafından 2020 yılı Türkiye Çevre Durum Raporunda sunulan envanter sonuçlarına göre Türkiye’deki organize sanayi bölge sayısı 312’dir. Faaliyette olan OSB sayısı 236 olup, henüz hiç bir faaliyette bulunmayan 76 adet OSB bulunmaktadır. Faaliyette bulunan 236 OSB’den 104’ün de atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır.

Aşağıda yer alan Tablo 3.1 ve 3.2’de 2019 TÜİK verilerine göre Türkiye’deki organize sanayi bölgelerinde bulunan ait su, atıksu ve atıksu arıtma tesisi göstergelerinin yıllara göre değişimi görülmektedir (ÇED, İzin ve Denetim Müdürlüğü, 2020).

Yıllara bağlı olarak OSB ve OSB atıksu arıtma tesis sayısında artış olmuştur.

Tablo 3. 1 Organize sanayi bölgeleri su göstergeleri 2010-2018 (ÇED, İzin ve Denetim Müdürlüğü, 2020)

	2010	2012	2014	2016	2018
Faal OSB sayısı	134	181	196	217	223
Kendine ait su şebekesi olan OSB sayısı	101	129	157	170	182
Belediyenin su şebekesinden faydalanan OSB sayısı	17	26	15	22	20
Su şebekesi olmayan OSB sayısı	16	26	24	25	21
OSB su şebekesine çekilen su miktarı (bin m³)	126.013	138.494	167.592	175.377	185.474
Kuyu	55.222	60.868	76.218	84.627	83.297
Kaynak	23.909	24.473	26.752	20.098	24.730
Şehir şebekesi	13.648	18.198	22.706	25.018	26.005
Baraj, göl, gölet ve akarsu	33.236	34.955	41.915	45.635	51.442

Tablo 3. 2 Organize sanayi bölgeleri atıksu göstergeleri 2010-2018 (ÇED, İzin ve Denetim Müdürlüğü, 2020)

	2010	2012	2014	2016	2018
Faal OSB sayısı	134	181	196	217	223
Kendine ait kanalizasyon şebekesi olan OSB sayısı	102	136	162	179	189
Belediyenin kanalizasyon şebekesinden olan OSB sayısı	17	21	12	10	13
Kanalizasyon şebekesi olmayan OSB sayısı	15	24	22	28	21
OSB kanalizasyon şebekesi ile deşarj edilen atıksu miktarı (bin m³)	190.014	234.679	253.967	262.815	267.695
	161.023	191.990	220.547	229.027	252.492
	28.991	42.690	33.420	33.788	15.203
Atıksu arıtma tesisi sayısı	38	57	76	91	104
Kimyasal/Biyolojik arıtma	24	41	54	68	72
Gelişmiş arıtma	14	16	22	23	32
Atıksu arıtma tesisi kapasitesi (bin m³/yıl)	297.055	318.772	368.748	383.927	412.156

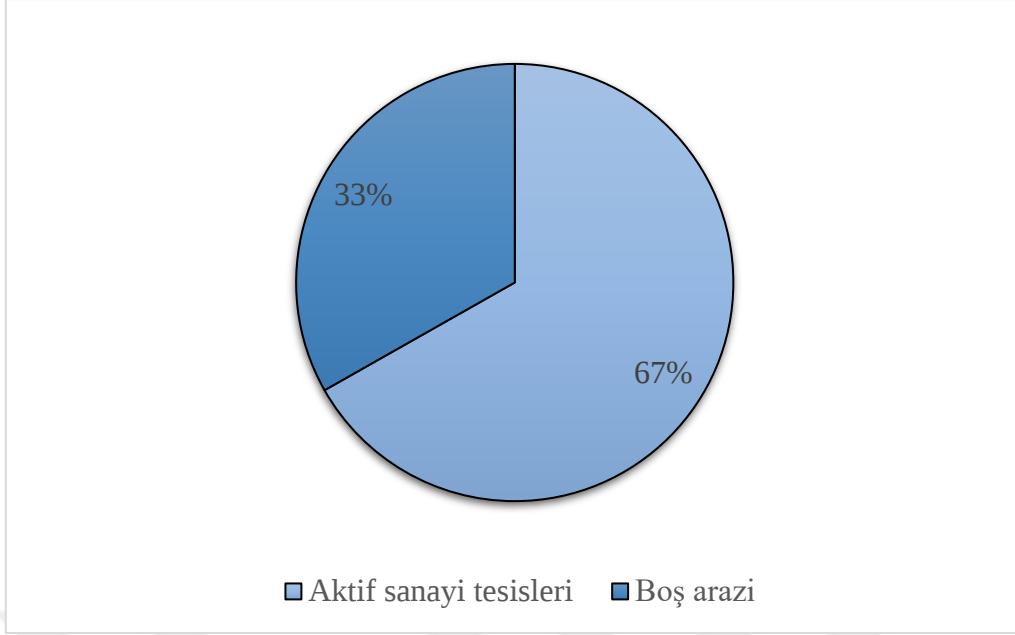
Türkiye’de atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanım uygulamaları olan 26 adet kentsel atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır (ÇED, İzin ve Denetim Müdürlüğü, 2020).

3.1.2 Muratlı Organize Sanayi Bölgesi

Muratlı OSB Tekirdağ ili Muratlı ilçesi sınırları içinde yaklaşık 3.340.000 m² büyüklüğündeki bir alanda yer almaktadır (Şekil 3.1). Bu alanın 2.500.000 m²'sini sanayi parselleri oluşturmaktadır (Şekil 3.2).



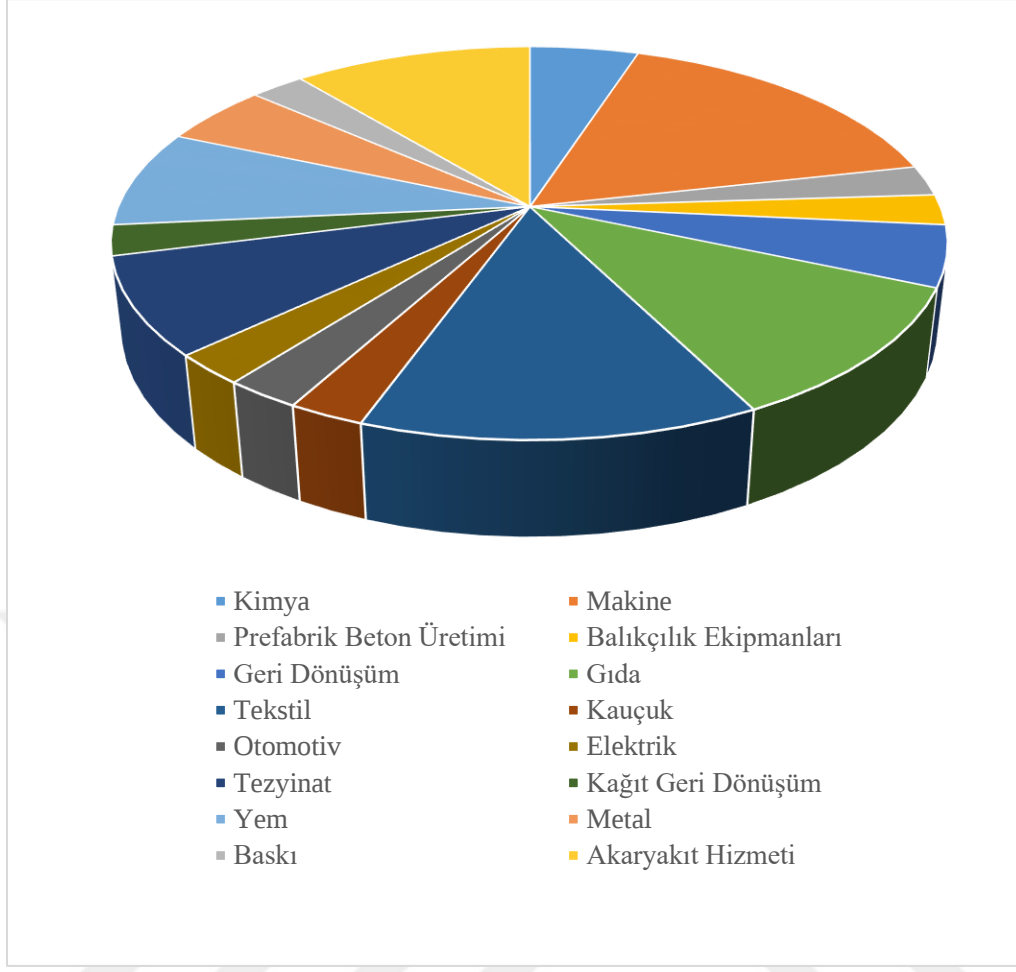
Şekil 3. 1 Muratlı OSB (Google Earth, 2023)



Şekil 3. 2 Muratlı OSB sanayi parselleri dağılımı (Tahmaz ve diğerleri, 2013)

3.1.2.1 Muratlı Organize Sanayi Bölgesi Endüstri Kategorizasyon Dağılımı

2023 yılı verilerine göre Muratlı OSB'ye bağlı toplam 38 tane firma faaliyet göstermektedir. Mevcut firmaların sektörel bazda endüstriyel kategori dağılım yüzdeleri Şekil 3.3'de gösterilmiş olup, %11 gıda sektörü, %16,5 makine sektörü, %8 tezyinat sektörü, %5 geri dönüşüm, %5 kimya sektörü, %2,5 elektrik sektörü, %2,5 prefabrik beton üretim sektörü, %2,5 kauçuk sektörü, %2,5 kâğıt geri dönüşüm sektörü, %2,5 balıkçılık ekipman sektörü, %8 yem sektörü, %13 tekstil sektörü, %2,5 otomotiv sektörü, %5 metal sektörü, %2,5 baskı sektörü ve %11 akaryakıt hizmet sektörü şeklindedir (Entegre Çevre Bilgi Sistemi).



Şekil 3. 3 Muratlı OSB endüstri kategorizasyonu (Entegre Çevre Bilgi Sistemi)

3.1.2.2 Muratlı Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi

2018 yılında işletmeye alınan Muratlı OSB AAT evsel ve endüstriyel atıksuların (karışık atıksu) arıtılması için işletmeye alınmıştır (Şekil 3.4). Muratlı OSB AAT'nin kurulu debi kapasitesi 25.000 m³/gün (Tablo 3.3), kurulu gücü 2381 kWh'tir. Mevcut durumda günlük atıksu debisi 5500 m³/gün'tür (Entegre Çevre Bilgi Sistemi).



Şekil 3. 4 Muratlı OSB AAT üstten görünüşü (Google Earth, 2023)

Tablo 3. 3 Muratlı OSB AAT atıksu debiler (Tahmaz ve diğerleri, 2013)

Parametreler	Ort. Atıksu Tasarım Debisi (m ³ /gün)	Max. Atıksu Tasarım Debisi (m ³ /gün)	Min. Atıksu Tasarım Debisi (m ³ /gün)
1. Kademe	25.000	45.000	12.504
2. Kademe	12.500	22.512	6.264
Toplam Kapasite	37.500	67.512	18.768

Tablo 3. 4 Muratlı OSB AAT giriş suyu dizayn parametreleri (Tahmaz ve diğerleri, 2013)

Parametreler	Birim	Değer
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	1.500
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	mg/L	700
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	600
Yağ ve Gres	mg/L	250
Katman ve Petrol Kökenli Yağlar	mg/L	50
Toplam Kjeldah Azotu (TKN)	mg/L	60
Toplam Fosfor (TP)	mg/L	5
pH	-	6-10
Toplam Krom	mg/L	5
Toplam Siyanür	mg/L	10
Toplam Sülfür	mg/L	2
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	mg/L	1.700
Fenol	mg/L	20
Serbest Klor	mg/L	5
Arsenik	mg/L	3
Toplam Kurşun	mg/L	3
Toplam Kadmiyum	mg/L	2
Toplam Cıva	mg/L	0,2
Toplam Bakır	mg/L	2
Toplam Nikel	mg/L	5
Toplam Çinko	mg/L	10
Toplam Kalay	mg/L	5
Toplam Gümüş	mg/L	5
Klorür	mg/L	10.000
Renk	Pt-Co	1.000
Sıcaklık	°C	35°C

Muratlı OSB içerisinde yer alan firmaların büyük çoğunluğunun alt yapısı bulunmakta olup evsel ve/veya endüstriyel atıksularını, atıksu kanal bağlantı hattı ile Muratlı OSB AAT'ye ulaştırmaktadır. Alt yapısı olmayan firmalar ise vidanjör

ile Muratlı OSB AAT'ye atıksu taşınımı sağlamaktadır. Muratlı OSB AAT arıtılmış su çıkışı 17 Aralık 2022 tarihli ve 32046 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” Tablo 19’da yer alan limitlere uygun olarak (Tablo 3.5) Ergene Nehri kolu olan Çorlu Deresi ile 2,35 km sonra birleşen “Kurudere” olarak adlandırılan dereye deşarj edilmektedir (Tahmaz ve diğerleri, 2013).

Tablo 3. 5 SKKY Tablo 19 Karışık endüstriyel atıksuların alıcı ortama deşarj standartları (küçük ve büyük organize sanayi bölgeleri ve sektör belirlemesi yapılmayan diğer sanayiler) (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 2022)

Parametreler	Birim	2 Saatlik Kompozit Numune
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	250
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	200
Yağ ve Gres	mg/L	20
Toplam Fosfor (P)	mg/L	2
Toplam Krom	mg/L	2
Krom (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,5
Kurşun (Pb)	mg/L	2
Toplam Siyanür (CN ⁻)	mg/L	1
Kadmiyum (Cd)	mg/L	0,1
Demir (Fe)	mg/L	10
Florür (F ⁻)	mg/L	15
Bakır (Cu)	mg/L	3
Çinko (Zn)	mg/L	5
Cıva (Hg)	mg/L	0,05
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	mg/L	1.500
Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)	mg/L	20
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	10
Renk	Pt-Co	280
pH	-	6-9

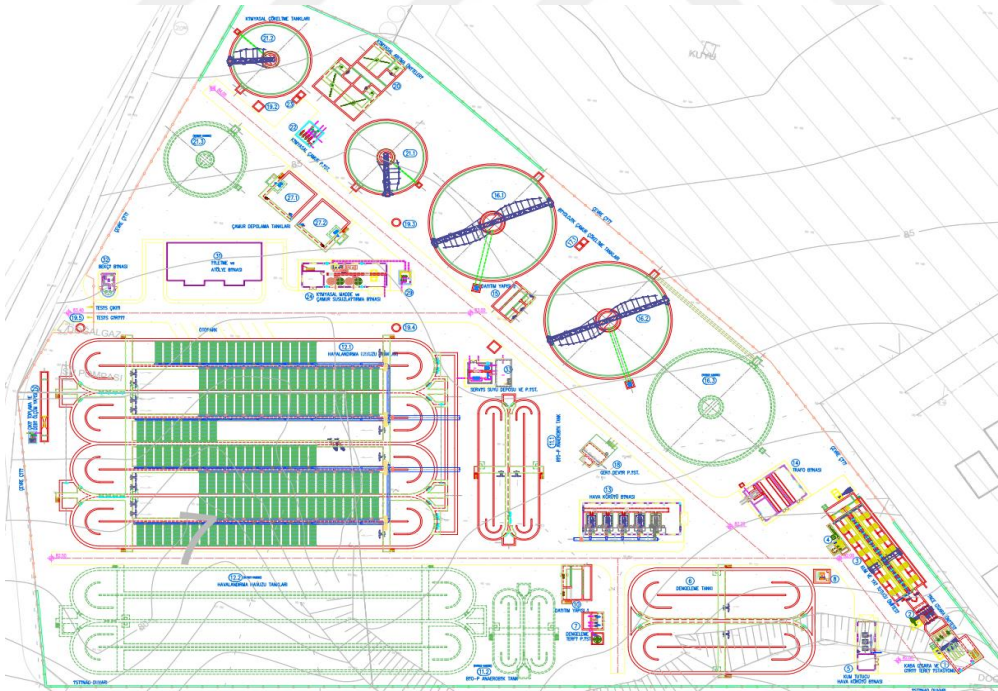
Suyun kalitesinin belirlenmesinde iletkenliğinin önemini inceleyen Tariq ve diğerleri (2006), suyun kalitesini belirleyen şeyin iyon konsantrasyonu olarak

bilinen toplam çözünmüş katı maddelerin bir fonksiyonu olduğunu belirtmiştir. Mosley ve diğerleri (2004), iletkenliğin suda toplam tuzun (sodyum, klorür, magnezyum, kalsiyum gibi inorganik iyonlar) ne kadar bulunduğunun bir ölçüsü olduğu görüşünde olup ne kadar çok iyon varsa iletkenlik de o kadar yüksek olduğu belirtilmiştir.

İletkenliğin kendisi insan su sağlığı açısından endişe verici değildir ancak kolayca ölçülebildiği için diğer su kalitesi sorunlarının bir göstergesi olabilmektedir. Bir akışın iletkenliği aniden artıyorsa bu, çevrede çözünmüş iyon kaynağının bulunduğunu göstermektedir. Bu nedenle iletkenlik ölçümleri, potansiyel su kalitesi sorunlarını tespit etmek için hızlı bir yol olarak kullanılmaktadır (Emeka, 2015).

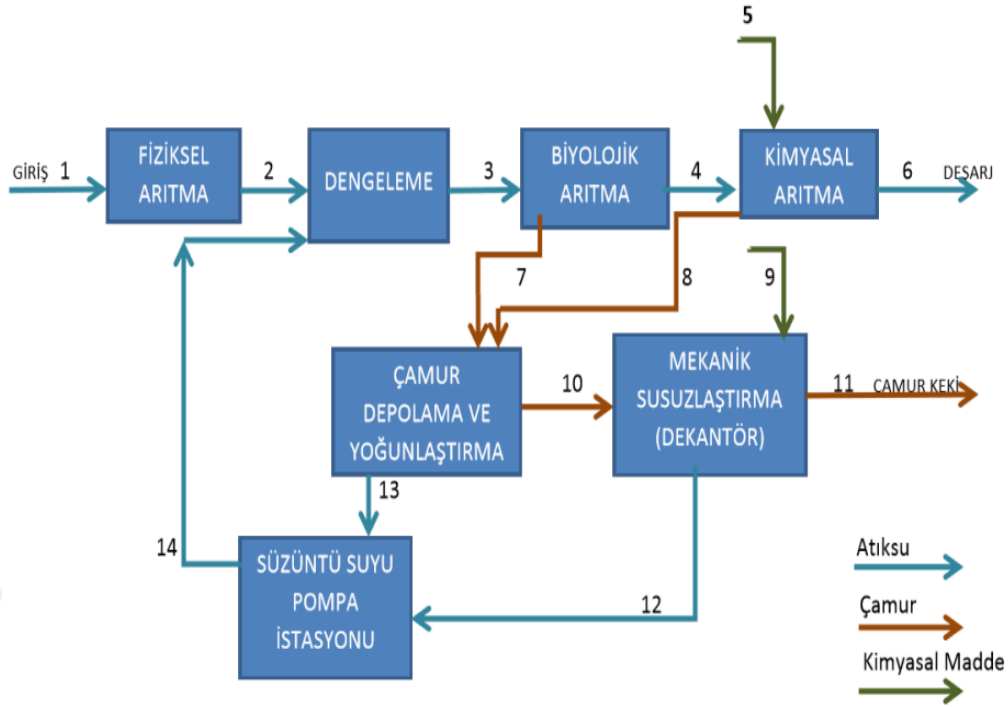
Uluslararası deşarj standart limitlerine bakıldığında Dünya Sağlık Örgütü tarafından verilen iletkenlik parametresi için maksimum limit 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olup, Birleşik Krallık Ulusal Standartlarına göre izin verilen maksimum limit 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir (Shah ve diğerleri, 2022).

Muratlı OSB AAT'sine ait vaziyet planı Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3. 5 Vaziyet planı (Tahmaz ve diğerleri, 2013)

Muratlı OSB AAT 3 arıtma prosesinden oluşmaktadır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma prosesleri genel akım şeması Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 6 Genel akım şeması (Tahmaz ve diğerleri, 2013)

3.1.3 Fiziksel (Birincil&Mekanik&Ön) Arıtma

Atıksu arıtma tesisleri uygulamada başlangıçta fiziksel (ön) arıtma ünitelerinden oluşmaktadır. Daha sonrasında atıksu, arıtma tesisi içindeki çeşitli su dağıtım yapıları aracılığıyla diğer ünitelere geçişi sağlanır. Atıksu arıtma tesislerinde fiziksel arıtma işlemleri eleme, dengeleme, kum tutucu, birincil (ön) çöktürme ve flotasyondan oluşur. Ayrıca tesise gelen atıksu debisinin belirlenmesi genellikle fiziksel (ön) arıtma ünitesinde yer alan debi ölçüm cihazları ile yapılır.

Kaba ve İnce Izgaralar: Kaba ve ince ızgaralar, bir sonraki proses aşamasında makine ve ekipmanlara zarar gelmesini önlemek, genel arıtma proses yükünü azaltmak, giriş atıksuyunda bulunan yüzücü veya askıda kalan katı maddeleri sudan ayırmak için planlanan bir fiziksel arıtma yöntemidir. Kapasitesi büyük olan tesislerde kaba ve ince ızgaralar ard arda yerleştirilmektedir (Şahin ve Şibil, 2023).

Muratlı OSB AAT’de kaba ve ince ızgaralar ard arda yerleştirilmiş olup, arıtma tesisine cazibe ile gelen evsel ve endüstriyel nitelikteki atıksular, giriş terfi pompaları öncesinde ön arıtmanın ilk ünitesi olan ve ızgara açıklığı 20 mm mekanik temizlemeli kaba ızgaralardan geçirilir. Bu aşamada daha iri ve büyük

malzemelerin tutulması ve daha sonra gelen ünite ekipmanların (giriş atıksu pompaları, sıyırıcılar ve diğer pompalar) korunması sağlanmaktadır (Tahmaz ve diğerleri, 2013).



Şekil 3. 7 Kaba ızgara ünitesi

Kaba ızgara (Şekil 3.7) sonrası atıksular giriş terfi merkezleri (pompa istasyonları) ünitesine (Şekil 3.8) gelerek pompalar (dalgıç) vasıtasıyla düşük kottan yüksek kota yükseltilerek ızgara açıklığı 6 mm olan ince ızgaralardan geçirilir.



Şekil 3. 8 Giriş terfi merkezi

İnce ızgaralarda daha ince ve küçük malzemelerin tutularak sudan uzaklaştırılması sağlanır (Şekil 3.9).



Şekil 3. 9 İnce ızgara ve ızgara pres ünitesi

Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucu: Kum, genellikle organik madde içermeyen çakıl, taş ve cüruf gibi inorganik katı maddeleri ifade eder. Atıksu arıtımında kumun uzaklaştırılması; makine ve ekipmanların aşınmasını önleme, borular, tanklar, kanallar, pompalar, vanalar gibi techizatlarda oluşabilecek birikimler sonucu tıkanmanın önlenmesi için gereklidir. AAT’de kum giderme için öne çıkan teknolojilerden biri, daha ağır parçacıkların hızlanıp havuzun dibine çökmesine sağlamak için blower ile toplanan yüksek basınçlı havanın difüzörden geçirilip spiral akış oluşturularak havuz içine ince kabarcıklar halinde verilmesini sağlayan havalandırmalı kum tutuculardır. Kum tutucular, atıksuda bulunan ince parçacıkların giderilmesi için önemli bir adımdır (Hoiberg ve Shah, 2021).

Birçok kirletici sınıfı arasında, atıksularda düzenli olarak bulunan maddelerden biri de yağ ve grestir (Pintor ve diğerleri,2016). Fiziksel arıtmada yağ ve gres maddeleri giderme AAT'ler için özellikle önemlidir. Çünkü giderilmeyen yağ ve gres maddeleri AAT altyapısında birikerek tıkanıklıklara sebep olabilir ve bu sebeple arıtma sistemlerini bozarak arıtma süreçlerini sekteye uğratabilmektedir (Wallace ve diğerleri, 2017). Ayrıca, biyolojik arıtma ünitesinde yağ ve gresin yavaş bozunması, mikroorganizmaların aktivitesini etkiler ve oksijen transferini önleyerek veya diğer organik maddelerin bozunma oranlarını yavaşlatarak proses verimliliğini azaltır. Yağ ve gres gidermedeki başarısızlık, AAT deşarj sınır limitlerinin sağlanmamasına sebep olabilmektedir (Romero-Güiza ve diğerleri, 2022).

Yağ tutucular, sudan hafif olan sabun, yağ, gres gibi maddelerin giderilmesi için önemli bir adımdır (F Husain ve diğerleri, 2014). Kum ve Yağ tutucular atıksu arıtma tesisinde kaba ve ince ızgaralarını takiben gelen ünedir.

Muratlı OSB ATT'de bulunan havalandırmalı kum ve yağ tutucu havuzlar 2 bölmeli olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.10). Havuzun tabanı konik dikdörtgen şeklindedir. Atıksu havuzun bir ucundan girer ve uzunlamasına akarak diğer ucundaki taşma savağı vasıtasıyla havuzu terk eder. Havuzun birinci bölümünde difüzörler havuz uzunluğu boyunca uzunlamasına uzanır ve içlerinden geçen hava akışı, atıksuyun spiral akışını oluşturur. Bu sarmal akış, daha ağır kum parçacıklarının yoğunluk farkından havuzun dibine çökmesini sağlar, daha hafif organik parçacıklar ise atıksuda süspansiyon halinde kalır. Havuzun dibine çöken kum parçacıkları farklı düzenlemelerle uzaklaştırılır (Tchobanoglous ve diğerleri, 2003). İkinci bölümünde ise yağ ve oluşan köpüklerin yüzeyde birikmesi sonucu toplanarak atıksudan ayrıştırılır.



Şekil 3. 10 Havalandırma kum ve yağ tutucu ünitesi

Ön arıtma üniteleri atıksu ile gelen büyük malzemelerin (ızgara atıkları ve çapı 0,2 mm'den büyük olan kum, çakıl vb.) tutulması amacı ile yapılmakta olup, AKM tutma özellikleri yoktur. AKM, su ile birlikte sonraki ünitelere transfer olmaktadır. Tesisin ön arıtma ünitesinde ana kirletici yükleri için bir giderim verimi dikkate alınmamıştır (Tahmaz ve diğerleri, 2013).

Dengeleme Havuzu ve Dengeleme Terfi Merkezi: Dengeleme havuzları, debi ve kirlilik yükündeki dalgalanmayı dengeler ve daha homojen bir akış sağlayarak daha verimli ve kararlı bir arıtma yapılmasını sağlar (Pons ve Corriou, 2001; Queinnec ve diğerleri, 2004; Uba ve Ekundayo, 1995).

Muratlı OSB AAT’de dengeleme havuzları (Şekil 3.11) havalandırmalı kum ve yağ tutucu ünitelerinden gelen atıksu konstrasyonunun ve debideki farklılıkların dengelenmesini sağlamakta olup, havuzda bulunan karıştırıcılar ile partikül çökelmesinide önlemektedir. Dengeleme havuzundan sonra dengeleme terfi merkezine gelen atıksular pompalar ile biyolojik arıtma ünitesine aktarılmaktadır (Tahmaz ve diğerleri, 2013).



Şekil 3. 11 Dengeleme havuzu

3.1.4 Biyolojik Arıtma

Dünya genelinde endüstriyel gelişmelerin yaşanması, günlük su tüketiminin artması ile oluşan atıksular doğanın kabul edebileceği sınır değerlerinin üzerine çıkmış ve deşarj edilen alıcı ortamları çevresel kirlilik tehlikesi ile karşı karşıya bırakmıştır (Novak ve Horvat, 2012).

Bununla birlikte, evsel nitelikli atıksuyun organik madde içeriğinin yanı sıra azot ve fosfor miktarı ve endüstriyel atıksular için organik ve inorganik madde tarafından yüksek seviyede fosfat taşınımı, su ortamında ötrofikasyona sebep olmaktadır. Bu durum doğrudan alg patlamasına, sudaki oksijen miktarının azalıp tükenmesine, organizmaların ölümüne ve ekolojik dengenin bozulmasına sebep

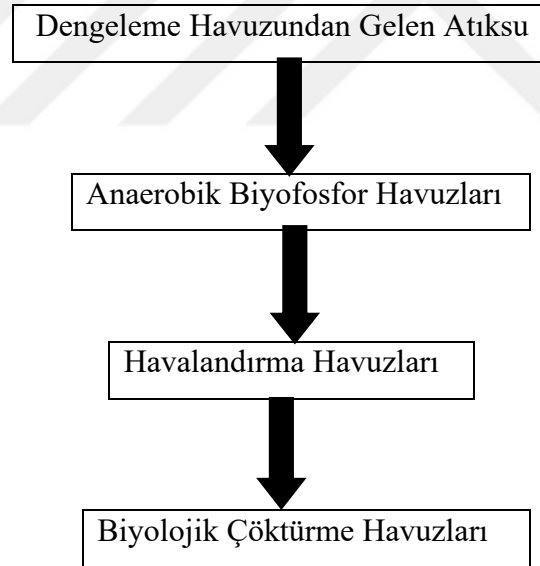
olmaktadır (Liu ve diğerleri, 2020). Suda bulunan fosforu gidermek için atıksu arıtma tesislerinde yaygın olarak biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır (Li ve diğerleri, 2019). AAT'lerde, organik içerikli atıksuların arıtılması için biyolojik arıtmalar (örn. aktif çamur prosesi) ekonomik açıdan düşük maliyetli olması ve arıtma veriminin yüksek olması sebebiyle günümüzde tercih edilen yaygın yöntemlerden biridir (Gernaey ve diğerleri, 2004). Bu yöntemler atıksuda bulunan askıda veya çözünmüş organik maddeleri (fazla besinler dahil) verimli bir şekilde gidermek için spesifik fonksiyonel mikroorganizmalar kullanılmaktadır (Wu ve Liu, 2009). Biyolojik arıtmada aktif rol alan mikroorganizmaların sağlıklı gelişimi, biyolojik atıksu arıtımının önceliğidir. Biyolojik arıtmanın esası atıksularda bulunan organik maddelerin doğada uzaklaştırılmaları için yer alan biyoflokülasyon ve mineralizasyon proseslerinin kontrolü ile çevrede optimum şartlarda tekrarının sağlanmasıdır (Fan ve diğerleri, 2020).

AAT'lerde aktif çamur prosesi var olan en kapsamlı biyolojik arıtma yöntemidir (Xia ve diğerleri, 2010). Son yıllarda atıksu arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılan biyolojik fosfor giderimi, özellikle aktif çamur sistemleri ile ileri biyolojik fosfor giderim prosesi büyük ilgi görmektedir. Kimyasal arıtmaya göre daha uygun maliyetli ve çevre dostu bir seçenek olarak kabul edilmektedir (Acevedo ve diğerleri, 2014). Ayrıca, biyolojik arıtma proseslerinden elde edilen çamurun daha iyi etkinliği, ekonomik değeri ve enerji üretim potansiyeli, fiziksel ve kimyasal arıtma proseslerinden gelen çamura göre önemli ölçüde tercih edilmektedir (Ali ve diğerleri, 2010).

Anaerobik Biyofosfor Havuzları: Fosfor (P) ötrofikasyona ve mineral kaynakların tükenmesine sebep olarak artan ciddi küresel bir sorun oluşturmaktadır (Deletic ve Wang, 2019). Bu sebeple, fosfor için atıksu deşarj limitleri giderek daha sınırlı hale gelmiştir. Atıksularda fosfor gideriminde yaygın olarak biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Biyolojik yöntemler ise anaerobik fosfor salınımını takiben aerobik fosfor alımını içerir (Yu ve diğerleri, 2022). İleri biyolojik fosfor giderimi olarak bilinen biyoproses, AAT'lerde P giderimini ve geri kazanımı için etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Nielsen ve diğerleri, 2019). İleri biyolojik fosfor gideriminin amacı, fosfor biriktiren ve fosforu bir enerji kaynağı olarak kullanan mikroorganizmaları zenginleştirmek, fazla çözünmüş fosforu atıksu çıkışından uzaklaştırmaktır (Ong ve diğerleri, 2014; Zhao ve diğerleri, 2019). İleri biyolojik

fosfor giderimini etkileyen parametreler; pH, hidrolik bekletme süresi (HRT), çamur yaşı (SRT), çözülmüş oksijen (ÇO), oksidasyon indirgeme potansiyeli (ORP), tuzluluk ve sıcaklıktır. İleri biyolojik fosfor giderim prosesinin uzun vadeli kararlılığı ve verimli performansı, birden fazla parametrenin kombinasyonuna ve bunların fosfor alımı ve salımı süreçlerinde aktif rol oynayan mikroorganizmalarla etkileşimlerine bağlıdır. İleri biyolojik fosfor giderimi, değişen aerobik ve anaerobik koşullara göre tasarlanmaktadır. Anaerobik koşullarda polifosfat biriktiren organizmalar (PAO'lar), dahili olarak depolanmış polifosfattan gelen enerjiyi kullanarak ve bunları polihidroksialkanoatlara (PHA'a) dönüştürerek uçucu yağ asitlerini alır ve PHA'yı bakteri hücresinde tutar. Dahili olarak depolanmış iki polimeri, polifosfatı ve organik maddeleri (enerji indirgeme gücü olarak) kullanan VFA'dan PHA biyosentezlenmektedir (Diaz ve diğerleri, 2022).

Muratlı OSB AAT'de dengeleme havuzundan gelen atıksu biyolojik arıtma kısmında fosfor giderimi için biyofosfor havuzları ve aerobik/anoksik kademelerden geçirilmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12 Biyolojik arıtma kademeleri (Tahmaz ve diğerleri, 2013)

Anaerobik biyofosfor havuzlarında PAO'lar tarafından atıksuda bulunan uçucu yağ asitleri kullanılarak ortofosfat salınımı yapılmakta ve depolanan uçucu yağ asitleri daha sonraki ünite olan aerobik/anoksik ortamda enerji eldesi için kullanılırken ortamdaki ortofosfat yüksek miktarda PAO'lar tarafından depolanmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3. 13 Anaerobik biyofosfor havuzları

Havalandırma Havuzları: İkinci kademedeki, anaerobik biyofosfor havuzlarından gelen atıksu oksijenli ortam olan havalandırma (aerobik) havuzları ile anoksik koşullarda ortamda yüksek miktarda bulunan ortofosfat PAO'lar tarafından tekrar polifosfat şeklinde mikroorganizma bünyesine alınır. Böylece PAO'ların bünyesine alınan fosfor fazla çamur ile birlikte sistemden atılır. Havalandırma ve anoksik havuzlar, fosfor gideriminin yanı sıra karbon ve azot giderimi de sağlamaktadır. Biyolojik arıtmada ORP değeri önemlidir (Şekil 3.14).



Şekil 3. 14 Havalandırma havuzları

Muratlı OSB AAT'de havalandırma havuzları A²O prosesi şeklinde işletilmektedir (Tahmaz ve diğerleri, 2013).

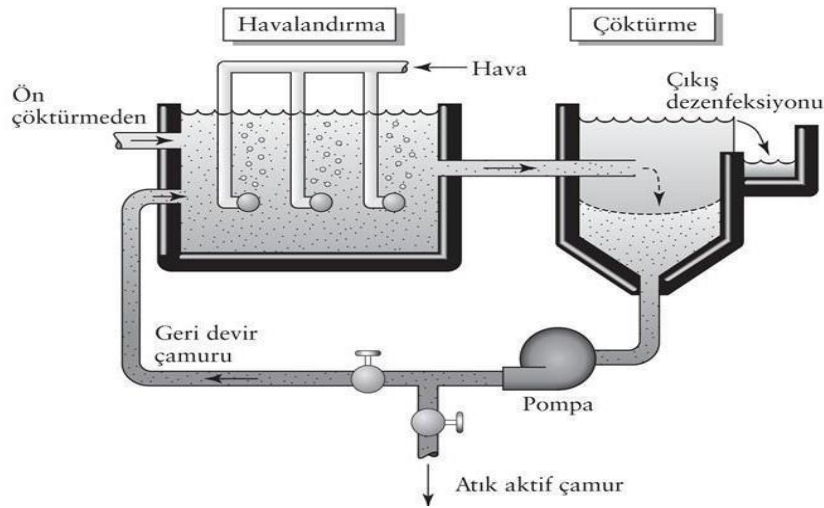
3.1.4.1 Aktif Çamur Prosesi

Aktif çamur prosesi (Şekil 3.15) yaygın olarak uygulanan en eski ve en iyi bilinen biyolojik atıksu arıtma yöntemidir. Aktif çamur prosesinde, kirleticilerin uzaklaştırılmasından bakteriyel bir biyokütle süspansiyonu (aktif çamur) sorumludur. Tasarıma ve özel uygulamaya bağlı olarak, bir aktif çamur prosesi AAT'de biyokimyasal reaksiyonlarla karbonlu organik maddelerin uzaklaştırılması, azot (N) ve fosfor (P) giderimi sağlanmaktadır (Gernaey ve diğerleri, 2004). Bunun yanı sıra ağır metaller ve fenolik bileşiklerin gideriminde de etkili olduğu kanıtlanmıştır (Ilmasari ve diğerleri, 2022).

Aerobik atıksu arıtma proseslerinde organik maddelerin bir kısmı ihtiyaç duydukları enerjiyi üretmek için oksidasyona tabi tutulur. Organik maddelerin tüketilmesinden sonra biyolojik hücrelerin bir kısmı ihtiyaç duydukları enerjiyi sağlamak için kendi kendini de oksitlemektedir. Aerobik biyolojik oksidasyon tepkimeleri genel olarak aşağıdaki gibidir.

Organik madde + O₂ + N + P → Hücre + CO₂ + H₂O + parçalanmayan maddeler

Hücre + O₂ → CO₂ + H₂O + N + P + parçalanmayan hücresel kalıntılar (Öztürk ve diğerleri, 2005).

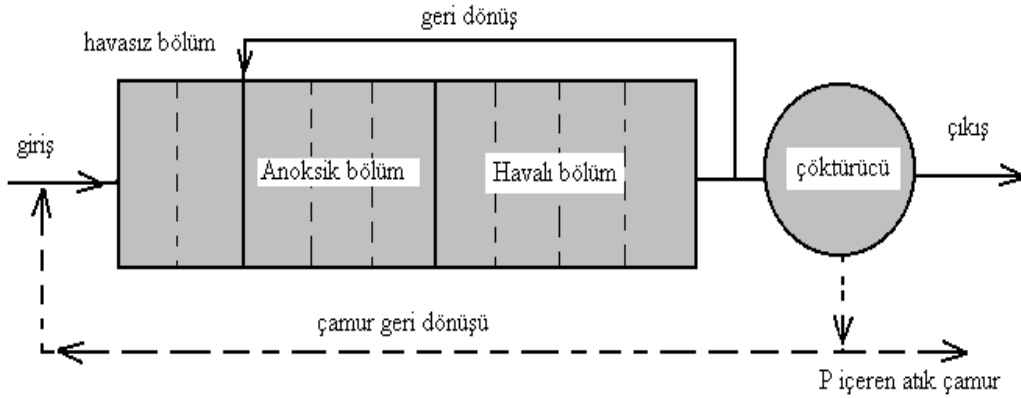


Şekil 3. 15 Aktif çamur prosesi (Anonim)

3.1.4.2 A²O Prosesi

A²O prosesi, atıksuyun deşarj edildiği noktada ötrafikasyona sebep olmaması için, organik maddeler, azot ve fosforun eş zamanlı giderimini sağlayan anaerobik faz ile nitrifikasyon ve denitrifikasyonu içeren AAT'leridir (Zhou ve diğerleri, 2021).

A²O prosesi (Şekil 3.16), AO prosesin modifiye edilmiş hali olup, fosfor giderimi için havasız (anaerobik) bölüm, azot giderimi için ise anoksik bölüm ve havalı (aerobik) bölümü içeren arıtma prosesidir.



Şekil 3. 16 A²O prosesi (Öztürk ve diğerleri, 2005)

Biyolojik Çöktürme Havuzları: Biyolojik çöktürme havuzlarında atıksu deşarj edilmeden önce arıtılmış suda bulunan çamurun ayrıştırılması işlemi gerçekleştirilir. Bu havuzlarda arıtılmış suda bulunan aktif çamur çöktürülerek, çamur toplama çukuruna iletilir. Aktif çamur toplama çukurundan alınarak çamur bertaraf ünitelerinde işlenerek doğaya zarar vermeyecek hale getirilip bertaraf edilir (Öztürk ve diğerleri, 2005).

Muratlı OSB AAT'de havalandırma havuzlarından atıksu, biyolojik çöktürme havuzlarına gelerek (Şekil 3.17) arıtılmış suda bulunan çamur çöktürülmekte ve dairesel döner köprülü sıyrıcı yardımı ile çamur ve yüzeyde oluşan köpük sıyrılarak çamur geri devir hattına ve çamur yoğunlaştırmaya gönderilmektedir. Biyolojik çöktürme havuzundan savaklanan arıtılmış atıksu kimyasal arıtma ünitesine aktarılmaktadır (Tahmaz ve diğerleri, 2013).



Şekil 3. 17 Biyolojik çöktürme havuzu ve geri devir hattı

3.1.5 Kimyasal Arıtma

Kimyasal arıtma atıksudaki çözünmüş ve kolloidal kirleticileri ayırmak ve uzaklaştırmak için kimyasal reaksiyon kullanan bir arıtma yöntemidir. Kimyasal arıtma sisteminde eklenen kimyasal reaktiflerin suyun niteliksel olarak kalitesinin iyileştirilmesini sağlamaktadır (Sun ve diğerleri, 2022).

Atıksu arıtımında kimyasal arıtma yöntemi çok uzun bir geçmişe sahiptir. Kimyasal arıtma yöntemi biyolojik arıtma yöntemi ile karşılaştırıldığında; hızlı reaksiyon kinetiği, geniş uygulama aralığı, ekipmanın kolay çalıştırılması vb. avantajlara sahiptir (Saleh ve diğerleri, 2020).

Muratlı OSB AAT'de biyolojik çöktürme havuzlarından gelen atıksu hızlı karıştırma, yavaş karıştırma ve kimyasal çöktürme havuzlarının bulunduğu kimyasal arıtma ünitesine gönderilmektedir. Renk parametresinde gerekli sınır değerleri sağlamadığında kimyasal arıtma ünitesi devreye girmektedir.

Hızlı ve Yavaş Karıştırma: Kimyasal arıtmanın ilk aşaması (Şekil 3.18) olan hızlı (koagülasyon) ve yavaş (flokülasyon) karıştırma işlemleri, atıksuyun bulanıklığı ve rengini gidermek, tat ve kokuyu kontrol etmek, önemli ölçüde askıda katı madde içeriği olan atıksudaki katıların giderimini sağlamak, bakteri, virus ve doğal organik maddeleri gidermek için uygulanmaktadır (Tahmaz ve diğerleri, 2013).



Şekil 3. 18 Hızlı ve yavaş karıştırma ünitesi

Kimyasal Çöktürme Havuzları: Yavaş karıştırma sonrasında irileşen floklar karışımın olmadığı bu havuzda (Şekil 3.19) tankın tabanına doğru çökmektedir. Havuzun tabanında çamur çukurunda biriken çamur, pompalar vasıtasıyla çamur depolama ve yoğunlaştırma ünitesine gönderilmektedir. Atıksu ise çöktürme havuzundan savaklar vasıtası ile alınarak çıkış debi ölçüm kanalından geçirilerek deşarj noktasına gönderilmektedir (Tahmaz ve diğerleri, 2013).



Şekil 3. 19 Kimyasal çöktürme havuzu

3.1.6 Çamur Susuzlaştırma

Atıksu arıtma proseslerinin her aşamasında çamur yan ürün olarak üretilmektedir. Dünyada atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamur miktarının yılda yaklaşık 45 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu sebeple büyük hacme sahip

olan arıtma çamurların yönetimine önem verilmesi gerekmektedir (Demirbaş ve diğerleri, 2017; Solé-Bundó ve diğerleri, 2019).

Çamurun bileşimi, arıtılan atıksuyun türü, kullanılan arıtma prosesi ve arıtma tesisinin yeri gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişebilmektedir. Bununla birlikte genel olarak çamur, çeşitli organik bileşikler, patojenler, ağır metaller, mikropplastikler gibi atıksuda tüm istenmeyen ve toksik bileşenlerini içerir (Edwards ve diğerleri, 2017; Zhang ve diğerleri, 2017). Çamurdaki besinler, toprak ve su sisteminde besin maddelerinin aşırı yüklenmesine sebep olarak alg patlamalarını ve diğer çevresel sorunları tetiklemektedir. Çamurdaki bakteriler, virüsler ve parazitler dahil olmak üzere zararlı patojenler, uygun şekilde bertaraf edilmezse halk ve çevre sağlığı için risk oluşturmaktadır. Kurşun, kadmiyum ve cıva gibi yüksek seviyelerdeki ağır metaller insanlar, hayvanlar ve bitkiler için toksik olmakta ve zamanla toprak ve su sistemlerinde birirmektedir. Ayrıca atılan çamurdaki mikropplastikler sucul ve karasal ekosistemlere zarar vermektedir (Corradini ve diğerleri, 2019).

Sonuç olarak, çamurun uygun olmayan şekilde işlenmesi ve bertaraf edilmesi çevreyi ve halk sağlığını olumsuz şekilde etkilemektedir (Chang ve diğerleri, 2023). Arıtma çamuru enerji, besin ve su gibi değerli kaynakları geri kazanma şansı sunduğu için döngüsel ekonominin ayrılmaz bir parçasıdır. Örneğin, arıtma çamurunun anaerobik çürütülmesi, ısı ve elektrik üretmek için kullanılabilen biyogazı üretmektedir (Usack ve diğerleri, 2019). Bu, yenilenemez enerji kaynaklarına olan bağımlılığımızı ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olmaktadır (Sichler ve diğerleri, 2022). Daha da önemlisi çamur, çözünmüş metaller ve besinler açısından zengin olabilecek önemli miktarda su içerir. Uygun bir susuzlaştırma tekniği kullanarak, mevcut kaynaklara olan talebi azaltmak ve atıkları en aza indirmek mümkündür. Susuzlaştırma, çamur yönetim sisteminin önemli bir parçasıdır ve çamurdan çeşitli su türlerini uzaklaştırarak çamurun hacmini ve ağırlığını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır (Shi ve diğerleri, 2015).

Muratlı OSB AAT'de çamur depolama ve yoğunlaştırma ünitesinde bekletilen arıtma çamurunun, katyonik polielektrolit çözeltisiyle dekantörlerde susuzlaştırılma işlemi sağlanmaktadır (Şekil 3.20). Dekantör sonrası oluşan çamur

keki %18-25 oranında kurulukta olup, konteynerda biriktirilerek bertarafa gönderilmektedir (Tahmaz ve diğçerleri, 2013).



Şekil 3. 20 Dekantörler

4.1 Endüstriyel Atıksuların Geri Kazanımı

Endüstriyel gelişmeyle birlikte dünyada her geçen gün suya, enerjiye ve gıdaya olan talep önemli ölçüde artmaktadır. Yaşam tarzı değişikliği ile birlikte çeşitli endüstriyel sektörler atıksu deşarjını her zamankinden daha fazla artırmaktadır (Karimi Estahbanati ve diğerleri, 2021).

Endüstriyel sektörler, dünya çapında su tüketiminin ana sebeplerinden biridir. Organize sanayi bölgeleri (OSB'ler) yüksek miktarlarda proses suyu tüketen ve endüstriyel atıksu oluşturan noktalardır. Ayrıca endüstriyel atıksuyun yalnızca %60'ı kadarı (sekiz ülkeden alınan verilere dayalı değer) çevreye atılmadan önce arıtıldığı için endüstriyel sektör önemli su kirleticisi konumundadır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) su ve atıksu konulu istatistik verilerine göre 2018 yılında OSB'ler tarafından içme suyu şebekesinden 185 milyon m³ su çekildiği belirtilmiştir. Ayrıca OSB atıksu arıtma tesislerinde yaklaşık olarak 252 milyon m³ atıksu arıtılmıştır (Çapa ve diğerleri, 2022). Diğer yandan OSB'lerde birçok farklı endüstriyel sektör bulunduğu için, atıksuların özelliği kirleticiler açısından çok çeşitlilik göstermektedir (Pintilie ve diğerleri, 2016).

Endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıksuların arıtımı, su kirletici deşarjların çevresel etkilerini azaltmak ve alıcı ortamları korumak için alınabilecek temel önlemlerden biridir (Sarpong ve Gude, 2021). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde su kirletici deşarjlarının daha da azaltılması için, atıksu arıtma oranının artırılması ve arıtılmış suyun deşarj limitlerinin daha düşük seviyeler çekilmesi, ihtiyaç duyulan acil eylemlerden biridir (Campana ve diğerleri, 2021).

Atıksu arıtımı, organik maddeleri ve besin maddelerini uzaklaştırarak çevre kirliliğini önlemek ve atıksuda bulunan patojenleri etkisiz hale getirerek hastalıkların yayılmasını engellemek için yapılmaktadır. Atıksu arıtmanın birçok çevresel faydası olmasına ve çevre ve insan sağlığına zararlı maddelerin sudan ayrılmasını sağlamasına rağmen, katı ve sıvı atık üretimi, kirleticilerin atmosfere salınması, enerji tüketimi gibi dezavantajları bulunmaktadır (Karimi Estahbanati ve diğerleri, 2021). Farklı kaynaklardan gelen endüstriyel atıksuların uygun bir şekilde

arıtılmadan alıcı ortamlara deşarjı ekolojide büyük tahribatlara yol açmaktadır. Bu sebeple, arıtılmış suyun yeniden kullanılmasının teşvik edilmesi atıksuyun etkin bir şekilde arıtılmasını da sağlamaktadır (Mazumber ve diğerleri, 2023).

Atıksuların sanayide yeniden kullanılması, mevcut su kaynaklarının korunması ve tatlı su talebini azaltılmasını sağlayacak alternatif olması açısından önemli bir uygulamadır. Birçok endüstrinin faaliyetine devam edebilmesi, güvenilir büyük miktarlarda su kaynaklarının hazır bulunmasına bağlıdır. Kağıt üretimi, tekstil üretimi, gıda, kimyasal üretimi, petrol rafineleri ve madencilik, yüksek miktarda su kullanan bazı endüstri örnekleridir. Türkiye'de farklı endüstriyel sektörlerin su kullanımına göre, 2008 yılında metal sanayinde büyük miktarda su (785.766 m³/yıl) kullanılmış ve bu miktarın %90,3'ü (710.062 m³/yıl) sadece soğutma suyu amacı ile kullanılmıştır. Ayrıca tekstil ve kâğıt sektörleri, yüksek miktarda su tüketen sektörler olarak kabul edilmiştir (Aloui ve diğerleri, 2009; Gündoğdu ve diğerleri, 2019).

Atıksu arıtımı, su kıtlığı sorunu için önerilen çözümlerden biridir çünkü doğal döngüdeki tatlı su kullanımını önleyerek suyu geri kazanmaktadır. Atıksu arıtma tesisi operatörleri, AB çevre politikası tarafından, özellikle Su Çerçeve Direktifi 2000/60/EC ile belirlenen gereklilikleri dikkate almalıdır. Birden fazla ülke suyu geri kazanıp yeniden kullanımını sağlamak için bölgesel, ulusal ve uluslararası direktifler veya yönergeler uygulamaktadır. Geri kazanılan suyun yeniden kullanımının sağlanması için özel olarak standartlar geliştiren ülkeler arasında Kıbrıs, Fransa, Yunanistan yer almaktadır (Zhang ve diğerleri, 2010).

Atıksuyun yeniden kullanımı, endüstri için çevresel ve ekonomik açıdan uygun bir seçenek haline gelmiştir. Arıtılmış suyun yeniden kullanımına yönelik çalışmaların önemli ölçüde artmasının sebebi; atıksu deşarjı için kısıtlayıcı parametrelerin limitleri, kanalizasyon ve atık deşarj için ücretlendirme ve su kaynaklarının mevcut durumu ve kalitesinin azalmasıdır (Andrade ve diğerleri, 2014).

Su kalitesi gereklilikleri suyun kullanım amacına bağlı olduğundan, su geri kazanım teknolojileri atıksuyu belirli kullanım kriterlerini sağlayacak şekilde arıtmalıdır (Ozbey Unal ve diğerleri, 2020). Belirli kullanım kriterlerini sağlayan uygun arıtma teknolojisi ile geri kazanılmış su; tarımsal sulama, su ürünleri yetiştiriciliği, eğlence

amaçlı su kullanımı, endüstriyel su kullanımı ve hatta çamaşır yıkama ve tuvalet sifonu gibi evsel kullanımlar için uygundur.

Spesifik su kalitesi gereklilikleri endüstriler arasında farklılık göstermektedir. Başlıca su kalitesi sorunları ekipman ve dağıtım sistemlerinde korozyon, kireçlenme ve biyolojik kirlenmenin önlenmesi ile ilişkilidir. Arıtılmış atıksudan geri kazanılan suyun, insan teması potansiyeli olan yerlerde patojenik mikroorganizmalar açısından kontrol edilmesi gerekli olup mikroorganizmaların sudan uzaklaştırılması sağlanmalıdır (Gündoğdu ve diğerleri, 2019).

Sadece fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma gibi çeşitli kombine arıtma proseslerini içeren geleneksel atıksu arıtma yöntemleri, yeniden kullanım için yeterli kalitede su üretememektedir (Bunani ve diğerleri, 2013). Geleneksel atıksu arıtma tesislerine ilave olarak ileri (üçüncül) arıtmanın eklenmesi atıksuyun geri kazanımı ve yeniden kullanımını kolaylaştırmaktadır (Lyu ve diğerleri, 2016).

İleri (üçüncül) arıtma prosesleri temel olarak öncelikli kirleticilerin uzaklaştırılmasına yöneliktir. Ancak aynı zamanda mikroorganizmalar, kolloidler, besinler gibi yeniden kullanım uygulamaları için büyük bir endişe kaynağı olan diğer kirletici türlerinin de uzaklaştırılmasına yönelik geliştirilen bir teknolojidir (Pintilie ve diğerleri, 2016).

Hedeflenen kirleticileri uzaklaştırmak ve atıksuyun yeniden kullanımı için uygun hale getiren ileri (üçüncül) atıksu arıtımında birden fazla arıtma teknolojileri bulunmaktadır. Bunlar; adsorbsiyon, elektrodializ, elütrasyon (yıkama), iyon değiştirme, kimyasal çöktürme, ultrafiltrasyon, ters osmoz şeklindedir (Chon ve diğerleri, 2011; Han ve diğerleri, 2016).

Suyun ıslahı ve yeniden kullanımında standartları yakalayabilmek için membran biyoreaktör (MBR), mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (TO) gibi membran teknolojilerinin kullanımı ve bu teknolojilerin birbiri ile entegrasyonu, etkinlikleri ve ekonomik uygulanabilirlikleri sebebiyle arıtılmış suyun yeniden kullanımı ve geri kazanımı, atık akımlarından değerli bileşenlerin geri dönüşümü gibi konularda önemli çözümler sunan alternatif haline gelmiştir (Marcucci ve diğerleri, 2001; Xiao ve diğerleri, 2014). Bu prosesler aynı zamanda atıksu arıtımında kimyasal kullanımının azaltılması açısından da önemlidir (Gündoğdu ve diğerleri, 2019). Ancak ileri (üçüncül) arıtma

proseslerinin kombinasyonu sebebiyle yüksek maliyet, enerji ve kaynak ihtiyacı oluşmaktadır (Husnain ve diğerleri, 2015).

4.2 Membran Teknolojileri ve Su Arıtma

Membran esas olarak iki fazı birbirinden ayıran ve çeşitli kimyasalların seçici bir şekilde taşınmasını sınırlayan bariyer olarak tanımlanmaktadır. Bir membran homojen veya heterojen, simetrik veya asimetrik yapıda, katı veya sıvı olabilir; pozitif veya negatif yük taşıyabilir, nötr veya bipolar olabilir (Takht Ravanchi ve diğerleri, 2009).

Su kaynaklarının sınırlı oluşu, arıtılmış suyu deşarj etmek yerine yeniden kullanımının yaygınlaşarak membran teknolojisinin birçok uygulamada kullanılması ve özelliklerinin daha fazla geliştirilmesine yönelik çalışmalar artmıştır. Membranlar genel olarak içme amaçlı suların arıtılmasında, deniz ve yeraltı suyunda bulunan tuzun uzaklaştırılması, evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında ve ayrıca arıtma tesisi çıkış sularının geri kazanımında, suda bulunan; organik, mikrokirletici (nitrat, florür, arsenik, ağır metal vb.), yüzey aktif madde, PAH'ların gideriminde, biyogaz üretiminde vb. alanlarda kullanılmaktadır (Bodzek ve diğerleri, 2012).

Membran teknolojisinin kullanılması ile atıksu arıtma tesisi çıkış suyu kalitesinin iyileştirilmesinde, işletme basitliği, kontrol kolaylığı, düşük enerji tüketimi, modüler tasarımı, az yer kaplama, kolay uygulanabilirlik, çeşitli çalışma koşullarında yüksek stabilite, kirleticiye karşı özel seçiciliğinin geniş olması, atıksu geri kazanım ve yeniden kullanımı tatlı su fiyatını düşürerek toplumun ekonomisinin güçlendirilmesi gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanında ön arıtma amaçlı olarak da bazı arıtma teknikleri öncesinde kullanılmaktadır. Dezavantaj olarak membran tıkanması bu teknolojinin en önemli sorunlarından biridir. Membran teknolojilerinde genel olarak maliyet, arıtma verimliliği, teknik uygulanabilirlik vb. kriterler optimum teknolojinin seçilmesinde dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir (Shehata ve diğerleri, 2023).

4.2.1 Membran Prosesleri

Atıksu arıtımında geleneksel yöntemlerden çeşitli fizikokimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Genel olarak geleneksel atıksu arıtma yöntemleri, atıksuda bulunan bozunabilir organik bileşiklerin ve askıda katı maddelerin büyük bir kısmını gidermede başarılıdır. Bununla birlikte, daha gelişmiş arıtma elde etmek ve kirleticileri etkili bir şekilde uzaklaştırmak için membran teknolojisi etkili yaklaşımlardan biri olarak kabul edilmiştir.

Membran prosesleri temel olarak mikrofiltrasyon, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon, ters osmoz, ileri osmoz, membran distilasyonu, elektrodializ, elektrodeiyonizasyon, pervaporasyon ve membran kontaktör farklı yaklaşımlarla geliştirilen diğer membran teknolojileridir (Singh ve diğerleri, 2023). Membran proseslerin genel özellikleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1 Membran proseslerinin genel özellikleri (Çelebi, 2015; Koyuncu, 2018)

Membran Prosesi	Membran Tipi	Membran İtici (sürücü) Kuvvet	Tipik Giderilen Maddeler	Tipik İşletme Basıncı	Geçirgenlik Dışında Performans Göstergesi
MF	Gözenekli	Hidrostatik basınç	AKM giderimi	0,1-2	Gözenek çapı
UF	Gözenekli	Hidrostatik basınç	Virüsler, kolloidler, makromoleküllerin giderimi	0,5-5	MWCO
NF	Gözeneksiz	Hidrostatik basınç	İyonlar ve renk giderimi, su yumuşatma	3-15	MgSO ₄ giderimi
TO	Gözeneksiz	Hidrostatik basınç	İyonlar ve küçük moleküllerin giderimi	8-60	NaCl giderimi
FO	Gözeneksiz	Kons. farklılığı	İyonlar ve küçük moleküllerin giderimi	-	Su akısı, ters tuz akısı
MD	Gözenekli	Sıcaklık Basıncı	İyonlar ve küçük moleküllerin giderimi	-	Sıvı geçiş basıncı

Tablo 4.1 Membran proseslerinin genel özellikleri (devamı)

ED	Gözeneksiz	Elektriksel potansiyel farklılığı	İyon giderimi, ultra saf su üretimi	-	Etkin iyon giderimi
EDI	Gözeneksiz	Elektriksel potansiyel farklılığı	İyon giderimi, ultra saf su üretimi	-	Etkin iyon giderimi
PV	Gözeneksiz	Kons. ve buhar basıncı farkı	Uçucu küçük moleküllerin su giderimi	-	Nihai ürün saflık oranı
MC	Gözenekli	Kons. ve buhar basıncı farkı	Uçucu küçük moleküllerin giderimi	-	Seçicilik

4.2.1.1 Mikrofiltrasyon (MF) Prosesi

Mikrofiltrasyon, 0,05-2 µm arasında değişkenlik gösteren gözenek boyutundaki parçacıkların ve mikroorganizmaların proses sıvılarından uzaklaştırılması için basınçla çalıştırılan bir ayırma işlemidir. Gözenek boyutu en büyük olan membranlardır (Wu ve diğerleri, 2022).

Mikrofiltrasyon, yüksek stabilitesi ve diğer fiziksel ve/veya kimyasal yöntemlerle esnek kullanılabilirliği sebebiyle uygulama alanını sınırlamamakta olup farmasötik sterilizasyon, içeceklerin sterilize edilmesi, su arıtma, şarap ve binaların berraklaştırılması, süt ürünleri işleme ve bazı bileşenlerin konsantre edilmesi gibi Tablo 4.2'deki alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (De Cazes ve diğerleri, 2015; Lerch ve diğerleri, 2005).

Mikrofiltrasyon membranları mikroorganizmaların, kolloidal elementlerin ve askıda maddelerin giderilmesi yoluyla su kalitesinin iyileştirilmesinde mükemmel sonuçlar göstermektedir (Lagdali ve diğerleri, 2023). Mikrofiltrasyon membranları kullanılarak yapılan ayırma işlemleri sırasında membran kirlenmesi çok önemli bir sorun olup iç kirlenme veya dış kirlenme olarak sınıflandırılmaktadır. Dış kirlenme, membran gözeneklerine giremeyen büyük parçacıkların birikmesi sebebiyle membranın yukarı akış yüzeyinde meydana gelen kek tabakası oluşumundan kaynaklanırken, iç kirlenme, gözenekli yapı içinde meydana gelen gözenek daralması ve/veya gözenek tıkanmasından kaynaklanmaktadır. Membran

gözeneklerine girebilen küçük parçacıkların birikmesi sebebiyle membran tıkanması meydana gelmektedir (Chew ve diğerleri, 2020).

Tablo 4. 2 MF membranların sektör uygulama alanları (Koyuncu, 2018)

Sektör	Uygulama Alanları
Denizcilik	Gemilerden kaynaklanan yağlı atıksuyun arıtılması
Gıda	Süt endüstrisi atıklarından peynir altı suyu proteinlerinin ayrılması ve/veya verimli bir şekilde geri kazanılması Meyve suyu, üzüm işleme dahil olmak üzere tarımsal gıda üretiminin belirli alanlarında yan ürünlerinden elde edilen bileşiklerin ayrılması ve entegre membran operasyonlarında uygulanabilmesi Maya vb. fermentasyon ürünlerinden mikroorganizmaların giderilmesi
Kâğıt	Proses suyu arıtımı
Su	Ön arıtma (NF/TO öncesinde) Organik madde giderimi

4.2.1.2 Ultrafiltrasyon (UF) Prosesi

Ultrafiltrasyon, 0,01-0,1 μm arasında değişen gözenek boyutuna sahip olup, kolloidler, makromolekülleri, askıda katı maddeleri, mikrofiltrasyon membran tarafından tutulamayan parçacıkları ayırmak için kullanılmaktadır. Bu teknoloji, tutulan parçacık aralığı ve membran performansını korumak için gerekenden daha yüksek osmotik basınç sebebiyle mikrofiltrasyondan farklıdır (Lin ve diğerleri, 2023; Shehata ve diğerleri, 2023).

Düşük basınçla çalıştırılan uygun bir prosese sahip ultrafiltrasyon membran, kontrol ve çalıştırma kolaylığı, çevre dostu olması ve enerji verimliliği sebebiyle yüzeysel su arıtımında doğrudan, atıksu arıtımında ise doğrudan ve/veya membran biyoreaktör sistemlerine entegre edilerek kullanılması, çeşitli endüstriyel uygulamalarda ana tercih haline gelen bir membran ayırma teknolojisidir. Ek olarak, polimerik ultrafiltrasyon membranları, maliyet etkinlikleri ve işlevsellikleri sebebiyle proteinlerin saflaştırılması, yağ-su ayırımındaki kritik önemi, organik kirleticilerin ve virüslerin geçişinin geciktirilmesi gibi özellikleri sebebiyle giderek daha fazla tercih edilmektedir.

Polieterimid (PEI); polietersülfon (PES), polivinil klorür (PVC), poliakrilonitril (PAN) ve politetrafloroetilen (PTFE) gibi diğer polimer malzemelerle karşılaştırıldığında kimyasal stabilite, mekanik mukavemet ve membran oluşum kolaylığı gibi sebeplerle ultrafiltrasyon membranlarının hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang ve diğerleri, 2023). Tablo 4.3'te UF membranların kullanım alanları belirtilmiştir.

Tablo 4. 3 UF membranların sektör uygulama alanları (Koyuncu, 2018)

Sektör	Uygulama Alanları
Metal	Metal üretimindeki emülsiyonların geri kazanımı
Gıda	Süt endüstrisi atıklarından peynir altı suyu proteinlerinin ayrılması ve/veya verimli bir şekilde geri kazanılması Meyve suyu, üzüm işleme dahil olmak üzere tarımsal gıda üretiminin belirli alanlarında yan ürünlerinden elde edilen bileşiklerin ayrılması ve entegre membran operasyonlarında uygulanabilmesi Sıvı içeceklerin zararlı mikroorganizmalardan arındırılması Maya vb. fermentasyon ürünlerinden mikroorganizmaların giderilmesi
Tekstil	Proses suyu arıtımı
İlaç	Suların/çözeltilerin steril filtrasyonu
Kâğıt	Proses suyu arıtımı
Su	Ön arıtma (NF/TO öncesinde) Doğal veya sentetik organik madde giderimi

4.2.1.3 Nanofiltrasyon (NF) Prosesi

Nanofiltrasyon, ters osmoz ve ultrafiltrasyon arasında yer alan membran türüdür. Nanofiltrasyon membranlar tek değerlikli iyonların ve küçük moleküllerin geçmesine izin verirken iki değerlikli ve çok değerlikli iyonların geçişine izin vermemektedir. Boyalar, Cr-Pb-Sn toksik iyonlar, karbonhidratlar ve çok değerlikli tuzların giderimde, su yumuşatma, yüzey ve yeraltı suyu ıslahı, atıksu arıtımı ve su geri kazanımı dahil olmak üzere nanofiltrasyon membranlar birçok önemli çevresel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu teknoloji çoğu membran prosesinde son aşamayı oluşturmaktadır. Askıda katı maddelerin, organik kirletici gösterge değerlerinin ve mikron aralığındaki fraksiyonlarda

yakalanamayan renk giderme verimliliğinin artan geçirgenlik ile korunduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, ters osmozun aksine, nanofiltrasyon membran teknolojisi, ters osmozdan daha büyük gözenek boyutuna sahip olup kirleticileri daha az uzaklaştırmaktadır (Shehata ve diğerleri, 2023). Tablo 4.4'te NF membranların kullanım alanları belirtilmiştir.

Tablo 4. 4 NF membranların sektör uygulama alanları (Koyuncu, 2018)

Sektör	Uygulama Alanları
Metal	Proses suyu arıtımı (durulama, kaplama vb.) ve madde geri kazanımı
Gıda	Süt işleme, laktoz ayrımı Meyve suyu, üzüm işleme dahil olmak üzere tarımsal gıda üretiminin belirli alanlarında yan ürünlerinden elde edilen bileşiklerin ayrılması ve entegre membran operasyonlarında uygulanabilmesi Sıvı içeceklerin zararlı mikroorganizmalardan arındırılması
Tekstil	Proses suyu arıtımı ve madde geri kazanımı (boyama, terbiye vb.)
Ağır Metal	Yeraltı ve yerüstündeki sularda ağır metal giderimi
Kâğıt	Proses suyu arıtımı ve geri kazanımı
Kimya	Proses suyu arıtımı, su ve madde geri kazanımı Sıvı-organik karışımların ayrımı

4.2.1.4 Ters Osmoz (TO) Prosesi

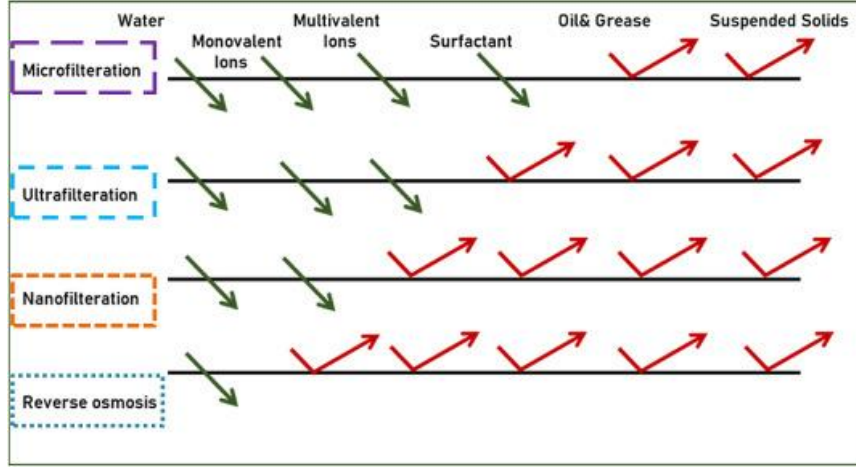
Ters osmoz prosesi, yoğun aktif yüzeye sahip daha çok gözeneksiz membran yapıları kullanılarak tek değerlikli tuzları, metal iyonlarını ve küçük organik molekülleri ayırma kapasitesine sahiptir (Koyuncu, 2018). Ters osmoz endüstriyel atıksuyun temiz suya veya yeniden kullanımı için tuzdan arındırma teknolojisi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Tipik bir TO işlemi, suyun yaklaşık %75'ini süzüntü olarak geri kazanırken, konsantre olarak yaklaşık %25 daha fazla konsantre atıksu üretir (Xiong ve diğerleri, 2017).

Ters osmozun birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar; seçici membranların mineral reddinde yüksek verimliliği, suya yüksek geçirgenlik, azalan üretim maliyetleri, halk sağlığı ve çevrenin korunması, faz değişimi olmadan oda sıcaklığında ayırma işlemi vb. sıralanmaktadır (López-Ramírez ve diğerleri, 2006).

Gelişmiş atıksu arıtımında TO kullanımındaki zorluklardan biri membran kirlenmesidir. Atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun kalitesi, tuzdan arındırma uygulamalarına yönelik tipik besleme suyundan çok farklıdır; Tuzdan arındırma uygulamalarına yönelik besleme suyunda inorganik tuz konsantrasyonları yüksekken, atıksuyun yeniden kullanılmasına yönelik besleme suyunda genellikle inorganik tuzlar daha düşük, ancak organik maddeler daha yüksektir. Bu nedenle, yeniden kullanım uygulamalarında TO için membran kirlenmesi sorunlarının da tuzdan arındırma uygulamalarından farklı olması beklenmektedir. İnorganik minerallerin çökmesinden kaynaklanan kabuklanma ve parçacıklı maddeden kaynaklanan kirlenme tuzdan arındırma uygulamalarında yaygın olarak karşılaşılan sorunlardır (Farias ve diğerleri, 2014). Ters osmoz kimya, tıp, tekstil, petrokimya, elektrokimya, su arıtma, biyoteknoloji ve çevre endüstrileri gibi Tablo 4.5'deki alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Madaeni ve Samieriad, 2010).

Tablo 4. 5 TO membranların sektör uygulama alanları Koyuncu, 2018)

Sektör	Uygulama Alanları
Metal	Proses suyu arıtımı (durulama, kaplama vb.) ve madde geri kazanımı
Gıda	Süt işleme, Proses suyu arıtımı, su ve madde geri kazanımı
Tekstil	Proses suyu arıtımı ve madde geri kazanımı (boyama, terbiye vb.)
Ağır Metal	Yeraltı ve yerüstündeki sularda ağır metal giderimi
Kâğıt	Proses suyu arıtımı ve geri kazanımı
Enerji	Soğutma ve kazana besleme suyu geri kazanımı
İlaç	Saf su üretimi
Desalinasyon	Deniz suyu arıtımı Tuzlu su arıtımı Evsel ve endüstriyel atıksu arıtımı İçme suyu arıtımı
Kimya	Proses suyu arıtımı, su ve madde geri kazanımı Sıvı-organik karışımların ayrımı



Şekil 4. 1 Gözenek boyutuna ve tutulan türlere göre membranların sınıflandırılması (Shehata ve diğerleri, 2023)

Membran prosesleri birçok avantaj ve dezavantaja sahip olup Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4. 6 Membran prosesleri avantaj/dezavantaj (Ahmed ve diğerleri, 2022)

Membran Prosesi	Avantaj	Dezavantaj
Mikrofiltrasyon	- Basınç ve enerji tüketimi düşük - Fiyat nispeten düşük	- Oksitleyicilere karşı hassas - Arıtılmış atıksuyun kalitesinin yetersizliği - Yalnızca bazı bakterilerin ve askıda kalan maddelerin uzaklaştırılması
Ultrafiltrasyon	- Basit süreç - Uygun maliyetli	- Askıdaki bazı maddelerin, virüslerin ve bakterilerin uzaklaştırılması
Nanofiltrasyon	- Yüksek verim - Kullanımı kolay - Su geçirgenliği daha yüksek - Düşük basınçlarda üretilen daha yüksek akı	- Serbest kloru duyarlı - Yüksek maliyetli
Ters Osmoz	- Yüksek verim - Kullanımı kolay - Tüm mineral tuzların uzaklaştırılması	- Sermaye ve işletme maliyetleri yüksek - Yüksek basınç - Bazı durumlarda ön arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

4.2.2 Endüstriyel Atıksu Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri

Hızlı sanayileşme sebebiyle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde birincil kaynakların tükenmesi ve artan hammadde talebi, ikincil kaynaklardan değerli yan ürünlerin geri kazanılması ve geri dönüştürülmesi için teknolojik ilerlemeyi zorunlu kılmıştır. Özellikle endüstriyel atıksu arıtımı ve geri kazanımın çalışmaları önem kazanmıştır (Kumar ve diğerleri, 2023).

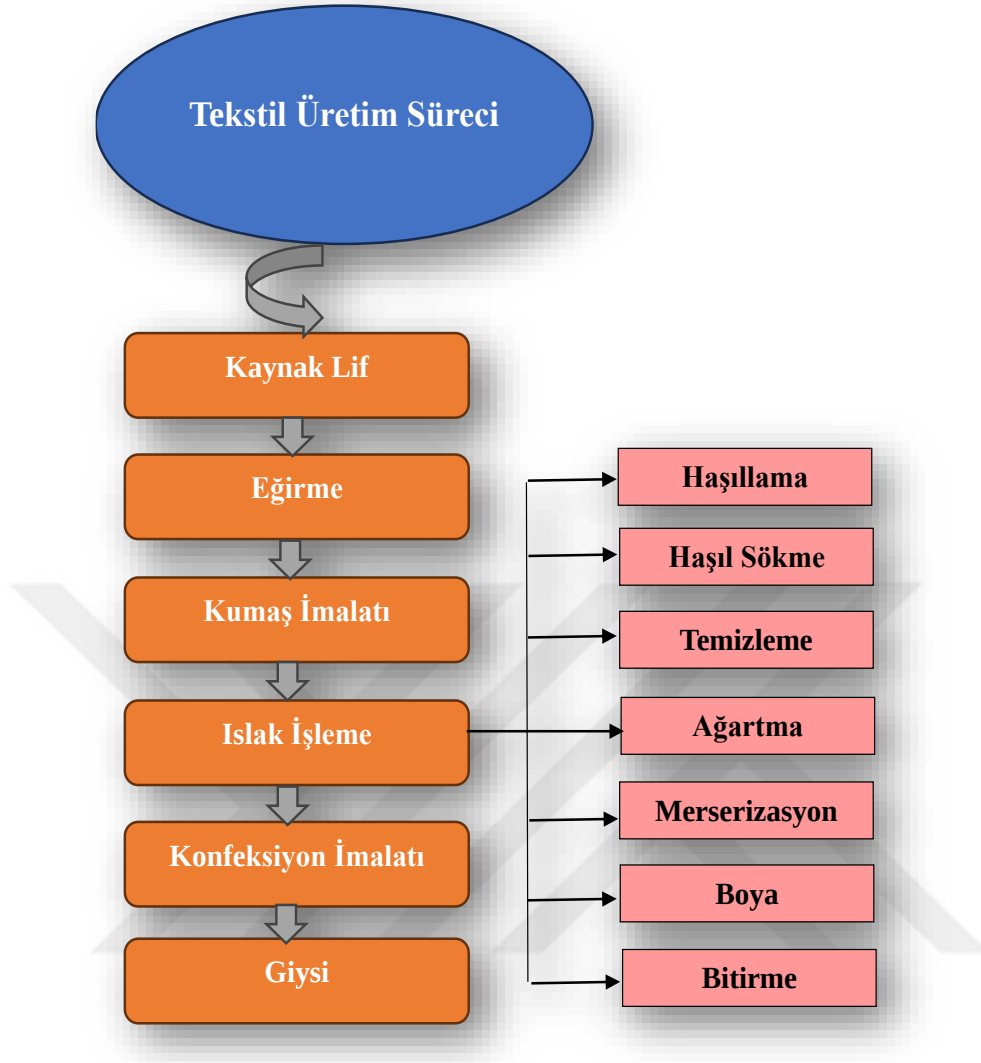
Endüstriyel atıksuların geri kazanımı için çeşitli teknoloji kullanılmaktadır. Bu teknolojiler arasında basit işletilebilirliği, modülerliği ve kapasite artış ve azalışlarına cevap verebilirlik kabiliyeti sebebiyle membran teknolojileri geleneksel atıksu arıtma teknolojilerine kıyasla daha etkili olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, besin maddeleri gibi değerli kaynakların membran teknolojileri yoluyla geri kazanılmasının ekonomik ve çevresel fizibiliteye yol açabileceği belirtilmiştir. Genel olarak kimya, biyokimya, gıda ve imalat sanayi sektörlerinde membran teknolojilerinin uygulanması yoluyla atıksu arıtımının, saflaştırma ve kaynak geri kazanımı için yakın gelecekte etkili olarak kullanılabileceği öngörülmektedir (Chowdhury ve diğerleri, 2021).

Bu bölümde tekstil endüstrisi atıksuları, kâğıt endüstrisi atıksuları ve yağ endüstrisi atıksularının geri kazanılmasındaki membran teknolojisi uygulamaları hakkında literatürde yapılan çalışmalara dair bilgi verilecektir.

4.2.2.1 Tekstil Endüstrisi Atıksu Geri Kazanımı

Çeşitli endüstriler arasında en eski ve en önemli endüstri, 1,3 trilyon dolar piyasa değeriyle ve dünya çapında 300 milyon kişiye istihdam oluşturan tekstil sektörüdür (Sharma ve diğerleri, 2023). Ayrıca tekstil endüstrisi, sürecin her aşamasında çevresel ayak izi açısından önemli bir katkıya sebep olmaktadır (Cai ve diğerleri, 2021).

Sektörde 1 kg tekstil ürünü üretimi için yaklaşık 100-200 lt arası atıksu oluşmaktadır (Kader ve diğerleri, 2022). Örneğin, Çin'in tekstil endüstrileri; askıda katı madde, yüksek renk ve BOİ içeren atıksuyun %51'ini oluşturmaktadır. 2050 yılına kadar tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksu kirliliğinin küresel olarak iki katına çıkacağı ve bu durumun tekstil tarım endüstrisinden sonra en büyük kirleticisi endüstri haline getireceği tahmin edilmektedir. Tekstil endüstrisinde yer alan süreçler Şekil 4.2'de gösterilmektedir (Sharma ve diğerleri, 2023).



Şekil 4. 2 Tekstil üretiminde yer alan süreçler (Sharma ve diğerleri, 2023)

Tekstil endüstrisi atıksuları 30-90°C arası sıcaklıkları, 4-12 arası pH'ları değişmektedir. Tekstil endüstrisi boyama prosesinde reaktif boyalar, indigo boyalar, azo boyalar, direkt boyalar, dispers boyalar vb. kullanılmaktadır. Örneğin, dispers boyalar için kg ürün başına 100-150 lt atıksu, direkt ve reaktif boyalar için ise 125-1651 lt atıksu üretmektedir. Genel olarak büyük moleküler yapılar sahip organik tekstil boyaları, metaller, tuzlar tekstil endüstrisi atıksularının deşarjında karşılaşılan önemli kirleticilerdir. Tekstil endüstrisi proses sularının arıtılması sonucu üretim faaliyetlerinde yeniden kullanılacağı durumlarda AKM, KOİ, BOİ, renk gibi parametrelerin giderilmesi gerekmektedir. Bu durum tekstil endüstrisi ürün kalitesi açısından önemli bir kriterdir. (Koyuncu, 2018).

Membran teknolojileri tekstil endüstrisi atıksularının geri kazanımında aktif olarak tercih edilmektedir. İncelenen literatür çalışmalarında, mikrofiltrasyon (MF) prosesi boya atıksularından kolloidal boyaların adsorpsiyonu için uygun olup, yardımcı kimyasalların tutunumunu sağlayamaz. Bu sebeple mikrofiltrasyon prosesinin, membran proseslerden herhangi biriyle ardışık olarak kullanımı daha uygundur (Ong ve diğerleri, 2014). Ultrafiltrasyon (UF) prosesi makromoleküller ve partiküllerin gideriminde oldukça verimlidir. Örneğin; Güney Afrika'da bulunan pamuk boyama işlemi sonrasında oluşan atıksuların yeniden kullanımı için ultrafiltrasyon prosesi kullanılmış ve böylece %90 su geri kazanımı sağlanmıştır (Vandevivere ve diğerleri, 1998). Norveç'te bulunan iplik fabrikası ultrafiltrasyon prosesi ile 100 g/dm³'den yüksek KOİ içeren sıcak yün yıkama sularını %80 oranında AKM, KOİ ve yağ giderim verimi ile arıtmaktadır (Vandevivere ve diğerleri, 1998; Ciardelli ve diğerleri, 2001).

Tekstil endüstrisi yüksek moleküler ağırlıklı atıksuların arıtımında etkin olup, düşük moleküler ağırlıklı boyalar üzerinde başarılı sonuç vermemektedir. Bunun sebebi %30-90 arasında değişkenlik gösteren kirletici adsorpsiyonudur. Dolayısıyla mikrofiltrasyon prosesindeki gibi ultrafiltrasyon porsesi sonrasında nanofiltrasyon ya da ters osmoz prosesi ardışık olarak kullanılmalıdır (Koltuniewicz, 2010; Vandevivere ve diğerleri, 1998).

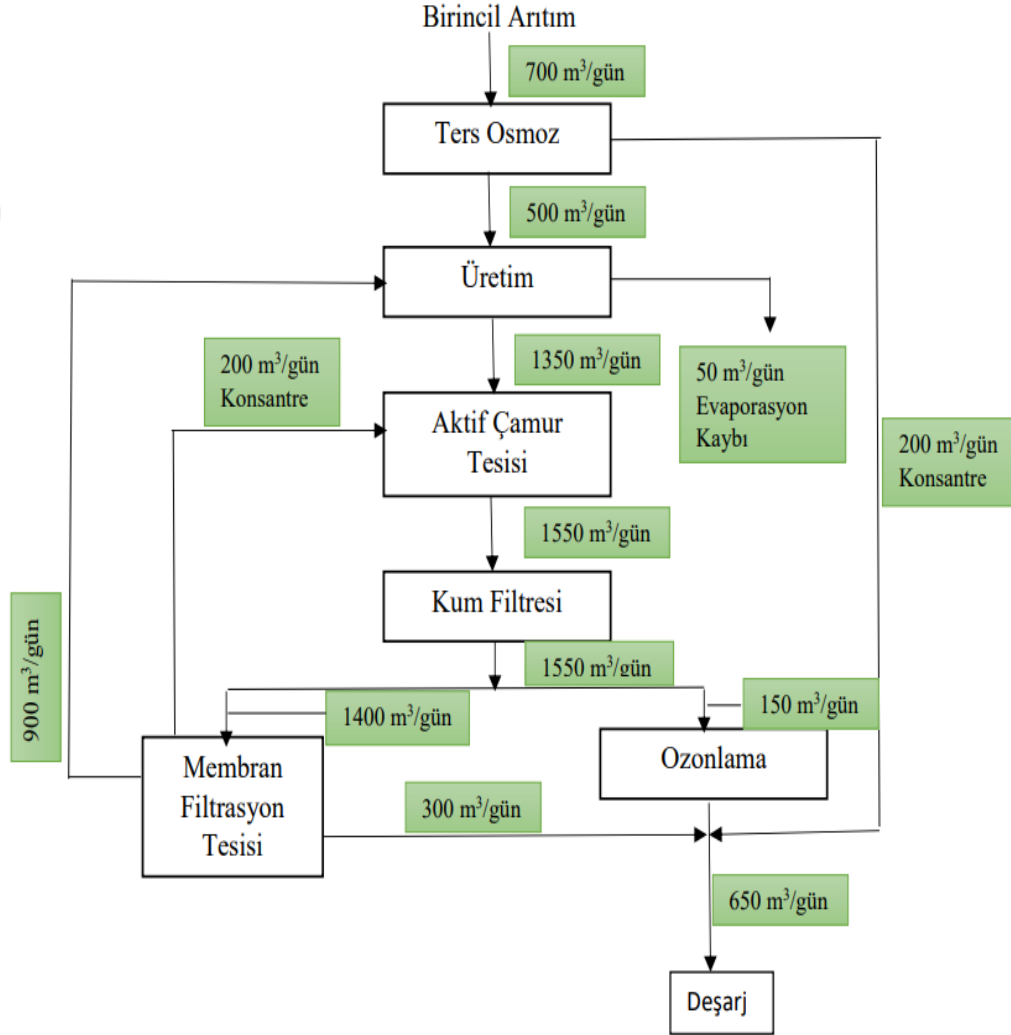
Nanofiltrasyon (NF) prosesi düşük moleküler ağırlıklı atıksuların arıtımında ve iki değerlikli iyonları sudan ayırmada etkilidir. Tekstil endüstrisi atıksularından boyaların tutunumunu sağlayarak boyaların yeniden kullanılmasına, atıksudan boyaların uzaklaştırılmasına, elde edilen suyun yeniden kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Ters Osmoz (TO) prosesi, tekstil endüstrisi atıksularının tüm iyon türlerinin giderilmesi açısından uygundur (Koyuncu, 2018).

Tekstil endüstrisi boyama proseslerinden kaynaklanan atıksularda doğrudan kullanılabilirliği sayesinde tesis işletme maliyetleri ve su tüketimi %50'ye yakın azalmaktadır. Ayrıca KOİ, renk, tuz (%95'e kadar tuz giderimi) parametreleri için yüksek giderim verimi sağlamaktadır (Koltuniewicz, 2010).

Bir başka pilot tesis çalışmalarında reaktif boyama ve yıkama prosesinden gelen atıksularını ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz'dan geçirerek %93 tuz ve

renk giderimi sağlanmıştır (Bonomo ve diğerleri, 1999). İtaya’da yapılan pilot ölçekli çalışmada tekstil endüstrisi atıksularının geri kazanımı için konvansiyonel arıtma sistemleri ile beraber ultrafiltrasyon, nanaofiltrasyon ve ters osmoz membranları kullanılmıştır (Marcucci ve diğerleri, 2001).

Şekil 4.3’te tekstil endüstrisinde geri kazanılabilen ve deşarj edilen su miktarları belirtilmiştir.



Şekil 4. 3 Tekstil atıksuyunun membran proseslerle arıtılması (Koyuncu, 2018)

4.2.2.2 Kâğıt Endüstrisi Atıksu Geri Kazanımı

Kâğıt endüstrisi, kâğıt yapımı süreçlerinde (hamur, ağartma, yıkama vb.) çok fazla su tüketen, bunun sonucunda da yüksek miktarda atıksu üreten ve kirliliğe sebep olan 17 endüstri arasında yer almaktadır. Ayrıca üretim sürecinde fazla miktarda tatlı su kullanımının yanı sıra birçok kimyasal kullanılmaktadır. Oluşan atıksu

ekonomik değeri olan yüksek organik madde, besin maddeleri, lignin ve türevlerini, çeşitli ksenobiyotik bileşikleri (klorlu fenoller , dioksinler, klorlu lignin ve diğer metal iyonları , organik asitler vb.) içermektedir (Kumar ve diğerleri, 2023; Kumar ve diğerleri, 2021).

Kâğıt endüstrisi atıksuları koyu kahverengi olup fotosentezi, optimum pH değerini sınırlayarak ve çözünmüş oksijenin varlığını azaltarak sudaki yaşama zarar verir. Bu sebeple çevresel tahribatı azaltmak için uygun atıksu arıtımına ihtiyaç duyulmaktadır. Aksi takdirde suda yaşayan canlı organizmalar üzerinde olumsuz etki gibi ciddi çevresel tehditlere sebep olmaktadır. Kâğıt endüstrisi atıksularının ekonomik değeri yüksek olduğundan çeşitli ileri arıtma yöntemleri kullanılarak katma değeri yüksek hem besin hem de su geri kazanımı sağlanabilmektedir (Şekil 4.4). Geri kazanılan su endüstride, tarımsal işlemlerde ve diğer faydalı hizmetlere yönelik talebin karşılanması için kullanılabilir (Kumar ve diğerleri, 2023).



Şekil 4. 4 Su ve besin geri kazanımı (Kumar ve diğerleri, 2023)

Kağıt endüstrisi atıksularının geri kazanımında en kritik nokta renk giderimidir. Membran teknolojisi ile renk gideriminin en yaygın kullanılan örneği ultrafiltrasyon ve ters osmozdur. Her iki teknikte de kullanılan itici güç sıvı basıncıdır. Bu yöntem etkilidir ancak membranın ömrü ve bakım sorunu büyük bir

sorundur. Akı oranının azalmasına sebep olan membran kirlenmesini önlemek amacıyla atıksudaki kolloidal ve partiküler maddeyi uzaklaştırmak için ön arıtma yapılmalıdır (Kumar ve diğerleri, 2021).

Pokhrel ve Viraraghavan, (2004) yapmış oldukları çalışmada kağıt endüstrisi atıksularından renk giderimi için ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyonu kullanarak sırasıyla giderim verimleri %98 ve %100 olarak bulmuştur. Literatür çalışmasına göre, membran filtrasyonu tüm boya türlerini ortadan kaldırdığı ancak membran teknolojisinin kullanımında membran kirlenmesi, pahalı modifikasyon, sistem korozyonu gibi bazı zorluklar ortaya çıkmıştır (Sivarajasekar ve Basar, 2015). Kağıt fabrikalarında atıksudaki yüksek kalsiyum konsantrasyonu sebebiyle de yüksek bakım maliyetleri ortaya çıkmıştır (Lin ve diğerleri, 2015; Toczyłowska-Mamińska, 2017).

4.2.2.3 Gıda Endüstrisi Atıksu Geri Kazanımı

Gıda endüstrisi birçok ülkenin ekonomik büyümesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ancak gıda endüstrisi dünya çapında en çok içme suyu tüketen ve büyük miktarlarda atıksu üretimi sebebiyle çeşitli çevresel sorunlara yol açan bir endüstridir (Tekerlekopoulou ve diğerleri, 2020).

Gıda ve içecek sektörlerin üretiminde tüketilen su miktarı, üretim proseslerin türüne ve proses parametrelerine, nihai son ürün sayısına, tesisin kapasitesine, süreçte kullanılan proses ekipmanlara, temizlik işlemleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple, gıda endüstrilerinden kaynaklanan atıksu, farklı gıda üretim ünitelerinden, durulama ve temizleme faaliyetlerinden ve yan ürünlerin, yani hem katı hem de sıvı atıkların oluşumundan ve spesifik koşullara bağlı olarak oldukça değişkenlik göstermektedir. Bir gıda tesisinde çeşitli proses aşamalarında su kullanımı ve özelliklerinin değerlendirilmesi, yeniden kullanım için olası arıtma teknolojilerin seçilmesine yardımcı olmaktadır. Seçilen arıtma teknolojisinin verimliliği, atıksuyun gıda endüstrisindeki farklı prosesler ve operasyonlar için yeniden kullanılma olasılığını artıracaktır (Sethu ve Viramuthu, 2008). Ancak gıda sektörü işletmeleri, geri kazanılmış suyun yeniden kullanım suyu olarak değerlendirilmesinde suyun özellikleri ve potansiyel kirlenme riskleri hakkındaki olumsuz algılar sebebiyle yeniden kullanıma oldukça mesafeli davranmaktadır (Meneses ve diğerleri, 2017).

Hijyen standartlarının düşürülmesi endişesi, gıda endüstrisinde suyun yeniden kullanımının önünde önemli bir engel olmaya devam etmektedir. Ayrıca mevcut düzenlemeler, nihai ürünlerin güvenliğinin ve kalitesinin tehlikeye atılmamasını sağlamak amacıyla gıdayla temas eden uygulamalarda içme suyu veya eşdeğerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Sağlıkla ilgili risklerin tam olarak değerlendirilmesi zor olduğundan, bu engelleyici endişeler anlaşılabilir olsa da, bu alanda gelecekte ortaya çıkabilecek sorunlardan kaçınmak için yeni araştırma ve inceleme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Geri kazanılmış suyun dolaylı veya doğrudan olarak yeniden kullanımı mevcuttur. Suyun dolaylı olarak yeniden kullanımı, atıksuyun arıtma tesislerinde arıtılması ve sonrasında arıtılan suyun doğal su döngüsüne (göl, nehir veya yeraltı suyu akiferi) iletilmesi ile oluşmaktadır (Deloitte, 2015). Diğer taraftan arıtılmış atıksuyun doğrudan yeniden kullanımı daha çok tarım, peyzaj, park sulama, soğutma ve yıkama işlemleri gibi içme dışı amaçlar için kullanılmaktadır. Mevzuat bu durumda daha esnek olduğundan küçük ve orta ölçekli fabrikalarda atıksuyun doğrudan yeniden kullanımını teşvik etmektedir. Örnek olarak, Hindistan'ın Dharmasthala şehrindeki Annapurna mega mutfağı, pirincin pişirilmesi ve yıkanması sonucu günlük yaklaşık olarak 3000-5000 litre nişastalı su üretmekte olup, bu su ayrıca yüksek BOİ konsantrasyonu içermektedir. Oluşan nişasta atıksuyu, Annapurna'daki bir çiftlikte yer alan 125 adet sığırı beslemek için ek gıda olarak kullanılmakta ve süt üretim verimini artırarak günlük 3500 litreye çıkartmaktadır (Shrivastava ve diğerleri, 2022).

Gazlı içecek üreten sektörlerin başında gelen şirketlerden biri endüstriyel tesislerinde üretilen 804 milyar litre atıksuyun yaklaşık 173 milyar litresini üretim süreçleri, işletme ve bakım faaliyetleri vb. alanlarda yeniden kullanmaktadır. Öncü şirketin bu girişimi aynı zamanda diğer büyük sanayi devleri için de bir referans noktası oluşturarak olumlu etkileşimli rekabete katkıda bulunmakta ve suyun sürdürülebilir kullanımına katkı sağlamaktadır (Shrivastava ve diğerleri, 2022).

Örneğin, bira üretiminde sanayi devi olan bir şirket yakın zamanda "Her Damla" girişimi kapsamında bira fabrikası atıksuyunun %100'ünü 2030 yılına kadar yeniden kullanma/arıtma sözü verilmiştir (Wastewater Digest, 2019).

Tablo 4.7'de gıda endüstrisi atıksu arıtımında kullanılan teknolojileri KOİ, BOİ ve AKM giderim verimlilikleri gösterilmiştir.

Tablo 4. 7 Gıda endüstrisi atıksu arıtımında kullanılan farklı teknolojilerin KOİ, BOİ ve AKM giderim verimlilikleri (Shrivastava ve diğerleri, 2022)

Yöntem	KOİ (%)	BOİ (%)	AKM (%)
Fiziksel ve biyolojik arıtma	87	92	97
TO	95	97	99
Elektrokimyasal	92	—	—
Kimyasal oksidasyon ve elektro oksidasyon	98	—	—
Mikrobiyal yakıt hücreleri	80-90	—	—
Çözünmüş hava flotasyonu	87,5	—	97,8
MF/UF/NF	60	—	—
Fotokatalitik bozulma	91,7	—	—

Joudah ve Racoviteanu (2019), tarafından yapılan bir çalışmada et endüstrisinden gelen atıksuların arıtılmasında ikincil bir adım olarak membran biyoreaktör (MBR) kombinasyonu ile aerobik-anaerobik arıtma kullanılmıştır. 24 saatlik HRT ile AKM, BOİ₅ ve KOİ %99, %95 ve %96 oranında giderim verimi sağlanmıştır. Bu durumda arıtılan atıksu, reaktörün geri yıkama işlemi için kullanılmıştır. Fransa’da yapılan başka bir çalışmada süt endüstrisi atıksuları (100 m³/gün), 540 m²’lik bir ters osmoz ünitesi kullanılarak arıtılmıştır. Bu sistemin verimliliği BOİ₅ giderimi >%97 ve arıtılan suyun yaklaşık %95’i geri kazanılmıştır. Ancak Fransız mevzuatı geri kazanılmış suyun üretim süreciyle doğrudan temas etmesine izin vermediğinden arıtılan atıksu; kazan suyu, soğutma suyu, temizlik işleri vb. olarak kullanılmıştır (Vouch ve diğerleri, 2008). Başka bir çalışmada deşarj limitlerine ulaşmak için TO ile birlikte aktif karbon kullanılmıştır (Hernández ve diğerleri, 2021).

Zeytin değirmeni atıksuyundan fenolü geri kazanmak için nanofiltrasyon ve ardından ters osmoz membran yöntemi Ochando-Palido ve Martinez-Ferez (2018), tarafından kullanılmıştır. Hernández ve diğerleri (2021), tarafından yakın zamanda yapılan bir başka çalışmada, hayvansal proteinler üreten bir fabrikanın proses atıksularını UF ve TO kombinasyonu ile arıtımı sağlayarak, atıksuyun geri kazanımında tüm kalite parametrelerinde %95’in üzerinde verimlilik gösterdiği belirtilmiştir.

Gıda endüstrisi atıksularının yeniden kullanımına yönelik üçüncül arıtmada TO teknolojisiyle birleştirilen NF, en etkili seçeneklerden biridir. Bu proseslerin kullanımında, dayanıklılığı, düşük geçirgenlik akısı, gibi diğer teknolojilere göre belirli avantajları olması umut verici bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Wentem ve Khoiruddin, 2016).

4.3 Endüstriyel Simbiyoz

Gelişmekte olan ülkelerde endüstriyel ve ticari faaliyetler, çevresel problemler oluşturan atık miktarlarının artmasına ve atık yönetiminin karmaşıklığına sebep olmaktadır. Çevresel, ekonomik, sosyal ve sürdürülebilirlik etkileri sebebiyle, uygun atık yönetimi dünya çapında önemli görülmektedir. Bu soruna çözüm olarak, temiz enerji geliştirmek, endüstriyel kaynakların verimliliğini artırmak ve malzemeleri geri dönüştürmek ve yeniden kullanmak için stratejiler uygulanmaktadır (Boom Cárcamo ve Peñabaena-Niebles, 2022).

Bu stratejiler ile birlikte endüstriyel simbiyoz kavramı oluşmuş olup, endüstriyel ekolojinin “birbirinden bağımsız ayrı endüstrileri, enerji, su, yan ürün alışverişini içeren karşılıklı rekabet avantajını toplu bir yaklaşımla” birleştiren bir alt alanı olarak tanımlanmaktadır (Fraccascia ve Giannoccaro, 2020).

Endüstriyel simbiyoz iki veya daha fazla endüstri arasındaki işbirliğine dayalı kaynak kullanım ilişkisini temsil etmektedir (Huang ve diğerleri, 2019). Bir endüstriden gelen atığı diğeri için girdi veya hammadde olarak kullanmanın yollarını bulan, tümü ticari işbirliği ile desteklenen, atık ve malzemelerin fiziksel alışverişine dayalı, üretken bir zincirde atık kullanımı için endüstriyel simbiyoz bir strateji olarak ortaya çıkmıştır (Boom Cárcamo ve Peñabaena-Niebles, 2022).

Endüstriyel simbiyoz, üretim süreçlerinde kullanılan atık, girdi, hammadde, enerji ve su miktarındaki azalma sayesinde, genel olarak toplum için çevresel faydalar oluşturma yanısıra, gelişmekte olan ve öncü ülkelerde kaynak kullanımı için bir strateji haline gelmektedir (Fraccascia ve Giannoccaro, 2020).

4.3.1 Endüstriyel Simbiyozda Su Yeniliği

Tatlı suya olan talebin ve maliyetin artması ve buna bağlı olarak atıksu arıtma maliyetlerindeki artış sebebiyle, etkin yeşil kullanım stratejisine acilen ihtiyaç duyulmaktadır (Klemes, 2012).

Endüstriyel sektörlerde faaliyet konusuna bağı olarak proses suyunun depolanması ve temini, tüm su gereksinimlerinin karşılandığı merkezi bir su sistemi konseptine dayalı olarak üretim tesislerinin planlanması ve işletilmesi sırasında dikkate alınması gereken temel unsurlardır (Lawal ve diğerleri, 2021). Su, endüstriyel süreçlerdeki önemi ve gücü göz önüne alındığında, endüstriyel simbiyozda kritik bir rol oynamaktadır (Moro ve diğerleri, 2018). Endüstriyel simbiyoz, şirketler arasında su alışverişi ağlarının kurulması ve tatlı su talebinin azaltılması da dahil olmak üzere suya yönelik yenilikçi yaklaşımlar için bir platform sunmaktadır.

Büyük araştırmalara rağmen, sudan kaynak geri kazanımı (örneğin, enerji ve malzeme) dahil olmak üzere su inovasyonu uygulamalarının kapsamı bilinmemektedir. Literatürdeki bu boşluk, endüstriyel simbiyozda başarılı su inovasyonu uygulamalarına kapsamlı bir genel bakışın yanı sıra en iyi uygulamaların ve gelecekteki araştırma ve eylem fırsatlarının belirlenmesi ihtiyacını vurgulamaktadır (Ramin ve diğerleri, 2024).

Cheng ve diğerleri (2010), tesisler arasında suyun yeniden kullanımı/geri dönüşümüne ilişkin çalışmalarında, özellikle münferit tesislerin su kullanan ünitelerini birbirine bağlamak için merkezi ve merkezi olmayan su şebekelerinin yerleştirildiği yeni bir entegrasyon şeması önermiştir.

MATERYAL METOD

Bu çalışmada; Muratlı OSB AAT çıkış suyunun ileri arıtma yöntemlerinden ultrafiltrasyon ve ters osmoz kombinasyonu ile planlanan prosesle geri kazanılması ve geri kazanılan suyun kalitesine ve karakterizasyonuna bağlı olarak organize sanayi bölgesi içinde faaliyet konuları farklı 3 firmada proses suyu, soğutma suyu, kazan suyu vb. alanlarda yeniden kullanımının araştırılmasını kapsamaktadır.

Tablo 5. 1 Muratlı OSB AAT giriş ve çıkış su kalitesi (Entegre Çevre Bilgi Sistemi)

Parametre	Birim	AAT Giriş	AAT Çıkış	Verim (%)
AKM	mg/L	695	44,6	93,5
Florür (F^-)	mg/L	6,7	5,3	20
Toplam Siyanür (CN^-)	mg/L	0,05	0,03	40
Çinko (Zn)	mg/L	1,17	0,66	43,5
Kurşun (Pb)	mg/L	0,01	0,02	0
Toplam Fosfor (P)	mg/L	5	0,48	90
Sülfat (SO_4^{2-})	mg/L	90	785	0
Cıva (Hg)	mg/L	0,04	0,04	0
TKN	mg/L	144	4,76	96,5
KOİ	mg/L	3089	106	96,5
Demir (Fe)	mg/L	2,1	0,25	88
Bakır (Cu)	mg/L	0,044	0,028	36
Yağ ve Gres	mg/L	230	9,9	95,5
Kadmiyum (Cd)	mg/L	0,001	0,03	0
Toplam Krom	mg/L	0,075	0,03	60
Renk	(Pt-Co)	1000	135	865
pH	-	6-10	NS	NS
İletkenlik	$\mu S/cm$	NS	8040	NS

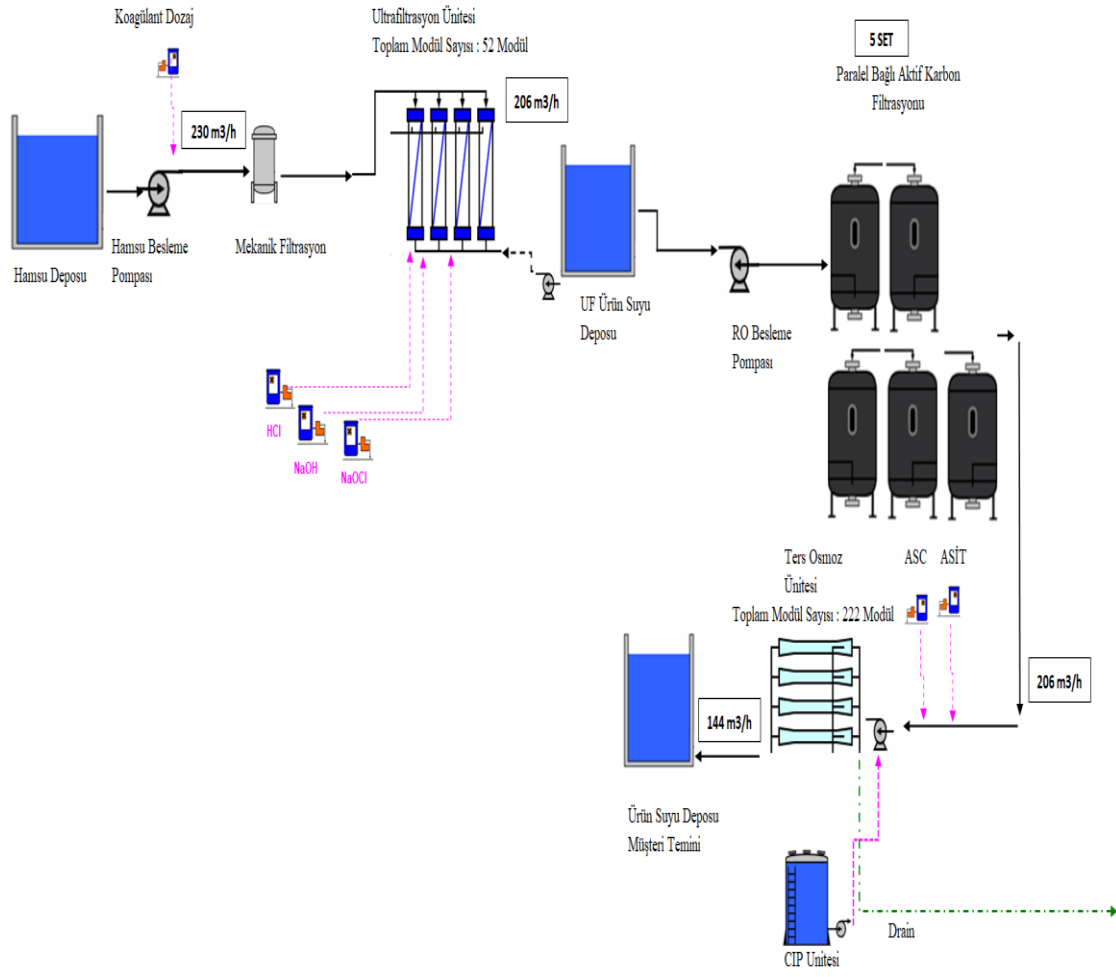
Tekirdağ İli, Muratlı İlçesinde bulunan Muratlı OSB AAT, organize sanayi bölgesindeki atıksuların arıtılması için 2018 yılından bu yana faaliyette

bulunmaktadır. Aşağıda belirtilen Tablo 5.1’de Muratlı OSB AAT’nin giriş ve çıkışından akredite laboratuvar tarafından “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Karışık Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları” kapsamında alınan numunelerin analiz sonuçları yer almaktadır (Entegre Çevre Bilgi Sistemi).

Tablo 5.1’de yer alan AAT çıkış su kalitesi değerlerine bakıldığında Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 19 alıcı ortama deşarj standartlarını sağlamaktadır.

Elde edilen çıkış su kalitesi değerleri dikkate alınarak çıkış suyunun geri kazanımı için ultrafiltrasyon ve ters osmoz kombinasyonu ile oluşan proses (Şekil 5.1) tasarımı gerçekleştirilmiştir. Atıksu arıtma tesisi geri kazanım proses tasarımı teknik ve ticari detaylar piyasa araştırması sonucu teklif alınarak oluşturulmuştur.





Şekil 5. 1 Akış diyagramı

Çalışmada tasarlanan hamsu besleme pompasının teknik özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5. 2 Hamsu besleme pompası

Adet	3 Servis 1 Yedek (Ters Yıkama Yedeği)
Kapasite	80m ³ /saat x 3 = 240 m ³ /saat, 3 bar
Malzeme	AISI 316 Kalite Paslanmaz Çelik
Şase	ST-37 Epoksi Boyalı Karbon Çelik
Borulama	PVC
Aksesuarlar	Dahildir.

Çalışmada tasarlanan koagülant dozaj sistemin teknik özellikleri Tablo 5.3’te verilmiştir.

Tablo 5. 3 Koagülant dozaj sistemi

Dozlanacak Kimyasal	Koagülant
Dozaj Pompası Adedi	1 Adet
Dozaj Pompası Kapasitesi	5,5 L/saat
Kontrol	On/Off Kontrollü
Kimyasal Tank Adedi	1 Adet
Kimyasal Tank Hacmi	500 L
Kimyasal Tank Malzemesi	Polietilen

Çalışmada tasarlanan mekanik filtrenin teknik özellikleri Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5. 4 Mekanik filtre

Miktar	2 Adet
Tip	Kendi kendini temizleyen hidrolik elek filtre
Kapasite	115 x 2 m ³ /saat = 230 m ³ /saat
Hassasiyet	150 mikron

5.1 Ultrafiltrasyon

Bilimsel gelişmeler sonucu ultrafiltrasyon filtrasyon teorilerinin en son noktasıdır. Ultrafiltrasyon, diğer membran arıtma teknolojileri olan nanofiltrasyon ve ters

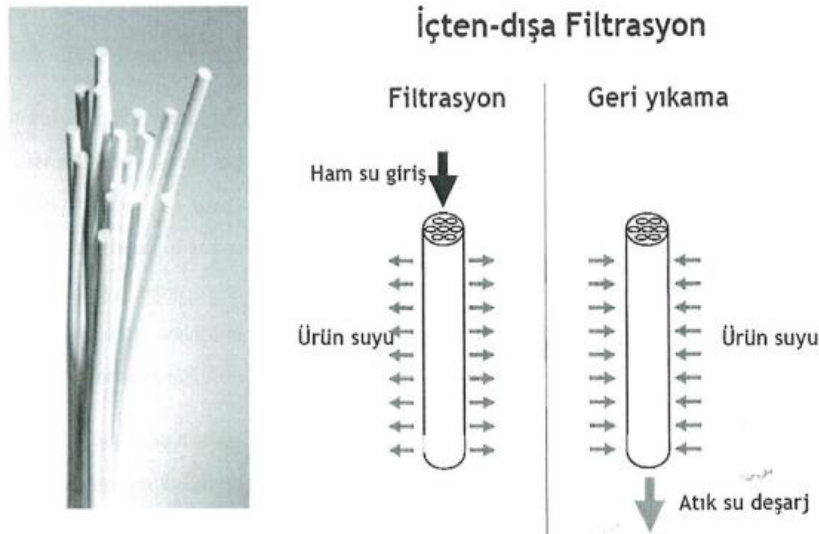
osmozun aksine suyun kimyasal yapısında herhangi bir değişikliğe sebep olmadan suyun fiziksel özelliklerinde yüksek seviyede iyileştirme sağlamaktadır.

Ultrafiltrasyon ile suda bulunan bulanıklık, AKM gibi parametreler ve muhtemel mikroorganizmalar giderilmektedir. Bu özelliği ise kaynak suları veya içme suları arıtımında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Kentsel ve/veya endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden gelen çıkış sularının membran teknolojileriyle arıtılarak, endüstride proses ve kullanma suyu olarak kullanılması mümkündür. İstenilen proses suyu kalitesine göre direkt UF üretim suları veya TO üretim suları proseste tekrar kullanılabilir. (Öztürk ve diğerleri, 2005).

5.1.1 Ultrafiltrasyon Çalışma Prensibi

Ultrafiltrasyon kılcal borucuklardan oluşan membran yapısına sahiptir. Çapraz akış (Cross-flow) veya Ölü nokta (Dead end) yöntemi ile bir sıvı ölçülen bir gözenek boyutuna sahip delikli bir membranın bir tarafına basınç altında yerleştirilir. Ölçülen gözenek boyutundan daha küçük tüm malzemeler membrandan geçer ve büyük kirlenmeler membranın besleme tarafında yoğunlaşır.

UF, TO için bir ön arıtma adımı olarak veya tek başına bir proses olarak kullanılır. UF prosesi, bileşenleri sudan TO kadar etkili bir şekilde ayıramaz. Bununla birlikte, ters ozmoz uygulaması kalan karışımdan suyu seçici olarak uzaklaştırmadan önce UF'nin bir proses akışındaki nispeten büyük bileşenlerin çoğunu uzaklaştırmasıyla iki teknoloji birlikte kullanılmaktadır (Arvanitoyannis ve diğerleri, 2008).



Şekil 5. 2 Ultrafiltrasyon çalışma prensibi (Entegre Çevre Bilgi Sistemi)

Çalışmada tasarlanan ultrafiltrasyon membran sistemin teknik özellikleri Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5. 5 Ultrafiltrasyon sistemi

Sistem Dizaynı	
Dizayn Besleme Debisi	~230 m ³ /saat
Ürün Suyu Debisi	~206 m ³ /saat
Yaklaşık Verim	~%90
UF Modülleri	
Toplam Membran Modül Alanı	3360 m ²
Ünite Sayısı	2 Adet
Ünite Modül Sayısı	21 Adet
Toplam Modül Sayısı	52 Adet
Debi Kontrolü	
Miktar	1 Adet x 2
Basınç Kontrolü	
Miktar	3 Adet x 2
Kullanım Yeri	Giriş, Ters Yıkama ve Çıkış Hatlarında
Tipi	Basınç Transmitteri
Manometre	
Adet	1 Takım x 2
Ölçüm Aralığı	0-10 bar
Borulama	PVC-U
Şase	ST-37 Karbon Çelik
Otomasyon	Ortak PLC Pano – Dolap Pano IP54 Koruma Sınıfı Şalt malzeme

Çalışmada tasarlanan UF kimyasal yıkama ve ters yıkama sistemin teknik özellikleri Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5. 6 UF kimyasal yıkama ve ters yıkama sistemi

Ters Yıkama Pompası	
Miktar	2 Servis
Kapasite	200 m ³ /saat x 2 = 400 m ³ /saat 3 bar
Malzeme	AISI 316 Paslanmaz Çelik
Yıkama Tankı (UF ürün suyu deposu kullanılacaktır.)	
Borulama Malzeme	PVC-U

Çalışmada tasarlanan ters yıkama asit dozaj sistemin teknik özellikleri Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5. 7 Ters yıkama asit dozaj sistemi

Dozlanacak Kimyasal	Asit (HCl – %32)
Dozaj Pompası Adedi	1 Adet
Dozaj Pompası Kapasitesi	430 LPH 2-8 bar
Kontrol	On/Off Kontrollü
Kimyasal Tank Adedi	1 Adet
Kimyasal Tank Hacmi	200 L
Kimyasal Tank Malzemesi	Polietilen
Alt Seviye Elektrodu Adedi	1 Adet

Çalışmada tasarlanan ters yıkama kostik dozaj sistemin teknik özellikleri Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5. 8 Ters yıkama kostik dozaj sistemi

Dozlanacak Kimyasal	Kostik (NaOH – %48)
Dozaj Pompası Adedi	1 Adet
Dozaj Pompası Kapasitesi	240 LPH 2-8 bar
Kontrol	On/Off Kontrollü
Kimyasal Tank Adedi	1 Adet
Kimyasal Tank Hacmi	200 L
Kimyasal Tank Malzemesi	Polietilen

Çalışmada tasarlanan ters yıkama klor dozaj sistemin teknik özellikleri Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5. 9 Ters yıkama klor dozaj sistemi

Dozlanacak Kimyasal	Klor (NaOCL – %13)
Dozaj Pompası Adedi	1 Adet
Dozaj Pompası Kapasitesi	340 LPH 2-8 bar
Kontrol	On/Off Kontrollü
Kimyasal Tank Adedi	1 Adet
Kimyasal Tank Hacmi	200 L
Kimyasal Tank Malzemesi	Polietilen

Çalışmada tasarlanan ters osmoz su besleme pompasının teknik özellikleri Tablo 5.10’da verilmiştir.

Tablo 5. 10 Ters osmoz su besleme pompası

Adet	2 Servis + 1 Yedek
Kapasite	105 m ³ /saat x 2 = 210 m ³ /saat, 3 bar
Malzeme	AISI 316 Kalite Paslanmaz Çelik
Şase	ST-37 Epoksi Boyalı Karbon Çelik
Borulama	PVC
Aksesuarlar	Dahildir.

5.2 Aktif Karbon

Aktif karbon, yüzey alanını ve adsorpsiyon kapasitesini artıran çok sayıda mikro gözeneğe sahip karbon bazlı bir katıdır (Soffian ve diğerleri, 2022). Björklund ve Li (2017), polar olmayan aktif karbonun PAH'ları, fenolik bileşikleri, PCB'leri, pestisitleri ve ftalatları güçlü bir şekilde adsorpladığını keşfetmiştir.

Aktif karbon, temiz su ve atıksu arıtılmasında yaygın olarak kullanılmasına rağmen, besin maddeleri, metaller ve zararlı organik kirleticileri barındıran yağmur suyu yönetiminde daha az uygulanmaktadır. Atıksu arıtımında organik ve/veya inorganik kirleticileri, bulanıklık, koku, tad, serbest klor gibi suda istenmeyen maddelerin gideriminde kullanılmaktadır. Aktif karbon ticari olarak toz veya granül

şeklinde temin edilmektedir (Şekil 5.3). Üretiminde en yaygın kullanılan hammaddeler; kömür (değişim ömrü 1,5 sene), hindistan cevizi kabuğu (değişim ömrü 2 sene) artıklarıdır (Borchardt ve diğerleri, 2017).



Şekil 5. 3 Aktif karbon filtre minerali (İstanbul Arıtma Sistemleri)

Aktif karbonun kullanımına bağlı olarak ince ayar yapılabilen fizikokimyasal özellikleri üzerinde durulmaktadır. Yüzey yapısı ve özellikleri ile gözenek yapısı, geçirgen karbonlu maddelerin sulu sistemlerdeki adsorptif etkinliğini yöneten iki unsurdur (Xiao ve diğerleri, 2021).

Bu arıtım prosesinde asıl amaç aktif karbonun organik madde gideriminde kullanılmasıdır. Ayrıca sistemdeki bakiye kloru önlemeyi sağlamaktadır. Aksi durumda bakiye klorun tutulmaması ters osmoz membranlara zarar vermekte ve membranların yıpranmasına sebep olmaktadır.

Aktif karbon filtre ünitesi tasarımında kömür bazlı aktif karbon kullanılacaktır. Kömür bazlı aktif karbonun değişim süresi 18 ay olarak belirlenmiştir. Aktif karbonun mineral miktarı tank başına 700 kg'dır. 5 + 1(yedek) olacak şekilde toplam 6 adet aktif karbon tankı bulunacak olup 18 ay değişim süresine bağlı olarak 4.200 kg aktif karbon kullanılacaktır. Ters osmoz ürün suyu debisinin 144 m³/saat (3.465 m³/gün) olduğu dikkate alındığında, 1 m³ ürün suyu üretiminde yaklaşık 2 g aktif karbon kullanılacaktır.

Çalışmada tasarlanan aktif karbon filtre ünitesinin teknik özellikleri Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5. 11 Aktif karbon filtre ünitesi

Adet	6 adet (5 servis 1 yedek - Ters yıkama kapsamı)
Debi	41,2 m ³ /saat x 5 = 206 m ³ /saat
Filtrasyon Alanı	2 m ²
Filtrasyon Hızı	21,1 m/saat
Vana Kontrol Mantiğı	Elektrik Aktüatörlü
Vana Miktarı	6 Adet / Tank
Otomasyon	Ortak PLC Pano
Tank Ölçüleri	D: 160 cm H _{Toplam} :250 cm
Tank Malzemesi	FRP
Yüzey Borulama Malzemesi	PVC
Mineral Miktarı	(1000 kg Quartz + 700 kg Aktif Karbon) x 6
Giriş-Çıkış Bağlantı Çapı	3"
Ters Yıkama Debisi	60 m ³ /saat
Test Basıncı	9 bar
İşletme Basıncı	2-6 bar
Yüzey Borulama Şasesi	ST-37 Epoksi Boyalı Karbon Çelik

Çalışmada tasarlanan ASC dozaj sisteminin teknik özellikleri Tablo 5.12’de verilmiştir.

Tablo 5. 12 ASC dozaj sistemi

Kimyasal Adı	ASC (%100 Sıvı Form)
Dozaj Pompası Adeti	1 Adet
Çalışma Şekli	On/Off
Dozaj Pompası Kapasitesi	10 L/saat
İşletme Basıncı	10 bar
Kimyasal Tank Malzemesi	Polietilen
Alt Seviye	Dahil

Çalışmada tasarlanan asit dozaj sisteminin teknik özellikleri Tablo 5.13’de verilmiştir.

Tablo 5. 13 Asit dozaj sistemi

Dozlanacak Kimyasal	HCl (%31)
Dozaj Pompası Adedi	1 Adet
Dozaj Pompası Kapasitesi	10 L/saat, 10 bar
Kontrol	pH Kontrol
Kimyasal Tank Adedi	1 Adet
Kimyasal Tank Malzemesi	Polietilen
Parmak Şamandıra	1 Adet

5.3 Ters Osmoz

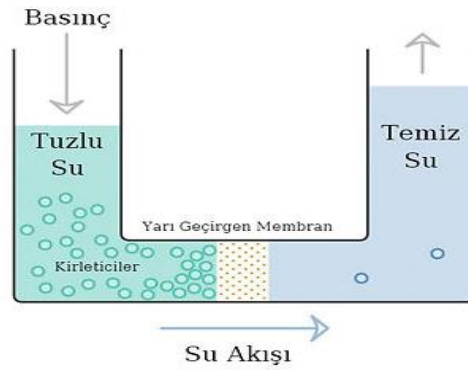
Ters osmoz (TO) tuz gideriminde ve su arıtımında membranlar arasında açık ara en yaygın uygulamadır (Şekil 5.4). Sulu bir çözeltiden neredeyse tüm kolloidal ve çözünmüş maddeleri uzaklaştırma, bir tuzlu su konsantresi ve neredeyse saf bir süzüntü suyu üretme kapasitesine sahiptir. TO, bazı polimer bazlı malzemelerin suyu çözünmüş maddelerden ayırma yeteneğine sahiptir. Geçtiğimiz 30 (otuz) yıldaki amaç, su moleküllerinin taşınmasını artırırken çözünmüş madde miktarını en aza indirmek olmuştur. Membran boyunca bir basınç farkı uygulanarak beslemede bulunan su, membrandan geçmeye zorlanır. Besleme tarafındaki osmotik basıncın üstesinden gelmek için deniz suyu tuzdan arındırma uygulaması için genellikle 55 ile 75 bar arasında değişen yüksek besleme basıncı gereklidir (Schrotter ve diğerleri, 2010).



Şekil 5. 4 Ters osmoz membran kabı dizilimi (Eksen Filtrasyon Merkezi)

5.3.1 Ters Osmoz Çalışma Prensibi

Yarı geçirgen bir membranla ayrılmış konstantrasyonları farklı iki çözelti arasındaki doğal osmotik basınçtan oluşur. Osmotik basınç sonucu akış yönü yoğun olan çözelti tarafına osmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulanması ile ters çevrilir. Aşağıdaki Şekil 5.5'te görüldüğü tek yönlü bir hareket söz konusudur. Örneğin, bir sistem içinde tuzlu su ve saf su bir yarı geçirgen membran ile ayrılmış ise o zaman saf su, bu membrandan tuzlu içine bir basınç ile geçmeye başlayacaktır. Buna osmotik basınç denir. Ancak sistemde tuzlu suyun bulunduğu bölmeye osmotik basınca eşit bir basınç uygulanırsa bu geçiş durdurulabilecektir. Eğer bu basınç, çözelti bulunan tarafta artırılıp, osmotik basıncın üzerine çıkarılacak olursa bu defa tuzlu su içindeki su molekülleri aksine çözücü tarafına, suya geçmeye başlayacaktır. Bu olaya ters osmoz denir. Burada en önemli olay, uygun olan yarı geçirgen zarların yapılması ve bu olay için optimum basıncın uygulanmasıdır (Entegre Çevre Bilgi Sistemi).



Şekil 5. 5 Ters osmoz (Anonim)

Çalışmada tasarlanan ters osmoz membran sistemin teknik özellikleri Tablo 5.14 verilmiştir.

Tablo 5. 14 Ters osmoz sistemi

Sistem Dizaynı	
Besleme Suyu Debisi	206 m ³ /saat
Ürün Suyu Debisi	144 m ³ /saat
Flux	17,3 L/m ² sa
Yaklaşık Verim	%70
Kartuş Filtre	

Tablo 5. 14 Ters osmoz sistemi (devamı)

Miktar	6 Takım
Model	Yüksek Akış Filtre
Kartuş Adedi	6 adet
Boyut	60"
Malzeme	FRP
Yüksek Basınç Pompası	
Miktar	1 set
Kapasite	206 m ³ /saat 17-18 bar
VFD	Dahil
Malzeme	AISI 316 Kalite Paslanmaz Çelik
Membran	
Adet	222 Adet
Boyut	8"
Membran Kılıfı	
Adet	37 Adet
İletkenlik Kontrolü	
Adet	1
Kullanılacağı Yer	Ürün Suyu Hattında
Tipi	Kontrol Panosu Üzerinde
Debi Kontrolü	
Adet	2 Adet
Kullanılacağı Yer	Ürün suyu ve Atıksu Hattı
Tipi	Inline
Basınç Kontrolü	
Adet	2 Adet
Kullanılacağı Yer	Yüksek Basınç Pompası Girişi ve Çıkışında
Tipi	Basınç Şalteri
Manometre	
Adet	1 Takım
Ölçüm Aralığı	0-10 / 0-20 bar
Vanalar	

Tablo 5. 14 Ters osmoz sistemi (devamı)

Otomatik Vanalar	
Adet	2 Adet
Kullanılacağı Yer	Ham Su ve Autoflush Hatlarında
Tipi	Elektrik Aktüatörlü Vana
Debi Ayar Vanaları	
Adet	2 Adet
Kullanılacağı Yer	Ham su ve Atıksu Hatlarında
Borulama	
Malzeme	Yüksek Basınç Hattında AISI 316 Paslanmaz Çelik Alçak Basınç Hattında PVC-U
Şase	
Malzeme	ST-37 Epoksi Boyalı Karbon Çelik
Kontrol Panosu	Ortak PLC Pano – Dolap Pano IP54 Koruma Sınıfı Şalt malzeme

Çalışmada tasarlanan otomatik durulama & CIP sisteminin teknik özellikleri Tablo 5.15 verilmiştir.

Tablo 5. 15 Otomatik durulama & CIP sistemi

Yıkama Pompası	
Kapasite	120 m ³ /saat, 3 bar
Malzeme	AISI 304 Kalite Paslanmaz Çelik
Yıkama Tankı	
Kapasite	10.000 L
Malzeme	PE
Borulama	
Malzeme	PVC
Vanalar	
Otomatik Vanalar	
Adet	2 Adet

Tablo 5. 15 Otomatik durulama & CIP sistemi (devamı)

Tipi	Elektrik Aktüatörlü
Manuel Vanalar	
Adet	4 Adet
Tipi	Küresel / Kelebek Vana

Muratlı OSB AAT çıkış su debisi 5500 m³/gün olup, geri kazanım proses dizaynı günlük debi miktarına göre tasarlanmıştır. Muratlı OSB AAT içerisinde proses tasarımı ultrafiltrasyon, ters osmoz membran teknolojileri ve aktif karbon sistemi kullanılarak yapılan akış diyagramı Şekil 5.1’de verilen geri kazanım ünitesinin detaylı anlatımı aşağıda verilmiştir.

5.4 Geri Kazanım Ünitesi Akış Diyagramı

AAT’de hamsu deposunda bulunan arıtılmış su hamsu besleme pompası ile mekanik filtrasyona gönderilmektedir. Besleme pompasına mekanik filtrasyondan önce Fe₃Cl ve Alüminyum temelli paklaştırıcı koagülant dozajı ilave edilmektedir. Mekanik filtrasyon ünitesinde ultrafiltrasyondan önce suda bulunan kolloidal yapıdaki ve katı partikül maddelerin yüklerinin nötralize edilmesini ve asılı duran partiküllerin biraraya gelerek pıhtılaştırma/yumaklaştırma işleminden sonra çökmeleri sağlanarak sudan uzaklaştırılmaktadır. Bu sayede ultrafiltrasyon ünitesi yükünü azaltılması ve ultrafiltrasyonda yıkama süresinin azaltılması sağlanmış olacaktır. Mekanik filtrasyon ünitesinden gelen ön arıtılmış su, ultrafiltrasyon ünitesinden geçirilmektedir. Mekanik filtrasyon ultrafiltrasyon ürün suyu deposundan 35-45 mSS basınçlı temiz su ile yapılmaktadır. Fark, basınç ve zaman kontrollü tercih edilmektedir.

Ultrafiltrasyon ters yıkama sisteminde asit, kostik ve klor dozajı yapılmaktadır. UF sisteminden geçirilen su UF ürün suyu depolama tankına pompalanacaktır. UF depolama tankından ters osmoz besleme pompası ile su önce aktif karbon sisteminden geçirilmektedir. Aktif karbon çıkışında suya asit ve antiskalant kimyasal dozajı yapılmaktadır. Kullanılan antiskalant scala (kabuk) önleyicidir ve asit bazlıdır. Ters osmoz membranları çalışma aralığı 6,5-7,5 pH aralığındadır. Suyu aside ederek hem pH dengesi her zaman bu aralıkta tutar hem de iyonları

oksitleyerek membran gözeneklerine girmesini engelleyerek membran yüzeyinde kalmasını sağlamaktadır. Daha sonrasında autoflash ile membran yüzeyindeki kirliliğin atılması sağlanacaktır.

Kimyasal dozajlama sonrası su, kartuş filtrelelere gönderilecek olup, kartuş filtreden gelen su yüksek basınçlı pompa yardımıyla TO ünitesinden geçirilecek ve sonrasında su, ürün suyu deposuna iletilecektir.

Membran proseslerinde membran yüzeyinde çözünmüş maddelerin birikmesi sonucu oluşan ve akışkana karşı direnç oluşturan bir konsantrasyon bulunmaktadır. Bu direnç konsantrasyon polarizasyonu olarak ifade edilmektedir. Membranda zamanla artarak oluşan konsantrasyon, membran gözeneklerinde kirletici yüklerinin adsorplanması ile oluşmaktadır. (Mulder, 1996).

Konsantrasyon polarizasyonun UF ve TO membran proseslerinde etkisi sırasıyla; kuvvetli ve orta olmaktadır. (Scott, 1995). Konsantrasyon polarizasyonu etkileyen parametreler; sınır katmanı kalınlığı, yapısal özellikler (yüzeydeki), membran akısı, çözünen madde difüzyon katsayısı (Baker, 2004). Atıksu arıtımında ve geri kazanımında membran teknolojilerinin kullanımının artması ile oluşan yüksek hacimdeki konsantrenin deşarjlarını ve yönetimini beraberinde getirmiştir. Konsantre giderimi membran proseslerindeki işletme maliyetinde önemli bir yer tutmaktadır (Squire, 1997).

Literatür incelendiğinde, membran konsantrelerinin yönetimi ve bertaraf teknikleri için; kanalizasyona deşarj, derin kuyu enjeksiyonları, buharlaştırma havuzları, mekanik buharlaştırma, soğutma suları veya arıtılmış atıksu ile birbirine karıştırmak vb. metotlar kullanılmaktadır (Mackey, 2006).

Konsantrenin bazı parametrelerde kirlilik yükünün fazla olması kanalizasyon sistemine deşarj ile atıksu arıtma tesisine verilmesi, kirletici yüklerinin azaltılması sağlanabilecektir (Brandhuber, 2007). Bu yöntem uygulanabilirliği, düşük maliyet ve arıtma tesisi ile ikili sözleşme yapılarak gerçekleştirilme kolaylığı vb. avantajlarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Kenna ve Zander, 2000). Geri kazanım ünitesi sonucu oluşan membran konsantresinin yönetiminde, mekanik buharlaştırma tekniğinin kullanılması tavsiye edilecektir.

5.5 Geri Kazanılmış Suyun Dağıtım Tasarımı

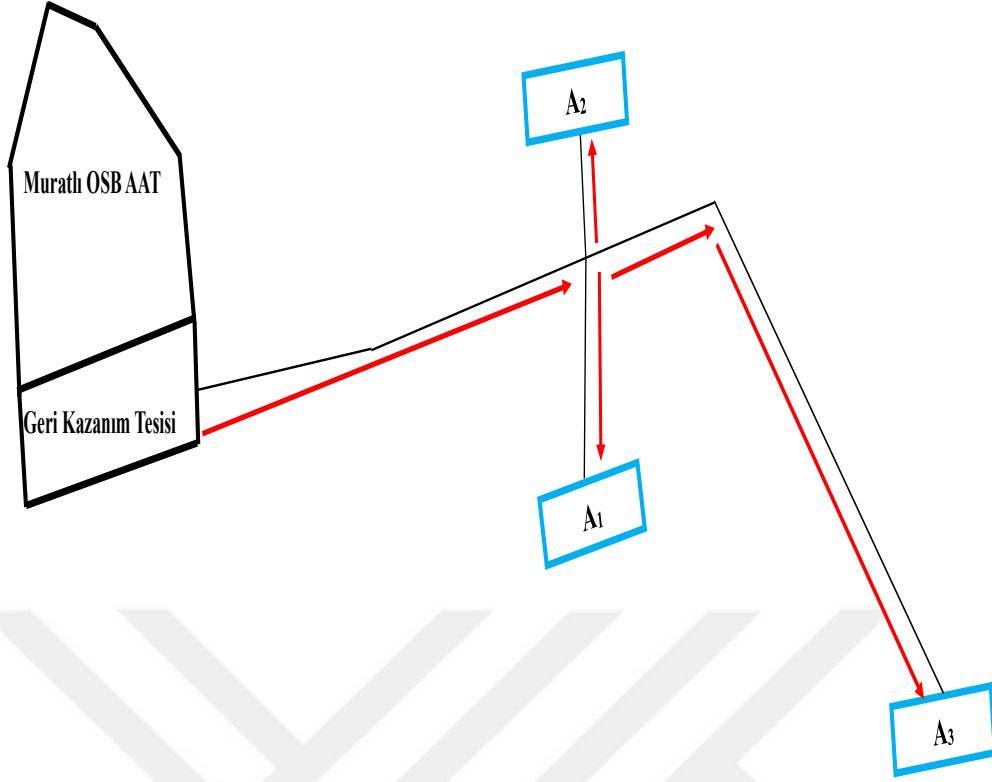
UF ve TO teknolojisi ile arıtılmış suyun, organize sanayi bölgesi içerisinde farklı sektörlerde yeniden kullanılması ve firmalara suyun iletilebilmesi için dağıtım sisteminin oluşturulması gerekmektedir. Dağıtım sistemi oluşturulurken boru çapı, boru döşeme, uzunluk, dolgu, kazı vb. özellikler dikkate alınarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Söz konusu hesaplamalar yapılırken İller Bankası Teknik Şartnamesi kullanılarak kabuller yapılmıştır.

Çalışmada geri kazanılmış suyun yeniden kullanımında, faaliyet konuları farklı 3 firmada kullanılacak şekilde dağıtım hattı oluşturulmuştur. Dağıtım hattı oluşturulurken içme suyu şebeke hesabı teknik şartlarına göre kabuller yapılmıştır. İçmesuyu şebeke dağıtım hattında PVC, PE, çelik, duktıl vb. bir çok boru tipi kullanılmaktadır.

Eryılmaz ve Atakul (2020), içme suyu şebeke hattının tasarımında farklı boru tipleri için maliyet hesapları yapmışlar ve yapılan çalışmada çelik borunun en yüksek maliyetli olduğu, polietilen borunun ise en düşük maliyetli olduğunu belirlemişlerdir. Maliyetler ve piyasadaki standart boru çapları göz önüne alınarak geri kazanılmış suyun dağıtımında kullanılacak olan boru tipi polietilen (PE) seçilmiştir.

5.5.1 Boru Metraji ve Maliyeti

Çalışmada belirlenen geri kazanım debi ($m^3/gün$) miktarına bağlı olarak boru iç çapları farklılık göstermektedir. Boru iç çapı hesabı yapılırken bazı boruların üretimi belirli standartlarda olduğundan hesaplamalar bu husus dikkate alınarak yapılmıştır. Ayrıca geri kazanılmış suyun OSB içerisindeki 3 farklı firmaya dağıtımı sağlanacağı için mesafelere bağlı olarak boru uzunluğunda farklılık göstermektedir. Çalışmada geri kazanılmış suyun Şekil 5.6'da gösterilen dağıtım hattında kullanılacak olan PE boru için boru metraji Tablo 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5. 6 Dağıtım hattı vaziyet planı

Geri kazanım tesisi çıkış suyunun firmalara iletilmesinde terfili isale dağıtım hattı oluşturulacaktır. Faaliyet konuları farklı 3 firmaya suyun temininde minimum ve maksimum kot farkları (basma yüksekliği), debi miktarı, hız, tasarım tipi vb. teknik özellikler dikkate alınarak piyasa araştırması sonucu pompa seçimi yapılmıştır. Pompa tipi: Hydropower pompa-Türbin 4 adet olup, 2 adette yedek pompa ile birlikte toplam 6 adet pompa bulunmaktadır.

Tablo 5. 16 Boru metrajı

Boru Tipi	Boru Çapı (mm)	Boru Uzunluğu (m)
PE	125	230
PE	140	650
PE	160	90
PE	250	800

5.5.2 Kazı Dolgu Metrajı ve Maliyeti

Çalışmada dağıtım hattında yapılacak olan kazı ve dolgu metrajı Tablo 5.17, Tablo 5.18 ve Tablo 5.19’da verilmiştir.

Tablo 5. 17 Kazı metrajı

Boru Tipi	Hacim Hesabı (m³)			Kazı Hacmi (m³)
	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	
PE	0,8	1770	1	1416

Tablo 5. 18 El ile dolgu metrajı

Boru Tipi	Hacim Hesabı (m³)			Kazı Hacmi (m³)
	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	
PE	0,8	1770	0,3	425

Tablo 5. 19 Makine ile dolgu metrajı

Boru Tipi	Hacim Hesabı (m³)			Kazı Hacmi (m³)
	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	
PE	0,8	1770	0,7	991

6.1 Dağıtım Şebekesi Maliyet Analizi

Yapılan literatür araştırmasına göre geri kazanılmış suyun dağıtımı için PE boru tipi kullanılması planlanmıştır.

Şebeke hattında kullanılan PE boru maliyet hesabında; boru maliyeti yanında malzeme/ekipman/boru bağlantı parçaları da dahil edilmiştir. Kullanılacak olan çaplara göre her bir borunun 2023 birim fiyatları dikkate alınarak maliyeti Tablo 6.1’de verilmiştir. Söz konusu maliyet hesaplamaları yapılırken İller Bankası 2023/2 Altyapı Tesisleri Birim Fiyatları ve Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2023/2 İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları kullanılarak kabuller yapılmıştır.

Tablo 6. 1 Boru maliyeti

Boru Tipi	Boru Çapı (mm)				Toplam Boru Maliyeti (TL) (Malzeme Dahil)
PE	125	140	160	250	2.271.132

Şebeke hattında kullanılan PE borular için Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2023/2 İnşaat ve Tesisat birim fiyatları kullanılarak kazı ve dolgu maliyet hesabı yapılmıştır. Kazı maliyet hesaplarında kazı derinliği “makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması” birim fiyatları kullanılmıştır. Tüm borular için kazı hacmi aynı miktardadır.

Dolgu maliyet hesabında el ve makine ile dolgu dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Dolgu işlemlerinde 30 cm el ile dolgu yapılmış olup, dolgu malzemesi olarak kum kullanılmıştır. Kalan kısım 70 cm için ise makine ile dolgu yapılmış olup, dolgu malzemesi olarak çakıl kullanılmıştır. Kazı maliyet hesabı Tablo 6.2’de, dolgu maliyet hesabı Tablo 6.3, Tablo 6.4 ve Tablo 6.5’te verilmiştir (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı).

Tablo 6. 2 Kazı maliyeti

Kazı Hacmi (m³)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Kazı Maliyeti (TL)
1416	30,93	52.556

Tablo 6. 3 El ile dolgu maliyeti

El ile Dolgu Hacmi (m³)	Birim Fiyat (TL)	El İle Dolgu Maliyeti (TL)
425	240,63	122.721

Tablo 6. 4 Makine ile dolgu maliyeti

Makine ile Dolgu Hacmi (m³)	Birim Fiyat (TL)	Makine İle Dolgu Maliyeti (TL)
991	123,56	146.938

Tablo 6. 5 Toplam dolgu (el ve makine) maliyeti

El ve Makine Dolgu Hacmi (m³)	Toplam El ve Makine Dolgu Maliyeti (TL)
1416	269.659

Kazı işlemi sonucu çıkan malzemenin 10 km uzaklıkta uygun alana boşaltılacağı belirlenmiş olup, malzemenin belirlenen alana taşıma maliyeti Tablo 6.6'da verilmiştir. Taşıma mesafesi (M) 10000-30000 m arasında olduğu için İller Bankası 2023 taşıma bedeli birim fiyatı mesafeye uygun olarak seçilmiştir. Kazı malzemesinin yükleme ve boşaltma birim fiyatları da taşıma maliyetine dahil edilmiştir.

$$F = (0,95727 M + 12729) \times 0,001265 \quad (6.1) \text{ (İlbank)}$$

Tablo 6. 6 Kazı malzemesi taşıma maliyeti

Kazı Hacmi (m³)	Toplam Kazı Malzemesi Taşıma Maliyeti (TL)
1416	85.132

Altyapıda kullanılacak olan boru ve boru bağlantı ekipmanlarının teminindeki nakliye maliyeti Tablo 6.7’de verilmiştir. Taşıma mesafesi (M) 100 km’den fazla olduğu için İller Bankası 2023 taşıma bedeli birim fiyatı mesafeye uygun olarak seçilmiştir. Boru ve bağlantı ekipman malzemelerinin yükleme ve boşaltma birim fiyatları da taşıma maliyetine dahil edilmiştir.

$$F = (0,76578 M + 25202) \times 0,0012656 \text{ (6.2) (İlbank)}$$

Tablo 6. 7 Boru taşıma maliyeti

Boru Tipi	Boruların Satın Alındığı İl	Toplam Taşıma Maliyeti (TL)
PE	İstanbul	8.818

Çalışmada hesaplanan boru maliyeti, kazı maliyeti, dolgu (el ve makine ile) maliyeti ve nakliye maliyeti (kazı malzemesi ve boru taşıma maliyetleri) hesaplarını kullanarak toplam altyapı maliyeti Tablo 6.8’de verilmiştir.

Çalışmada 2023 yılı Aralık ayına ait döviz kur değeri, (1\$=28,98TL) kabul edilmiş olup, hesaplamalarda kullanılmıştır.

Tablo 6. 8 Toplam altyapı maliyeti

ALT YAPI MALİYETİ	
Boru Tipi	PE
Toplam Boru Maliyeti (TL)	2.271.132
Toplam Kazı Maliyeti (TL)	52.556
Toplam Dolgu Maliyeti (TL)	269.659
Nakliye Maliyeti (TL)	93.950
Toplam Altyapı Maliyeti (TL)	2.687.297
Toplam Altyapı Maliyeti (\$)	92.730

6.2 Geri Kazanım Tesisi İlk Yatırım Maliyet Analizi

Çalışmada geri kazanım tesisi toplam ilk yatırım maliyet hesabı Tablo 6.9’de verilmiştir. Hesaplamalar için Tablo 6.8’de yer alan altyapı maliyetinin yanında geri kazanım tesis tasarımında piyasadan teknik ve ticari fiyatlandırma teklif

alınmıştır. Tesis debisine bağlı olarak m³ başına ilk yatırım maliyet 202 \$, Aralık ayı güncel kur fiyatı ile 5.854 TL'dir.

Tablo 6. 9 Geri kazanım tesisi toplam ilk yatırım maliyeti

İLK YATIRIM MALİYETİ	
Altyapı Maliyeti (\$)	92.730
Mekanik Maliyet - Geri Kazanım Tesisi (Elektrik dahil) (\$)	1.006.770
Terfi İsale-Pompa (\$)	7.382
Toplam İlk Yatırım Maliyeti (\$)	1.106.882
Tesis Debisi (m³/gün)	5.500
m³ Başına İlk Yatırım Maliyet (\$)	202
m³ Başına İlk Yatırım Maliyet (TL)	5.854

6.3 Geri Kazanım Tesisi İşletme Maliyet Analizi

Geri kazanım tesisi toplam işletme maliyet hesabı Tablo 6.10'da verilmiştir. Geri kazanım tesisinde m³ başına birim su üretimi 0,71 \$, Aralık ayı güncel kur fiyatı ile 20,6 TL'dir.

Tablo 6. 10 Geri kazanım tesisi toplam işletme maliyeti

İŞLETME MALİYETİ	
Elektrik Tüketim Bedeli (\$/yıl)	330.207
Kimyasal Madde Tüketim Bedeli (\$/yıl)	271.870
Bakım-Onarım ve Personel Bedeli (\$/yıl)	129.640
Toplam İşletme Maliyeti (\$/yıl)	731.717
Geri Kazanılacak Su Debisi (m³/gün)	3.465
m³ Başına İşletme Maliyeti (\$)	0,71
m³ Başına İşletme Maliyeti (TL)	20,6

Muratlı OSB AAT çıkış suyunun UF ve TO sisteminden geçirilerek elde edilen arıtılmış su kalitesi Tablo 6.11'de verilmiştir. Geri kazanım tesisi giriş suyu ölçüm değerleri ve geri kazanım tesisi öngörülen çıkış suyu ölçüm değerleri incelendiğinde UF ve TO membranlar ile yüksek kalitede arıtılmış su elde edileceği görülebilmektedir. Organik madde giderimi %97 (en az), katı madde verimliliği

%97,7 (en az) ve iletkenlik için ise %96,8 (en az) verimliliğin sağlanması öngörülmektedir.

Tablo 6. 11 Arıtılmış su kalite değerleri

ARITILMIŞ SU KALİTE DEĞERLERİ	
İletkenlik (µS/cm)	250 ve altı
pH	6,5-7
AKM (mg/lt)	0-1
KOİ (mg/lt)	0-3

UF ve TO membranları ile elde edilen suyun kalitesi, çeşitli endüstrilerin su kullanım alanlarına bağlı olarak ihtiyaç duyduğu kriterlerin birçoğunu sağlamaktadır. Çalışmada 3 farklı sektör (karton üretimi, kumaş boyama ve ham ve rafine yağ üretimi) için proses suyu, kazan suyu, soğutma suyu, su yumuşatma sistemleri suyu vb. uygulamalarda geri kazanılmış su kullanılabileceği belirlenmiştir.

Faaliyet konusu karton üretimi olan tesis için geri kazanılmış suyu kahverengi ve beyaz kalite kâğıt üretimine uygun ürün suyu olarak, faaliyet konusu ham ve rafine yağ üretimi olan tesis için geri kazanılmış suyu kazan suyu ve soğutma suyu olarak, faaliyet konusu kumaş boyama olan tesis için ise geri kazanılmış suyun proses suyu ve soğutma suyu olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Firmalar faaliyet konularına bağlı olarak ihtiyaç duydukları suyu şebekeden ve kuyudan temin etmektedir. Bir firma su kaynağını şebekeden sağlarken diğer iki firma kuyudan sağlamaktadır. Şebekeden su temininde Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresinin (TESKİ) belirlemiş olduğu hizmet tarifesinden abone grubuna göre fiyatlandırma yapılmaktadır. Kuyudan su temininde kuyu kullanım izin belgesi doğrultusunda su çekiminde herhangi bir fiyatlandırma tarifi bulunmamaktadır. Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi Müdürlüğü sanayi aboneleri için 2023 yılı su hizmet tarifi; 1-20 m³ kademe aralığında m³ başına 28,47 TL, 21-40 m³ kademe aralığında m³ başına 42.85 TL ve 41 m³ ve üzeri kullanımda m³ başına 67,44 TL şeklindedir (TESKİ).

Elde edilen sonuçlara bakıldığında geri kazanım tesisinde m³ başına birim su üretimi 20,6 TL (0,71\$)'dir. Geri kazanılmış suyun yeniden kullanımının teşvik edilmesi için geri kazanılmış su hizmet tarifesi belirlenirken, sanayiciler için hem ekonomik hem de devamlılığın sağlanacağı şekilde ve ayrıca geri kazanım tesisi elde edebilecek faydaların dikkate alınarak fiyatlandırma yapılması gerekir. Geri kazanılmış su hizmet tarifesi, su üretim fiyatı (20,6 TL) üzerinden %100 kâr eldesi varsayımı yapılarak 41,2 TL (\$1.42) olarak belirlenmiştir.

Kuyu suyu kullanımının sınırlayabilmek için “kuyu suyu bedellendirme” varsayımı yapılması gerekmektedir. Öncelikle kuyudan çekilen su miktarının tespiti için su sayacının bağlanması gerekmektedir. Kuyu suyu bedellendirme varsayımı yapılırken kademe aralığı dikkate alınarak m³ başına birim fiyat şebeke suyu birim fiyatına yakın olacak şekilde; 1-20 m³ kademe aralığında m³ başına 22 TL (\$0.76), 21-40 m³ kademe aralığında m³ başına 32 TL (\$1.1) ve 41 m³ ve üzeri kullanımda m³ başına 50 TL (\$1.73) belirlenmiştir.

Şebekeden m³ başına su temin hizmet bedeli ve kabulü yapılan m³ başına kuyu suyu bedeli ile kabulü yapılmış m³ başına geri kazanılmış su hizmet bedeli karşılaştırıldığında, geri kazanılan suyun kullanımının ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu sonucu elde edilmiş olup Tablo 6.12 ve Tablo 6.13’de detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 6. 12 Şebeke suyu ile geri kazanılmış su birim fiyat karşılaştırması

Debi (m³/gün) Tesis A₁	TESKİ Sanayi Aboneleri Su Kullanım Ücreti	Geri Kazanılmış Su Kullanım Ücreti
730	1-20 m ³ başına; 28,47 TL 21-40 m ³ başına; 42,85 TL 41m ³ ve üzeri; 67,44 TL	41,2 TL (\$1.42)
Toplam Su Ücreti	47.961 TL (\$1,655)	30.076 TL (\$1,038)

Tablo 6. 13 Kuyu suyu ile geri kazanılmış su birim fiyat karşılaştırması

Debi (m³/gün) Tesis A₂ ve A₃		Kuyu Suyu Su Kullanım Ücreti	Geri Kazanılmış Su Kullanım Ücreti
A ₂	1540	1-20 m ³ başına; 22 TL 21-40 m ³ başına; 32 TL 41m ³ ve üzeri; 50 TL	41,2 TL (\$1.42)
Toplam Su Ücreti		76.080 TL (\$2,625)	63.448 TL (\$2,189)
A ₃	1195	1-20 m ³ başına; 22 TL 21-40 m ³ başına; 32 TL 41m ³ ve üzeri; 50 TL	41,2 TL (\$1.42)
Toplam Su Ücreti		58.830 TL (\$2,030)	49.234 TL (\$1,699)

6.4 Geri Kazanım Tesisi Amortisman Hesabı

Geri kazanım tesisi ilk yatırım maliyeti dikkate alınarak, tesisi kurmak için gerekli olan sermayenin geri ödenebilmesi ve hizmetin gerçekleştirilebilmesi için her yıl bir fonda biriktirilmesi gereken para ve geri ödeme süresi Tablo 6.14'te detaylı olarak gösterilmiştir.

Membranlar; organikler, inorganikler, kollidler ve mikroorganizmalar tarafından kirlenmekte olup, bu durum membranlarda akışın azalmasına, enerji tüketiminin artmasına, sistemin tıkanmasına ve membran ömrünün kısılmasına sebep olmaktadır. Suyun yeniden kullanımı için uygulanan tam ölçekli tesiste membran modülü kullanım ömrü yaklaşık olarak 4 yıl olarak belirtilmiştir (Wang ve diğerleri, 2023).

Membran ömürleri bir çok etkene bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ve literatürdeki çalışmalarda dikkate alınarak faydalı ömür 4 yıl olarak belirlenmiştir.

Eşit Tutarlı Amortisman (Normal Amortisman) Yönteminde işletmeler duran varlıklar için belirlenmiş olan faydalı ömür (ekonomik ömür) ile hesaplanmış amortisman oranları dikkate alınarak her yıl aynı tutarda amortisman ayrılmaktadır. Ayrılan bu amortismanlar, amortisman gideri olarak ilgili yılların kârlarından düşürülmektedir (Gökçen, 2013).

Amortisman Oranı: 1/n

n: Faydalı Ömür (Kullanım Ömrü)

Tablo 6. 14 Geri kazanım tesisi amortisman hesabı

İlk Yatırım Maliyeti (\$)	Faydalı Ömrü (yıl)	Amortisman (\$)
1.109.342	4	277.336
Geri Ödeme Süresi		4 yıl

Geri kazanılmış su hizmet tarifiesi, su üretim fiyatı (20,6 TL) üzerinden %100 kâr eldesi varsayımı yapılarak 41,2 TL olarak belirlenmiştir. m³ başına elde edilecek olan kâr bedeli 20,6 TL'dir (0,71\$). Geri kazanılacak su debisi 3.465 m³/gündür. Geri kazanım tesisi yıllık toplam kâr bütçesi Tablo 6.15'te detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 6. 15 Geri kazanım tesisi yıllık toplam kâr

m³ Başına Elde Edilecek Olan Kâr (\$)	Geri Kazanılacak Su Debisi (m³)	Yıllık Kâr (\$)	Amortisman (\$)
0,71	3.465	738.045	277.336
Yıllık Toplam Kâr (\$)		460.709	

SONUÇ VE ÖNERİLER

Membran prosesleri, iyi kalitede ürün suyu sağladıklarından arıtılmış atıksuyun yeniden kullanılması için iyi bir alternatif olarak görünmektedir. Ürün suyunun geri kazanılıp yeniden kullanılması durumunda, su kalitesi belirli bir kullanıma uygunluğu sağlayacak özellikte olması gerekmektedir.

Bu çalışmada Muratlı OSB AAT çıkış suyunun ileri arıtma yöntemi olan UF ve TO membran proseslerinden geçirilerek geri kazanılmasının sağlanması ve geri kazanılan suyun kalite değerlerine bağlı olarak belirlenen 3 sektörde proses suyu, soğutma suyu, kazan suyu, su yumuşatma sistemlerinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Çalışma ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Geri kazanılmış su için birim maliyet 20,6 TL (\$0.71) olarak hesaplanmış olup birim satış fiyatının 41,2 TL (\$1.42) ile bedellendirilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.
- Tez çalışması kapsamında; kuyu suyu kullanımını sınırlayabilmek için “kuyu suyu bedellendirme” varsayımı yapılmıştır. Kuyu suyu su kullanım ücretinin kademe aralığı dikkate alınarak m³ başına birim fiyat şebeke suyu birim fiyatına yakın olacak şekilde; 1-20 m³ kademe aralığında m³ başına 22 TL (\$0.76), 21-40 m³ kademe aralığında m³ başına 32 TL (\$1.1) ve 41 m³ ve üzeri kullanımda m³ başına 50 TL (\$1.73) bedellendirilmesinin Firmalar su kullanım ihtiyacını şebekeden ve kuyudan temin etmekte olup A₁ firması su ihtiyacını şebekeden karşılamaktadır. A1 firması debisine bağlı olarak günlük ortalama 47.961 TL (\$1,655) su ücreti ödemektedir. Firma su ihtiyacını geri kazanılmış sudan sağladığında ise belirlenen birim fiyata göre günlük 30.076 TL (\$1,038) su bedeli ödeyecektir.
- A₂ ve A₃ firmaları su teminini kuyudan sağlamaktadır. Kuyu suyu kullanımı halihazırda ücretsiz olup, kuyu suyunun daha önce ifade edildiği gibi bedellendirilmesi halinde A₂ firması; debisine bağlı olarak kuyu suyu için günlük 76.080 TL (\$2,625), geri kazanılmış su kullandığında ise günlük 63.448 TL (\$2,189) ücret ödeyecektir.

- A₃ firması su ihtiyacını kuyudan sağlarsa; debisine bağlı olarak günlük 58.830 TL (\$2,030), geri kazanılmış sudan sağlarsa 49.234 TL (\$1,699) günlük su kullanım maliyeti oluşacaktır.
- Geri kazanım tesisi ilk yatırım maliyeti amortisman hesabı yapılmış ve belirlenen su üretim fiyatı ve membran faydalı ömrü dikkate alınarak 4 yılda kendini amorti edeceği tespit edilmiştir.

Çıkan sonuçlara göre aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

1- Geri kazanılmış su kullanımı ekonomik açıdan avantajlıdır. Ancak, geri kazanılmış su kullanımı sadece ekonomik açıdan ele alınmamalıdır. Su kaynaklarının ülkemizde sınırlı olduğu ve özellikle sanayinin yoğun olduğu Tekirdağ İlinde, bölgesel olarak su kaynaklarının yetersiz olması ve su ihtiyacını sağlayamaması sebebiyle su geri kazanımına yönelimin artması beklenmekte ve gerekmektedir.

2- Özellikle kuyu suyu kullanımının ücretsiz olması sebebiyle kuyulardan bilinçsiz su çekilmesinin önüne geçebilmek için kuyulara su sayacı bağlanarak fiyatlandırma yapılması halinde, hem mevcut su kaynaklarımızın korunması sağlanmış olacak hem de geri kazanılmış su kullanımı sanayiciler tarafından tercih edilecektir.

3- Sanayicilerin geri kazanılmış su kullanımına teşvik edilebilmesi için en önemli husus, kuyu suyu kullanımının kontrol edilmesidir. Bu noktada ülkemizde ilgili kurumların kuyulardan bilinçsiz su çekilmesinin önüne geçebilmek için politikalar belirlemesi ve bu politikaların uygulanmasını destekleyici mevzuatlar oluşturmaları ve denetimlerin yoğun bir şekilde yapılması gerekmektedir.

4- Geri kazanım tesisinin OSB bünyesinde kurulması ve işletilmesi ile doğal kaynakların daha verimli kullanılması ve kirletilmemesi sağlanmış olacaktır.

- Acevedo, B., Borrás, L., Oehmen A., Barat, R. (2014). Modelling the metabolic shift of polyphosphate-accumulating organisms. *Water Research*, 65, 235-244.
- Ahmed, S. F., Mehejabin, F., Momtahir, A., Tasannum, N., Faria, N. T., Mofijur, M., Hoang, A. T., Vo, D. V. N., Mahlia, T. M. I. (2022). Strategies to improve membrane performance in wastewater treatment. *Chemosphere*, 306, 135527.
- Aküzüm, T., Çakmak, B., Gökalp, Z. (2010). Türkiye’de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 67-74.
- Ali, J., Rasheed, T., Afreen, M., Anwar, M. T., Nawaz, Z., Anwar, H., Rizwan, K., (2020). Modalities for conversion of waste to energy — Challenges and perspectives. *Science of the Total Environment*, 727.
- Aloui, F., Khoufi, S., Loukil, S., Sayadi, S., (2009). Performances of an activated sludge process for the treatment of fish processing saline wastewater. *Desalination*, 246(1-3), 389-396.
- Amery, H. A. (2002). Wayer wars? Geographical perspectives. *The Geographical Journal*, 168(4), 289-292.
- Andrade, L. H., Mendes, F. D. S., Espindola, J. C., Amaral, M. C. S. (2014). Nanofiltration as tertiary treatment for the reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor. *Separation and Purification Technology*, 126, 21-29.
- Armenia, S., Barnab é, F., Franco, E., Iandolo, F., Pompei, A., Tsaples, G. (2023). Identifying policy options and responses to water management issues through system dynamics and fsQCA. *Technological Forecasting and Social Change*, 194, 122737.
- Arvanitoyannis, I. S., Kassaveti, A., Ladas, D. (2008). Waste management for the food industries. *Food Science and Technology*, 345-410.
- Baker, R. W. (2004). Membrane Technology and Applications (2nd edition). John Wiley and Sons, West Sussex, England.
- Bodzek, M., Konieczny, K., Kwiecińska, A. (2012). Application of membrane processes in drinking water treatment-state of art. *Desalination and Water Treatment*, 35(1-3), 164-184.
- Bonomo, L., Nurizzo, C., Rolle, E. (1999). Advanced wastewater treatment and reuse: related problems and perspectives in Italy. *Water Science and Technology*, 40(4-5), 21-28.
- Boom Cárcamo, E. A. ve Peñabaena-Niebles, R. (2022). Opportunities and challenges for the waste management in emerging and frontier countries through industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 363, 132607.

- Borchardt, L., Zhu, Q. L., Casco, M. E., Berger, R., Zhuang, X., Kaskel, S., Feng, X., Xu, Q. (2017). Toward a molecular design of porous carbon materials. *Materials Today*, 20(10), 592-610.
- Brandhuber, P. (2007). Options for inland membrane concentrate disposal. *Water and Wastes Digest*.
- Bunani, S., Yörükoğlu, E., Sert, G., Yüksel, Ü., Yüksel, M., Kabay, N. (2013). Application of nanofiltration for reuse of municipal wastewater and quality analysis of product water. *Desalination*, 315, 33-36.
- Cai, J., Pan, A., Li, Y., Xiao, Y., Zhou, Y., Chen, C., Sun, F., Su, X. (2021). A novel strategy for enhancing anaerobic biodegradation of an anthraquinone dye reactive blue 19 with resuscitation-promoting factors. *Chemosphere*, 263, 127922.
- Campana, P. E., Mainardis, M., Moretti, A., Cottes, M. (2021). 100% renewable wastewater treatment plants: Techno-economic assessment using a modelling and optimization approach. *Energy Conversion and Management*, 239, 114214.
- Cansız, M. (2010). Türkiye’de organize sanayi bölgeleri politikaları ve uygulamaları. Ankara.
- Chang, H., Zhao, Y., Bisinella, V., Damgaard, A., Christensen, T. H. (2023). Climate change impacts of conventional sewage sludge treatment and disposal. *Water Research*, 240, 120109.
- Chen, C. L., Hung, S. W., Lee, J. Y. (2010). Design of inter-plant water network with central and decentralized water mains. *Computers & Chemical Engineering*, 34(9), 1522–1531.
- Chew, J. W., Kilduff, J., Belfort, G. (2020). The behavior of suspensions and macromolecular solutions in crossflow microfiltration: An update. *Journal of Membrane Science*, 601, 117865.
- Chon, K., Sarp, S., Lee, S., Lee, J. H., Lopez Ramirez, J. A., Cho, J. (2011). Evaluation of a membrane bioreactor and nanofiltration for municipal wastewater reclamation: Trace contaminant control and fouling mitigation. *Desalination*, 272(1-3), 128-134.
- Chowdhury, T., Chowdhury, H., Miskat, M. I., Rahman, M. S., Hossain, N. (2021). Membrane-based technologies for industrial wastewater treatment and resource recovery. *Membrane-Based Hybrid Processes for Wastewater Treatment*, 403–421.
- Ciardelli, Gianluca, L., Corsi, L., M. Marcucci, M. (2001). “Membrane separation for wastewater reuse in the textile industry,” *Resources, Conservation and Recycling*. 31(2), 24-27.
- Clever, M., Jordt, F., Knauf, R., Rübiger, N., Ruedebusch, M., Hilker-Scheibel, R. (2000). Process water production from river water by ultrafiltration and reverse osmosis. *Desalination*, 131 (1-3), 325-336.
- Corradini, F., Meza, P., Equiluz, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., Geissen, V. (2019). Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the Total Environment*, 671, 411-420.

- Çapa, S., Özdemir, A., Günkaya, Z., Özkan, A., Banar, M. (2022). An environmental and economic assessment based on life cycle approaches for industrial wastewater treatment and water recovery. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 103002.
- Çelebi, V. (2014). Tekstil atıksularının nanofiltrasyon membran ile arıtımı sonucu oluşan konsantrenin anaerobik arıtılabilirliği. Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Çevre Mühendisliği Paylaşım ve İletişim Portalı. <https://www.cevremuhendisligi.org/index.php/81-haberler/yazar-eg/1522-aktif-camur-prosesi>
- Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü. (2020). Türkiye çevre durum raporu. Erşim adresi <https://webdosya.csb.gov.tr>
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2023). Su kirliliği kontrolü yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete (25687, 31 Aralık 2004).
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 2023/2 İnşaat ve tesisat birim fiyatları. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/2023-2-birim-fiyatlar-170723-20230717105538.pdf>
- Dalstein, F., Naqvi, A. (2022). 21st century water with drawal decoupling: A pathway to a more water wise world? *Water Resources and Economics*, 38, 100197.
- De Cazes, M., Belleville, M. P., Mougél, M., Kellner, H., Sánchez-Marcano, J. (2015). Characterization of laccase-grafted ceramic membranes for pharmaceuticals degradation. *Journal of Membrane Science*, 476, 384-393.
- Deletic, A., Wang, H. (2019). Water pollution control for sustainable development. *Engineering*, 5(5), 839-840.
- Deloitte, L. (2015). Quantifying replenish benefits in community water partnership GETF.
- Demir, Ö., Yıldız, M., Sercan, Ü., Arzum, C. Ş. (2017). Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2(2), 1-14.
- Demirbas, A., Edris, G., Alalayah, W. M. (2017). Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(10), 999-1006.
- Devlet Su İşleri. (2020). <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>
- Diaz, R., Mackey, B., Chadalavada, S., Kainthola, J., Heck, P., Goel, R., (2022). Enhanced Bio-P removal: Past, present, and future — A comprehensive review. *Chemosphere*, 309, 136518.
- Dursun, M., Goker, N., Tulek, B. D. (2019). Efficiency analysis of organized industrial zones in Eastern Black Sea Region of Turkey. *Socio-Economic Planning Science*, 68.
- Edwards, J., Othman, M., Crossin, E., Burn, S., (2017). Anaerobic codigestion of municipal food waste and sewage sludge: A comparative life cycle

- assessment in the context of a waste service provision. *Bioresource Technology*, 223, 237-249.
- Emeka, E. E. (2015). Comparative analysis of effluent discharge from Emene industrial area of Enugu, Nigeria, with national and international standards. *Civil and environmental research*, 7, 84-92.
- Eksen Filtrasyon Merkezi. <https://eksenaritma.com.tr/ters-ozmos-ro-sistemleri-nasil-calisir/>
- Entegre Çevre Bilgi Sistemi. <https://ecbs.cevre.gov.tr>
- Eryılmaz Türkkkan, G., Atakul, F. (2020). İçme suyu şebeke hattının farklı boru tipleri için tasarımı ve maliyeti: Erzurum ili Horasan ilçesi örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 1521-1532.
- F Husain, I. A., Fahmi Alkhatib, M., Saedi Jammi, M., S Mirghani, M. E., Bin Zainudin, Z., Hoda, A. (2014). Problems, control and treatment of fat, oil and grease (FOG): A review. *Journal Oleo Science*, 63(8), 747-752.
- Fan, C., Zhou, M., Tang, X., Zeng, G., Xu, Q., Song, B., Gong, R., Zhang, B., Xiong, W., Lu, Y., Dong, H., Ding, N., Luo, Z., Wang, L., Wei, J. (2020). Triclosan enhances short-chain fatty acid production from sludge fermentation by transcriptional activity of acidogenesis bacteria. *Chemical Engineering Journal*, 384, 123285.
- Farias, E. L., Howe, K. J., Thomson, B. M. (2014). Spatial and temporal evolution of organic foulant layers on reverse osmosis membranes in wastewater reuse applications. *Water Research*, 58, 102-110.
- Fekete, B. M. (2013). *State of the world's water resources*. New York: City University of New York.
- Fraccascia, L., Giannoccaro, I. (2020). What, where, and how measuring industrial symbiosis: A reasoned taxonomy of relevant indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 157, 104799.
- Genius Watter. <https://www.geniuswatter.com/clean-water-for-all-genius-watter/>
- Gernaey, K. V., Van Loosdrecht, M. C. M., Henze, M., Lind, M., Jørgensen, S. B. (2004). Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: State of the art. *Environmental Modelling and Software*, 19(9), 763-783.
- Google Earth. <https://earth.google.com/web>
- Gökçen, G. (2013). Genel muhasebe ilkeler ve tekdüzen hesap planı uygulamaları, İstanbul.
- Gündoğdu, M., Jarma, Y. A., Kabay, N., Pek, T., Yüksel, M. (2019). Integration of MBR with NF/RO processes for industrial wastewater reclamation and water reuse-effect of membrane type on product water quality. *Journal of Water Process Engineering*, 29, 100574.
- Han, G., Liang, C. Z., Chung, T. S., Weber, M., Staudt, C., Maletzko, C. (2016). Combination of forward osmosis (FO) process with coagulation/flocculation (CF) for potential treatment of textile wastewater. *Water Research*, 91, 361-370.

- Hernández, K., Muro, C., Ortega, R. E., Velazquez, S., Riera, F. (2021). Water recovery by treatment of food industry wastewater using membrane processes. *Environmental Technology*, 42(5), 775-788.
- Hoekstra, A.Y. (2014). Water scarcity challenges to business. *Nature Climate Change*, 4(5), 318-320.
- Hoiberg, B., Shah, M.T. (2021). CFD study of multiphase flow in aerated grit tank. *Journal of Water Process Engineering*, 39.
- Huang, B., Yong, G., Zhao, J., Domenech, T., Liu, Z., Chiu, S. F., McDowall, W., Bleischwitz, R., Liu, J., Yao, Y. (2019). Review of the development of China's Eco-industrial Park standard system. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 137-144.
- Husnain, T., Liu, Y., Riffat, R., Mi, B. (2015). Integration of forward osmosis and membrane distillation for sustainable wastewater reuse. *Separation and Purification Technology*, 156, 424-431.
- Ilmasari, D., Kamyab, H., Yuzir, A., Riyadi, F. A., Khademi, T., AlQaim, F. F., Kirpichnikova, I., Krishnan, S. (2022). A review of the biological treatment of leachate: Available technologies and future requirements for the circular economy implementation. *Biochemical Engineering Journal*, 187, 108605.
- İLBANK. <https://www.ilbank.gov.tr/dosyalar/ilbank-teknik-sartnameleri/02>
- İstanbul Aritma Sistemleri. <https://www.istanbularitma.com/aktif-karbon%20filtreleri/>
- Joudah, A. S. A., Racoviteanu, G. (2019). The treatment of effluent from food industry using anaerobic-aerobic process with MBR system. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*. 6(2).
- Kader, S., Al-Mamun, M. R., Suhan, M. B. K., Shuchi, S. B., Islam, M. S. (2022). Enhanced photodegradation of methyl orange dye under UV irradiation using MoO₃ and Ag doped TiO₂ photocatalysts. *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102476.
- Kakwani, N. S., Kalbar, P. P. (2020). Review of circular economy in urban water sector: Challenges and opportunities in India. *Journal of Environmental Management*, 271, 111010.
- Karimi Estahbanati, M. R., Kumar, S., Khajvand, M., Drogui, P. (2021). Environmental impacts of recovery of resources from industrial wastewater. *Biomass, Biofuels, Biochemicals: Circular Bioeconomy-Current Developments and Future Outlook*, 121-162.
- Kenna, E. N., Zander A. K. (2000). Current management of membrane plant concentrate.
- Kim, T. H., Park, C., Kim, S. (2005). Water recycling from desalination and purification process of reactive dye manufacturing industry by combined membrane filtration. *Journal of Cleaner Production*, 13(8), 779-786.
- Klemes, J. J. (2012). Industrial water recycle/reuse. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 1(3), 238-245.

- Koltuniewicz, A. (2010). Integrated membrane operations in various industrial sectors comprehensive membrane science and engineering. Chapter 4.05, 109-164.
- Koyuncu, İ. (Ed). (2018). Su/atıksu arıtılmasında ve geri kazanılmasında membran teknolojileri ve uygulamaları. Ankara.
- Kumar, R., Liu, C., Ha, G. S., Kim, K. H., Chakraborty, S., Tripathy, S. K., Park, Y. K., Khan, M. A., Yadav, K. K., Cabral-Pinto, M. M. S., Jeon, B. H. (2023). A novel membrane-integrated sustainable technology for downstream recovery of molybdenum from industrial wastewater. *Resources, Conservation and Recycling*, 196, 107035.
- Kumar, R., Maurya, A., Raj, A. (2023). Emerging technological solutions for the management of paper mill wastewater: Treatment, nutrient recovery and fourth industrial revolution (IR 4.0). *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103715.
- Kumar, A., Srivastava Kumar, N., Gera, P. (2021). Removal of color from pulp and paper mill wastewater - methods and techniques – A review. *Journal of Environmental Management*, 298, 113527.
- Lagdali, S., Miyah, Y., El-Habacha, M., Mahmoudy, G., Benjelloun, M., Iaich, S., Zerbet, M., Chiban, M., Sinan, F. (2023). Performance assessment of a phengite clay-based flat membrane for microfiltration of real-wastewater from clothes washing: Characterization, cost estimation and regeneration. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100388.
- Lawal, M., Wan Alwi, S. R., Manan, Z. A., Ho, W. S. (2021). Industrial symbiosis tools-A review. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124327.
- Lerch, A., Panglisch, S., Buchta, P., Tomita, Y., Yonekawa, H., Hattori, K., Gimbel, R. (2005). Direct river water treatment using coagulation/ceramic membrane microfiltration. *Desalination*, 179(1–3), 41–50.
- Li, C., Liu, S., Ma, T., Zheng, M., Ni, J. (2019). Simultaneous nitrification, denitrification and phosphorus removal in a sequencing batch reactor (SBR) under low temperature. *Chemosphere*, 229, 132-141.
- Li, J., Dai, X., Zhang, B., Sun, X., Liu, B. (2022). Development and path of reclaimed water utilization policy in China: Visual analysis based on CNKI and WOS. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 11866.
- Lin. H., Gao, W., Meng, F., Liao, B. Q., Leung, K. T., Zhao, L., Hong, H. (2012). Membrane bioreactors for industrial wastewater treatment a critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(7), 677-740.
- Lin, J., Fu, C., Zeng, W., Wang, D., Huang, F., Lin, S., Cao, S., Chen, L., Ni, Y., Huang, L. (2023). Regulating the structure of cellulose-based ultrafiltration membrane to improve its performance for water purification. *Industrial Crops and Products*, 192, 116082.

- Liu, B., Nan, J., Zu, X., Zhang, X., Huang, W., Wang, W. (2020). La-based-adsorbents for efficient biological phosphorus treatment of wastewater: Synergistically strengthen of chemical and biological removal. *Chemosphere*, 225, 127010.
- López-Ramírez, J. A., Oviedo, M. D. C., Alonso, J. M. Q. (2006). Comparative studies of reverse osmosis membranes for wastewater reclamation. *Desalination*, 191(1–3), 137–147.
- Lyu, S., Chen, W., Zhang, W., Fan, Y., Jiao, W. (2016). Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. *Journal of Environmental Sciences*, 39, 86-96.
- Madaeni, S. S., Samieirad, S. (2010). Chemical cleaning of reverse osmosis membrane fouled by wastewater. *Desalination*, 257(1–3), 80–86.
- Mackey, E. D. (2006). Membrane Residuals Solutions. American Membrane Technology Association.
- Marcucci, M., Nosenzo, G., Capannelli, G., Ciabatti, I., Corrieri, D., Ciardelli, G., (2001). Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane technologies. *Desalination*, 138(1-3), 75-82.
- Mazumber, A., Sarkar, S., Sen, D., Bhattacharjee, C. (2023). Membranes for industrial wastewater recovery and reuse. *Resource Recovery in Industrial Waste Waters*, 1-21.
- Meneses, Y. E., Stratton, J., Flores, R. A. (2017). Water reconditioning and reuse in the food processing industry: Current situation and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 72-79.
- Moro, M. A., McKnight, U. S., Smets, B. F., Min, Y., Andersen, M. M. (2018). The industrial dynamics of water innovation: A comparison between China and Europe. *International Journal of Innovation Studies*, 2(1), 14–32.
- Mosley, L., Sarabject S., Aalbersborg B. (2005) Water quality monitoring in Pacific Island counties. Suva-Fiji Island. The University of South Africa Pacific.
- Mulder, M. (1196). Basic principles of membrane technology (2nd edition). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Nandy, T., Manekar, P., Dhodapkar, R., Pophali, G., Devotta, S. (2007). Water conservation through implementation of ultrafiltration and reverse osmosis system with recourse to recycling of effluent in textile industry-A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 51(1), 64-77.
- Nielse, P. H., Mclloy, S. J., Albertsen, M., Nierychlo, M. (2019). Re-evaluating the microbiology of the enhanced biological phosphorus removal process. *Current Opinion in Biotechnology*, 57, 111-118.
- Novak, M., Horvat, P. (2012). Mathematical modelling and optimization of wastewater treatment plant by combined oxygen electrode and biological wastewater treatment model. *Applied Mathematical Modelling*, 36(8), 3813-3825.

- Ochando-Pulido, J. M., Martinez-Ferez, A. (2018). Novel micro/ultra /nanocentrifugation membrane process assessment for revalorization and reclamation of agricultural wastewater. *Journal of Environmental Management*, 222, 447-453.
- Ong, Y. H., Chua, A. S. M., Fukushima, T., Ngoh, G. C., Shoji, T., Michinaka, A. (2014). High-temperature EBPR process: The performance, analysis of PAOs and GAOs and the fine-scale population study of Candidatus "Accumulibacter phosphatis." *Water Research*, 64, 102-112.
- Ong, Y. K., Li, F. Y., Sun, S. P., Zhao, B. W., Liang, C. Z., Chung, T. S. (2014). Nanofiltration hollow fiber membranes for textile wastewater treatment: Lab-scale and pilot- scale studies. *Chemical Engineering Science*, 114, 51-57.
- Ozbey Unal, B., Omwene, P. I., Yagcioğlu, M., Balcik Canbolat, Ç., Karagunduz, A., Keskinler, B., Dizge, N. (2020). Treatment of organized industrial zone wastewater by microfiltration/reverse osmosis membrane process for water recovery: From lab to pilot scale. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101646.
- Ögenler, O., Okuyaz, S. (2017). Türkiye’de suyun durumu hakkında kısa bir değerlendirme. *Lokman Hekim Dergisi*, 7(3), 178-186.
- Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U. (2005). Atıksu arıtımının esasları. Ankara.
- Pintilie, L., Torres, C. M., Teodosiu, C., Castelles, F. (2016). Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1-14.
- Pintor, A. M. A., Vilar, V. J. P., Botelho, C. M. S., Boaventura, R. A. R. (2016). Oil and grease removal from wastewaters: Sorption treatment as an alternative to state-of-the-art technologies. A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 297, 229-255.
- Pokhrel, D., Viraraghavan, T. (2004). Treatment of pulp and paper mill wastewater – a review. *Science of The Total Environment*, 333(1-3), 37-58.
- Pons, M. N., Corriou, J. P. (2001). Implementation of an equalisation tank on the cost 624 wastewater treatment plant benchmark. *IFAC Proceedings Volumes*, 34(5), 433-437.
- Qin, J. J., Wai, M. N., Oo, M. H., Wong, F. S. (2002). A feasibility study on the treatment and recycling of a wastewater from metal plating. *Journal of Membrane Science*, 208(1-2), 213-221.
- Queinnec, I., Harmand, J., Tarbouriech, S. (2004). Analysis and control of a wastewater equalization system. *IFAC Proceedings Volumes*, 37(3), 493-498.
- Ramin, E., Faria, L., Gargalo, C. L., Ramin, P., Flores-Alsina, X., Andersen, M. M., Gernaey, K. V. (2024). Water innovation in industrial symbiosis-A global review. *Journal of Environmental Management*, 349, 119578.

- Redondo, J. A. (2001). Brackish-, sea- and wastewater desalination. *Desalination*, 138(1-3), 29-40.
- Reynolds, T. D., Richards, P. A. (2011). Çevre mühendisliğinde temel işlemler ve süreçler. Ankara.
- Romero-Güzia, M., Asiain-Mira, R., Alves, M., Palatsi, J. (2022). Induced air flotation for fat, oil and grease recovery in urban wastewater: A proposed methodology for system optimization and case study. *Journal of Water Process Engineering*, 50, 103201.
- Sahin, N., Şibel, R. (2023). Hydrodynamic performance evaluation of screening on the physical unit operations in CFD computations. *Process Safety and Environmental Protection*, 171, 136-151.
- Saleh, I. A., Zouari, N., Al-Ghouti, M. A. (2020). Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 101026.
- Sarpong, G., Gude, V. G. (2021). Codigestion and combined heat and power systems energize wastewater treatment plants – Analysis and case studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110937.
- Schrotter, J. C., Rapenne, S., Leparç, J., Remize, P. J., Casas, S. (2010). Current and emerging developments in desalination with reverse osmosis membrane systems. *Comprehensive Membrane Science and Engineering*, 2, 35-65.
- Scott, K. (1995). Handbook of industrial membranes. Oxford, Elsevier Advanced Technology.
- Sethu, V., Viramuthu, V. A. (2008). Water recycling in the food industry. *Handbook of Water and Energy Management in Food Processing*, 647-662.
- Shah, Y., Bhimani, S., Thacker, H., Borah, A. J., Jadeja, Y., Thakkar, M., Chauhan, G., Kothiyari, G. C., Taloor, A. K. (2022). Spatial variations and trend analysis of groundwater salinity along coastal aquifers of Mundra-Kachchh over a decade—using thematic maps and GIS mapping. *Applied Water Science*, 12, 243.
- Sharma, M., Tyagi, V. V., Chopra, K., Kothari, R., Singh, H. M., Pandey, A. K. (2023). Advancement in solar energy-based technologies for sustainable treatment of textile wastewater: Reuse, recovery and current perspectives. *Journal of Water Process Engineering*, 56, 104241.
- Shehata, N., Egirani, D., Olabi, A. G., Inayat, A., Abdelkareem, M. A., Chae, K. J., Sayed, E. T. (2023). Membrane-based water and wastewater treatment technologies: Issues, current trends, challenges, and role in achieving sustainable development goals, and circular economy. *Chemosphere*, 320, 137993.
- Shi, Y., Yang, J., Yu, W., Zhang, S., Liang, S., Song, J., Xu, Q., Ye, N., He, S., Yang, C., Hu, J. (2015). Synergetic conditioning of sewage sludge via Fe^{2+} / persulfate and skeleton builder: Effect on sludge

- characteristics and dewaterability. *Chemical Engineering Journal*, 270, 572-581.
- Shrivastava, V., Ali, I., Marjub, M. M., Rene, E. R., Soto, A. M. F. (2022). Wastewater in food industry: Treatment technologies and reuse potential. *Chemosphere*, 293, 133553.
- Sichler, R. C., Adam, C., Montag, D., Barjenbruch, M., (2022). Future nutrient recovery from sewage sludge regarding three different scenarios – German case study. *Journal of Cleaner Production*, 333, 130130.
- Singh, G., Yadav, P., Singh, S. K., Ranjan, N., Verma, H., Ferreira, L. F. R., Kumar, A. (2023). Membrane processes for wastewater treatment. *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*.
- Sivarajasekar, N., Baskar, N. (2015). Agriculture waste biomass valorisation for cationic dyes sequestration: A concise review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(9), 737-748.
- Soffian, M. S., Halim, F. Z. A., Aziz, F., Rahman, M. A., Amin, M. A. M., & Chee, D. N. A. (2022). Carbon-based material derived from biomass waste for wastewater treatment. *Environmental Advances*, 9, 100259.
- Solé-Bundó, M., Garfi, M., Matamoros, V., Ferrer, I. (2019). Co-digestion of microalgae and primary sludge: Effect on biogas production and microcontaminants removal. *Science of the Total Environment*, 660, 974-981.
- Squire, D. (1997). Disposal of reverse osmosis membrane concentrate. *Desalination*, 108-1, 143-147.
- Sun, X., Jin, L., Zhou, F., Jin, K., Wang L., Zhang, X., Ren, H., Huang, H. (2022). Patent analysis of chemical treatment technology for wastewater: Status and future trends. *Chemosphere*, 307(4), 135802.
- Takht Ravanchi, M., Kaghazchi, T., Kargari, A. (2009). Application of membrane separation processes in petrochemical industry: a review. *Desalination*, 235(1–3), 199–244.
- Tahmaz Ş., Gültekin M.S., Yüceyurt M. (2013). Muratlı ıslah organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisi uygulama projesi proses raporu. İstanbul: Enta Mühendislik Arıtma Taahhüt San. Ve Tic. Ltd. Şti.
- Tariq, M., Ali, M., Shah, Z. (2006) Characteristics of industrial effluents and their possible impacts on quality of underground water. *Soil and Environment*, 25, 64-69.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., David Stensel, H. 2003. Wastewater engineering treatment and reuse (4th edition).
- Tekerlekopoulou, A. G., Economou, Ch. N., Tatoulis, T. I., Akratos, C. S., Vayenas, D. V. (2020). Wastewater treatment and water reuse in the food industry. *The Interaction of Food Industry and Environment*, 245-280.

- Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi (TESKİ).
<https://www.teski.gov.tr/media/gallery//08abd3b2-1e02-4278-a4d939d7778ea664.pdf>
- Toczyłowska-Mamińska, R. (2017). Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 764-772.
- Tsani, S., Koundouri, P., Akinsete, E. (2020). Resource management and sustainable development: A review of the European water policies in accordance with the United Nations' Sustainable Development Goals. *Environmental Science & Policy*, 114, 570-579.
- Uba, B. N., Ekundayo, J.A. (1995). Nutrient status of wastewater in a fertilizer-factory-waste discharge equalization basin. *Bioresource Technology*, 51(2-3), 135-142.
- Usack, J. G., Van Doren, L. G., Posmanik, R., Tester, J. W., Angenent, L. T. (2019). Harnessing anaerobic digestion for combined cooling, heat and power on dairy farms: An environmental life cycle and techno-economic assessment of added cooling pathways. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3630-3645.
- Usta, A. (2016). Türkiye'nin su potansiyelinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi*, 3(2), 01-09.
- Üstün, G. E., Akal Solmaz, S. K., Kestioğlu, K. (2004). Organize sanayi bölgelerinde atıksu arıtımı: Bursa'dan bir O.S.B. örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(1).
- Vandevivere, P. C., Roberto B., Willy V., (1998). Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry; Review of emerging technologies. *Journal of Chemical Technology Technology and Biotechnology*, 72 (4), 289-302.
- Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 32-45.
- Vourch, M., Balannec, B., Chaufer, B., Dorange, G. (2008). Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. *Desalination*, 219(1-3), 190-202.
- Wallace, T., Gibbons, D., O'Dwyer, M., Curran, T. P. (2017). Low-pressure air plasma-assisted acrylic grafted polyetherimide ultrafiltration membranes with excellent oil-water separation and high anti-fouling performances. *Materials Today Communications*, 35, 106325.
- Wang, J., Nie, L., Zhang, C., Wang, B. (2023). Low-pressure air plasma-assisted acrylic grafted polyetherimide ultrafiltration membranes with excellent oil-water separation and high anti-fouling performances. *Materials Today Communications*, 35, 106325.
- Wang, J., Xing, J., Li, G., Yao, Z., Ni, Z., Wang, J., Liang, S., Zhou, Z., Zhang, L. (2023). How to extend the lifetime of RO membrane? From the perspective of the end-of-life RO membrane autopsy. *Desalination*, 561, 116702.

- Wastewater Digest, (2019) <https://www.wwdmag.com/wastewater-treatment/news/10937708/heineken-pledges-to-reduce-water-use>
- Wenten, I. G., Khoiruddin. (2016). Reverse osmosis applications: Prospect and challenges. *Desalination*, 391, 112-125.
- Wilderer, P. (2011). The importance of water science in a world of rapid change: A preface to the treatise on water science. *Treatise on Water Science*, 1, xv-xvi.
- World Health Organization. (2017) Durum raporu: *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG Baselines*. Switzerland.
- Wu, H., Kanora, A., Schwartz, D. K. (2022). Fouling of microfiltration membranes by bidisperse particle solutions. *Journal of Membrane Science*, 641, 119878.
- Wu, Q., Liu, W. T. (2009). Determination of virus abundance, diversity and distribution in a municipal wastewater treatment plant. *Water Research*, 43(4), 1101-1109.
- Xia, S., Duan, L., Song, Y., Li, J., Piceno, Y. M., Andersen, G. L., Alvarez-Cohen, L., Moreno-Andrade, I., Huang, C. L., Hermanowicz, S. W. (2010). Bacterial community structure in geographically distributed biological wastewater treatment reactors. *Environmental Science and Technology*, 44(19), 7391-7396.
- Xiao, Y., Chen, T., Hu, Y., Wang, D., Han, Y., Lin, Y., Wang, X. (2014). Advanced treatment of semiconductor wastewater by combined MBR-RO technology. *Desalination*, 336, 168-178.
- Xiao, W., Jiang, X., Liu, X., Zhou, W., Garba, Z. N., Lawan, I., Wang, L., Yuan, Z. (2021). Adsorption of organic dyes from wastewater by metal-doped porous carbon materials. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124773.
- Xiong, R., Chen, Q., Liu, J., Wei, C. (2017). Experimental study on seeded precipitation assisted reverse osmosis for industrial wastewater reuse. *Journal of Water Process Engineering*, 20, 78–83.
- Yu, S., Liu, S., Yao, X., Ning, P. (2022). Enhanced biological phosphorus removal from wastewater by current stimulation coupled with anaerobic digestion. *Chemosphere*, 293, 133661.
- Zhang, Q. H., Wang, X. C., Xiong, J. Q., Chen, R., Cao, B. (2010). Application of life cycle assessment for an evaluation of wastewater treatment and reuse project – Case study of Xi'an, China. *Bioresource Technology*, 101(5), 1421-1425.
- Zhang, Q., Hu, J., Lee, D. J., Chang, Y., Lee, Y. J. (2017). Sludge treatment: Current research trends. *Bioresource Technology*, 243, 1159-1172.
- Zhang, Y., Huang, K., Yu, Y., Yang, B. (2017). Mapping of water footprint research: A bibliometric analysis during 2006-2015. *Journal of Cleaner Production*, 149, 70-79.

- Zhao, P., Ma, M., Hu, Y., Wu, W., Xiao, J. (2022). Comparison of international standards for irrigation with reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 274, 107974.
- Zhao, Q., Yu, M., Lu, H., Zhang, Y. Hua, Biswal, B. K., Chen, G. H. Wu, D. (2019). Formation and characterization of the micro-size granular sludge in denitrifying sulfur-conversion associated enhanced biological phosphorus removal (DS-EBPR) process. *Bioresource Technology*, 291, 121871.
- Zhou, Z., Wang, K., Qiang, J., Pang, H., Yuan, Y., An, Y., Zhou, C., Ye, J., Wu, Z. (2021). Mainstream nitrogen separation and side-stream removal to reduce discharge and footprint of wastewater treatment plants. *Water Research*, 188.



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Yaka, S., Debik, E. (2023, 28-30, April). Recovery of industrial wastewater in industrial zone [Oral presentation]. International Conference on Global Pravtice of Multidisciplinary Scientific Studies-IV, Turkish Republic of Northern Cyprus.
2. Yaka, S., Debik, E. (2023, 16-17, December). Recovery of industrial wastewater in industrial zone [Poster presentation]. 18th International Scientific Research Congress, Science and Engineering, Ankara Science University, Turkey.

