

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAYSERİ ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ
ATIKSULARINDA MİKROKİRLETİCİLERİN
PİLOT ÖLÇEKLİ MEMBRAN BİYOREAKTÖR VE
TERS OZMOZ SİSTEMLERİ İLE
ARITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Özlem ÖZCAN**

**Danışman
Doç. Dr. Oktay ÖZKAN**

Yüksek Lisans Tezi

**Aralık 2017
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAYSERİ ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ
ATIKSULARINDA MİKROKİRLETİCİLERİN
PİLOT ÖLÇEKLİ MEMBRAN BİYOREAKTÖR VE
TERS OZMOZ SİSTEMLERİ İLE
ARITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Özlem ÖZCAN**

**Danışman
Doç. Dr. Oktay ÖZKAN**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
Tarafından FYL-2017-7116 kodlu proje ile, 114Y521 kodlu proje ile TÜBİTAK
tarafından desteklenmiştir.**

**Aralık 2017
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

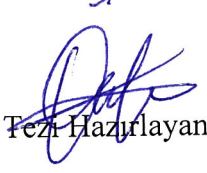
Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Özlem ÖZCAN



YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

“Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksularında Mikrokirleticilerin Pilot Ölçekli Membran Biyoreaktör ve Ters Ozmoz Sistemleri ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Özlem ÖZCAN



Danışman

Doç. Dr. Oktay ÖZKAN



Çevre Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Fatih ALTUN

Doç. Dr. Oktay ÖZKAN danışmanlığında **Özlem ÖZCAN** tarafından hazırlanan “**Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksularında Mikrokirleticilerin Pilot Ölçekli Membran Biyoreaktör ve Ters Ozmoz Sistemleri ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

29/12/2017

JÜRİ:

Başkan: Doç. Dr. Oktay ÖZKAN

Üye : Prof. Dr. Bilal TUNÇSİPER

Üye : Doç. Dr. Merve OĞUZ

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 09/01/2018 tarih ve 2018/02-06 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Mehmet AKKURT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bilimsel deneyimi ve engin bilgisiyle çalışmama yön veren sayın hocam Doç.Dr. Oktay ÖZKAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca yardımlarıyla yol gösteren hocam Arş. Gör. İbrahim UYANIK'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımızın sonuçlarını almamızda yardımcı olan özellikle Mahmut OLGUNHARPUTLU ve Sevim Ecem ŞİMŞEK olmak üzere diğer çalışma arkadaşlarım Hasan EKRIKAYA, Mükerrrem RENÇBER ve Esra USTA'ya teşekkür ederim. Ayrıca, ekibimize çalışma ortamı sağlamızda yardımcı olan Kayseri OSB AAT, Çevre Yönetim Müdürü Yakup GÜLTEKİN'e, tesis çalışanlarından özellikle bilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Çevre Y.Mühendisi Alper SOLMAZ'a olmak üzere teknik destek sağlayan ustalarımız Fikret DİNÇASLAN ve Ahmet KUŞ'a, manevi desteğiyle hep yanımda olan Filiz KESKİN'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na (Proje No: 114Y521) ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FYL-2017-7116) teşekkür ederim.

Ayrıca; hayatıma girdiğinden beri her daim beni destekleyen, çalışmalarım boyunca moral ve motivasyon kaynağım olan sevgili eşim İskender ÖZCAN'a, benim bugün olduğum kişi olmamı sağlayan, destekleri ve sevgileriyle hep yanımda ve arkamda olduklarını bildiğim canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Özlem ÖZCAN

Kayseri, Aralık 2017

**KAYSERİ ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ATIKSULARINDA
MİKROKİRLETİCİLERİN PİLOT ÖLÇEKLİ MEMBRAN BİYOREAKTÖR
VE TERS OZMOZ SİSTEMLERİ İLE ARITILABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Özlem ÖZCAN

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2017
Danışman: Doç. Dr. Oktay ÖZKAN**

ÖZET

Türkiye’de, Organize Sanayi Bölgesi (OSB) kavramı ortaya çıktığından beri hızla yaygınlaşmış ve OSB kurulmayan şehir kalmamıştır. Su tüketimi oldukça yüksek olan OSB’lerde henüz arıtma tesisleri olmayan bölgeler bulunmakla birlikte, arıtma tesisi bulunan diğer bölgelerde endüstriyel tesislerden kaynaklanan atıksular toplanarak merkezi atıksu arıtma tesislerinde arıtılmaktadır. Özellikle endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan, klasik arıtma yöntemleriyle giderimi yeterince sağlanamayan mikrokirleticiler alıcı ortama deşarj edilerek sucul ekosistemin, yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Mikrokirleticiler, çok düşük konsantrasyonlarda bulunmasına rağmen doğal yaşam üzerinde ve kontamine olmuş içme suyu kaynakları yoluyla da insanlar üzerinde toksik etkileri bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Kayseri OSB atıksu arıtma tesisi (AAT) atıksularının, pilot ölçekteki membran biyoreaktör (MBR) ve ters ozmoz (RO, reverse osmosis) sistemi ile mikrokirleticilerin arıtılabilirliği değerlendirilmiştir. Mikrokirletici gideriminin sağlanması için ilk adım olarak MBR’nin AAT ön çökeltim tankı çıkışından beslenerek arıtımı yapılmış, ikinci adımda ise MBR çıkışından beslenen RO işletilmiştir. MBR’de ince boşluklu membran (HF, hollow fiber), RO sisteminde ise spiral sarım membran modülü ile çalışılmıştır. 67’si öncelikli kirletici olan 83 mikrokirleticinin analizi yapılmıştır.

Membran proseslerde en büyük problemlerden biri olan membran tıkanma eğilimi gözlemlenmiş ve akı düşüşünün önüne geçilmeye çalışılmıştır. MBR’nin işletim süresi boyunca ortalama temel kirlilik parametresi olan KOİ’de % 91 giderim verimi sağlanmıştır. MBR çıkış suyuyla işletilen ters ozmoz sisteminde ortalama 98.2 ± 0.5 iletkenlik giderimi sağlanmıştır. Aynı zamanda geri kazanım oranı ve işletme

basıncındaki değişimler gözlemlenerek membran tıkanması hakkında fikir vermiştir. Mikrokirleticilerden, 67 öncelikli kirleticinin 46'sı tespit sınırının altında olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Atıksu, Organize sanayi bölgesi, MBR, RO, Mikrokirletici

**INVESTIGATION OF THE REMOVABILITY OF MICROPOLLUTANTS
WITH PILOT SCALE MEMBRAN BIOREACTOR AND REVERSE OSMOSIS
SYSTEMS IN KAYSERİ ORGANİZE İNDUSTRIAL ZONE WASTEWATER**

Özlem ÖZCAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

MS Thesis, August 2017

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Oktay ÖZKAN

ABSTRACT

In Turkey, Organized Industrial Zones (OIZs) are very common that every city has its own OIZ. In some of the OIZs, where the water consumption is very high, there are no wastewater treatment plant yet. The OIZs that have treatment plant, wastewater from industrial sectors is collected and treated in a central wastewater treatment plant. Aquatic ecosystems and groundwater resources are polluted by industrial activities with micropollutants, which are not adequately treated with conventional treatment methods. Although micropollutants are present at very low concentrations in contaminated drinking water sources, they may have toxic effects on humans.

In this study, the removability of micropollutants was evaluated by pilot scale membrane bioreactor (MBR) and reverse osmosis (RO) system. For this purpose, firstly, MBR was fed with primary sedimentation tank effluent of the WWTP, the MBR effluent is fed to the RO filtration unit. Hollow fiber (HF) membrane module was used in the MBR while spiral wound membrane module was used in the RO system. Analysis of 83 micropollutants, 67 of which are priority pollutants, were performed.

One of the biggest problems in membrane processes, the trend of membrane fouling, was observed and tried to prevent flux decline. During the operating period of the MBR, 91% removal rate was achieved in the COD, as the main pollution parameter. On RO system, operated with MBR effluent water, an average $98.2 \pm 0.5\%$ of conductivity removal was achieved. At the same time, changes in recovery rate and operation pressure were determined to give an idea of membrane fouling. 46 of the 67 priority pollutants were found to be below the detection limit.

Keywords: Wastewater, Organized industrial zone, MBR, RO, Micropollutant

İÇİNDEKİLER

KAYSERİ ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ATIKSULARINDA MİKROKİRLETİCİLERİN PİLOT ÖLÇEKLİ MEMBRAN BİYOREAKTÖR VE TERS OZMOZ SİSTEMLERİ İLE ARITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ	
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	ii
KABUL ONAY	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER	xi
TABLolar LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Türkiye’deki Su İhtiyacı, Atıksu Arıtma Yöntemleri ve Mikrokirleticiler	2
1.2. Membranlar ve Membranlı Arıtma Prosesleri	5
1.2.1. Membran Biyoreaktörler.....	7
1.2.2. Pilot Ölçekli Çalışmalar	11
1.2.3. Ters Ozmoz Sistemleri	14
1.3. Atıksularda Mikrokirleticiler	15

1.3.1. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAHs, Polycyclic aromatic hydrocarbons).....	16
1.3.2. Poliklorlu Bifeniller (PCBs, Polychlorinated Biphenyls).....	16
1.3.3. Öncelikli Kirleticiler.....	16
1.3.4. Tıbbi İlaç Kalıntıları ve Kişisel Bakım Ürünleri (PPCPs, Pharmaceuticals and Personal Care Products)	17
1.3.5. Endokrin Bozucu Kimyasallar (EDCs, Endocrine Disrupting Chemicals).....	18
1.3.6. Hekzabromosiklododekanlar (HBCDDs, Hexabromocyclodecanes).....	19
1.3.7. Perflorooctan Sülfonatlar (PFOS)	19
1.3.8. Polibromlu Difenil Eterler (PBDEs, The Polybrominated Diphenylethers)	20
1.3.9. Tarım İlaçları.....	21
1.3.10. Yüzey Aktif Maddeler (NP, Nonilfenol ve OP, Oktilfenol)	21
1.3.11. Dioksin ve Furanlar.....	21
1.3.12. Solventler.....	21
1.4. Mikrokirlletici Giderim Yöntemleri.....	22
1.5. Organize Sanayi Bölgeleri	25
1.6. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (KOSB)	26
1.7. KOSB Atıksu Arıtma Tesisi	27

2. BÖLÜM

GEREÇ ve YÖNTEM

2.1. Membran Biyoreaktör	31
2.2. MBR İşlem Adımları.....	37
2.3. Kimyasal Yıkama Prosedürü	39
2.4. Ters Ozmoz Sistemi	39
2.5. Analiz Yöntemleri	43

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Membran Biyoreaktör (MBR) Çalışmaları	51
3.1.1. MBR’de MLSS değişimi	52
3.1.2. MBR’de Akı-Basınç Değişimi.....	53
3.1.3. Sıcaklık Değişimi	55
3.1.4. MBR için KOİ Giderimi	55
3.1.5. MBR Çıkış için Renk Değişimi.....	57
3.1.6. MBR Çıkış için Bulanıklık Değişimi.....	57
3.2. Ters Ozmoz (RO) Çalışmaları	58
3.2.1. Akı Değişimi.....	59
3.2.2. Geri Kazanım Oranı – Basınç Değişimi	59
3.2.3. İletkenlik Giderimi	60
3.3. Metal Analizi Sonuçları	61
3.4. Mikrokirletici Analiz sonuçları.....	63
3.5. Maliyet Değerlendirmesi	70

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ.....	91

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Kısaltma</u>	<u>Anlamı</u>
AAT:	Atıksu arıtma tesisi
BBP:	Benzilbütil fitalat
BOİ:	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
BPA:	Bisfenol-A (bisphenol-A)
DEP:	Dietilfitalat
DMP:	Dimetilfitalat
DO:	Çözünmüş oksijen (dissolved oxygen)
DSİ:	Devlet Su İşleri
EC:	Elektriksel iletkenlik (electrical conductivity)
EPA:	Çevre Koruma Ajansı
EPS:	Hücre dışı polimerik besinler (extracellular polymeric substrates)
FS:	Düz plaka (flat sheet)
GAC:	Granüler aktif karbon (granular activated carbon)
HBCDDs:	Hekzabromosiklododekanlar (Hexabromocyclododecanes)
HF:	İnce boşluklu (hollow fiber)
HRT:	Hidrolik bekletme süresi (hydraulic retention time)
ICM:	Röntgen görüntüleme ajanı (X-ray contrast media)
IR:	İçsel geri devir (internal recycle)
KAÇ:	Klasik aktif çamur
KOİ:	Kimyasal oksijen ihtiyacı
LMH:	$L/m^2.sa$, A_k
MBR:	Membran biyoreaktör
MF:	Mikrofiltrasyon
MLSS:	Reaktördeki askıda katı madde konsantrasyonu (mixed liquor suspended solids)
NF:	Nanofiltrasyon

NTU:	Nefelometrik bulanıklık birimi (nephelometric turbidity unit)
ORP:	oksidasyon indirgenme potansiyeli (oxidation reduction potential)
OSB:	Organize sanayi bölgesi
PA:	Poliamid
PAC:	Toz aktif karbon (powdered activated carbon)
PAH:	Polisiklik aromatik hidrokarbon (polycyclic aromatic hydrocarbons)
PBDEs:	Polibromlu difenil eterler (The polybrominated diphenylethers)
PCB:	Poliklorlu bifeniller (polychlorinated biphenyls)
PCE:	Tetrakloro etilen
PE:	Polietilen
PFOS:	Perflorooctan sülfonat (perfluorooctane sulfonate)
PLC:	Programlanabilir mantık kontrolü (programmable logic control)
PN/PS:	protein/polisakkarit (proteins to polysaccharides ratio)
PP:	Polipropilen
PPCP:	Farmasötik ve kişisel bakım ürünü (pharmaceuticals and personal care product)
PTFE:	Politetrafloro etilen
PVC:	Polivinil klorür (polyvinyl chloride)
PVDF:	Polivinilidin florür
RO:	Ters ozmoz (Reverse ozmozis)
SÇD:	Su Çerçeve Direktifi
SMP:	Çözünebilen mikrobiyal ürünler (soluble microbial products)
SRT:	Çamur yaşı (sludge retention time)
SVI:	çamur hacim indeksi (sludge volume index)
SW:	Spiral sargılı (spiral wound)
TCE:	Polikloro etilen
TCS:	Triklosan (Triclosan)
TDİ:	Tarıma dayalı ihtisas

TMP:	Membrandaki basınç (transmembran pressure)
TN:	Toplam azot
TÜİK:	Türkiye istatistik kurumu
UF:	Ultrafiltrasyon
UNFCCC:	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
UV:	Ultraviyole
WHO:	Dünya Sağlık Örgütü

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Sulama suyunun kimyasal kalite sınıflandırması.....	4
Tablo 1.2. Membran tipine göre basınçlar (sürücü kuvvet)	6
Tablo 1.4. İncelenen pilot ölçekli MBR çalışmaları	13
Tablo 1.4. Mikrokirletici giderimini inceleyen MBR çalışmaları.....	24
Tablo 2.1 MBR membranı özellikleri	32
Tablo 2.2. Temel işletme parametreleri	33
Tablo 2.3. Reaktörler için kontrol ekranında okunabilen parametreler	34
Tablo 2.4. MBR’de kullanılan ekipman ve özellikleri.....	35
Tablo 2.5. MBR işlem adımları, süreleri ve döngüleri	38
Tablo 2.6. Membran Kimyasal Yıkama Adımları ve Yıkama Sıklığı	38
Tablo 2.7. Kimyasal yıkama prosedürü	39
Tablo 2.8. RO membran özellikleri.....	40
Tablo 2.9. Ölçümü yapılan mikrokirleticiler.....	45
Tablo 2.10. SÇD kapsamında analizi yapılan mikrokirleticiler	46
Tablo 3.1. MBR ve AAT temel parametrelerinin karşılaştırılması.....	51
Tablo 3.2 MBR çıkış ve RO çıkış temel parametreleri.....	58
Tablo 3.3. $\mu\text{g/L}$ düzeyindeki metal konsantrasyonları.....	62
Tablo 3.4. mg/L düzeyindeki metal konsantrasyonları.....	62
Tablo 3.5. Yapılan tüm ölçümler için ortalama metal giderim verimleri	63
Tablo 3.6. Pilot ölçekli tesisteki mikrokirletici analiz sonuçları.....	64
Tablo 3.7. Öncelikli kirleticiler kapsamında yapılan analiz sonuçları ($\mu\text{g/L}$)	65
Tablo 3.8. Tespit sınırının üstündeki mikrokirleticiler (ng/L , ppt)	67
Tablo 3.9. Nonilfenol ve oktilfenol giderim karşılaştırması	69

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Türkiye’de yıllara ve arıtma yöntemine göre arıtma tesisi sayısının değişimi.....	3
Şekil 1.2.	Membran ayırma prensibi.....	6
Şekil 1.3.	Membranların gözenek boyutuna göre ayırma spektrumu	6
Şekil 1.4.	MBR şematik görünümü: (a) harici ve (b) batık.....	7
Şekil 1.5.	Membran tıkanma şekilleri, a) gözenek, b) kek tabakası tıkanması.....	10
Şekil 1.6.	MBR’lerde tıkanmanın şekli (giderilebilen-geri döndürülemez tıkanma)	11
Şekil 1.7.	Ozmoz ve ters ozmoz prosesleri	14
Şekil 1.8.	Mikrokirletici giderim proseslerinin sınıflandırılması.....	22
Şekil 1.9.	Kayseri Organize Sanayi Bölgesinin konumu	27
Şekil 1.10.	KOSB’deki firmaların sektör dağılımı	28
Şekil 1.11.	KOSB’de oluşan atıksuyun kaynağına göre dağılımı.....	28
Şekil 1.12.	KOSB atıksu arıtma tesisi akım şeması.....	29
Şekil 1.13.	KOSB atıksu arıtma tesisinin kuş bakışı görüntüsü.....	29
Şekil 2.1.	Pilot ölçekli MBR ve RO sistemi görüntüsü	30
Şekil 2.2.	Membran biyoreaktörün şematik gösterimi.....	31
Şekil 2.3.	Aerobik tank fotoğrafı	31
Şekil 2.4.	MBR’de kullanılan membran modülü	32
Şekil 2.5.	Membran modülünün MBR tankındaki görüntüsü.....	33
Şekil 2.6.	PLC ekran görüntüsü (Biyolojik Reaktör).....	35
Şekil 2.7.	Kontrol paneli ve elektrik sayaçlarının görüntüsü.....	35
Şekil 2.8.	RO şematik gösterimi	40
Şekil 2.9.	RO sisteminin PLC kontrol ekran görüntüleri.....	41
Şekil 2.10.	Ters Ozmoz Sistemi.....	42
Şekil 2.11.	Twister ile analiz edilen bir numune.....	49
Şekil 3.1.	MBR için MLSS değişimi	52

Şekil 3.2.	MBR için Akı-Basınç değişimi.....	54
Şekil 3.3.	Biyoreaktör sıcaklık değişimi	55
Şekil 3.4.	MBR giriş ve çıkış KOİ	56
Şekil 3.5.	MBR Çıkış ve AAT Çıkış KOİ değerlerinin karşılaştırılması.....	56
Şekil 3.6.	MBR çıkış renk değerinin değişimi	57
Şekil 3.7.	MBR çıkış bulanıklık değerinin değişimi	58
Şekil 3.8.	Akı değişimi.....	59
Şekil 3.9.	Geri kazanım oranı ve basınç değişimi	60
Şekil 3.10.	RO giriş-çıkış iletkenlik değişimi	60

GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, Organize Sanayi Bölgesi (OSB) atıksularındaki mikrokirleticilerin, membranlı teknolojiler kullanılarak arıtılabilirliğinin değerlendirilmesi için pilot ölçekte yapılan çalışmaları içermektedir.

İlerde yaşanması muhtemel su kıtlığı göz önüne alındığında atıksu arıtma tesislerinin alıcı ortama deşarjı ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan mikrokirleticilerin yüzeysel su kaynaklarında toksik etkiler yaratmaktadır. Bu çalışma ile karışık endüstriyel atıksuların ileri arıtma yöntemi olan membran biyorektör ve Membran biyoreaktörde arıtılmış atıksu ise ters ozmoz prosesi ile arıtılarak mikrokirleticilerin giderimleri takip edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda birinci aşama olarak Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi ön çökeltim havuzu çıkışından alınan atıksu, MBR’de arıtılmıştır. İkinci aşamada ise MBR’de arıtılmış atıksuyun ters ozmoz sisteminde ileri arıtımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın, endüstriyel atıksuların geri kazanımı konusunda gelecekte yapılacak olan çalışmalara da kaynaklık etmesi hedeflenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde su kıtlığının etkileri, atıksuların yeniden kullanımının gerekliliği, mikrokirletici grupları, bu grupların çevre üzerindeki etkisinden, mikrokirletici giderim yöntemleri ve membranlı arıtma sistemleri ile organize sanayi bölgesi atıksularından bahsedilmiştir. İkinci bölümde pilot ölçekli sistemde kullanılan ekipmanlar, malzemeler, sistem işletme şartları ve kullanılan analiz metodları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular, veriler ve analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Dördüncü ve son bölümde ise pilot ölçekli sistemin mikrokirleticilerin arıtımında kullanımının uygunluğuna, avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1 Türkiye’deki Su İhtiyacı, Atıksu Arıtma Yöntemleri ve Mikrokirleticiler

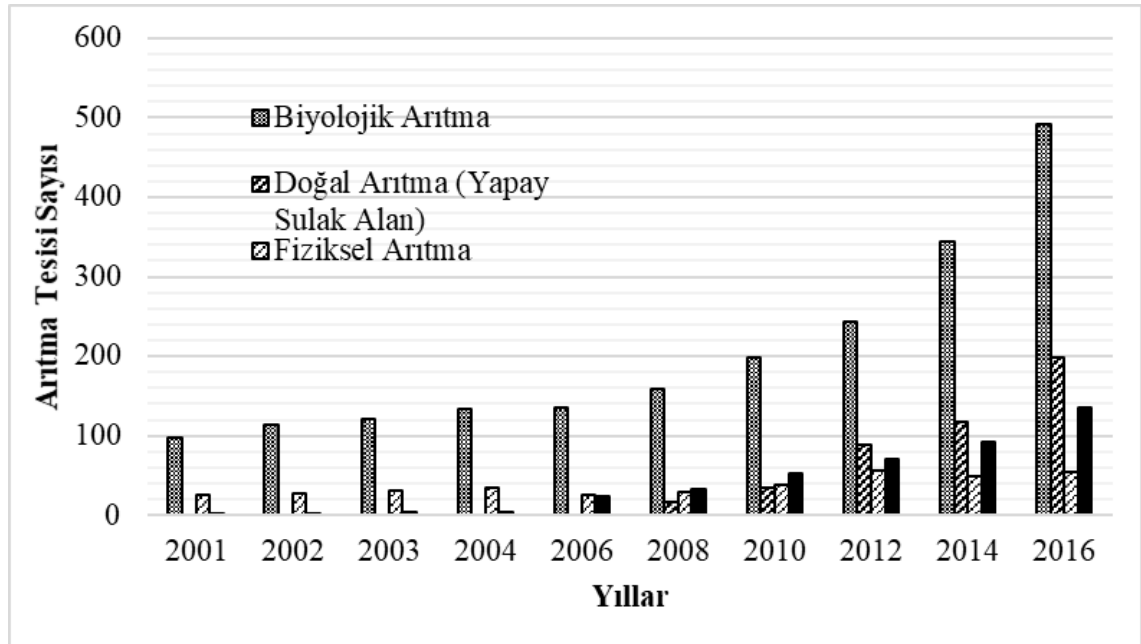
Günümüzde küresel iklim değışikliklerinin etkileri tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de belirgin olarak görölmektedir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine (UNFCCC) göre bu iklim değışikliklerinin sonucu olarak ortaya çıkan buharlaşmanın artması ve düzensiz yağışlar gibi sebeplerle Türkiye’de kuraklık etkisinin artacağı belirtilmiştir [1].

Akdeniz havzasında bulunan ölkeler arasında yer alan Türkiye, iklim değışiklerinin şiddetli şekilde hissedilecek bölgelerden biridir. Devlet Su İşleri (DSİ) Türkiye Su Raporunda ekonomik kalkınma ve su yönetiminin ayrılmaz bir bütün olduğuna ve su sektörüne yatırım yapılması gerektiğine dikkat çekilmiştir. Türkiye, 2030 yılına kadar su fakiri bir ölkce olması beklenmektedir. Günümüzde bile ortalama kişi başına düşen su miktarı Avrupa ölkelerine oranla çok düşüktür. Endüstriyel su ihtiyacı ise 2008’de toplam su ihtiyacının %11’ini oluştururken 2023’te %20’ye yükselmesi beklenmektedir [2]. Ölkemizde gelişen sanayi ve endüstriyel faaliyetlerin olası su kıtlığından etkilenmemesi için kullanılan suyun geri kazanımı ve yeniden kullanılması üzerinde durulması gereken bir konudur.

Dünya genelinde su kaynaklarının gün geçtikçe azaldığı, var olan su kaynaklarının da giderek kirlenmesi, “Sürdürülebilir kalkınma” ve “atık oluşumunun kaynağında önlenmesi” gibi kavramları ön plana çıkarmıştır. ISO 14000 ve IPPC-Direktifinin de etkisiyle pek çok işletme atık oluşturmamaya veya minimize etmeye ve oluşan atığı yeniden kullanmaya çalışmaktadır [3]. TÜİK verilerine göre 2000 ve 2014 yılları arasında imalat sanayisinde kullanılan suyun kullanım amacına göre dağılımına bakıldığında 2000 yılında yaklaşık %36’sı proses suyu ve %52’si soğutma suyu olarak

kullanılırken 2014’te bu oranlar sırasıyla %19 ve %73 olarak verilmiştir. Proses suyu olarak tüketim yaklaşık aynı değerlerde kalırken soğutma suyu miktarı her geçen yıl artış göstermiştir. Yüksek su kalitesi gerektirmeyen soğutma işleminde, arıtılmış suların yeniden kullanımı değerlendirilmesi gereken bir seçenektir. Ayrıca atıksuların yeniden kullanılmasında ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’nün hazırlamış olduğu rehberlerde suyun iyileştirilmesi ve içilemeyen atıksuların yeniden kullanılabilmesi için tüm dünyada bilinen ve uygulanan kalsik su ve atıksu arıtma teknolojilerine gereksinim duyulduğu belirtilmektedir. Bu rehberlerde ayrıca kullanım alanlarına göre suyun sağlanması gereken parametrelerin limit değerleri de verilmektedir.

TÜİK verilerine göre 2001-2016 yılları arasında ülkemizdeki arıtma tesisi sayıları Şekil 1.1’de verilmiştir [4]. Gelişmiş arıtma yöntemlerinde ciddi bir artış söz konusudur.



Şekil 1.1 Türkiye’de yıllara ve arıtma yöntemine göre arıtma tesisi sayısının değişimi

Ülkemizde atıksuların yeniden kullanılmasına dair ilk ulusal mevzuat 7 Ocak 1991 tarihinde 20748 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe giren “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği” Bölüm 7’ de yer almıştır. Birçok ülkeden daha önce atıksuların, sulama amaçlı yeniden kullanımı hakkındaki detaylara mevzuatta yer verilmiş de olsa yeterli sayıda arıtma tesis yapılamaması ve mevcut tesislerin verimli işletilememesi gibi sebeplerden AAT çıkış suları alıcı ortama deşarj edilmektedir. Tarım ülkesi olarak bilinen ülkemizde sulama suyu, önemli bir ihtiyaçtır

ve tüketim açısından önemli bir paya sahiptir. Bu doğrultuda 20 Mart 2010’ da yayımlanan “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği” ile 1991’ den beri yürürlükte olan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği” yürürlükten kalkmıştır. Tebliğde bulunan, sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için belirlenen parametreler ve limitler

Tablo 1.1’ de verilmiştir.

Tablo 1.1’ e bakıldığında belirleyici parametrenin iletkenlik olduğu görülmektedir. Çünkü iletkenlik, suda bulunan iyonların varlığından kaynaklanmakta ve sudaki iyon miktarı ile tuzluluk hakkında fikir vermektedir.

Tablo 1.1’de görüldüğü üzere güncel mevzuatta çevre için toksik etkileri olan mikrokirleticiler henüz yer almamaktadır.

Tablo 1.1. Sulama suyunun kimyasal kalite sınıflandırması

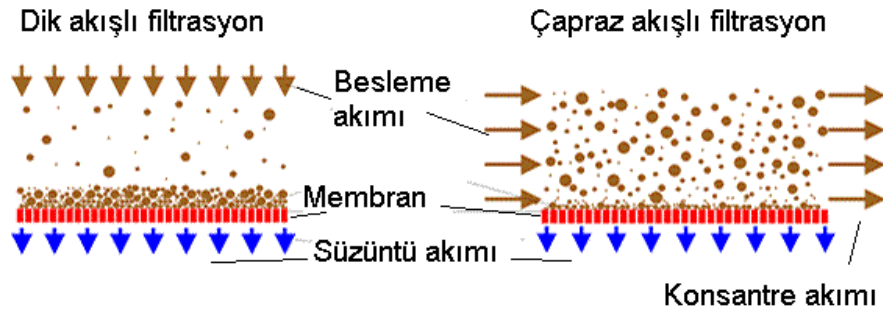
		Kullanımında Zarar Derecesi /Su Kalite			
		Parametreler	Yok / I.	Az-Orta/II.	Tehlikeli/II.Sınıf
Tuzluluk	İletkenlik (µS/cm)		< 700	700-	>3000
	Toplam çözünmüş Madde		< 500	500- 2000	>2000
	mg/L				
Geçirgenlik	SAR _{Tad}	0-3	EC≥0,7	0.7-	<0,2
		3-6	EC≥1,2	1.2-	<0,3
		6-12	EC≥1,9	1.9-	<0,5
		12-20	EC≥2,9	2.9-	<1,3
		20-40	EC≥5,0	5.0-	<2,9
Özgül İyon Toksitesi	Sodyum	Yüzey	< 3	3-9	> 9
	(mg/L)	Damlatmalı	< 70	> 70	
	Klorür	Yüzey	<140	140-350	>350
	(mg/L)	Damlatmalı	<100	>100	
	Bor (mg/L)		<0,7	0,7-3,0	>3,0

Ancak Avrupa Birliği ülkelerinde ve ABD’de yapılan güncel çalışmalarda mikrokirleticiler üzerinde bir yoğunlaşma vardır. Mikrokirleticilerin giderimi üzerine yapılan birçok çalışmada da membran prosesler ele alınmıştır [5-7].

1.2 Membranlar ve Membranlı Arıtma Prosesleri

Membran, kelimesi köken olarak Latince deri anlamına gelen “membrana” kelimesinden gelmektedir. Çeşitli sürücü kuvvetler altında, kütle transferi vasıtasıyla yoğun olan ve yoğunluğu daha büyük olan taraf arasında ayırma yapan yapı olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle iki faz arasında bir bariyer vazifesi gören seçici geçirgen bir materyal olarak tanımlanabilir [8]. Günümüzde klasik su ve atıksu arıtımına alternatif bir teknoloji olan membranlı sistemler, 18. yüzyılın sonlarında ozmoz kavramı ile ortaya çıkmıştır. Başlangıçta membranlar ile sadece laboratuvar ölçekli çalışmalar yapılmış, 1960’lardan itibaren büyük ölçekli sistemlere geçilmiştir. 1980’lerden sonra ise elektrodializ (ED), ultrafiltrasyon (UF), mikrofiltrasyon (MF), nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (RO) prosesleri yaygın olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Son yıllarda ise membran teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte bu teknolojiler, birçok arıtma yöntemiyle kıyaslanmakta ve eskiden beri kullanılan klasik arıtma yöntemlerinden avantajlı hale gelmektedir. Ayrıca başlangıçta maliyetlerin yüksek olan membran proseslerin, membran üretimindeki gelişmeler sayesinde gıda, petrokimya, maden, kimya ve metal işleme gibi birçok endüstride kullanımı yaygınlaşmıştır. Mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters Ozmoz (RO) gibi membran prosesler tek başına uygulandığı gibi aşamalı olarak bir arada da uygulanmıştır. Ayrıca membranlı arıtma proseslerin yüksek su kalitesi elde etmeye imkan sağlaması etkin bir şekilde uygulanan bir yöntem olmasına olanak tanımıştır [9].

Membranlar, biyoteknoloji, ilaç kimya, gıda, otomotiv sektörlerinde ve su/atıksu arıtımı gibi çok farklı kullanım alanlarına sahip olan malzemelerdir. Membran proseslerle, atıksu arıtımında atıksuda bulunan partiküler maddenin, büyük boyutlu moleküllerin ayrımı yapılmaktadır. Bu ayrım besleme akımı, sürücü kuvvetlerin (basınç, sıcaklık ve konsantrasyon farklılığı) etkisiyle membrandan geçerken süzüntü ve konsantre akımı olmak üzere ikiye ayrılarak gerçekleşmektedir. Membran ayırma prosesinin temel prensibi Şekil 1.2’ de verilmiştir. MF, UF, NF ve RO membranları için sürücü kuvvet basınç ve faz ayrımı sıvıdan sıvıyadır. Membran tipine göre basınçlar Tablo 1.2’ de verilmiştir.

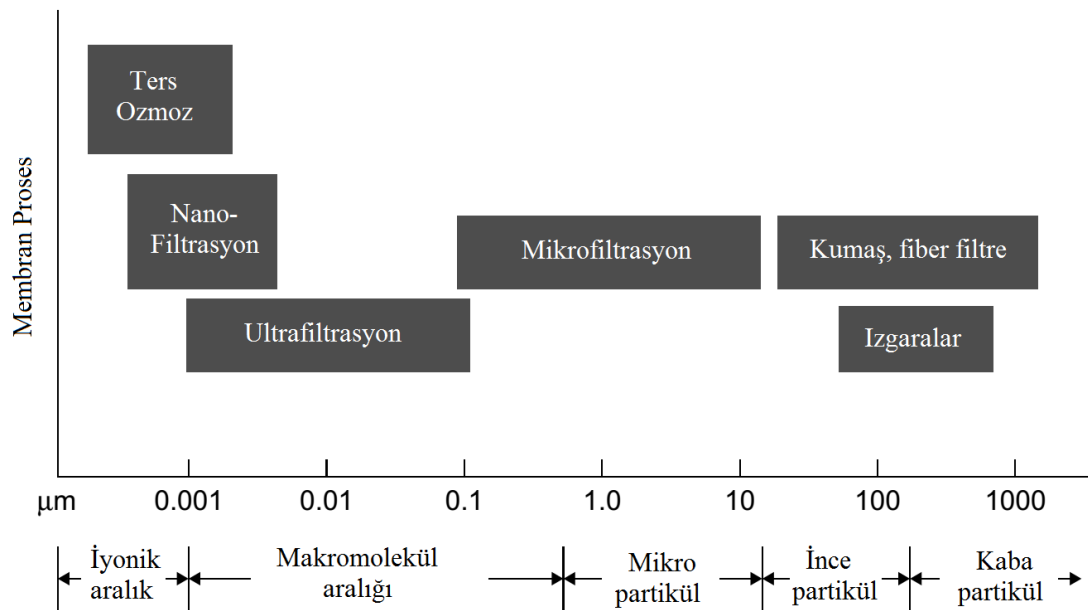


Şekil 1.2. Membran ayırma prensibi

Tablo 1.2. Membran tipine göre basınçlar (sürücü kuvvet)

Membran Tipi	Basınç (bar)
Mikrofiltrasyon (MF)	0,1-3,0
Ultrafiltrasyon (UF)	0,5-10,0
Nanofiltrasyon (NF)	2-40
Ters Ozmoz (RO)	5-70

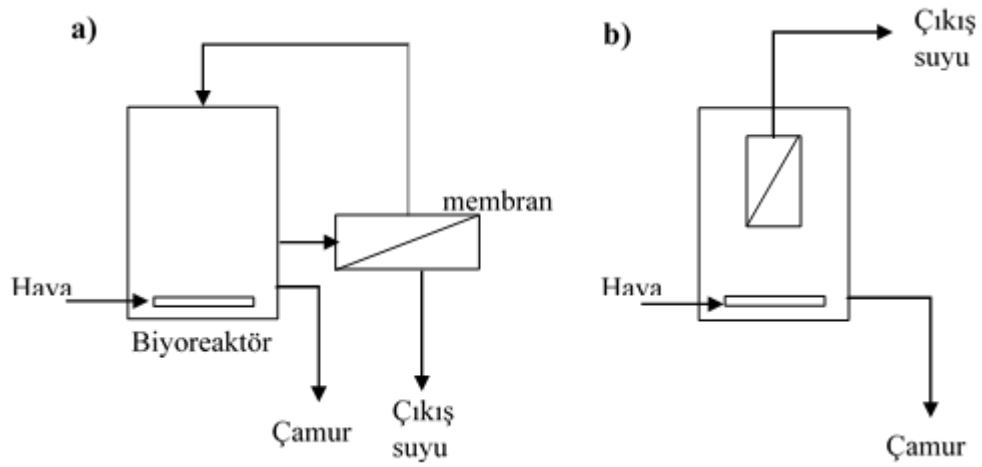
Membranlı proseslerin konfigürasyonu, elde edilmek istenen su kalitesine dolayısıyla ne amaçla geri kazanıldığına ve kullanılacak alana göre değişiklik gösterir. Membranların gözenek boyutuna göre ayırma spektrumu Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Membranların gözenek boyutuna göre ayırma spektrumu

1.2.1. Membran Biyoreaktörler

Membran biyoreaktörler, biyolojik proses sonucu arıtılan atıksuyun konvansiyonel biyolojik arıtma sistemlerinin aksine son çökeltim tankına ihtiyaç duyulmadan membranlar yardımıyla süzülmesini sağlayan sistemlerdir. Bu yüzden sistemin en büyük avantajlarından biri de alandan tasarruf edilmesidir. MBR'ler batık ve harici olmak üzere iki çeşittir ve şematik gösterimi Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. MBR şematik görünümü: (a) harici ve (b) batık

Bir derleme çalışmasında MBR'lerin klasik aktif çamur sistemine göre avantajları şöyle sıralanmıştır [10]:

- Yüksek kalitede süzüntü suyu elde edilmesi,
- Hidrolik bekletme süresi (HRT, hydraulic retention time) ve katı bekletme süresinin (SRT, solids retention time) bağımsız olması, (Çöktürme tankına ihtiyaç olmadığından katı maddenin flokleşip çökmesi için yüksek HRT gereklidir. Ancak MBR'de katı patikülün membran gözenek çapından daha küçük boyutta olması yeterlidir.)
- Yüksek askıda katı madde konsantrasyonlarında (MLSS, mixed liquor suspended solids) işletme imkanı sağladığından, gereken reaktör boyutunun düşmesi ve spesifik nitrifiye bakterilerin gelişmesini hızlandırarak amonyak giderim verimini artırması

- Reaktörde çamurun uzun süre kalması, yani uzun SRT’lerde işletilmesinden atık çamur miktarının azalmasıdır.

Çevre ve şehircilik bakanlığının, Türkiye’de atıksu yönetimi çalıştayı sonuç raporuna göre biyolojik arıtmaya dirençli atıksuların arıtımında konvansiyonel sistemlerden daha verimli olması, düşük alan ihtiyacı ve düşük çamur üreten bir sistem olmasından MBR teknolojisi ön plana çıkmaktadır [11].

MBR kullanım alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Gri su arıtma sistemleri
- Evsel ve endüstriyel atık suların ileri arıtımı
- Yüksek kirlilik konsantrasyonlarına sahip suların arıtımı
- Atıksu geri kazanımı ve sulama suyu olarak kullanılması
- Alan ihtiyacının karşılanamadığı konvansiyonel atıksu arıtma sistemleri
- Kapasite artışı gerektiren durumlarda alan ihtiyacının karşılanması
- Atıksuyun geri kazanılarak yüksek su gereksinimi olan I. sınıf su kalitesine ihtiyaç duyulmayan proseslerde kullanılması

Geleneksel MBR’nin dezavantajlarının ortadan kaldırılması için ileri arıtma yöntemleriyle entegre edilmiş sistemler üzerinde çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. MBR teknolojisi ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu enerji maliyetleri ve tıkanma problemleri gibi sistemin dezavantajlarını ortadan kaldırmaya yöneliktir ve yakın gelecekte atıksuyun yeniden kullanımı için cazip bir yöntem olacağını işaret etmektedir [12].

MBR’lerde temel işletme parametreleri; akı, basınç, MLSS, çamur yaşı, HRT ve pH, sıcaklık gibi diğer sistem parametreleridir. Membran tıkanması ve tıkanma ile ilgili konular da en önemli MBR parametrelerinin arasında olduğu söylenebilir.

MBR’ler işletiminde en önemli parametre akıdır. Kısaca LMH ($L/m^2.sa$) olarak gösterilen akının birimi, birim zamanda birim alandan geçen su miktarıdır. İşletme sırasında akının etkilendiği her parametre önem arz etmektedir. Bu yüzden yüksek akının sağlandığı işletme şartları en tercih edilen işletme şartları olarak kabul edilmektedir. Evsel atıksularda dizayn akısı olarak 15-25 LMH aralığı seçilirken, endüstriyel atıksularda 8,5-28 LMH aralığında ve ortalama 14 LMH’ta akı değerleri ile çalışılmıştır [13].

Diğer membran prosesler de olduğu gibi MBR’larda da akı arttıkça membran tıkanma süresi kısalmır. Bunun nedeni fazla akı ile çalışıldığında daha az membran alanı gerekir, öte yandan tıkanma daha çabuk olup, daha sık geri yıkama ve temizleme gerekir. Bu da birim zamanda üretilen arıtılmış su miktarını azaltır. Bazı batık MBR’lar, özellikle düz tabakalı ve tübular tiptekiler, geri yıkamayı gerektirmeyecek derecede düşük akılarda çalışabilirler. Bu durumdaki akılara ‘kritik akıdan düşük akılar’ denir. Kritik akı ise sürdürülebilir membran permeabilitesindeki (sabit akı ve transmembran basıncı) operasyon limitini temsil eder. Kritik akının üzerindeki operasyonlar TMP’yi artırıp, çok sık periyodik geri yıkama ve/veya temizleme gerektirir. Geri yıkanabilir gözenekli fiber tipler için, kritik akının üzerinde nispeten kısa devirlerde çalışmak daha ekonomiktir. Geri yıkanamayan düz tabakalı tipler için ise kritik akının altında çalışmak zaruridir. Her tip için kritik akıyı artırabilmek maliyet açısından yararlıdır. Buna da sadece sistem hidrodinamiği iyileştirilerek ulaşılır.

Çamur bekletme süresi (SRT) artışı tıkanmayı azaltmakta ve işletimi kolaylaştırmaktadır. Optimum çamur yaşının 20-50 gün arasında olması gerektiği literatürde derlenen çalışmalardan çıkarılabilir [14]. MBR’lerde yüksek MLSS konsantrasyonlarından dolayı fazla çamur yaşı (solids retention time, SRT) ile işletim yapılabilir. Yirmi günden fazla SRT ile çalışıldığında çeşitli avantajlar ortaya çıkar. Bunlardan birincisi artırılmış çözünümünden dolayı oluşan yeni biyokütle (yield) azalır ve bertaraf edilmesi gereken atık biyokütle miktarının azalması maliyeti düşürür. İkinci olarak, yüksek SRT değerlerinde nitrifikasyon daha verimli gerçekleşir ve nitrifikasyonun çeşitli ortam şartlarından olumsuz etkilenme şansı azalır. Üçüncü avantaj sentetik toksik organik maddelerin biyolojik ayrışmasını sağlayan özel mikroorganizmaların yüksek SRT değerlerinde daha etkin çalışmalarıdır. Yine yüksek MLSS konsantrasyonlarında çalışıldığında sisteme fazla organik yükleme de yapılabilir. Bu yüksek biyokütle konsantrasyonu aynı zamanda şok toksik yüklemelere karşıda daha dayanıklıdır.

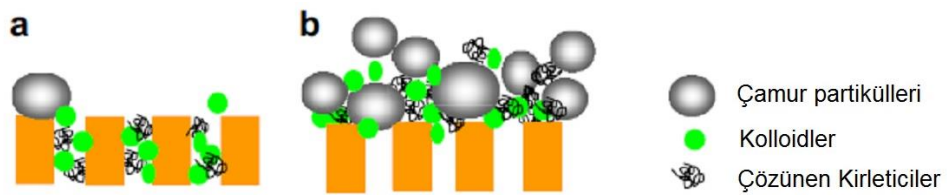
Membranların yaygın olarak kullanımını kısıtlayan en büyük engel membran tıkanmasıdır. Tıkanma tipleri:

- Partiküler ve kolloidal tıkanma: Membran gözenek çapından daha büyük olan maddelerin, membran yüzeyinde birikerek gözenekleri tıkanmasıyla oluşur.

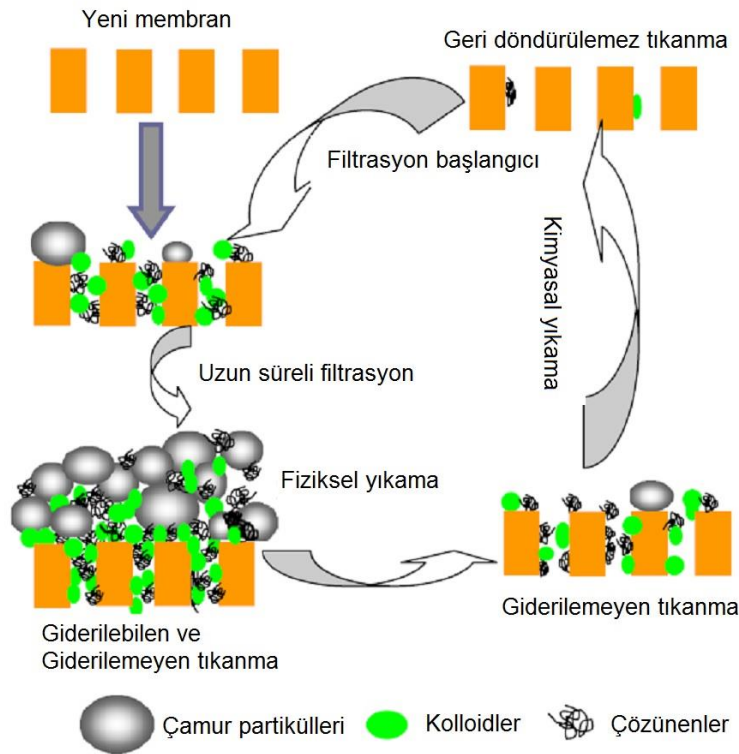
- Konsantrasyon polarizasyonu: Tersinir bir proses olup, membran yüzeyinde konsantrasyon artışı ile oluşur.
- Adsorpsiyon yoluyla tıkanma: Gözenek çapına eşit ya da daha küçük boyuttaki maddelerin gözenek içlerinde tutulmasıyla gerçekleşir.
- Çökelme: İnorganik maddelerin membran yüzeyine çökmesiyle oluşur.
- Biyolojik Tıkanma: Atıksuda mikroorganizmaların neden olduğu tıkanma tipidir.

Membran tıkanması, gelişen kek tabakası ile akının düşmesine, membranın daha küçük gözenek çapındaymış gibi davranmasına ve zamanla geri döndürülemez tıkanmalara yol açmasına neden olmaktadır. Bu nedenle geri yıkama ve bekletme stratejileri geliştirilmiştir. Örneğin, düz plaka modüllerde dinlendirme (relaxation) yapılırken, saçaklı membranlarda su, hava ve kimyasal ile çeşitli geri yıkama prosedürleri mevcuttur.

Giderilebilen (removable) tıkanma; fiziksel temizleme ile (geri yıkama gibi) giderilebilen tıkanma çeşididir. Giderilebilen tıkanma daha çok gevşek bağlı kirlenmelerin sebep olduğu tıkanmadır. Giderilemeyen (irremovable) tıkanma ise; fiziksel yollarla giderilemeyen ve kimyasal yıkamayla elimine edilebilen tıkanma çeşididir. Bu tür tıkanma daha çok gözenek tıkanması ve sıkı bağlanan organik maddeler nedeniyle oluşan tıkanmalardır [15]. Dolayısıyla, giderilebilen ve giderilemeyen ve tıkanma çeşitleri geri dönüştürülebilir tıkanmalar olup, geri döndürülebilir (reversible) tıkanma olarak ifade edilirler. Geri döndürülemeyen (irreversible) tıkanma ise; kalıcı tıkanma olup herhangi bir şekilde giderilemeyen tıkanma çeşididir. Genel olarak giderilebilen tıkanma; kek tabakasının sebep olduğu tıkanma, giderilemeyen tıkanma ise gözenek tıkanmasının sebep olduğu tıkanmadır (Şekil 1.6) [16].



Şekil 1.5. Membran tıkanma şekilleri, a) gözenek, b) kek tabakası tıkanması



Şekil 1.6. MBR’lerde tıkanmanın şekli (giderilebilen-geri döndürülemez tıkanma)

1.2.2. Pilot Ölçekli Çalışmalar

MBR ile ilgili yapılan pilot ölçekli birçok çalışma bulunmaktadır. Çok uzun yıllardır çalışma konusu olan MBR’lerde yapılan güncel çalışmalar daha spesifik konulara odaklanıldığını göstermektedir. Bu tez çalışmasına en yakın olan çalışma ise Finlandiya’da atıksu arıtma tesisinde kurulan pilot ölçekli MBR sistemi olmuştur [17]. Çalışmada klasik aktif çamur prosesi ile çalışan atıksu arıtma tesisi ile MBR’nin performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

4,3 m³ etkin reaktör hacmine sahip olan MBR sistemi anaerobik, aerobik ve membran filtrasyon tankı olmak üzere üç ayrı bölümden oluşmuştur. Yüzey alanı 16 m² olan plaka membran modülü 100 gün çalıştırılmış ve akı $3,8 \pm 0,1$ LMH olarak belirlenmiştir. Organik ve inorganik kirleticilerin giderilmesinde MBR’nin yüksek performansı vurgulanmıştır.

Finlandiya’da yapılan bu çalışmada mikrokirleticilerin gideriminde önemli bir farklılık gözlemlendi. İbuprofen, doksisisiklin, hidrokortizon, enalapril, entakapon, fluoksetin ve metotreksat gibi farmasötik açıdan aktif mikrokirleticilerin çoğunun hem MBR hem de

CAS atıklarında tespit limitlerinin çok altında olduğu tespit edildi. Bununla birlikte, ketoprofen, diklofenak, naproksen, bezafibrat, siklofosfamid, varfarin, atenolol, furosemid, metronidazol ve tetrasiklin gibi mikrokirleticilerin konsantrasyonları, CAS'dan (5 ila 300 ng L⁻¹) MBR atıklarından önemli ölçüde daha fazla giderim gözlemlenmiştir.

Son 10 yılda yapılan pilot ölçekli MBR çalışmaları

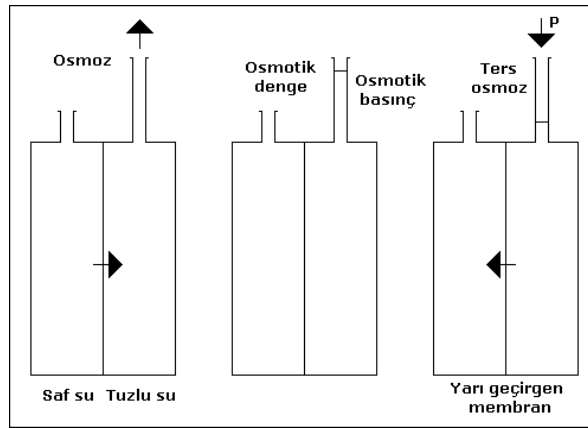
Tablo 1.3'te verilmiştir. Yapılan literatür taramasında pilot ölçekli çalışmaların genellikle evsel atıksular üzerine yapıldığı görülmüştür. Yapılan MBR çalışmalarında genellikle HF tip membran kullanılmıştır.

Tablo 1.3. İncelenen pilot ölçekli MBR çalışmaları

Atıksu	Konu	Membran	Alan (m ²)	Çap (μ)	Akı (LMH)	SRT (Gün)	HRT (saat)	MLSS (g/L)	Kaynaklar
Tıbbi şirket	İşletme parametrelerinin optimize edilmesi	HF-PVDF	50	0.22	(8-22)	100	5	(7.5-13.7)	[18]
Eysel	Organik yüklemenin etkisi	HF-PVDF	61	0.1	30		(1.1-3.6)	(6-10)	[19]
Eysel	Sıcaklığın etkisi	HF-PTFE	27	0.45	6.3	60	8	4.2	[20]
Eysel	Çeşitli şartlarda tıkanma	HF-PVDF	0.9		21.0	Sonsuz	11	(4.6-12.6)	[21]
Banyo	Performans analizi	HF-PE	3	0.4	16.7			(4-10)	[22]
Tekstil	Performans analizi	HF-PVDF	0.9		20.0	(son.-25)	14	(13.9-17.0)	[23]
Eysel	Mikrobiyal topluluk analizi	HF-PVDF	1.86	0.04			(8-15)	(6-8)	[24]
Eysel	IR ile nütrient giderim iyileştirme	FS-PVDF	1.4	0.08		25	7.2	(7-8)	[25]
Eysel	SRT'nin etkisi	HF-PVDF	0.93	0.2	(5-18)	20-50-75	8	(12-20)	[26]
Eysel	Demir tuzlarıyla fosfor giderimi	HF-PVDF	10.4	0.3	15.60	30	10	(5.9-13.5)	[27]
Eysel	Pilot-tam ölçek karşılaştırması	HF-PVDF	0.93	0.04	1.20	25	16.8	(1.6-3.2)	[28]
Eysel	Tıkanmaya neden olan polisakkaritlerin tanımlanması	Tubular-PVDF		0.05	40.00	30		12	[29]
Sentetik	Organik yükleme hızının çamur ve mikrobiyal topluluk üzerine etkisi	FS-PAN	0.24	0.07	12.00	sonsuz	48	(3.6-7.8)	[30]
Eysel	Tıkanmış membranlarda bakteriyel topluluk analizi	HF-PTFE		0.3		35	2.5	12.5	[31]
Hastane	Düşük HRT'de farmasötik giderimi	HF-PVDF	36	0.4	14.00	27	3	13	[29]

1.2.3. Ters Ozmoz Sistemleri

Ozmoz'da, yoğunluğu az olan sıvı yarı geçirgen bir membrandan, yoğunluğu fazla olan tarafa geçmektedir. Bu işlem ozmotik basınç dengelenene kadar sürmektedir. Ters ozmozda ise, yoğunluğu fazla olan sıvının olduğu taraftan, ozmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulanarak ters akışla, diğer tarafa yoğunluğu daha az, tuzlar ve minerallerden arındırılmış bir sıvı olarak geçirilir. Yoğunluğu fazla olan sıvı içerisinde bulunan mineral, tuz ve organik maddeler membranın diğer tarafında kalır. Şekil 1.7’te ozmoz ve ters ozmoz proseslerinin prensibi verilmiştir.



Şekil 1.7. Ozmoz ve ters ozmoz prosesleri

Ters ozmoz, 1960’larda kullanımı hızlı bir şekilde artmaya başlayan bir teknolojidir. Özellikle desalinasyon ve atıksu arıtma alanlarında ters ozmoz kullanımı yaygınlaşmıştır. Ters ozmoz ile giderilen maddeler; tuzlar, sertlik, patojenler, bulanıklık, dezenfeksiyon yan ürünleri ve pestisitlerdir. Giderilemeyen maddeler ise; hidrojen sülfür, bazı pestisitler, karbondioksit ve birçok çözünmüş gaz olarak sayılabilir.

Ters ozmoz membranlarında, 20–100 bar arasında değişen yüksek basınçların uygulanması gerekmektedir. Son yıllarda membran üretiminde meydana gelen gelişmelerle birlikte düşük basınçlı ters ozmoz membranları da değişik alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Uygulanan basınç besleme suyuna bağlı olarak 10 bar’a kadar düşürülmüştür. RO membranları genellikle % NaCl giderme verimi ile sınıflandırılmaktadır.

RO membranlarının uygulama alanları;

- İçme suyu üretimi,
- Atıksu arıtımı,
- Endüstriyel su üretimi,
- Değişik endüstriyel atıksuların arıtımı,
- Meyve suyu konsantresi,
- Fermentasyondur.

Günümüzde, RO membran teknolojisi, önde gelen tuzdan arındırma teknolojisidir. Çok çeşitli tuzlu su ve atıksulara uygulanır. Yapılan çalışmalarla ortaya çıkan yeni gelişmeler RO teknolojisinin güvenilirliğini ve enerji tüketimini geliştirmiştir [32].

1.3 Atıksularda Mikrokirleticiler

Mikrokirleticiler; atıksularda genellikle mikro ya da nano düzeyde bulunabilen farmasötikler, pestisitler, kişisel bakım ürünleri, aromatik hidrokarbonlar, endokrin bozucular ve endüstriyel diğer kirleticilerin (fitalat, bisfenol-A ve PCB'ler gibi) oluşturduğu kirletici türlerine verilen genel bir isimdir. Mikrokirleticiler; sanayi tesisleri, tarımsal faaliyetler, veterinerlik ve tıbbi faaliyetlerde oluşabilen özel öneme sahip spesifik kirleticilerdir. Çoğu biyolojik olarak aktif olmakla birlikte çevre ortamında düşük derişimlerde bulunmaktadır. Birçoğu klasik arıtım ünitelerinde tam olarak giderilememekte ve doğal alıcı ortam canlılarına zarar vermektedir [33]. Bununla birlikte içme suyu kaynaklarına ulaşarak insanlar üzerinde de potansiyel risk oluşturduğu iddia edilmektedir. Kanserojen etkilerinin bulunduğu, hormonal sistemleri, dolayısıyla büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkilediği ve erkeklerde fertilitite (üreme) özelliğini azalttığı ya da tamamen yok ettiği bildirilmekle beraber, doğal yaşam ve insanlar üzerindeki etkilerinin tam olarak ne kadar olduğu hakkında yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kirleticilerin çok düşük konsantrasyonlarda toksik etkilerinin bulunması ve her geçen gün yeni gelişmeler yaşanması bu alanda yapılan çalışmaları önemli kılmaktadır. Mikrokirleticiler, kalıcı organik kirleticiler ve endokrin bozucu kimyasallar gibi alt isimlere de sahiplerdir.

1.3.1 Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAHs, Polycyclic aromatic hydrocarbons)

PAH'lar doğal veya antropojenik kaynaklı iki veya daha fazla benzen halkasına sahip aromatik hidrokarbonlardır. Zararlı biyolojik etkilere, toksikliğe, mutasyona ve karsinojeniteye sahip çevrede yaygın olarak bulunan kirleticileridir. PAH'lar her yerde görülmesi, biyolojik birikme potansiyeli ve kanserojen aktivite özelliklerinden dolayı büyük çevresel kaygılara neden olmuştur [34].

Modern kimya endüstrisinin hızla gelişmesi, çok sayıda polisiklik aromatik hidrokarbonun çevreye girmesiyle sonuçlanmıştır. Bu maddeler hava, toprak, atıksu, deniz sedimanları ve bazı gıda ürünlerinde tespit edilmiştir. [35]

1.3.2 Poliklorlu Bifeniller (PCBs, Polychlorinated Biphenyls)

Poliklorlu bifeniller (PCB'ler), sanayileşmiş ülkelerde (örneğin; ABD, Fransa, Rusya, Japonya) 1950'li yıllardan 1970'li yıllara kadar çok miktarda üretilmiştir. Kümülatif dünya üretimi 1.3 milyon tona kadar çıkmıştır. Toksisite, kalıcılık, biyolojik birikim ve biyomagnifikasyon nedeniyle, üretimi 1993 yılında durdurulmuş ve bunların kullanımı Stockholm Sözleşmesi ve ilgili mevzuatla düzenlenmiştir. PCB'leri içeren elektronik ekipmanın nakliyesi ve sınır ötesi hareketiyle, bu bileşikler yaygın olarak dağılmış ve üretilmediği alanlarda bile bulunmuştur. Ekosistemleri korumak için PCB'leri kaynaklarını belirlemek ve izlemek önemli hale gelmiştir.[36]

Bifenilin klorla katalizlenmesinden elde edilen PCB'lerin, bünyesinde bulundurduğu klor atomu sayısı ve dağılımına göre olası 209 çeşidi olduğu düşünülmektedir [37].

1.3.3 Öncelikli Kirleticiler

AB tarafından 2000/06 / CE sayılı Su Çerçeve Direktifi yayımlanmıştır. Daha önceki direktiflerin aksine tüm su kaynaklarını kapsayan Su Çerçeve Direktifi (SÇD), su kaynaklarının korunmasında bütünleşik yaklaşım getirmekte, kaynak ıslahı ve sürdürülebilir kullanım olanağı sağlamakta ve şüphesiz geniş ve uzun vadeli etkilere sahip olması beklenmektedir.

Su kaynakları tarım, endüstri ve evsel gibi birçok kullanımdan etkilenmektedir. Esas olarak SÇD, kirlilik kaynaklarının kaynaklarında engellenmesini ve tüm kirlilik kaynaklarının sürdürülebilir kontrolü için bir mekanizma oluşturulmasını gerektirmektedir. Direktif, yeraltı sularını da korumakta ve kalite ve kantitesi için kesin hedefler getirmektedir. Nehirler, göller ve kıyı suları için de kesin ekolojik hedefler getirmektedir. Günümüzde yüzey ve yeraltı sularının birçoğu kirlenmiş olsa da, SÇD ile hepsinin 2015 yılına kadar “iyi durum”a gelmesi hedeflenmektedir [38].

İç yüzeysel suların, geçiş sularının, kıyı sularının ve yeraltı sularının korunması amacıyla yayımlanan çerçevenin ekinde metaller, zirai ilaçlar, fitatlar, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve endokrin bozucular içeren 33 öncelikli madde veya grubunun bir listesi verilmiştir.

1.3.4 Tıbbi İlaç Kalıntıları ve Kişisel Bakım Ürünleri (PPCPs, Pharmaceuticals and Personal Care Products)

İlaç ve kişisel bakım ürünleri (PPCP) tıp, sanayi, hayvancılık, su ürünleri yetiştiriciliği ve insanların günlük yaşamı gibi pek çok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Konvansiyonel biyolojik atıksu arıtma tesislerindeki yaygın uygulamalar ve yetersiz giderim oranları nedeniyle farklı ortamlarda bulunabilirler. Bu gruptaki kirleticiler, kullanım alanlarına göre farmasötikler yani ağrı kesiciler, antibiyotikler, antidepresanlar ve kişisel bakım ürünleri yani parfümler, dezenfektanlar, güneş koruyucular olarak bilinmektedir [29].

İlaç kalıntıları, kanalizasyon ve arıtma tesislerinden yapılan deşarjlarla yüzeysel alıcı ortamlara karışarak sucul ortamdaki organizmaların yaşam döngülerine katılabilmektedir. Farmasötik maddeler biyolojik olarak bozunabilirliği oldukça düşük olan maddelerdir. Çevredeki farmasötik maddelerin ve sağlığa etkilerinin yarattığı endişeler 1990’lı yıllardan beri çoğalmaktadır. [39-44]

Kişisel bakım ürünleri (PCP, personal care product) ise reçeteli ya da reçetesiz olarak kullanılan pek çok tıbbi (farmasötik) olan aktif ve inert özellikte bileşik gruplarını temsil eder. Bu maddeler ağrı kesici, yağ düzenleyici, yapay hormonlar, steroidler, parfümler, güneş kremleri ve losyonları, şampuan ve kozmetik ürünlerinden

kaynaklanmaktadır. Bu maddelerin çoğu biyoloji olarak bozunmuş veya orijinal haliyle atıksularda bulunur, deşarjlarla da atıksu arıtma tesislerine iletilmektedir. Tesise gelen bu PCPlar ve metabolitlerinin izlediği muhtemel 3 yol vardır: (i) Karbondioksit ve suya parçalanma, (ii) Tesise gelen PCP veya biyolojik olarak bozunmuş farklı formdaki halleri, eğer lipofilik ise katı kısımda (çamurda) tutulma, (iii) Bozunmadan orijinal haliyle ya da kısmi bozunma ürünü olarak alıcı ortama salınma [45].

1.3.5 Endokrin Bozucu Kimyasallar (EDCs, Endocrine Disrupting Chemicals)

Endokrin bozucu bileşikler (EDC), hormonların herhangi bir yönüne müdahale edebilen kimyasallar karışımı olarak tanımlanan önemli bir mikrokirletici sınıfıdır [46]. EDC'ler, çeşitli doğalarından, çevredeki kalıcılığından ve çok düşük konsantrasyonlarda metabolik ve üreme rahatsızlıklarına neden olabilme özelliklerinden dolayı mikrokirleticilerin önem verilmesi gereken bir alt grubudur. EDC'ler doğrudan (örneğin atık su deşarjı yoluyla) veya dolaylı olarak (örneğin fırtına suyu akışı) su ortamına girebilirler. Ancak EDC'lerin su ortamına taşınması, arıtılmış veya arıtılmamış atıksuyun nehirlerle, derelere ve diğer yüzey su kaynaklarına deşarj edilmesi yoluyla gerçekleşmektedir [47-49]. Hem yüzey suyu hem de yeraltı suyu kaynakları olmak üzere içilebilir su kaynakları, AAT deşarjı ile kontamine olabilir [50].

Son on yılda yapılan çalışmalarda çalışmalarda araştırılan kimyasalların hayvanlarda endokrin sistemi olumsuz etkilediği bulguları elde edilmiştir [51]. Bu bulgular arasında endokrin bozucu kimyasalların endokrin sistemine kümülatif etkilerinin olduğunu ve olumsuz etkilerin gelecek nesillere de taşınabildiği raporlanmıştır. EDC'lerin çoğu (Bisphenol A gibi) sentetik organik yapıda olup, antropojenik kaynaklardan çevreye yayılmakta, bir kısmı da doğal olarak ortaya çıkan östrojenik hormonlar olup (estrone ve 17b-estradiol gibi) atıksuların deşarj edildiği sucul alıcı ortamlarda yaygın olarak bulunmaktadır.

1.3.6 Hekzabromosiklododekanlar (HBCDDs, Hexabromocyclododecanes)

Hekzabromosiklododekanlar bromlu alev önleyicilerdir. Elektrik ve elektronik parçaların polimerlerinde, izolasyon (geniştirilebilir ve ekstrüde polistiren) amaçlı malzemelerde kullanılan bir tekstil kaplama maddesidir. Ortamda çok kalıcıdır ve parçalanmaları ihmal edilecek kadar azdır. Bu nedenle seviyeleri çoğunlukla artmaktadır. Örneğin HBCDD sedimantda 15-40 yıl sonra hala mevcuttur. Doğal besin zincirlerinde biyolojik artış ve konsantrasyon gösterir. HBCDD, yaşam döngüsü sırasında üretimden atık hava ve suyuyla uzaklaştırmaya kadar çevreye yayılabilir. Bu maddeler, kararlı olmaları nedeniyle insanlarda ve doğada nano gram seviyesinde bulunur. Çin’de yapılan bir çalışmada, çevre örneklerinde yüksek konsantrasyonlarda (11700 ng/g toprakta, 580 ng/L suda, 6740 ng/g sedimentte) HBCDD’ye rastlanmıştır [52].

HBCDD, sızıntı suyu, kanalizasyon örnekleri, elektronik atık arıtma merkezleri, atık yakma fırını emisyonları ve kalıntıları gibi çeşitli atık akımlarında ölçülmüştür. Avrupa Birliği (EU), “düşük kalıcı organik kirletici konsantrasyon limiti” (LPLC) değerleri getirmiştir. Buna göre, HBCDD için LPLC değeri 1000 mg/kg olarak belirlenmiştir. Bundan yüksek değerler içeren maddeler geri dönüştürülemez ve mutlaka atılmadan önce arıtılmalıdır.

landfill leachate [12–14],

1.3.7 Perflorooctan Sülfonatlar (PFOS)

Perflorooctan sülfonat (PFOS), kolaylıkla transformasyona uğramaz. Son yıllarda çevresel ve ekolojik olumsuz etkilere sebep olduğu fark edilmiştir. Köpük ayarlamaları, kaplama ve yarı iletkenler gibi çeşitli ürünlerin imalatında yıllardır geniş biçimde kullanılmaktadır. 2002 yılında, biyobirikim ve toksik etkilere sebep olması nedeniyle toksik kirletici olarak sınıflandırılmıştır. Bunun sonucu olarak birçok ülkede kullanımı sınırlandırılmış ya da tamamen kaldırılmıştır [53]. Fakat hala çevre örneklerinde fark edilir konsantrasyonlarda (ng/l ve µg/l) bulunmaktadır ve kalıcı doğası sebebiyle daha uzun yıllar bulunacağı da tahmin edilmektedir (suda tahmin edilen yarı ömrü 41 yıldan fazladır). Su ortamına karıştığı en önemli yolun

atıksu deşarjı olması nedeniyle, atıksu arıtımı sırasında giderilmesi kritik bir önem taşımaktadır. Ancak enzimle parçalanmalara karşı oldukça dirençli olduğu için aktif çamur ve anaerobik çürütme gibi klasik biyolojik arıtma sistemlerinde oldukça kalıcıdır [54]. Son yıllarda PFOS giderimi için birçok değişik yaklaşım araştırılmıştır. Örneğin, sonokimyasal bozunma, fotokimyasal parçalanma, elektrokimyasal oksidasyon, adsorpsiyon, iyon değişimi ve membranla ayırma gibi. Bunların arasında membranla ayırma, PFOS giderimi için en uygun yöntem gözükmemektedir. Genel olarak RO ve NF membranları kullanılmıştır. RO, %99 verim gösterirken, NF, %90 verimlere ulaşmıştır [54].

1.3.8 Polibromlu Difenil Eterler (PBDEs, The Polybrominated Diphenylethers)

Polibromlu difenil eterler (PBDEs), çevrede oldukça kararlı olmasına rağmen, metabolitlerinin kalıcı karakterleri oldukça değişkendir. Penta ve okta PBDE'ler kolaylıkla parçalanırken bazı düşük brominatl türleri ayrıca kendisinin emisyon kaynağı olarak davranabilirler [52]. PBDE'ler kalıcı, yüksek lipofilik ve biyolojik olarak birikebilen maddelerdir. Tatlı sularda ve marin sedimentlerde, havada, arıtma çamurlarında ve atıksu arıtma tesislerinde oluşan biyolojik katılarda yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar [55]. Penta ve okta PBDE'lerin kullanımı, 2004 yılından itibaren AB tarafından yasaklanmıştır. Haihe nehri sedimentlerinden numuneler alınarak yapılan bir çalışmada PBDE konsantrasyonları 0,4-5,7 ng/l olarak bulunmuş ve kaynağının atıksu arıtma tesislerinden yapılan deşarjlar olduğu belirlenmiştir [56]. Başka bir çalışmada, 4 atıksu arıtma tesisindeki kanalizasyon suyunda PBDE konsantrasyonların 1 ve 254 ng/l arasında bulunduğunu ve çıkışta bu değerlerin 12-27 ng/l'ye düştüğünü göstermişlerdir [57]. PBDE'ler için doğada giderilme yolları biyodegradasyon ve adsorpsiyondur [58]. PBDE'lerin toprak ve sedimente adsorpsiyonu geniş bir şekilde araştırılmıştır. PBDE'nin iki aromatik halkanın bir oksijen atomuna bağlanmasından kaynaklanan kompleks moleküler yapısı sonucu, biyodegradasyon hızı oldukça düşüktür. Bu sebeple, PBDE degradasyonunun, bu maddelerin çevredeki akıbetleri üzerinde önemli etkileri vardır [59].

1.3.9 Tarım İlaçları

Pestisit, herbisit, insektisit gibi ürün verimini artırıcı ya da azaltıcı birçok zararlı tarım ilacı günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan birçoğu SÇD kapsamındaki öncelikli kirleticiler listesine alınmıştır. Çalışma kapsamında ölçülen tarım ilaçları alfabetik olarak sıralanmıştır: Alachlor, Atrazine, Chlorfenvinphos, Chlorpyrifos-ethyl, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Isodrin, p.p'-DDT, p.p'-DDE, o.p'-DDT, p.p'-DDD, Diuron, Endosulfan, Isoproturon, Simazine, Tributyltin (Tributyltin-cation), Trifluralin, Dicofol, Quinoxyl, Aclonifen, Bifenox, Cybutryne, alpha-cypermethrin, beta-cypermethrin, theta-cypermethrin, zeta-cypermethrin, Dichlorvos, Heptachlor, Heptachlor epoxide, Terbutryn. Bu kirleticilerin akıbetleri Türkiye'de sadece sınırlı çalışmalarda ortaya konabilmiştir [60, 61].

1.3.10 Yüzey Aktif Maddeler (NP, Nonilfenol ve OP, Oktilfenol)

Temizlik ürünlerde yüzey aktif madde olarak kullanılan nonilfenol etoksilatın parçalanmasıyla nonil ve oktil-fenoller oluşmaktadır. Bu maddelerin kadınlık hormonu olan östrojenle vücut tarafından ayırt edilememesi nedeniyle endokrin bozucu etkisi ortaya çıkmaktadır. Nonilfenoller sucul ortamlarda kalıcı, biyobirikime müsait ve suda yaşayan canlılarına aşırı toksik etki göstermektedir [62].

1.3.11 Dioksin ve Furanlar

Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler ve furanlar, endüstriyel işlemler, ergitme işlemleri, böcek öldürücü imalatı, küçük ve büyük ölçekli yakma tesisleri, otomobil egzozu, depolama alanları, kanalizasyon arıtma tesisleri ve orman yangınları gibi doğal olaylar da dahil olmak üzere bir dizi faaliyetten kaynaklanmaktadır [63]. Bu yüzden kentleşme ve endüstriyel faaliyetlerin giderek arttığı bölgelerde ana kirleticileri oluşturduğunu ve konsantrasyonlarının arttığını söylemek mümkündür. Çevresel konsantrasyonları düşük olduğu için çok düşük tespit limitlerinde ölçülmesi gerekmektedir [64].

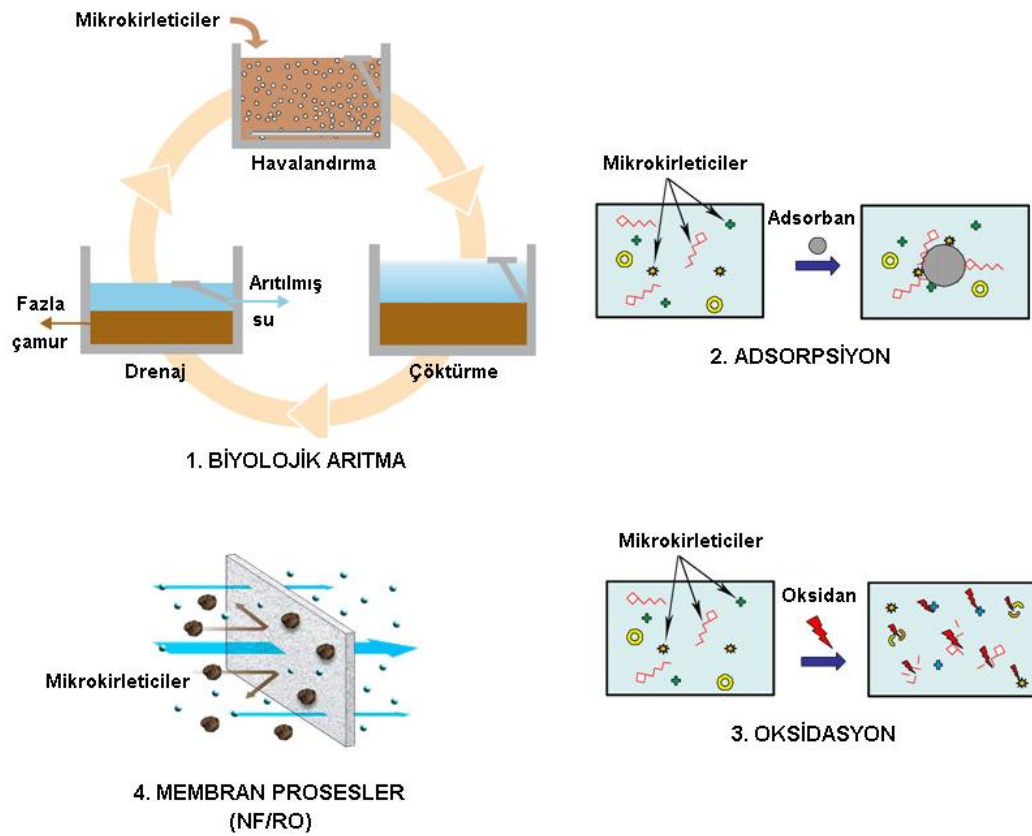
1.3.12 Solventler

Trikloroetilen (TCE) ve tetrakloroetilen (PCE), öncelikle metal endüstrisinde yağ gidermede çözücü olarak yaygın şekilde kullanılan uçucu sıvılardır. Bu bileşiklerin gittikçe artan kullanımı veya kaza sonucu dökülmeler nedeniyle nehirler, göller ve

yeraltı suyu kaynaklarının kirlenmesi riski taşımaktadır. Zehirlilik, kanserojen etki ve çevredeki uzun süre kalması nedenleriyle bu kirleticiler, en önemli konulardan biri haline gelmektedir. Atıksuların arıtılması, aynı şekilde drenaj alanında gerçekleşen işlemlerin sonucunda sulara gönderilen hem antropojenik hem de doğal maddelerin uzaklaştırılması gerekmektedir. [65]

1.4 Mikrokirletici Giderim Yöntemleri

Su ve atıksulardan mikrokirletici gideriminde, UV (Ultraviyole), H_2O_2 (Hidrojen Peroksit), Ozon (O_3) gibi ileri oksidasyon prosesleri, klorlama, granüler ya da toz aktif karbon adsorpsiyonu, MBR ve diğer membranlı arıtma teknolojileri veya bu proseslerin farklı kombinasyonlarda birlikte kullanımının incelendiği birçok çalışma mevcuttur [7, 66-68]. Mikrokirletici giderim yöntemleri biyolojik arıtma, adsorpsiyon, oksidasyon ve membran prosesler olarak 4 grupta (Şekil 1.8) incelenebilir.



Şekil 1.8. Mikrokirletici giderim proseslerinin sınıflandırılması

Arıtılmış atıksu kaynaklı mikrokirleticileri çok etkili bir şekilde giderebilen veya parçalayabilen çeşitli arıtma teknolojileri bulunmaktadır. Özellikle toz aktif karbon (PAC, powdered activated carbon) adsorpsiyonu, mikrokirleticileri gidermek için avantajlı bir teknoloji olarak tanımlanmıştır [69-71]. PAC'nin atık su deşarjının ekotoksisite ile ilgili çevresel etkisini azaltma potansiyelini doğruladı. Aktif karbon prosesinin incelendiği bir derleme çalışmasında granüler ve toz aktif karbonun avantaj ve dezavantajlarına bakıldığında GAC daha uzun temas sürelerine ihtiyaç duyması bir dezavantajken, rejenere edilmesinin daha kolay rejenere edilmesi de avantaj olarak verilmiştir [72].

Klasik biyolojik arıtma ile yüksek kirlilik yüküne sahip atıksularda uzun bekleme sürelerinde ya da çamur yaşında temel parametrelerde verimli bir giderim sağlamaktadır. Ancak mikrokirleticiler için MBR ile birlikte aktif çamur sisteminin kullanıldığı durumlarda nispeten daha iyi giderim verimleri elde edilebilmektedir. Birçok çalışmada, bazı mikrokirleticiler için MBR'nin klasik aktif çamur sisteminden %30 ila %60 oranlarında daha iyi sonuç verdiği bilinmektedir [73]. Ayrıca, mikrokirleticilerin giderimi ile ilgili bir derleme makalede; nitrifikasyon bakterilerinin uzun çamur yaşında bazı ilaç kalıntılarını gidermede etkili olduğu bulunmuştur. Yapay sulak alanlarda yapılan çalışmalarda ise aerobik ortamların anaerobik ortamlara göre daha iyi mikrokirletici giderimi sağladığı görülmüştür [73]. Farmasötikler (ilaç kalıntıları) için yapılan nanofiltrasyon çalışmalarında % 90 giderim verimi elde edildiği bildirilmiştir [73].

Özellikle farmasötik mikrokirleticilerin gideriminin inceleyen çoğu çalışma hastane atıksuları üzerinde yoğunlaşmıştır [29, 73-77]. Hastane atıksularından mikrokirleticilerin giderimi üzerine bir yıl boyunca işletilen pilot ölçekli MBR sisteminin performan değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma anoksik ve aerobik bölümden oluşan 7 m³ hacme sahip MBR tankında düz plaka tip ultrafiltrasyon membran modülü ile yürütülmüştür. Farmasötikler ve bunların metabolitleri %22 oranında giderilmiştir. Günlük olarak sisteme giren farmasötik mikrokirleticilerin %82'si biyolojik bozunmaya dayanıklı, x-ray görüntüleme kullanılan ajanlar (ICM, X-ray contrast media)'dan kaynaklanmaktadır ve bu ajanlar sadece %2 oranında giderilebilmiştir. ICM ve farmasötik kaynaklı mikrokirleticilerin dışındaki

mikrokirleticiler %90'lık bir giderim söz konusudur. Yapılan çalışmalar sonucunda giderimi hedeflenen mikrokirleticiler için MBR'nin yetersiz kaldığı, MBR ile ozonlama, ileri oksidasyon işlemleri, membran prosesleri ve aktif karbon adsorbsiyonu gibi ek proseslerle beklenen giderimlerin sağlanabileceği vurgulanmıştır.[77]

Mikrokirleticilerin gideriminde ileri arıtma yöntemi olarak MBR sıklıkla kullanılmaktadır. Membran bazlı proseslerin, farklı atıksulara uyarlanabilirlik, yüksek giderim oranları, sağlamlık ve zararlı ara maddelerin oluşmaması gibi birçok avantajı vardır [78]. Literatürde mikrokirleticilerin giderimi üzerine yapılan laboratuvar ve pilot ölçekli MBR çalışmaları Tablo 1.4'te verilmiştir.

Tablo 1.4. Mikrokirletici giderimini inceleyen MBR çalışmaları

Atıksu	Değerlendirilen Mikrokirleticiler	Proses	Ölçek	Giderim Verimi	Kaynaklar
Sentetik Evsel	Farmasötik olarak aktif bileşikler, böcek öldürücüleri, hormonları ve endüstriyel kimyasalları temsil eden 22 bileşik; 5 µg / L	MBR	Laboratuvar Ölçekli	80–99%	[7]
İkincil arıtma çıkış suyu	bisfenol A (750 µg / L), sülfametoksazol (750 µg / L)	MBR	Laboratuvar Ölçekli	%90, %50	[79]
İkincil arıtma çıkış suyu	40 organik bileşik	MBR	Laboratuvar Ölçekli	%20-85	[80]
Hastane	56 farmasötik madde, 10 metabolit ve iki korozyon inhibitörü(0.1 µg / L - 2.6 mg / L)	MBR	Pilot Ölçekli	%22	[77]
Evsel	6 antibiyotik, 3 ilaç (ibuprofen, salisilik asit ve diklofenak) ve Bisfenol A	MBR-RO	Pilot Ölçekli	>%90	[81]
Evsel	İlaç ve kişisel bakım ürünleri	MBR-NF	Laboratuvar Ölçekli	>%95	[6]
Birincil arıtma çıkış suyu	asetaminofen, ibuprofen, kafein, nikotin, karbamazepin, diklofenak, triklosan, bisfenol A	MBR-NF/RO	Pilot Ölçekli	>%76,9	[5]
Sentetik	Farmasötik ve kişisel bakım ürünleri, steroid hormonları, endüstriyel kimyasallar ve pestisitlerden oluşan 22 mikrokirletici	MBBR-MBR	Laboratuvar Ölçekli	%11-99,5	[82]
Sentetik	Farmasötik ve kişisel bakım ürünleri, endokrin bozucular ve pestisitlerden oluşan 38 mikrokirletici	AnMBR	Laboratuvar Ölçekli	%0,7-99	[83]

1.5 Organize Sanayi Bölgeleri

Türkiye’ de 1960 yılında başlayan planlı kalkınma döneminde sanayinin “lokomotif sektör” olduğu saptanmış ve ekonomik dengenin kurulması, ekonomik ve toplumsal kalkınmanın birlikte gerçekleştirilmesi, belli bir hızda büyüme ve sanayileşmeye önem verilmesi gibi uzun vadeli hedefler belirlenmiştir. Belirlenen hedefler doğrultusunda; ülkede sanayinin geliştirilmesi amacıyla uygulamaya konulan pek çok teşvik tedbirlerinden biri olan OSB uygulamalarına, ilk olarak 1961 yılında Bursa OSB’nin kurulmasıyla başlanmıştır. Bursa OSB, Dünya Bankası’ndan alınan kredi ile kurulmuştur. Bu tarihten itibaren herhangi bir mevzuata bağlı olarak yönetilmeyen OSB’ler için 1 Ocak 1982 tarih ve 17591 sayılı Resmi Gazete ’de “Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Fonlar Yönetmeliği” yayımlanarak yürürlüğe konulmuştur.

Sayısı gün geçtikçe artan OSB’lerin tüzel kişilikten yoksun olması nedeniyle pek çok hukuki problemlerin meydana gelmesi yeni bir yasal düzenlemeyi kaçınılmaz hale getirmiştir. Konuyla ilgili uzun süre araştırma ve çalışmaların ardından 4562 sayılı Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu, 15.04.2000 tarihinde Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Söz konusu Kanun gereğince hazırlanması gereken “Organize Sanayi Bölgeleri Yer Seçimi Yönetmeliği” 21.05.2001–24408 ve “Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği” 01.04.2002–24713 tarih ve sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

4562 sayılı Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu, OSB’leri “Sanayinin uygun görülen alanlarda yapılanmasını sağlamak, çarpık sanayileşme ve çevre sorunlarını önlemek, kentleşmeyi yönlendirmek, kaynakları rasyonel kullanmak, bilgi ve bilişim teknolojilerinden yararlanmak, sanayi türlerinin belirli bir plan dâhilinde yerleştirilmesi ve geliştirilmesi amacıyla; sınırları tasdik edilmiş arazi parçalarının imar planlarındaki oranlar dâhilinde gerekli idari, sosyal ve teknik altyapı alanları ile küçük imalat ve tamirat, ticaret, eğitim ve sağlık alanları, teknoloji geliştirme bölgeleri ile donatılıp planlı bir şekilde ve belirli sistemler dahilinde sanayi için tahsis edilmesiyle oluşturulan ve bu Kanun hükümlerine göre işletilen mal ve hizmet üretim bölgeleri” olarak tanımlamaktadır.

Türkiye’de OSB’lerin kuruluş amaçları;

- Sanayinin disipline edilmesi,
- Şehirlerin planlı olarak gelişmesine katkıda bulunulması,
- Birbirini tamamlayıcı ve birbirinin yan ürününü teşvik eden sanayicilerin bir arada ve bir program dâhilinde üretim yapmalarıyla, üretimde verimliliğin ve kar artışının sağlanması,
- Sanayinin az gelişmiş olan bölgelerde yaygınlaştırılması,
- Tarım alanlarının sanayide kullanılmasının engellenmesi,
- Sağlıklı, ucuz, güvenilir bir altyapı ve ortak sosyal tesisler kurulması,
- Ortak arıtma tesisleri ile çevre kirliliğinin önüne geçilmesi,
- Bölgelerin devlet gözetiminde, kendi organlarınca yönetiminin sağlanmasıdır.

Türkiye’ de, şu anda Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından sicil numarası verilerek tüzel kişilik kazanmış 302 OSB bulunmaktadır. Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği’ne göre beş ayrı statüde OSB bulunmaktadır. Bu OSB’ ler ve açıklamaları aşağıdaki gibidir.

Karma OSB: Farklı sektörlerle ait tesislerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur.

İhtisas OSB: Aynı sektördeki tesisler ve/veya bu sektörlerin alt sektörlerindeki tesislerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur.

Özel OSB: Özel hukuk tüzel kişilerin veya gerçek kişilerce kurulması talep edilerek oluşturulmuştur.

Tarıma Dayalı İhtisas OSB: Tarım sektöründe faaliyet göstermek amacı ile kurulan ve Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı’na bağlı olarak oluşturulmuştur.

İslah OSB: Uzun yıllar önce çeşitli sebeplerle bir arada oluşarak faaliyet gösteren sanayi tesislerinin bulunduğu alanın OSB’ye dönüştürülmesi amacıyla kurulmuştur.

1.6 Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (KOSB)

İç Anadolu bölgesinin önemli bir ticaret merkezi olan Kayseri’ de 1976 yılında kurulan bölge, yaklaşık 515 hektarlık alana sahip, karma bir OSB’dir. KOSB’nin konumu Şekil 1.9’da verilmiştir. Geniş alana sahip olan OSB, Türkiye’nin sayılı büyük bölgelerinden biridir.

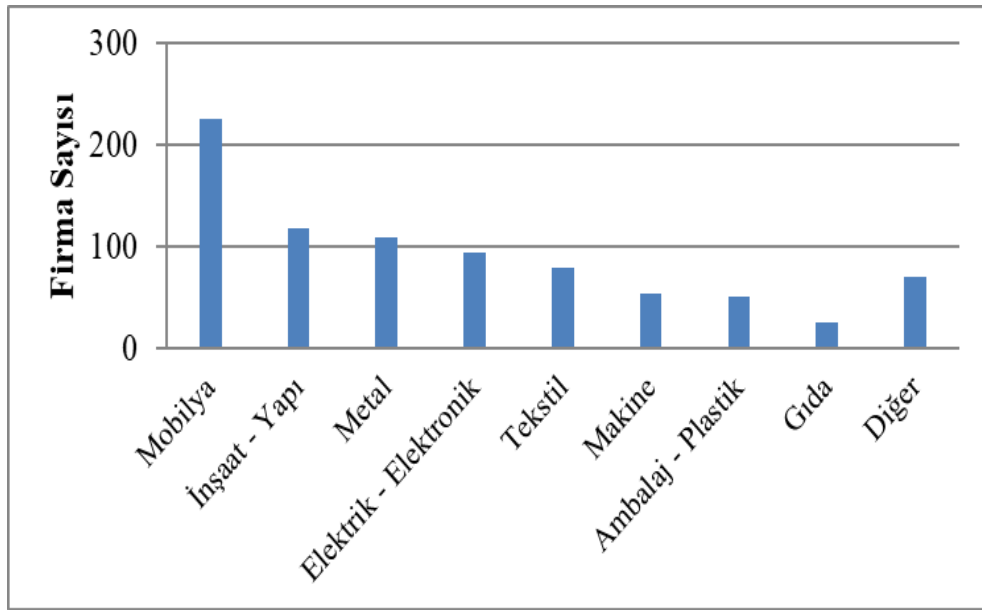


Şekil 1.9. Kayseri Organize Sanayi Bölgesinin konumu

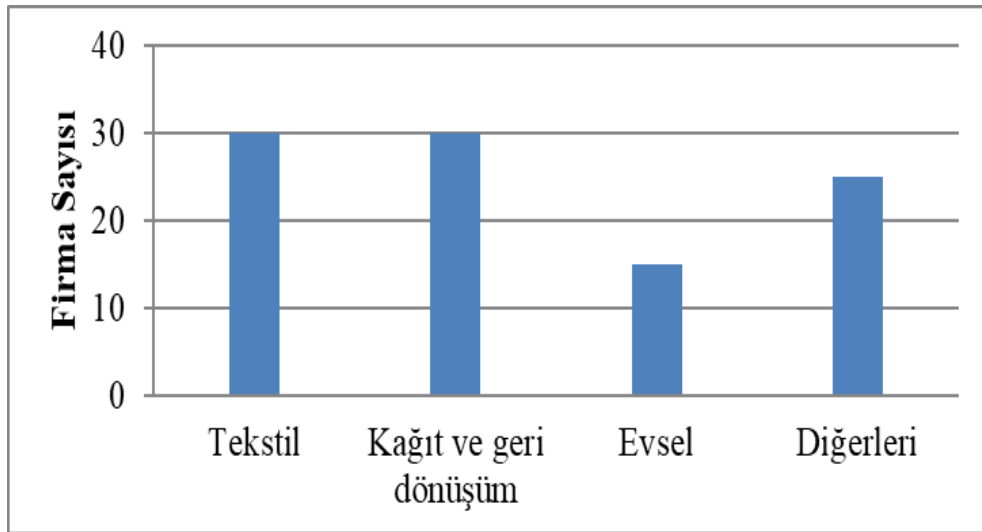
KOSB atıksularının yönetiminde Kayseri İli özelinde yönetimi incelendiğinde, Kayseri Organize Sanayi Bölgesi için atıksu yönetim sistemi oluşturulmuş olup atıksuların kanalizasyon şebekesine bağlanmalarına, vidanjör veya benzeri bir araç ile taşınarak kanalizasyon şebekelerine boşaltılmalarına ve kanalizasyon şebekesinin kullanım ve korunmasına ilişkin esas, yöntem ve kısıtlamaları belirlenmiştir. Bu sisteme göre; kirlilik derecesinin ve kirlilik önleme paylarının tespiti yapılarak, seyreltmenin ve soğutma sularının kanala deşarj edilmesinin yasaklandığı, yağmur sularının atıksulara karıştırılmasının engellendiği bir yönetim sistemi mevcuttur. Ayrıca, sektörel tesis bazında bağlantı kısıtlarının belirlenmesinin yanı sıra kanala deşarj limitleri de belirlenmiştir.

1.7 KOSB Atıksu Arıtma Tesisi

KOSB atıksu arıtma tesisi 52500 m² alan üzerine kurulmuş ve 2013 yılında faaliyete alınmıştır. OSB’de bulunan yaklaşık 1000 firmanın evsel ve endüstriyel atıksuları verimli bir şekilde arıtılarak deşarj edilmektedir. Bölgede mobilya, inşaat-yapı malzemeleri ve metal endüstrisine ait firma sayısı (Şekil 1.10) yüksek olmasına rağmen atıksu miktarlarına bakıldığında en çok atıksu tekstil ve kağıt geri dönüşüm firmalarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca bölgede oluşan atıksuyun %10 ile 20 arasındaki kısmı ise evsel atıksudur (Şekil 1.11).

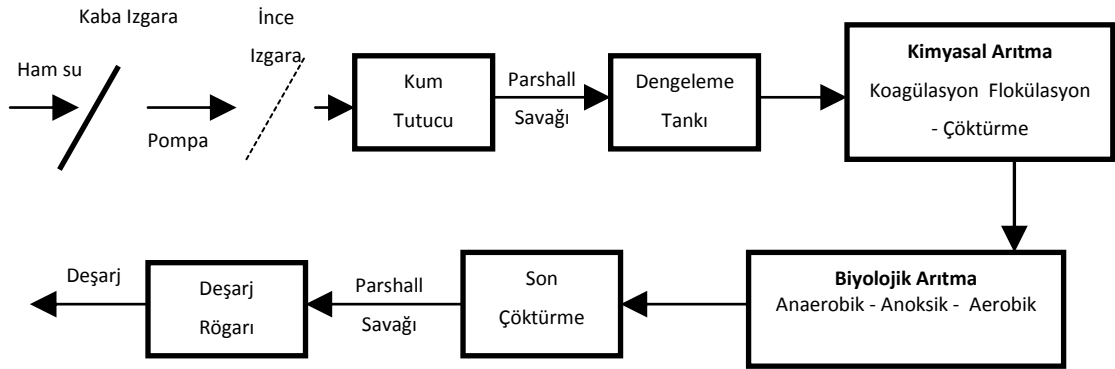


Şekil 1.10. KOSB'deki firmaların sektör dağılımı



Şekil 1.11. KOSB'de oluşan atıksuyun kaynağına göre dağılımı

KOSB arıtma tesisinde klasik fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma prosesleri uygulanmaktadır. Tesis akım şeması Şekil 1.12'de verilmiştir. Tesiste, çamur susuzlaştırma ünitelerinde ve tesis yeşil alanlarında toplamda ortalama günlük 1000 m³ suya ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 1.12. KOSB atıksu arıtma tesisi akım şeması



Şekil 1.13. KOSB atıksu arıtma tesisinin kuş bakışı görüntüsü

2. BÖLÜM

GEREÇ ve YÖNTEM

Bu bölümde yapılan çalışmada kullanılan malzemeler, teknik ekipmanlar, analiz yöntemleri ve pilot ölçekli sistemin bileşenleri ile sistem çalışma prensipleri detaylı olarak açıklanmıştır.

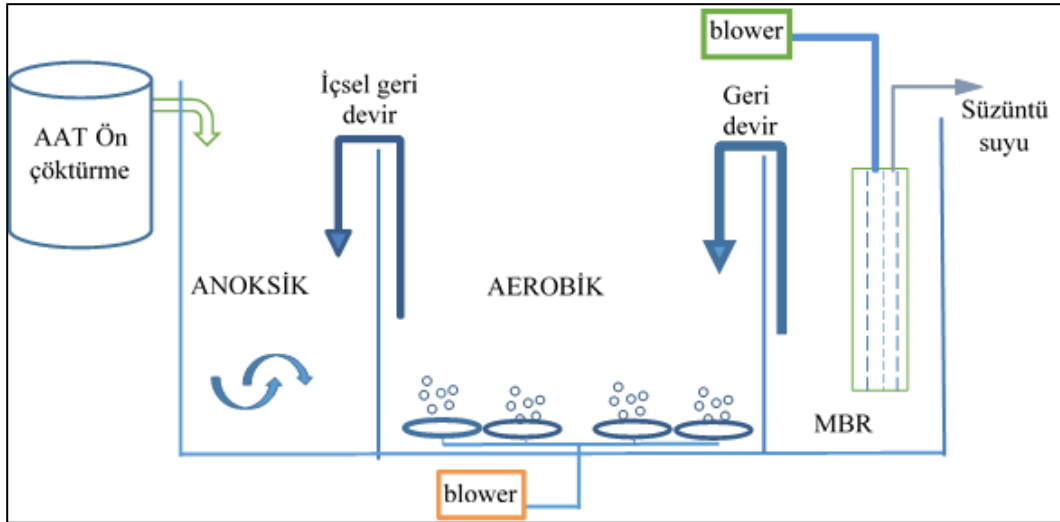
Pilot ölçekli membran biyoreaktör ve ters ozmoz sistemi KOSB atıksu arıtma tesisinde kapalı bir alanda kurulmuştur (Şekil 2.1). Sistem giriş ve çıkış sularından takip edilen temel parametrelerin (KOİ, pH, iletkenlik vb.) analizleri arıtma tesisi laboratuvarında yürütülmüştür.



Şekil 2.1. Pilot ölçekli MBR ve RO sistemi görüntüsü

2.1. Membran Biyoreaktör

Toplam hacmi 10 m³, etkin hacmi 7 m³ olan reaktör anoksik, aerobik ve MBR olmak üzere üç ayrı kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Membran biyoreaktörün şematik gösterimi

Anoksik bölümde, mekanik karıştırıcı vasıtasıyla sürekli karıştırılarak çökelmenin önüne geçilmiştir. Aerobik bölüm alt kısmından 4 adet difüzör vasıtasıyla havalandırılmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Aerobik tank fotoğrafı

MBR kısmında havalandırma membran modülü üzerindeki kekleşmeyi engellemek üzere filtrasyon ve diğer işlem adımlarında esnasında çalışmaktadır. MBR ve aerobik

kısımlardaki havalandırma aynı zamanda çökelmeyi engellemiş, MLLS'in homojen dağılmasını sağlamıştır. MBR'de kullanılan membran modülü 28 m² etkin yüzey alanına sahip HF membrandan üretilmiştir. Kullanılan membranın özellikleri Tablo 2.1, kullanılan membran modülünün görüntüsü Şekil 2.4 ve membran modülün MBR tankına yerleştirilmiş halinin görüntüsü ise Şekil 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.1 MBR membranı özellikleri

Model	GEN MBR 50
Membran Malzemesi	PVDF
Ortalama Gözenek Çapı	0,05 µm
Fiber Boyutu	Dış Çap: 2.1 mm
Akış Yönü	Dıştan içe
Modül Boyutları	490 mm x 430 mm x 1.200 mm
Modül Alanı	50 m ²



Şekil 2.4. MBR'de kullanılan membran modülü



Şekil 2.5. Membran modülünün MBR tankındaki görüntüsü

Membran akısının hesaplanması için gelen çıkış tankındaki su miktarı belirli bir zaman aralığında ölçülerek belirlenmiştir. Akı hesabı aşağıdaki formüle göre yapılmıştır.

$$J = \frac{V}{A \cdot t}$$

J: Akı (L/m².sa)

A: Membranın efektif alanı (m²)

T: Zaman aralığı (sa)

V: Süzüntü hacmi (L)

Sistem devreye alındıktan 3 ay sonra çamur kararlı hale gelmiştir. Temel işletme parametreleri

Tablo 2.2’te verilmiştir.

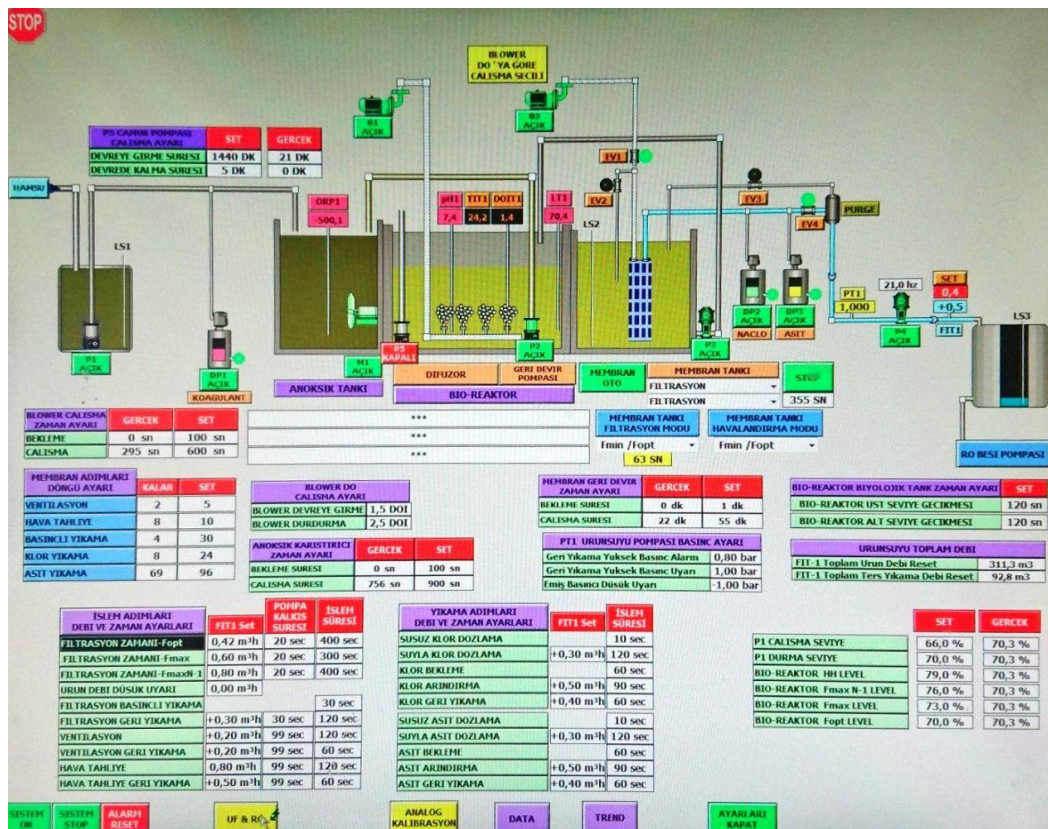
Tablo 2.2. Temel işletme parametreleri

Parametre	SRT	HRT	Sıcaklık	Debi
Birim	Gün	Saat	°C	m ³ /sa
Değer	40	24	23,3 ± 4,6	0,42

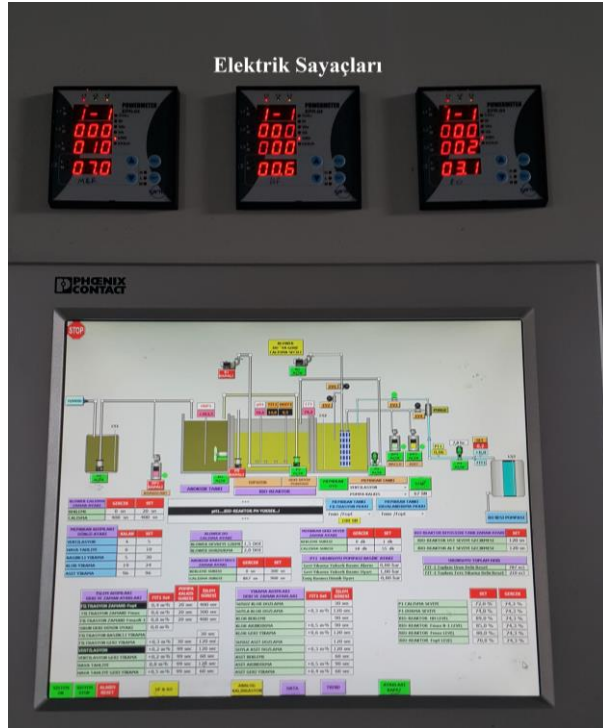
Tablo 2.3. Reaktörler için kontrol ekranında okunabilen parametreler

Reaktör	Parametre
Anoksik	ORP
	pH
Aerobik	Sıcaklık
	Çözünmüş oksijen
	Reaktör seviyesi
MBR	Filtrasyon ve geri yıkama debileri
	Filtrasyon basıncı

Şekil 2.6' da MBR sisteminin kontrol ekranı verilmiştir. Bu ekranda okunabilen işletme parametreleri Tablo 2.3'te verilmiştir. Sistem, programlanabilir mantık kontrolü (PLC, programmable logic control) ile yönetilmiştir. Aynı zamanda sistemin maliyet hesaplamalarında kullanılmak üzere elektrik tüketiminin takibinin sağlanması için kontrol paneli üzerine elektrik sayaçları eklenmiştir.



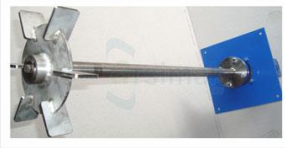
Şekil 2.6. PLC ekran görüntüsü (Biyolojik Reaktör)



Şekil 2.7. Kontrol paneli ve elektrik sayaçlarının görüntüsü

Tablo 2.4. MBR’de kullanılan ekipman ve özellikleri

Ekipman	Kullanım Amacı	Fotoğrafı
Blower	Havalandırma	
Blower Filtresi	Blower’da yaşanması muhtemel, tozdan kaynaklı arızaları önlemek	
Difüzör	Havalandırma ekipmanı	

Ekipman	Kullanım Amacı	Fotoğrafı
pH metre	Reaktör pH'ının sürekli takip edilmesi	
Basınç transmitteri	Filtrasyon basıncının ölçülmesi	
Manometre	Filtrasyon basıncının kontrol edilmesi	
Debimetre	Filtrasyon ve diğer işlemlerin debilerinin ölçülmesi	
Peristaltik pompa	Kimyasal dozajı	
Düşük basınçlı pompa	Geri devir	
Karıştırıcı	Anoksik bölümün karıştırılması	

Ekipman	Kullanım Amacı	Fotoğrafi
Filtrasyon Pompası	Fitrasyon, geri yıkama ve kimyasal yıkama işlemlerinin gerçekleştirilmesi	
Dalgıç Pompa	MBR beslemesi, çamur atılması, içsel geri devirin gerçekleştirilmesi	

2.2. MBR İşlem Adımları

MBR' nin işletiminde takip edilen işlem adımları ve sürelerine Tablo 2.5' te yer verilmiştir. Bu adımların açıklamaları şöyledir;

- Filtrasyon: MBR filtrasyon debisi reaktör seviyesinin yüksekliğine göre 0,42 ile 0,80 m³/sa arasında değişiklik göstermiştir. Filtrasyon esnasında MBR'deki blower da devreye girmiştir.
- Geri Yıkama: Her filtrasyon işleminden sonra geri yıkama adımı devreye girmiştir. Geri yıkama MBR ürün suyu ile yapılmıştır.
- Ventilasyon: Filtrasyon hattında biriken hava sistemde filtrasyon verimini düşürebilir. Bu verim düşüklüğünün önüne geçilmek ve hava tasfiye kısmında biriken havayı tahliye etmek için geri yıkama yönünde bu işlem gerçekleştirilmiştir.
- Hava Tahliye: Ventilasyon adımıdan daha yüksek debi ile hava tasfiyede biriken havanın tahliyesi için uygulanmıştır. Bu işlemin membran modülüne zarar vermemesi için modüle giden hattaki vana kapanarak ve hava tasfiye kısmındaki vana açılarak havanın tahliyesi gerçekleştirilmiştir.

- Klor yıkama/Klor arındırma: Peristaltik pompa ile 30 saniye susuz klor dozajından sonra ürün suyu ile geri yıkama yapılmıştır. Ardından membranın klordan arındırılması için geri yıkama yapılmıştır.
- Asit Yıkama/Asit arındırma: Peristaltik pompa ile 2 dakika susuz klor dozajından sonra ürün suyu ile geri yıkama yapılmıştır. Ardından membranın asitten arındırılması için geri yıkama yapılmıştır.

Tablo 2.5. MBR işlem adımları, süreleri ve döngüleri

İşlem Adımı		İşlem Debisi	İşlem Süresi	Döngü Sayısı
Filtrasyon	F_{opt}	0,42	400	-
	F_{max}	0,60		
	F_{maxN-1}	0,80		
Geri yıkama		0,3	120	-
Ventilasyon		0,2	120	5
Hava tahliye		0,8	120	10

Tablo 2.6. Membran Kimyasal Yıkama Adımları ve Yıkama Sıklığı

İşlem	Döngü sayısı	İşlem adımı	İşlem debisi (m^3/sa)	İşlem süresi (sn)
Klor ile yıkama	24	Susuz klor dozlama	-	30
		Suyla klor dozlama	0,3	120
		Klor bekleme	-	90
		Klor arındırma	0,5	90
		Klor geri yıkama	0,6	120
Asit ile yıkama	96	Susuz asit dozlama	-	120
		Suyla asit dozlama	0,3	120
		Asit bekleme		60
		Asit arındırma	0,5	90
		Asit geri yıkama	0,4	90

2.3. Kimyasal Yıkama Prosedürü

Sistemde otomatik olarak yapılan kimyasal yıkamanın yeterli gelmediği akı düşüşleri ve basınç yükselmeleri yaşanmıştır. Bu durumlarda uygulanmak üzere bir kimyasal yıkama prosedürü oluşturulmuştur. Bu prosedürler sistemin otomatik olarak yaptığı kimyasal yıkama adımlarında girilen debi ve sürelerin değerleri değiştirilerek yapılmıştır. Prosedürün adımları, işlem debileri ve süreleri Tablo 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.7. Kimyasal yıkama prosedürü

İşlem	İşlem adımı	İşlem debisi (m ³ /sa)	İşlem süresi (dakika)
Klor ile yıkama	Susuz klor dozlama	-	5
	Suyla klor dozlama	0,6	10
	Klor bekleme	-	30
	Klor arındırma	0,5	10
	Klor geri yıkama	0,3	5
Asit ile yıkama	Susuz asit dozlama	-	5
	Suyla asit dozlama	0,6	10
	Asit bekleme	-	30
	Asit arındırma	0,5	10
	Asit geri yıkama	0,3	5

Kimyasal yıkama prosedürü uygulanırken klor yıkaması yapıldıktan sonra sistem çalıştırılarak filtrasyon esnasında basınç değişimi gözlemlenmiştir. Eğer klorla yıkamadan sonra basınç ve akı istenilen değerlere gelmişse asit yıkama adımı yapılmamıştır.

2.4. Ters Ozmoz Sistemi

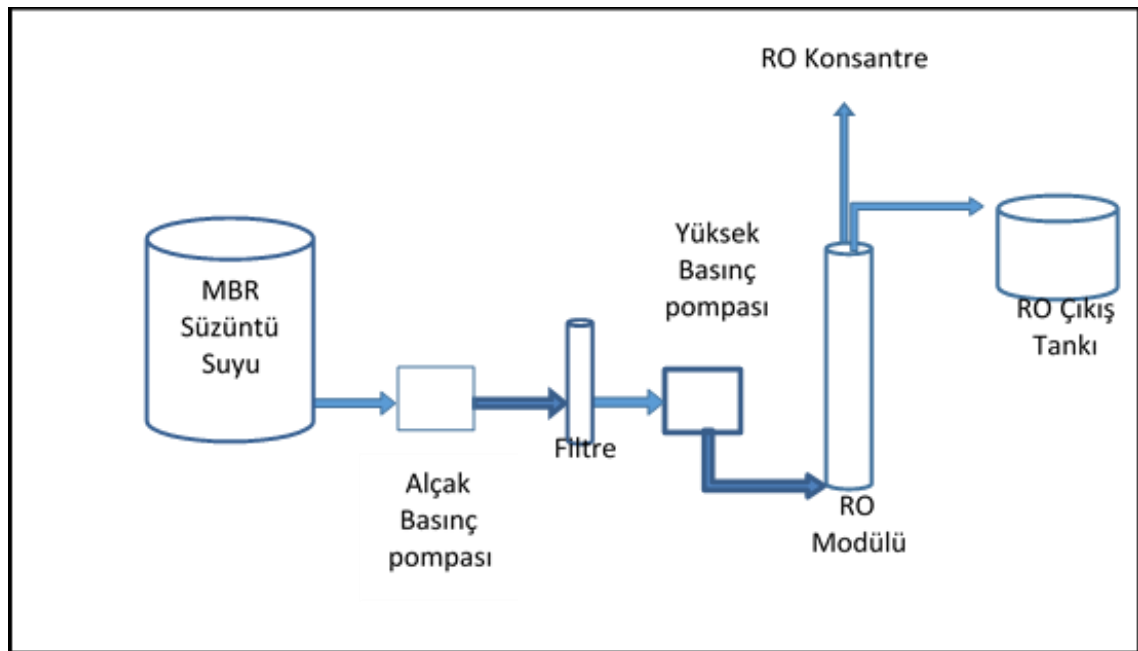
MBR sonrası basınçlı filtrasyon sistemi ile atıksuyun geri kazanımında kullanılan RO membran modülüne beslenmiştir. MBR ürün suyu RO membran modülüne gelmeden önce alçak basınç pompasıyla 5 mikron gözenek çapındaki spun filtreden geçirilmiş ardından yüksek basınç pompasıyla basınçlandırılan RO membranına beslenmiştir (Şekil 2.8). MBR ürün suyunda bulunan anyonların membran yüzeyinde

tutulmasının önlenmesi amacıyla filtrasyon süresi boyunca antiscalant (%10'luk çözelti) dozajı yapılmıştır.

Sistem sürekli olarak çalıştırılmıştır. RO membran modülü ve modülde kullanılan membranın özellikleri Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8. RO membran özellikleri

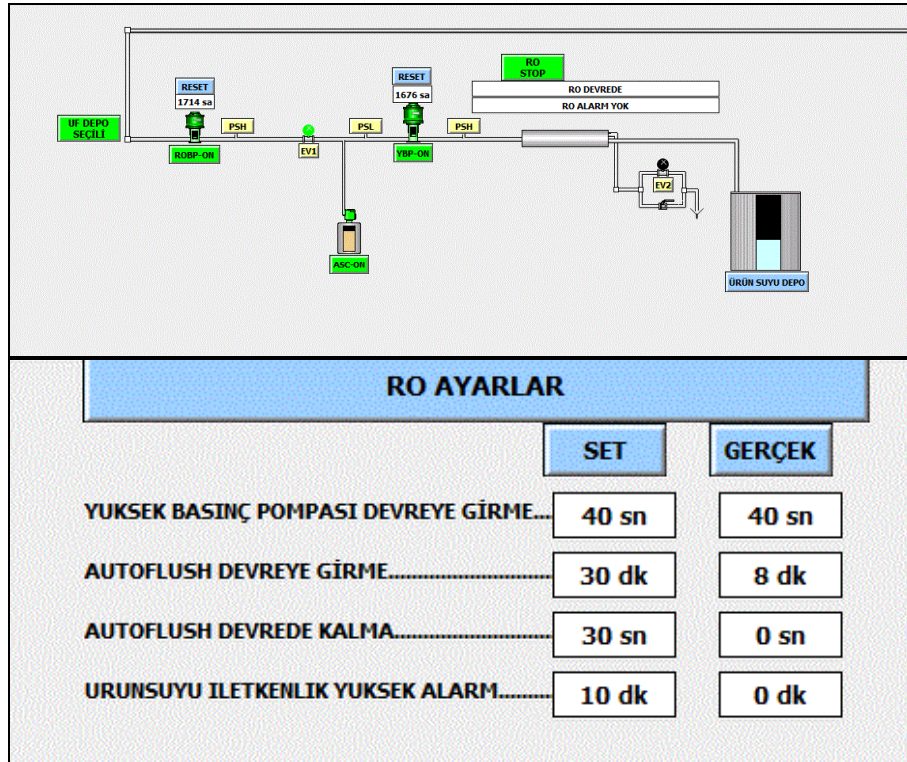
Membran tipi	Konfigürasyonu	Membran polimeri	Kaplama malzemesi
	Spiral sarım	Kompozit polimer	Polipropilen
Özellikleri	Tuz giderim verimi	Süzüntü debisi	Membran alanı
	%99,2	9,8 m ³ /gün	7,9 m ²
İşletme Limitleri (Maksimum değerler)	Basınç	Sıcaklık	Besleme debisi
	20,7 bar	45°C	3,6 m ³ /sa



Şekil 2.8. RO şematik gösterimi

RO sisteminde iletkenlik, basınçlar ve konsantre/ürün debisi günlük olarak izlenmiştir. Sistem kontrollerinin yapıldığı panel sistem parametrelerinin değiştirilebildiği PLC ayarları ile sistem ekran görüntüsü Şekil 2.9'da verilmiştir.

Sistemde alçak ve yüksek basınç şalterleri ile olası problemlerde sistemin alarm verip durmasını sağlamıştır.



Şekil 2.9. RO sisteminin PLC kontrol ekran görüntüleri

Sistem 30 dakika filtrasyon yaptıktan sonra 0,5 dakika MBR çıkış suyuyla yüksek basınçla yıkama yapılmıştır. Yıkama esnasında sisteme giren bütün su konsantre akımıyla giderek membran yüzeyinde tutunan organik ve inorganik kirliliğe neden olan maddeler sıyrılarak uzaklaştırılmıştır.

Sistemdeki iletkenlik ölçer ile sürekli olarak ölçülen iletkenlik için kritik iletkenlik değeri belirlenmiş ve bu değerin üzerinde 1 dakika kalması durumunda alarm durumuna geçmesi ve sistemi durdurması için ayarlanmıştır.

Membran öncesi ön arıtma amaçlı kullanılan kartuş filtrenin giriş ve çıkış basınçları okunarak takip edilmiştir. Filtre giriş ve çıkış basınçları arasındaki fark 0,8 bar üzerine çıktığında değişimi yapılmasına karar verilmiştir. Ancak RO işletimi süresi boyunca değişim ihtiyacı olmamıştır.



Şekil 2.10. Ters Ozmoz Sistemi

RO sisteminde geri kazanım oranları ve akı günlük olarak aşağıda yer alan formüle göre hesaplanarak kaydedilmiştir.

$$J = \frac{V}{A \cdot t}$$

J: Akı ($L/m^2 \cdot sa$)

A: Membranın efektif alanı (m^2)

T: Zaman aralığı (sa)

V: Süzüntü hacmi (L)

$$\% = \frac{Q(\text{çıkış})}{Q(\text{konsantre}) + Q(\text{çıkış})} \times 100$$

%: geri kazanım oranı

$Q_{\text{çıkış}}$: RO ürün suyu debisi

$Q_{\text{konsantre}}$: RO konsantre atık suyu debisi

2.5. Analiz Yöntemleri

Bu çalışmada günlük olarak MBR için pH, MLSS, KOİ, renk, iletkenlik ve bulanıklık analizleri yapılmıştır. RO için yine günlük olarak pH, iletkenlik ve bulanıklık analizleri yapılmıştır. Ayrıca MBR giriş, MBR çıkış ve RO çıkış numunelerinden metal ve mikrokirletici analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizlerin yöntemleri ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

KOİ: Standart Metot 5520-D (kolorimetrik metod) kullanılarak tayin edilmiştir. Numune, H_2SO_4 - Ag_2SO_4 çözeltisi ve standardize edilmiş $K_2Cr_2O_7$ - $HgSO_4$ çözeltisi ile $150^\circ C$ ' de 2 saat kaynatılmıştır. İlk olarak konsantrasyonları bilinen potasyum hidrojen fitalat ile hazırlanan çözeltiler ile spektrofotometrede, 600 nm dalga boyunda absorbanslar okunarak kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Hazırlanan eğri ile analizlerde kullanılan KOİ' si bilinmeyen numunelerin KOİ değerleri tespit edilmiştir.

MLSS: Standart Metot 2540-D'ye göre tayin edilmiştir. İyice karıştırılarak homojen hale getirilen numune sabit tartıma getirilmiş, ardından $0,45\ \mu m$ gözenek çapındaki sahip cam elyaf filtre kâğıdı ile süzölmüştür. Üzerinde kalıntı olan filtre kâğıdı 1 saat boyunca $103-105\ ^\circ C$ 'de etüvde kurutulmuştur. Desikatörde oda sıcaklığına gelmesi beklenerek tartılmış ve filtre ağırlığı ile aradaki ağırlık farkından MLSS konsantrasyonu belirlenmiştir.

Renk: HACH-DR 3800 marka spektrofotometrede Pt-Co metoduyla ölçölmüştür. Kalibrasyonu yapılmış spektrofotometreye şahit çözelti konmuş ve cihaz sıfırlanmıştır daha sonra şahit numune çıkarılarak yerine numune koyulup ölçölmüştür. Okunan değer cihazın limit değerleri aşıyorsa seyreltmeler yapılarak ölçüm tekrarlanmıştır.

pH: Elektrometrik metoda (Standard Metot 4500-H+) göre HACH HQ 40d marka pH metre ile günlük olarak ölçölmüştür. pH metre probu, ayda bir kez olarak pH' ı bilinen (4, 7 ve 9 olan) tampon çözeltilerle kalibre edilmiştir.

İletkenlik: HACH HQ 40d marka iletkenlik probu ile standart metot 2510-B'ye göre ölçülmüştür.

Metal Analizleri: Kobalt (Co), Bakır (Cu), Bor (B), Çinko (Zn), Mangan (Mn), Alüminyum (Al), Gümüş (Ag), Krom (Cr+3), Nikel (Ni), Magnezium (Mg), Demir (Fe), Sodyum (Na), Kadmiyum (Cd), Kalsiyum (Ca) analizleri için ICP-MS cihazı kullanılmıştır. Teknik elektromanyetik indüksiyonla 10,000 °K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından numunenin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir detektör tarafından ölçülmesi aşamalarını içerir.

Mikrokirleticiler: Mikrokirleticilerden hem farmasötikler, kişisel bakım ürünleri, endokrin bozucular ve endüstriyel kirleticiler için hem de su çerçeve direktifi (SÇD) kapsamında öncelikli kirleticiler olarak belirlenen kirleticilerin analizleri ayrı laboratuvarlarda yapılmıştır. Çalışma süresi boyunca iki kez mikrokirletici analizi yapılmıştır.

PAH'lar ve PCB'lerin analizleri EPA 8270D metoduna göre Thermo TSQ8000 evo Triple Quadrupole isimli cihazda tayin edilmiştir (Tablo 2.9)

Su çerçeve direktifi (SÇD) kapsamındaki kirleticilerin (Tablo 2.10) analizleri de LC-MSMS, GC-MSMS ve purge & trap sistemi bağlanmış Agilent GC-MS cihazı ile yapılmış olup detayları aşağıda verilmiştir.

PAH ve PCB'lerden analizi yapılan kirleticiler Tablo 2.9' da verilmiştir. Ayrıca, su çerçeve direktifi kapsamında öncelikli kirleticiler olarak belirlenen kirleticilerin de analizleri ek olarak yapılmış olup Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.9. Ölçümü yapılan mikrokirleticiler

PAH'lar	PCB'ler	Diğer
metilnaphthalene	PCB28	triclosan
etilnaphthalene	PCB52	
acenaphthylene	PCB101	
acenaphthene	PCB118	
fluorene	PCB153	
phenanthrene	PCB138	
2metilphenanthrene	PCB180	
1metilphenanthrene		
36dimetilphenanthrene		
fluoranthene		
pyrene		
1metilpyrene		
chresene		
benzoAantrecene		
benzoEpyrene		
dibenzoAHantrecene		

PAH, PCB ve Fitalat analizleri; teflon kapaklı amber şişelerde soğuk zincirde kargolanmış numune 5 derecede muhafaza edilir. Bunun içerisinde 1 litre numune mezürle ölçülür ve ayırma hunisine (polytetrafluoroethylene kapaklı) konulur. Sonra pH sülfirik asitle 1.9'a getirilir. Sonra içerisinde surrogate denilen standartlar ilave edilir. Sonra 1 litreyi aktardığımız numune 60 mL Dichloromethan ile çalkalanır ve bu ayırma hunisinde aldığımız numunenin üzerine boşaltılır. 2 dakika boyunca üzerinde oluşan basınç boşaltılarak çalkalanır. 15 dakika bekletilip faz ayrımı sağlanır. Dichloromethan fazı ayrılır ve başka bir kaba ayrılır. Ayırma hunisinde kalan numunenin üzerine yukarıda yazılan 60mL'lik Dichloromethan ilavesi ve ayırma işlemi iki defa daha tekrar edilerek Dichloromethan fazları birleştirilir. Sonrasında uçurma işlemi 30 mL'ye kadar yapılarak GC-MS-MS'e verilerek okunur.

Cihaz hassasiyetleri şu şekildedir:

PCB'ler için 1 ppt ve altındaki değerler,

PAH'lar için 5 ppt ve altındaki değerler ve altındaki değerler güvenilmeyen sonuçlardır.

Tablo 2.10. SÇD kapsamında analizi yapılan mikrokirleticiler

Tür	Sıra	Öncelikli maddeler	Ölçüm Cihazı
Alev önleyici	1	1.3.5.7.9.11- HBCDD	LC-MSMS
Alev önleyici	2	1.2.5.6.9.10-HBCDD	LC-MSMS
Alev önleyici	3	cx-HBCDD	LC-MSMS
Alev önleyici	4	P-HBCDD	LC-MSMS
Alev önleyici	5	y-HBCDD	LC-MSMS
Dioksinler/Furanlar	6	Dioxins/Furans	GC-MSMS
Dioksinler/Furanlar	7	Dioxins compounds	GC-MSMS
Fitalat	8	Di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)	GC-MSMS
Klorlu organikler	9	1.2-dichloroethane	P&T GC-MS
Klorlu organikler	10	Dichloromethane	P&T GC-MS
Klorlu organikler	11	Hexachlorobenzene	GC-MSMS
Klorlu organikler	12	Hexachlorobutadiene	P&T GC-MS
Klorlu organikler	13	Hexachlorocyclohexane	GC-MSMS
Klorlu organikler	14	Pentachlorophenol	LC-MSMS
Klorlu organikler	15	1.2.3-trichlorobenzene	P&T GC-MS
Klorlu organikler	16	1.2.4-trichlorobenzene	P&T GC-MS
Klorlu organikler	17	1.3.5-trichlorobenzene	P&T GC-MS
PAH	18	Anthracene	GC-MSMS
PAH	19	Benzene	P&T GC-MS
PAH	20	Fluoranthene	GC-MSMS
PAH	21	Naphthalene	P&T GC-MS
PAH	22	Pentachlorobenzene	GC-MSMS
PAH	23	Benzo(a)pyrene	GC-MSMS
PAH	24	Benzo(b)fluoranthene(3.4)	GC-MSMS
PAH	25	Benzo(k)fluoranthene	GC-MSMS
PAH	26	Benzo(g,h,i)perylene (1.12)	GC-MSMS
PAH	27	Indeno(1.2.3-cd)pyrene	GC-MSMS
PBDE	28	Brominated diphenylethers	GC-MSMS
PFOS	29	Perfluorooctane sulfonate	LC-MSMS
Solvent	30	Tetrachloroethylene	P&T GC-MS
Solvent	31	Trichloroethylene	P&T GC-MS
Solvent	32	Trichloromethane (chloroform)	P&T GC-MS
Tarım ilacı	33	Alachlor	LC-MSMS
Tarım ilacı	34	Atrazine	LC-MSMS
Tarım ilacı	35	Chlorfenvinphos	LC-MSMS
Tarım ilacı	36	Chlorpyrifos-ethyl	LC-MSMS

Tarım ilacı	37	Aldrin	GC-MSMS
Tarım ilacı	38	Dieldrin	GC-MSMS
Tarım ilacı	39	Endrin	GC-MSMS
Tarım ilacı	40	Isodrin	GC-MSMS
Tarım ilacı	41	p,p'-DDT	GC-MSMS
Tarım ilacı	42	p,p'-DDE	GC-MSMS
Tarım ilacı	43	o,p'-DDT	GC-MSMS
Tarım ilacı	44	p,p'-DDD	GC-MSMS
Tarım ilacı	45	Diuron	LC-MSMS
Tarım ilacı	46	Endosulfan	GC-MSMS
Tarım ilacı	47	Isoproturon	LC-MSMS
Tarım ilacı	48	Simazine	LC-MSMS
Tarım ilacı	49	Tributyltin (Tributyltin-cation)	GC-MSMS
Tarım ilacı	50	Trifluralin	GC-MSMS
Tarım ilacı	51	Dicofol	GC-MSMS
Tarım ilacı	52	Quinoxifen	LC-MSMS
Tarım ilacı	53	Aclonifen	LC-MSMS
Tarım ilacı	54	Bifenox	LC-MSMS
Tarım ilacı	55	Cybutryne	LC-MSMS
Tarım ilacı	56	alpha-cypermethrin	GC-MSMS
Tarım ilacı	57	beta-cypermethrin	GC-MSMS
Tarım ilacı	58	theta-cypermethrin	GC-MSMS
Tarım ilacı	59	zeta-cypermethrin	GC-MSMS
Tarım ilacı	60	Dichlorvos	GC-MSMS
Tarım ilacı	61	Heptachlor	GC-MSMS
Tarım ilacı	62	Heptachlor epoxide	GC-MSMS
Tarım ilacı	63	Terbutryn	LC-MSMS
VOC	64	Chloroalkanes. C10-13	GC-MSMS
Yangın söndürücü	65	Carbontetrachloride	P&T GC-MS
Yüzey aktif madde	66	Nonylphenol (Toplam)	GC-MSMS
Yüzey aktif madde	67	Octylphenol (Toplam)	GC-MSMS

LC-MS/MS ile analizler 0,22 mikron filtreden süzülen numuneden 0,975 ml su örneği vialerine alınarak, içerisinde son hacimde 0,1 ppb olacak şekilde 4 ppb'den 0,025 mL internal standard (Metalochlor D6) eklenerek yapılır. LC-MS/MS cihazı ile analiz edilerek sonuçlar bulunur. Parametrelerin analizi için iki farklı enjeksiyon yapılmıştır.

PURGE&TRAP GC-MS kapsamında yapılan analizler için tüm numuneler 0,45 µm filtreden süzildükten sonra, OI Analytical 4660 Purge&trap Sistemi bağlanmış Agilent GC-MS cihazı ile analiz edilir. 0,45 µm PTFE syringe filtreden geçirilmiş 50 ml su numunesi purge&trap numune kabına alınır, içerisine son hacimde 10 ppb olacak şekilde internal standart (p-bromoflorobenzen) eklenir, analiz yapılmak üzere purge&trap cihazına yerleştirilir. GC-MS cihazı ile analiz edilerek sonuçlar bulunur. Bu işlemlerin sırası şu şekildedir:

- Purge & trap numune kabı içindeki 50 ml su örneği eklenir,
- Üzerine p-bromoflorobenzen internal standardı eklenir,
- Purge & trap şişesine ağzına kadar dolu olacak şekilde aktarılır,
- Purge&trap cihazında uygun su metodu seçilir ve GC-MS'te ise metot seçilir ve hazır halde bekletilir,
- Cihaz kendi şırıngasıyla 25 ml örneği purge ünitesine aktarır,
- 11 dak purge işleminden sonra trap üzerinde tutulan organikler GC-MS'e gönderilir,
- GC-MS cihazında analiz edilir.

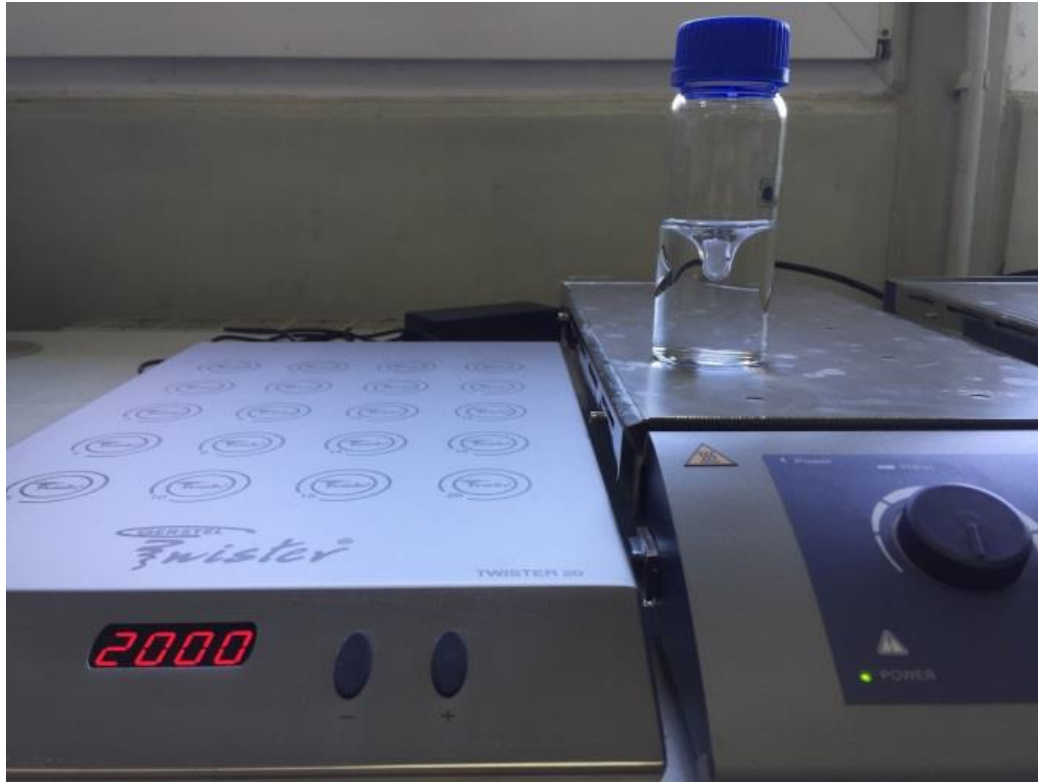
Dioxinler ve dioxin benzeri bileşikler için Thermo GC-MSMS cihazı kullanılmıştır. Analizi yapılan Dioxins and dioxin-benzeri bileşikleri EPA 1613 metoduna göre gerçekleştirilmektedir. Ön işlem metodu EPA 3510C/EPA3630C'ye göre gerçekleştirilmiş olup; 2000 ml numunesi alınır, DF, DLPCB numune alma, ve DF, DLPCB ekstraksiyon standartları eklenir. 100 ml DCM ile sıvı sıvı ekstraksiyon yapılır. 50 ml DCM ile sıvı sıvı ekstraksiyon yapılır. 50 ml DCM ile sıvı sıvı ekstraksiyon yapılır. Toplanan ekstrat 0,5 ml ye kadar uçurulur. 10 ml hekzan eklenilir. Vakumlu Setten geçirilir. Vakumlu sette üstte dioxin multi layer kolon altta ise florosil kolon bulunmaktadır. Vakumlu setin altına dL PCB'leri toplamak için temiz tüp yerleştirilir. 100 ml hexane ile kolondan geçirilir. (Amaç bütün dioksinleri hekzanla yıkayıp florosilde tutunmasını sağlamaktır.) Kap değiştirilir. Silika yerine temiz kolon konulur. 50 ml DCM eklenilir. 0.5 ml kalana kadar uçurulur. 10 ml DCM eklenilir ve bu işlem 3 kere tekrarlanır. Amaç çeperlerde tutunan dioksinleri almaktır. Şırınga standardı eklenilip vortex de karıştırılır ve vial-insert e alınıp GC-

MSMS cihazına verilir. dLPCB lerde aynı şekilde buharlaştırılarak şırınga standardı eklenir vortekste karıştırılır ve “vial- insert”’e alınıp GC – MSMS cihazına verilir.

Twister GC-MS/MS cihazı ile yapılan analizler 3 ayrı grupta gerçekleştirilmiştir. Twister GC-MS/MS’te analiz edilmiş olan SÇD’deki kirleticilerin analizinde her bir numune için 3 ayrı enjeksiyon gerçekleştirilmiştir.

- 1. Grup organotin bileşikler
- 2. Grup C10-13 Chloroalkanlar
- 3. Grup C10-13 ve organotin bileşikler dışında kalan kirleticiler (Twister’da analiz edilenler).

Twister ile analiz edilecek numuneler dibi düz cam şişe içerisinde 95 mL atıksu numunesi üzerine 5 mL metanol ilave konur. Twister (Su içerisindeki mikrokirleticileri Stir Bar Sorptive Extraction SBSE tekniği ile üzerinde toplamaya yarayan Polydimethylsiloxane (PDMS) yapısındaki manyet); hazırlanan karışımın içerisine atılıp manyetik karıştırıcıda 800 rpm’de 2 saat döndürülür.Şekil 2.11’de Twister ile analiz edilmekte olan bir numune fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 2.11. Twister ile analiz edilen bir numune

Twister ile analiz edilecek numunelerinin hazırlanmasında organotin grubu bileşikler farklılık göstermektedir. 100 mL numune ve 5 mL methanol üzerine 100 µL Borat ve 5 mL pH 4 tampon ilave edilir. Döndürme işleminden sonra twister boş desorpsiyon Liner'ın içine alınıp Gerstel thermal desorption unit (TDU)'in bağlı olduğu GC-MS/MS ile analiz edilmek üzere Tray'e yerleştirilir. Twister termal desorpsiyon ünitesi kısmında 280 °C sıcaklığa kadar ısıtılır. Böylece üzerine topladığı kirleticilerin desorpsiyonu sağlanıp bir alt kademede daha düşük sıcaklıkta (40 °C) bulunan absorpsiyon cooling injection system (CIS) kısmına gönderilip MS/MS kısmına gönderilir.

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Membran Biyoreaktör (MBR) Çalışmaları

Pilot ölçekli membran biyoreaktör sistemi devreye alındıktan sonra 6 ay boyunca işletilmiş ve elde edilen veriler tablo ve grafiklerle açıklanarak yorumlanmıştır. MBR’de ölçülen temel parametreler AAT’de takip edilerek karşılaştırılması yapılmıştır. MBR ile AAT arıtma performansı karşılaştırıldığında ise MBR’nin üstünlüğü açıkça görülmüştür. Ancak sadece iletkenlik gideriminde MBR’nin üstünlüğü belirgin şekilde gözlemlenememiştir (Tablo 3.1).

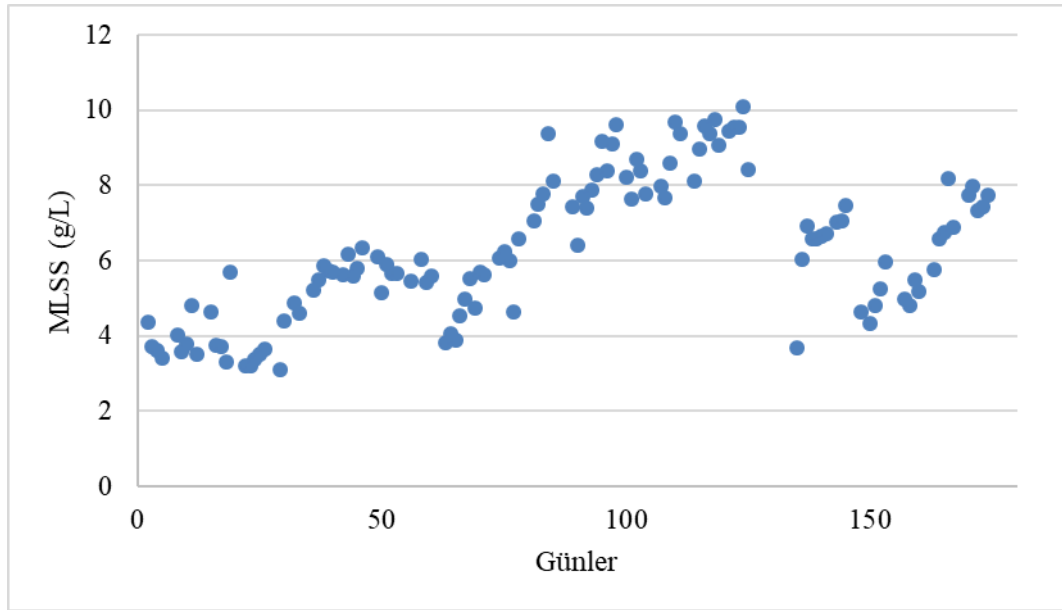
Ayrıca sistem işletim süresi boyunca karşılaşılan teknik problemlere de yer verilmiştir. MBR’de karşılaşılan en önemli problem plastik geri dönüşüm tesislerinin atıklarıyla gelen yüzer partiküler maddelerin besleme hattında, dirsek ve bağlantı noktalarında tıkanmalara yol açması olmuştur. AAT, ön çöktürme çıkışından atıksuyun alınması için kullanılan dalgıç pompa etrafına tel kafes yapılarak ve besleme hattının MBR kısmındaki eleğin içerisine daha küçük gözenekli tel ilave edilerek bu problemin önüne geçilmiştir.

Tablo 3.1. MBR ve AAT temel parametrelerinin karşılaştırılması

Parametreler	MBR Giriş	MBR Çıkış	AAT Çıkış
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	4435 ± 94	4253 ± 380	4268 ± 440
KOİ (mg/L)	558 ± 127	47 ± 26	77 ± 42
pH	$7,94 \pm 0,20$	$8,13 \pm 0,23$	$7,68 \pm 0,17$
Renk (Pt-Co)	-	$27,65 \pm 19,44$	$49,84 \pm 33,70$
Bulanıklık (NTU)	-	$1,03 \pm 1,29$	$2,00 \pm 1,20$
AKM (mg/L)	327 ± 267	$12,5 \pm 11,1$	$16,8 \pm 12,1$

3.1.1. MBR’de MLSS değişimi

Sistem devreye alındığında amur, AAT amur geri devir hattından çekilmiştir. MBR işletmeye alındıktan sonra MLSS konsantrasyonunun 6 aylık değişimi şekil 3.1’ de verilmiştir.



şekil 3.1. MBR için MLSS değişimi

MBR, MLSS konsantrasyonu 6 aylık süreçte çeşitli neden ve problemlerden dolayı düşüşler olmuştur. Aynı zamanda sıcaklık değişiminin de MLSS konsantrasyonundaki artış ve düşüşler de etkisi olmuştur. Bu değişikliklerin zaman aralıkları, sebepleri ve karşılaşılan problem için alınan önlemler şunlardır;

1-30. gün aralığında MLSS konsantrasyonunda düzensiz artış ve azalışlar yaşanmıştır. Bunun sebebi aerobik kısmın havalandırılmasında kullanılan blower, belirlenen çözünmüş oksijen seviyesinin altına düştüğünde çalıştığı için bu sırada bekleme süresinin uzadığı ve problemin bekleme süresi olduğu tespit edilmiştir. Bekleme sresinde AKM çökelmiş ve aerobik bölümün st kısmında oluşan sıvı kısım MBR bölümüne savaklanmıştır. Bu yüzden havalandırma çözünmüş oksijen seviyesine göre değil, belirlenen çalışma/bekleme sürelerine göre set edilmiştir.

30-60. gün aralığında MLSS konsantrasyonu artışı bir durağanlık göstermiştir. Bunun sebebi MBR, kimyasal yıkamasında kullanılan klor pompasında yaşanan arıza

olduğu anlaşılmıştır. Fazla dozaj yapılmış ve AKM artışı bundan olumsuz etkilenmiştir. Ayrıca 60. günde devreye alınan çamur atma pompasının denenmesi için sistemden bir miktar çamur atılması da düşüşe sebep olmuştur.

60-120. gün aralığında MLSS konsantrasyonu artmaya devam etmiş ve yaklaşık 8 gr/L'ye ulaştığı 83. Gün çamur atılmaya başlanmıştır.

120-150. gün aralığında 126. gün, hava tasfiye bağlantı noktasında, kimyasal yıkamalarda kullanılan klor ve asitten dolayı aşınma olmuş ve delinmiştir. Delinmenin basınçlı yıkama esnasında gerçekleştiği görülmüştür. Sistem hemen durdurulup müdahale edilmiştir. Bağlantı noktasındaki aşınma yeni parça değişimi ile düzeltilirken MBR bölümündeki çamurun büyük kısmı tahliye edilmiştir. Bu işlem sonrasında sistem yeniden devreye alınmıştır. Ancak ilk alınan numunede henüz MLSS, reaktörün her bölümünde homojen olarak dağılmadığından 127. gün yaklaşık 3,5 g/L olarak bulunmuştur. Homojen hale gelmesi yaklaşık 1 gün sürmüştür. Bu problemten sonra MBR geri devir pompasının metal bağlantı noktalarından sızıntı yaşanmış ve çamur 1 saatlik bir süre ile dışarı atılmıştır. Pompa tamir edilip tekrar devreye alınmıştır. Ancak MLSS, 4 g/L'ye kadar gerilemiştir.

150-180. gün aralığında ise MLSS 8 g/L'ye kadar ulaşmıştır.

3.1.2. MBR'de Akı-Basınç Değişimi

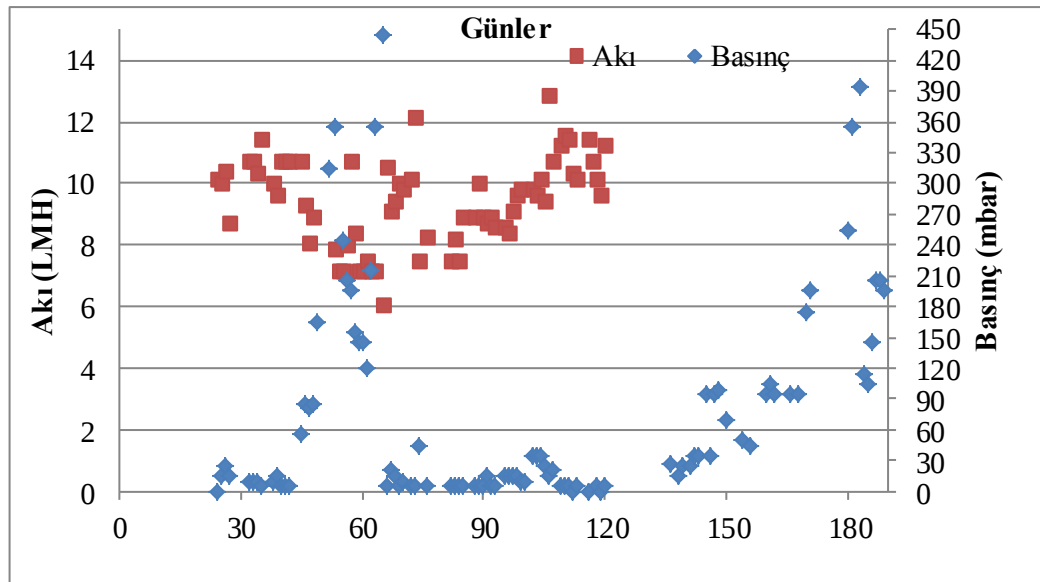
MBR'nin işletimi boyunca akı ve basınç değişimi Şekil 3.2' de verilmiştir. Membran modülünün işletilmeye başlandığı ilk günlerde elektronik basınçölçerlerde anlamsız basınçlar okunmuş ve kalibrasyonunda problem oluştuğu düşünülmüştür. Ancak üretici firmaya gönderildiğinde arızalı olduğu anlaşılmış ve yeni basınçölçerle değişimi yapılmıştır. Daha sonraki günlerde sıkıntı yaşanmaması için önlem olarak manometre de ilave edilerek basınç değerleri her ikisinden de okunarak teyit edilmiştir.

MBR'de akı hesabı gelen su miktarının belirli zaman aralıklarında ölçülmesinin ardından daha önce verilen akı formülüne göre hesaplanmıştır. Sistemde kimyasal yıkama döngüleri esnasında filtrasyon yapılmadığından akı hesabında sapmalar

olmasını engellemek amacıyla kimyasal yıkama bir kez denk gelecek şekilde 2 saat boyunca gelen süzöntü suyu miktarı ile çalışılmıştır.

MBR sisteminin otomatik olarak sistem tarafından kimyasal yıkama süreçleri olmasına rağmen membran kritik akı ve basınç ulaştıktan sonra hızlı bir basınç yükselmesi ve akı düşmesinin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. 60. günde ilk kimyasal yıkama yapılmış ve basınç düşmüş akı 8-12 LMH civarında seyretmiştir. 60. günde yapılan kimyasal yıkamada klorla yıkama yeterli olduğundan asitle yıkama yapılmamıştır. 120. günde hava tasfiye bağlantısındaki sızıntıdan kaynaklanan problemlerin giderilmesi için sistem 10 boyunca çalıştırılmamış ve akı-basınç değerleri alınamamıştır. 150. Günden itibaren yine basınçta hızlı bir artış söz konusu olduğundan 175. gün yeniden kimyasal yıkama yapılmıştır. Basınç artışının önüne geçmede ilk uygulanan klorla yıkama yeterli gelmediğinden asitle yıkama işlemi de gerçekleştirilmiştir.

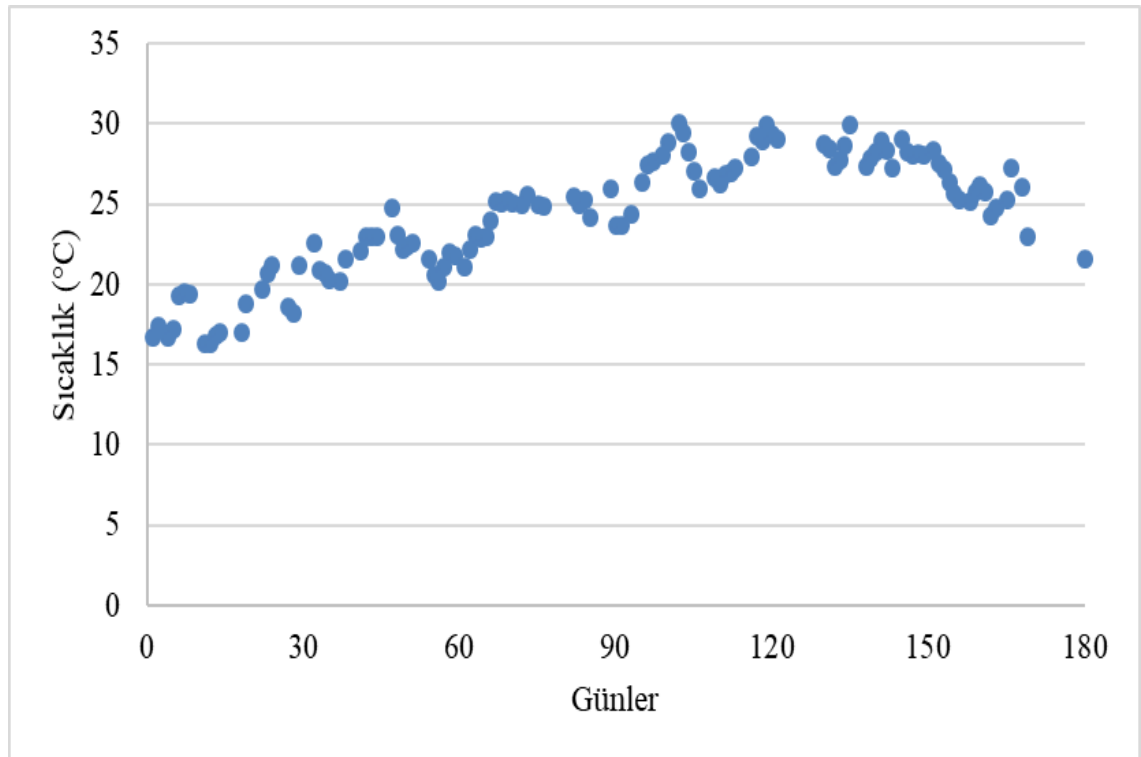
120. günden itibaren MBR çıkışından RO beslendiği için bu dönemde MBR'den gelen su miktarı ölçülemediğinden akı hesabı yapılamamıştır. Bu nedenle basıncın arttığı dönemlerde ters orantılı olarak akının düştüğü düşünülmüştür.



Şekil 3.2. MBR için Akı-Basınç değişimi

3.1.3. Sıcaklık Değişimi

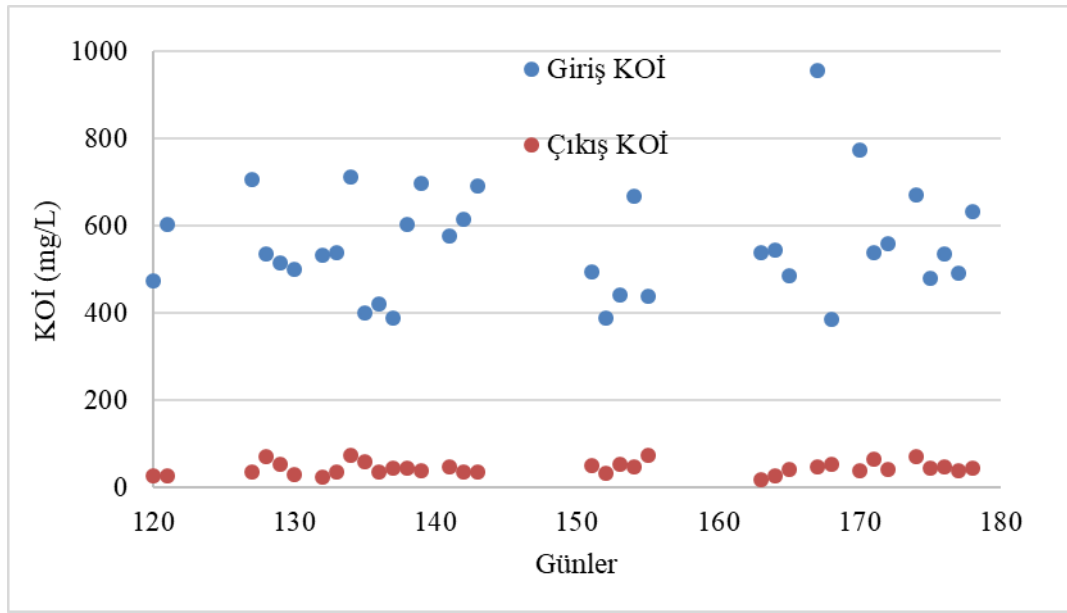
Sistem işletilmeye başlandığı günden itibaren reaktör sıcaklık değişimi Şekil 3.3'te verilmiştir. Sıcaklıktaki değişimler mevsimsel değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Sistem işletmeye alındıktan sonraki 6 ay içerisinde sıcaklık değerleri 16 - 29°C arasında değişmiştir. Sistem kapalı alanda olduğundan yüksek ve düşük hava sıcaklıklarından nispeten daha az etkilenmiştir.



Şekil 3.3. Biyoreaktör sıcaklık değişimi

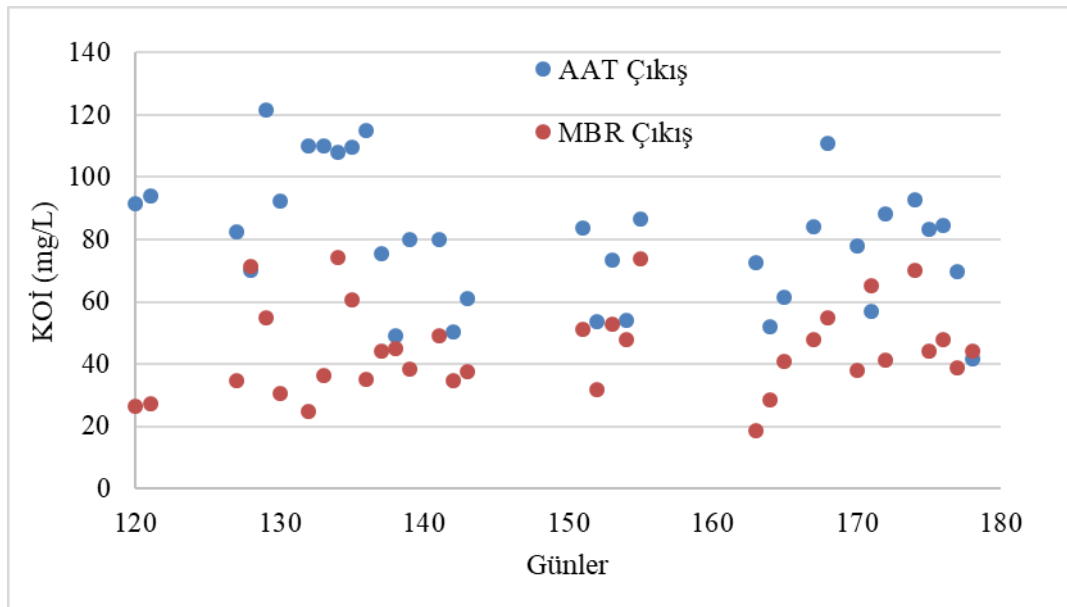
3.1.4. MBR için KOİ Giderimi

RO membran modülünün işletildiği 60 gün boyunca, membran biyoreaktör giriş ve çıkış KOİ değerleri mg/L olarak Şekil 3.4 'da verilmiştir. MBR'de KOİ giderim verimleri ortalama $91 \pm 3,46$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.4'te görülen KOİ değerlerinin olmadığı günler, MLSS konsantrasyonunun düşmesine neden olan işletme problemlerinden ötürü MBR sisteminin çalıştırılmadığı zamanlardır.



Şekil 3.4. MBR giriş ve çıkış KOİ

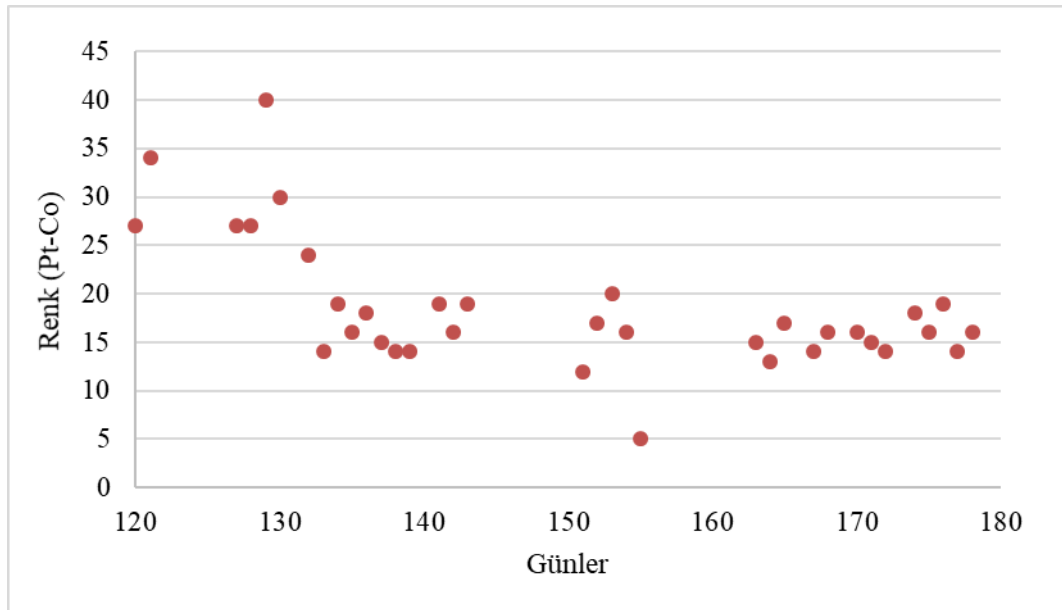
MBR ve AAT çıkış KOİ değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.5’ de verilmiştir. KOSB AAT çıkış suyu Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği [84], tablo 19’da yer alan deşarj standartlarının altında kalan KOİ değerleri ile deşarj etmektedir. Buna rağmen su kalitesi yeniden kullanmaya uygun değildir.



Şekil 3.5. MBR Çıkış ve AAT Çıkış KOİ değerlerinin karşılaştırılması

3.1.5. MBR Çıkış için Renk Değişimi

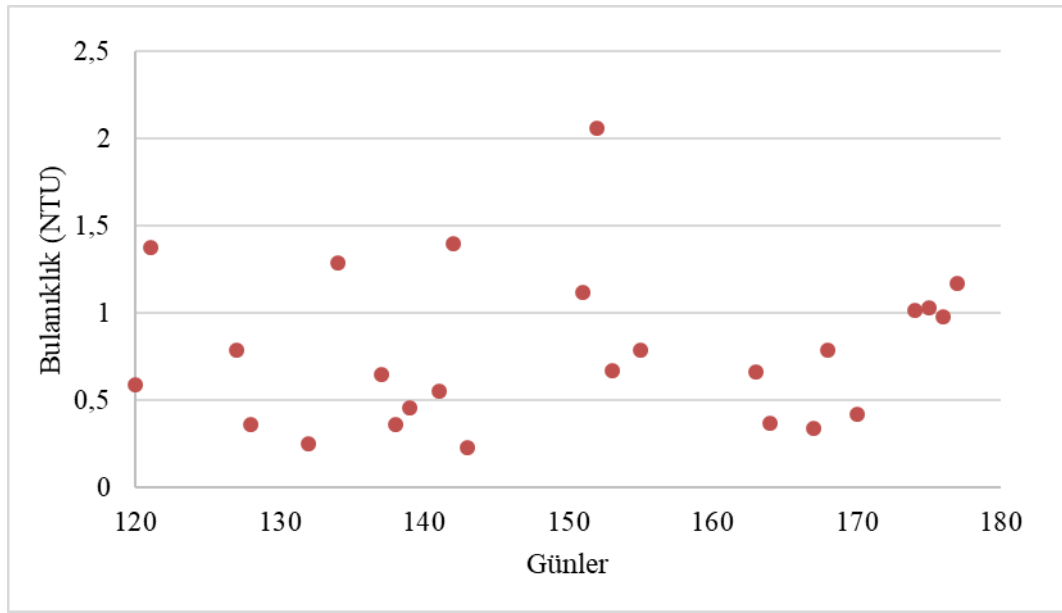
OSB atıksularındaki renk, tekstil atıksularından kaynaklanmaktadır. MBR çıkışından alınan numunelerin renk değerleri değişimi, Pt-Co cinsinden Şekil 3.6’ da verilmiştir. MBR çıkışında 120-130. gün aralığında renk, diğer günlere nispeten daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi giriş suyu karakterizasyonundaki dönemsel değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.6. MBR çıkış renk değerinin değişimi

3.1.6. MBR Çıkış için Bulanıklık Değişimi

MBR’de bulanıklık parametresinin takip edilmesinin başlıca sebebi membranda oluşması olası yırtıklar veya membran modülünde sızıntı olup olmadığının tespit edilmesidir. Elde edilen sonuçlara göre MBR çıkış suyunda sızıntı veya membran yırtığı olduğunu düşündürecek seviyelerde bulanıklık gözlemlenmemiştir. MBR çıkış suyundan elde edilen, NTU cinsinden bulanıklık değerleri Şekil 3.7’da verilmiştir. Bulanıklık genellikle 1 NTU’ nun altında kalmış, sadece birkaç gün üzerine çıkmıştır. Ortalama bulanıklık $0,76 \pm 0,45$ olarak bulunmuştur.



Şekil 3.7. MBR çıkış bulanıklık değerinin değişimi

3.2. Ters Ozmoz (RO) Çalışmaları

MBR'nin işletim süresinin 120.gününde, RO sistemi devreye alınmış ve 60 gün boyunca işletilerek elde edilen veriler tablo ve grafiklerle yorumlanmış ve değerlendirilmiştir.

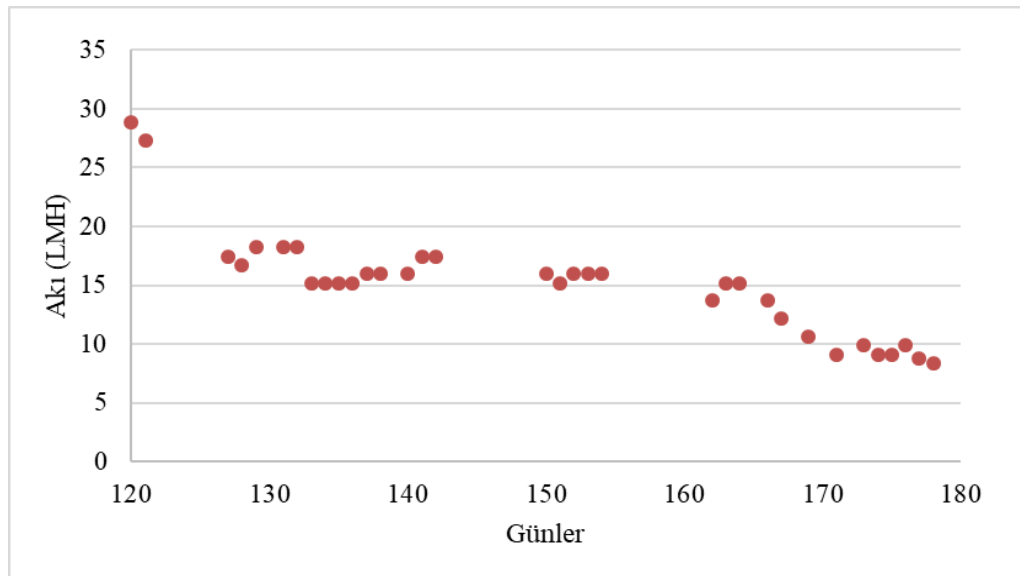
RO için takip edilen parametrelerin ortama değerleri ile standart sapma değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir. RO çıkışında, AKM yerine bulanıklık parametresi takip edilmiştir. Ancak RO çıkış bulanıklık ölçümlerinde değer okunamamıştır. KOİ parametresinde ise negatif (anlamsız) değerler okunduğundan çalışma boyunca takip edilmemiştir.

Tablo 3.2 MBR çıkış ve RO çıkış temel parametreleri

Parametreler	MBR Çıkış	RO Çıkış
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	4354 ± 44	80 ± 17
KOİ (mg/L)	47 ± 26	-
pH	$8,13 \pm 0,23$	$6,65 \pm 0,36$
Renk (Pt-Co)	$27,65 \pm 19,44$	<1
Bulanıklık (NTU)	$1,03 \pm 1,29$	0
AKM (mg/L)	$12,5 \pm 11,1$	-

3.2.1. Akı Değişimi

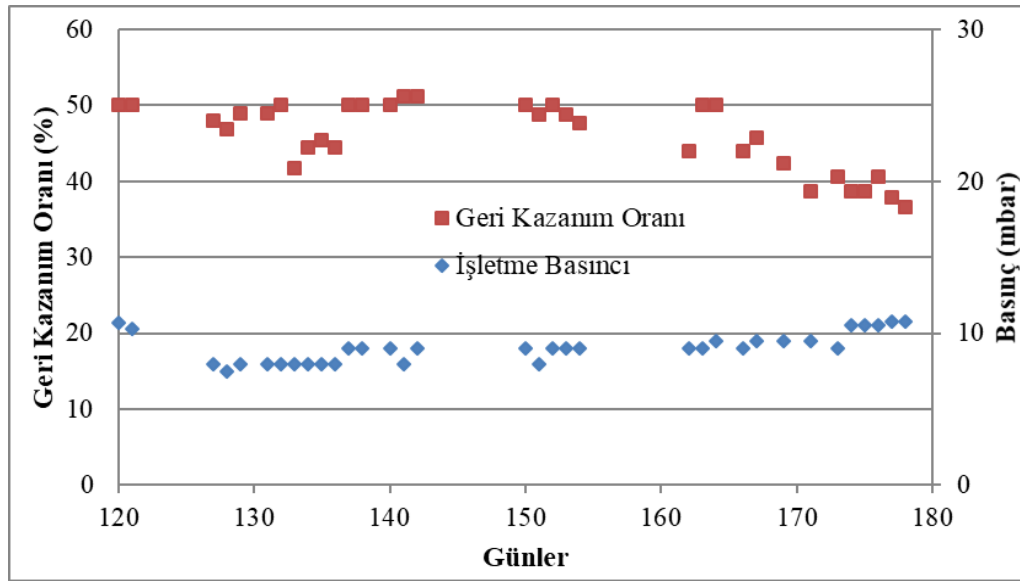
RO sisteminin işletimi boyunca gözlemlenen akı değerleri Şekil 3.8’ te verilmiştir. Sistem işletilmeye başlandığında 10 bar basınçta başlatılmıştır. Bu basınç ile akı yaklaşık 28 LMH olarak gözlemlenmiştir. Ancak bu akı ile çalıştırıldığında MBR süzöntü suyu debisi yeterli gelmemiş ve MBR geri yıkama işlemi sekteye uğramıştır. Aynı zamanda RO, su seviyesindeki değişime göre sık sık durup yeniden devreye girmiştir. Sistem sürekli çalıştırılamadığı için basınç düşürülerek akının da düşmesi sağlanmıştır. Akı, 15-20 LMH aralığında işletilmiş ve 160.günden itibaren tıkanmaya bağlı akı düşüşü gözlemlenmiştir.



Şekil 3.8. Akı değişimi

3.2.2. Geri Kazanım Oranı – Basınç Değişimi

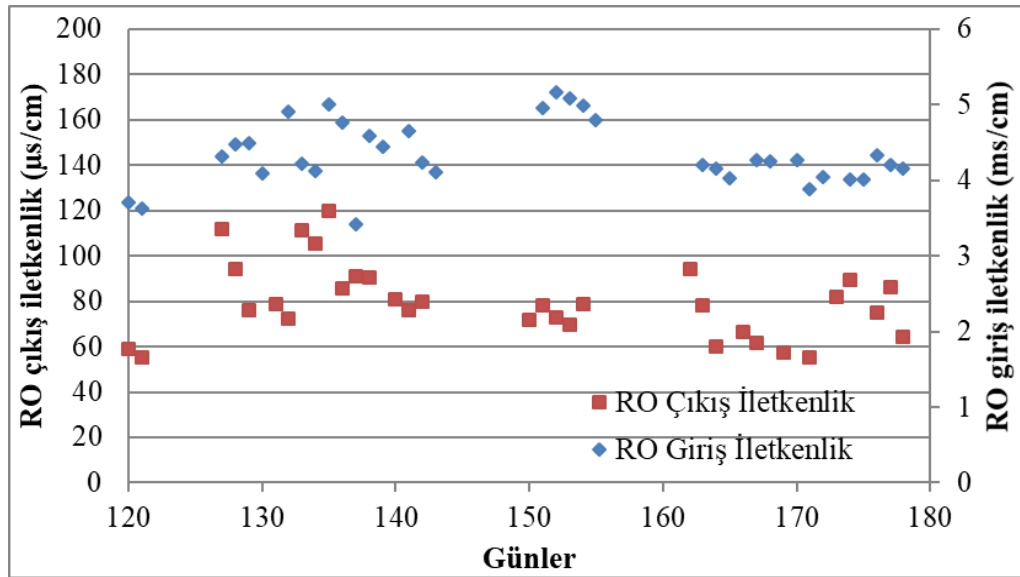
RO sisteminin işletimi boyunca gözlemlenen geri kazanım oranı ve işletme basıncı değerleri Şekil 3.9’te verilmiştir. Sistem %50-40 geri kazanım oranıyla çalışırken 160. günden itibaren %37’ye kadar gerilemiştir. Basınç ise 8-9 bar seviyesinde iken yine 160. Günden itibaren artarak 10,8 bar’a kadar yükselmiştir.



Şekil 3.9. Geri kazanım oranı ve basınç değişimi

3.2.3. İletkenlik Giderimi

RO giriş ve çıkış iletkenlik değerleri Şekil 3.10' te verilmiştir. İletkenlik giderim verimi ortalama $98,22 \pm 0,51$ olarak bulunmuştur.



Şekil 3.10. RO giriş-çıkış iletkenlik değişimi

3.3. Metal Analizi Sonuçları

Sistem işletimi esnasında AAT ön çöktürme çıkışı (MBR giriş), MBR çıkış, RO çıkış ve klasik arıtma prosesiyle MBR'nin kıyaslanabilmesi için AAT çıkışı olmak üzere 4 numuneden yapılan metal analizi sonuçları mikrogram/litre seviyesinde ölçülen metallerin analiz sonuçları $\mu\text{g/L}$ olarak

Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.4. mg/L düzeyindeki metal konsantrasyonları

Elementler	MBR-RO	
	RO Giriş (mg/L)	RO Çıkış (mg/L)
Ba	$2,31 \pm 3,28$	$0,91 \pm 0,8$
Ca	$16,66 \pm 23,57$	$7,2 \pm 1,4$
Co	$75 \pm 106,1$	$1,0 \pm 1,0$
K	$21,23 \pm 29,17$	$11,4 \pm 10,9$
Mg	1558 ± 1491	228 ± 322
Na	$28 \times 10^3 \pm 253$	1012 ± 1009
Ni	$1,1 \pm 1,1$	0
Sb	$22,5 \pm 31,82$	$2,6 \pm 20,6$

MBR'de $\mu\text{g/L}$ düzeyindeki As, Cr ve Mn'nin tamamen giderildiği

Tablo 3.3'te gösterilmiştir. **Hata! Yer işareti başvurusu geçersiz.**'de ise mg/L düzeyindeki metallerden sadece Ni'nin tamamen giderildiği görülmektedir.

Tablo 3.5'te pilot ölçekli tesislerdeki tüm metal ölçümleri için sistem giderim verimleri görülmektedir. Metal giderim verimleri incelendiğinde birçok metalin RO ile tutulduğu ancak en yüksek metal giderimlerinin ön çöktürme tankında gerçekleştiği görülmüştür. MBR sisteminin metallerin gideriminde etkili olmadığı görülmüştür. Verimlerdeki bazı boşluklar giderimin olmadığı, girişin çıkıştan daha düşük ölçüldüğü ya da o metale rastlanmadığını göstermektedir. Çıkış atıksuyundaki konsantrasyonun giriş atıksuyundaki konsantrasyondan yüksek olmasının, metallerin pH'a bağlı çözünürlüklerinin değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

'de ise mg/L düzeyindeki metallerin konsantrasyonları verilmiş olup yüksek magnezyum ve sodyum konsantrasyonu dikkat çekmektedir.

Tablo 3.3. $\mu\text{g/L}$ düzeyindeki metal konsantrasyonları

Elementler	MBR-RO	
	RO Giriş ($\mu\text{g/L}$)	RO Çıkış ($\mu\text{g/L}$)
Ag	0,73	0,72
Al	$11,80 \pm 10,83$	$1,62 \pm 2,29$
As	7,93	0
B	191	90,43
Cd	6,8	$1,78 \pm 2,52$
Cr	$49,70 \pm 34,75$	0
Cu	$50,10 \pm 43,32$	$8,72 \pm 12,32$
Fe	$28,50 \pm 18,88$	$1,56 \pm 2,20$
Mn	$195,1 \pm 86,5$	0
Pb	0	0
Tl	17,78	$32,22 \pm 45,57$
Zn	$7,10 \pm 1,5$	$9,03 \pm 0,01$

Tablo 3.4. mg/L düzeyindeki metal konsantrasyonları

Elementler	MBR-RO	
	RO Giriş (mg/L)	RO Çıkış (mg/L)
Ba	$2,31 \pm 3,28$	$0,91 \pm 0,8$
Ca	$16,66 \pm 23,57$	$7,2 \pm 1,4$
Co	$75 \pm 106,1$	$1,0 \pm 1,0$
K	$21,23 \pm 29,17$	$11,4 \pm 10,9$
Mg	1558 ± 1491	228 ± 322
Na	$28 \times 10^3 \pm 253$	1012 ± 1009
Ni	$1,1 \pm 1,1$	0
Sb	$22,5 \pm 31,82$	$2,6 \pm 20,6$

MBR’de $\mu\text{g/L}$ düzeyindeki As, Cr ve Mn’nin tamamen giderildiği

Tablo 3.3’te gösterilmiştir. **Hata! Yer işareti başvurusu geçersiz.**’de ise mg/L düzeyindeki metallere sadece Ni’nin tamamen giderildiği görülmektedir.

Tablo 3.5’te pilot ölçekli tesislerdeki tüm metal ölçümleri için sistem giderim verimleri görülmektedir. Metal giderim verimleri incelendiğinde birçok metalin RO ile tutulduğu ancak en yüksek metal giderimlerinin ön çöktürme tankında gerçekleştiği görülmüştür. MBR sisteminin metallerin gideriminde etkili olmadığı görülmüştür. Verimlerdeki bazı boşluklar giderimin olmadığı, girişin çıkıştan daha

düşük ölçüldüğü ya da o metale rastlanmadığını göstermektedir. Çıkış atıksuyundaki konsantrasyonun giriş atıksuyundaki konsantrasyondan yüksek olmasının, metallerin pH'a bağlı çözünürlüklerinin değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 3.5. Yapılan tüm ölçümler için ortalama metal giderim verimleri

Element	MBR verim	AAT verim	RO verim
Ag			1.6
Al			100
As		58.0	100
B	32.4	40.2	49.4
Ba	16.6		100
Ca	12.9	20.9	100
Co	56.9		100
Cr		70.7	100
Cu		100.0	100
Fe			70.0
Fe		44.4	100
K	6.6	27.2	98.8
Mg	8.3	31.4	99.9
Mn		2.2	100
Na	15.5	37.5	99.5
Ni	45.5	14.3	100
Sb	28.8	62.6	98.6

3.4. Mikrokirletici Analiz sonuçları

MBR ve RO sisteminin çalıştırıldığı dönemde mikrokirletici analizi yapılmıştır. MBR giriş, MBR çıkış ve RO çıkış ile konvansiyonel sistem ile MBR sisteminin kıyaslanabilmesi amacıyla AAT son çöktürme çıkışından da numune alınarak analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 3.6. Pilot ölçekli tesisteki mikrokirletici analiz sonuçları

Türü	Mikrokirletici	MBR Giriş	MBR Çıkış	AAT Çıkış	RO Çıkış
Kiş.Bak. Ürünü	triclosan	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.6 ± 0.0	0.0 ± 0.0
PAH'lar	naphthalene	1.9 ± 0.0	1.8 ± 0.3	2.3 ± 0.1	1.7 ± 0.2
	metilnaphthalene	2.8 ± 0.1	2.3 ± 0.0	3.4 ± 0.2	2.2 ± 0.4
	etilnaphthalene	2.1 ± 0.2	1.9 ± 0.1	2.4 ± 0.2	1.6 ± 0.3
	acenapthyene	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0
	acenaphene	2.8 ± 0.2	1.7 ± 0.3	2.8 ± 0.2	1.8 ± 1.6
	fluorene	1.1 ± 0.6	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.0
	phenantrene	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
	antrecene	0.8 ± 0.0	0.7 ± 0.0	0.9 ± 0.2	0.9 ± 0.1
	2metilphenantrene	1.0 ± 0.2	1.1 ± 0.0	1.3 ± 0.5	1.4 ± 0.2
	1metilphenantrene	0.8 ± 0.2	0.6 ± 0.0	0.8 ± 0.5	1.0 ± 0.1
	36dimetilphenantrene	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1
	fluoranthene	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
	pyrene	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0
	1metilpyrene	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
	chresene	0.4 ± 0.3	0.5 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.0
	benzoAantrecene	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
	benzoBfluoranthene	1.3 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	benzoKfluoranthene	1.3 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	benzoEpyrene	0.7 ± 0.3	0.3 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	benzoApyrene	0.9 ± 0.4	0.4 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	indeno123cdpyrene	1.0 ± 0.0	0.6 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	dibenzoAHantrecene	2.8 ± 0.0	0.8 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	benzoGHIperylene	1.3 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
PCB'ler	PCB28	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	PCB101	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	PCB118	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	PCB153	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	PCB138	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	PCB180	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	PCB52	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

Nanogram/L (ppt) olarak verilen sonuçlardan en yüksek konsantrasyonlar PAH türlerinde görülmüştür (En yüksek 3,4 ng/L). PCB'lere rastlanmamıştır. MBR ve AAT'de ölçülen bu sonuçlara göre, verimler de %50'nin altında kalmıştır.

Öncelikli kirletici olarak belirlenen mikrokirleticiler için yapılan analiz sonuçları için tüm analiz sonuçları yerine sadece en yüksek konsantrasyonun okunduğu numunelerin sonuçları

Tablo 3.7’de verilmiştir. Çünkü, toplam 67 kirleticinin 46’sında tespit sınırının altında değerler okunmuştur. Toplam 536 okumanın 433’ünde tespit sınırının altında konsantrasyonlar bulunmuştur. Bu tabloya göre, öncelikli kirleticilerin OSB atıksularında birkaç kirletici dışında önemli ölçüde bulunmadığı söylenebilir.

Tablo 3.7. Öncelikli kirleticiler kapsamında yapılan analiz sonuçları (µg/L)

Öncelikli maddeler	Tespit sınırı (ppb)	En yüksek kons. (ppb)	Ölçüm noktası
1.3.5.7.9.11- HBCDD	0.05	<0.05	
1.2.5.6.9.10-HBCDD	0.05	<0.05	
cx-HBCDD	0.05	<0.05	
P-HBCDD	0.05	<0.05	
y-HBCDD	0.05	<0.05	
Dioxins/Furans	0.00001	0.00014	MBR Giriş
Dioxins benzeri bileşikler	0.00005	0.0012	MBR Giriş
Di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)	0.1	2.249	MBR Çıkış
Tetrachloroethylene	0.1	<0.1	
Trichloroethylene	0.1	0.16	MBR Giriş
Trichloromethane (chloroform)	0.1	1.61	MBR Çıkış
Chloroalkanes. C10-13	0.05	<0.05	
Carbontetrachloride	0.1	<0.1	
1.2-dichloroethane	0.1	<0.1	
Dichloromethane	2	5.87	MBR Giriş
Hexachlorobenzene	0.001	0.006	MBR Çıkış
Hexachlorobutadiene	0.1	<0.1	
Hexachlorocyclohexane	0.005	0.189	MBR Çıkış
Pentachlorophenol	0.01	<0.01	
1.2.3-trichlorobenzene	0.1	<0.1	
1.2.4-trichlorobenzene	0.1	<0.1	
1.3.5-trichlorobenzene	0.1	<0.1	
Anthracene	0.001	0.003	MBR Çıkış
Benzene	0.1	<0.1	
Fluoranthene	0.001	0.031	MBR Çıkış
Naphthalene	0.1	0.18	MBR Giriş
Öncelikli maddeler	Tespit sınırı (ppb)	En yüksek kons. (ppb)	Ölçüm noktası
Pentachlorobenzene	0.005	0.404	AAT Çamur
Benzo(a)pyrene	0.0001	0.0062	MBR Çıkış
Benzo(b)fluoranthene(3.4)	0.001	0.011	MBR Çıkış
Benzo(k)fluoranthene	0.001	0.003	MBR Çıkış
Benzo(g,h,i)perylene (1.12)	0.001	<0.001	
Indeno(1.2.3-cd)pyrene	0.001	0.008	MBR Çıkış
Brominated diphenylethers (Toplam)	0.004	<0.004	

Perfluorooctane sulfonate	0.05	<0.05	
Alachlor	0.1	<0.1	
Atrazine	0.05	0.066	MBR Giriş
Chlorfenvinphos	0.005	<0.005	
Chlorpyrifos-ethyl	0.01	3.180	AAT Çıkış
Aldrin	0.005	<0.005	
Dieldrin	0.005	<0.005	
Endrin	0.005	<0.005	
Isodrin	0.005	<0.005	
p.p'-DDT	0.005	0.006	MBR Çıkış
p.p'-DDE	0.005	<0.005	
o.p'-DDT	0.005	<0.005	
p.p'-DDD	0.005	<0.005	
Diuron	0.010	0.055	
Endosulfan	0.005	<0.005	
Isoproturon	0.05	<0.05	
Simazine	0.05	0.166	RO Çıkış
Tributyltin (Tributyltin-cation)	0.05	<0.05	
Trifluralin	0.01	<0.01	
Dicofol	0.001	<0.001	
Quinooxyfen	0.1	<0.1	
Aclonifen	0.005	0.006	MBR Giriş
Bifenox	0.005	0.676	RO Çıkış
Cybutryne	0.001	0.031	AAT Çamur
alpha-cypermethrin	0.005	0.020	MBR Giriş
beta-cypermethrin	0.005	0.041	AAT Çıkış
theta-cypermethrin	0.005	<0.005	
zeta-cypermethrin	0.005	<0.005	
Dichlorvos	0.0005	0.494	MBR Giriş
Heptachlor	0.001	<0.001	
Heptachlor epoxide	0.001	<0.001	
Terbutryn	0.001	<0.001	
Nonylphenol (Toplam)	0.01	35.298	MBR Giriş
Octylphenol (Toplam)	0.05	3.508	MBR Giriş

Tespit sınırının altında kalan tüm mikrokirleticiler listeden çıkarıldığında ve ölçüm sonuçları ng/L seviyesine getirildiği haliyle tüm sonuçlar Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Tespit sınırının üstündeki mikrokirleticiler (ng/L, ppt)

Öncelikli maddeler	MBR Giriş-1	MBR Giriş-2	MBR Çıkış-1	MBR Çıkış-2	AAT Çıkış-1	AAT Çıkış-2	RO Çıkış-1	AAT Çamur
Dioxins/Furanlar	<TS	0.14	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	0.01
Dioxins benzeri bileşikler	1.2	<TS	<TS	<TS	<TS	0.17	<TS	0.11
Di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)	1444	1250	2249	<TS	1788	<TS	874	<TS
Trichloroethylene	130	160	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS
Dichloromethane	5870	3980	<TS	<TS	6180	<TS	<TS	<TS
Hexachlorobenzene	1	<TS	6	<TS	2	2	1	2
Hexachlorocyclohexane	26	5	189	5	30	5	17	5
Anthracene	<TS	<TS	<TS	3	<TS	3	<TS	3
Fluoranthene	14	9	31	<TS	16	<TS	6	<TS
Naphthalene	<TS	180	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS
Pentachlorobenzene	<TS	207	<TS	22	<TS	391	<TS	404
Benzo(a)pyrene	2.7	0.5	6.2	0.5	1.8	0.9	<TS	0.8
Benzo(b)fluoranthene	2	<TS	11	<TS	3	1	<TS	<TS
Benzo(k)fluoranthene	<TS	2	3	<TS	<TS	<TS	2	<TS
Indeno(1.2.3-cd)pyrene	<TS	<TS	8	<TS	1	<TS	<TS	<TS
Atrazine	66	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS
Chlorpyrifos-ethyl	780	<TS	1570	<TS	3180	<TS	<TS	<TS
p,p'-DDT	<TS	<TS	6	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS
Diuron	<TS	55	35	160	13	<TS	12	160
Simazine	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	166	<TS
Aclonifen	<TS	6	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS
Bifenox	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	33	676	36
Cybutryne	<TS	14	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	31
alpha-cypermethrin	20	5	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS	<TS
beta-cypermethrin	30	17	<TS	<TS	41	<TS	<TS	<TS
Dichlorvos	<TS	494	<TS	29	<TS	166	<TS	95
Nonylphenol (Toplam)	35298	232	2388	<TS	8123	27	1988	<TS
Octylphenol (Toplam)	1637	3508	55	<TS	735	<TS	<TS	<TS

<TS : tespit sınırının altında kalan değerler

Bu sonuçlara yüksek konsantrasyona (10 ng/L'den yüksek konsantrasyonların elde edildiği kirleticiler) sahip birkaç kirletici öne çıkmaktadır.

- Fitalatlardan DEHP,
- Klorlu organik bileşiklerden Trikloroetilen, diklorometan, heksaklorosikloheksan,
- PAH'lardan Floranten, naftalin, pentaklorobenzen, benzo(b)floranten,

- Tarım ilaçlarından atrazin, klorpirifos etil, sibütrin, diuron, bifenox, diklorvos,
- Yüzey aktif maddelerden olan nonil ve oktil fenoller.

Bu sonuçlara göre, plastik sektöründe kullanılan fitalat türü olan DEHP'ye rastlanmıştır.

Klorlu organik bileşiklerden en yüksek konsantrasyona sahip olan kirletici ise tekstil ve metal sektörlerinde temizlik solventi olarak kullanılan diklorometandır. MBR ile tamamen giderildiği tespit edilen bu kirleticinin AAT'de giderilemediği görülmektedir. AAT'den alınan çamur numunesinin süzülmesiyle ölçülen AAT Çamur numunesinde de tespit edilemeyen bu kirleticinin biyokütlede tutulduğu söylenebilir.

Bazı PAH türlerinde MBR'de yüksek giderim verimi elde edilirken (Floranten, benzo(a)piren), bazı PAH türlerinde ise AAT'de daha iyi giderim sağlanmıştır (Pentoklorobenzen, antrasen).

Tarım ilaçlarının birçok türünde çok düşük konsantrasyonlar tespit edilmiş olup atrazin, klorpirifos etil, sibütrin, diuron, bifenox, diklorvos türlerinde yüksek konsantrasyonlar elde edilmiştir. Diklorvos türü sadece bir ölçüm setinin tüm numunelerinde tespit edilmiş olup tarımsal kullanım sonrası sulara karıştığı sonucu çıkarılabilir. Bazı numunelerde tespit edilemeyen tarım ilaçlarının artık kullanımda olmadığı ancak su kaynaklarında bulunabildiği sonucu çıkarılabilir.

Öncelikli kirleticilerden en yüksek konsantrasyona sahip bileşik olan nonilfenolün temizlik ürünlerindeki yüzey aktif maddelerde kullanıldığı bilinmektedir. Anne sütünde, kanda ve idrarda tespit edilen bu maddenin sıçanlarda üremeyi ve gelişimi etkilediği görülmüştür [85]. Bu yüzden, ölçülen mikrokirleticilerden Türkiye'deki su kaynaklarını en tehdit edici mikrokirleticinin nonilfenol (nonylphenol) olduğu söylenebilir. Nonilfenol ve oktilfenollerin MBR'de daha yüksek verimle arıtıldığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.9. Nonilfenol ve oktilfenol giderim karşılaştırması

Parametre	Nonylphenol (Toplam)	Octylphenol (Toplam)
MBR Giriş	17.76±17.53	2.57±0.94
MBR Çıkış	1.2±1.19	0.028±0.028
MBR verim	96.6	98.3
AAT verim	82.7	77.6

Öncelikli kirleticilerin gideriminin incelendiği bir çalışmaya göre, ileri oksidasyon proseslerinin öncelikli kirleticileri gidermede etkili oldukları belirtilmiştir. Metalleri ve görece az polar olan molekülleri gidermede RO membranının daha etkili olduğunun belirtildiği bu çalışmada ozonlama, aktif karbon ve ters ozmozun polar pestisitleri ve farmasötikleri gidermede etkili olduğu belirtilmiştir [86].

Pilot ölçekli çalışmalarda ölçülen mikrokirletici sonuçları değerlendirildiğinde birkaç sonuç çıkarılabilir:

- PAH'lar KOSB atıksularında bulunmakta ve hem AAT'de hem de MBR'de yüksek oranlarda giderilmektedir. Ancak MBR birçok PAH türünde AAT'den daha yüksek performans göstermektedir.
- PCB'ler KOSB atıksularında nadiren rastlanmakta, çoğunlukla tespit edilmemektedir (< 1 ppt).
- Fitalatlar açısından net bir şey söylemek mümkün olmasa da bazı fitalat türlerinin AAT'de daha yüksek oranlarda giderilebildiği söylenebilir. Öncelikli kirletici bir fitalat türü olan DEHP, KOSB atıksuyunda 1-2 µg/L seviyelerinde ölçülmüştür.
- Su çerçeve direktifindeki öncelikli kirletici listesindeki birçok kirleticiye KOSB atıksularında rastlanmamıştır.
- Öncelikli kirleticilerden en yüksek konsantrasyona sahip olanın nonilfenol olduğu tespit edilmiştir. MBR'lerde nonilfenol ve oktilfenol giderimi AAT'ye göre daha yüksektir.
- 4-6 µg/L seviyelerinde bulunan diklorometanın da MBR'de tamamen giderildiği AAT'de ise bir numunede giderilemediği görülmüştür.

- Bazı mikrokirleticilerde ölçüm hassasiyeti ile alakalı olduğu düşünülen tutarsız sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin giriş atıksuyunda ölçülemeyen bazı mikrokirleticiler RO çıkışında tespit edilmiştir (örğ. tarım ilaçlarından bifenoks ve simazin). Benzer şekilde bazı mikrokirleticilerde giriş atıksuyundaki mikrokirletici konsantrasyonu çıkış atıksuyundakinden düşük çıkmıştır.

3.5. Maliyet Değerlendirmesi

MBR ve klasik aktif çamur (KAÇ) sistemlerinin maliyet karşılaştırmasının yapılması bu sistemlerin geleceklerinin ne yönde şekilleneceğini gösterebilir. Membran teknolojisindeki ilerlemeler, işletme maliyetlerini düşürme stratejileri ve artan membran üretimi sayesinde MBR prosesi, KAÇ prosesi ile düşük deşarj limitleri veya suyun tekrar kullanılmasını gerektiren durumlarda, maliyet açısından rekabet rekabet edebilecek seviyeye gelmiştir [87].

MBR'nin enerji tüketiminin izlendiği bir çalışmada, tüketilen enerji miktarının, en fazla tüketimi havalandırma, havalandırmadan sonra en çok tüketimin karıştırıcıda olduğu gözlemlenmiştir. Havalandırma ve karıştırma işlemi toplam enerji gereksiniminin neredeyse % 50'sini oluşturmuştur. [88]

Bu çalışmada MBR ve RO sistemlerinin enerji sarfıyatının (işletme giderlerinin büyük bir kısmının) hesaplanmasıyla ortalama bir maliyet ortaya çıkarılmıştır. MBR'de belirlenen enerji sarfıyatı arıtılan 1 m³ su için yaklaşık 12.82 kwh olarak bulunmuştur. Sanayi kullanımı için elektrik bedelinin 0,3624 TL olduğu düşünülürse;

$$12,82 \text{ kwh} * 0,3624 \frac{\text{TL}}{\text{kwh}} = 4,65 \text{ TL}$$

MBR'de 1 m³ suyun arıtılması için gerekli maliyetin kimyasal giderleri ile birlikte yaklaşık 5 TL'yi bulabileceği belirlenmiştir.

Yaklaşık 60 kuruşluk bir toplam maliyet ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Tespit edilen işletme maliyetlerinin büyük/gerçek ölçekli bir tesis için 3-4 kat daha düşük olduğu öngörülürse OSB'ler için yeniden kullanılabilir su elde etmenin önemi ortaya çıkacaktır.

Benzer şekilde RO için de hesaplar yapıldığında ortalama 2 TL'lik maliyet öngörülmüştür. Mevcut durumda KOSB'de suyun metre küpü yaklaşık 1,5 TL'den satılmakta olduğu düşünüldüğünde mevcut maliyetlerin Kayseri OSB için uygun olmadığı ortaya çıkmaktadır. Ancak, bazı OSB'lerde suyun maliyetinin 7 TL ve üzerinde olduğu düşünüldüğünde, OSB'ler için suyun yeniden kullanılabilmesi; hem mevcut su kaynaklarının korunmasını sağlayacak, hem de ekonomik avantaj sağlayacaktır.

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında işletilen pilot ölçekli MBR ve RO sistemi ile sulama suyu veya endüstriyel kullanım için yüksek kalitede su eldesi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

- RO çıkış suyunda 80 ± 17 µg/cm iletkenlik değerleri elde edilmiş, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde belirlenen sulama suyu kriterlerine göre kalite sınıflandırmasında 1. Kalite olduğu görülmüştür.
- Mikrokirleticilerin sudaki konsantrasyonlarının ng/L ya da altındaki konsantrasyonlarda olduğu ve mevsimsel ya da ani deşarjlarla yüksek konsantrasyonlara ulaşabileceği belirlenmiştir.
- Öncelikli kirleticiler açısından OSB atıksuyunda 67 farklı kirleticiden sadece 21'inde tespit sınırının üzerinde bir değer bulunabilmiştir. Tüm ölçüm sonuçlarının %80'inde tespit sınırının altında değerler bulunmuştur. Fitalat türü olan DEHP'ye, trikloroetilene, diklorometana ve heksaklorosikloheksana, PAH türlerine, tarım ilaçlarının 31 tanesinden sadece 6 tanesine ve yüzey aktif maddelerden olan nonilfenol ve oktil fenole rastlanmıştır. En yüksek konsantrasyonun nonilfenol'de olduğu tespit edilmiş olup bu kirleticinin sağlığa ciddi etkileri bulunmaktadır. Bu kirleticinin MBR'deki giderim verimi AAT'ninkinden yaklaşık %10 daha yüksektir.
- MBR'nin işletildiği süre boyunca karşılaşılan en büyük problem atıksu besleme hattındaki dirsek ve bağlantılardaki, plastik geri dönüşüm tesislerinin atıksularından gelen partiküler maddelerden kaynaklanan tıkanmalar

olmuştur. Gerekli önlemler alınarak bu problemin önüne geçilmiştir. RO sistemi çalıştırıldığı süreç boyunca yüksek verimle çalışmış kimyasal yıkamaya ihtiyaç duyulmamıştır.

Sonuç olarak, çevre ve dolayısıyla insan sağlığı göz önüne alındığında mikrokirleticinin doğal ortamdaki varlığı tehlike arz etmektedir. OSB atıksularındaki mikrokirleticilerin giderimi için RO sistemi yüksek performans göstermiştir. Hem atıksudaki mikrokirleticiler yüksek oranda giderilmiş hem de sulama suyu kriterlerine uygun yeniden kullanılabilir su elde edilmiştir. Ancak, OSB atıksuyu karakterizasyonundaki ani değişimler ölçülen değerlerin yorumlanmasında zorluklara yol açmıştır. Bu yüzden mikrokirletici gideriminin sektörel bazda ele alınması ve bu konuda çalışmaların artırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Türkiye’de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif
2. Turkey Water Report, 2009, General Directorate of State Hydraulic Works
3. Kaya, Y., 2007. Nanofiltrasyon ile proses sularından organik maddelerin geri kazanımının araştırılması. **Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,**
4. 2001-2016 yılları arasında ülkemizdeki arıtma tesisi sayıları (<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=120&locale=tr>), (erişim tarihi: Aralık 2017)
5. Cartagena, P., El Kaddouri, M., Cases, V., Trapote, A., Prats, D., 2013. Reduction of emerging micropollutants, organic matter, nutrients and salinity from real wastewater by combined MBR–NF/RO treatment. **Separation and Purification Technology, 110:** 132-143.
6. Chon, K., KyongShon, H., Cho, J., 2012. Membrane bioreactor and nanofiltration hybrid system for reclamation of municipal wastewater: removal of nutrients, organic matter and micropollutants. **Bioresource technology, 122:** 181-188.
7. Hai, F. I., Tessmer, K., Nguyen, L. N., Kang, J., Price, W. E., Nghiem, L. D., 2011. Removal of micropollutants by membrane bioreactor under temperature variation. **Journal of membrane science, 383** (1): 144-151.
8. Nath, K., 2017. Membrane separation processes. PHI Learning Pvt. Ltd.
9. Türken, T. Gümüş Nanopartiküller İle Kompozit İnce Boşluklu Fiber (Hollow Fiber) Membran Üretimi, Karakterizasyonu ve Uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
10. Judd, S., 2008. The status of membrane bioreactor technology. **Trends in biotechnology, 26** (2): 109-116.
11. Türkiye'de Atıksu Yönetimi Çalıştayı, 2017, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

12. Neoh, C. H., Noor, Z. Z., Mutamim, N. S. A., Lim, C. K., 2016. Green technology in wastewater treatment technologies: Integration of membrane bioreactor with various wastewater treatment systems. **Chemical Engineering Journal**, **283**: 582-594.
13. Judd, S., 2015. The status of industrial and municipal effluent treatment with membrane bioreactor technology. **Chemical Engineering Journal**,
14. MEMBRAN BİYOREAKTÖRLER: UYGULAMA ALANLARI, SON GELİŞMELER VE ARAŞTIRMA GEREKEN ALANLAR
15. Meng, F., Chae, S.-R., Drews, A., Kraume, M., Shin, H.-S., Yang, F., 2009. Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material. **Water research**, **43** (6): 1489-1512.
16. Meng, F., Chae, S. R., Drews, A., Kraume, M., Shin, H. S., Yang, F., 2009. Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material. **Water Res**, **43** (6): 1489-512.
17. Gurung, K., Ncibi, M. C., Sillanpää, M., 2017. Assessing membrane fouling and the performance of pilot-scale membrane bioreactor (MBR) to treat real municipal wastewater during winter season in Nordic regions. **Science of The Total Environment**, **579**: 1289-1297.
18. Ren, N., Chen, Z., Wang, X., Hu, D., Wang, A., 2005. Optimized operational parameters of a pilot scale membrane bioreactor for high-strength organic wastewater treatment. **International biodeterioration & biodegradation**, **56** (4): 216-223.
19. Trussell, R. S., Merlo, R. P., Hermanowicz, S. W., Jenkins, D., 2006. The effect of organic loading on process performance and membrane fouling in a submerged membrane bioreactor treating municipal wastewater. **Water Res**, **40** (14): 2675-83.
20. Chae, S. R., Shin, H. S., 2007. Characteristics of simultaneous organic and nutrient removal in a pilot-scale vertical submerged membrane bioreactor (VSMBR) treating municipal wastewater at various temperatures. **Process Biochemistry**, **42** (2): 193-198.

21. Yigit, N. O., Harman, I., Civelekoglu, G., Koseoglu, H., Cicek, N., Kitis, M., 2008. Membrane fouling in a pilot-scale submerged membrane bioreactor operated under various conditions. **Desalination**, **231** (1-3): 124-132.
22. Xia, S., Guo, J., Wang, R., 2008. Performance of a pilot-scale submerged membrane bioreactor (MBR) in treating bathing wastewater. **Bioresour Technol**, **99** (15): 6834-43.
23. Yigit, N. O., Uzal, N., Koseoglu, H., Harman, I., Yukseler, H., Yetis, U., Civelekoglu, G., Kitis, M., 2009. Treatment of a denim producing textile industry wastewater using pilot-scale membrane bioreactor. **Desalination**, **240** (1-3): 143-150.
24. Molina-Munoz, M., Poyatos, J. M., Sanchez-Peinado, M., Hontoria, E., Gonzalez-Lopez, J., Rodelas, B., 2009. Microbial community structure and dynamics in a pilot-scale submerged membrane bioreactor aerobically treating domestic wastewater under real operation conditions. **Sci Total Environ**, **407** (13): 3994-4003.
25. Kim, H.-G., Jang, H.-N., Kim, H.-M., Lee, D.-S., Eusebio, R. C., Kim, H.-S., Chung, T.-H., 2010. Enhancing nutrient removal efficiency by changing the internal recycling ratio and position in a pilot-scale MBR process. **Desalination**, **262** (1): 50-56.
26. Ahmed, Z., Cho, J., Lim, B.-R., Song, K.-G., Ahn, K.-H., 2007. Effects of sludge retention time on membrane fouling and microbial community structure in a membrane bioreactor. **Journal of Membrane Science**, **287** (2): 211-218.
27. Wang, Y., Tng, K. H., Wu, H., Leslie, G., Waite, T. D., 2014. Removal of phosphorus from wastewaters using ferrous salts - a pilot scale membrane bioreactor study. **Water Res**, **57**: 140-50.
28. Phan, H. V., Hai, F. I., McDonald, J. A., Khan, S. J., Zhang, R., Price, W. E., Broeckmann, A., Nghiem, L. D., 2015. Nutrient and trace organic contaminant removal from wastewater of a resort town: Comparison

between a pilot and a full scale membrane bioreactor. **International Biodeterioration & Biodegradation**, **102**: 40-48.

29. Prasertkulsak, S., Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Itonaga, T., Yamamoto, K., 2016. Removals of pharmaceutical compounds from hospital wastewater in membrane bioreactor operated under short hydraulic retention time. **Chemosphere**, **150**: 624-631.
30. Sato, Y., Hori, T., Navarro, R. R., Habe, H., Yanagishita, H., Ogata, A., 2016. Fine-scale monitoring of shifts in microbial community composition after high organic loading in a pilot-scale membrane bioreactor. **J Biosci Bioeng**, **121** (5): 550-6.
31. Ishizaki, S., Fukushima, T., Ishii, S., Okabe, S., 2016. Membrane fouling potentials and cellular properties of bacteria isolated from fouled membranes in a MBR treating municipal wastewater. **Water Res**, **100**: 448-457.
32. El-Nashar, A. M. History and current status of membrane desalination processes.
33. De Wever, H., Weiss, S., Reemtsma, T., Vereecken, J., Müller, J., Knepper, T., Rörden, O., Gonzalez, S., Barcelo, D., Hernando, M. D., 2007. Comparison of sulfonated and other micropollutants removal in membrane bioreactor and conventional wastewater treatment. **Water Research**, **41** (4): 935-945.
34. Haritash, A., Kaushik, C., 2009. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. **Journal of hazardous materials**, **169** (1): 1-15.
35. Pashin, Y. V., Bakhitova, L., 1979. Mutagenic and carcinogenic properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. **Environmental health perspectives**, **30**: 185.
36. Hosoda, J., Ofosu-Anim, J., Sabi, E. B., Akita, L. G., Onwona-Agyeman, S., Yamashita, R., Takada, H., 2014. Monitoring of organic micropollutants in Ghana by combination of pellet watch with sediment analysis: E-waste as a source of PCBs. **Marine pollution bulletin**, **86** (1): 575-581.

37. Tressou, J., Abdallah, N. B., Planche, C., Dervilly-Pinel, G., Sans, P., Engel, E., Albert, I., 2017. Exposure assessment for dioxin-like PCBs intake from organic and conventional meat integrating cooking and digestion effects. **Food and Chemical Toxicology**, **110**: 251-261.
38. Akkaya, C., Efeoğlu, A., Yeşil, N., 2006. Avrupa Birliği su çerçeve direktifi ve Türkiye’de uygulanabilirliği. **TMMOB Su Politikaları Kongresi**: 21-23.
39. Bound, J. P., Voulvoulis, N., 2005. Household disposal of pharmaceuticals as a pathway for aquatic contamination in the United Kingdom. **Environmental health perspectives**: 1705-1711.
40. Glassmeyer, S. T., Furlong, E. T., Kolpin, D. W., Cahill, J. D., Zaugg, S. D., Werner, S. L., Meyer, M. T., Kryak, D. D., 2005. Transport of chemical and microbial compounds from known wastewater discharges: potential for use as indicators of human fecal contamination. **Environmental Science & Technology**, **39** (14): 5157-5169.
41. Heberer, T., Feldmann, D., 2005. Contribution of effluents from hospitals and private households to the total loads of diclofenac and carbamazepine in municipal sewage effluents—modeling versus measurements. **Journal of Hazardous materials**, **122** (3): 211-218.
42. Lishman, L., Smyth, S. A., Sarafin, K., Kleywegt, S., Toito, J., Peart, T., Lee, B., Servos, M., Beland, M., Seto, P., 2006. Occurrence and reductions of pharmaceuticals and personal care products and estrogens by municipal wastewater treatment plants in Ontario, Canada. **Science of the Total Environment**, **367** (2): 544-558.
43. Halling-Sørensen, B., Nielsen, S. N., Lanzky, P., Ingerslev, F., Lützhøft, H. H., Jørgensen, S., 1998. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment-A review. **Chemosphere**, **36** (2): 357-393.
44. Larsson, D. J., de Pedro, C., Paxeus, N., 2007. Effluent from drug manufactures contains extremely high levels of pharmaceuticals. **Journal of hazardous materials**, **148** (3): 751-755.

45. Jiang, J.-Q., Zhou, Z., Sharma, V., 2013. Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water—a review from global views. **Microchemical Journal**, **110**: 292-300.
46. Zoeller, R. T., Brown, T., Doan, L., Gore, A., Skakkebaek, N., Soto, A., Woodruff, T., Vom Saal, F., 2012. Endocrine-disrupting chemicals and public health protection: a statement of principles from The Endocrine Society. **Endocrinology**, **153** (9): 4097-4110.
47. Clara, M., Strenn, B., Gans, O., Martinez, E., Kreuzinger, N., Kroiss, H., 2005. Removal of selected pharmaceuticals, fragrances and endocrine disrupting compounds in a membrane bioreactor and conventional wastewater treatment plants. **Water research**, **39** (19): 4797-4807.
48. Falconer, I. R., Chapman, H. F., Moore, M. R., Ranmuthugala, G., 2006. Endocrine-disrupting compounds: A review of their challenge to sustainable and safe water supply and water reuse. **Environmental toxicology**, **21** (2): 181-191.
49. Zhang, C., Li, Y., Wang, C., Niu, L., Cai, W., 2016. Occurrence of endocrine disrupting compounds in aqueous environment and their bacterial degradation: A review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, **46** (1): 1-59.
50. Mompelat, S., Le Bot, B., Thomas, O., 2009. Occurrence and fate of pharmaceutical products and by-products, from resource to drinking water. **Environment international**, **35** (5): 803-814.
51. Piva, F., Martini, L., 1998. Neurotransmitters and the control of hypophyseal gonadal functions: possible implications of endocrine disruptors. **Pure and applied chemistry**, **70**: 1647-1656.
52. Kabir, E. R., Rahman, M. S., Rahman, I., 2015. A review on endocrine disruptors and their possible impacts on human health. **Environmental toxicology and pharmacology**, **40** (1): 241-258.
53. Schuricht, F., Borovinskaya, E. S., Reschetilowski, W., 2017. Removal of perfluorinated surfactants from wastewater by adsorption and ion

- exchange—Influence of material properties, sorption mechanism and modeling. **Journal of Environmental Sciences**, **54**: 160-170.
54. Guo, H., Wang, J., Han, Y., Feng, Y., Shih, K., Tang, C. Y., 2017. Removal of perfluorooctane sulfonate by a gravity-driven membrane: Filtration performance and regeneration behavior. **Separation and Purification Technology**, **174**: 136-144.
 55. Pi, N., Wu, Y., Zhu, H. W., Wong, Y. S., Tam, N. F. Y., 2017. The uptake of mixed PAHs and PBDEs in wastewater by mangrove plants under different tidal flushing regimes. **Environmental Pollution**, **231**: 104-114.
 56. Zhao, G., Zhou, H., Du, M., Yang, L., Li, K., Wu, Z., Gao, J., 2011. PBDEs in sediments from 14 principal tributaries of Haihe River and their potential risk. **Huan jing ke xue= Huanjing kexue/[bian ji, Zhongguo ke xue yuan huan jing ke xue wei yuan hui" Huan jing ke xue" bian ji wei yuan hui.]**, **32** (7): 2069-2073.
 57. Deng, D., Chen, H., Tam, N. F., 2015. Temporal and spatial contamination of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in wastewater treatment plants in Hong Kong. **Science of the Total Environment**, **502**: 133-142.
 58. Yu, Y.-X., Pang, Y.-P., Li, C., Li, J.-L., Zhang, X.-Y., Yu, Z.-Q., Feng, J.-L., Wu, M.-H., Sheng, G.-Y., Fu, J.-M., 2012. Concentrations and seasonal variations of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in in- and out-house dust and human daily intake via dust ingestion corrected with bioaccessibility of PBDEs. **Environment International**, **42** (Supplement C): 124-131.
 59. Wang, S., Zhang, S., Huang, H., Lu, A., Ping, H., 2012. Debrominated, hydroxylated and methoxylated metabolism in maize (*Zea mays* L.) exposed to lesser polybrominated diphenyl ethers (PBDEs). **Chemosphere**, **89** (11): 1295-1301.
 60. A Solmaz, S. K., Azak, H., Üstün, G. E., Morsünbül, T., 2010. Pestisit gideriminde fenton proseslerinin kullanımına yönelik bir envanter çalışması.

61. Ersoy, N., Tatli, Ö., Özcan, S., Evcil, E., Çoşkun, L. Ş., Erdoğan, E., 2011. Konya’da Halkın Tüketimine Sunulan Bazı Yumuşak Çekirdekli Meyve Türlerinde Pestisit Kalıntı Düzeyleri. **Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi**, **25** (1): 84-89.
62. Gençel, H. B., 2011. Nonil Fenol Etoksilatın Aerobik Parçalanmasının Değerlendirilmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
63. Khairy, M., Barrett, K., Lohmann, R., 2016. Changing sources of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans in sediments and ecological risk for nekton in the lower Passaic River and Newark Bay, New Jersey, USA. **Environmental toxicology and chemistry**, **35** (3): 550-562.
64. Rodenburg, L. A., Krumins, V., Curran, J. C., 2015. Microbial Dechlorination of Polychlorinated Biphenyls, Dibenzo-p-dioxins, and-furans at the Portland Harbor Superfund Site, Oregon, USA. **Environmental science & technology**, **49** (12): 7227-7235.
65. Grzechulska–Damszel, J., Grześkowiak, M., Przepiórski, J., Morawski, A., 2014. Photocatalytic Decomposition of low-concentrated Trichloroethylene and Tetrachloroethylene in Water. **International Journal of Environmental Research**, **8** (2): 347-352.
66. Roche, P., Prados, M., 1995. Removal of pesticides by use of ozone or hydrogen peroxide/ozone. **Ozone: science & engineering**, **17** (6): 657-672.
67. Hernández-Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C., 2011. Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon. **Water Research**, **45** (9): 2887-2896.
68. Matamoros, V., Salvadó, V., 2013. Evaluation of a coagulation/flocculation-lamellar clarifier and filtration-UV-chlorination reactor for removing emerging contaminants at full-scale wastewater treatment plants in Spain. **Journal of environmental management**, **117**: 96-102.

69. Snyder, S. A., Adham, S., Redding, A. M., Cannon, F. S., DeCarolis, J., Oppenheimer, J., Wert, E. C., Yoon, Y., 2007. Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals. **Desalination**, **202** (1-3): 156-181.
70. Margot, J., Kienle, C., Magnet, A., Weil, M., Rossi, L., De Alencastro, L. F., Abegglen, C., Thonney, D., Chèvre, N., Schärer, M., 2013. Treatment of micropollutants in municipal wastewater: ozone or powdered activated carbon? **Science of the total environment**, **461**: 480-498.
71. Boehler, M., Zwickenspflug, B., Hollender, J., Ternes, T., Joss, A., Siegrist, H., 2012. Removal of micropollutants in municipal wastewater treatment plants by powder-activated carbon. **Water Science and Technology**, **66** (10): 2115-2121.
72. Aktaş, Ö., Çeçen, F., 2007. Bioregeneration of activated carbon: a review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, **59** (4): 257-272.
73. Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., Barceló, D., 2010. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. **Journal of Hydrology**, **389** (3): 416-428.
74. Casas, M. E., Chhetri, R. K., Ooi, G., Hansen, K. M., Litty, K., Christensson, M., Kragelund, C., Andersen, H. R., Bester, K., 2015. Biodegradation of pharmaceuticals in hospital wastewater by staged Moving Bed Biofilm Reactors (MBBR). **Water research**, **83**: 293-302.
75. Badia-Fabregat, M., Oller, I., Malato, S., 2017. Overview on Pilot-Scale Treatments and New and Innovative Technologies for Hospital Effluent.
76. Qarni, H., Collier, P., O'Keeffe, J., Akunna, J., 2016. Investigating the removal of some pharmaceutical compounds in hospital wastewater treatment plants operating in Saudi Arabia. **Environmental Science and Pollution Research**, **23** (13): 13003-13014.

77. Kovalova, L., Siegrist, H., Singer, H., Wittmer, A., Mc Ardell, C. S., 2012. Hospital wastewater treatment by membrane bioreactor: performance and efficiency for organic micropollutant elimination. **Environmental science & technology**, **46** (3): 1536-1545.
78. Das, S., Ray, N. M., Wan, J., Khan, A., Chakraborty, T., Ray, M. B., "Micropollutants in Wastewater: Fate and Removal Processes," in *Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery*, ed: InTech, 2017.
79. Nghiem, L. D., Tadkaew, N., Sivakumar, M., 2009. Removal of trace organic contaminants by submerged membrane bioreactors. **Desalination**, **236** (1-3): 127-134.
80. Tadkaew, N., Hai, F. I., McDonald, J. A., Khan, S. J., Nghiem, L. D., 2011. Removal of trace organics by MBR treatment: the role of molecular properties. **Water Research**, **45** (8): 2439-2451.
81. Sahar, E., David, I., Gelman, Y., Chikurel, H., Aharoni, A., Messalem, R., Brenner, A., 2011. The use of RO to remove emerging micropollutants following CAS/UF or MBR treatment of municipal wastewater. **Desalination**, **273** (1): 142-147.
82. Jiang, Q., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Price, W. E., Zhang, J., Liang, S., Deng, L., Guo, W., 2018. Effect of hydraulic retention time on the performance of a hybrid moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor system for micropollutants removal from municipal wastewater. **Bioresource technology**, **247**: 1228-1232.
83. Monsalvo, V. M., McDonald, J. A., Khan, S. J., Le-Clech, P., 2014. Removal of trace organics by anaerobic membrane bioreactors. **Water research**, **49**: 103-112.
84. Gazete, R., 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. **TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar, 8289**
85. EPA, U., 2010. Nonylphenol (NP) and Nonylphenol Ethoxylates (NPEs) Action Plan. **RIN**,

86. Ruel, S. M., Choubert, J., Esperanza, M., Miège, C., Madrigal, P. N., Budzinski, H., Le Ménach, K., Lazarova, V., Coquery, M., 2011. On-site evaluation of the removal of 100 micro-pollutants through advanced wastewater treatment processes for reuse applications. **Water Science and Technology**, **63** (11): 2486-2497.
87. Young, T., Smoot, S., Peeters, J., Côté, P., 2013. When does building an MBR make sense? How variations of local construction and operating cost parameters impact overall project economics. **Proceedings of the Water Environment Federation**, **2013** (8): 6354-6365.
88. Gil, J. A., Túa, L., Rueda, A., Montañó, B., Rodríguez, M., Prats, D., 2010. Monitoring and analysis of the energy cost of an MBR. **Desalination**, **250** (3): 997-1001.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Özlem ÖZCAN

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 23 Ağustos, Kayseri

Medeni Durumu: Evli

email: ozlem__ugurlu@hotmail.com

Yazışma Adresi: Yenidoğan Mah. Ertuğrul Gazi Cad. No: 37/11 Talas/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	İÜ, Çevre Mühendisliği	2012
Lise	Sema Yazar Anadolu Lisesi, Kayseri	2008

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2016-2017	Erciyes Üniversitesi	TÜBİTAK, 114Y521 Nolu projede proje asistanlığı

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

- Özcan Ö., Uyanık I., Özkan O., "Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (KOSB) Atıksularının Pilot Ölçekte Arıtımının Değerlendirilmesi", 4. Uluslararası Su Kongresi - Akıllı Şehirlerde Su Yönetimi, İZMİR, TÜRKİYE, 2-4 Kasım 2017, pp.1-4
- Uyanık I., Özcan Ö. , Özkan O., Şahin U., "Removal of color from an organized industrial zone wastewater: Comparison of pilot scale membrane systems and conventional wastewater treatment plant", III. International Conference on Environmental Science and Technology, Budapeşte, MACARISTAN, 19-23 Ekim 2017, pp.3-3
- Özcan Ö., Özkan O., "Effect of pretreatment options before reverse ozmosis for organized industrial zone wastewater reuse", III. International Conference on Environmental Science and Technology, Budapeşte, MACARISTAN, 19-23 Ekim 2017, pp.2-2

4. Özkan O., Uyanik I., Özcan Ö., Rençber M.M., Usta E., Şimşek S.E., et al., "Operational Problems at a Laboratory Scale Membrane Bioreactor for the Treatment of Organized Industrial Zone Wastewater ", ECOLOGY 2017 INTERNATIONAL SYMPOSIUM, KAYSERİ, TÜRKİYE, 11-13 Mayıs 2017, pp.1-2
5. Özkan O., Uyanik I., Rençber M.M., Özcan Ö. , Ekrikaya H. , Olgunharputlu M. , et al., "Reusing Approaches for an Organized Industrial Zone Wastewater by Membrane Processes", International Conference on Civil and Environmental Engineering, NEVŞEHİR, TÜRKİYE, 8-10 Mayıs 2017, pp.1-2
6. Özcan Ö., Uyanik I., Özkan O., Türken T., Koyuncu İ., "Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Pilot Ölçekli Membranlı Atıksu Arıtma Sistemleriyle Arıtılmasında Karşılaşılan İşletme Problemleri", 5. Ulusal Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, İSTANBUL, TÜRKİYE, 21-23 Eylül 2017, ss.55-55