T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ATIKSULARININ MEMBRANLI ARITMA SİSTEMLERİYLE YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Hazırlayan
İbrahim UYANIK

Danışman
Doç. Dr. Oktay ÖZKAN

Bu çalışma; Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 114Y521 numaralı proje ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FDK-2017-7308 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ağustos 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 olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

İbrahim UYANIK

İmza:

YÖNERGEYE UYGUNLUK

ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ATIKSULARININ MEMBRANLI ARITMA SİSTEMLERİYLE YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

İbrahim UYANIK

Danışman

Doç. Dr. Oktay ÖZKAN

Çevre Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Yalçın Şevki YILDIZ

Doç. Dr. Oktay ÖZKAN danışmanlığında **İbrahim UYANIK** tarafından hazırlanan "**Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Membranlı Arıtma Sistemleriyle Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

21/08/2017

JÜRİ:

Danışman	: Doç.Dr. Oktay ÖZKAN	.....
Üye	: Prof. Dr. Uğur ŞAHİN	.....
Üye	: Doç. Dr. Merve OĞUZ	.....
Üye	: Prof. Dr. İsmail KOYUNCU	.....
Üye	: Prof. Dr. Vedat UYAK	.....

ONAY:
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 11/09/2017 tarih ve 2017/38-25 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

11 / 09 / 2017

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca vizyonu, farklı bakış açıları, yönlendirmeleri ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Doç.Dr. Oktay ÖZKAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı Prof. Dr. İsmail KOYUNCU, Arş. Gör. Türker TÜRKEN ve tek tek ismini sayamadığım MEM-TEK ekibine teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında emeklerini esirgemeyen ve çalışmalarımızın buralara gelmesine sebep olan arkadaşlarım Özlem ÖZCAN, Mahmut OLGUNHARPUTLU, Hasan EKRİKAYA, Mükerrem RENÇBER, Sevim Ecem ŞİMŞEK, Esra ve Sevde USTA'ya da teşekkür ederim. Ayrıca, yine tek tek ismini sayamadığım Kayseri OSB AAT çalışanlarına ama özellikle Alper SOLMAZ'a teşekkür ederim. Hamdi Muratçobanoğlu ve Ömür Gökkuş hocalarıma da son rötüşlarda yardımından dolayı 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: FDK-2017-7308) teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince moral motivasyonumu en üst düzeyde tutmaya çalışan eşim Ayşegül ve oğlum Mehmet Akif'e çok teşekkür ederim. Yetiştiren, eğiten ve maddi manevi her zaman yanımda olan anneme ve babama da teşekkürü bir borç bilirim.

İbrahim UYANIK

Kayseri, Ağustos 2017

ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ATIKSULARININ MEMBRANLI ARITMA SİSTEMLERİYLE YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İbrahim UYANIK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi, Ağustos 2017

Danışman: Doç. Dr. Oktay ÖZKAN

ÖZET

Türkiye'de Organize Sanayi Bölgesi (OSB) oluşumu oldukça yaygın olup OSB'si olmayan il yoktur. OSB'lerde atıksular genellikle merkezi atıksu arıtma tesislerinde toplanarak arıtılmaktadır. Türkiye, su kaynakları bakımından su stresi yaşayan ülke kategorisinde yer almaktadır. OSB'ler, faaliyet gösteren tesislerin su kullanımına bağlı olmakla beraber, tekstil ve gıda sektörünün yoğunlukta olmasından dolayı genellikle yoğun su tüketen bölgeler olarak öne çıkmaktadır. OSB'lerde suyun geri kazanılması ve yeniden kullanılması için yeni teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Kayseri OSB, firma sayısı, kapasitesi, nitelikli ve kurumsal yapısı ve başarılı atıksu arıtma tesisi ile bu tez çalışmasında atıksuların yeniden kullanılabilmesinin araştırılması için uygun bir araştırma alanı olarak öne çıkmıştır. Günlük atıksu debisi 30.000 m^3 olan bu OSB'de atıksular büyük oranda tekstil, geri dönüşüm, kağıt endüstrisi ve evsel nitelikli kaynaklardan oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Kayseri OSB atıksu arıtma tesisi (AAT) sularının yeniden kullanılabilirliği hem MBR ile hem de membran filtrasyon sistemiyle değerlendirilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak KOSB AAT çıkış suları ultrafiltrasyon (UF) membranıyla arıtılmış ve nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (RO) membranlarıyla geri kazanımı incelenmiştir. Benzer şekilde KOSB AAT ön çöktürme çıkış suları da MBR ile laboratuvar ölçekli bir sistemde arıtılmış ve NF ve RO filtrasyon sistemleriyle, "sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo"ya göre (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, EK 7) yeniden kullanılabilirliği incelenmiştir.

AAT çıkış suyu için kullanılan 3 farklı UF membranı çıkış sularının NF ve RO filtrasyon sonuçları; su kalitesi, membran karakterizasyonu ve su akısı açısından değerlendirilmiştir. MBR için de benzer şekilde kullanılması planlanan 6 farklı membran için yapılan kesikli filtrasyon çalışmalarında, en düşük dirence sahip bir MF ve bir UF membranı işletilerek 3 farklı NF ve 3 farklı RO membranına beslenmiştir. MBR sonrası NF/RO ve AAT çıkış suyunda UF ve NF/RO eşleşmelerinde tıkanmaya daha az meyilli, su kalitesi ve akısı daha yüksek ikililer her iki membranlı sistem için de belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan UF, NF ve RO membranlarından daha az tıkanma eğilimi gösteren membranlar taramalı elektron mikroskobu (scanning electron microscope, SEM), enerji dağılım X-ray spektroskopisi (energy dispersive X-ray spectroscopy) ve eşodaklı lazer tarama mikroskobu (confocal laser scanning microscopy, CLSM) görüntüleme teknikleriyle incelenmiştir.

MBR'de yeniden kullanım için en uygun membran türleri olarak, moleküler ağırlık engelleme sınırı (molecular weight cutoff, MWCO) 250 kDa olan UF membranı ile XLE membranı olduğu bulunmuştur. Bu membranlar, hem yüksek su kalitesi, hem yüksek akı, hem de düşük tıkanma eğilimi göstermiştir. Benzer şekilde, AAT çıkış suyunda UF 250 kDa membranının XLE membranıyla en iyi performansı sağladığı bulunmuştur.

Sonuç olarak, OSB atıksularının hem MBR'de hem de AAT'de geri kazanımı incelenmiş olup her iki sistemin de aynı membran çiftleriyle en iyi başarıyı sergilediği görülmüştür. Su stresi yaşayan bir ülke olarak yüksek miktarda su kullanan OSB'lerin daha sıkı deşarj standartlarına maruz kalabileceği ve sürdürülebilirlik için suyu yeniden kullanmak zorunda kalacağından dolayı membranları sistemlerin kullanılması kaçınılmazdır. Membranların ve MBR'lerin yatırım ve işletme maliyetlerinin de düşmesiyle gelecekte bu sistemlerin daha çok kullanılacağı öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Organize sanayi bölgesi, atıksu, membran, MBR, yeniden kullanım

INVESTIGATION OF REUSABILITY OF ORGANIZED INDUSTRIAL ZONE WASTEWATER WITH MEMBRANE TREATMENT SYSTEMS

İbrahim UYANIK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, August 2017

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Oktay ÖZKAN

ABSTRACT

Organized industrial zones (OIZs) are common in Turkey since there is no city without OIZ. Wastewater is generally collected in a wastewater treatment plant (WWTP) and treated within the zone. Turkey falls into water-stressed countries as its fresh water sources are decreasing. OIZs are water-guzzling regions since the industrial activities are mainly textile, food and others that use water more than other sectors. New technologies need for reuse and recycle of water.

Kayseri OIZ, Turkey, comes to the forefront as the quality, capacity, and organizational structure with a successful wastewater treatment plant for this water reusing thesis study. Daily flowrate of the OIZ is 30,000 m^3 which is comprised of textile, recycle and paper industry as well as municipal wastewater coming from the daily water usage of workers.

In this study, reuse of Kayseri OIZ wastewater is evaluated with both MBR and membran filtration system. With this purpose, firstly, KOIZ WWTP effluent is filtrated with ultrafiltration membrane then with nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO) membranes for a reuse option. Similarly, primary sedimentation effluent of the WWTP is treated with an MBR and then NF and RO membranes to evaluate irrigation water quality of Turkey stated.

3 different UF membranes used for the study are further filtrated wtih NF and RO membranes for the evaluation of membrane characterization, permeate quality and water flux. For the MBR study, 6 diffferent microfiltration (MF) and UF membranes

were used for the selection of the least resistive two membranes in batch studies to operate in MBR. Each permeate of MBR is fed to NF and RO membranes. Membranes in both systems are determined which have good water quality, high flux values, and low tendency to fouling.

Visualization techniques that are scanning electron microscope (SEM), SEM- energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDS) and confocal laser scanning microscopy (CLSM) are used to determine the fouling tendencies of the UF, NF, and RO membranes.

For reusing in MBR, a UF membrane, with 250 kDa molecular weight cutoff (MWCO) value is proper for further treatment with XLE membrane. These membranes showed good water quality, high flux values, and low tendency to fouling. Similarly, UF 250 kDa membrane and XLE membrane are the best performed membranes in WWTP effluent.

As a result, it is seen that both the effluent of WWTP and the effluent of the primary sedimentation effluent of WWTP could be reused with membrane treatment systems and with the same membranes. Turkey, facing with the water-stress problem, membrane treatment systems are inevitable as the discharge standards are stringent and sustainable water management is necessary.

With the decrease in investment and operation and management costs of membrane treatment systems, these systems will be used frequently in near future.

Keywords: Organized industrial zone, wastewater, membrane, MBR, reuse

İÇİNDEKİLER TABLOSU

ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ATIKSULARININ MEMBRANLI ARITMA SİSTEMLERİYLE YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i

YÖNERGEYE UYGUNLUK ii

TEŞEKKÜR iv

ÖZET v

ABSTRACT vii

İÇİNDEKİLER TABLOSU ix

KISALTMALAR VE SİMGELER xii

TABLOLAR LİSTESİ xv

ŞEKİLLER LİSTESİ xvii

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1 Su Kıtlığı ve Geri Kazanımın Önemi 2

1.1.1 Atıksuların Arıtılmasında Ayırma İşlemleri 3

1.2 Membranlı Arıtma Sistemleri 5

1.2.1 Membranlar ve Membran Sistemleri 5

1.2.2 Membran Biyoreaktörler 10

1.3 Atıksuların Geri Kazanılmasında Membranlı Sistemlerin Kullanımı 21

1.3.1 Laboratuvar Ölçekli Çalışmalar 21

1.3.2. Pilot Ölçekli Çalışmalar 26

1.4 Mikrokirleticiler 29

1.4.1 İlaç Kalıntıları 29

1.4.2 Kişisel Bakım Ürünleri 30

1.4.3 Endokrin Bozucu Kimyasallar 30

1.4.4 Önemli Mikrokirleticiler 30

1.4.5 Mikrokirleticileri Giderme Yöntemleri 34

1.5 Organize Sanayi Bölgeleri 37

1.5.1 OSB'lerde Çevre Yönetimi 39

1.5.2 OSB'lerde Atıksu Yönetimi 43

1.6 Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (KOSB) 45

1.6.1 KOSB Atıksu Arıtma Tesisi 48

2. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

2.1 Laboratuvar Ölçekli Membran Biyoreaktör (MBR) 49

2.1.1 Membran Modüllerinin Hazırlanması 54

2.2 Membran Filtrasyon Düzeneği 55

2.3 Kullanılan Membranlar 57

2.4 Analiz Yöntemleri 59

2.5 Membran Görüntüleme (Otopsi) 62

2.6 Deneysel Tasarım 62

2.6.1 MBR Çalışmaları 63

2.6.2 AAT Çıkış Suyunun Laboratuvar Ölçeğinde Basınçlı Filtrasyon Sistemiyle Arıtılması 65

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 KOSB Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) Çıkış Sularının Membran Filtrasyonla Geri Kazanımı 67

3.1.1 KOSB AAT Çıkış Sularının UF Membranlarıyla Arıtılması 67

3.1.2 KOSB AAT Çıkış Sularının NF ve RO Membranlarıyla Arıtılması.....71

3.1.3 UF Membranlarının İncelenmesi 78

3.1.4 KOSB AAT Çıkış Sularının Membran Filtrasyon Sistemleriyle Yeniden Kullanım Seçeneklerinin Oluşturulması.....85

3.1.5 UF sonrası RO Membranlarının İncelenmesi 89

3.2 KOSB Atıksularının Membran Biyoreaktör ile Geri Kazanımı 95

3.2.1 Kesikli Filtrasyon Çalışmaları 95

3.2.2 Membran Biyoreaktörde Membran Modüllerinin İşletilmesi.....114

3.2.3. MBR'de İşletilen MF Modülü Çıkış Suyunun NF/RO Sonuçları.....119

3.2.4 MBR'de İşletilen UF Modülü Çıkış Suyunun NF/RO Sonuçları 122

3.2.5 KOSB Atıksularının Membran Biyoreaktör Sistemiyle Yeniden Kullanım Seçeneklerinin Oluşturulması.....125

3.2.6 MBR Sonrası RO Membranlarının İncelenmesi.....128

3.3 Mikrokirletici Sonuçları 135

3.4 MBR ve AAT'lerde Maliyet Karşılaştırması.....142

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR 148

ÖZGEÇMİŞ.....160

KISALTMALAR VE SİMGELER

Kısaltma	Anlamı
OSB:	Organize sanayi bölgesi
MBR:	Membran biyoreaktör
AAT:	Atıksu arıtma tesisi
UF:	Ultrafiltrasyon
MF:	Mikrofiltrasyon
NF:	Nanofiltrasyon
RO:	Ters ozmoz (Reverse osmosis)
UV:	Ultraviyole
MWCO:	Moleküler ağırlık engelleme sınırı (molecular weight cutoff)
HF:	İnce boşluklu (hollow fiber)
SW:	Spiral sargılı (spiral wound)
PVDF:	Polivinilidin florür
PES:	Polieter sülfon
PP:	Polipropilen
PE:	Polietilen
PTFE:	Politetrafloro etilen
HRT:	Hidrolik bekletme süresi (hydraulic retention time)
MLSS:	Reaktördeki askıda katı madde konsantrasyonu (mixed liquor suspended solids)
LMH:	L/m^2.sa, Akı
TMP:	Membrandaki basınç (transmembran pressure)
SMP:	Çözünebilen mikrobiyal ürünler (soluble microbial products)
EPS:	Hücredışı polimerik besinler (extracellular polymeric substrates)

PAC:	Toz aktif karbon (powdered activated carbon)
SRT:	Çamur yaşı (sludge retention time)
F/M:	Besin/mikroorganizma (food to microorganism ratio)
DOM:	Doğal organik madde
OLR:	Organik yükleme hızı (organic loading rate)
DO:	Çözünmüş oksijen (dissolved oxygen)
SVI:	çamur hacim indeksi (sludge volume index)
PN/PS:	protein/polisakkarit (proteins to polysaccharides ratio)
QS:	Quarum sensing
FS:	Düz plaka (flat sheet)
BOİ:	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
KOİ:	Kimyasal oksijen ihtiyacı
IR:	İçsel geri devir (internal recycle)
TN:	Toplam azot
PPCP:	Farmasötik ve kişisel bakım ürünü (pharmaceuticals and personal care product)
PAH:	Polisiklik aromatik hidrokarbon (polycyclic aromatic hydrocarbons)
BPA:	Bisfenol-A (bisphenol-A)
PCB:	Poliklorlu bifeniller (polychlorinated biphenyls)
TCS:	Triklosan (Triclosan)
PVC:	Polivinil klorür (polyvinyl chloride)
DMP:	Dimetilfitalat
DEP:	Dietilfitalat
BBP:	Benzilbütil fitalat
TBMM:	Türkiye büyük millet meclisi

TDİ:	Tarıma dayalı ihtisas
TÜİK:	Türkiye istatistik kurumu
ORP:	oksidasyon indirgenme potansiyeli (oxidation reduction potential)
PLC:	Programlanabilir mantık kontrolü (programmable logic control)
PA:	Poliamid
EC:	Elektriksel iletkenlik (electrical conductivity)
NTU:	Nefelometrik bulanıklık birimi (nephelometric turbidity unit)
SEM:	Taramalı electron mikroskobu (Scanning electron microscope)
EDS:	Enerji dağılım X-ray spektroskopisi (energy dispersive X-ray spectroscopy)
CLSM:	Eşodaklı lazer tarama mikroskobu (Confocal laser scanning microscopy)
KAÇ:	Klasik aktif çamur

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Sürücü kuvvetlerine göre membranlar 7

Tablo 1.2. Farklı tıkanma faktörlerine göre tıkanmanın kontrol stretejileri 18

Tablo 1.3. MBR'lerin biyotıkanmasına etki eden faktörler 19

Tablo 1.4. EPS'lerin üretimiyle çeşitli değişkenlerin ilişkileri 20

Tablo 1.5. Son 10 yılda yapılan laboratuvar ölçekli önemli MBR çalışmaları 24

Tablo 1.6. Son 10 yılda yapılan pilot ölçekli önemli MBR çalışmaları 28

Tablo 1.7. OSB'ler için oluşturulan çevre yönetim sistemi özet tablosu 40

Tablo 1.8. Büyük ölçekli bazı OSB'lerin çevre yönetim sistemleri 42

Tablo 1.9. KOSB AAT temel özellikleri 48

Tablo 2.1. MBR otomasyon işletme şartları 52

Tablo 2.2. Filtrasyon sisteminin teknik özellikleri 56

Tablo 2.3. MF ve UF membranlarının özellikleri 58

Tablo 2.4. NF membranlarının özellikleri. PA: poliamid, PVDF: polivinilidin florür, Da: Dalton 58

Tablo 2.5. RO membranlarının özellikleri 58

Tablo 2.6. Ölçümü yapılan mikrokirleticiler 61

Tablo 2.7. MBR işletme koşulları 64

Tablo 2.8. UF membranı ile elde edilen süzüntünün NF ve RO membranları ile işletim prosedürü 66

Tablo 3.1. UF filtrasyonları sonrası süzüntü suyu kaliteleri 68

Tablo 3.2. UF 4Da sonrası NF ve RO filtrasyon denemeleri analiz sonuçları 73

Tablo 3.3. UF 10kDa sonrası NF ve RO filtrasyon denemeleri analiz sonuçları 75

Tablo 3.4. UF 250kDa sonrası NF ve RO filtrasyon denemeleri analiz sonuçları 78

Tablo 3.5. AAT çıkış suyunda membran çiftlerinin performansı 87

Tablo 3.6. AAT çıkış suyu için geri kazanım alternatifleri 88

Tablo 3.7. AAT çıkış sularında yapılan tekrar çalışmaları 88

Tablo 3.8. Kesikli MBR çalışmaları sonrası elde edilen süzüntü analiz sonuçları 96

Tablo 3.9. Kesikli MBR filtrasyon çalışmaları sonunda bulunan direnç değerleri..... 97

Tablo 3.10. MBR işletilen modüllerin performansı 115

Tablo 3.11. MBR'de işletilen modüllerin çıkış suyu karakterizasyonları 115

Tablo 3.12. MBR-MF çıkışı sonrası NF ve RO filtrasyon denemeleri analiz sonuçları 121

Tablo 3.13. UF modülün çıkış suyundan yapılan NF ve RO çalışmaları 124

Tablo 3.14. MBR'de membran çiftlerinin performansı 126

Tablo 3.15. MBR çalışmaları için geri kazanım alternatifleri 127

Tablo 3.16. MBR çıkış sularında yapılan tekrar çalışmaları..... 127

Tablo 3.17. MBR'de UF 10 kDa membranı işletmede iken mikrokirletici ölçüm sonuçları (ng/L)..... 137

Tablo 3.18. MBR'de MF membranı işletmede iken mikrokirletici ölçüm sonuçları (ng/L)..... 138

Tablo 3.19. MBR'de UF membranı işletmede iken mikrokirletici ölçüm sonuçları 139

Tablo 3.20. MBR ve AAT'deki ortalama mikrokirletici konsantrasyonları..... 140

Tablo 3.21. MBR ve AAT'de mikrokirleticilerin verim karşılaştırması 141

Tablo 3.22. MBR ve KAÇ sistemlerinin karşılaştırılmasında uygulanan senaryolar ... 142

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünya su kıtlığı haritası 3

Şekil 1.2. Membran kavramı ve özellikleri 6

Şekil 1.3. Gözenek boyutlarına göre ayırma proseslerine ait uygulama ölçeği 6

Şekil 1.4. İnce boşluklu membran ve örnek bir modül 8

Şekil 1.5. Düz plaka membran ve modülü 8

Şekil 1.6. Spiral sargılı membran modülü 8

Şekil 1.7. MBR'lerde çeşitli konfigürasyonlarda membranların üretildikleri malzemelere göre karşılaştırılmaları 9

Şekil 1.8. Sonlu ve çapraz akışlı membran filtrasyonu 9

Şekil 1.9. Çapraz akışlı bir membran sisteminin akım şeması 10

Şekil 1.10. Sonlu bir membran filtrasyon sisteminin akım şeması 10

Şekil 1.11. Batık ve Harici MBR 11

Şekil 1.12. Endüstrilerde MBR'lerle ilgili yapılan yayın sayıları 12

Şekil 1.13. Bir UF membranında yüzey tıkanması 13

Şekil 1.14. Gözenekli membranlarda tıkanma türleri 14

Şekil 1.15. Membranda tıkanma şekilleri; a) gözenek tıkanması, b) kek tabakası 14

Şekil 1.16. Temizleme şekline göre tıkanma türleri 15

Şekil 1.17. Kritik akının deneysel olarak belirlenmesi 16

Şekil 1.18.Tıkanmaya etki eden faktörler ve kontrol stratejileri 17

Şekil 1.19. Membran uygulamalarına göre MLSS değişimleri 22

Şekil 1.20. Türkiye'deki OSB'lerin türlere göre dağılımı 38

Şekil 1.21. Türkiye'de bölgelere göre OSB sayıları 39

Şekil 1.22. Bazı küçük ölçekli OSB'ler için çevre yönetim sistemi ekran görüntüsü 40

Şekil 1.23. Bazı küçük ölçekli OSB'ler için çevre yönetim sistemi ekran görüntüleri 41

Şekil 1.24. OSB'lerde çevresel harcamalar 43

Şekil 1.25. Bölgelere göre OSB'lerde su tüketim miktarları 44
Şekil 1.26. Türkiye'nin 12 aylık kuraklık haritası 45
Şekil 1.27. Kayseri organize sanayi bölgesinin konumu 46
Şekil 1.28. Kayseri organize sanayi bölgesi kuş bakışı görünümü 46
Şekil 1.29. Kayseri OSB: sektörlere göre dağılım 47
Şekil 1.30. Kayseri OSB: atıksu oluşturma oranlarına göre dağılım 47
Şekil 1.31. Kayseri OSB AAT akım şeması 48
Şekil 2.1. Membran biyoreaktör 49
Şekil 2.2. Laboratuvar ölçekli MBR sistemi genel görünümü 50
Şekil 2.3. MBR SCADA sistemi 51
Şekil 2.4. MBR sistemi akım şeması 52
Şekil 2.5. İşletme parametreleri kontrol ekranı 53
Şekil 2.6. Membran modülünün hazırlanışı 55
Şekil 2.7. Membran filtrasyon düzeneği 56
Şekil 2.8. Azot gazı regülatörleri 57
Şekil 2.9. Kesikli MBR çalışmaları için izlenen prosedür 63
Şekil 2.10. AAT çıkış suyu için uygulama prosedürü (UF 10 kDa) 65
Şekil 2.11. AAT çıkış suyu için uygulama prosedürü (UF 4 kDa) 65
Şekil 2.12. AAT çıkış suyu için uygulama prosedürü (UF 250 kDa) 65
Şekil 3.1. Farklı UF türlerinden süzülen ATT çıkış sularının akı zaman grafiği 68
Şekil 3.2. UF filtrasyonlarının TM610 membranına etkisi 69
Şekil 3.3. UF filtrasyonlarının NF90 membranına etkisi 69
Şekil 3.4. UF filtrasyonlarının NF270 membranına etkisi 69
Şekil 3.5. UF filtrasyonlarının XLE membranına etkisi 70
Şekil 3.6. UF filtrasyonlarının GE membranına etkisi 70
Şekil 3.7. UF filtrasyonlarının BW30 membranına etkisi 70
Şekil 3.8. AAT çıkış suyunun UF 4 kDa sonrası NF filtrasyon sonuçları 71

Şekil 3.9. AAT çıkış suyunun UF 4 kDa sonrası RO filtrasyon sonuçları 72

Şekil 3.10. AAT çıkış suyunun UF 4 kDa sonrası NF ve RO filtrasyon sonuçları..... 72

Şekil 3.11. AAT-UF sonrası NF çalışma sonuçları 74

Şekil 3.12. AAT-UF sonrası RO çalışma sonuçları 74

Şekil 3.13. NF ve RO çalışma sonuçları 75

Şekil 3.14. AAT-UF 250 kDa sonrası NF çalışması sonuçları 76

Şekil 3.15. AAT-UF 250 kDa sonrası RO çalışması sonuçları..... 77

Şekil 3.16. AAT-UF 250 kDa sonrası NF ve RO çalışma sonuçları..... 77

Şekil 3.17. UF 4 kDa membranı için SEM görüntüleri..... 79

Şekil 3.18. UF 10 kDa membranı için SEM görüntüleri..... 80

Şekil 3.19. UF 250 kDa membranı için SEM görüntüleri..... 81

Şekil 3.20. UF 4 kDa membranı için SEM-EDS analiz sonucu..... 83

Şekil 3.21. UF 10 kDa membranı için SEM-EDS analiz sonucu..... 83

Şekil 3.22. UF 250 kDa membranı için SEM-EDS analiz sonucu 84

Şekil 3.23. UF membranları için CLSM görüntüleri. Yukarıdan aşağıya; UF 4 kDa, UF 10 kDa ve UF 250 kDa. Soldaki resimler yüzeysel görüntüler, sağdaki resimler kesit görüntüleridir..... 85

Şekil 3.24. AAT çıkış suyunda eleme kriterlerine göre yapılan değerlendirme 87

Şekil 3.25. AAT-UF 4 kDa sonrası GE membranının SEM görüntüleri 90

Şekil 3.26. AAT-UF 250 kDa sonrası XLE membranının SEM görüntüleri..... 91

Şekil 3.27. AAT-UF 250 kDa sonrası GE membranının SEM görüntüleri 92

Şekil 3.28. UF 4 kDa sonrası GE membranının SEM-EDS analiz sonucu..... 93

Şekil 3.29. UF 250 kDa sonrası XLE membranının SEM-EDS analiz sonucu 93

Şekil 3.30. UF 250 kDa sonrası GE membranının SEM-EDS analiz sonucu..... 94

Şekil 3.31. AAT çıkışında UF arıtımı sonrası RO membranlarının CLSM görüntüleri. Yukarıdan aşağıya; UF 4 kDa sonrası GE, UF 250 kDa sonrası XLE, UF 250 kDa sonrası GE membranı. Soldaki görüntüler yüzeysel, sağdaki görüntüler kesit görüntüleridir..... 95

Şekil 3.32. Membran dirençleri..... 96

Şekil 3.33. Toplam dirençler 97
Şekil 3.34. Membranların por dirençleri 98
Şekil 3.35. Membranların kek dirençleri 98
Şekil 3.36. MP005 membranı saf su akı-zaman grafiği 99
Şekil 3.37. MP005 membranı saf su basınç zaman grafiği 99
Şekil 3.38. MP005 membranı MBR akı-zaman grafiği 100
Şekil 3.39. MP005 membranı MBR basınç zaman grafiği 100
Şekil 3.40. MP005 membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği 100
Şekil 3.41. MP005 membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği 101
Şekil 3.42. MF membranı saf su akı-zaman grafiği 101
Şekil 3.43. MF membranı saf su basınç zaman grafiği 102
Şekil 3.44. MF membranı MBR akı-zaman grafiği 102
Şekil 3.45. MF membranı MBR basınç zaman grafiği 103
Şekil 3.46. MF membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği 103
Şekil 3.47. MF membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği 103
Şekil 3.48. MV02 membranı saf su akı-zaman grafiği 104
Şekil 3.49. MV02 membranı saf su basınç zaman grafiği 104
Şekil 3.50. MV02 membranı MBR akı-zaman grafiği 105
Şekil 3.51. MV02 membranı MBR basınç zaman grafiği 105
Şekil 3.52. MV02 membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği 105
Şekil 3.53. MV02 membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği 106
Şekil 3.54. UF 4 kDa membranı saf su akı-zaman grafiği 106
Şekil 3.55. UF 4 kDa membranı saf su basınç zaman grafiği 107
Şekil 3.56. UF 4 kDa membranı MBR akı-zaman grafiği 107
Şekil 3.57. UF 4 kDa membranı MBR basınç zaman grafiği 108
Şekil 3.58. UF 4 kDa membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği 108
Şekil 3.59. UF 4 kDa membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği 108

Şekil 3.60. UF 10 kDa membranı saf su akı-zaman grafiği 109
Şekil 3.61. UF 10 kDa membranı saf su basınç zaman grafiği 109
Şekil 3.62. UF 10 kDa membranı MBR akı-zaman grafiği 110
Şekil 3.63. UF 10 kDa membranı MBR basınç zaman grafiği 110
Şekil 3.64. UF 10 kDa membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği 110
Şekil 3.65. UF 10 kDa membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği 111
Şekil 3.66. UF 250kDa membranı saf su akı-zaman grafiği 111
Şekil 3.67. UF 250kDa membranı saf su basınç zaman grafiği 112
Şekil 3.68. UF 250kDa membranı MBR akı-zaman grafiği 112
Şekil 3.69. UF 250kDa membranı MBR basınç zaman grafiği 112
Şekil 3.70. UF 250kDa membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği 113
Şekil 3.71. UF 250 kDa membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği 113
Şekil 3.72. UF 250 kDa membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği 113
Şekil 3.73. Saf su akısı deneme çalışmaları 114
Şekil 3.74. MBR işletimi sonrası membran modülünden bir görünüm 114
Şekil 3.75. MF modülünün akı-basınç performansı 116
Şekil 3.76. MF modüllerinden bir görünüm 116
Şekil 3.77. MF modülü giriş ve çıkış KOİ değişimleri 117
Şekil 3.78. MF modülü MLSS değişimi 117
Şekil 3.79. UF modülünün akı-basınç performansı 118
Şekil 3.80. UF modülünde çeşitli tıkanma görüntüleri 118
Şekil 3.81. UF modülü giriş ve çıkış KOİ değişimleri 119
Şekil 3.82. UF modülü MLSS değişimi 119
Şekil 3.83. MBR-MF çıkışı- NF basınç-akı grafiği 120
Şekil 3.84. MBR-MF çıkışı - RO basınç-akı grafiği 120
Şekil 3.85. MBR- MF çıkışı - NF ve RO basınç-akı grafiği 121
Şekil 3.86. MBR-UF çıkış NF basınç-akı grafiği 122

Şekil 3.87. MBR-UF çıkış RO basınç-akı grafiği 123

Şekil 3.88. MBR-UF çıkış NF ve RO basınç-akı grafiği 123

Şekil 3.89. NF90 membranının farklı MBR membranlarındaki performansları..... 124

Şekil 3.90. MBR'de eleme kriterlerine göre yapılan değerlendirme 127

Şekil 3.91. MBR'de işletilen MF membranı sonrası XLE membranının SEM görüntüleri 129

Şekil 3.92. MBR'de işletilen UF membranı sonrası XLE membranının SEM görüntüleri 130

Şekil 3.93. MBR'de işletilen UF membranı sonrası GE membranının SEM görüntüleri 131

Şekil 3.94. MBR-MF sonrası XLE membranı SEM-EDS analiz sonucu 132

Şekil 3.95. MBR-UF sonrası XLE membranı SEM-EDS analiz sonucu 133

Şekil 3.96. MBR-UF sonrası GE membranı SEM-EDS analiz sonucu 133

Şekil 3.97. MBR sonrası işletilen RO membranları, yukarıdan aşağıya MF-XLE, UF-XLE, UF-GE. Soldaki görüntüler yüzeysel, Sağdaki görüntüler kesit görüntüleridir. . 134

Şekil 3.98. Klasik aktif çamur sistemi ile MBR'nin yatırım maliyetleri karşılaştırması 143

Şekil 3.99. Klasik aktif çamur sistemi ile MBR'nin işletme maliyetleri karşılaştırması 144

Şekil 3.100. Klasik aktif çamur sistemi ile MBR'nin 20 yıllık işletme maliyeti projeksiyonu 144

Şekil 3.101. Evsel AAT'de MBR ve KAÇ yatırım maliyeti karşılaştırması 145

Şekil 3.102. Evsel AAT'de MBR ve KAÇ enerji karşılaştırması 145

GİRİŞ

Bu tez çalışması, Organize Sanayi Bölgesi (OSB) atıksularının membranlı arıtma sistemleriyle yeniden kullanılabilirliği açısından yapılan laboratuvar çalışmalarını kapsamaktadır.

Su stresi yaşayan bir ülke olarak Türkiye'de endüstriyel atıksuların yeniden kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Bu tez çalışması, OSB atıksularının yeniden kullanılabilmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla, laboratuvar ölçekli olarak Kayseri OSB atıksularının hem ham şeklinin, hem de mevcut arıtma tesisi çıkış sularının membranlı arıtma sistemleriyle arıtma performansları ve yeniden kullanılabilirliği karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın birinci bölümünde tezin motivasyonu olan su kıtlığı ve geri kazanımın önemi açıklanarak tezin temel literatür bilgisini oluşturan membranlı arıtma sistemlerinden, atıksuyun geri kazanımından, mikrokirleticilerden ve organize sanayi bölgelerinden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde ise kullanılan malzemeler, deneysel tasarım ve analiz yöntemleri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde deneysel çalışma sonuçları ve tartışma kısmı yer almaktadır. Burada OSB atıksularının membranlı sistemlerde arıtımı için yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Membran biyoreaktör (MBR) ile OSB atıksularının arıtılması kısmı farklı bir tezin konusunu oluşturduğu için o bölüm kısa tutularak bu tezin amacı olan yeniden kullanım açısından incelemeye devam edilmiştir.

Dördüncü ve son bölümde ise yeniden kullanım seçeneklerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. En uygun membranların belirlenmesi için analiz yöntemlerinden, membran akılarından ve mikrobiyolojik görüntüleme tekniklerinden yararlanılmıştır. Son olarak mikrokirleticilerin OSB'lerdeki akıbetinden bahsedilmiştir.

Tez içeriğinde güncel literatürde kullanılan kısaltmalar hem çalışmadan yararlanacak bilim insanlarının okuma kolaylığı düşünülerek hem de herkesin anlayabilmesi için önce bilinen Türkçe isimleriyle, sonra parantez içinde İngilizce açılımıyla, son olarak da İngilizce kısaltmasıyla yazılmıştır.

1. BÖLÜM

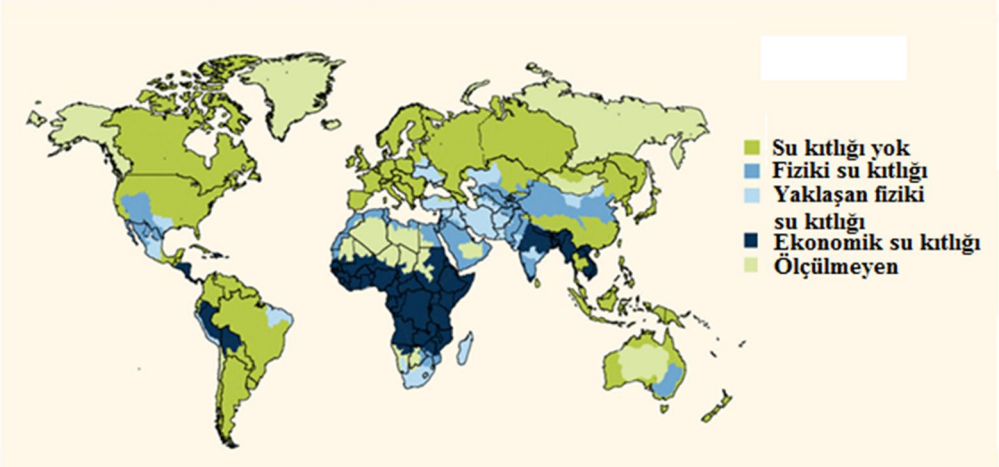
GENEL BİLGİLER

1.1 Su Kıtlığı ve Geri Kazanımın Önemi

İnsanlık tarihi boyunca atıksuların arıtılması ve yönetimi son yüzyıldaki kadar önem görmemiştir [1]. Sanayileşmenin artmasıyla tatlı su kaynaklarının pervasız kullanımı su kaynaklarını doğru kullanmanın ve geri kazanımın önemini artırmıştır. Su yönetiminin önemi de tam da bu aşamada ortaya çıkmıştır. Hem su gibi doğal kaynakların kullanımı hem de hızlı sanayileşme ve iklim değişimini dolayısıyla da sıcaklık artışlarını ve uç meteorolojik olay sayısındaki artışları da beraberinde getirmiştir. Atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı özellikle tatlı su kaynakları kısıtlanan, azalan ve gelecekte de azalması öngörülen, kurak, yarı kurak ya da su stresi yaşayan ülkeler için önem kazanmıştır.

Dünyada tatlı su kaynağı mevcut su varlığının yalnızca % 2,5'idir. Bunun da sadece %1'i erişilebilir su kaynağıdır. Birleşmiş milletlerin raporlarına göre Türkiye de yaklaşan su kıtlığının tehdidi altındadır [2]. Su kıtlığı, nüfus ve su miktarı ile ilişkilidir. Kişi başına düşen yıllık su miktarı 1700 m^3'ün altında ise su stresi, 1000 m^3'ün alında ise su kıtlığı yaşanmasına neden olur. Ayrıca, 2050 yılına kadar 2 ila 7 milyar insanın su kıtlığı çekeceği öngörülmektedir (Şekil 1.1).

Suların arıtılması, geri kazanımı ve yeniden kullanımı son yüzyılda büyük bir hızla evrilmiş olup yeni teknolojilerin önündeki engeller (maliyet gibi) de hızla ortadan kalkmaktadır. Kirleticilerin sulardan ayrılması için geleneksel ve modern birçok teknik mevcuttur. Bunlardan hangi prosesin daha uygun (yatırım, işletme maliyetleri ve dayanıklılık vb. açılardan) olduğuna karar verilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.1. Dünya su kıtlığı haritası

1.1.1 Atıksuların Arıtılmasında Ayırma İşlemleri

Ayırma işlemlerinin gelişiminde; enerji verimliliği, sürdürülebilirlik, çevresel güvenlik ve ekonomi parametreleri büyük rol oynamıştır [3]. Her bir proses spesifik bir atıksu için en ileri teknoloji olabilmektedir. Benzer şekilde, en eski teknoloji bir ön arıtma için seçenekler arasında değerlendirilebilmektedir. Bu yüzden, ayırma işlemlerini gözden geçirmekte fayda bulunmaktadır.

- Koagülasyon-flokülasyon

Sularda çökemeyen, askıdaki kolloidlerin daha büyük floklar haline gelerek çökebilmesi için uygulanan kimyasal eklemeli bir işlemdir. Koagülasyon, kolloidin kimyasal ile birleşerek yumaklaşması hızlı karıştırma ile, flokülasyon ise oluşan yumakların daha büyük floklar haline yavaş karıştırma ile gelmesi işlemine denir.

- Adsorpsiyon

Sularda giderilmesi istenen kirleticinin katı bir adsorbanın özel tutulma mekanizmaları ile tutularak suyun arıtılması sağlanır. İnorganik (zeolit vb.) ve organik (aktif karbon vb.) adsorbanlar atıksuların arıtılmasında sıklıkla kullanılmaktadır.

- İyon değişimi

Daha çok sert suların yumuşatılmasında bir reçine vasıtasıyla iyonik etkileşimlerin gerçekleştirilerek suların arıtılması sağlanır.

- Membranlar

Konvansiyonel olarak mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF) ve nanofiltrasyon (NF) seviyeleri ile ters ozmoz (RO) ile ayırma işleminin gerçekleştiği membran sistemleri mevcuttur. Diyaliz, elektrodiyaliz, pervaporasyon, membran distilasyon, membran biyoreaktör (MBR), sıvı membranlar ile hibrit membran prosesler de son yıllarla gelişen membranlı ayırma prosesleridir. Temel olarak farklı malzemelerden (seramik, kompozit vb.) oluşan tabakalar yardımıyla suyun geçişinin sağlandığı bir ayırma prosesidir. Bu tez çalışmasının konusu olması itibariyle ilerleyen bölümlerde detaylı incelenecektir.

- Kavitasyon

Organik maddelerin parçalanması için aşırı şartların (hidrodinamik, sonokimyasal ya da akustik) oluşturularak hidroksil radikalleri yardımıyla giderimin sağlandığı bir ayırma prosesidir.

- İleri oksidasyon prosesleri

Hidroksil radikalleriyle oksidasyon sağlanan birçok proses mevcuttur. Fenton (H_2O_2/Fe^{+2}) ayırma işlemi, O_3 oksidasyonu, hidrodinamik ve akustik kavitasyon, homojen ultraviyole (UV) irradyasyonu, yarı-iletkenlerle heterojen fotokataliz ve diğer elektrokimyasal yöntemler bunlardan birkaçıdır. Genellikle, koku, renk ve bozunamayan organik bileşiklerin oksidasyonu için kullanılan bu yöntemlerin yüksek maliyetli olduğu bilinmektedir.

- Biyolojik arıtma

Biyolojik arıtma; aerobik, anaerobik ve bu ikisinin birleşiminden oluşan sistemlerle yapılmaktadır. Havalandırmalı (aerobik) sistemler mikroorganizmaların organik maddeleri sudan alarak son ürünlere dönüştürmesi yoluyla yapılmaktadır. Aktif çamur olarak adlandırılan arıtma yapan mikroorganizmalar için uygun ortamın sağlanması ve arıtım sağlandıktan sonra arıtılan suyun alınması gerekmektedir. Bu sistemlerde fazla çamurun da düzenli olarak uzaklaştırılması gerekmektedir.

Havasız (Anaerobik) arıtma ise bu ortama uyum sağlayan anaerobik mikroorganizmalar yardımıyla aerobik sistemlere benzer şekilde uygulanmaktadır. Daha az çamurun üretildiği bu sistemler aerobik sistemlere göre daha hassas işletme şartları gerektirmektedir.

Büyüme kinetiklerinin ve sistem dinamiklerinin birbiriyle etkileşim halinde olduğu bu sistemlerde kritik parametrelerin (pH, sıcaklık, çamur yaşı vb.) kontrol altında tutulması gerekmektedir.

- Hibrit ayırma sistemleri

Bu sistemlerde ise konvansiyonel sistemlerle ileri arıtma proseslerinin birlikte uygulanarak daha bütünleşik ve verimli sistemlerin kurulması sağlanmaktadır. Bu sayede, yüksek kalitede su eldesi, daha düşük maliyetler ve kirlilik kontrolüne daha entegre sistemler oluşturulmaktadır.

1.2 Membranlı Arıtma Sistemleri

Bu bölümde membran malzemelerin kısa bir tanımı, çalışma prensibi ve bu membranların farklı tiplerde kullanımı ele alınmıştır. Ayrıca, membranlı arıtma sistemlerinden en önemli olanı, membran biyoreaktörlerle ilgili gelinen son durum, avantajlar ve dezavantajlar ele alınmıştır.

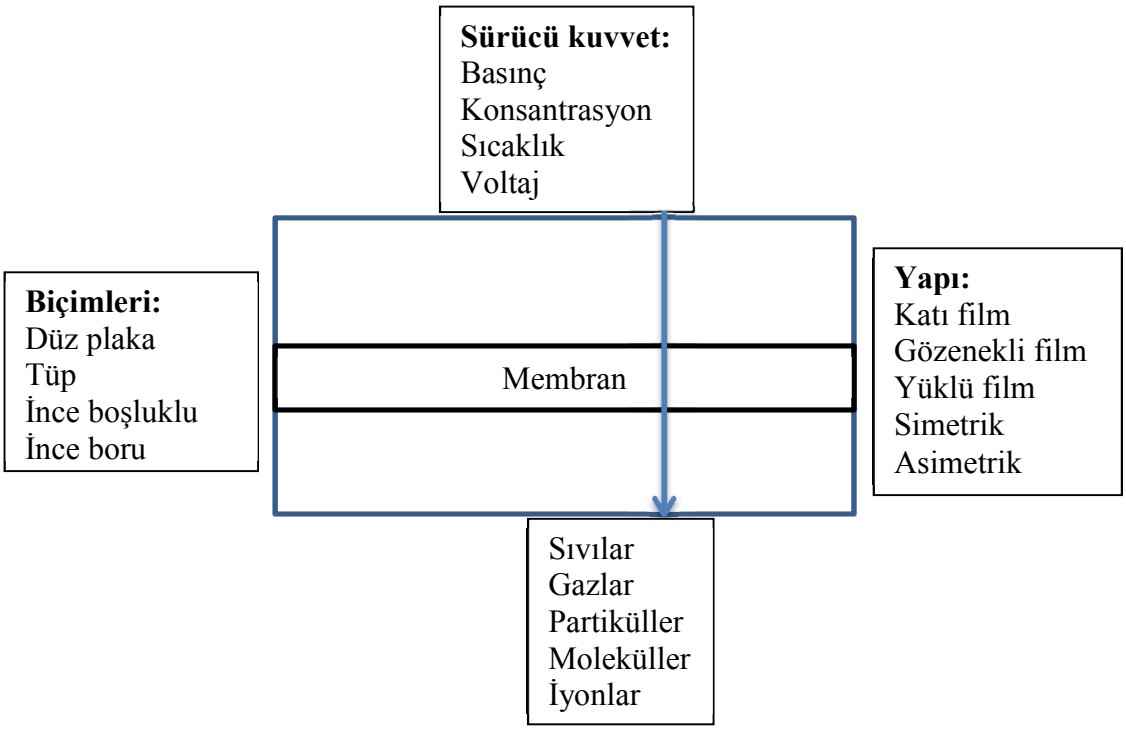
1.2.1 Membranlar ve Membran Sistemleri

Membran, farklı alanlarda farklı anlamları olmasına rağmen, ayırma ve arıtma alanlarında iki faz arasında bir bariyer vazifesi gören seçici geçirgen bir yapı olarak tanımlanmaktadır [4]. Ayırma teknolojilerinin endüstriyel uygulamalarında membranlı sistemlerin kullanımı ilk olarak 1960'larda görülmüştür [4]. Ancak ilk ozmoz kavramı 1748'de "domuz mesanesindeki suyun süzülmesi" olayıyla ortaya atılmıştır. Ozmotik basınç ve yarı gözenekli membran kavramı ise 1860 – 1880 yılları arasında ortaya konmuştur. Mikrogözenekli membranlardan ise ilk olarak 1907 – 1920 yılları arasında bahsedilmiştir. Günümüzde halen aynı terminolojinin kullanıldığı ters ozmoz (RO), ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) terimleri ise 1970 – 1980'lerde ortaya çıkmıştır [4].

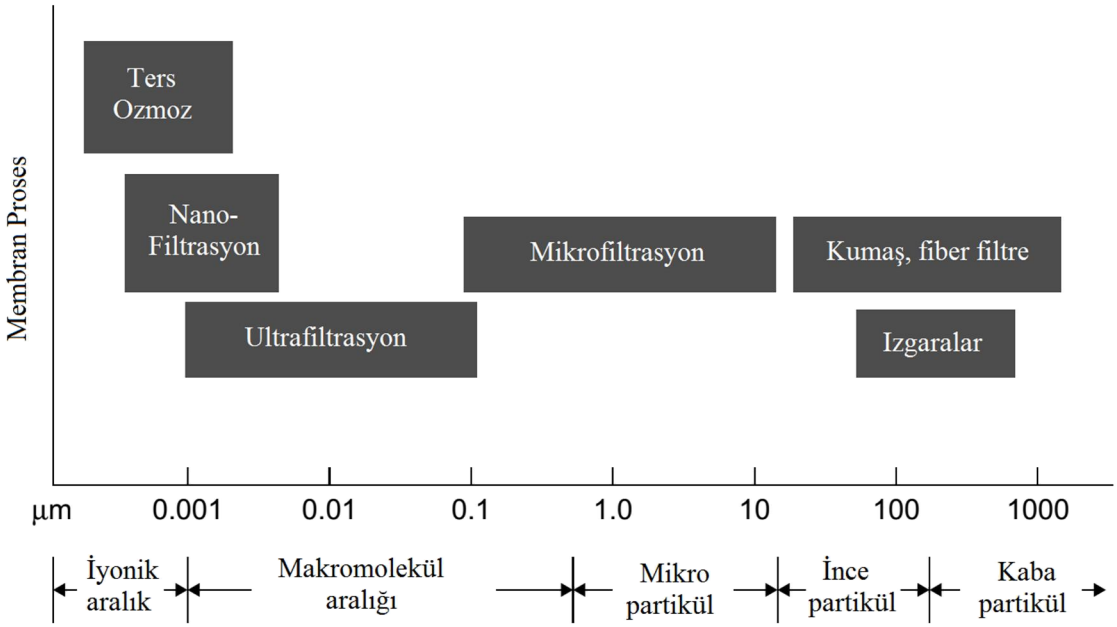
Membranlarda sıvılar genellikle bir sürücü kuvvet vasıtasıyla seçici bir şekilde, farklı membran biçimleriyle ve farklı tip yapılarda ayrılır. Şekil 1.2'de membran kavramı, ayırma işlemi ve membranların bazı özellikleri özetlenmiştir [4].

Membranlar gözenek boyutuna göre isimlendirilmişlerdir. Mikrofiltrasyon (MF) membranları, literatürde farklı gözenek boyutlarından bahsedilse de, 0,1 ile 5 μ gözenek

boyutuna sahiptir [5]. Ultrafiltrasyon (UF) membranları ise 0,001 ile 0,1 µ gözenek boyutuna sahip membranlara verilen isimdir. Diğer ayırma proseslerine ve NF ve RO membranlarına ait uygulama ölçeği ise Şekil 1.3'te verilmiştir [5].



Şekil 1.2. Membran kavramı ve özellikleri



Şekil 1.3. Gözenek boyutlarına göre ayırma proseslerine ait uygulama ölçeği

MF ve UF membranları düşük basınçla işletilebilen membran tipleridir. Mikrofiltrasyonda sudaki partiküllerin elek vazifesi görerek tutulması sağlanmaktadır. Partikül ve mikroorganizma gideriminde %90'ın üzerinde verim elde edilmektedir [5]. UF membranları ise bakteri ve virüs giderimi açısından oldukça başarılıdır. Bu membran türünde gözenek boyutu moleküler ağırlık engelleme sınırı MWCO (molecular weight cutoff) kısaltması ile de ifade edilebilmektedir.

Nanofiltrasyon (NF) ve Ters ozmoz (RO) membranları ise yüksek basınç ile işletilen membran türleridir. Nanofiltrasyonda daha düşük basınç ile daha düşük su kalitesi elde edilirken, ters ozmozda ise daha yüksek basınçta daha iyi su kalitesi elde edilmektedir. NF prosesi ile düşük ve yüksek molekül ağırlıklı organik maddeler tutulurken, RO prosesi ile tek ve çok değerlikli iyonlar dahi tutulabilmektedir. Bu yüzden, RO sistemleri desalinasyon, tuzsuzlaştırma prosesleri olarak da bilinirler. NF prosesi organik maddelerin çoğunu ve tuzluluğun bir kısmını giderebildiği için endüstriyel su geri kazanımı açısından daha sık kullanılmaktadır. RO membranları ise tuzluluk giderimi (% NaCl giderimi) açısından sınıflandırılmaktadır.

MF, UF, NF ve RO membranlarının sürücü kuvvetlerine göre çalışma şartları ve faz ayrımları ile ilgili bilgiler Tablo 1.1'de verilmiştir.

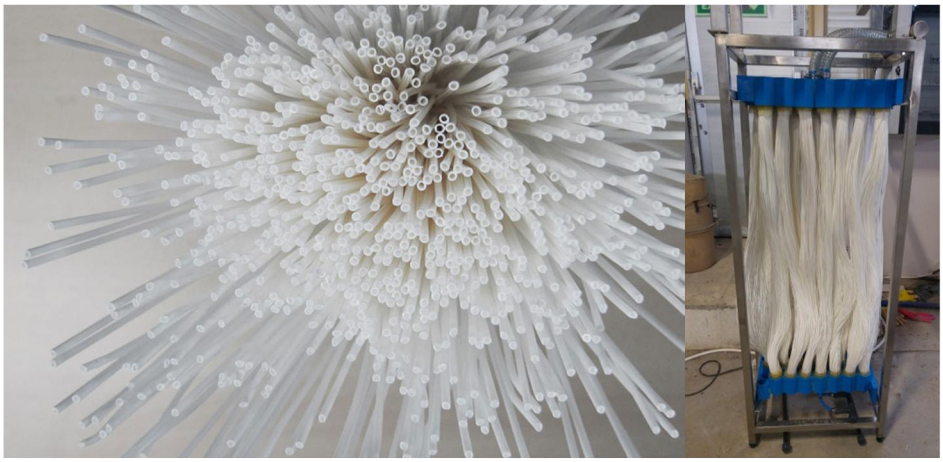
Tablo 1.1. Sürücü kuvvetlerine göre membranlar

Membran Filtrasyonu	**Faz ayrımı**	**Sürücü Kuvvet**
Mikrofiltrasyon (MF)	Sıvı – Katı	Basınç (0,1-3,0 bar)
Ultrafiltrasyon (UF)	Sıvı – Sıvı	Basınç (0,5-10,0 bar)
Nanofiltrasyon (NF)	Sıvı – Sıvı	Basınç (2-40 bar)
Ters Ozmoz (RO)	Sıvı – Sıvı	Basınç (5-70 bar)

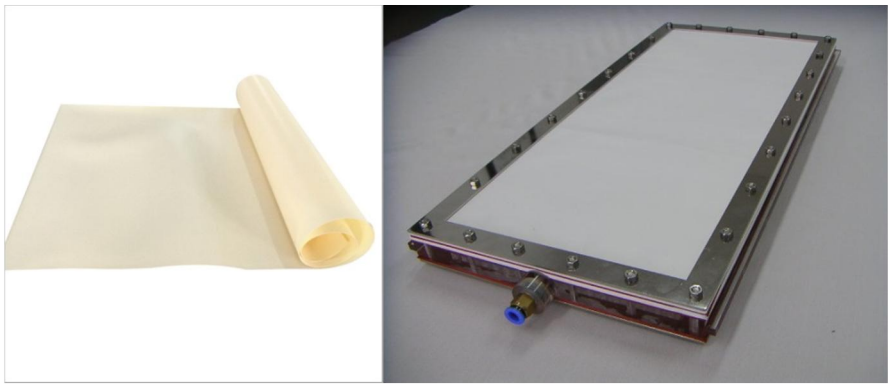
Membranlarda sürücü kuvvet genellikle basınç olmakla beraber, konsantrasyon, sıcaklık ve elektriksel potansiyel farklılıkları da faz ayrımında etkili olabilmektedir. Sürücü kuvvetin basınç ile sağlandığı ticari membranlar modüller halinde temin edilmekle beraber, laboratuvar şartlarında çeşitli tiplerde membran modülü oluşturabilmek de mümkündür.

Modül çeşitleri çoğunlukla plaka ve çerçeve (plate and frame), ince boşluklu (hollow fiber, HF), ve spiral sargılı (spiral wound, SW) şekilde bulunmakla beraber; boru

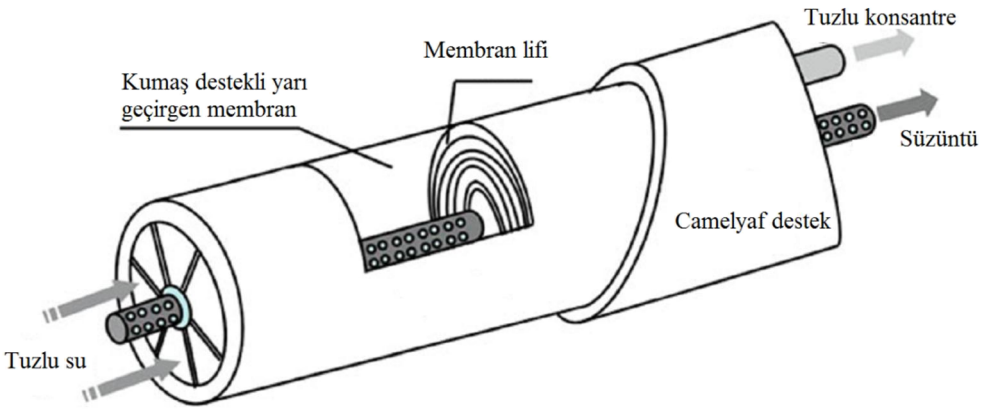
(tubular / multitube) ve kılcal boru (capillary tube) modüller şeklinde de bulunabilmektedir. Filtrasyon, içten dışa (basınç ile) ya da dıştan içe (vakum ile) yapılabilmektedir. İnce boşluklu membran ve modülü Şekil 1.4'te [6], düz plaka membran ve örnek bir modülü Şekil 1.5'te [7], spiral sargılı modül ise Şekil 1.6'da verilmiştir [4].



Şekil 1.4. İnce boşluklu membran ve örnek bir modül

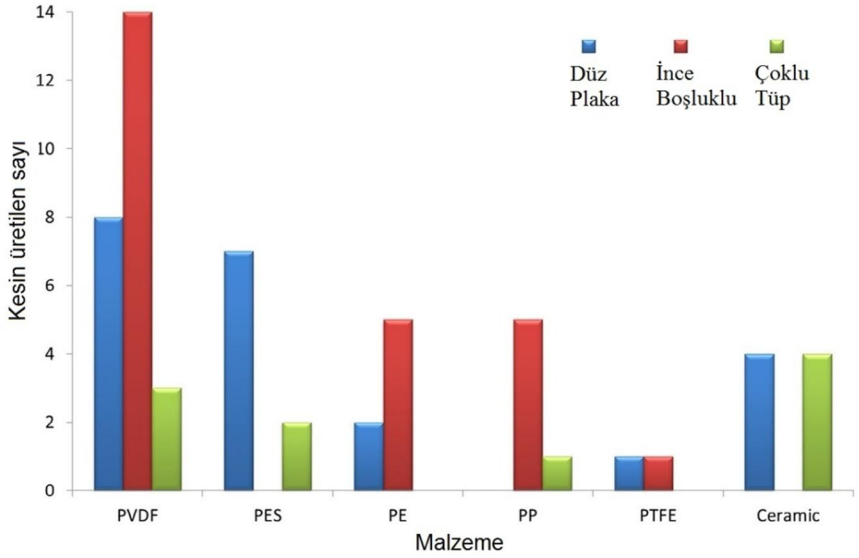


Şekil 1.5. Düz plaka membran ve modülü



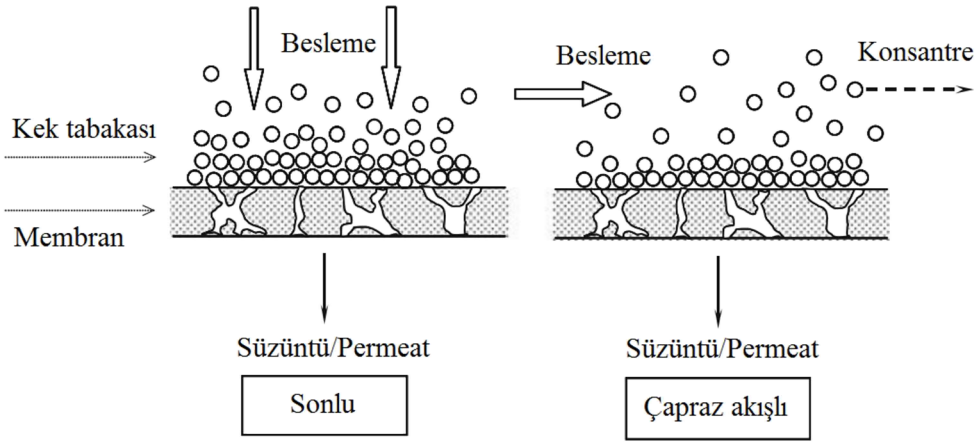
Şekil 1.6. Spiral sargılı membran modülü

Membran sistemlerinde çeşitli konfigürasyonlarda modüller kullanılmakta olup MBR'lerde endüstriyel atıksuların arıtılmasında en çok kullanılan modülün ince boşluklu olduğu Şekil 1.7'de göze çarpmaktadır [8]. Ayrıca, PVDF (polivinilidin florür) malzemesiyle üretilen modüllerin fazlalığı da görülmektedir. Diğer membran malzemelerinin ise PES (polieter sülfon), PE (polietilen), PP (polipropilen), PTFE (politetrafloro etilen) ve seramik türde olduğu bilinmektedir.



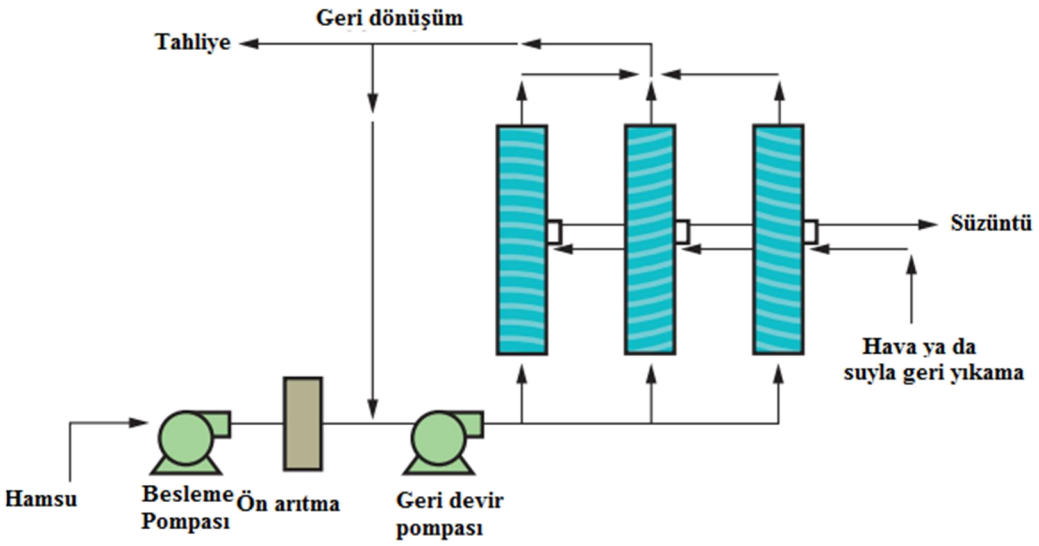
Şekil 1.7. MBR'lerde çeşitli konfigürasyonlarda membranların üretildikleri malzemelere göre karşılaştırılmaları

Membran prosesler filtrasyonun yönüne göre çeşitli biçimlerde tasarlanabilmektedir. Beslemenin membrana dik açıyla yapıldığı filtrasyona sonlu (dead-end), paralel olarak yapıldığı şekline ise çapraz akışlı filtrasyon denilmektedir (Şekil 1.8) [4].

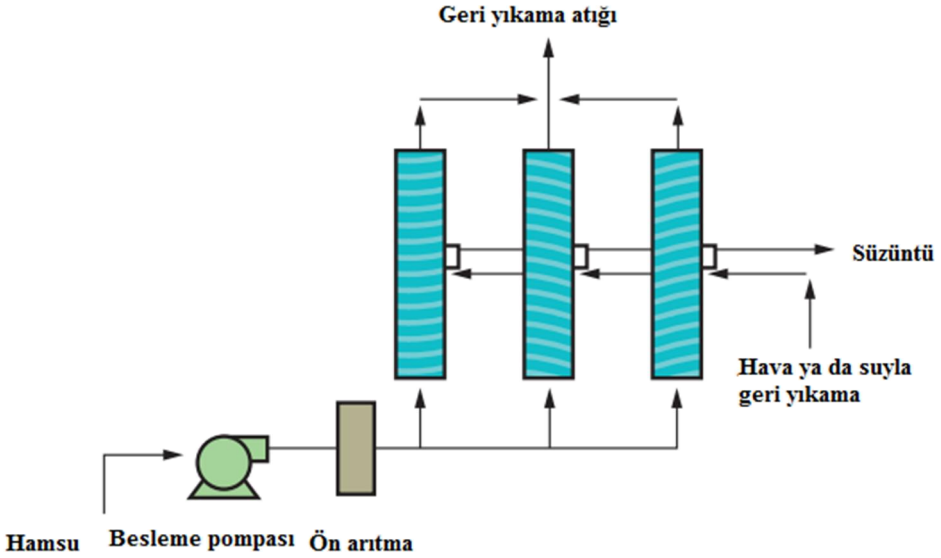


Şekil 1.8. Sonlu ve çapraz akışlı membran filtrasyonu

Çapraz akışlı membranlı bir arıtma sisteminin ana hatları ile akım şeması Şekil 1.9'da verilmiştir [9]. Sonlu filtrasyona ait akım şeması ise Şekil 1.10'da verilmiştir [9].



Şekil 1.9. Çapraz akışlı bir membran sisteminin akım şeması



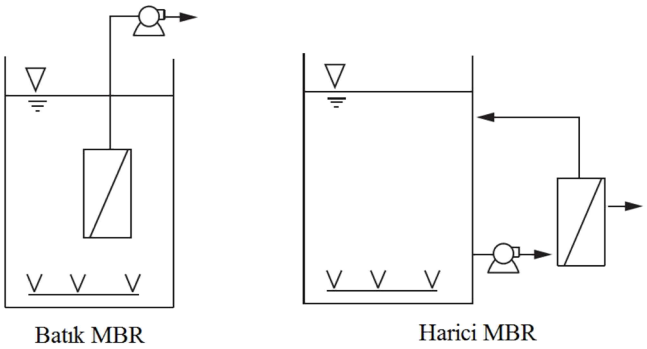
Şekil 1.10. Sonlu bir membran filtrasyon sisteminin akım şeması

1.2.2 Membran Biyoreaktörler

Membran biyoreaktör (MBR), biyolojik sistemlerdeki arıtılan suyun bir membran modülü vasıtasıyla süzüldüğü bir arıtma sistemidir. Klasik bir biyolojik arıtma sisteminde, aktif çamur sistemi ya da anaerobik bir arıtma sistemi, mikroorganizmaların

kirleticileri giderdiği bir tank bulunmaktadır. Bu tanktan sonra kirleticilerden arınan suyun çöktürülmesiyle atıksuyun arıtılması sağlanır. MBR'de ise çöktürme tankı gerekmeksizin arıtılan suyun membrandan filtre edilerek alınması sağlanır. Bu, iki şekilde sağlanabilir. İlki, biyolojik reaksiyonun gerçekleştiği tanka bir membran modülünün yerleştirilmesi ile; ikincisi ise, harici bir tanka membran modülünün yerleştirilmesi ile olur. Çevre mühendisliği terminolojisinde bunlar batık ve harici MBR'lar olarak anılır. Şekil 1.11'de batık ve harici MBR'lerin şematik gösterimi verilmiştir [10].

MBR'lerde çöktürme tankının ortadan kaldırılmasıyla sadece bu tankın alanından tasarruf sağlanmaz. MBR, aktif çamur sistemlerindeki çamur konsantrasyonlarının 2-5 katı kadar çamur ihtiva etme imkanı sağlar. Böylece, havalandırma tankı için gerekli alandan da tasarruf sağlanır.



Şekil 1.11. Batık ve Harici MBR

MBR teknolojisinin 2008 yılında derlendiği bir çalışmada avantajları şöyle sıralanmıştır [11]:

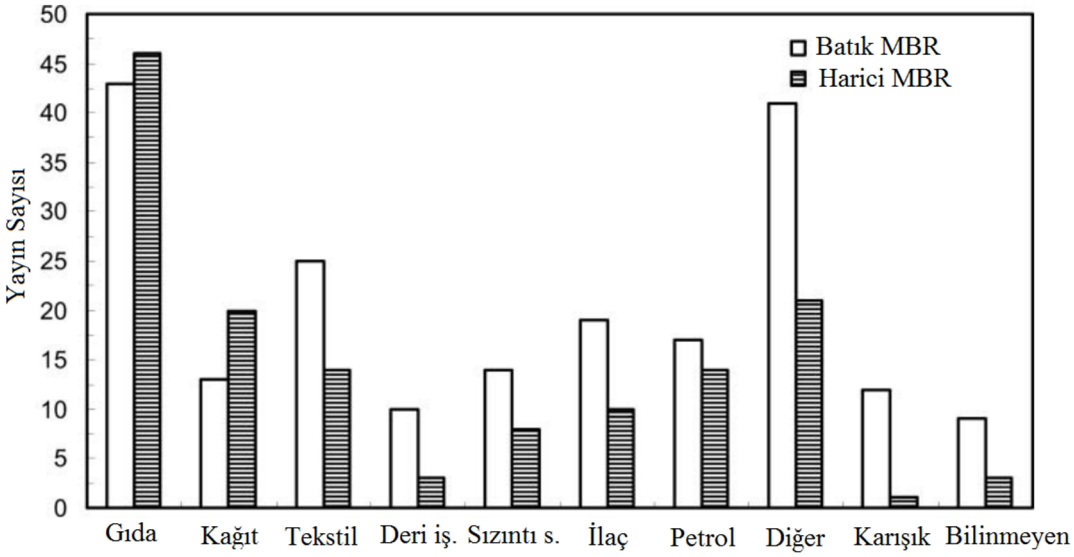
- Yüksek kalitede arıtılmış ve büyük oranda bakteri ve patojenden arındırılmış süzüntü kalitesinin elde edilmesi.
- Çamur yaşının ve hidrolik bekletme süresinin (HRT, hydraulic retention time) bağımsız bir şekilde kontrol edilmesi. Klasik aktif çamur sisteminde son çöktürme tankında flokların çökelmesi için yüksek HRT gereklidir. MBR'de ise partikülün membran çapından büyük olması yeterlidir.
- Biyoreaktörde yüksek çamur, katı madde (MLSS, mixed liquor suspended solids) konsantrasyonlarında çalışılabilmesi; reaktör alanının düşmesi,

nitrifikasyon bakterilerinin gelişimi ve böylece amonyak gideriminin sağlanması.

- Azalan çamur üretimi, çamur reaktörde ne kadar uzun kalırsa, o kadar az çamur üretilir.

MBR'ler için 1970'lerde başlayan ilk çalışmalar günümüze kadar hızlı bir gelişme göstermiş olup, asıl gelişimini 1990'lı yıllarda yapmıştır [12, 13]. Endüstriyel atıksular için MBR'lerin gelişimi ise 2000'li yıllardan sonra sıçrama yaşamıştır [13].

Endüstriyel atıksuların MBR'ler ile arıtıldığı çalışmalar incelenmiş olup Şekil 1.12'de verilmiştir [13]. Şekil 1.12'de, MBR çalışmalarının farklı sektörlere yayıldığını, en fazla MBR çalışmasının ise gıda sektöründe yapıldığını söylemek mümkündür. Karışık atıksular, tüm endüstriyel MBR çalışmaları içinde çok küçük bir yer tutmaktadır.



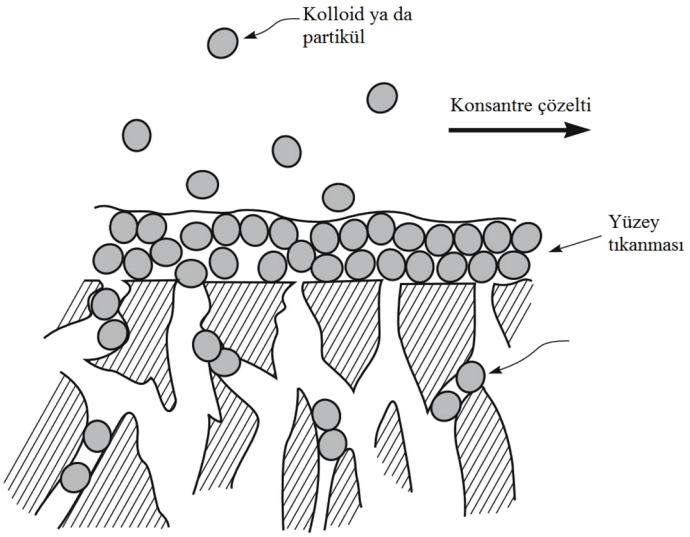
Şekil 1.12. Endüstrilerde MBR'lerle ilgili yapılan yayın sayıları

MBR'lerin klasik aktif çamur sistemlerine göre avantajları olsa da, yıllar boyunca tıkanma problemi ile mücadele edilmiştir [14]. Tıkanmanın incelendiği çalışmalar, MBR hakkındaki bilimsel yayınların büyük bir bölümünü oluşturmaktadır [14].

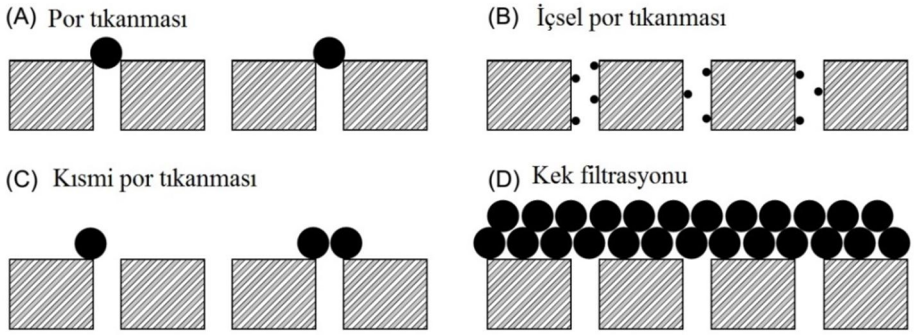
MBR'lerde tıkanmayı arttırıcı ya da azaltıcı birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin düşüklüğü ya da yüksekliği tıkanmayı arttırdığı bilinmektedir. Ancak burada öncelikle tıkanma türlerinin ve tıkanmanın nasıl oluştuğunun bilinmesi gerekmektedir. Membran yüzeyi farklı maddelerin/parametrelerin etkileşimiyle çeşitli biçimlerde tıkanmaktadır. Bunlar:

- Partiküler tıkanma: membranın gözenek boyutundan daha büyük maddeler/kolloidlerin neden olduğu tıkanmadır.
- Konsantrasyon polarizasyon: membran yüzeyindeki bazı bölgelerin farklı akılarda çalışması, konsantrasyon farklılıklarının oluşması nedeniyle yaşanan tıkanmadır.
- Adsorpsiyon yoluyla tıkanma: membran gözeneklerine adsorbe olan maddelerin neden olduğu tıkanmadır.
- Çökelme: inorganik maddelerin membran yüzeyinde çökelmeleri sonucu oluşan tıkanmadır.
- Biyolojik tıkanma: reaktördeki ya da membran yüzeyindeki mikroorganizmaların doğrudan ya da dolaylı olarak neden olduğu tıkanma türüdür.

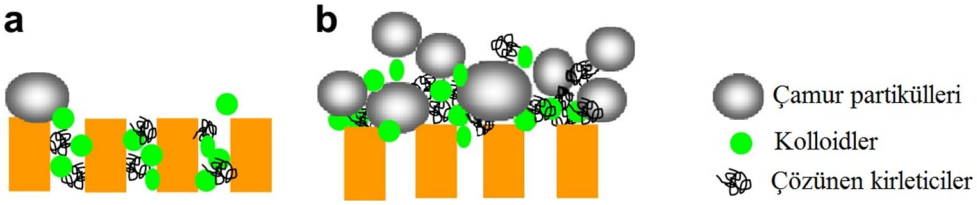
Tıkanma türleri çeşitli şekillerde görselleştirilebilmektedir. Bir UF membranının tıkanması Şekil 1.13'de gösterilmiştir [15]. Yüzey tıkanması genellikle yukarıda bahsedilen partiküler tıkanmanın bir türüdür (Şekil 1.13). Gözeneklerin tıkanma şekline göre tıkanma türleri ise Şekil 1.14'te verilmiştir [5]. Por (gözenek) ve kek tabakası oluşumu buradan net bir şekilde anlaşılmaktadır. Membranın tıkanma şekilleri ise Şekil 1.15'te verilmiştir [16]. Burada tıkanmaya neden olan madderin çamur partikülleri, kolloidler ve çözünen kirleticiler olduğu görülmektedir.



Şekil 1.13. Bir UF membranında yüzey tıkanması



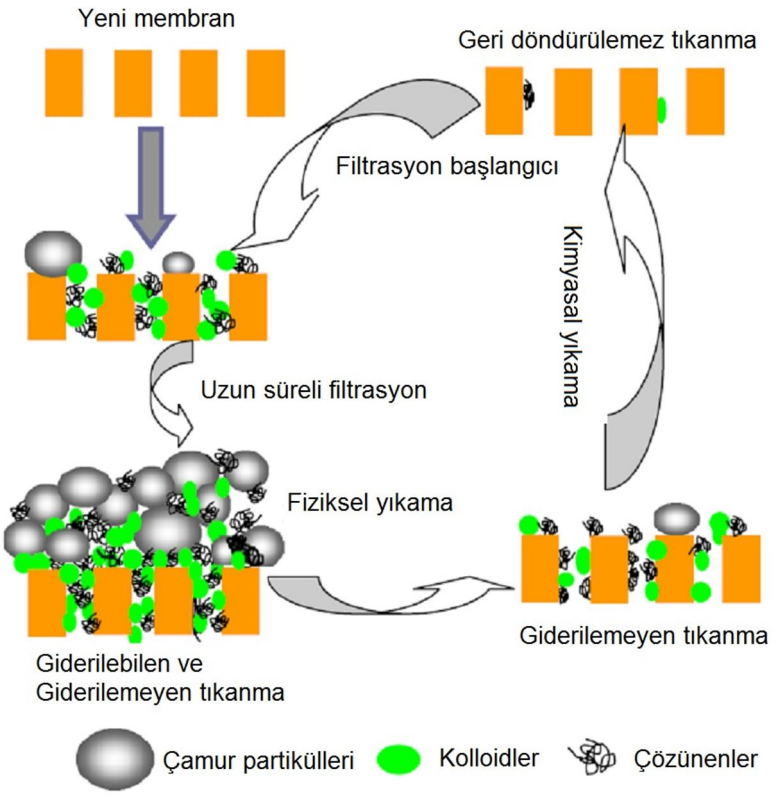
Şekil 1.14. Gözenekli membranlarda tıkanma türleri



Şekil 1.15. Membranda tıkanma şekilleri; a) gözenek tıkanması, b) kek tabakası

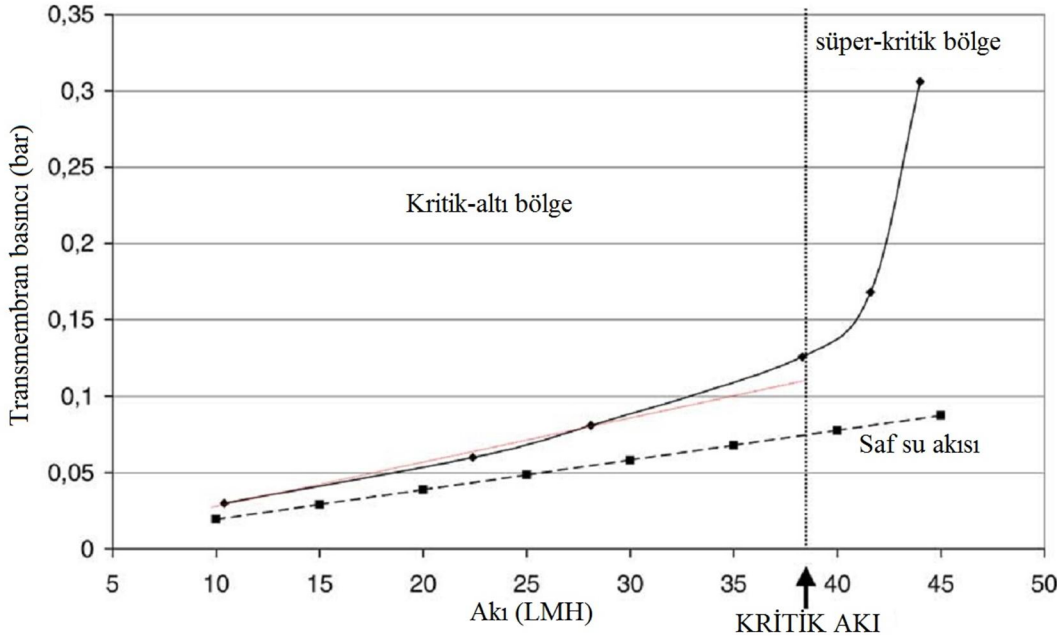
Yıkama/Temizleme şekline göre tıkanma türleri ise Şekil 1.16'da verilmiştir [16]. Burada giderilebilen, giderilemeyen, geri döndürülebilen ve geri döndürülemeyen tıkanma kavramları ortaya çıkmaktadır. Yeni bir membran uzun süreli işletme sonucunda fiziksel yıkama ile tekrar eski haline dönebiliyorsa giderilebilen tıkanma türüne sahip olduğu söylenebilir. Fiziksel yıkama ile temizlenemiyorsa membranda giderilemeyen tıkanma oluştuğu söylenebilir. Bu membranın kimyasal yıkanması ile membran eski haline dönebilmesi durumunda geri döndürülebilir, temizlenememesi durumunda ise geri döndürülemez tıkanma oluştuğu söylenebilir.

Tıkanma, MBR'lerdeki temel işletme parametrelerine bağlı olup bunlar; akı, basınç, MLSS, çamur yaşı, HRT ve pH, sıcaklık gibi sistem parametreleridir. Bu parametreler içinde en önemli olanı 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 [8].



Şekil 1.16. Temizleme şekline göre tıkanma türleri

Tüm membran proseslerinde olduğu gibi MBR'larda da akı arttıkça tıkanma artar. Dolayısıyla uygun bir işletim akısı seçerken, gerekli membran yüzey alanını minimize etmek ile geri yıkama ve temizleme için sistemin devre dışı bırakılması arasında hassas bir denge vardır. 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'ler, 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 geçirgenliğindeki (sabit akı ve transmembran basıncı) işletme sınırlarını temsil eder. Kritik akının üzerindeki işletme şartları membran basıncını (TMP'yi) artırıp, çok sık periyodik geri yıkama veya temizleme gerektirir (Şekil 1.17) [17]. Geri yıkanabilir gözenekli fiber tipler için, kritik akının üzerinde nispeten kısa devirlerde çalışmak daha ekonomiktir. Yerinde kimyasal (NaOCl, sodyum hipoklorit) yıkamayla kritik akının altında çalışılabileceği de belirlenmiştir [18]. Geri yıkanamayan düz tabakalı tipler için ise kritik akının altında çalışmak gerekmektedir.



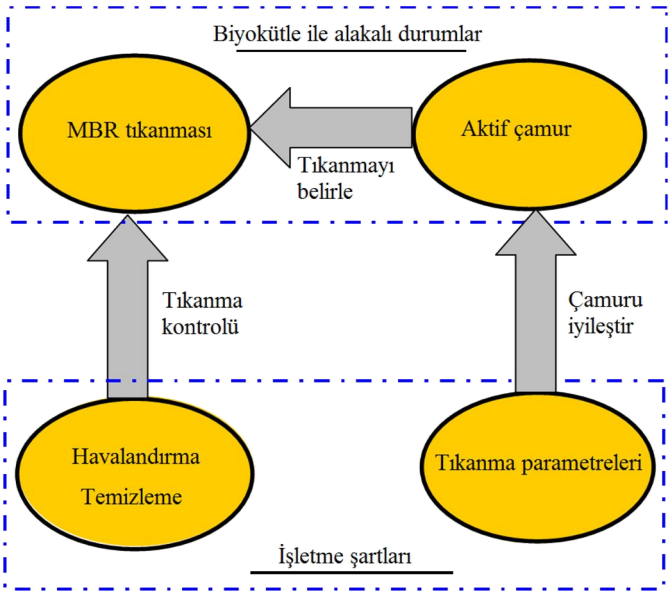
Şekil 1.17. Kritik akının deneysel olarak belirlenmesi

Membran tıkanmasına etki eden faktörlerin incelendiği çalışmalar 3 grupta toplanabilir. İlki, kontrol stratejilerinin belirlendiği çalışmalar [6, 17, 19], ikincisi işletme parametrelerinin belirlendiği çalışmalar [20-24], üçüncüsü ise tıkanmanın en önemli sorumlusu olarak görülen önemli tıkanma parametreleri çalışmalarıdır [25-27].

Literatürde membran tıkanması ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde eski çalışmaların (10 yıldan daha uzun süre önce) tıkanmanın nedenlerini sorguladığını göstermektedir. Bu çalışmalarda, gözeneklerin tıkanmasının ve kek tabakası oluşumunun tıkanmaya neden olduğu [19, 28], çamur yaşı ve MLSS gibi parametrelerin kontrol altında tutulması gerektiği [20, 29] vb. çalışmalara rastlanmaktadır. Son 10 yılda yapılan çalışmalarda ise biyotıkanmanın [30] en önemli tıkanma nedeni olduğu ve buna bağlı olarak mikrobiyal topluluk [31-33] ve mikrobiyolojik (SMP ve EPS gibi) parametrelerin [26, 34-39] tıkanmadaki etkisinin yüksek olduğu belirtilmiştir.

Şekil 1.18'de tıkanmaya etki eden temel faktörler ve kontrol stratejileri verilmiştir [16]. Bu şekle göre tıkanmaya etki eden iki tip faktör bulunmaktadır. İlki, biyokütle ile alakalı durumlar, ikincisi ise işletme şartlarıdır. Bu çalışmada, aktif çamurun iyileştirilmesi ve tıkanmanın kontrolünün sağlanması ile tıkanmanın en aza indirilebileceği belirtilmiştir [16]. Burada, havalandırma ve temizleme gibi parametrelerin kontrol edilmesi halinde MBR tıkanmasının diğer tıkanma parametrelerine bağlı olduğu sonucu çıkarılabilmektedir. MBR'lerde biyotıkanmaya,

dolayısıyla çamura ve buna bağlı faktörlerin kontrol edilmesiyle, etki eden faktörlerin kontrol altında tutulmasıyla tıkanmanın önüne geçilebileceği bildirilmektedir.



Şekil 1.18.Tıkanmaya etki eden faktörler ve kontrol stratejileri

Tıkanmaya etki eden faktörlerin 2012 yılında incelendiği bir çalışmaya göre, organik ve inorganik tıkanmanın özellikle doğal organik madde (DOM) ve çökelekler ile yaşandığına dikkat çekmektedir [40]. Biyotıkanmanın ise en önemli tıkanma sorunu olduğuna dikkat çekilmiş ve nasıl kontrol edilebileceğine dair parametreler incelenerek bir derleme oluşturulmuştur. Membran tıkanmasına etki eden faktörlerle ilgili yapılan derleme çalışmalardan biri biyotıkanma ile ilgili, bir diğeri etki eden faktörlerin tıkanmayı nasıl etkilediği ile ilgili, sonuncusu ise EPS'lerin tıkanmayı nasıl etkilediği ile ilgilidir.

Tablo 1.2'de tıkanmayı kontrol altında tutmak için belirlenen kontrol stratejileri verilmiştir [16]. Hidrolik, kimyasal ve biyolojik parametrelerin kontrol altında tutulmasıyla tıkanmaya neden olan parametrelerdeki değişimler belirlenmiştir.

Tablo 1.3'te MBR'lerin biyotıkanmasına etki eden faktörler verilmiştir [40]. Burada kilit parametrelerin çözünebilen mikrobiyal ürünler (soluble microbial products, SMP), hücredışı polimerik besinler (extracellular polymeric substrates, EPS) ve flok yapısı olduğu görülmektedir. SMP ve EPS'nin artışı, MLSS'nin, organik yükleme hızının (organic loading rate, OLR) ve besin:mikroorganizma (food to microorganisms ratio, F/M) oranının artışıyla artmaktadır. Dolayısıyla tıkanma hızlanmaktadır.

SMP ve EPS'leri azaltan faktörler ise Tablo 1.3'te belirtilen parametrelerin optimumda tutulmasıyla sağlanabilmektedir. Yüksek çamur yaşı (sludge retention time, SRT) değerlerinde çöken EPS'lerde artış yaşandığı, düşük çamur yaşında ise SMP ve bağlı EPS'in arttığı ifade edilmektedir. Tıkanmayı azaltıcı etki yapan parametre ise magnezyumdur (Mg). Mg'nin artması ya da kalsiyum (Ca):Mg oranının artmasıyla filamentli bakterilerde azalma, dolayısıyla EPS'nin hidrofobikliğinde azalma görülmektedir. Yapılan çalışmalar, birçok tıkanma parametresinin ne yüksek ne de düşük değerlerde tıkanmayı azalttığını ortaya koymuştur [41].

Tablo 1.2. Farklı tıkanma faktörlerine göre tıkanmanın kontrol stretejileri

Kontrol stretejisi	Kontrol öğesi ve tıkanma faktörüne etkisi
Hidrolik kontrol	HRT ↓ → çamur viskositesi ↑ EPS ↑ Havalandırma ↑ → geçirgenlik ↑ fiber hareketi ↑ kek giderim verimi ↑ kek direnci ↓ Periyodik geri yıkama → akı ↑ işletme süresi ↑ toplam direnç ↓ Kritik akı altında-düşük akıda çalışmak → sürdürülebilir işletme
Kimyasal kontrol	PAC ilavesi → EPS ↓ giderilebilen tıkanma ↓ Membran tıkanması azaltıcı → kek pürüzlülüğü ↑ çözünebilen EPS ↓ flokülasyon/koagülasyon → organik madde ↓ Kimyasal destekli yıkama → tıkanmanın giderilmesi
Biyolojik kontrol	SRT ↑ → bağlı EPS ↓ SMP ↓ MLSS/viskosite ↓ → akı ↑ kek tıkanması ↓ F/M oranı ↓ → tıkanma direnci ↓ Filamentli bakteri ↓ → bağlı EPS ↓

Dünyada yaşayan mikroorganizmaların %99'dan fazlası biyosentetik polimer formlarının içinde yaşar. Polisakkaritler bu aşamadaki en yaygın (bol) formdur. Bu yüzden, EPS'ler bu formu tanımlamanın bir yolu olarak ortaya çıkmışlardır. EPS'ler hem çözünen halde hem de bağlı halde bulunabilirler. Çözünen hali SMP olarak adlandırılmaktadır. EPS'nin ana bileşenleri protein ve polisakkaritler olup hümik asit, nükleik asit ve yağ gibi diğer bileşenler de bulunabilmektedir.

Tablo 1.3. MBR'lerin biyotıkanmasına etki eden faktörler

Parametre	Biyotıkanmaya etkisi
MLSS	MLSS ↑ → SMP ↑ EPS ↑ partikül boyutu ↓
OLR ya da F/M oranı	Organik yükleme-F/M oranı ↑ → SMP↑ EPS ↑ çamur filtrenebilirliği ↓
Çözünmüş oksijen konsantrasyonu	DO ↓ → yüksek molekül ağırlıklı bileşikler ↑ kötü filtrelenebilen az gözenekli biyofilm oluşumu Havalandırma ↑ → çamur floklarının kırılması, SMP oluşumu ↑
HRT	HRT ↓ → EPS ↑ SMP ↑ flok kırılması ↑filamentli bakteri ↑ HRT ↑ → tıkanma yapan maddelerde ↑
SRT	SRT ↓ → SMP ve bağlı EPS ↑ SRT ↑ → çöken EPS ↑ Çok yüksek SRT → tıkanma ↑ (çamur viskositesi ↑ tıkanma yapan maddeler ↑) Optimum SRT 20-50 gün olmalı (HRT ve su kalitesine bağlı olarak)
Tuzluluk	Tuzluluk ↓ → SMP ve EPS ↑ membran geçirgenliği ↓
Katyonlar	Mg ↑ → kek tabakası ↑ SMP ↓ Mg/Ca oranı ↑→ tıkanma ↓ Ca ↑ → filamentli bakteri ↓ EPS'nin hidrofobikliği ↓
Sıcaklık	Sıcaklık ↑ → SMP ve bulanıklık ↑ EPS'deki protein ↓ Sıcaklık ↓ → filamentli bakteri ↑ EPS'nin hidrofobikliği ↑ (Ca'nın köprü oluşturması nedeniyle)
Besinler	N ↓ → EPS'deki protein ↓ (iyi çökebilen çamur, SVI ↓ flok yüzeylerinin negatif yüklenmesi) P ↓ → EPS'deki protein ↓ (SVI ↑ flok yüzeylerinin negatif yüklenmesi)

Tablo 1.4'te ise EPS'lerin üretimiyle işletme parametrelerinin ve diğer faktörlerin nasıl değiştiği gösterilmiştir [26]. Bu tabloya göre tuzlulukla, düşük çözünmüş oksijen (dissolved oxygen, DO) ile, düşük ve çok yüksek sıcaklık ile, düşük SRT'lerde, yüksek F/M oranlarında, düşük organik yükleme hızlarında (OLR), yüksek MLSS'lerde ve düşük HRT'lerde yükselme eğilimindedir. Düşük F/M oranı, yüksek OLR ve toz aktif karbon (powdered activated carbon, PAC), zeolit ve diğer bazı koagülantlarla EPS düşme eğilimine girmektedir.

Tablo 1.4. EPS'lerin üretimiyle çeşitli değişkenlerin ilişkileri

Faktörler	EPS üretimine etkisi
Besin	C:N oranı ↓ → proteinler ↑ polisakkaritler ↓ C:N oranı ↑ → EPS'ler ↑polisakkaritler ↑ Verilen P ↓→ EPS'ler ↑
İyonik yük	Tuzluluk ↑ → EPS'ler ↑
DO	DO < 0.1 → EPS'ler ↑ PN/PS oranı ↓ DO < 0.5 → EPS'ler ↑ DO ↓ → filamentli bakteri ↑ EPS'ler ↑
Sıcaklık	Sıcaklık ↓→ EPS'ler ↑ Sıcaklık ↑→ (55 ^{o}C) EPS'ler ↑ Sıcaklık ↑→ (25-35-45 ^{o}C) proteinler ↓ PN/PS oranı ↓
SRT	SRT ↓→ EPS'ler ↑ SRT= 20 → (10-20-30 gün) EPS'ler ve PN/PS oranı ↑ (en yüksek) SRT ↑→ EPS'ler ↑ biyobozunur EPS'ler ↓ SRT ↓→ PN/PS oranı ↑
OLR	F/M oranı ↓→ EPS'ler ↓ F/M oranı ↑→ EPS'ler ↑ OLR ↑→ EPS'ler+SMP ↓ OLR ↓→ EPS'ler ↑
MLSS	MLSS ↑→ EPS'ler ↑ MLSS ↑→ EPS'ler ↓ MLSS ↑→ Protein ↑ polisakkrarit ↑
HRT	HRT ↓→ OLR ↑→ EPS'ler ↑ HRT ↓→ EPS'ler ↓
pH	8-9.1 pH şokları → PN/PS oranı ↓
Kesme (shear)	Kesme oranı ↑→ EPS'ler ↑
Eklentiler	PAC → bağlı EPS'ler ↑ SMP ↓ PAC → PN/PS oranı ↑ PAC + zeolit → bağlı EPS'ler ↑ SMP ↓ Katyonik polimer → bağlı EPS'ler ↑ SMP ↓ Fe koagülantı → PN/PS oranı ve SMP ↓ Akı artırıcı polimer → bağlı EPS'ler ↑ SMP ↓ Ozon → bağlı EPS'ler ↑ Asilaz (Acylase) → QS'yi engeller ↓ kek tabakasının bağlı EPS'i ↓
Diğerleri	Aşırı büyüme fazında → EPS'ler ↑ EPS'ler nitrifikasyon bakterileri tarafından biyobozunur ve kullanılır

Membran biyoreaktörlerde tıkanma ile ilgili yapılan derleme çalışmaları bu konuda çok yol kat edildiğini ve tıkanmanın tamamıyla çözülemese de azaltıcı etkiler konusunda parametre bazında değerlendirildiğini göstermektedir. Ancak MBR'de yapılan

çalışmalar büyük çoğunlukla evsel atıksularda yapıldığı için farklı karakterdeki atıksuların tıkanma davranışlarının izlenmesi gerekmektedir.

1.3 Atıksuların Geri Kazanılmasında Membranlı Sistemlerin Kullanımı

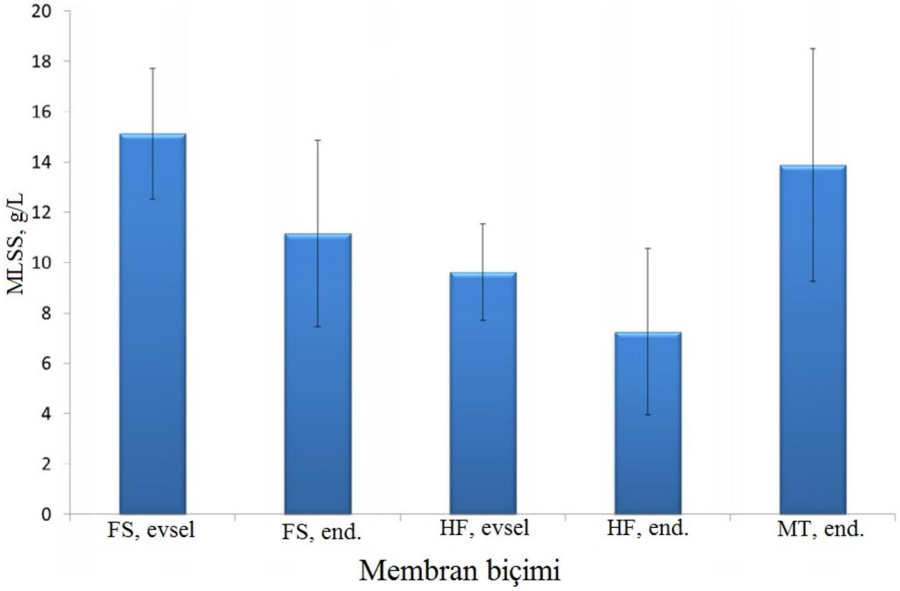
Atıksuların geri kazanılmasında membranlı sistemler ya mevcut bir atıksu arıtma tesisine entegre edilmekte ya da geleneksel bir ön arıtma sonrası işletilmektedir. Biyolojik olarak bozunabilen karaktere ve kirliliğe sahip atıksularda MBR'lerin kullanımı tercih edilmektedir. Geleneksek aktif çamur sistemiyle biyolojik atıksu arıtma tesislerinde ise çıkış suyunun kalitesine bağlı olarak membran filtrasyon gerekmektedir. Bu bölümde membranlı sistemlerle ilgili yapılan laboratuvar ve pilot ölçekli çalışmalar derlenmiştir.

1.3.1 Laboratuvar Ölçekli Çalışmalar

Literatürde yapılan laboratuvar ölçekli membran çalışmaları incelendiğinde genellikle MBR'lerde evsel nitelikli atıksuların arıtılması, işletme parametrelerinin tıkanmaya etkisi, mikrokirleticilerin giderilmesine yönelik çalışmalar ve benzeri konulardaki yayınlar göze çarpmaktadır. Tablo 1.5'te son yıllarda yapılan laboratuvar ölçekli MBR çalışmaları derlenmiştir. Tabloda verilen bilgilere göre, ince boşluklu (HF, hollowfiber) ve düz plaka (FS, flat sheet) membran modüllerinin çoğunlukla kullanıldığı göze çarpmaktadır (Şekil 1.7). MLSS değerlerinin 26 g/L'ye kadar işletilebildiği, 4-26 LMH arasında akılarda işletme sağlandığı görülmektedir.

Ancak endüstriyel atıksuların MBR'lerde arıtımını inceleyen bir derleme çalışmasında membran biçimlerinin ve işletme parametrelerinin belirli aralıkta olduğu görülmektedir (Şekil 1.19).

Özellikle HF (ince boşluklu) membranlarda düşük MLSS değerleri ile çalışıldığının, FS (düz plaka) membranlarda ise yüksek MLSS değerleri ile işletildiğinin saptandığı görülmektedir. Ayrıca, endüstriyel atıksularda MLSS değerlerinin de evsel nitelikli atıksuya göre daha düşük MLSS'ye sahip olduğu belirlenmiştir [8].



Şekil 1.19. Membran uygulamalarına göre MLSS değişimleri

Özellikle HF (ince boşluklu) membranlarda düşük MLSS değerleri ile çalışıldığının, FS (düz plaka) membranlarda ise yüksek MLSS değerleri ile işletildiğinin saptandığı görülmektedir. Ayrıca, endüstriyel atıksularda MLSS değerlerinin de evsel nitelikli atıksuya göre daha düşük MLSS'ye sahip olduğu belirlenmiştir. O çalışmadan çıkan diğer sonuçlar ise aşağıda özetlenmiştir [8]:

- Gözden geçirilen 55 ticari membranın % 50'si PVDF malzemeden yapılmıştır. PES membranı sadece düz plaka (FS) olarak üretilmektedir. Birçok membranın gözenek boyutu 0,03 ile 0,4 µm arasında değişmektedir.
- Evsel atıksuların arıtımında dizayn akısı 15-25 LMH (L/m^2.sa) arasında değişmektedir (Ortalama 18,5 ± 4,8 LMH). Endüstriyel atıksularda akı daha düşük olmakla beraber, en kötüsü çöp sızıntı suyu, en düşük akı batık MBR için 9-14 LMH aralığında, harici MBR'lerde ise 54-93 LMH aralığında değişmektedir.
- Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ)/kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) oranı 0,6'nın üzerinde olan gıda ve içecek sektöründe atıksularının arıtılmasında %95'in üzerinde KOİ giderim verimleri elde edilmiştir (tesislerin %75'inde). Bu da evsel atıksudaki oranlara yakındır. BOİ/KOİ oranı çoğunlukla 0,3'ün altında olan çöp sızıntı sularında ise tesislerin üçte birinde %90'ın üzerinde KOİ giderimi elde edilmiştir.

- FS ve MT modüller için MLSS konsantrasyonu 10g/L'nin üzerindeyken, HF modüllerde konsantrasyon bu değerin altındadır.
- 186 MBR işletmecisi ile yapılan ankette en sıkıntılı durumun ön arıtma ve membran kanal/yüzey tıkanması ve buna bağlı aşırı yükleme olduğunu belirtmişlerdir.

Literatürde bu çalışmaya en fazla benzerlik gösteren iki çalışma bulunmuştur. MBR'de atıksuyun geri kazanımı için literatürde bu çalışmaya benzer iki çalışma da detaylı incelenmiş olup aşağıda verilmiştir.

MBR teknolojisinin farmasötik bileşikleri klasik aktif çamur sistemine göre daha iyi giderdiği görülmüştür. Bunun sebebi bazı bileşiklerin klasik aktif çamur sistemine direnç göstermeleridir (mefenamik asit, indometasin, diklofenak, ve gemfibrozil vb). Sonuç olarak gerek daha az çamur üretimi gerekse çamurda daha az farmasötik türlerine rastlanması ve farmasötik türlerinde daha fazla giderim verimi sağlaması bakımından MBR sistemlerinin klasik aktif çamur sistemlerine göre daha avantajlı olduğu söylenebilir [42].

2010 yılında Avustralya'da yapılan bir başka çalışmaya göre ise MBR ile NF/RO filtrasyon proseslerinin birlikte kullanılarak mikrokirletici giderimi sağlayarak içilebilir geri kazanılmış su elde edilebileceği gösterilmiştir. Sentetik evsel atıksu üzerinde yapılan çalışmada, modelleme ile belirlenen 40 adet mikrokirleticinin giderim verimleri incelenmiştir [43].

Laboratuvar ölçekli MBR 9 L etkin hacme sahip reaktörde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan modüller 0,047 m^2 etkin yüzey alanına ve 0,04 μ por çapına sahip, hollow fiber ultrafiltrasyon (HF-UF) membranından üretilmiş olup filtrasyon modu 14:1 olarak belirlenmiştir. İlgili araştırmada MBR sonrasında filtrasyon prosesinde kullanılmak üzere seçilen membranların tıkanma eğilimlerini gözlemlemek için iki NF membranı (NF270, NF90) ve iki RO membranı (BW30, ESPA2) seçilmiştir.

Tablo 1.5. Son 10 yılda yapılan laboratuvar ölçekli önemli MBR çalışmaları

Atıksu Türü	**Makale konusu**	**Membran türü**	**Alanı (m^2)**	**Çap(µ)**	**Reaktör hacmi (L)**	**Akı**	**SRT (gün)**	**HRT (saat)**	**MLSS (g/L)**	**Kaynak**
Evsel+End.	Polar kirleticilerin biyobozunmasında MBR ve aktif çamur sisteminin karşılaştırılması	PE	0,3	0,4			> 400	7-10		[44]
Sentetik	Membran tıkanmasına ve mikrobiyal topluluğa SRT'nin etkisi	FS	0,1	0,25	6	12,5	20-100	8	5,6-10,5	[20]
Evsel	Evsel atıksuda MBR ile mikrokirletici giderimi	HF-FS	0.3-0.2	0.05-0,4	21		26-102	7-14	6,7-26	[45]
Sentetik	Farklı filtrasyon modlarında membran kirlenme özellikleri	PVDF		0,2	57,6	20-33	30	4,9	7,4	[27]
Evsel	MBR'li hibrit proseslerle mikrokirletici giderimi	HF-PVDF	0,074	0,4	4,5	39		24	5	[46]
Evsel	MBR arıtımı sırasında mikrokirleticilerin akıbeti	Seramik	0,09	1	5		88	26	5	[47]
Evsel	Yeniden kullanım için SRT'nin etkisi	HF	1,5	0,05	114	6,2-7,5	2-20	2.4-21.7	0,9-5,5	[48]
Evsel	Nanofiltrasyon konsantresinin MBR'ye geri devir ettirilmesinin arıtım verimine etkisi	NF	0,116	0,4		6,4–7,5	16	4,7		[49]
Sentetik	Membran tıkanmasına ve biyoaktiviteye SRT'nin etkisi	HF	0,3	0,4	12	42-47	30-100	12	7-14	[29]
Evsel	MBR'de nütrient giderimi	HF	12,5	0,1	52	10-16	20-40	14-18	4-7	[50]
Sentetik	MBR'de matematiksel modelleme ile biyokütle canlılığının incelenmesi	PE	0,195	0,1	10	12		4	5-18	[51]

Giderim verimleri gözlemlenecek kırk mikrokirleticiyi temsilen farmakolojik aktif bileşikler, steroid hormonu, endüstriyel birleşikler ve pestisitler olarak başlıca dört mikrokirletici belirlenmiştir. Modelleme yoluyla mikrokirleticilerin belirlenmesinde bileşiklerin fizikokimyasal özellikleri ve evsel atıksuda yaygın olarak bulunmaları göz önüne alınmıştır. Reaktör işletilmeye başladıktan iki ay sonra kararlı hale gelmiş ve çamur yaşı 70 gün olacak şekilde çamur atılmıştır. Hidrolik bekletme süresi 24 saat, akı 4,3 $L/m^2.h$ ve sıcaklık 20,0 ± 0,1 °C olacak şekilde temel parametreler altı ay boyunca gözlemlenmiştir. NF membranları 12, RO membranları ise 18 bar basınçta işletilmiştir. Çapraz akışlı sistemde akı ve süzüntü akısı sırasıyla 30.4 cm/s ve 40 $L/m^2.h$ olarak ayarlanmıştır.

MBR'de MLSS konsantrasyonu 8,6-10,0 g/L aralığında %98,5-99,2 TOK, % 66.3–97.3 TN giderimi sağlanmıştır. Belirlenen mikrokirleticilerin etkili bir biçimde giderilmesi beklenen bir sonuçken, ihmal edilebilir düzeylerde DEET, dilantin karbamazepin, atrazin ve primidon gözlemlenmiştir. Gemfibrozil, androstenedion, testosteron, etiocholanolone, androsteron, 17β-estradiol, 17α-etinilestradiol, triklosan ve nonilfenol dahil olmak üzere diğer tüm mikrokirleticiler analitik saptama sınırının altında kalmıştır. Mikrokirleticilerin bazıları MBR'de giderimi daha yüksekken bazılarının NF/RO filtrasyonu ile daha etkili giderildiği saptanmıştır.

Seçilen 40 mikrokirleticinin çoğunun yüksek oranlarda giderilmesi MBR+NF/RO kombinasyonu ile gerçekleşmiştir. NF ve RO membranları kıyaslandığında, NF membranları sadece 24-28 mikrokirleticinin gideriminde etkiliyken, RO membranlarıyla yapılan filtrasyonlarda süzüntü suyunda yalnızca 7 mikrokirleticiye rastlanmıştır. Ayrıca BW30 ve ESPA2 RO membranları, düşük basınçlarda çalışılabilen membranlar arasında yer alması da avantajlarından biridir.

En düşük tuz giderme kapasitesine sahip, por çapı daha büyük olan NF270 membranının geçirgenliği fazla olduğundan mikrokirletici gideriminin de nispeten düşük kalması beklenmektedir. Ancak süzüntü suyu iletkenlik değerine bakılarak mikrokirletici giderim verimini değerlendirmek doğru bir yaklaşım değildir. NF90 membranı %76,5 iletkenlik giderimi sağlamasına rağmen RO membranlarından BW30 ile yapılan filtrasyonlarda belirgin şekilde daha düşük iletkenlikler ölçülmüştür. Bu çalışmada kullanılan ESPA2 membranı BW30 membranından daha düşük iletkenlik giderim kapasitesi olmasına rağmen mikrokirletici gideriminde en etkili performansı

gösteren membrandır. NF270 membranı dışındaki membranların akı değerleri yaklaşık aynı seviyelerdeyken NF270 membranının akısında ciddi düşüşler gözlemlenmiştir.

İlgili çalışmada elde edilen sonuçlara göre yüksek mikrokirletici giderim verimi eldesi için NF/RO membran filtrasyonu ve MBR proseslerinin birbirini tamamlayıcı olduğu söylenebilir. Modelleme ile karar verilen 40 mikrokirletici çeşidinde %95 oranında giderim elde edilmiş veya analitik saptama limitlerinin altında kalan giderimler sağlanmıştır [43]. Yukarıda detaylı incelenen çalışmalarda mikrokirleticilerin evsel atıksuda MBR'lerle daha verimli arıtılabildiği görülmüştür.

1.3.2. Pilot Ölçekli Çalışmalar

Son 10 yılda MBR'nin pilot ölçekli olarak işletildiği çalışmalar (2005-2016) derlenmiştir (Tablo 1.6). Genellikle evsel atıksuların işletildiği MBR'lerde; tekstil ve banyo atıksularının da arıtma performansı incelenmiştir. Geçmiş yıllarda farklı işletme koşullarında arıtma performansları incelenirken, günümüzde bu atıksulardaki mikrokirleticilerin giderimleri ya da tıkanmaya neden olan bakteri topluluklarının analizi konularındaki çalışmalar göz çarpmaktadır. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda olduğu gibi, pilot ölçekli çalışmalarda da spesifik konular üzerinde araştırmalar yoğunlaşmaktadır.

Pilot ölçekli çalışmalarda karışık endüstriyel atıksular için yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Membran türü olarak ince boşluklu (HF) membranların kullanımının oldukça yaygın olduğu pilot çalışmalarda, düz plaka (FS), seramik ve tüp membranların kullanıldığı çalışmalara da rastlamak mümkündür. Bu membranların boşluk çapları ise 0,04 µ ile 0,45 µ arasında değişen MF ve UF membranlarıdır. Reaktör hacminin pilot ölçekli bir çalışmaya göre çok küçük olan 11,7 L'lik bir reaktörle dahi yapılan çalışmalar bulunmakla beraber [52], 12,6 m^3'lük reaktör hacimli pilot ölçekli çalışmalar da mevcuttur [53].

Pilot ölçekli çalışmalardan tez konusuna en yakın çalışma Avustralya'da bir tatil beldesinde pilot ölçekli ve tam ölçekli MBR'de mikrokirletici giderimi karşılaştırılmıştır [52]. Günlük 743 m^3'lük maksimum atıksu debisine sahip tesiste 15 numune alınarak hem pilot ölçekte hem de gerçek ölçekte mikrokirletici ve nütrient ölçümleri yapılmıştır. Toplam azot (TN) ve PO_4-P gideriminde tam ölçekli tesiste 4

aşamalı reaktör tasarımı sayesinde (yüksek MLVSS konsantrasyonu) tam nitrifikasyon ve % 98 fosfor giderimi sağlanmıştır.

Avustralya'da yapılan bu çalışmada, 45 mikrokirletici seçilmiştir. Bunlardan 27'si farmasötik ve kişisel bakım ürünü (PPCP), 8'i steroid hormonu, 4'ü endüstriyel kimyasal ve 6'sı pestisittir. PPCP'lerden dilantin, risperidon ve hidroksizin; pestisitlerden linuron hariç tüm kirleticiler ölçüm limitinin üstünde kalmıştır (5-20 ng/L).

Hidrofobik bileşiklerin (Steroid hormanlar) biyokatılara absorbe olduğu, sonrasında ise biyolojik olarak bozunabildiğini ancak çamurda bulunmadığını gösterilmektedir. Halojenli PPCP'lerin ise (triclosan gibi) biyolojik bozunmaya dirençli ve hidrofobik oldukları için pilot tesis çamurunda yüksek konsantrasyonda elde edilmiştir. İbuprofen gibi hidrofilik kirleticilerin ise % 90'ın üzerinde giderildikleri tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu kirleticiler de biyolojik bozunma ile giderilmişlerdir.

Nütrient giderimi ile mikrokirletici giderimleri de bu çalışmada karşılaştırılmıştır. TN konsantrasyonunun artmasıyla bazı mikrokirleticilerin giderim verimleri düşmüştür. Nitrifikasyon bakterileri seçici olarak östrojen yerine amonyağı tercih edebilmektedirler. Birçok çalışmada mikrokirleticilerle nütrientlerin giderimleri arasındaki ilişkiyi kesikli çalışmalarla ortaya koymuşlardır.

Tam ölçekli MBR'de ise mikrokirletici giderim verimleri daha yüksek elde edilmiştir. Hidrofobik ve hidrofilik molekül özelliklerine göre ve kademeli nitrifikasyon-denitrifikasyon aşamaları nedeniyle farmasötiklerin yüksek verimle giderildikleri bulunmuştur. Sonuç olarak nütrient ve mikrokirleticilerin birlikte giderilmeleri MBR'deki redoks bölgeleri sayesinde olduğu bulunmuştur [52].

Tablo 1.6. Son 10 yılda yapılan pilot ölçekli önemli MBR çalışmaları

Atıksu	**Konu**	**Membran**	**Alan (m^2)**	**Çap (µ)**	**Reaktör Hacmi (m^3)**	**Akı (LMH)**	**SRT (Gün)**	**HRT (saat)**	**MLSS (g/L)**	**Kaynak**
Anaerobik çıkış suyu	İşletme parametrelerinin optimizasyonu	HF-PVDF	50	0.22	3.2	(8-22)	100	5	(7.5-13.7)	[41]
Evsel	Organik yüklemenin etkisi	HF-PVDF	61	0.1	1.5	30		(1.1-3.6)	(6-10)	[21]
Evsel	Farklı sıcaklıklardaki organik ve nütrient giderimi	HF-PTFE	27	0.45	0.8	6.3	60	8	4.2	[54]
Evsel	Çeşitli şartlarda tıkanma	HF-PVDF	0.9		0.23	21.0	Sonsuz	11	(4.6-12.6)	[23]
Banyo atıksuyu	Performans analizi	HF-PE	3	0.4	0.14	16.7			(4-10)	[55]
Tekstil atıksuyu	Performans analizi	HF-PVDF	0.9		0.23	20.0	(son.-25)	14	(13.9-17.0)	[56]
Evsel	Mikrobiyal topluluk analizi	HF-PVDF	1.86	0.04	0.22			(8-15)	(6-8)	[31]
Evsel	IR ile nütrient giderim iyileştirme	FS-PVDF	1.4	0.08	12.6		25	7.2	(7-8)	[53]
Evsel	SRT'nin çamur filtrelenebilirliğine etkisi	HF-PVDF	0.93	0.2	0.12	(5-18)	20-50-75	8	(12-20)	[57]
Evsel	Demir tuzlarıyla fosfor giderimi	HF-PVDF	10.4	0.3	1.25	15.60	30	10	(5.9-13.5)	[58]
Evsel	Mikrokirletici gideriminde pilot-tam ölçek karşılaştırması	HF-PVDF	0.93	0.04	0.01	1.20	25	16.8	(1.6-3.2)	[52]
Evsel	Tıkanmaya neden olan polisakkaritlerin tanımlanması	Tubular-PVDF		0.05		40.00	30		12	[59]
Sentetik	Organik yükleme hızının çamur ve mikrobiyal topluluk üzerine etkisi	FS-PAN	0.24	0.07	0.23	12.00	sonsuz	48	(3.6-7.8)	[32]
Evsel	Tıkanmış membranlarda bakteriyel topluluk analizi	HF-PTFE		0.3	0.175		35	2.5	12.5	[60]
Hastane atıksuyu	Düşük HRT'de farmasötik giderimi	HF-PVDF	36	0.4	1.3	14.00	27	3	13	[61]

1.4 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.

Türkiye'deki yasal düzenlemelerde de son aylarda sıklıkla görülen mikrokirleticiler için yeni çalışmalara ihtiyaç duyulduğu da Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından bildirilmektedir [62]. Birçok mikrokirletici ile ilgili henüz bir deşarj standardı bulunmamakta olup bu kirleticilerin akıbeti ve giderimleri de sorgulanmaktadır. Analitik yöntemlerin gelişmesiyle, bu kirleticilerin popülerliği de artarken yeni mikrokirleticilerin ortaya çıkmasına da neden olmaktadır [46, 63-66]. Yeni mikrokirleticiler (emerging micropollutants) olarak anılan bu kirleticiler ilaç kalıntıları, endokrin bozucu kimyasallar ve kişisel bakım ürünleri olarak kategorilendirilmiştir.

Mikrokirletici olarak anılan maddelerin farklı alanlardan ve farklı kaynaklardan sucul ortamlara karışabilmektedir. Kullanılan ilaç ve deterjanlar, kişisel bakım ürünleri, pestisitler ve endüstriyel kullanım alanlarından kaynaklanmakta olup, yer altı ve yerüstü kaynaklarında birikebilmektedir [67]. Özellikle OSB'lerde farklı sektörlerde kullanılan binlerce kimyasal için herhangi bir deşarj standardı bulunmadığından bu alanlardaki kirliliği belirlenmesi gerekmektedir. Bu mikrokirleticilerin arıtma tesislerinde arıtılamaması ve nihai tüketiciye ulaşması durumunda birikebilmekte ve insan sağlığını tehdit edebilmektedir [64, 68, 69].

1.4.1 İlaç Kalıntıları

Farmasötik olarak dilimize geçen ilaç kalıntıları, yüzlerce hastalık için oluşturulmuş etken maddelerin vücutta depolanmayan veya depolandıktan sonra atılmasıyla atıksuya karışan kirleticilerdir. Bunlar; antibiyotikler, ağrı kesiciler, kanser tedavisinde kullanılan sitostatik ilaçlar, sakinleştiriciler ve tansiyon ilaçlarının da dahil olduğu ilaç grubudur.

Bunların sağlığa etkileri ile ilgili literatürde onlarca çalışma bulunmaktadır [63, 70-77].

1.4.2 Kişisel Bakım Ürünleri

Kişisel bakım ürünleri şampuan ve kozmetik ürünlerden, yağ düzenleyici ve ağrı kesicilere kadar binlerce üründe bulunan zararlı ürünleri içermektedir. Kirleticiler arıtma tesislerinde parçalanabilmekte, çamurda tutulabilmekte ya da bir parçalanma ürünü olarak deşarj edilmektedir [67].

1.4.3 Endokrin Bozucu Kimyasallar

Canlıların endokrin (içsalgı) sistemini etkileyen ve sağlık tehdidi oluşturan maddelere endokrin bozucu kimyasallar denilmektedir. Endokrin bozucu kimyasallar, canlı vücuduna etki etmekle beraber sonraki nesillere de taşınabilmektedir [78]. Endokrin bozucuların çoğu (Bisphenol A gibi) doğal olmayan organik yapıda olup, insan aktivitelerinden yayılarak sucul ortamlara geçmektedir.

1.4.4 Önemli Mikrokirleticiler

Bu çalışmada belirlenen mikrokirleticiler, OSB atıksuyunda bulunması muhtemel bazı parametreleri kapsamaktadır. OSB atıksuyunda endüstriyel faaliyetlerden kaynaklı olarak; poliklorlu bifeniller (PCB's), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH's) ve fitalatlar (Phthalates) seçilmiştir. OSB'lerde evsel kullanım sonucu oluşan atıksular düşünülerek diğer mikrokirletici türleri de çalışmaya dahil edilmiştir. Farmasötik kaynaklı kirlilik için alıcı sucul ortamda en fazla rastlanılan kirleticilerden aynı zamanda ağrı kesici olarak da kullanılan ibuprofen ve kişisel bakım ürünlerinde ve temizlik malzemelerinde bulunan triklosan (triclosan) seçilen mikrokirleticiler arasındadır. Seçilmiş olan mikrokirleticiler için literatür derlemesi aşağıda verilmiştir.

İbuprofen

İbuprofen, ağrı kesici olarak kullanılan bir non steroidal antienflamatuar ilaç etken maddesidir. Genellikle insan idrarından atıksuya geçmektedir. Ibuprofen aerobik ve anaerobik olarak giderilebildiği bilinmektedir [79].

Literatürde MBR sistemiyle ibuprofen gideriminin gözlemlenmesine dair çalışmalar incelenmiş olup bu çalışmaların yoğunlukla klasik aktif çamur sistemiyle karşılaştırılmasına dayandığı görülmüştür. Genellikle MBR sisteminin ve

konvansiyonel sistemin İbuprofen gideriminde hemen hemen benzer giderim verimlerine sahip olduğu görülmüştür.

Klasik aktif çamur sistemi ile MBR sisteminin tıbbi ilaçların giderim verimlerini karşılaştırdığı bir çalışmada konvansiyonel arıtma yöntemiyle ortalama %93‘lerde İbuprofen giderim verimi elde edilirken bu oran MBR sisteminde % 98’lere kadar yükselmiştir [80]. Ayrıca diğer tıbbi ilaçların gideriminde MBR sistemlerinin daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Sentetik atıksuların MBR sistemi ile arıtıldığı bir diğer çalışmada ise ibuprofen neredeyse tamamen giderilmiş olup ortalama %96,7 ibuprofen giderimi gözlemlenmiştir [81].

Triklosan

Triklosan (TCS) geniş spektrumlu antimikrobiyal bir ajan olup 1960’ların başında sentezlenmiştir. Triklosan poliklorinlenmiş aromatikler grubuna dahil olup kimyasal yapısı 5-kloro-2-(2,4-diklorofenoksi) fenol şeklindedir. Gram (+) ve gram (-) bakteriler üzerinde etkili olan TCS aynı zamanda bazı maya ve küf mantarı türleri üzerinde de etkilidir. TCS’nin kullanımı giderek yaygınlaşmakta olup anti-bakteriyel sabunlarda, diş macunlarında, deodorantlarda, kozmetik ürünlerinde kullanılabildiği gibi yiyecek ambalajlarında ve bazı özelleşmiş kumaşlarda da kullanılmaktadır [82].

MBR teknolojisi Triklosan gideriminde etkili bir prosestir. Literatürde sentetik atıksuların MBR ile arıtıldığı bir çalışmada ortalama %90’ın üzerinde Triklosan giderimi gözlemlenmiştir [81].

Laboratuvar ölçekli MBR sisteminin içerisine Mn ve Pd gibi oksitleyiciler eklenerek sırasıyla indirgeme yükseltgeme yapılarak triklosan gibi mikrokirleticilerin gideriminin sağlandığı bir çalışmada ise % 78’den daha fazla triklosan giderimi gözlemlenmiştir [83].

BPA (Bisphenol A)

Endokrin bozucu kimyasallar atıksu geri kazanımındaki potansiyel zararlı kimyasallardır. Bu kimyasallardan en önemlilerinden biri de BPA’dır. BPA, polikarbonat plastik, reçine, PVC, biberon, yiyecek içecek paketleme gibi bir çok farklı ürünün üretiminde kullanılmakta ve dolayısıyla birçok endüstriyel işletmenin atık suyunda, kentsel atık sularda, yüzey sularında, ve aynı zamanda da içme suyu

kaynaklarında bulunabilmektedir. BPA, östrojenik aktivitesi ve insan sağlığına olumsuz etkilerinden dolayı özellikle içme sularından uzaklaştırılması gereken bir hormon bozucudur [84, 85]. Bu sebeplerden dolayı fenol ve BPA gibi toksik maddelerin atık sulardan giderilmesi son zamanlarda önemi giderek artan çevresel problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Fenol ve BPA giderimi için adsorpsiyon, membran filtrasyon, kimyasal oksidasyon, çöktürme, distilasyon, elektrokimyasal yöntemler, biyolojik arıtım, çözücü ektrasyonu, biyolojik bozundurma, ileri oksidasyon, fotokatalitik bozundurma gibi farklı arıtım yöntemleri uygulanmaktadır [84].

MBR sistemi BPA gideriminde etkili bir proses olup son zamanlarda MBR sisteminin BPA giderimine olan etkisi ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. Klasik aktif çamur sistemi ile MBR çalışmasının karşılaştırıldığı bir çalışmada MBR sisteminin BPA gideriminde daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda MBR ile % 90'ın üzerinde giderim verimi elde edilmiştir [86]. MBR 'de düz tabaka ve hollow fiber olmak üzere 2 farklı membran türü denenmiştir. Çalışma sonunda konvansiyonel arıtımda ortalama %96, MBR'de ise düz tabaka membran türünde %92, HF membran türünde ise ortalama %97 giderim verimi elde edilmiştir [86].

MBR ile konvansiyonel arıtımın karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada ise BPA gideriminde biyodegradasyonun her iki arıtma sisteminde de etkin rol oynadığını belirtmiş ve MBR sisteminde BPA gideriminin %98'e varan oranlara kadar ulaştığı saptanmıştır [87].

PAH'lar

Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)'lar, petrol ve petrol türevlerinde bulunan tehlikeli organik kirleticiler olup fosil yakıtların tam yanmaması sonucu oluşurlar. PAH'ların çoğu çevrede uzun süre kalmaları ve birikimleri sonucu, çevre kirlenmesine sebep olurlar ve biyolojik dengeyi önemli ölçüde etkilerler [88]. Endüstride 200'e yakın PAH türü vardır. Üretim endüstrisinde proses için kullanılan özel yağlar, bunların bozunma ürünleri Fenetren, Antresen, Pyren, Benzo(a) antresen, Benzo(a) pyren, Benzo(e) pyren, perylen ve benzo(ghi)-perlen gibi beş ya da daha yüksek halkalı ağır yağlar ve türevleridir. Bu tür atıkların OSB'lerde metal endüstrisinde kullanılan yağlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

MBR sisteminin PAH giderimine olan etkisini incelemek için literatür çalışmaları taranmış ve bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir. Endüstride 200 çeşide yakın PAH kirleticisi mevcut olduğundan yapılan çalışmalarda en sık rastlanan PAH türlerinin ölçümlerinin yapıldığı ve değerlendirildiği görülmüştür.

Literatürde PAH gideriminde batık aerobik MBR kullanılan bir çalışmada naftalin, fluorene, phenantrene gibi PAH türlerinin MBR'de yüksek bir giderim verimiyle atıksudan uzaklaştırıldığı ve neredeyse tamamen giderildiği belirtilmiştir [89].

Anoksik selektör tanktan sonra hollow fiber membran tipinin kullanıldığı batık UF MBR sisteminde çalışma kapsamında ölçümü yapılan ortak PAH materyallerinden % 65.7 oranında naftalin, %61.7'den fazla acenapthyene, %54.6'dan fazla Fluorene ve %58 oranında piren (pyrene) giderilmiştir [90].

Kentsel atıksularda phenanthrene, fluoranthene ve pyrene oranının belirlendiği ve MBR sistemi ile bu PAH türlerinin giderim veriminin karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada fluoranthene giderimi %91 piren giderimi %92 seviyelerinde olmuştur. Ancak phenanthrene gideriminde ise giderim verimi %82'yi geçmemiştir [91].

Fitalatlar

Fitalatlar polivinil klorür (PVC) tipi plastik ürünlerin esnekliğini ve dayanıklılığını sağlamak üzere plastikleştirici olarak kullanılan ve bu nedenle çok yaygın olarak karşılaşılan kimyasal maddelerdir. Kozmetikler, parfümler ve sabunlar dahil kişisel bakım ürünlerinde de yaygın olarak kullanılırlar ve çok büyük hacimlerde üretilip tüketilirler. Bunların sudaki çözünürlüğü düşük olmasına rağmen aşınma ve kullanım amacına göre değişmekle birlikte çözünerek suya geçerler [92]. Yine kauçuk üretiminde kullanılan fitalat türleri genellikle artan ve yan ürün olarak ortaya çıkar ve temizlik bakım esnasında atıksu gibi deşarj suları içerisinde yer alır [93].

Literatürde fitalat giderimi ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş ve tez çalışması kapsamında ölçümü yapılan farklı fitalat türleri ile karşılaştırılmıştır [94]. Fitalat gideriminin kentsel sızıntı sularının uzun dönemde MBR sistemiyle işletilerek incelendiği bir çalışmada %78 Dimetilfitalat (DMP), %81 dietilfitalat (DEP) ve %77 benzilbütil fitalat (BBP) giderim verimleri elde edilmiştir [94].

PCB'ler

Poliklorlu bifeniller (PCB's) 20.Yüzyıldan itibaren endüstriyel kullanım amacıyla üretilmeye başlanan organik klorlu bileşiklerdir. Kimyasal ve fiziksel yapı bakımından oldukça stabil olan bu maddeler, başlıca kapasitatör, trafo, hidrolik pompa, matbaa mürekkebi, boya, pestisit ve elektrik izolasyon sıvılarının yapımında, yanmayı ve enerji kaybını önlemek amacıyla kullanılır. PCB'ler doğada ve canlılarda en kalıcı olarak bilinen kimyasal maddeler arasında yer almaktadırlar [95]. Bu bileşenlerin kimyasal yapılarındaki farklılıklar sebebiyle daha az klorlu bileşenlerinin sudaki çözünürlükleri daha fazladır ve daha kolay buharlaşabilirler. Bu faktörler hem bileşenlerin taşınmasını hem de bozunma şeklini etkiler PCB'ler yavaş bir şekilde hem aerobik hem de anaerobik yollarla parçalanırlar [96]. Yüksek derecede klorlu, aynı zamanda da oldukça hidrofobik ve stabil olan PCB bileşenleri anaerobik olarak, daha az klorlu olanlar ise aerobik yolla parçalanırlar [97].

Literatürde PCB giderimi için yapılan bir çalışmada İtalya'daki en büyük arıtma tesislerinden biri incelenmiş ve 45 PCB için ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda endüstriyel atıksulardaki PCB türlerinin %50'sinden daha fazlasının PCB 28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 ve PCB180 türlerinin oluşturduğu görülmüştür [98].

1.4.5 Mikrokirleticileri Giderme Yöntemleri

Yeni mikrokirleticilerin (emerging micropollutants) giderimi için özel olarak dizayn edilmiş bir temel proses olmadığı gibi muhtemel mikrokirleticiler için de en etkili proses de belirlenmiş değildir. Klasik aktif çamur sistemlerinin bu kirleticilerin giderilmesinde yetersiz olduğu görülmüştür [99-103]. Ozonlama ile bazı ilaç kalıntılarının etkili bir şekilde giderildiği rapor edilmiştir [102]. NF ve RO gibi membran proseslerin laboratuvar, pilot ve tam ölçekte uygulandığı çalışmalar da mevcuttur [52, 103]. Aktif karbon kullanımı da son yıllarda tercih edilen proseslerden biridir [101].

Mikrokirleticiler; biyolojik olarak arıtıldığında çamurda birikebilmekte, adsorpsiyon ile adsorban üzerinde tutulabilmekte, membran prosesler ile konsantre şeklinde uzaklaştırılabilmekte ya da oksidatif bir ajan ile parçalanabilmektedir.

Yapılan çalışmalar MBR ile %95-99 PAH giderim verimine ulaşıldığını göstermiştir [104]. PCB'lerde de MBR sistemleriyle minimum giderim verimi %60 civarında olmak üzere birçok giderim verimi %90'lara ulaşmıştır [105]. MBR sistemleri bu maddeleri yüksek derecelerde gidermiş, çıkış konsantrasyonları ölçülebilen değerlerin altında kalmıştır. Norveç'te yapılan başka bir çalışmada, PAH, PCB ve fitalatların mekanik, kimyasal ve ileri atıksu arıtma tesislerinde giderimi incelenmiş ve değişik tip arıtmalarının bu mikrokirleticiler için değişik giderim yeterliliği gösterdiği bulunmuştur. En iyi sonuçlar, birleşik kimyasal ve biyolojik arıtımın olduğu sistemlerde gözlenmiştir [106].

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 [63]. 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 [63]. Farmasötikler (ilaç kalıntıları) için yapılan nanofiltrasyon çalışmalarında % 90 giderim verimi elde edildiği bildirilmiştir [63].

Mikrokirleticilerden özellikle farmasötik ve ilaç temelli olanları için yapılan çalışmalar çoğunlukla hastane atıksularıyla yapılmıştır. Ters ozmoz sistemi kullanılarak yapılan çalışmalarda, bazı mikrokirleticilerde %55 (diclofenac) ile %64 (ketoprofen) arasında giderim verimi edilmiştir [75]. Almanya'da gerçek ölçekli bir tesiste yapılan çalışmada ise 9 adet ilaç üzerinde araştırma yapılmıştır. Hastane atıksuyunun 5 adet düz plaka, Kubota marka MBR ile arıtımının incelendiği çalışmada, farmasötiklerin iyi bir giderim verimiyle arıtılamadığı ortaya konmuştur. Bu yüzden, hastane atıksularının yeniden kullanıma uygun olmadığı, yeniden kullanılabilmesi için ileri bir arıtıma ihtiyaç duyulduğu bildirilmiştir [107]. MBR kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada ise, 16 adet farmasötiğin giderim verimleri incelenmiştir ve ng/L seviyelerinde bulunan bu bileşiklerin MBR'ın yanı sıra aktif karbon kullanımıyla giderilebileceği sonucuna

ulaşılmıştır [76]. İlaveten, membranlarla yapılan birçok çalışmada, hastane atıksuyunda ilaç türlerinin varlığını ve toksikolojik analizlerinin yapılması gerektiği vurgulanmaktadır [73].

Fitoestrojenlerin çevredeki kirliliğini araştıran bir derleme çalışmasında ise estron kirliliğinin 10-20 µg/L arasında değişirken, estrojen türlerinin miktarlarının (doğal estrojen) 100 hatta 1000 mg/L'yi aşabileceğini göstermiştir [108].

Anaerobik çamurda mikrokirleticilerden ibuprofen, triclosan ve BPA'nın da içlerinde bulunduğu 18 mikrokirleticinin sıvı ve katı fazda konsantrasyonlarını inceleyen bir çalışmada mikrokirleticilerin 100-1000 kat daha fazla oranda katı fazda bulunduğunu bildirmiştir. Anaerobik arıtımda biyokütlenin mikrokirleticileri giderdiği sonucu buradan çıkarılmıştır. Ayrıca, SRT artışının mikrokirleticilerin giderimini çok az miktarda artırdığı sonucu çıkarılmıştır [109].

Seramik NF-MBR'da iz organik kirleticilerin gideriminin çalışıldığı bir makalede, iboprofende %100 (literatürde %90-99 arasında giderildi bildirilmiştir), triklosanda %82 (literatürde: % 61-97), BPA'da ise %97 (literatürde: 70-99) giderim verimi elde edildiği bildirilmiştir [110]. Pilot ölçekli bir MBR ile tam ölçekli bir MBR'nin mikrokirletici giderimlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada; ibuprofen ve estronda %99'larda giderim verimi sağlanmış, triklosan giderimi %65'lerde kalmıştır [52].

Mikrokirleticilerin bir yıllık süreçte sürekli izlendiği bir çalışmada ise, ibuprofenle kaynak sularında karşılaşma sıklığı % 38 iken, triklosan ve BPA için bu oran % 63 ve % 75 seviyesindedir. En yüksek konsantrasyonlar ise sırasıyla; 133, 106 ve 22 ng/L olarak verilmiştir [111].

Yukarıdaki çalışmalara benzer araştırmaların sayısı zamanla giderek artmaktadır. Bu araştırmalardan görüldüğü gibi kimya sanayiinin ilerlemesine bağlı olarak ilaç, kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinin sayı ve çeşitliliğindeki artış, sucul alıcı ortamlarda rastlanması muhtemel mikrokirletici/endokrin bozucu kimyasalların sayı ve çeşitliliğini de artırmaktadır. Son yıllarda Türkiye'de doğal sular, hastane atıksuları, ve evsel atık sulardan mg/L ve µg/L mertebesindeki EDC ve tıbbi ilaç kalıntılarının giderilmesi ile ilgili az sayıda da olsa bazı çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda da ekseriyetle tek bir kimyasal madde ya da kısıtlı sayıda tıbbî ilaç üzerinde durulmakta, bu kimyasal maddeler arasından sıklıkla kullanılan ilaçların hammaddeleri olan Diclofenac, Parasetamol, Ibuprofen ve Naproxen gibi kimyasallar

seçilmektedir. Ancak, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) gibi çevre kuruluşlarının raporlarında çevrede bulunması muhtemel bileşiklerin sayısının daha fazla olduğu bildirilmektedir.

1.5 Organize Sanayi Bölgeleri

Organize Sanayi Bölgeleri Kanununa göre OSB'ler şöyle tanımlanmaktadır: "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". Bu tanıma göre, OSB'ler kısaca çevresel, sosyal ve teknik sorunları en aza indiren planlı sanayi alanlarının oluşturulduğu bölgeler olarak tanımlanabilir. OSB'ler yukarıda belirtilen tanımlara uygun olarak oluşturulan ve yönetilen tüzel kişiliklerdir.

İlk OSB 1961 yılında Bursa'da kurulmuş olup 1982 yılına kadar yasal bir mevzuat olmadan yönetilmiştir. 31 Ocak 1982 tarih ve 17591 sayılı Resmi Gazete'de "Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Fonlar Yönetmeliği" yürürlüğe girmiş olup "Organize Sanayi Bölgeleri ve Küçük Sanat İnşaatı ve İşletme Giderleri Fonu" başlığını taşıyan maddelerle önemli hususlar düzenlenmiştir.

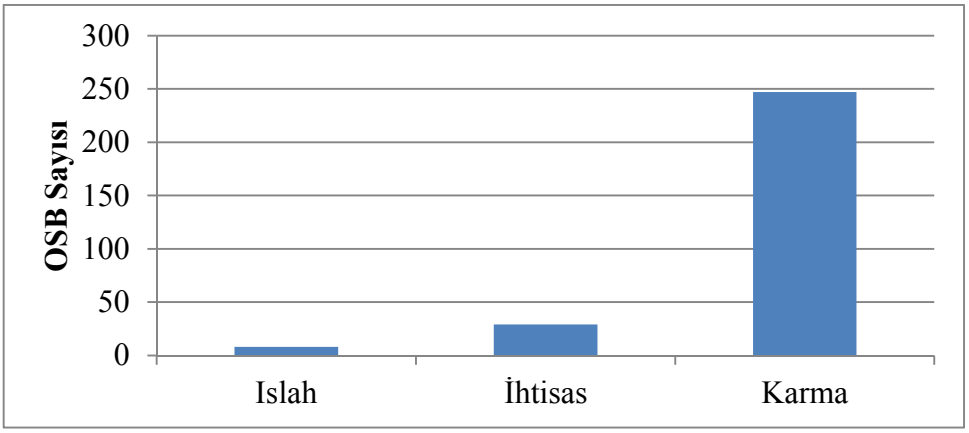
Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu ise 12.04.2000 tarihinde Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde (TBMM'de) kabul edilmiş ve 15.04.2000 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Daha sonra 2001 ve 2002 yıllarında "Organize Sanayi Bölgeleri Yer Seçimi Yönetmeliği" ve "Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği" yürürlüğe girmiş ancak 2008 ve 2009 yıllarında bu yönetmelikler düzenlenip yenilenerek yürürlüğe girmiştir.

Söz konusu Kanun gereğince hazırlanması gereken 21.05.2001–24408 ve 01.04.2002–24713 tarih ve sayılı Resmi Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Yürürlükteki mevzuata göre OSB'ler beş ayrı statüde faaliyet göstermektedir.

- Karma OSB: Farklı sektörler faaliyet gösterir.
- İhtisas OSB: Aynı sektör grubu ve alt sektörler faaliyet gösterir.
- Özel OSB: Gerçek veya tüzel kişiler kendi arazilerinde faaliyet gösterir.
- Tarıma Dayalı İhtisas OSB (TDİ): Tarıma dayalı sektörlerde Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'na bağlı olarak faaliyet gösterir.
- Islah OSB: OSB olmayan ancak uzun yıllardır bir arada faaliyet gösteren ve OSB'ye dönüştürülmesi amacıyla kurulan sanayi bölgeleridir.

Türkiye'deki OSB'lerin türlere göre dağılımı Şekil 1.20'de verilmiş olup OSB'lerin çoğunun karma OSB olduğu görülmektedir [112].



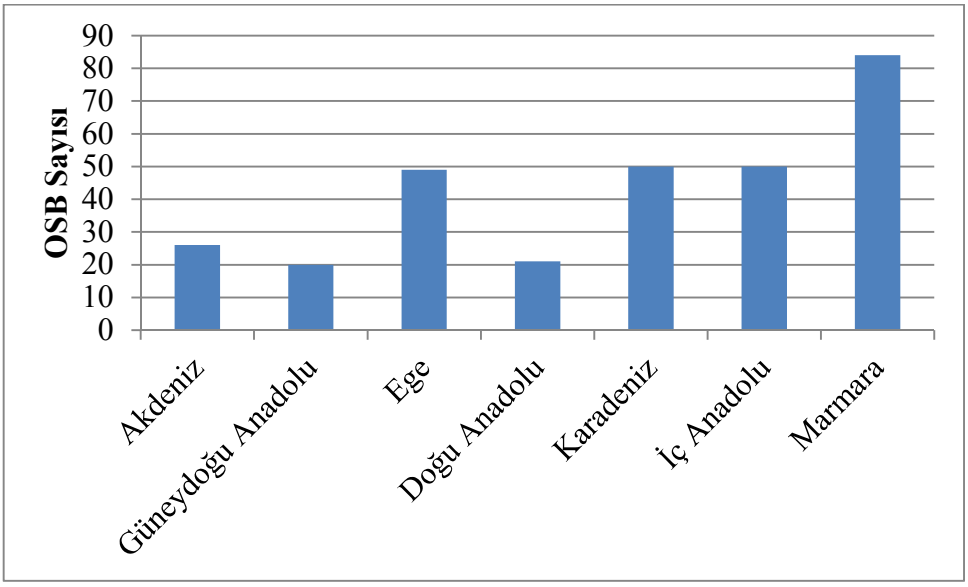
Şekil 1.20. Türkiye'deki OSB'lerin türlere göre dağılımı

OSB'lerin kuruluş ve işletme işlemleri; 2000 yılında yayınlanan "Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu" ile 2009 yılında Resmi Gazetede yayınlanan "Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği" ne göre yapılmaktadır. Yer seçimi talebi ve diğer mevzuat hükümleri tamamlanıp "Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına sunulur ve uygun bulunması halinde kesinleştirilir. Daha sonra altyapı çalışmalarına başlanması talep edilerek ilgili bakanlıktan sicil numarası alınarak OSB tüzel kişiliği oluşturulur.

OSB tüzel kişiliği ise Müteşebbis Heyet (en üst karar organı), müteşebbis heyet+katılımcı (OSB'nin 3'te 1'inin üretime geçmesi durumunda) ve genel kurul (OSB'nin 3'te 2'sinin üretime geçmesi durumunda) olmak üzere üç aşamalı yönetim sistemi ile yönetilmektedir.

Türkiye'de, şu anda tüzel kişilik kazanmış 299 OSB bulunmakta olup, OSB'lerin yardımlaşmaları ve ortak sorunlarını çözüme kavuşturmalarını amacıyla" kurulmuş tek

yasal OSB Üst Kuruluşu (OSBÜK) mevcuttur. Türkiye'de bulunan OSB'lerin bölgelere göre dağılımı Şekil 1.21'de verilmiştir [112]. En çok OSB'nin Marmara bölgesinde olduğu görülmekte olup iç Anadolu Bölgesinde ise 50 OSB bulunmaktadır.



Şekil 1.21. Türkiye'de bölgelere göre OSB sayıları

1.5.1 OSB'lerde Çevre Yönetimi

Türkiye'de bulunan 299 OSB'nin çevre yönetimi incelenmek istendiğinde Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının OSB'ler için tasarladığı internet sitesinden bilgi alınabildiği görülebilmektedir. Bu sitede her bir OSB için Tablo 1.7'de OSB'lerin cevaplaması gereken soruların bulunduğu görülmektedir. Her bir OSB için bu bilgiler OSB'lerin çevre yönetimini ortaya koymaktadır.

Evsel atık yönetimi için büyük ölçekli tesislerde genellikle bölgeye ait araçlarla evsel atıklar toplanmakta ve düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmektedir. Proses atıkları, ambalaj atıkları ve tehlikeli atıklar için bu veri sisteminde firmaların proses ve tehlikeli atıklarını ilgili yönetmeliklere göre bertaraf etmekte olduğu bilgisi verilmektedir.

Tablo 1.7. OSB’ler için oluşturulan çevre yönetim sistemi özet tablosu

OSB'ye ait Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Var mı?
Hayır ise Atıksu Arıtma İşlemi Nasıl Yapılıyor?
Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Kapasitesi (1. Kademe m3 / gün)
Kapasitesi (2. Kademe m3/gün)
Kapasitesi (3. Kademe m3/gün)
Deşarj İzin Belgesi Var mı?
Deşarj Mesafesi
Deşarjın Yapıldığı Yer
Sanayi Tesislerinin Kendine Ait Ön Atıksu Arıtma Tesisi Var mı?
Kaç Tesisin Ön Atıksu Arıtma Tesisi Var?
Atıksu İçin Alınan Önlemler Nelerdir?
Evsel Atık Yönetimi Var mı?
Var ise Açıklayınız
Proses Atık Yönetimi Var mı?
Var ise Açıklayınız
Tehlikeli Atık Yönetimi Var mı?
Var ise Açıklayınız
Ambalaj Atığı Yönetimi Var mı?
Var ise Açıklayınız
Çevre Yönetim Birimi Var mı?
Çevre Yönetim Sistemi Var mı?
Çevre Yönetim Birimi Kaç Personelden Oluşuyor?
Çevre Yönetim Birimi Personel Nitelikleri Nelerdir?
Çevre Laboratuvarı var mı?
ÇED Yönetmeliğine Tabi Tesis Sayısı
ÇED Gerekli Değildir Belgesine Sahip Tesis Sayısı

Küçük ölçekli birçok OSB için bu verilerin bulunamadığı (Şekil 1.22) ya da bulunan verilerin bir şey ifade etmediği görülmüştür (Şekil 1.23).

Şekil 1.22. Bazı küçük ölçekli OSB’ler için çevre yönetim sistemi ekran görüntüsü

OSB Adı : TRABZON ŞİNİK

Çevre Yönetimi

OSB'ye ait Merkezi Atık su Arıtma Tesisi Var mı?	Hayır
Hayır ise Atıksu Arıtma İşlemi Nasıl Yapılıyor?	Yok
Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Kapasitesi (1. Kademe m3 / gün)	0.00
Kapasitesi (2. Kademe m3/gün)	0.00
Kapasitesi (3. Kademe m3/gün)	0.00
Deşarz İzin Belgesi Var mı?	
Deşarj Mesafesi	0.00
Deşarjın Yapıldığı Yer	
Sanayi Tesislerinin Kendine Ait Ön Atıksu Arıtma Tesisi Var mı?	
Kaç Tesisin Ön Atıksu Arıtma Tesisi Var?	0.00
Atıksu İçin Alınan Önlemler Nelerdir?	
Evsel Atık Yönetimi Var mı?	
Var ise Açıklayınız	
Proses Atık Yönetimi Var mı?	
Var ise Açıklayınız	

OSB Adı : ÇANKIRI ÇERKEŞ

Çevre Yönetimi

OSB'ye ait Merkezi Atık su Arıtma Tesisi Var mı?	Hayır
Hayır ise Atıksu Arıtma İşlemi Nasıl Yapılıyor?	Belediye İle Sözleşmeli
Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Kapasitesi (1. Kademe m3 / gün)	0.00
Kapasitesi (2. Kademe m3/gün)	0.00
Kapasitesi (3. Kademe m3/gün)	0.00
Deşarz İzin Belgesi Var mı?	
Deşarj Mesafesi	0.00
Deşarjın Yapıldığı Yer	0.00
Sanayi Tesislerinin Kendine Ait Ön Atıksu Arıtma Tesisi Var mı?	
Kaç Tesisin Ön Atıksu Arıtma Tesisi Var?	0.00
Atıksu İçin Alınan Önlemler Nelerdir?	
Evsel Atık Yönetimi Var mı?	Hayır
Var ise Açıklayınız	
Proses Atık Yönetimi Var mı?	Hayır
Var ise Açıklayınız	

Şekil 1.23. Bazı küçük ölçekli OSB'ler için çevre yönetim sistemi ekran görüntüleri

OSB'ler için oluşturulan çevre yönetim sistemi verileri incelendiğinde büyük ölçekli OSB'ler için güncellenmemiş ve güvenilir olmayan bazı veriler de göze çarpmaktadır. Örneğin, bu tez çalışmasına konu olan Kayseri OSB'de deşarj yapılan yer belirtilmemiş olup çevre laboratuvarının olmadığı belirtilmiştir. Fakat mevcut durumda deşarj yapılan yer belli olup çevre laboratuvarı bulunmaktadır. Bu nedenle bu verilerin ve diğer güncellenen verilerin düzenli olarak OSB çevre yönetim sistemlerince gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Büyük ölçekli bazı OSB'ler için çevre yönetim sistemleri karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve Tablo 1.8'de verilmiştir. Kayseri, Bursa, Adana, Gaziantep, İnegöl ve Denizli OSB'ye ait çevre yönetim sistemi ile alakalı veriler derlenmiş olup internet sitesindeki verilerin doğruluğu sorgulanmamıştır. Büyük ölçekli olan bu tesislerin tümünün atıksu arıtma tesisi (AAT) mevcut olup en küçüğünün kapasitesi 30.000 m^3/gün'dür. Tümünde çevre yönetim biriminin olduğu bu OSB'lerin birçoğunda proses atıkları, tehlikeli atıklar ve ambalaj atıkları yönetim sisteminin bulunmadığı beyan

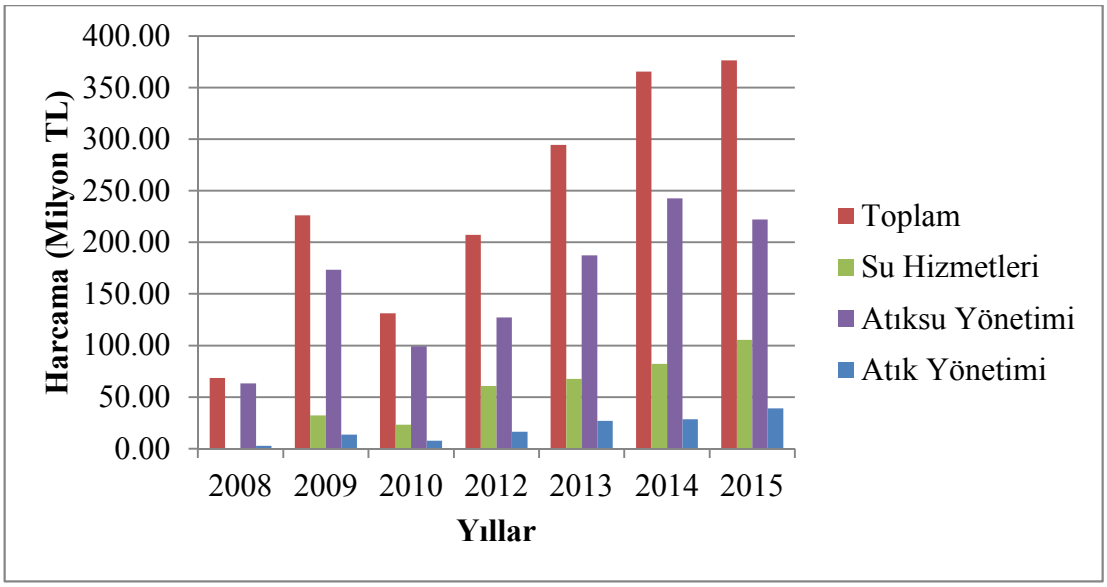
edilmiştir. Bu OSB'lerde çevre mühendisinin ve yardımcı diğer personelin de çevre yönetim biriminde bulunduğu bildirilmiştir.

Tablo 1.8. Büyük ölçekli bazı OSB'lerin çevre yönetim sistemleri

Çevre Yönetim Bilgisi	**Kayseri**	**Bursa**	**Adana**	**Gaziantep**	**İnegöl**	**Denizli**
OSB'ye ait Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Var mı?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Hayır ise Atıksu Arıtma İşlemi Nasıl Yapılıyor?	Ön Arıtma İle	Yok	Belediye İle Sözleşmeli	Belediye İle Sözleşmeli	Ön Arıtma İle	Belediye İle Sözleşmeli
Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Kapasitesi (1. Kademe m3 / gün)	40,000.00	40,000.00	36,000.00	30,000.00	130,000.00	42,000.00
Kapasitesi (2. Kademe m3/gün)	20,000.00	40,000.00	36,000.00	60,000.00	0	0
Deşarj İzin Belgesi Var mı?	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Deşarj Mesafesi (m)	2,450.00	50	1,800.00	0	50	4,000.00
Deşarjın Yapıldığı Yer	2,450.00	ayvalı dere	Ceyhan Nehri	0	Kalburt Deresi	Sarıçay Kuru Dere Yatağı
Kaç Tesisin Ön Atıksu Arıtma Tesisi Var?	10	0	92	0	0	26
Atıksu İçin Alınan Önlemler Nelerdir?	OSB deşarj stand.	Arıtma Tesisi	Ön arıtma - Deşarj noktalarının kontrolü	Arıtma tesisi	Arıtma Tesisi	OSB deşarj stand.
Evsel Atık Yönetimi Var mı?	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Proses Atık Yönetimi Var mı?	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Tehlikeli Atık Yönetimi Var mı?	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Ambalaj Atığı Yönetimi Var mı?	Hayır	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Çevre Yönetim Birimi Var mı?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Çevre Yönetim Sistemi Var mı?	Evet	Evet	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Çevre Yönetim Birimi Kaç Personelden Oluşuyor?	1	25	37	11	2	5
Çevre Yönetim Birimi Personel Nitelikleri Nelerdir?	Çevre Müh.	Müh.+ personel	Çevre müh. + personel	Çevre müh. + personel	Çevre müh. + personel	Çevre müh. + personel
Çevre Laboratuvarı var mı?	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
ÇED Yönetmeliğine Tabi Tesis Sayısı	0	0	0	0	0	148
ÇED Gerekli Değildir Belgesine Sahip Tesis Sayısı	0	0	0	1	0	30

Atıksular için yapılan incelemelerde ise birçok OSB'de atıksu arıtma tesisi bulunmadığı görülmektedir. Atıksu yönetim sistemi ile ilgili detaylı bilgi bir sonraki bölümde verilmektedir.

Çevre yönetim sisteminin yüzeysel olarak incelendiği ve aktarıldığı bu siteden büyük ölçekli tesislerde çevre yönetiminin atıksular ve evsel atıklar açısından uygun yönetildiği, diğer atık türleri açısından ise ilerlemeye ihtiyaç duyulduğu söylenebilir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) çevresel harcama istatistikleri de bu savı destekler niteliktedir (Şekil 1.24). 2008-2015 yılları arasında OSB'lerdeki çevresel harcamaların %67'si atıksu yönetimi, %22'si ise su hizmetleri ile ilgiliyken, sadece %8'i atık yönetimi ile ilgilidir [113].



Şekil 1.24. OSB'lerde çevresel harcamalar

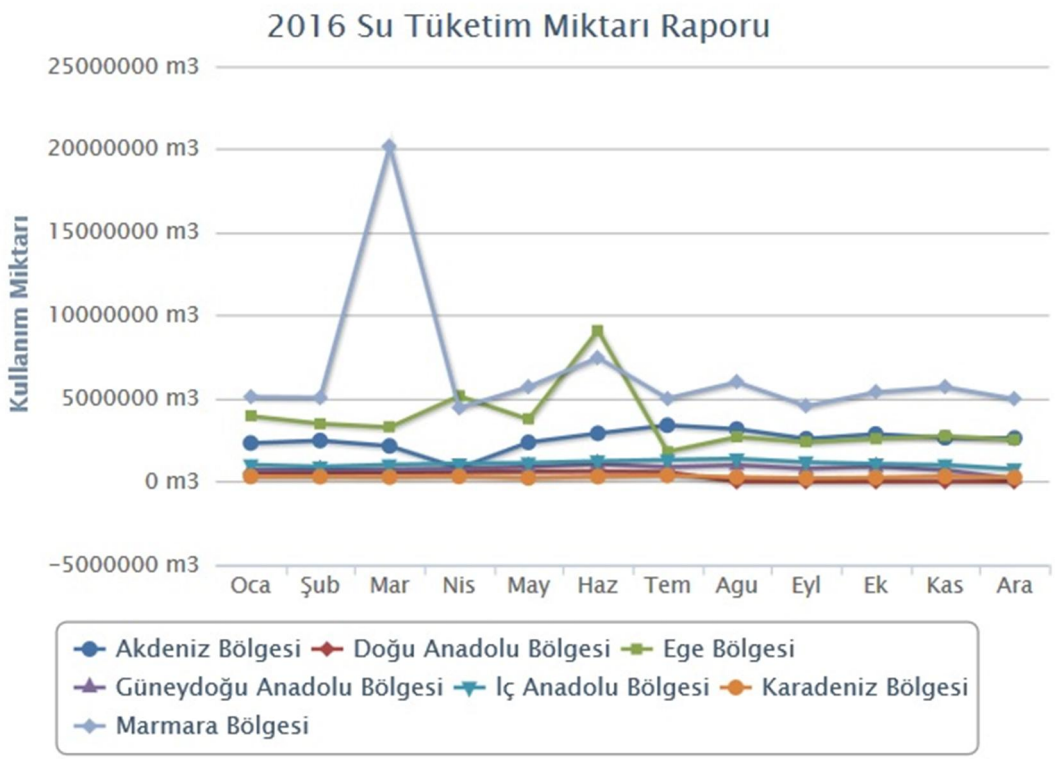
1.5.2 OSB'lerde Atıksu Yönetimi

OSB'lerde üretim yapan tesislerden kaynaklı yüksek miktarda su tüketimine (Şekil 1.25) bağlı olarak evsel atıksu ve proses atıksuyu oluşmaktadır. Bu atıksular yönetim şekline göre ayrı ya da birleşik olarak toplanmakta ve merkezi bir AAT'de ya da şehrin AAT'sinde arıtılmaktadır.

Atıksu miktar ve kirliliğinin farklı olması ve arıtma için bir bedel oluşmasından dolayı OSB'lerde atıksu yönetimi özel düzenlemeler gerektirmektedir. OSB'lerin atıksu yönetim sistemleri birbirinden farklı olsa da bazı OSB'ler için yapılan düzenlemelerden

kısaca bahsedilebilir. Atıksu yönetim sistemi; atıksu ile ilgili yasaklamalar ve kısıtlamalar, atıksuların kontrolü ve atıksu kalite ve miktarının belirlenmesi başlıkları altında yapılan düzenlemeler mevcuttur. Bu bağlamda, atıksu fatura bedelinin kirlilik derecesine göre yapılması ve kirlilik önleme paylarının belirlenmesi gerekmektedir. Kanalizasyona bağlantı standardı, ön arıtma gereksinimi, yağmur sularının toplanması ve deşarjı ve şok yüklemelerin önlenmesi gibi konuların da her OSB'de uygulanması gerekmektedir.

OSB'lerde su tüketen ve atıksu oluşturan tesislerin türü ve sayısı birbirinden oldukça farklılık göstermesinden dolayı OSB'ler için genel bir söylem geliştirmek mümkün değildir. Ancak ihtisas OSB'lerde tesis ya da kapasite büyüklüğüne göre proses atıksuyu oluşum potansiyeli belirlenebilmektedir.



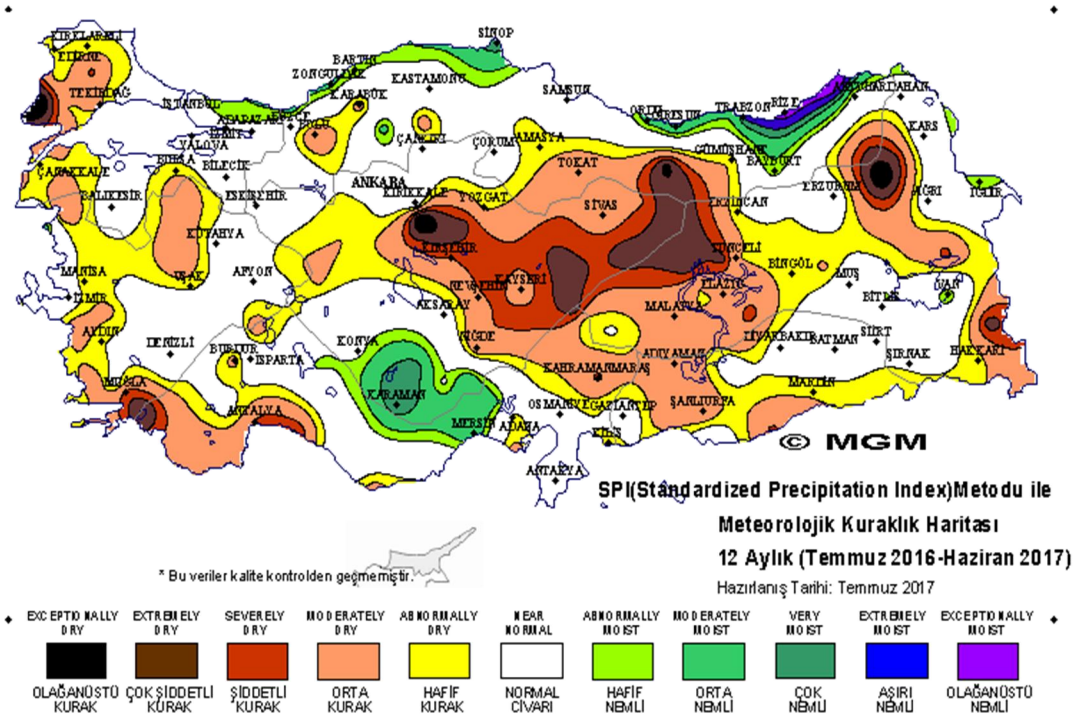
Şekil 1.25. Bölgelere göre OSB'lerde su tüketim miktarları

OSB bilgi sitesinde 299 OSB'nin 81'inde atıksu arıtma tesisi (AAT) bulunduğu, bunlardan 52'sinin ilgili belediye ile sözleşmeli olduğu, 23'ünün ise ön arıtma ile AAT'sinin bulunduğu görülmektedir. Kalan 6 OSB ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır. Bu yüzden OSB'lerin ciddi bir atıksu yönetim sorunu olduğu görülmektedir.

OSB'lerde atıksu yönetimi, kullanılabilir suların sürdürülebilir yönetimi için büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin su stresi yaşayan bir ülke olması, suların verimli bir şekilde ve yeniden kullanılmasını gerektirmektedir. Ayrıca, dünyada ve Türkiye'de yaşanan iklim değişimi nedeniyle özellikle orta Anadolu bölgesinde yağışların azalması (Şekil 1.26) ve sıcaklıkların yükselmesi su kaynaklarını tehdit etmektedir [114]. Yapılan iklim değişimi projeksiyonlarına göre 2040 yılına kadar sıcaklıklarda 2 ^{o}C'lik artış yaşanması ilkbahar aylarında ise % 20'lik yağış azalması beklenmektedir [115].

Ayrıca, yıllık yağış miktarlarında Marmara bölgesinin 620 mm, İç Anadolu bölgesinin ise 404 mm yağış aldığı tespit edilmiştir [116].

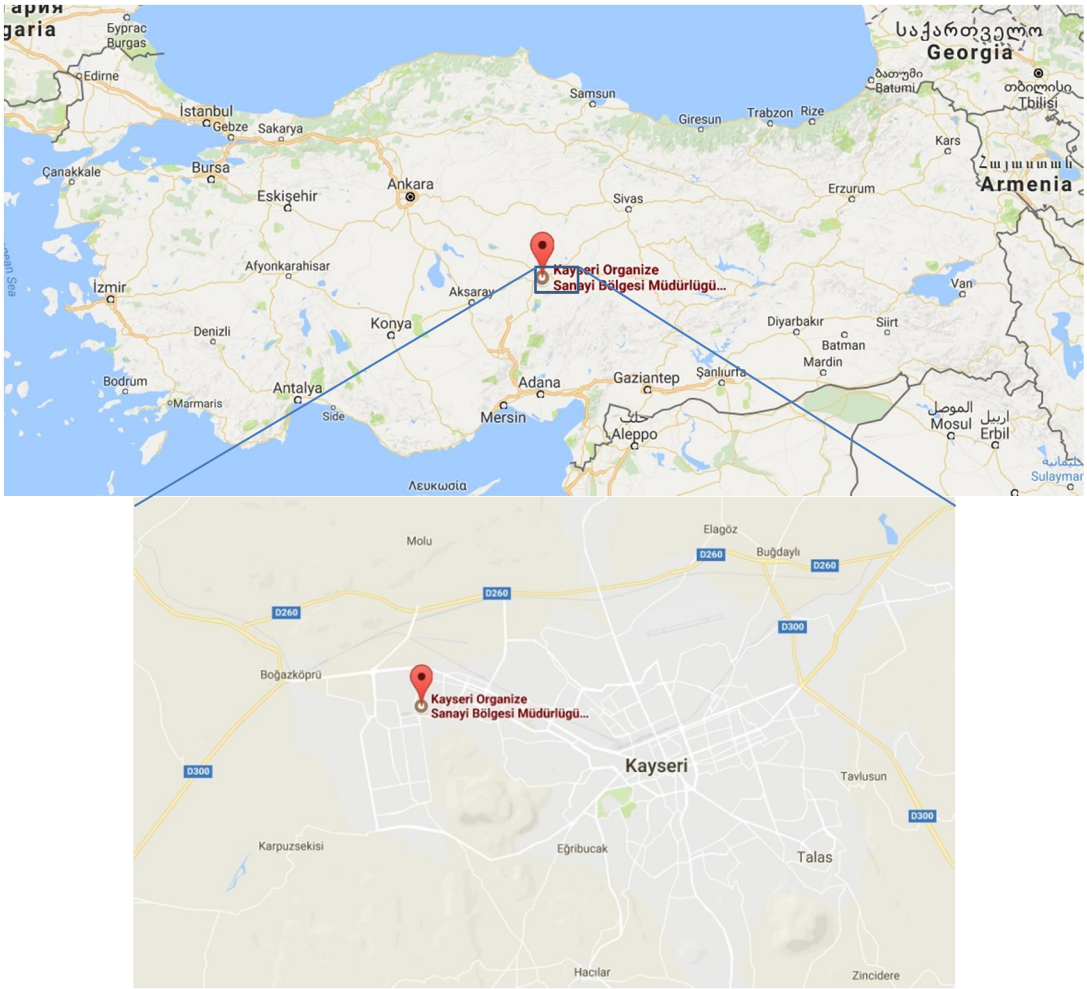
Bu nedenle, suyu fazla tüketen OSB'ler için suyun yeniden kullanım alternatiflerinin araştırılması gerekmektedir.



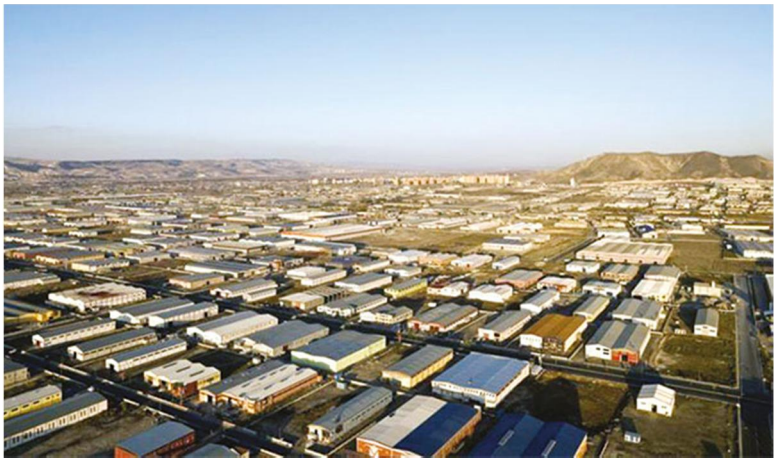
Şekil 1.26. Türkiye'nin 12 aylık kuraklık haritası

1.6 Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (KOSB)

Kayseri OSB 1976 yılında kurulmuş olup yatırım, üretim, istihdam ve ihracat açısından Türkiye'deki en büyük 10 organize sanayi bölgesinden biridir [117]. Yaklaşık 1100 fabrikadaki 65.000 çalışanıyla Türkiye'ye ve dünyaya hizmet vermektedir (Şekil 1.27 ve Şekil 1.28) [118].



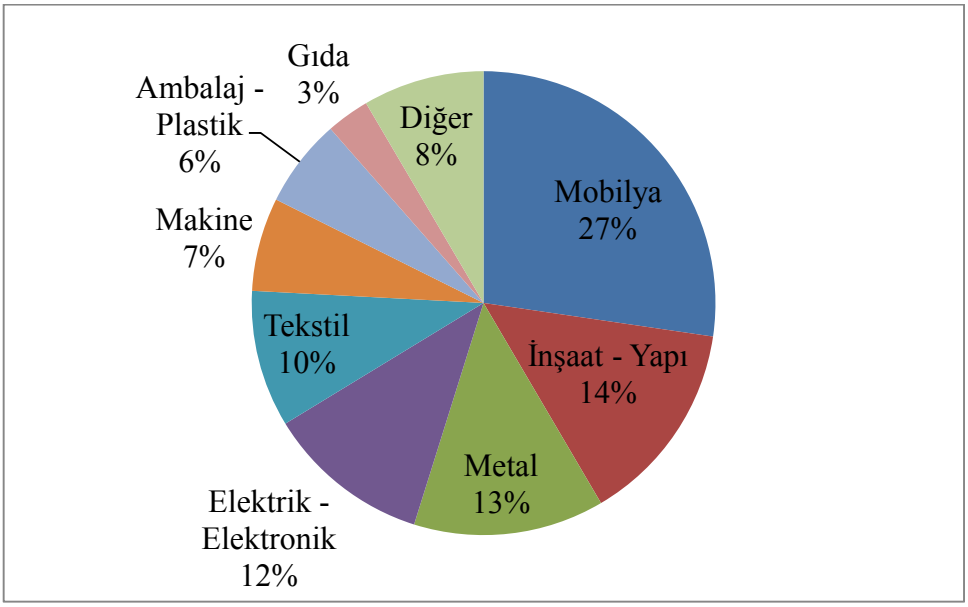
Şekil 1.27. Kayseri organize sanayi bölgesinin konumu



Şekil 1.28. Kayseri organize sanayi bölgesi kuş bakışı görünümü

Kayseri OSB, büyük oranda mobilya sektörü ve buna bağlı yan sanayi fabrikalarının oluşturduğu karma bir OSB'dir. Sayıca %27 oranında mobilya sektörü, %10-15 oranlarında İnşaat-yapı, metal, elektrik elektronik ve tekstil sektörleri bulunmaktadır

(Şekil 1.29). Ancak, atıksu oluşturma oranları sektörlere göre farklılık göstermektedir. Tekstil sektörü, sayıca az olmasına rağmen en fazla atıksu oluşturan sektör konumundadır (Şekil 1.30).



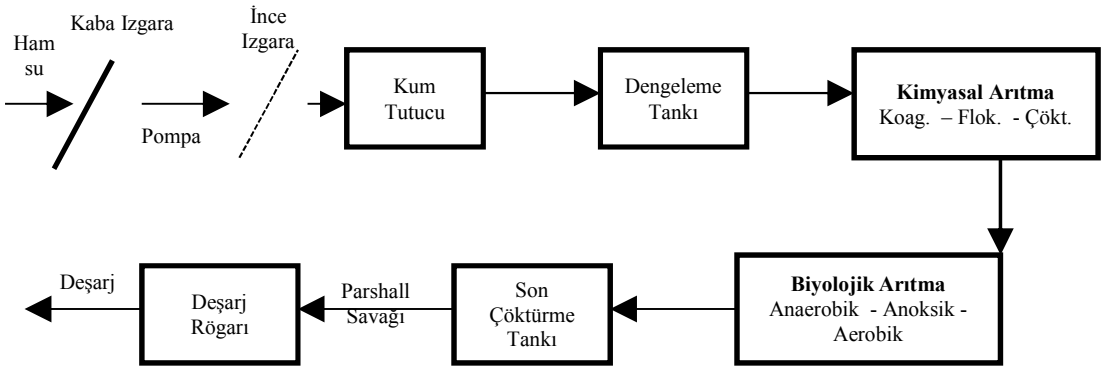
Şekil 1.29. Kayseri OSB: sektörlere göre dağılım

Şekil 1.30. Kayseri OSB: atıksu oluşturma oranlarına göre dağılım

Kayseri OSB'de tüm su ihtiyaçları için yeraltı suyu kullanılmakta olup metre küp fiyatı 1,1 TL'dir.

1.6.1 KOSB Atıksu Arıtma Tesisi

Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren tüm işletmelerin evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuları, merkezi bir atıksu arıtma tesisinde toplanmakta ve arıtılmaktadır. Atıksu arıtma tesisi (AAT), 52.500 m^2 alan üzerinde kurulmuş olup iki kademeli olarak tasarlanmıştır. İnşaat aşaması 2009 yılında başlatılan arıtma tesisinin birinci kademesi 2013 yılında tamamlanmış olup, 40.000 m^3/gün olarak tasarlanmıştır. 2017 yılı itibariyle gün içinde debisi 40.000 m^3'ü bulan tesiste fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma üniteleri bulunmaktadır. Azot (N), fosfor (P) ve karbon (C) gideriminin birlikte yapıldığı AAT'nin akım şeması Şekil 1.31'de verilmiştir. Tesisteki temel ünitelerin sayıları ve özellikleri ise Tablo 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.31. Kayseri OSB AAT akım şeması

Tablo 1.9. KOSB AAT temel özellikleri

Ünite	Sayı	Tasarım kriteri/Özellik
Kaba ızgara	2 mekanik 1 manuel	30 mm çubuk aralığı
İnce ızgara	3 mekanik 1 manuel	3 mm çubuk aralığı
Kum ve yağ tutucu	1 adet 2 gözlü	0.3 m/s yatay hız
Dengeleme havuzu	1 adet	4 saat bekletme süresi / 10.000m^3
Hızlı karıştırma ünitesi	2+1	10 dk bekletme süresi
Yavaş karıştırma ünitesi	2+1	20 dk bekletme süresi
Ön çöktürme havuzu	2+1	28.4 ton/gün katı yükü
Anaerobik havuz	2+1	53 dk bekletme süresi
Havalandırma havuzu	2+1	27 saat bekletme süresi
Son çöktürme havuzu	2+1	0.78 m^3/m^2.sa yüzey yükü
Çamur yoğunlaştırma	2	1.3 saat bekletme süresi
Çamur susuzlaştırma	4	4 adet belt filtre

2. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu bölümde laboratuvar ölçekli çalışmaların yöntemleri, kullanılan malzemeler, analitik yöntemler ve deneysel tasarımın nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

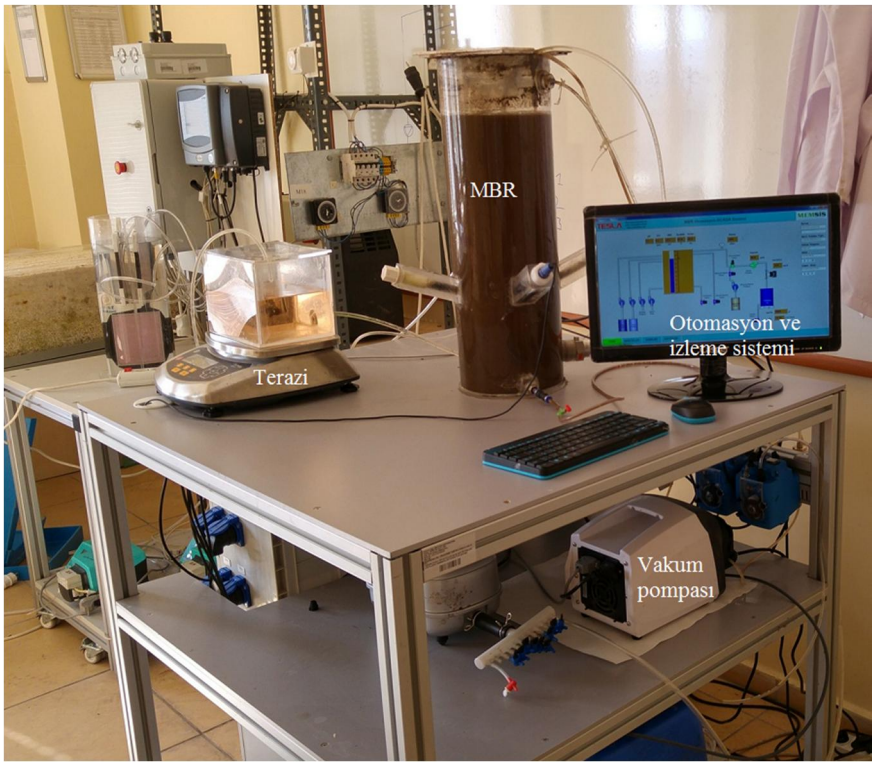
2.1 Laboratuvar Ölçekli Membran Biyoreaktör (MBR)

Bu çalışmada 20 L aktif hacme sahip, pleksiglas malzemeden üretilmiş, silindirik bir membran biyoreaktör kullanılmıştır. Biyoreaktör, 33 cm çapa ve 60 cm yüksekliğe sahip olup toplam hacmi 25 L'dir. İşletme sırasında reaktör 50 cm yüksekliğinde ve 20 L efektif hacimde sürekli olarak çalışmaktadır (Şekil 2.1).

Şekil 2.1. Membran biyoreaktör

Reaktörde; çözünmüş oksijen (dissolved oxygen, DO), pH, oksidasyon redüksiyon potansiyel (oxidation reduction potential, ORP) ölçer ve seviye ölçer probları/cihazları bulunmaktadır. Sistem, bir yazılım sistemiyle izlenmekte ve tam otomasyonlu olarak

işletilmektedir. Şekil 2.2'de MBR sisteminin fotoğrafı verilmiştir. MBR'deki temel ekipmanlar açıklamalarıyla birlikte aşağıda özetlenmiştir.

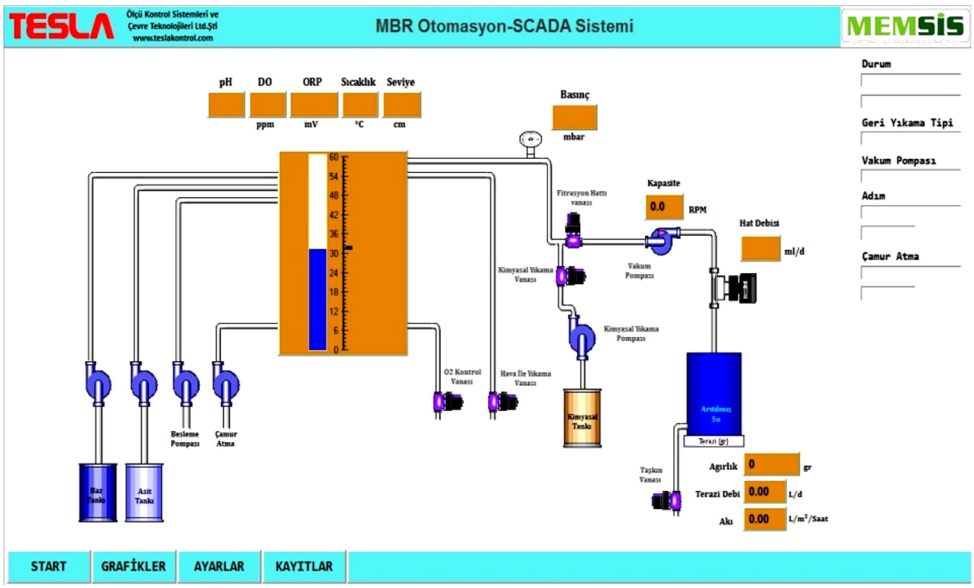


Şekil 2.2. Laboratuvar ölçekli MBR sistemi genel görünümü

- Reaktör, pleksiglas (20 L aktif hacimli)
- Besleme tankı (35 L, günlük değiştirilen)
- Besleme pompası (peristaltik)
- Vakum pompası (hızı ayarlanabilir)
- Hava pompası (selenoid vanaya bağlı, DO seviyesine göre çalışan)
- Asit, baz, çamur atma, kimyasal pompaları (Geri yıkama, pH'a göre asit ve baz besleme ve çamur atma pompaları; peristaltik)
- Süzüntü suyu toplama tankı (3 L kapasiteli)
- Elektronik tartı (tartım sonucu anlık olarak sisteme gönderilmektedir)
- pH, ORP, çözünmüş oksijen probları
- Seviye sensörü (reaktördeki su seviyesini sürekli belirli aralıkta tutmak için)
- Yönlendirme selenoid valfleri (işletme şartlarına göre açılıp kapanan vanalar)
- Asit, baz ve çamur tankları (asit ve baz pH'a göre beslemeye hazır, çamur: reaktörden atılan çamurun biriktiği tank)

- Programlanabilir mantık kontrolü (Programmable logic control, PLC) pano ünitesi (Otomasyon için gerekli anahtarların, vanaların açılıp kapanmasını sağlayan bir elektrik sistemi)
- Scada yazılımı (Otomasyonun sağlandığı arayüz)

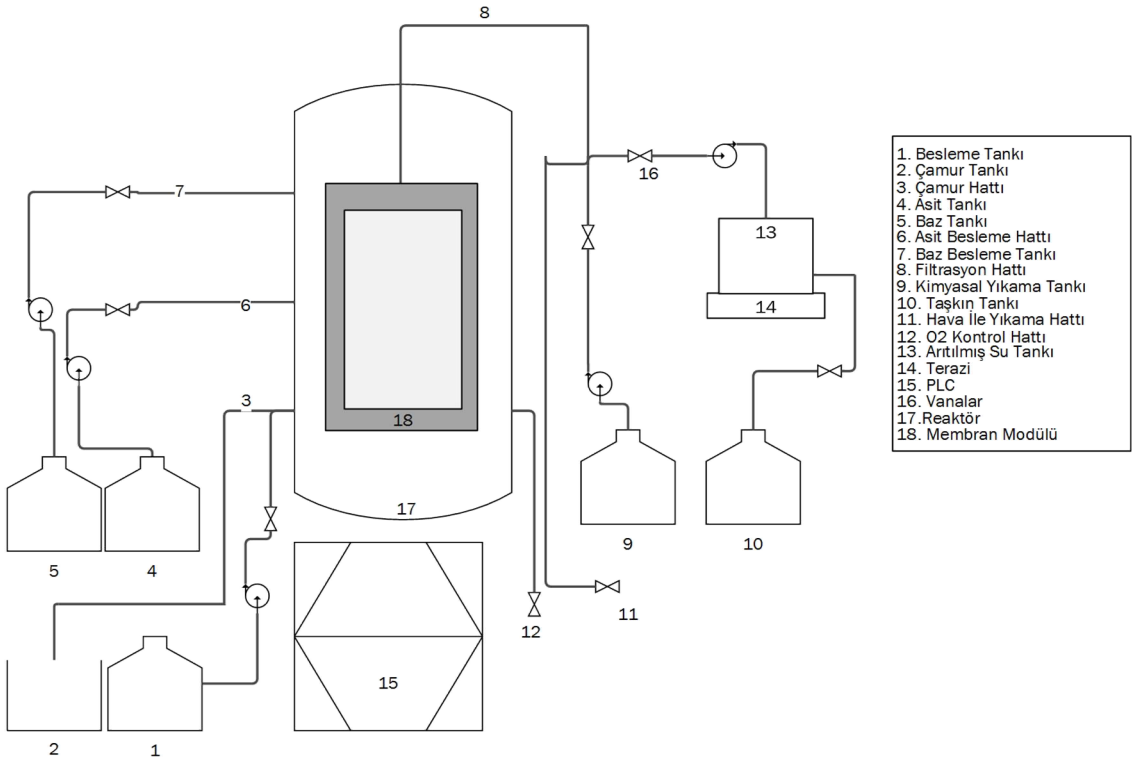
Sistem, besleme tankına bağlı Kayseri OSB atıksu arıtma tesisi ön çöktürme atıksuyu ile sürekli olarak beslenmiştir. Vakum pompasına bağlı membran modülü ile istenen dönüş hızında sistemden arıtılmış su çekilmektedir. Sistem otomasyon sistemine bağlı olup birçok parametre kontrol edilmekte ve bu parametreler için istenen alt-üst limit değerlerin çıkılması durumunda pompa/vana devreye girmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. MBR SCADA sistemi

MBR sisteminin akım şeması ise Şekil 2.4'te verilmiştir. Akım şemasında sistemdeki tüm ana unsurlar gösterilmiştir.

Sistemin çalışma şartları Tablo 2.1'e göre düzenlenmiştir. Burada istenilen şartlar sistemde kontrol altında tutulabilmekte, işletme şartları düzenlenebilmektedir. Örneğin, vakum hızı sistemden rpm (dakikadaki devir hızı, rotation per minute) cinsinden otomatik olarak ayarlanabilmekte ya da pH 6-8 arasında tutulabilmektedir. pH ayarlaması 0,1 N sülfürik asit (H_2SO_4) ya da 0,1 N sodyum hidroksit (NaOH) çözeltileri ile yapılmaktadır. Sistemden çamur atma sıklığı ve süresi de otomasyon ile ayarlanabilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.4. MBR sistemi akım şeması

Tablo 2.1. MBR otomasyon işletme şartları

Parametre	**İşletilen değer**
pH	7.5
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	3
Seviye (cm)	50
Filtrasyon süresi (dk)	10
Duraklama süresi (dk)	1
Veri alma sıklığı (dk)	1

Şekil 2.5. İşletme parametreleri kontrol ekranı

MBR sisteminin düz plaka membranlarla işletilmesi nedeniyle sistemin vakum yapma - duraklama (dinlenme, relaxation) süreleri de otomasyonla kontrol edilmektedir. Seçilecek tüm geri yıkama senaryoları otomasyon sistemi ile belirlenmektedir. Bu çalışmada, membran tıkanma farklılıklarını gözlemlemek için farklı vakum-bekleme (relaxation) seçenekleri denenmiştir. Literatürde 5 dakika vakum ve 1 dakika rahatlama (5:1) ya da 8:2, 4:1 gibi denemeler mevcuttur [49, 119, 120].

MBR'de en önemli parametrelerden biri olan akı işletme boyunca birkaç farklı yöntemle hesaplanmıştır. İlki, sistemden süzülen suyun debimetreden geçmesiyle hesaplanan akı (işletmenin büyük bölümünde debimetrenin arızası nedeniyle bu akı kullanılmamıştır), ikincisi süzüntünün tartılmasıyla aktarılan veriden hesaplanan ve SCADA ekranında sürekli görülen anlık akı, üçüncüsü ise anlık olarak kaydedilen süzüntü tartımlarından hesaplanan akıdır. Bu çalışmada tartımların anlık olarak kaydedildiği veriler alınarak akı hesabı yapılmıştır. Bu aşamada günlük olarak ortalama, minimum ve pik akılar hesaplanmış olup filtrasyon sırasında ölçülen ortalama akılar kullanılmıştır.

Akı literatürde çoğunlukla LMH olarak ifade edilmekte olup açılımı saatte m^2 membran alanından geçen debi ($L/m^2.sa$) anlamına gelmektedir. Akı hesaplamaları saatlik süzüntü miktarının litreye çevrilmesi ve membran alanına bölünmesi ile yapılmıştır.

2.1.1 Membran Modüllerinin Hazırlanması

MBR sisteminde işletilecek düz plaka membran modüllerinin hazırlanması için aşağıdaki sıra takip edilmiştir. Ayrıca modül hazırlama aşamaları Şekil 2.6'de verilmiştir.

- Polipropilen malzemeden üretilmiş oluklu levha istenilen ölçülere (modül boyutuna) getirilir.
- Oluklu levha üzerine, suyun çekilebilmesi için mümkün olduğunca fazla delikler açılır.
- Levha üzerine çift taraflı bant yardımıyla membran destek malzemesi yapıştırılır. Bu sayede membranın basınç ile deforme olmasının önüne geçilmiş olur hem de levha üzerindeki deliklerin membrana zarar vermesi engellenmiş olur.
- Destek malzemesi üzerine yine çift taraflı bant yardımıyla membranın yapıştırılması sağlanır.
- Plastik köşebentler kesilen levhaya uygun ölçü ve açılarda kesilerek levha kenarlarına uygulanır. Bu uygulama sırasında membran yüzeyinin deforme olmamasına dikkat edilir.
- Membran ile köşebentlerin arasında oluşan boşluklarının kapatılması için reçine ve sertleştirici ile hazırlanan epoksi, yapıştırıcı boşlukların doldurulması için kullanılır.
- Modül üzerine filtrasyon işleminin gerçekleşebilmesi için uygun köşebent üzerindeki filtrasyon ucunun içerisine uygun boyutta delik açılır.
- Filtrasyon hattı ile modül arasındaki borulama da epoksi ile doldurulur.

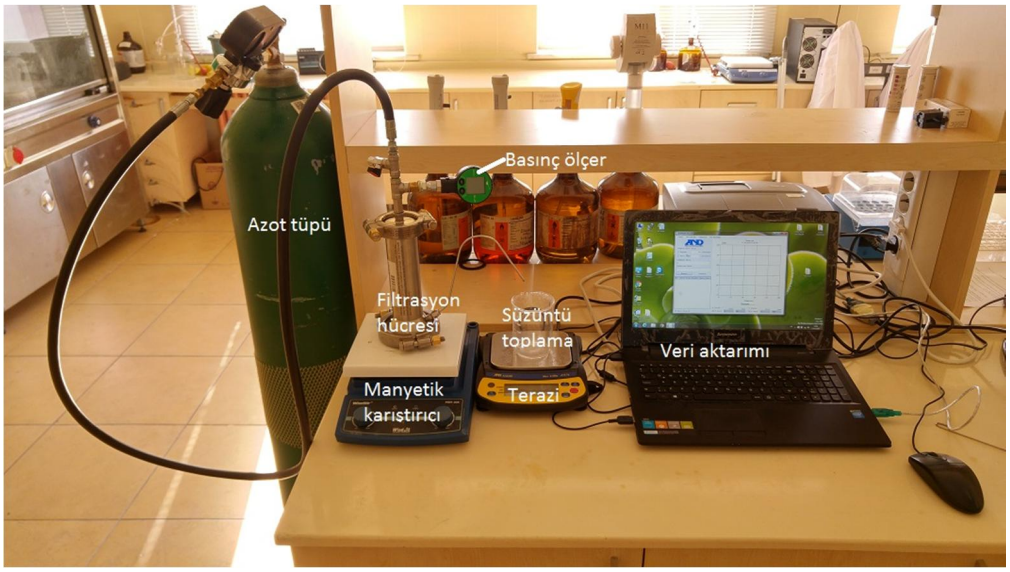
Hazırlanan modüller filtrasyon hattına pnömatik elemanlarla bağlanarak sistem başlatılır.

Şekil 2.6. Membran modülünün hazırlanışı

2.2 Membran Filtrasyon Düzeneği

Bu tez çalışmasında ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (RO) membranları ile yapılan filtrasyon çalışmalarında Sterlitech HP4750 (Kent, Washington, ABD) filtrasyon düzeneği kullanılmıştır. Bu düzenekte filtrasyon, azot gazının basıncı ile sağlanmaktadır. Farklı membran türleri ile yapılan çalışmalar için aşağıda ekipmanlar kullanılmıştır (Şekil 2.7).

- Azot tüpü (Basınç için)
- Regülatör (Basınç ayarı için)
- Barometre (Basınç ölçer)
- Manyetik karıştırıcı (Çapraz akışlı bir filtrasyon düzeneğine benzetmek için)
- Elektronik terazi (Filtre edilen süzüntünün tartımı ve verilerin anlık olarak bilgisayara aktarılması için)
- Yüksek basınca dayanıklı paslanmaz çelik filtrasyon hücresi (Sterlitech)
- Bilgisayar – WinCT-RsCOM programlı (veri kaydı yapan)



Şekil 2.7. Membran filtrasyon düzeneği

Filtrasyon düzeneğinin teknik özellikleri Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Filtrasyon sisteminin teknik özellikleri

Parametre	**Değer**
Membran Çapı	49 mm
Aktif Membran Alanı	14.7 cm^2
Hacim	300 ml
Maksimum Basınç	69 bar
Maksimum Sıcaklık	121 ^0C

Filtrasyon düzeneğinin farklı basınçlarda çalışabilmesi ve basıncın hassas ayarlanabilmesi için iki farklı regülatör kullanılmıştır. Düşük basınçlar için 0-10 bar, yüksek basınçlar içinse 0-40 bar aralığında çalışılan regülatörlerle hassas ayarlamalar yapılabilmektedir.

Filtrasyon düzeneğindeki prosedür/talimatname şöyledir:

1. Filtrasyon düzeneğine uygun membran destek tabakası boyutlarında kesilir.
2. Alt kapak contasını hücrenin alt kısmına yerleştirilir.
3. Kesilen membranı parlak kısmı suya gelecek şekilde contanın üstüne yerleştirilir.
4. Membranın üstüne paslanmaz çelik destek tabakasını yerleştirilir.
5. Kelepçeleri takılır ve vidalanarak sıkılır.

6. Monte edilen kısım alt kısma gelecek şekilde yerleştirdikten sonra karıştırıcı hücreye atılır (karıştıcının düzgün yerleştiğinden ve döndüğünden emin olunur).
7. Hücreye en fazla 300 mL filtrelenmek istenen su doldurulur.
8. Üst kısımdaki basınç borusu yine kelepçelenerek vidalanır.
9. Cihazın tüm vidalarını kontrol edilir ve anahtar ile sıkılır.
10. Filtrasyon düzeneğinin üst kısmındaki basınç vanası kapatılır.
11. Azot gazı üzerindeki ana vanayı açılır daha sonra regülatör ile basınç ayarı yapılır.
12. Basınç ayarı yaptıktan sonraki ilk dakikada basıncın dengeye getirilmesi sağlanır.
13. İstenen miktarda süzüntü alındıktan sonra azot gazı vanası kapatılır Şekil 2.8.
14. Hücredeki basınç vanası yavaşça açılarak hücre içindeki basınç boşaltılır.
15. Kelepçeler açılır, konsantre boşaltılır. Hücre yıkanır
16. Süzüntü analiz için alınır, süzüntünün tartılmasıyla kaydedilen veriler alınarak akı hesaplanır.

Şekil 2.8. Azot gazı regülatörleri

2.3 Kullanılan Membranlar

Membranlar farklı tedarikçilerden farklı gözenek boyutuna göre seçilmiştir. MF ve UF membranları ise en çok kullanılan PES ve PVDF malzemelerden seçilmiştir (Tablo 2.3). Bunun amacı iki membran malzemesini karşılaştırabilmektir. NF ve RO membranları TM610 membranı hariç poliamid kompozit malzemesinden üretilmiştir. Bu membranların gözenek boyutu farklıdır.

Laboratuvar ölçekli çalışmalarda üç farklı MF, UF, NF ve RO membranları kullanılmıştır. NF membranlarına (NF90, NF270 ve TM610) ve RO membranlarına (BW30, XLE ve GE) ait özellikler sırasıyla Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.3. MF ve UF membranlarının özellikleri

Membran Türü	**Gözenek Boyutu (µm)**	**Membran Malzemesi**
MF	0,24	PVDF
MV02	0,2	PVDF
MP005	0,05	PES
UF 4 kDa	0,07	PES
UF 10 kDa	0,1	PES
UF 250 kDa	0,44	PVDF

Tablo 2.4. NF membranlarının özellikleri. PA: poliamid, PVDF: polivinilidin florür, Da: Dalton

Parametreler	**NF 90**	**NF270**	**TM610**
Membran malzemesi	PA	PA	PVDF
Maksimum İşletme Sıcaklığı	35 ^{0}C	45^{0}C	45^{0}C
Maksimum İşletme Basıncı	41 bar	35 bar	60 bar
pH aralığı	4-11	3-10	2-11
Moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO)	200 Da	300 Da	100 Da
Ortalama giderim yüzdesi- NaCl için	85-95	40-60	80-97

Tablo 2.5. RO membranlarının özellikleri

Paramatreler	**BW30**	**XLE**	**GE**
Saf su geçirgenliği	6,7 x 10^{-7} m/s.bar	1,9 x 10^{-6} m/s.bar	12-19 LMH
Tuz giderimi (%)	% 99,5 (NaCl)	% 95 (MgSO4)	% 99.3 (NaCl)
Malzeme	PA	PA	PA

2.4 Analiz Yöntemleri

Bu tez çalışmasında günlük rutin analizler MBR'de; pH, MLSS, KOİ, renk, iletkenlik ve bulanıklık için yapılmıştır. Diğer filtrasyon çalışmalarında ise pH, iletkenlik, KOİ ve bulanıklık için yapılmıştır. Metal ve mikrokirletici analizleri ise MBR ve UF çıkışlarında her bir modül işletimi için birer kere yapılmıştır. Yapılan tüm analizlerin yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

$BOİ_5$: Standart Metot 5210'a göre HACH - BODTRAK marka cihaz ile tayin edilmiştir. BOİ testinde genel prensip organik madde ve çözünmüş oksijenin bakteriler tarafından kullanılıp, karbondioksit ve yeni bakteri hücrelerine dönüştürülmesi sırasında karbondioksitin kısmi basıncının ölçülmesine dayalı olarak ölçülmektedir.

MLSS: Standart Metot 2540-D'ye göre tayin edilmiştir. İyice karıştırılan numune sabit tartıma getirilip 0,45 µm gözenek çapına sahip cam elyaf filtre kâğıdından süzülmüştür. Filtre kâğıdı 103-105 ^{0}C'de bir saat süre ile etüvde kurutulmuştur. Desikatörde oda sıcaklığına soğutulup, tartılmış ve aradaki ağırlık farkından MLSS konsantrasyonu belirlenmiştir.

MLVSS: MLSS analizinde son tartımı yapılan filtre kâğıdının kül fırınında 550 ^{0}C'de 1 saat yakılması sonrasında filtre kâğıdının soğutulup tartılması ile gravimetrik olarak belirlenmiştir.

KOİ: KOİ analizinde 2 yöntem uygulanmıştır. KOİ'si çok düşük ve hassas olan veya renk girişimi yapma ihtimali olan numuneler titrimetrik metoda göre (Standart Metot 5520-B) renk girişimi yapmayacak numuneler ise kolorimetrik metoda göre (Standart Metot 5520-D) spektrofotometrede ölçülmüştür. Titrimetrik metod; şiddetli asit koşullarında, kuvvetli bir oksitleyici olan $K_2Cr_2O_7$ ile kaynatılarak oksitlenmesini sağlayan iki saatlik kaynatma sonunda tüketilmeden kalan oksitleyicinin miktarının standart Demir Amonyum Sülfat çözeltisi ile hacimsel olarak tayin edilmiştir. Spektrofotometrik metotta ise titrimetrik metotta yapılan titrasyon yerine HACH DR 3800 marka spektrofotometrede 600 nm dalga boyunda absorbansları okunarak tayin edilmiştir.

NO_2-N: Haftada bir gün MQuant ^{TM} marka Nitrit test stripleri ile kaba ölçümleri yapılmıştır.

NO_3-N: Haftada bir gün MQuant ™ marka Nitrat test stripleri ile kaba ölçümleri yapılmıştır.

Toplam Fosfor: Standart metot 4500P-E'ye göre fosfat fosforu cinsinden spektrofotometrede 690 nm dalga boyunda ölçülerek hesaplanmıştır.

Renk: Pt-Co metoduna göre HACH–DR 3800 marka spektrofotometrede ölçülmüştür. Kalibrasyon işlemi yapılmış spektrofotometreye şahit çözelti konmuş ve cihaz sıfırlanmıştır daha sonra şahit numune çıkarılarak yerine numune koyulup ölçülmüştür. Okunan değer limit değerleri aşıyorsa gerekli seyreltmeler yapılarak ölçüm tekrar edilmiştir.

pH: Elektrometrik metoda (Standard Metot 4500-H+) göre HACH HQ 40d marka pH metre ile günlük olarak ölçülmüştür.

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

Bulanıklık: HACH 2100 IS marka türbidimetre ile nefelometrik bulanıklık birimi (Nephelometric Turbidity Unit, NTU) cinsinden ölçülmüştür.

Mikrokirleticiler: Mikrokirleticiler için belirlenen farmasötikler, kişisel bakım ürünleri, endokrin bozucular ve endüstriyel kirleticiler için analizler yapılmıştır. Farmasötikler için İbuprofen, kişisel bakım ürünleri için Triklosan, Endüstriyel kirleticiler için ise Fitalatlar, bazı PAH'lar ve bazı PCB'lerin analizleri yapılmıştır (Tablo 2.6).

Fitalatlar, PAH'lar ve PCB'lerin analizleri EPA 8270D metoduna göre Thermo TSQ8000 evo Triple Quadrupole isimli cihazda tayin edilmiştir. Ibuprofen ve Bisphenol-A (BPA) ise Thermo/Dionex Ultimate 3000 isimli cihazda EPA 1694'e göre yapılmıştır.

PAH, PCB ve Fitalat anaizleri; alınan numuneler 5 derecede muhafaza edilir. Bunun içerisinden 1 litre numune mezürle ölçülür ve ayırma hunisine (polytetrafluoroethylene kapaklı) konulur. Sonra pH sülfirik asitle 1,9'a getirilir. Sonra içerisine surrogate denilen standartlar ilave edilir. Sonra 1 litreyi aktarılan numune 60 mL Dichloromethan ile çalkalanır ve bu ayırma hunisinde alınan numunenin üzerine boşaltılır.

Tablo 2.6. Ölçümü yapılan mikrokirleticiler

PAH'lar	**PCB'ler**	**Fitalatlar**	**Diğerleri**
naftalin	PCB28	MethylPhtalate*	BPA
metilnaftalin	PCB52	EthylPhtalate*	Ibuprofen
etilnaftalin	PCB101	DibuthylPhtalate*	Triclosan
acenapthyene	PCB118	BenzylButylPhtalate*	
acenaphene	PCB153	bis2EthylHexylPhtalate*	
fluorene	PCB138	nOctylPhtalate*	
phenantrene	PCB180		
antrecene			
2metilphenantrene			
1metilphenantrene			
36dimetilphenantrene			
fluoranthene			
pyrene			
1metilpyrene			
chresene			
benzoAantrecene			
benzoBfluoranthene			
benzoKfluoranthene			
benzoEpyrene			
benzoApyrene			
indeno123cdpyrene			
dibenzoAHantrecene			
benzoGHIperylene			

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 60 mL'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.

Ibuprofen analizi ise; EPA 1694'e göre yapılmıştır [121]. BPA ise bu metoda göre uyarlanmıştır. Buna göre 1L numunenin pH'ı HCl ile 1.9'a getirilir. SPE kartuşundan süzülür. Kartuşta kalan extract metanol yardımıyla geri kazanılır. Geri kazanılan 12 mL lik metanol içerisindeki ibuprofen 1 mL'ye azot yardımıyla uçurulur. LC-MS-MS cihazında ölçümü yapılır. LC-MS-MS cihazının HPLC kısmı Thermo/Dionex Ultimate 3000, MS kısmı ise Thermo TSQ Quantum Access Max Triple Quadrupole markadır.

Cihaz hassasiyetleri şu şekildedir:

PCB'ler için 1 ppt ve altındaki değerler,
PAH'lar için 5 ppt ve altındaki değerler,

Ibuprofen için 30 ppt ve altındaki değerler,

BPA için 5 ppt ve altındaki değerler güvenilmeyen sonuçlardır.

2.5 Membran Görüntüleme (Otopsi)

Taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscope (SEM)) ile alınan görüntüler FEI Quanta FEG 200 (Thermofisher Scientific, Eindhoven, The Netherlands) cihazı ile ESEM modunda yapılmıştır. Enerji dağılım X-ray spektroskopisi (Energy dispersive X-ray, EDX) analizleri ise AMATEK EDAX Apollo X (Amatek GmbH, Wiesbaden, Germany) cihazıyla yapılmıştır.

Eşodaklı lazer tarama mikroskobu (Confocal laser scanning microscopy, CLSM) görüntüsü almak için membranlar Live/Dead baclight™ Bacterial viability kit (Thermofisher Scientific, Eindhoven, The Netherlands) kullanılarak boyanmıştır. Boya, 1 ml distile su içerisine 1.5 µl komponent A, 1.5µl komponent B'den eklenerek hazırlanmıştır. Membranlar 1 cm x 1 cm kesilerek lam üzerine yapıştırılmıştır. Pipetle boya alınıp membranların üzeri boya ile kaplanarak ışık almaz bir ortam içerisinde 30 dakika bekletilmiştir. Nikon C2 eşodak mikroskobu kullanıldı. Görüntü alınırken NIS-Elements AR 4.10.01 programı kullanılarak 10x lens ile bakılmıştır. Yanal görüntüler membran kalınlığı boyunca ilerlenirken alınmıştır.

2.6 Deneysel Tasarım

Suyun yeniden kullanılabilirliğinin incelenmesi için bu çalışmada iki yol izlenmiştir:

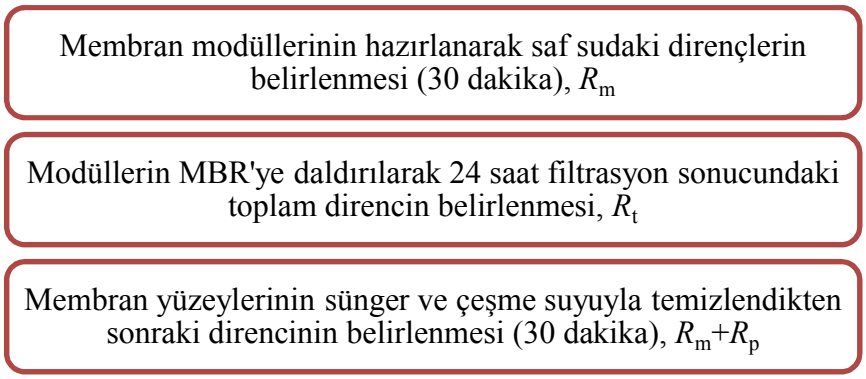
1) MBR'de OSB AAT ön çöktürme çıkış atıksuyunun MBR'de arıtılarak NF ve RO membranlarıyla yeniden kullanılabilirliğinin incelenmesi
2) AAT son çöktürme çıkış suyunun UF sonrası NF ve RO membranlarıyla yeniden kullanılabilirliğinin incelenmesi

2.6.1 MBR Çalışmaları

Çalışmada kullanılan 6 farklı FS membran için kesikli filtrasyon çalışmaları ile membranların direnç performansları incelenerek 2'sinin 3'er aylık performansı incelenmiştir. Daha sonra her bir MBR çıkış suyunun NF ve RO ile geri kazanıma uygunluğu incelenmiştir.

Aktif çamur, MBR'nin OSB son çöktürme ünitesinin çamur atma kısmından alınarak aşılanmıştır. Öncelikle Kayseri OSB ön çöktürme çıkış atıksularının MBR'de arıtılması için 4 ay boyunca sistem parametreleri sürekli olarak izlenerek çalışma şartları optimize edilmiştir. Bu nedenle, sistemin çamur yaşı (SRT), hidrolik bekletme süresi (HRT), basınç, tıkanma ve akı değerleri ile sistemin en uygun şartları belirlenmiştir.

MBR'de kullanılması planlanan 6 farklı membranın (3'ü MF, 3'ü UF) kesikli filtrasyon çalışmaları ile dirençleri belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlar değerlendirilerek 1'er adet UF ve MF membranı seçilmiştir. MBR'nin işletilmesinde kalan sürede bu iki membranın işletilerek geri kazanıma yönelik filtrasyon çalışmalarına devam edilmiştir. Kesikli filtrasyon çalışmaları için izlenen prosedür Şekil 2.9'da verilmiştir [122]. Yapılan MBR çalışmalarının tümü benzer MBR şartlarında ardı ardına yapılmıştır. Yapılan MBR çalışmalarının tümü benzer MBR şartlarında ardı ardına yapılmıştır.



Şekil 2.9. Kesikli MBR çalışmaları için izlenen prosedür

Öncelikle 285 cm^2 toplam yüzey alanına sahip dikdörtgen yapıda membran modülleri hazırlanmıştır. Bu modüllerin direnç hesapları aşağıdaki genel formüle göre belirlenmiştir:

$$R = \frac{\Delta P}{\mu J_{ss}}$$

Burada;

R: Filtrasyon direnci (m^{-1})

ΔP: Basınç (Pa)

μ: Süzüntü viskozitesi (Pa.s)

J_{ss}: Denge durumundaki akı değeri ($m^3/m^2.s$)

Bu hesaplamalarda toplam direnç R_t ile, saf su direnci (membran direnci) R_m ile, gözenek direnci R_p ile, kek direnci ise R_c ile gösterilmiştir.

Toplam direnç, R_m, R_p ve R_c'nin tümünün toplamına eşittir. Bu direnç MBR'deki filtrasyonda denge durumundaki dirençtir.

Membran yüzeyinin süngerle fiziksel olarak temizlenmesinden sonraki direnç = R_m+R_p'dir.

Buna göre; kek direnci, $R_c = R_t - (R_m + R_p)$ formülü kullanılarak hesaplanabilir.

Yukarıdaki prosedüre göre uzun süreli işletme amacıyla en düşük dirençli birer adet MF ve UF membranı seçilmiş ve Tablo 2.7'de verilen işletme koşullarına göre işletilmiştir.

Tablo 2.7. MBR işletme koşulları

Modül	SRT (Gün)	MLSS (mg/L)	HRT (saat)	Membran alanı (cm^2)	İşletilen gün
MF	40	8.000 ± 700	27,7	690	60
MF	20	9.000 ± 1.200	18,6	1.100	30
UF 250 kDa	40	8.200 ± 620	17,4	1.080	60
UF 250 kDa	20	13.000 ± 1.500	12,3	1.080	30

2.6.2 AAT Çıkış Suyunun Laboratuvar Ölçeğinde Basınçlı Filtrasyon Sistemiyle Arıtılması

Atıksu arıtma tesisinde arıtılan ve son çöktürme tankının çıkışından düzenli aralıklarla Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne getirilen atıksular laboratuvar ölçeğinde basınçlı membran filtrasyon düzeneğiyle arıtılmıştır.

Bu çalışmaların ilki UF tipinde ve 10 kDa molekül boyutundaki membran ile yapılmıştır (Şekil 2.10). AAT çıkış suyu, her bir UF membranı ile 3 bar basınçta filtre edilerek %90 oranındaki geri kazanımla, her bir filtrasyonda 270 mL olmak üzere, yaklaşık 6 L süzüntü elde edilmiştir (Şekil 2.11 ve Şekil 2.12).

Şekil 2.10. AAT çıkış suyu için uygulama prosedürü (UF 10 kDa)

Şekil 2.11. AAT çıkış suyu için uygulama prosedürü (UF 4 kDa)

Şekil 2.12. AAT çıkış suyu için uygulama prosedürü (UF 250 kDa)

Bu süzüntü suyu +4 ^{o}C'de buzdolabında muhafaza edilmiş olup sonraki NF-RO filtrasyon çalışmaları için saklanmıştır. Tablo 2.8'te çalışma basınç değerleri verilen tüm NF ve RO membranları; 3 bar, 6 bar, 9 bar ve 12 bardaki basınçlarda süzülmüştür.

NF membranları için %70, RO membranları için de % 50 geri kazanım oranları seçilmiştir. Filtrasyon hücresinin tamamının doldurulması durumunda NF membranları için 210 mL, RO membranları için 150 mL süzüntü elde edilmiştir. Belirlenen basınç değerlerinde her bir NF ve RO membranı için 4'er (3-6-9-12 bar), her bir UF çıkışı (UF

4 kDa, UF 10 kDa, UF 250 kDa) için 3'er adet filtrasyon çalışması yapılmıştır. Sonuç olarak her bir NF ve RO membranı için toplam 12 set filtrasyon yapılmıştır.

Tablo 2.8. UF membranı ile elde edilen süzüntünün NF ve RO membranları ile işletim prosedürü

Uygulanan Membran	**Basınç Değerleri**
NF90	3-6-9-12
NF270	3-6-9-12
TM610	3-6-9-12
GE	3-6-9-12
XLE	3-6-9-12
BW30	3-6-9-12

3. BÖLÜM

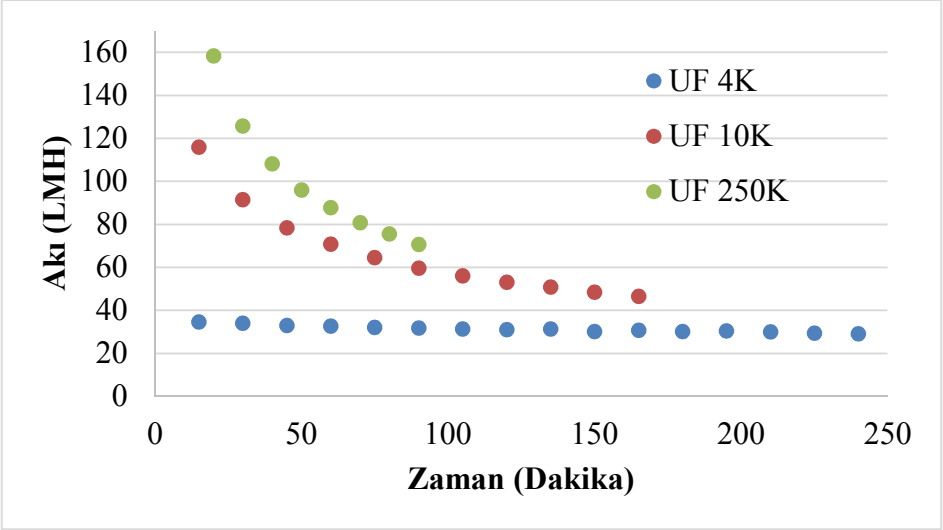
BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 KOSB Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) Çıkış Sularının Membran Filtrasyonla Geri Kazanımı

3.1.1 KOSB AAT Çıkış Sularının UF Membranlarıyla Arıtılması

Basınçlı filtrasyon çalışmalarında mevcut atıksu arıtma tesisi çıkışında 3 farklı MWCO değerine sahip UF membranı ile filtrasyon çalışmaları yapılmıştır. Mevcut AAT'den alınan numunelerle UF membranlar 3 bar basınçta % 90 geri kazanım oranıyla 20 kez filtre edilmiştir. UF 4 kDa, UF 10 kDa ve UF 250 kDa membranları ile filtrelenen AAT çıkış sularının akı zaman grafikleri Şekil 3.1'de verilmiştir. Membranların gözenek çaplarına göre akılarının doğru orantılı olduğu görülmektedir. En yüksek akı en yüksek por çapına sahip UF 250 kDa membranında elde edilmiştir. Bu membranda suyun süzülmesi ortalama 1 saat 40 dakika sürerken, UF 4 kDa membranında 4 saatten fazla sürmüştür (Şekil 3.1). UF membranlarıyla filtrelenen AAT suları buzdolabında 4°C'de bekletilmiş ve NF-RO çalışmaları için saklanmıştır. Bu membranların performansları NF ve RO membranlarıyla yapılacak filtrasyon çalışmaları için belirleyici olacaktır. NF ve RO ile yapılan çalışmalar bir sonraki bölümde ele alınmıştır.

UF filtrasyonları oluşan süzüntü sularının kaliteleri de değerlendirilmiş olup Tablo 3.1'de verilmiştir. Süzüntü sularının KOİ, EC (iletkenlik) ve bulanıklık parametrelerinde ciddi bir fark olmadığı görülmüştür. KOİ değerleri OSB için deşarj standardı olan 200 mg/L'nin oldukça altında tespit edilmiştir. İletkenlik değerlerinin azalmaması da beklenen bir sonuçtur [123].



Şekil 3.1. Farklı UF türlerinden süzülen ATT çıkış sularının akı zaman grafiği

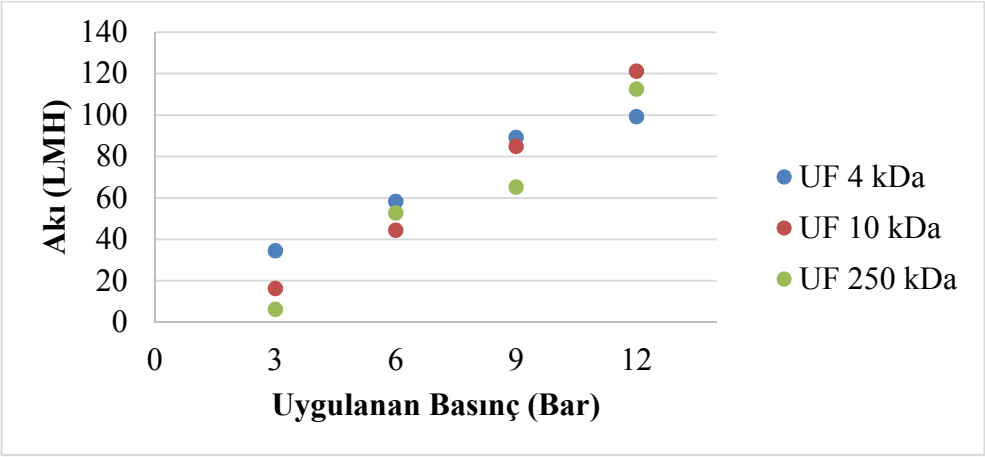
Ayrıca, UF süzüntülerinin bulanık olmadığı da 1 NTU civarındaki bulanıklık değerlerinden anlaşılabilir. İletkenliğin de MF ya da UF membranlarında, beklendiği gibi, giderilemediği görülmüştür. Ancak akılarda ciddi bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle bu membranlar arasında yüksek akı sağlayan UF 250 kDa membranının (en yüksek gözenek çapına ve MWCO değerine sahip) hem akı, hem de genel performans açısından en yüksek verimi sağladığı belirlenmiştir.

Tablo 3.1. UF filtrasyonları sonrası süzüntü suyu kaliteleri

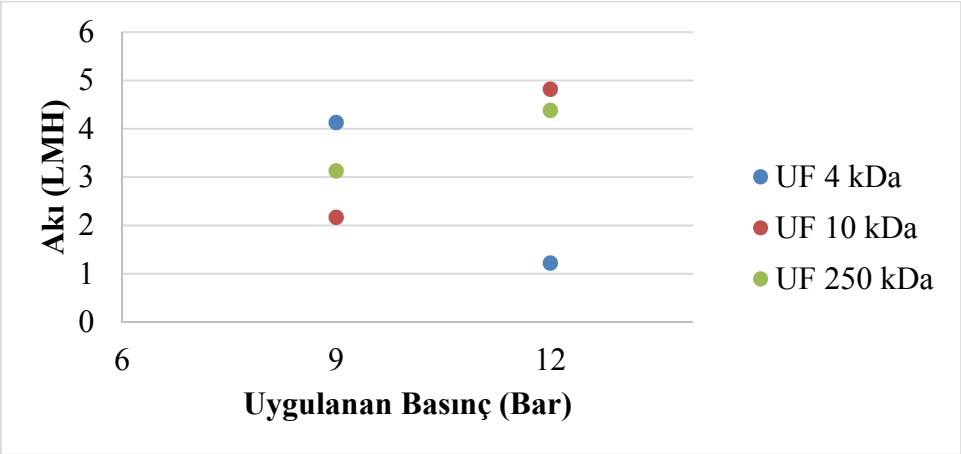
Membran	**pH**	**KOİ (mg/L)**	**EC (ms/cm)**	**Bulanıkluk (NTU)**	**Akı (LMH)**
UF 4 kDa	8,61 ± 0,36	73,5 ± 16,4	4,21 ± 0,25	0,85 ± 0,12	35,1 ± 11,5
UF 10 kDa	8,75 ± 0,47	83,0 ± 12,7	4,33 ± 0,21	0,88 ± 0,08	52,9 ± 4,1
UF 250 kDa	8,72 ± 0,25	46,9 ± 21,3	4,02 ± 0,33	1,10 ± 0,14	74,2 ± 5,1

UF filtrasyon çalışmaları için bir başka önemli sonuç da bazı UF membranlarının bir sonraki NF/RO membranının performansına olumlu katkı yapması olmuştur. Her bir NF/RO membranı için süzüntünün filtrelendiği UF membranının performansı, başka bir deyişle UF filtrasyonlarının NF ve RO membranlarının performansına etkisi olup olmadığı ortaya konmuştur (Şekil 3.2 - Şekil 3.7). Bu sonuçlara göre diğer UF membranlarına göre daha iyi performans gösteren UF membranları ortaya çıkmıştır. Örneğin, Şekil 3.4'da UF10 kDa membranı süzüntüsü, NF270 membranı için, diğer

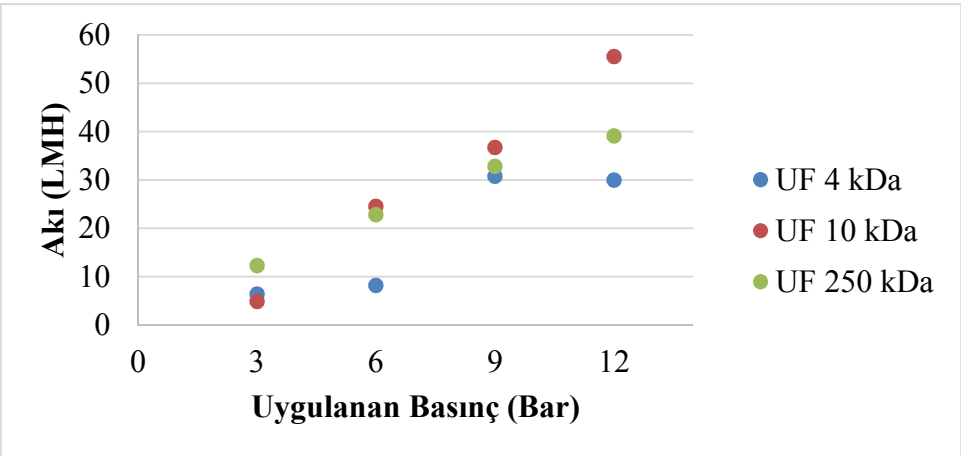
UF membranları süzüntülerinden daha iyi performans göstermiştir. Benzer şekilde, UF250 kDa-XLE membranları da iyi bir çift oluşturmuştur (Şekil 3.5).



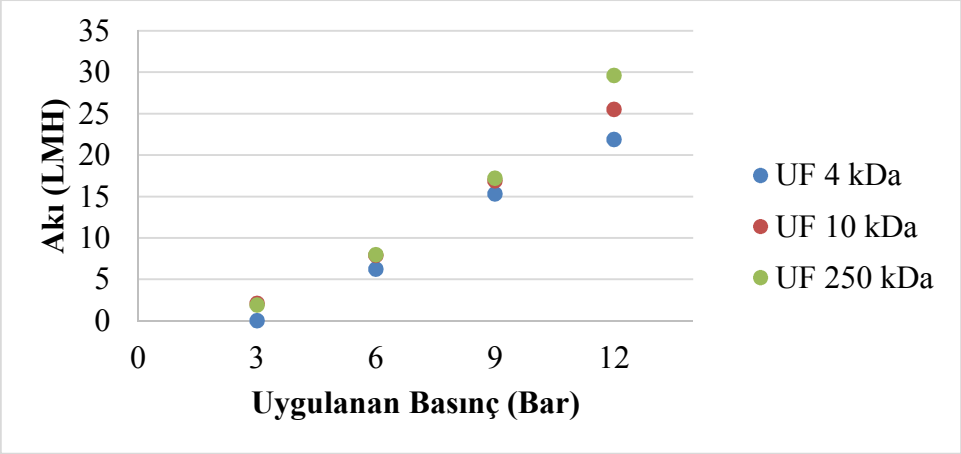
Şekil 3.2. UF filtrasyonlarının TM610 membranına etkisi



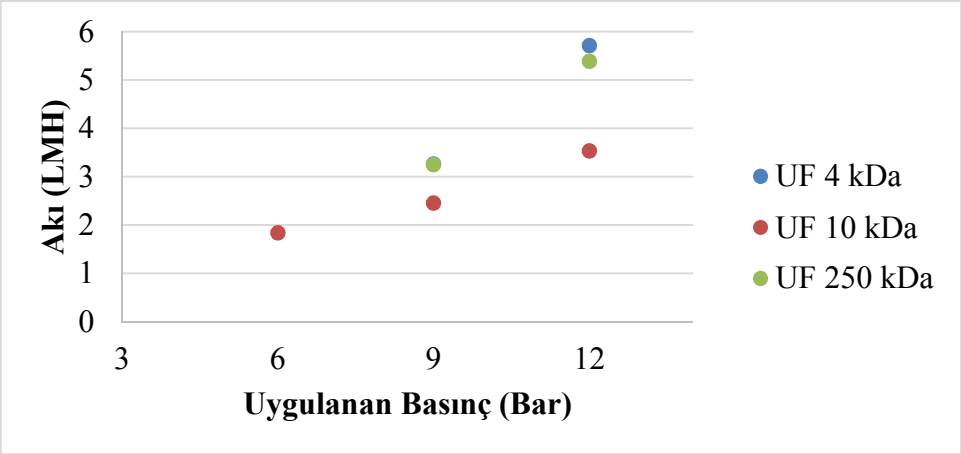
Şekil 3.3. UF filtrasyonlarının NF90 membranına etkisi



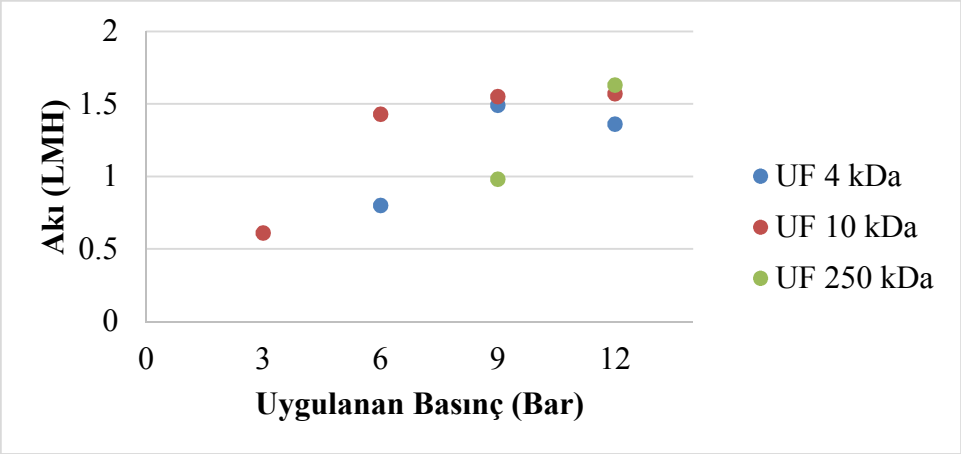
Şekil 3.4. UF filtrasyonlarının NF270 membranına etkisi



Şekil 3.5. UF filtrasyonlarının XLE membranına etkisi



Şekil 3.6. UF filtrasyonlarının GE membranına etkisi



Şekil 3.7. UF filtrasyonlarının BW30 membranına etkisi

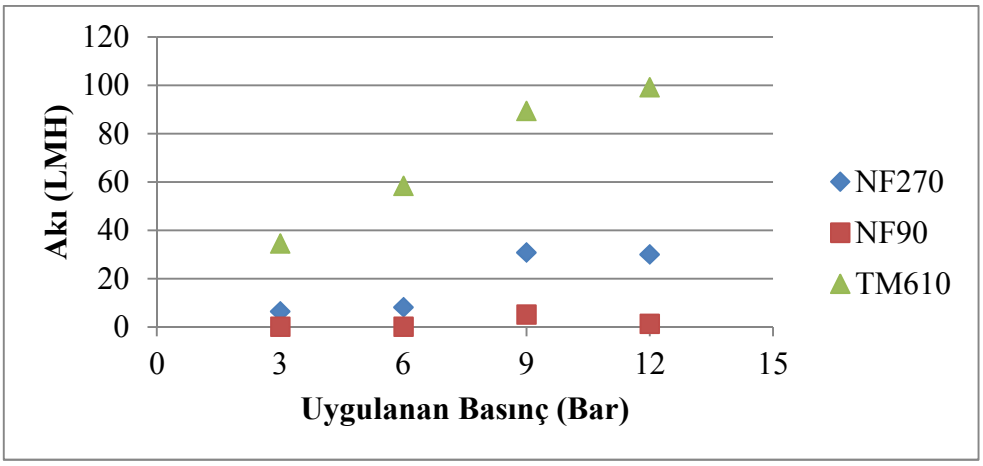
3.1.2 KOSB AAT Çıkış Sularının NF ve RO Membranlarıyla Arıtılması

3.1.2.1 UF 4 kDa membran süzüntüsü için NF/RO filtrasyon sonuçları

NF/RO çalışmalarında grafikte belirtilen akı değerleri; ilgili geri kazanım oranında son birkaç dakikadaki ortalama akı değerini, ya da veri alma sıklığında akı değerleri sabit ise son dakikadaki akı değerini ifade etmektedir. Özetle, bu şekillerde gösterilen akı değerleri filtrasyonun sonlarına doğru elde edilen kararlı durumdaki (steady-state) akı değerleridir.

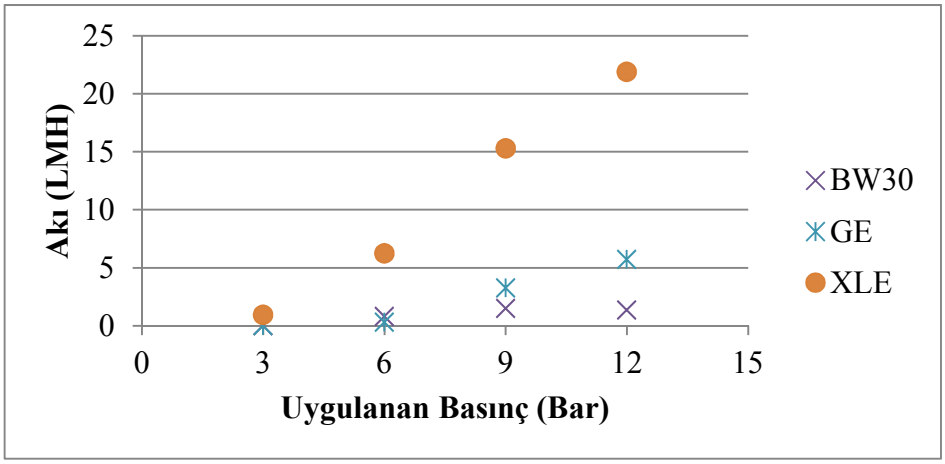
NF membranlarıyla yapılan denemeler sonucunda en yüksek akılar TM610 membranıyla elde edilmiştir. Ancak bu membranla yapılan bazı çalışmalarda membran yırtılması, membran yüzeyinde kolaylıkla çiziklerin oluşması gibi problemler ortaya çıkmıştır. Bu yüzden TM610 membranı için bazı akılarda tutarsız sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu yüzden bazı setler ikişer kez tekrar edilmiştir.

NF90 membranında 12 barda dahi çok düşük akı geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 3.8'de NF membranları ile farklı basınçlarda elde edilen akılar gösterilmiştir.



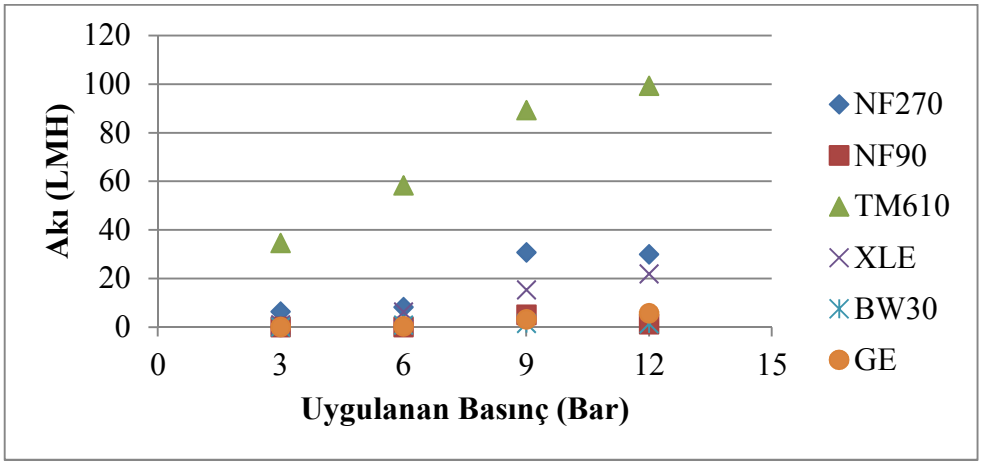
Şekil 3.8. AAT çıkış suyunun UF 4 kDa sonrası NF filtrasyon sonuçları

RO membranları ile yapılan çalışmalarda ise GE membranından yalnızca 9 ve 12 bardan akı elde edilirken BW 30 türü membrandan 12 barda bile son derece düşük bir akı elde edilmiştir (Şekil 3.9). Tüm basınç değerlerinde RO'da en yüksek akı XLE membranında elde edilmiştir. BW30 membranında ise yüksek basınçlarda bile çok düşük bir akı performansı görülmüştür.



Şekil 3.9. AAT çıkış suyunun UF 4 kDa sonrası RO filtrasyon sonuçları

NF ve RO membranlarının akılarının birlikte gösterimi Şekil 3.10'da verilmektedir. TM610 membranının diğer membranlardan net bir şekilde ayrıştığı görülmektedir. Ancak süzüntü suyu analiz sonuçlarının yüksek akı değerleriyle de ters orantılı bir şekilde ayrıştığı görülmektedir (Tablo 3.2).



Şekil 3.10. AAT çıkış suyunun UF 4 kDa sonrası NF ve RO filtrasyon sonuçları

AAT çıkış suyundan filtrelenen NF ve RO membranların akı değerlerinin yanı sıra çıkış suyu kalitesi açısından KOİ, pH, iletkenlik, Bulanıklık gibi parametreler de incelenmiş olup Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre pH, bulanıklık ve KOİ değerlerinde net bir farklılık olmadığı, sadece iletkenlik sonuçlarında membranlar arasında ayrışma oluştuğu gözlenmektedir. İletkenlik değerleri RO membranlarında 0,7 ms/cm'nin altına düşebiliyorken NF membranlarında ise iletkenlikte ciddi azalma sadece NF90 membranında gözlenmiştir.

Tablo 3.2. UF 4Da sonrası NF ve RO filtrasyon denemeleri analiz sonuçları

Membran Türü	Basınç (Bar)	pH	KOİ (mg/L)	İletkenlik (ms/cm)	Bulanıklık (NTU)
NF-90	9	8,3	72	1,80	0,17
NF-90	12	8,6	6,5	2,05	0,15
NF-270	3	8,9	21	4,12	1,20
NF-270	6	8,3	27	4,15	0,33
NF-270	9	8,8	10	3,52	0,56
NF-270	12	8,7	14	4,08	0,57
NF-TM610	3	8,6	21	3,78	0,30
NF-TM610	6	8,8	23	4,13	0,25
NF-TM610	9	8,8	24	4,16	0,28
NF-TM610	12	8,6	28	4,23	0,17
RO-XLE	3	8,49	11	0,73	0,58
RO-XLE	6	8,23	13	1,08	0,46
RO-XLE	9	7,71	23	0,52	0,42
RO-XLE	12	8,16	21	0,71	0,54
RO-GE	6	8,42	24	1,79	0,51
RO-GE	9	8,23	23	0,83	0,21
RO-GE	12	7,9	24	0,65	0,35
RO-BW30	6	8,47	13	1,80	0,55
RO-BW30	9	8,32	8	1,38	0,38
RO-BW30	12	8,5	8	0,67	0,41

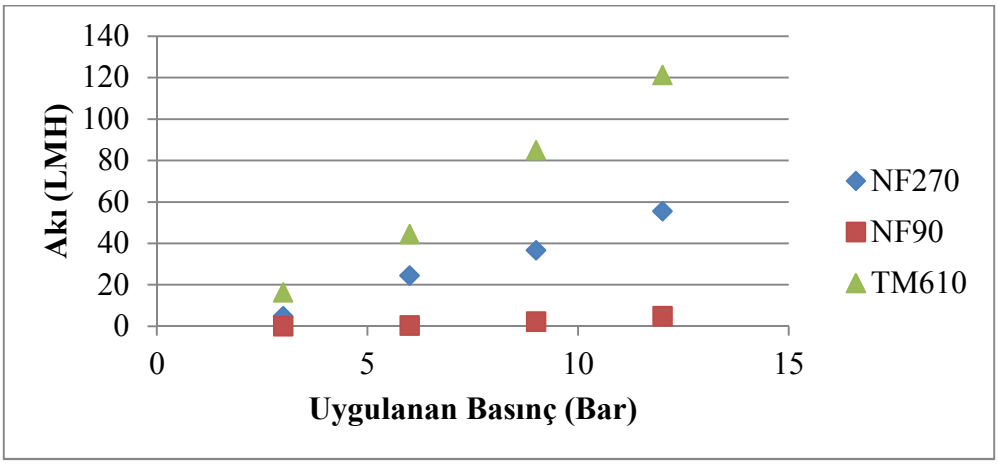
3.1.2.2 UF 10 kDa membran süzüntüsü için yapılan NF/RO filtrasyon sonuçları

NF membranlarıyla yapılan denemeler sonucunda en yüksek akı TM610 membranıyla elde edilmiştir. Şekil 3.11'de de görüldüğü gibi TM610 membranından sonra NF270'in de yüksek akı verdiği ortaya çıkmıştır. NF90 membranından ise 12 barda dahi çok düşük akı gelmiş olup düşük basınçlarda 8 saatten önce süzüntü alınamamıştır.

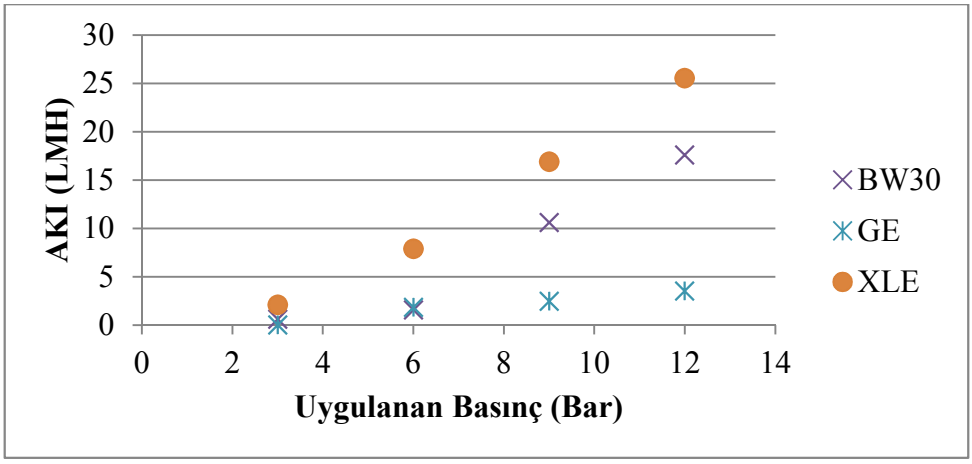
Şekil 3.11'de belirtilen akı basınç grafiğinde Akı (LMH) değerleri NF membranları için belirlenen geri kazanım oranına (%70) ulaşıldığı andaki akı değeridir. Benzer şekilde RO membranları için de %50'lik geri kazanım oranındaki akı değeri grafikte görselleştirilmiştir.

RO çalışmalarından da benzer bir grafik elde edilmiştir. GE membranından sadece 3 barda süzüntü elde edilememiştir. RO membranlarından en iyi akı performansı

gösteren membran XLE membranı olmuştur. RO çalışmaları için uygulanan basınç değerlerine göre elde edilen kararlı durum akı grafikleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. AAT-UF sonrası NF çalışma sonuçları

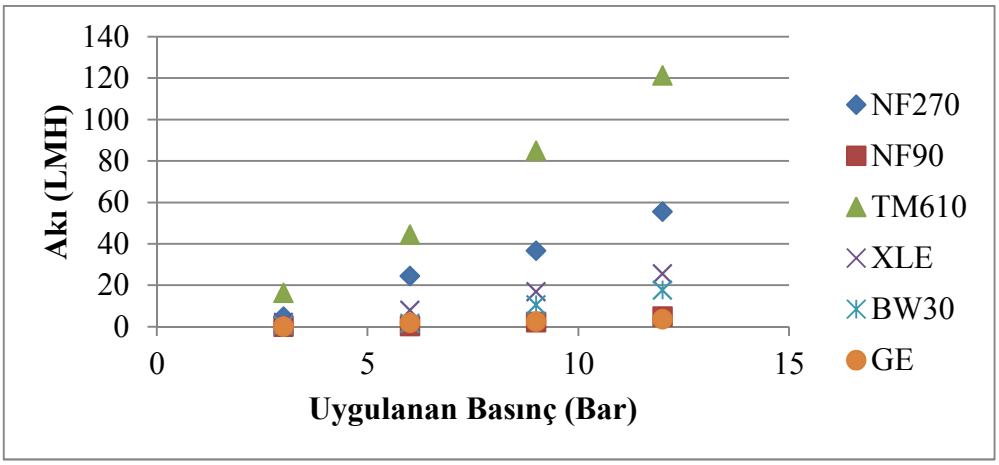


Şekil 3.12. AAT-UF sonrası RO çalışma sonuçları

NF ve RO membran akılarının birlikte görüldüğü Şekil 3.13'te ise sırasıyla TM610, NF270 ve XLE membranlarının en yüksek akı değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

NF ve RO membranlarının seçiminde göz önünde bulundurulan en önemli parametre akı değeridir. Ancak çıkış suyu kalitesi de KOİ, bulanıklık, pH ve iletkenlik parametreleri açısından incelenmiştir. Tablo 3.3'te filtrasyon sisteminde yapılan denemelerin analiz sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre UF membranı çıkışında KOİ ve bulanıklık açısından giderimin yüksek olduğu, ancak iletkenlik değerlerinin sadece RO membranlarında 1ms/cm'nin altına düşürülebildiği görülmüştür. Bazı

çıkış iletkenlik değerlerinin aynı membran için büyük farklar gösterdiği durumlarda deneyler tekrar edilerek tekrar analiz yapılmıştır. Bazı çıkış iletkenlik değerlerinin giriş değerlerinden yüksek olduğu da görülmektedir. Bunun nedeni ise ikinci denemede farklı tarihte alınarak filtre edilen atıksuyun kullanılması olabilir.



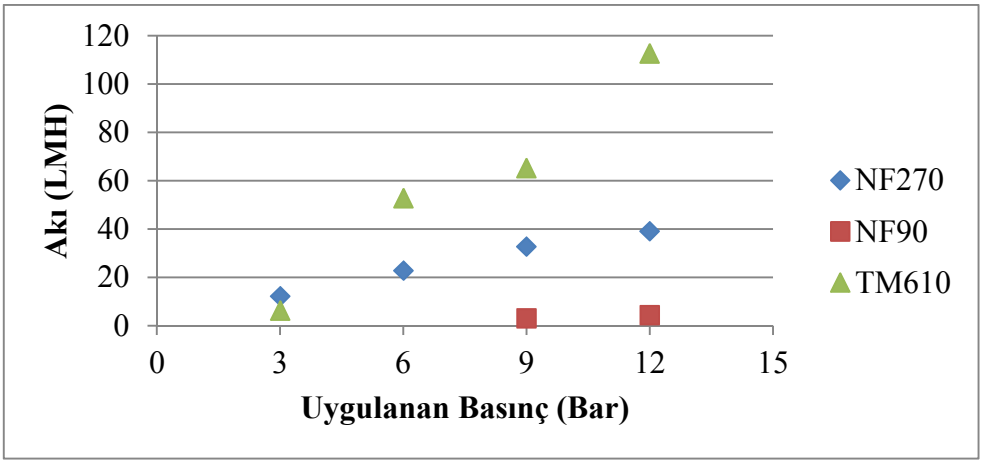
Şekil 3.13. NF ve RO çalışma sonuçları

Tablo 3.3. UF 10kDa sonrası NF ve RO filtrasyon denemeleri analiz sonuçları

Membran Türü	Basınç (Bar)	KOİ (mg/L)	İletkenlik (ms/cm)	Bulanıklık (NTU)
NF-90	6	26	2,35	0,22
NF-90	9	24	2,16	0,31
NF-90	12	23	2,26	0,54
NF-270	3	24	4,19	0,26
NF-270	6	23	3,96	0,34
NF-270	9	18	3,44	0,22
NF-270	12	37	3,73	0,35
NF-TM610	3	34	4,7	0,23
NF-TM610	6	27	4,23	0,32
NF-TM610	9	15	4,68	0,42
NF-TM610	12	56	4,22	0,21
RO-XLE	3	16	1,24	0,22
RO-XLE	6	8	0,67	0,42
RO-XLE	9	52	0,59	0,84
RO-XLE	12	12	1,07	0,76
RO-GE	6	13	1,94	0,34
RO-GE	9	8	1,19	0,70
RO-GE	12	47	0,67	0,67
RO-BW30	3	66	2,04	0,80
RO-BW30	6	56	1,45	0,25
RO-BW30	9	10	1,11	0,26
RO-BW30	12	19	0,28	0,29

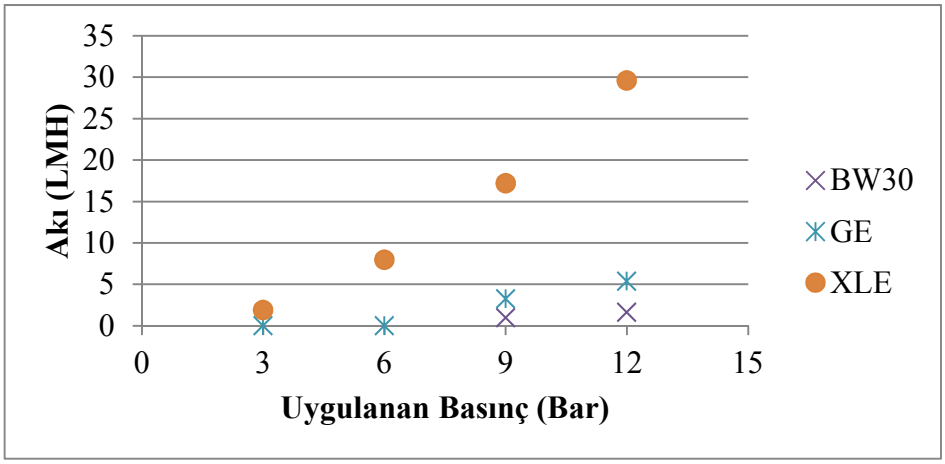
3.1.2.3 UF 250 kDa membran süzüntüsü için yapılan NF/RO filtrasyon sonuçları

NF membranlarından elde edilen akı grafikleri Şekil 3.14'te verilmiştir. Bu membranlardan NF90 membranından sadece 9 ve 12 barda akı elde edilebilirken, NF270 membranında 18-40 LMH arasında akılar elde edilmiştir. NF 270 membranında 12 barda 9 bardan daha düşük akı geldiği gözlemlenmiş olup bu set tekrar edilmiştir. TM610 membranında ise 12 barda 110 LMH'ın üzerinde akı elde edilmiştir. TM610 membranları yine ayrışma göstermiştir. Bu yüzden süzüntü sularının analiz sonuçları ile birlikte değerlendirme yapılması gerekmektedir.



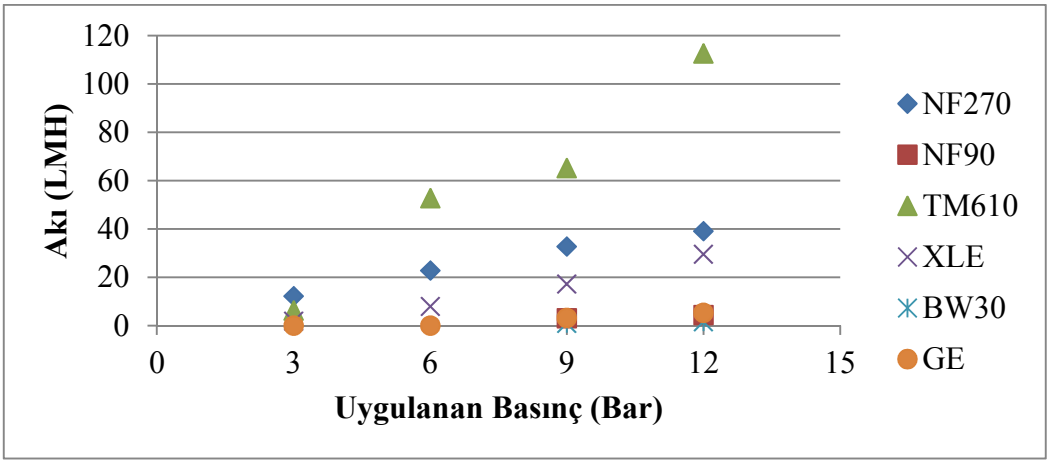
Şekil 3.14. AAT-UF 250 kDa sonrası NF çalışması sonuçları

Mevcut AAT sonrası UF 250 KDa süzüntüsü için yapılan RO çalışmalarının basınç-akı grafikleri Şekil 3.15'te verilmiştir. RO çalışmalarında en yüksek akı performansı XLE tipi membranla elde edilmiştir. GE ve BW 30 membranlarında yüksek basınçlarda dahi düşük akılar gözlemlenmiş olup, özellikle GE türü membranda 12 barda dahi akı 1 LMH'den daha düşük gelmiştir.



Şekil 3.15. AAT-UF 250 kDa sonrası RO çalışması sonuçları

NF ve RO membranlarının akı performansının karşılaştırıldığı grafik ise Şekil 3.16'da gösterilmiştir. NF membranlarında en yüksek akı performansı TM610 türünde RO membranlarında ise XLE türü membranda gözlemlenmiştir. NF türü membranlarda NF90, RO türü membranlarda ise GE ve BW30 membranlarında yüksek basınçlarda düşük akı performansı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.16. AAT-UF 250 kDa sonrası NF ve RO çalışma sonuçları

AAT çıkış suyunda yapılan basınçlı UF 250 kDa membranıyla yapılan filtrasyon çalışmalarına ait analiz sonuçları Tablo 3.4'te verilmiştir. Her bir membrandan yapılan filtrasyon çalışmaları sonuçlarına göre pH ve bulanıklık değerlerinde önemli bir değişim olmadığı ve bulanıklığın 1 NTU'nun altında olduğu, KOİ değerlerinde önemli giderimler olduğu iletkenlik değerlerinde ise membran türüne göre ciddi farklılıklar olduğu görülmektedir.

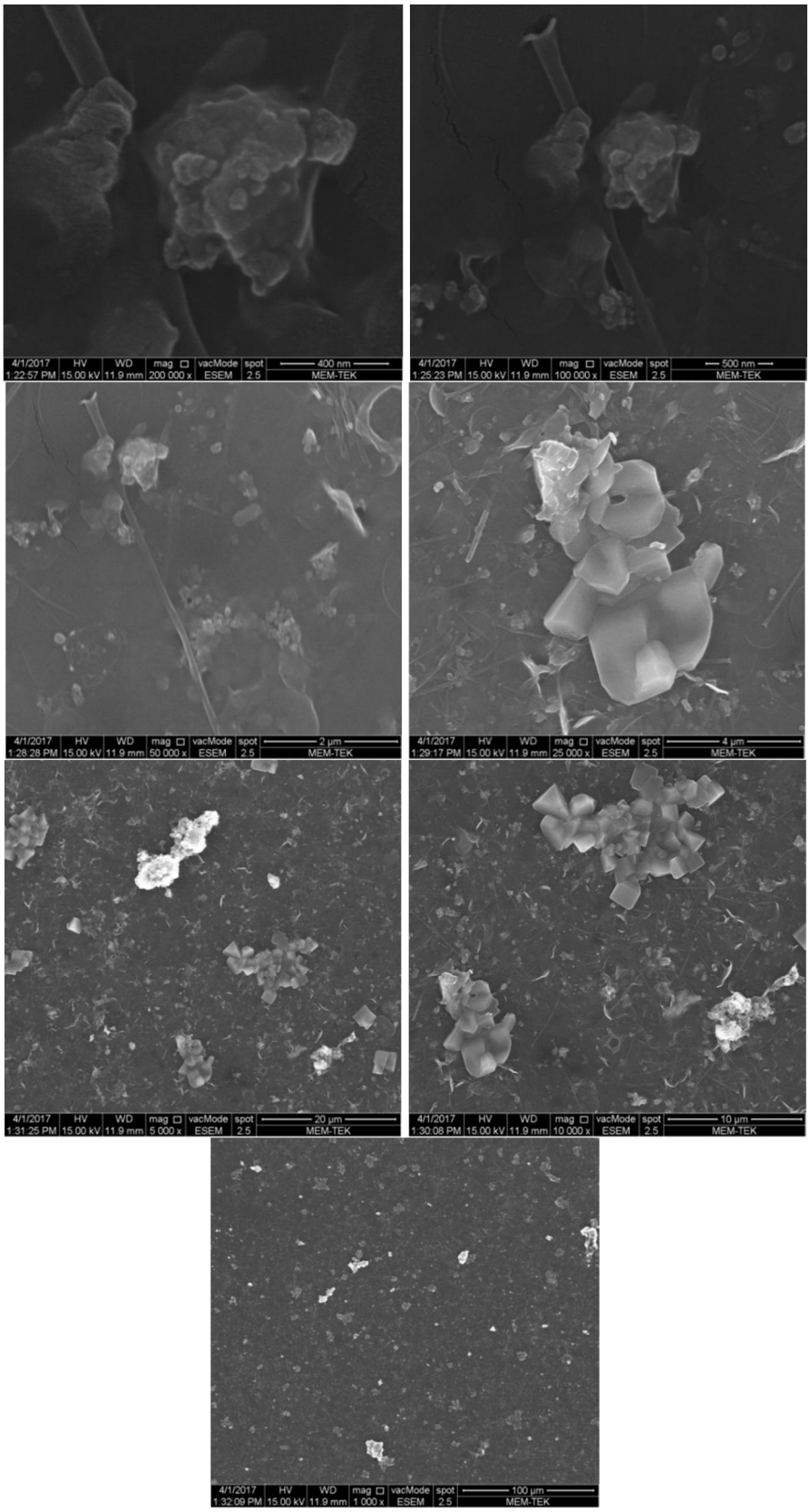
Tablo 3.4. UF 250kDa sonrası NF ve RO filtrasyon denemeleri analiz sonuçları

Membran Türü	Basınç (Bar)	pH	KOİ (mg/L)	İletkenlik (ms/cm)	Bulanıklık (NTU)
NF-90	9	8,63	13	1,18	0,21
NF-90	12	8,60	11	0,97	0,18
NF-270	3	8,61	13	3,52	0,14
NF-270	6	8,71	16	3,68	0,15
NF-270	9	8,58	8	3,23	0,10
NF-270	12	8,64	19	3,74	0,15
NF-TM610	3	8,13	42	3,96	0,31
NF-TM610	6	8,42	45	4,15	0,21
NF-TM610	9	8,35	44	4,38	0,22
NF-TM610	12	8,26	40	4,32	0,22
RO-XLE	3	7,92	12	1,47	0,27
RO-XLE	6	7,85	11	1,14	0,30
RO-XLE	9	8,46	11	0,81	0,48
RO-XLE	12	7,71	10	0,46	0,25
RO-GE	9	8,09	25	1,23	0,10
RO-GE	12	8,12	23	0,94	0,12
RO-BW30	9	8,36	12	1,28	0,23
RO-BW30	12	8,32	10	0,68	0,17

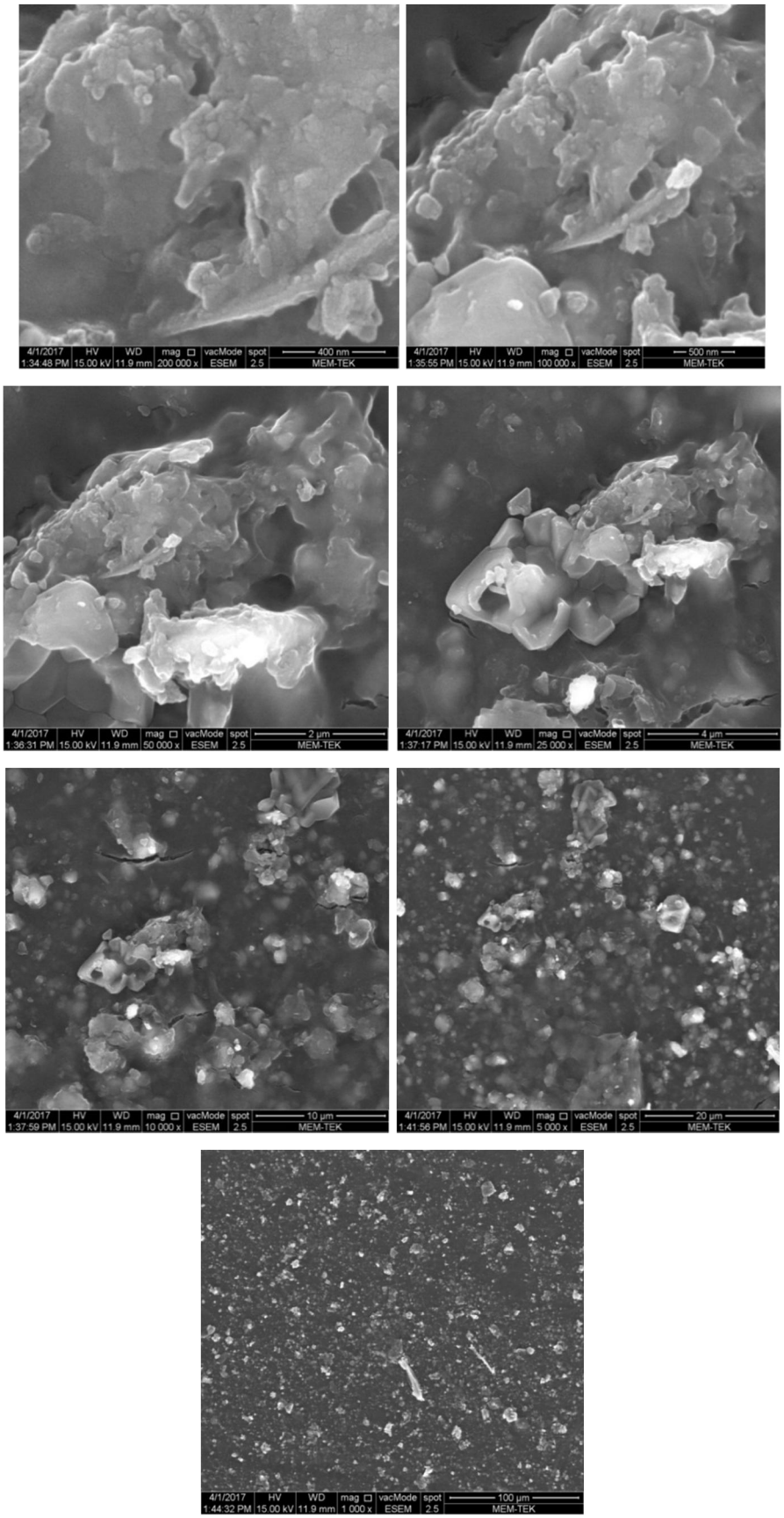
3.1.3 UF Membranlarının İncelenmesi

AAT çıkış suyunun, hem basınçlı UF ile arıtılması için kullanılan UF membranları için, hem de NF ve RO filtrasyonu çalışmalarında kullanılan membranlar için membran otopsisi ve karakterizasyonu çalışmaları yapılmıştır. SEM görüntüleri, SEM-EDS sonuçları, eşodaklı laser tarama mikroskobu (confocal laser scanning microscopy, CLSM) görüntüleri incelenerek tıkanma eğilimleri ve profilleri hakkında fikir oluşturulmuştur.

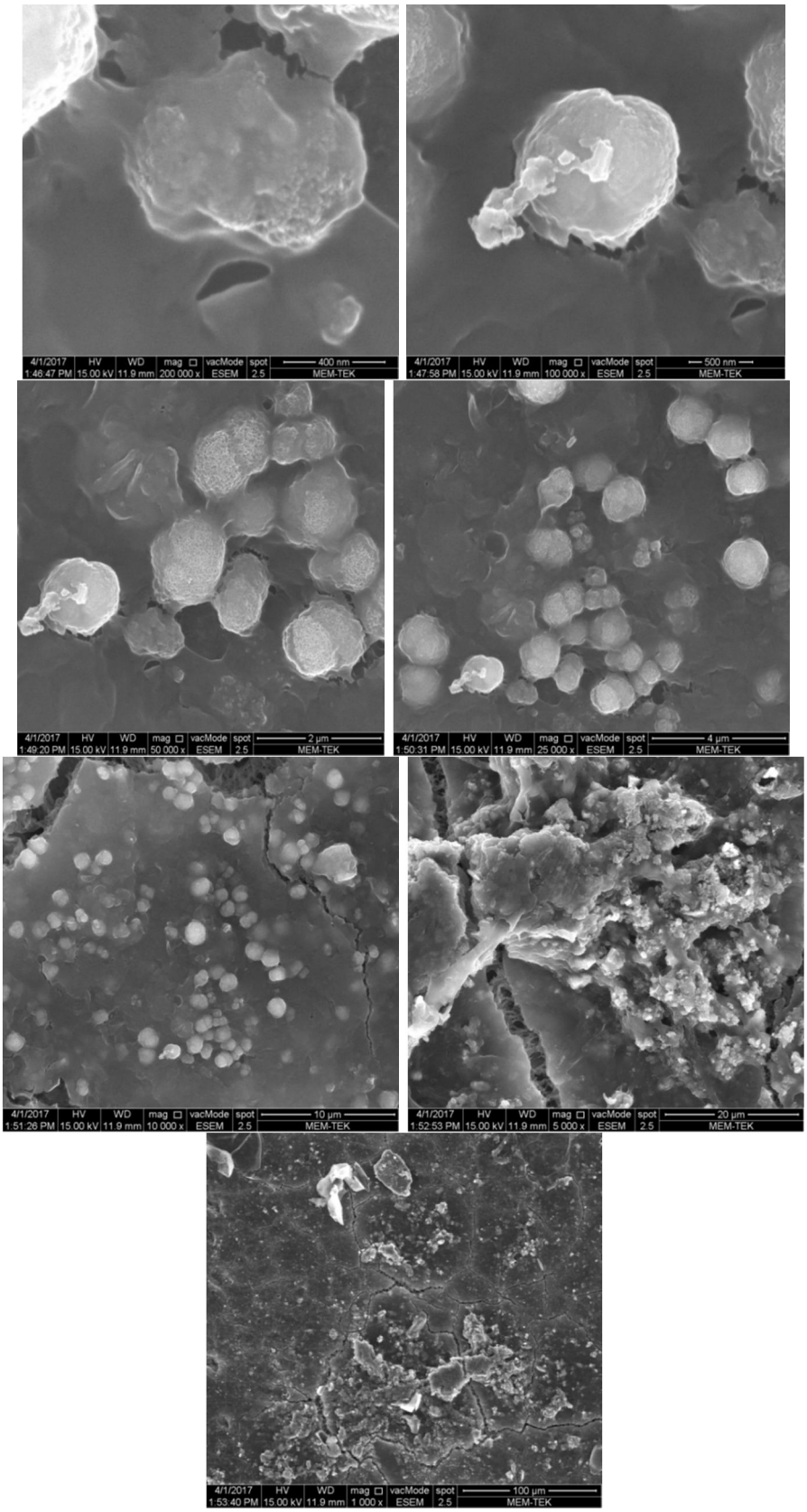
UF membranları ile yapılan SEM görüntüleme sonuçları UF 4 kDa membranı için çeşitli yakınlaştırma değerlerinde Şekil 3.17'de verilmiştir. UF 10 kDa membranı için SEM görüntüleri ise Şekil 3.18'de verilmiştir. UF 250 kDa membranı için SEM görüntüleri ise Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.17. UF 4 kDa membranı için SEM görüntüleri



Şekil 3.18. UF 10 kDa membranı için SEM görüntüleri



Şekil 3.19. UF 250 kDa membranı için SEM görüntüleri

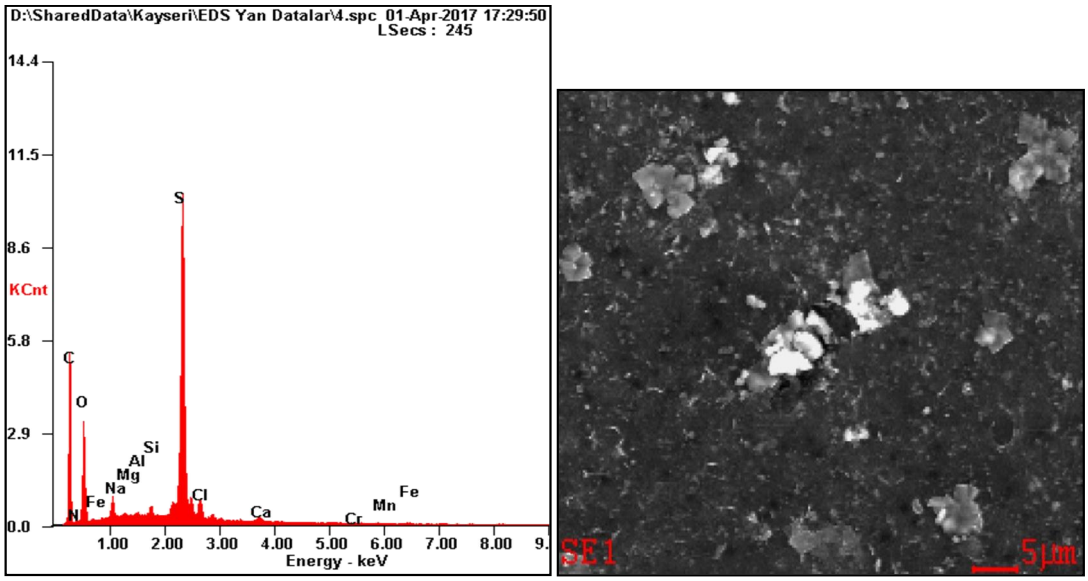
UF membranları içinde en az tıkanma eğilimi gösteren membran UF 250 kDa membranı olmuştur. UF 4 kDa ve UF 10 kDa membranları daha sıkı çamur tabakasıyla kaplanırken, UF 250 kDa membranında daha gevşek – kırılgan yapılar göze çarpmaktadır (Şekil 3.19, Bkz: 20 µm boyutlu görüntü).

Gözenek çapı, bir başka deyişle MWCO değerleri, arttıkça tıkanmanın azaldığı söylenebilir. Yapılan bir çalışmada düşük MWCO değerlerinin ani tıkanmaya neden olduğu bulunmuştur [124]. Bu membranların MWCO değerleri arasında 60 kat fark olmasına rağmen süzüntü suyu kalitesinde ciddi farklar oluşmamıştır (Tablo 3.1). Bu nedenle, UF 250 kDa membranının tıkanma olasılığının diğer membranlara göre daha düşük seviyelerde oluşabileceği görülmektedir.

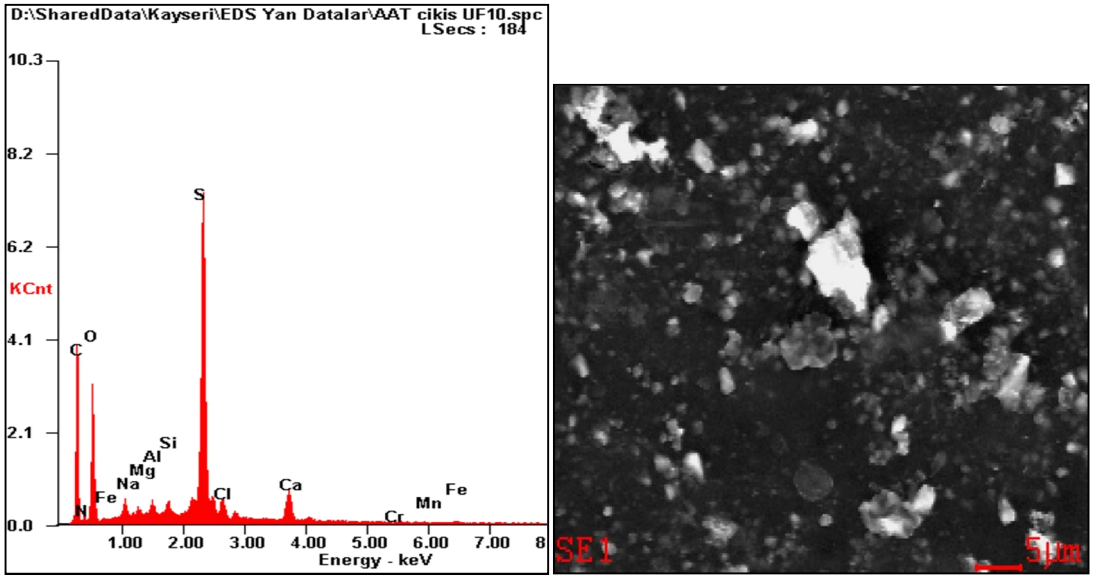
UF membranlarında tıkanmayı oluşturan nedenler birkaç maddede sıralanabilir. Bunlardan biri düşük gözenek boyutuna sahip membranların daha hızlı tıkandığıdır [34]. İkinci neden membran malzemesi olabilir. UF4 kDa ve UF 10 kDa membranları PES malzemeden, UF 250 kDa membranı ise PVDF membranlarına malzemeden üretilmiştir. Bu nedenle membran yüzeyindeki temas açısındaki farklılıklar tıkanmaya neden olmuş olabilir. PES membranlarının PVDF membranlarına göre yüksek membran direncine sahip olduğu bilinmektedir [19]. Son olarak hidrofobik membran yüzeylerinin hidrofilik membranlara göre daha fazla tıkanma eğilimi göstermesinden dolayı PES membranlarının PVDF membranına göre daha hidrofobik olduğu söylenebilir [125].

SEM-EDS analizleri membran yüzeyinde hangi maddelerin tutulduğunu, çökelek oluşturduğunu dolayısıyla tıkanmanın ne şekilde gerçekleştiğini görmek açısından önem teşkil etmektedir [126]. Özellikle membran yüzeyinde oluşan kireç tabakası oluşumu tıkanmayı artırıcı bir etken olarak belirlenmiştir [127, 128].

UF membranlarının SEM-EDS analizleri ise Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de sırasıyla UF 4, UF 10 ve UF 250 kDa membranları için verilmiştir. Membran malzemesi olan; C, N, O ve S elementleri çıkarıldığında, UF 4 kDa membranı için F, Na ve Cl'nin baskın elementler olduğu belirlenmiştir. UF 10 kDa membranı için Ca ve Cl elementlerinin, UF 250 kDa membranı için de Ca, Na, Cl ve Si elementlerinin baskın olduğu bulunmuştur.



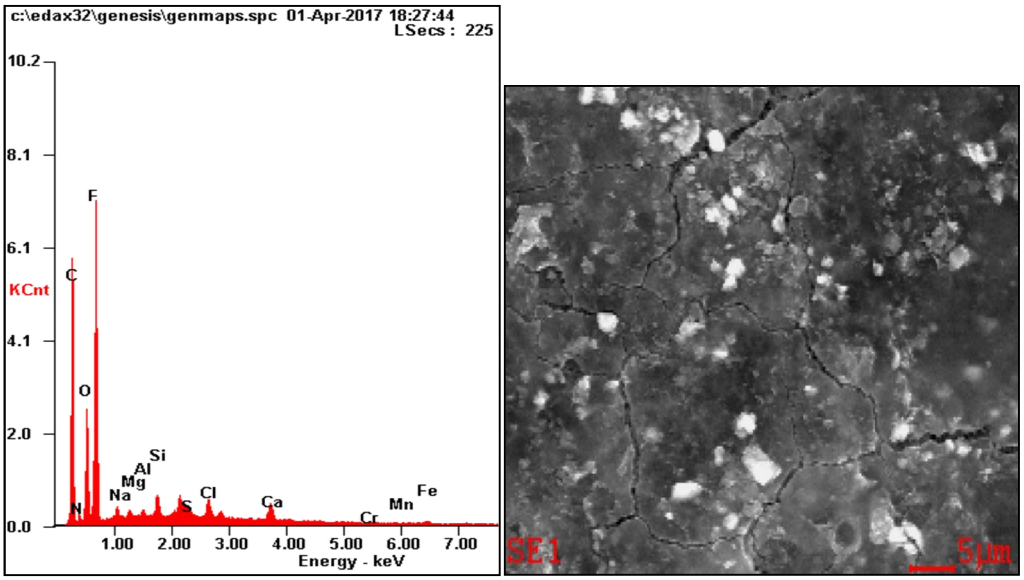
Şekil 3.20. UF 4 kDa membranı için SEM-EDS analiz sonucu



Şekil 3.21. UF 10 kDa membranı için SEM-EDS analiz sonucu

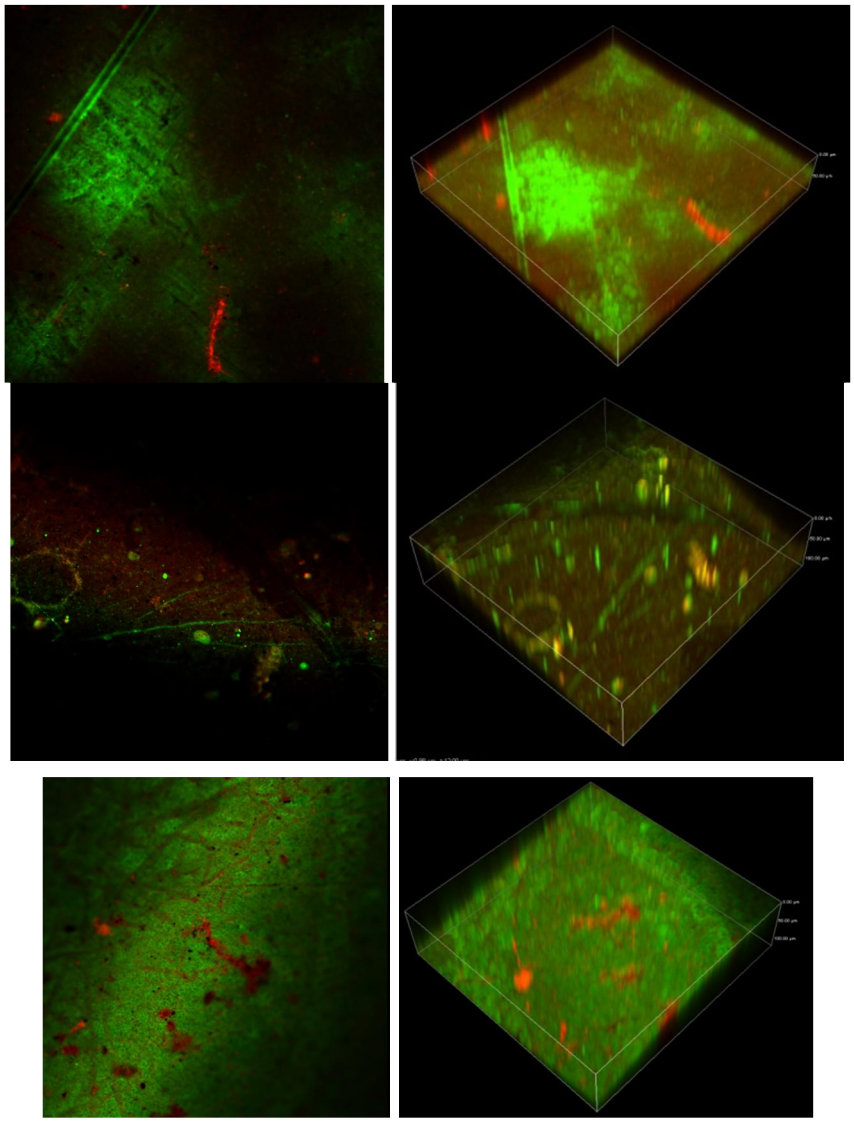
SEM-EDS analizlerinde elementel haritalama sonuçları membran malzemesinin de karakteristiğini yansıtmaktadır. Örneğin, Şekil 3.20'de PES membran malzemesinin büyük oranda karbon (C), oksijen (O) ve kükürt (S) elementlerinden oluştuğu düşünüldüğünde, EDS analizindeki piklere anlam yüklenebilmektedir. Çalışmadaki diğer EDS sonuçlarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. PVDF membranları için de flor (F) elementinde yüksek pikler görülmüştür.

Membran yüzeyindeki elementel haritalamaya göre, UF membranlarında genel olarak kalsiyum, alüminyum ve silisyum çökelekleri gözlemlenmektedir. UF 4 ve UF 10 kDa membranlarının yoğun gözenek tıkanması nedeniyle çökeleklerin dağınık yerleştiği, gözenek boyutu yüksek olan UF 250 kDa membranının ise bölgesel çökelekler oluşturduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.22. UF 250 kDa membranı için SEM-EDS analiz sonucu

UF membranları için CLSM görüntüleri ise Şekil 3.23'te verilmiştir. Sağ alt köşedeki görüntülerde (UF 250 kDa) biyofilm tabakasının yok denecek kadar az oluştuğu gözlemlenmiştir. Sol üstte ise (UF 4 kDa) daha yoğun bir biyofilm tabakası görülmektedir. Yeşil görüntüler canlı bakterilerin varlığını, kırmızı görüntüler ise ölü bakterilerin varlığını temsil ettiğinden, gözenek boyutunun küçülmesiyle canlı bakteri miktarının arttığı söylenebilir. Bu da düşük gözenek boyutuna sahip membranların hızla biyofilm tabakasıyla kaplandığını göstermektedir. Bu nedenle, yüksek gözenek boyutlu membranların biyofilm oluşturma kapasitesinin düşük olduğunu göstermektedir. Bu görüntülerden UF 250 kDa membranının en az biyofilm oluşturma potansiyelli membran olduğu söylenebilir.



Şekil 3.23. UF membranları için CLSM görüntüleri. Yukarıdan aşağıya; UF 4 kDa, UF 10 kDa ve UF 250 kDa. Soldaki resimler yüzeysel görüntüler, sağdaki resimler kesit görüntüleridir.

3.1.4 KOSB AAT Çıkış Sularının Membran Filtrasyon Sistemleriyle Yeniden Kullanım Seçeneklerinin Oluşturulması

NF ya da RO membranı öncesi UF membranına karar verme aşamasında hem yüksek akının edildiği, hem de NF ve RO'da daha iyi sonuçların elde edildiği bir membran seçilmelidir. Bu yüzden, eleme ve seçme yöntemiyle membranlar belirlenebilir.

AAT çıkış suyunun yüksek kalitede geri kazanılabilir suyu yüksek akılarda elde ettiği bir sistem için öncelikle zararlı kullanım derecesine sahip sistemler "düşük su kalitesi" olarak sınıflandırılmıştır. Sonuç tablolarında (Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4) da görüldüğü gibi NF270 ve TM610 membranları iletkenlik açısından kötü kaliteye sahip su vermektedir. Yüksek kalitede su eldesi sunan membran ise 1. Sınıf olarak nitelendirilmiştir (Tablo 3.5)

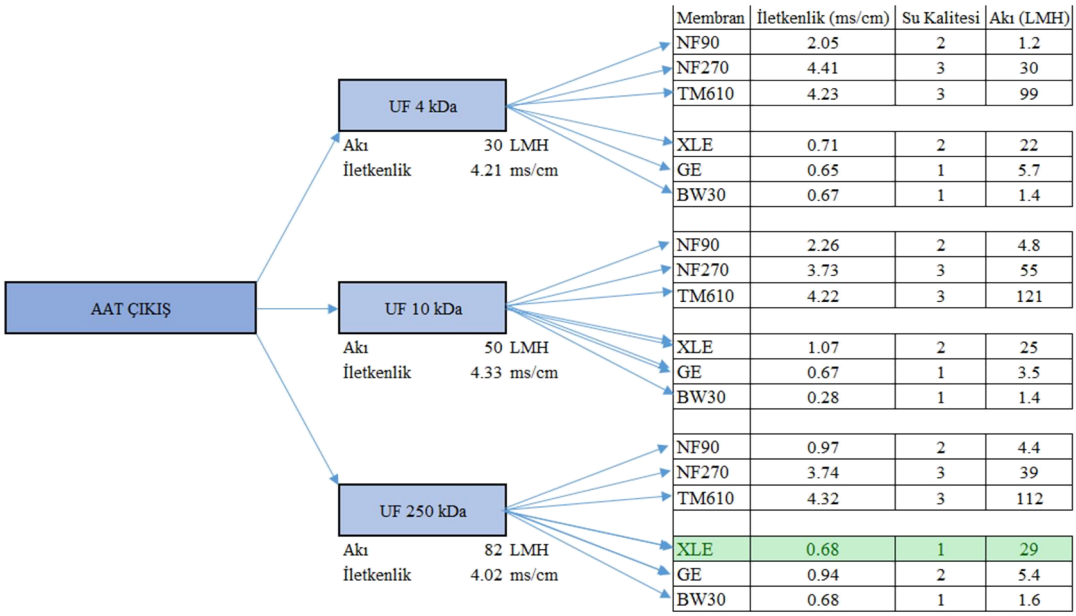
Daha sonra NF/RO filtrasyonunda 5 LMH'den düşük akı veren membranlar da "düşük akı" olarak isimlendirilmiştir. NF90 membranlarında ve bazı BW30 ve GE çalışmalarında akılar 5 LMH'den düşük çıkmıştır. GE membranı ise 5 LMH'tan biraz yüksek akı vermiştir. Bu membranlar da orta seviye akı veren membranlar olarak "orta seviye akı" olarak isimlendirilmiştir.

Ayrıca, bazı UF membranlarında süzüntü sonrası NF/RO akıları diğer UF membranlarına kıyasla daha yüksek performans göstermiştir. Başka bir deyişle, bazı UF membranları belirli NF/RO membranı için daha iyi bir ön arıtma performansı ortaya koymuştur. Bu nedenle NF/RO membranı için birkaç UF membranında birinin kullanılması daha uygun gözükmektedir.

Tüm kıstaslar göz önünde bulundurulduğunda elde edilen 4 setlik geri kazanım alternatifi oluşturulmuştur (Şekil 3.24). Şekilde belirtilen iletkenlik, su kalitesi ve akı değerleri 12 barda elde edilen sonuçlardır. Diğer basınçlarda yapılan çalışmalarda daha düşük akı değerleri bulunduğundan mümkün olan en fazla membran seçiminin sağlanması için yüksek akılarda elde edilen sonuçlarla değerlendirme yapılmıştır. Bu şekilde kırmızı ile gösterilen hücreler düşük su kalitesine sahip süzüntüler ya da düşük akıya sahip süzüntülerdir.

Tablo 3.5. AAT çıkış suyunda membran çiftlerinin performansı

UF membranı	NF/RO membranı	İletkenlik (ms/cm)	Su Kalitesi	Akı (LMH)	Dezavantaj
UF 4 kDa	NF90	2,05	2	1,2	Düşük akı
	NF270	4,41	3	30	Düşük su kalitesi
	TM610	4,23	3	99	Düşük su kalitesi
	XLE	0,71	2	22	Orta su kalitesi
	GE	0,65	1	5,7	Orta akı
	BW30	0,67	1	1,4	Düşük akı
UF 10 kDa	NF90	2,26	2	4,8	Düşük akı
	NF270	3,73	3	55	Düşük su kalitesi
	TM610	4,22	3	121	Düşük su kalitesi
	XLE	1,07	2	25	Orta su kalitesi
	GE	0,67	1	3,5	Düşük akı
	BW30	0,28	1	1,4	Düşük akı
UF 250 kDa	NF90	0,97	2	4,4	Düşük akı
	NF270	3,74	3	39	Düşük su kalitesi
	TM610	4,32	3	112	Düşük su kalitesi
	XLE	0,68	1	29	-
	GE	0,94	2	5,4	Orta akı ve su kalitesi
	BW30	0,68	1	1,6	Düşük akı



Şekil 3.24. AAT çıkış suyunda eleme kriterlerine göre yapılan değerlendirme

Sonuç olarak düşük akı ya da düşük su kalitesine sahip olmayan 4 alternatif membran ikilisinden birinin istenen su kalitesine göre seçilmesi mümkün hale gelmiştir (Tablo 3.6). Tabloya göre AAT çıkış sularının 3 farklı UF membranıyla ön arıtma alternatifi ve farklı 3 RO membranıyla geri kazanım alternatifi oluşturulmuştur. Bu alternatiflerin AAT çıkış suyunda tekrarlı çalışmaları yapılmıştır. Tablo 3.7'te verilen tekrar çalışmalarına göre BW30 membranında daha önce yapılan çalışmaya göre önemli oranda düşük akı elde edilmiştir. BW30 membranında yapılan diğer çalışmalarda da akıların 1-2 LMH aralığında olduğu düşünüldüğünde ilk tabloda bulunan akının yanlış sonuç verdiği (membran yırtılması vb. bir sorun nedeniyle) görülmüştür (Tablo 3.7). Bu yüzden AAT çıkış suyunda UF sonrası geri kazanım için GE ya da XLE membranlarından birinin kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3.6. AAT çıkış suyu için geri kazanım alternatifleri

Ön Arıtım Membranı	**UF-Akı (LMH)**	**İletkenlik (µs/cm)**	**Membran Türü**	**RO-Akı (LMH)**	**İletkenlik (µs/cm)**
UF 4K	30	4,21	GE	5,7	0,65
UF 10K	50	4,33	BW30	17	0,28
UF 250K	82	4,02	XLE	29	0,68
			GE	5,4	0,94

Tablo 3.7. AAT çıkış sularında yapılan tekrar çalışmaları

Ön Arıtım Membranı	**UF-Akı (LMH)**	**İletkenlik (µs/cm)**	**Membran Türü**	**RO-Akı (LMH)**	**İletkenlik (µs/cm)**
UF 4K	40	3,33	GE	7,21	0,69
UF 10K	52	4,34	BW30	1,43	0,88
UF 250K	110	4,30	XLE	26,1	0,44
			GE	5,6	0,46

Literatürde atıksu arıtma tesisine entegre edilen membran prosesler genellikle MBR ile yapılmakta olup mevcut bir AAT çıkışına membran filtrasyon yapılan çalışma sayısı oldukça azdır [129]. Yapılan UF-RO çalışmaları genellikle deniz suyunun tuzsuzlaştırılması ya da bazı endüstriyel atıksuların arıtılmasında uygulama bulmaktadır [130-133].

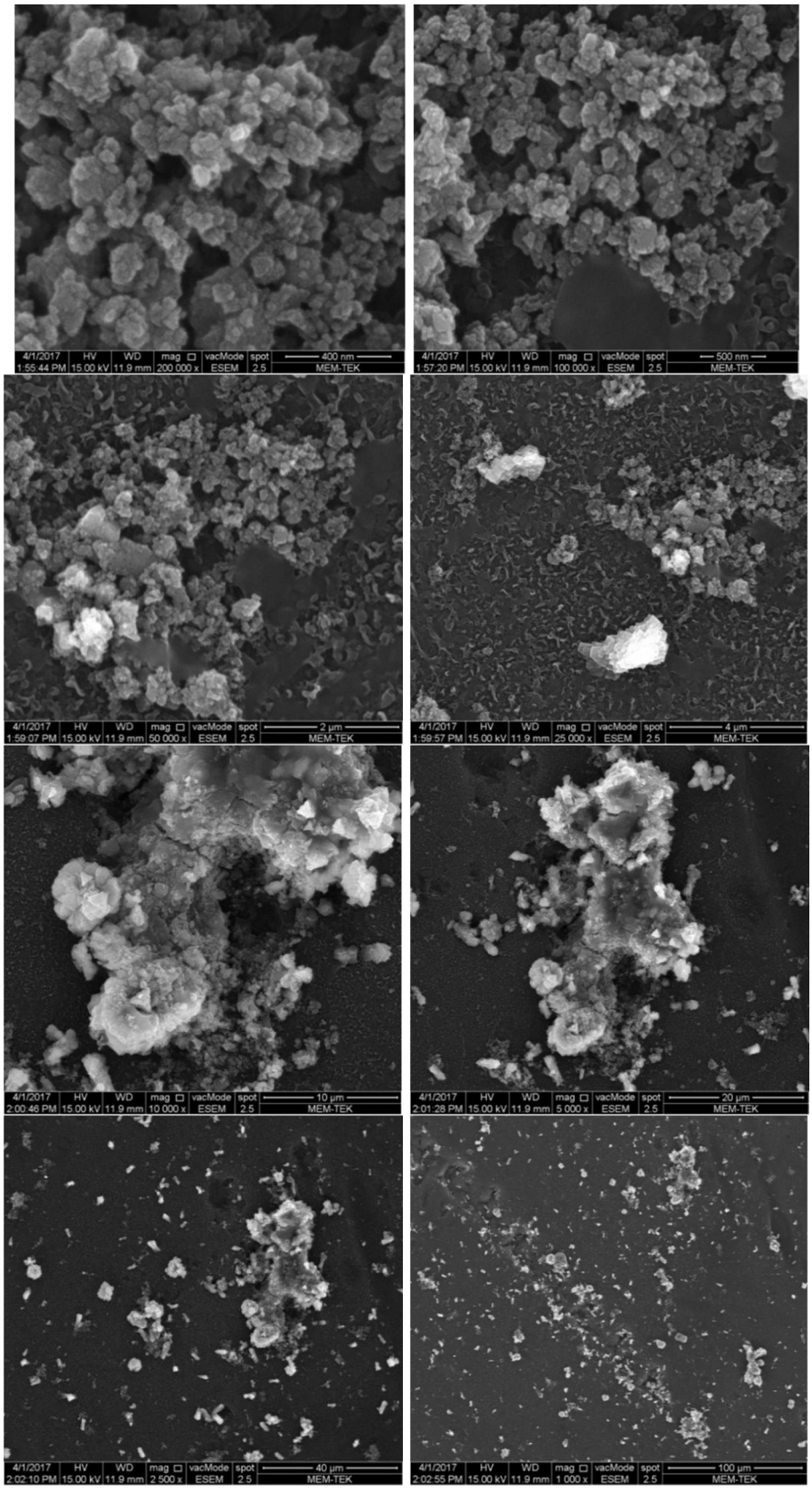
3.1.5 UF sonrası RO Membranlarının İncelenmesi

KOSB AAT çıkış sularının basınçlı UF membranları ile arıtılmasından sonra yapılan RO membranlarının karakterizasyonları yukarıda verilen yeniden kullanım seçeneklerinin oluşturulduğu membranlar için yapılmıştır. Tablo 3.7'de ilk geri kazanım seçeneği olan UF 4 kDa membranı sonrası GE membranının SEM görüntüleri Şekil 3.25'te, 250 kDa membranı sonrası XLE membranının SEM görüntüleri Şekil 3.26'da, yine UF 250 kDa membranı sonrası GE membranının SEM görüntüleri ise Şekil 3.27'de verilmiştir. SEM görüntülerine göre GE membranlarının ön arıtma membranına bakılmaksızın bölgesel çökelekler gösterdiği belirlenmiştir. Bu membrandan iyi kalitede su elde edilmesine rağmen, yüksek tıkanma olasılığı bulunmaktadır. Bu membran ayrıca düşük akı sağlamaktadır (Tablo 3.7).

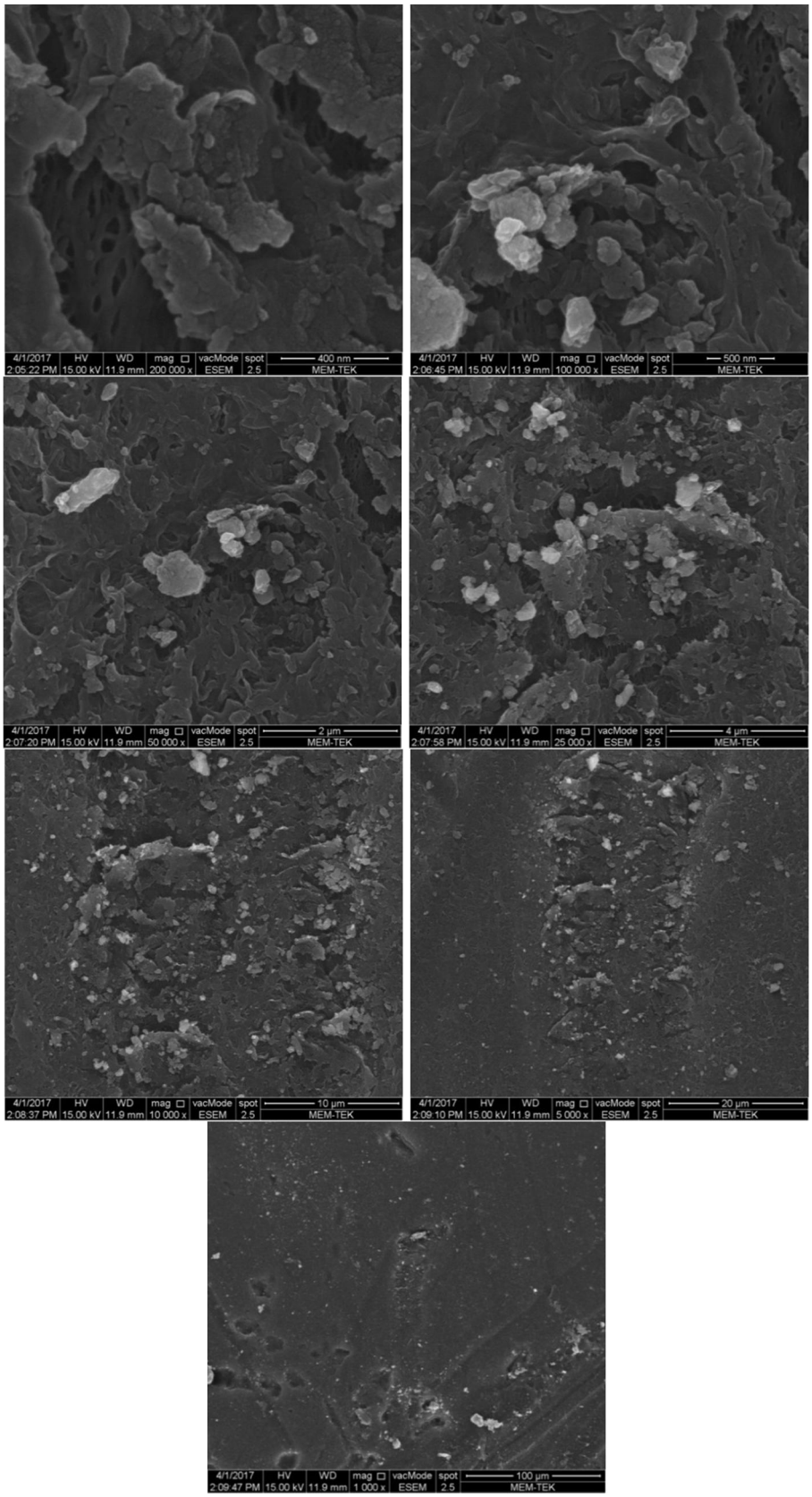
Şekil 3.25 ve Şekil 3.27'de verilen GE membranlarının SEM görüntülerinde PA aktif tabakası görülmekte olup yüzeyin tamamen tıkanmadığı da görülmektedir. Ancak oluşan yoğun Ca çökeleklerinin yanı sıra Cr ve Fe çökelekleri de SEM-EDS analizlerinden anlaşılmaktadır (Şekil 3.28).

XLE membranı ise bu çalışmada yüksek akısı, orta veya iyi kalitede su eldesi ve düşük tıkanma profiliyle RO membranlarında öne çıkan membranlardandır.

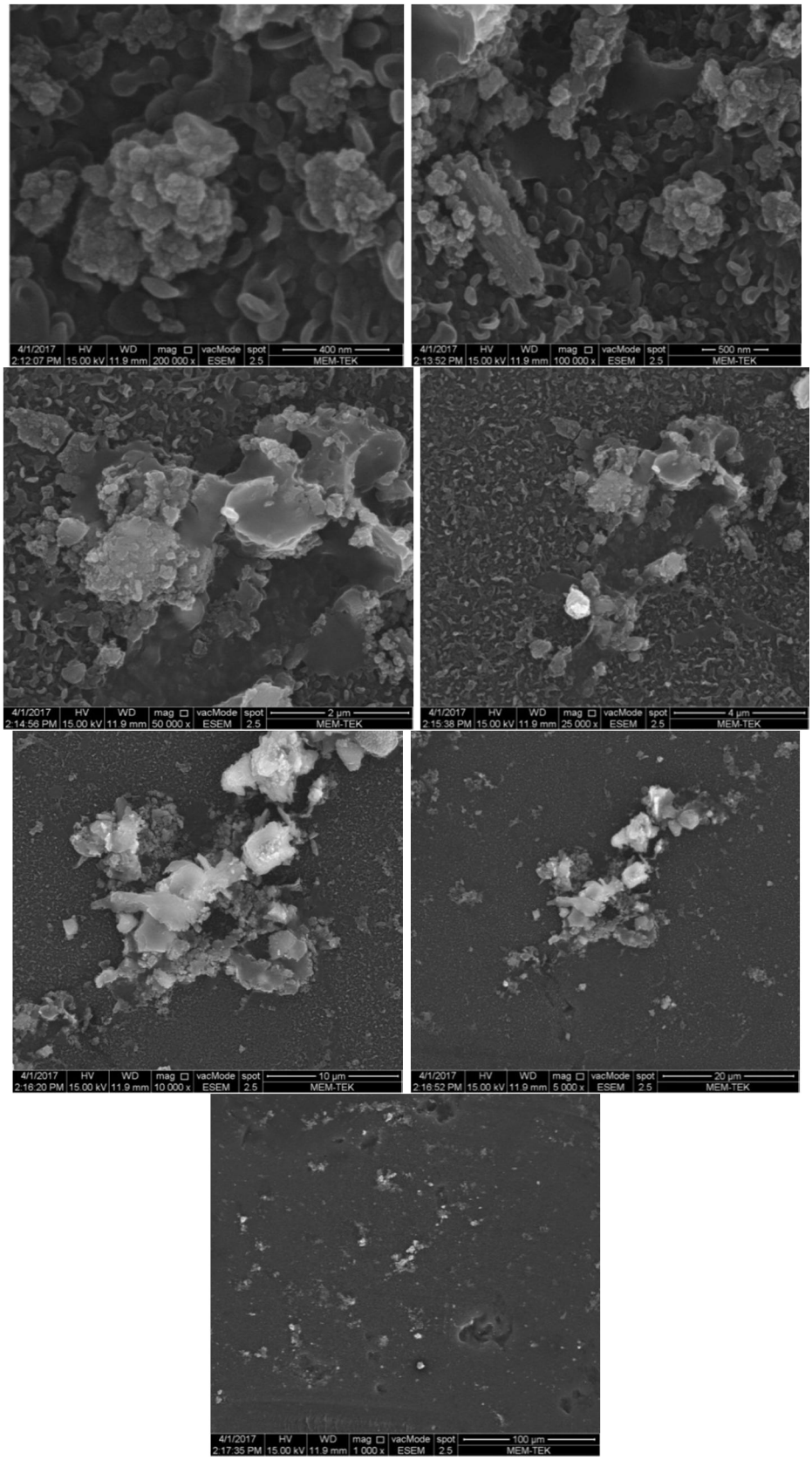
RO membranlarında çıkış su kalitesi ve akı değerleri membran seçiminde daha önemli hale gelmektedir [22]. PA membranlar gerçek ölçekte çökelme önleyici (antiskalant) ile birlikte kullanıldıkları için çökelek tıkanması bu membran için önemsiz bir durum olarak gözükebilir. Ancak, RO membranlarında yapılan SEM-EDS analizlerinde membran yüzeylerinin inorganik kirlilikle kaplandığı görülmektedir (Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30). Bu görüntülerde GE membranlarının daha sıkı (birbirine yakın) çökelekler oluşturduğu XLE membranının ise daha hacimli ve aralıklı çökelekler oluşturduğu izlenimi vermektedir.



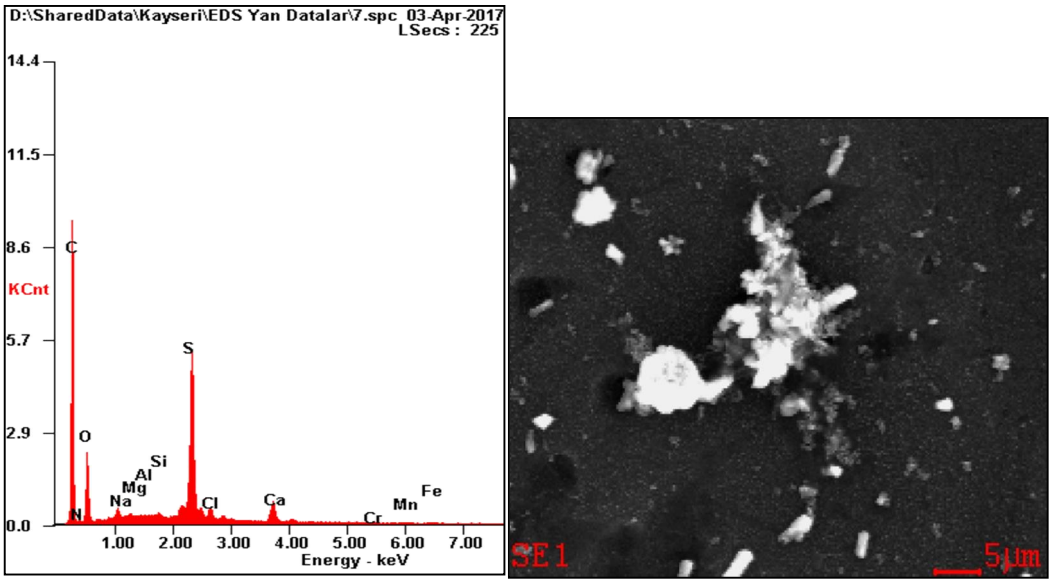
Şekil 3.25. AAT-UF 4 kDa sonrası GE membranının SEM görüntüleri



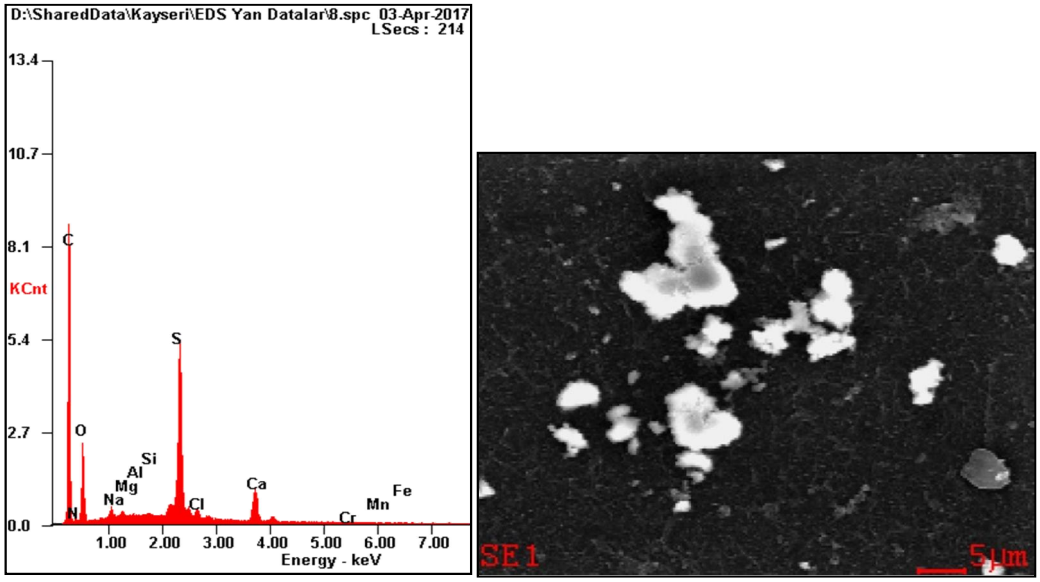
Şekil 3.26. AAT-UF 250 kDa sonrası XLE membranının SEM görüntüleri



Şekil 3.27. AAT-UF 250 kDa sonrası GE membranının SEM görüntüleri

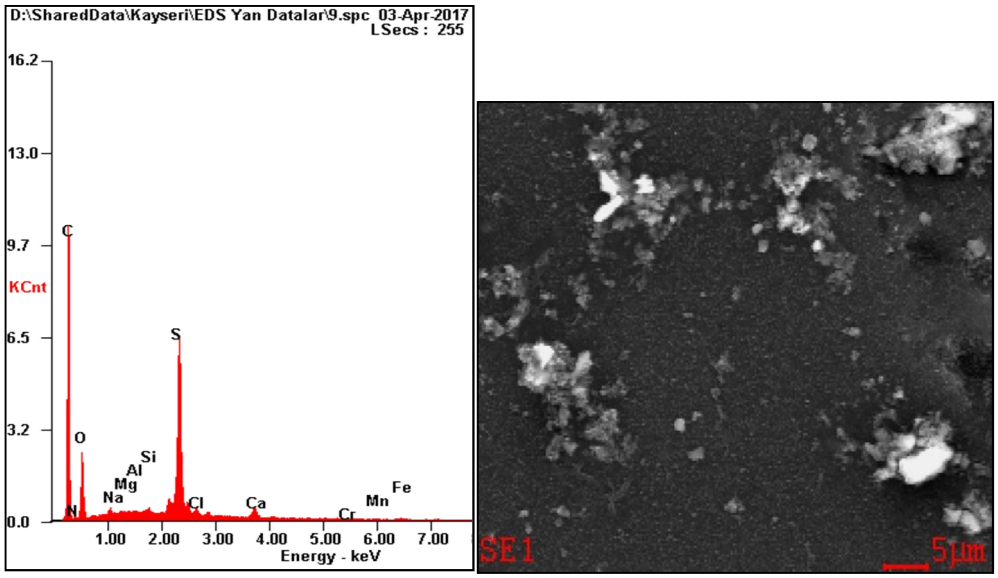


Şekil 3.28. UF 4 kDa sonrası GE membranının SEM-EDS analiz sonucu



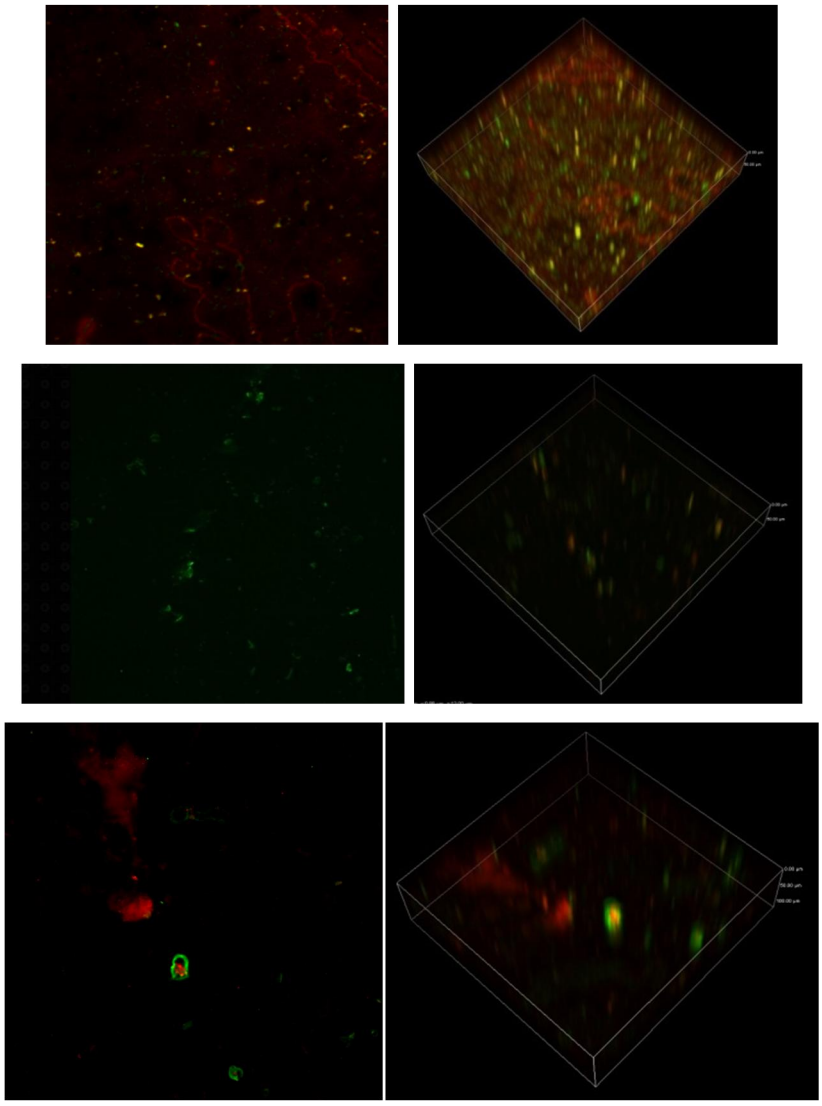
Şekil 3.29. UF 250 kDa sonrası XLE membranının SEM-EDS analiz sonucu

CLSM görüntülerinde ise RO membranlarının farklı bakteriyel kirlenmeler oluşturduğu görülmektedir. GE membranlarının yüksek miktarda bakteriyel kirlenme gösterdiği, XLE membranının ise membran yüzeyinde zor görülebilen bakterilere sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, biyofilm kalınlığı açısından da XLE membranının en ince tabakaya sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.30. UF 250 kDa sonrası GE membranının SEM-EDS analiz sonucu

RO membranlarının görüntüleri GE membranlarının tıkanmaya eğilimli olduğunu göstermiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda, membran yüzeyindeki kirlenmelerin hidrofobisite (suyu sevmemezlik) kaynaklı yaşanabileceğini göstermiştir [34, 125, 134]. Bu yüzden membran hidrofilikliğini artıran modifikasyonlar yapılabilmektedir [125, 135]. Bu çalışmadaki GE ve XLE membranları arasında seçim yapılması durumunda, düşük biyofilm kalınlığı ve daha aralıklı çökelekler oluşturan XLE membranının tercih edilmesi gerekmektedir. Bunun membranın hidrofilikliği ile alakasının olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.31. AAT çıkışında UF arıtımı sonrası RO membranlarının CLSM görüntüleri. Yukarıdan aşağıya; UF 4 kDa sonrası GE, UF 250 kDa sonrası XLE, UF 250 kDa sonrası GE membranı. Soldaki görüntüler yüzeysel, sağdaki görüntüler kesit görüntüleridir.

3.2 KOSB Atıksularının Membran Biyoreaktör ile Geri Kazanımı

3.2.1 Kesikli Filtrasyon Çalışmaları

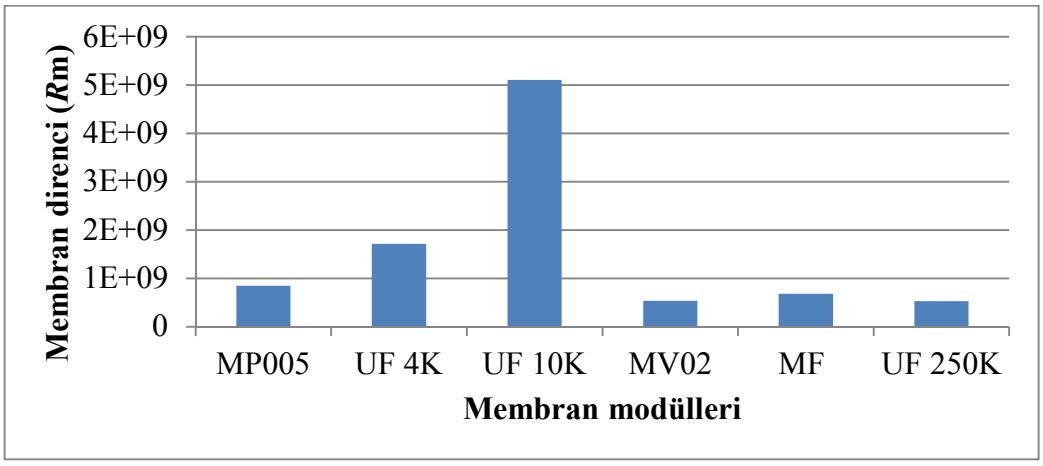
MBR'nin işletilmesinde kullanılmak üzere seçilen 6 farklı membrandan (3 MF ve 3 UF) en uygun olanının belirlenmesi için bu membranlarla kesikli filtrasyon çalışmaları yapılmıştır. Bunun için her bir membran malzeme için eşit yüzey alanına sahip düz plaka membran modülleri yapılmıştır. Yapılacak kesikli çalışmalar

sonucunda membran dirençleri bulunarak, akı ve basınç değişimleri izlenerek ve çıkış suyu kalitesi incelenerek daha sonra işletilecek 2 membran modülüne karar verilmiştir.

Bu denemeler sonrasında oluşan MBR çıkış sularının temel parametrelerde analizleri yapılmış olup Tablo 3.8'de verilmiştir. Tablodaki analiz sonuçlarına bakıldığında KOİ iletkenlik ve bulanıklık açısından en iyi sonucun MP005 membranında yakalandığı görülmektedir. Ancak bu membranın akı ve basınç grafikleri de MBR'nin sağlıklı işletilmesi açısından karar vermede etkili olacaktır. Çalışmalar sırasında çekilen fotoğraflar grafiklerden sonra verilmiştir. Tablo 3.9'da ise hesaplanan tüm direnç değerleri bir arada gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Kesikli MBR çalışmaları sonrası elde edilen süzüntü analiz sonuçları

Membran	**pH**	**İletkenlik (ms/cm)**	**KOİ (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**
MV 02	8,16	4,41	66	0,88
MP 005	8,1	4,06	19	0,42
MF	8,01	5,02	67	1,54
UF 10 K	8,1	4,62	38	0,72
UF 4K	8,19	4,23	32	0,36
UF 250K	8,41	4,65	21	0,21



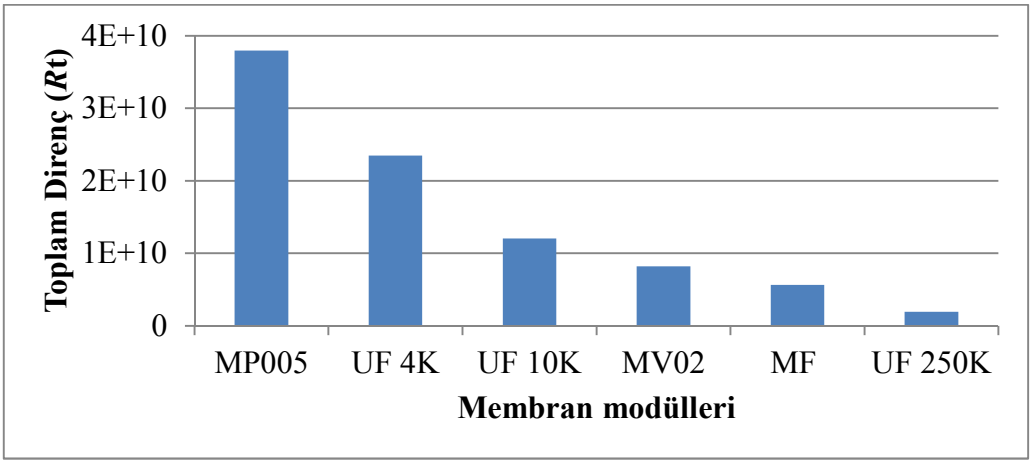
Şekil 3.32. Membran dirençleri

Tablo 3.9. Kesikli MBR filtrasyon çalışmaları sonunda bulunan direnç değerleri

Membran	R_m (m^{-1})	R_t (m^{-1})	R_p (m^{-1})	R_c (m^{-1})
MP005	$0,85 \times 10^9$	$2,00 \times 10^{10}$	$1,11 \times 10^{10}$	$8,8 \times 10^9$
UF 4K	$1,71 \times 10^9$	$2,35 \times 10^{10}$	$1,71 \times 10^{10}$	$6,4 \times 10^9$
UF 10K	$5,11 \times 10^9$	$1,21 \times 10^{10}$	$0,91 \times 10^{10}$	$3,0 \times 10^9$
MV02	$0,54 \times 10^9$	$0,82 \times 10^{10}$	$0,21 \times 10^{10}$	$6,1 \times 10^9$
MF	$0,77 \times 10^9$	$0,56 \times 10^{10}$	$0,07 \times 10^{10}$	$4,9 \times 10^9$
UF 250K	$0,53 \times 10^9$	$0,19 \times 10^{10}$	$0,02 \times 10^{10}$	$1,8 \times 10^9$

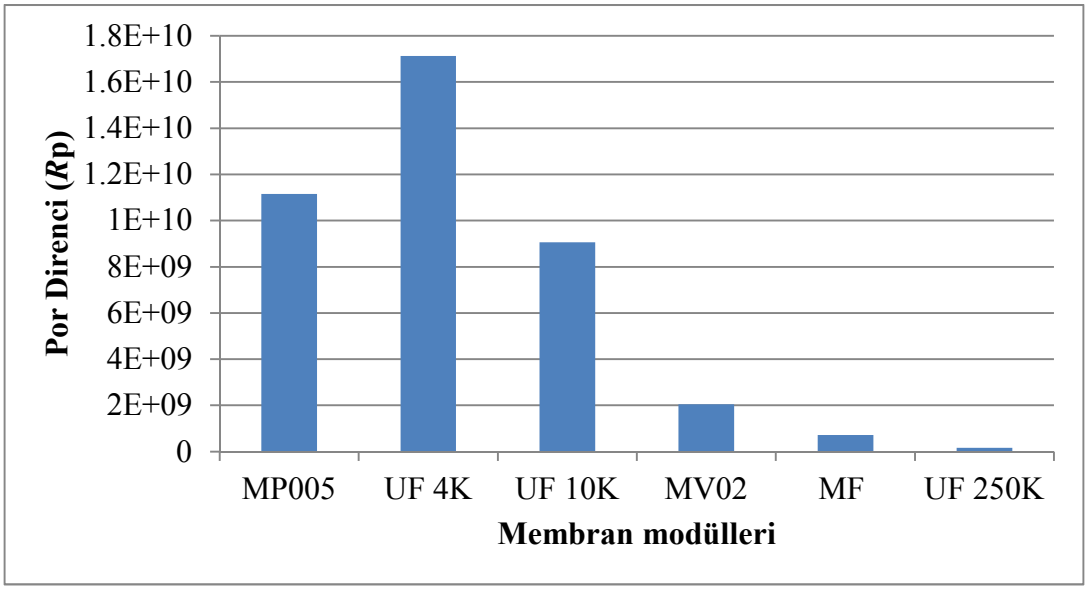
Kesikli çalışmalar boyunca hesaplanan her bir direnç karşılaştırma için ayrı bir sütun grafikte de gösterilmiştir. Şekil 3.32'ye göre UF 10 kDa membranının en yüksek membran direncine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 3.33'te verilen toplam membran dirençlerine göre ise membranların toplam direncinin por çaplarına göre ters orantılı olarak sıralandığı görülmektedir.



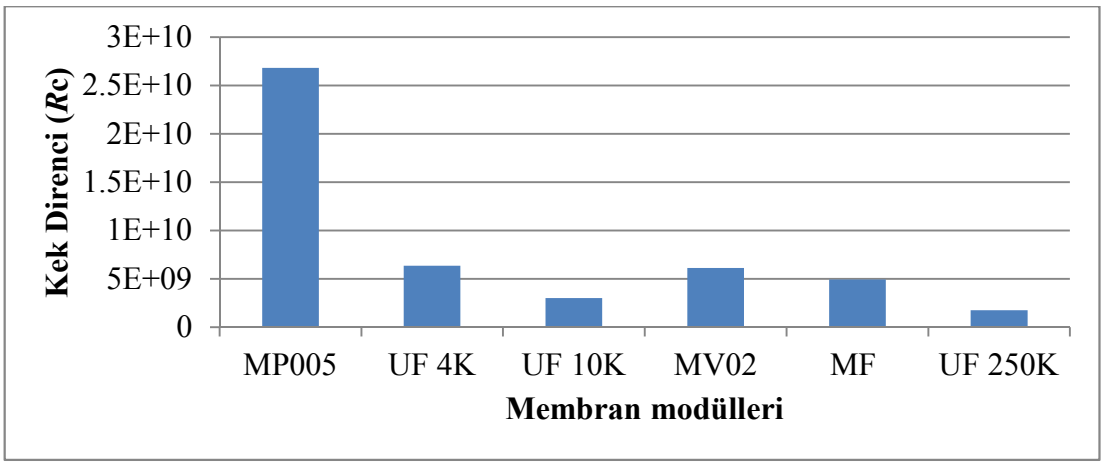
Şekil 3.33. Toplam dirençler

Şekil 3.34'te verilen por dirençlerinde ise en düşük por çapına sahip 3 membranın en yüksek dirençlere sahip olduğu için hızla tıkandığı ve yüksek direnç gösterdiği söylenebilir.



Şekil 3.34. Membranların por dirençleri

Son olarak Şekil 3.35'te, oluşan kek tabakasının en yüksek etkiyi en düşük por çaplı membran olan MP005'te oluşturduğu görülmektedir.

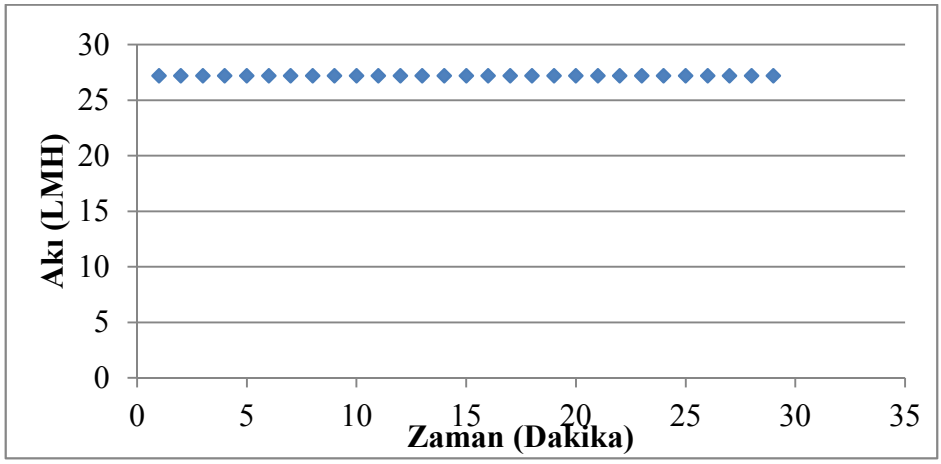


Şekil 3.35. Membranların kek dirençleri

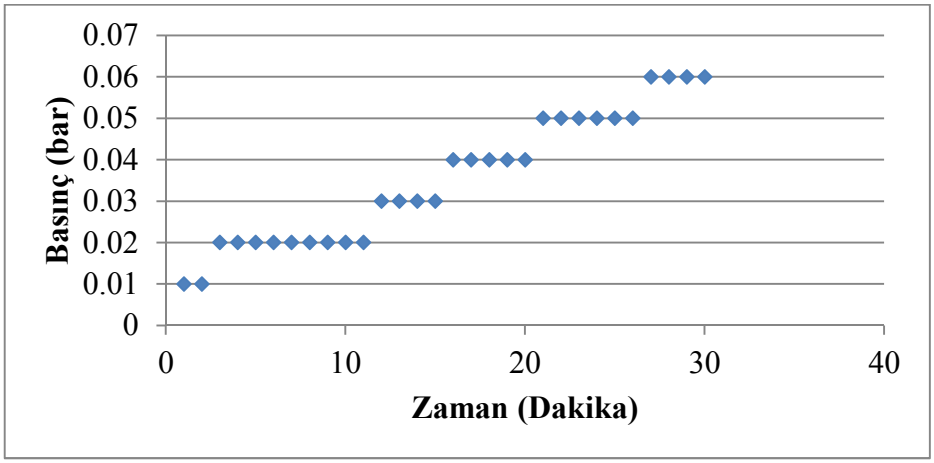
3.2.1.1 MP005 membranı kesikli MBR çalışmaları

MP005 membranıyla yapılan çalışmalarda saf su akısının basınç ve akı değişim grafikleri sırasıyla Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'de verilmiştir. Bu membran için saf su akısında dahi yüksek basınç görülmesi bu membranın OSB atıksularında kullanımının hızlı membran tıkanmasına yol açacağını göstermektedir. Şekil 3.38 ve Şekil 3.39'da ise bu membranın MBR'deki akı ve basınç değişimleri görülebilir. Bu

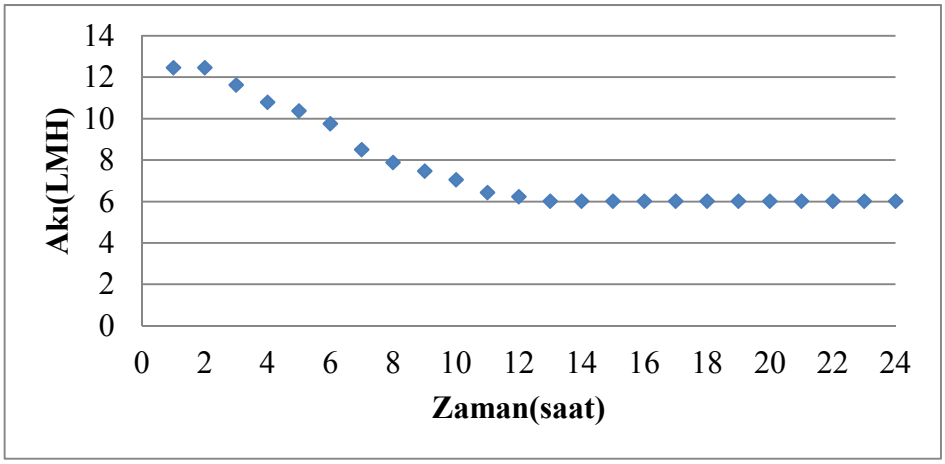
membranın yine hızla basıncının yükseldiği ve akısının düştüğü görülmektedir. MBR işletimi sonrası sünger ve çeşme suyuyla yapılan temizleme sonrası membranların saf su akıları ve basınçlarına da bakılmış olup Şekil 3.40 ve Şekil 3.41'de verilmiştir. Bu grafiklerde de akı ve basınçtaki değişimler MBR'deki gibi olduğundan uygun bir membran olmadığı söylenebilir. Bu membranın çıkış suyu kalitesi diğer membranlardan iyi durumda olmasına rağmen bu membranın gelecek dönemde işletilmesi düşünülmemektedir. Tüm membranlar için membran direnci hesaplanacağından dolayı uygun membran seçimine daha sonra karar verilecektir.



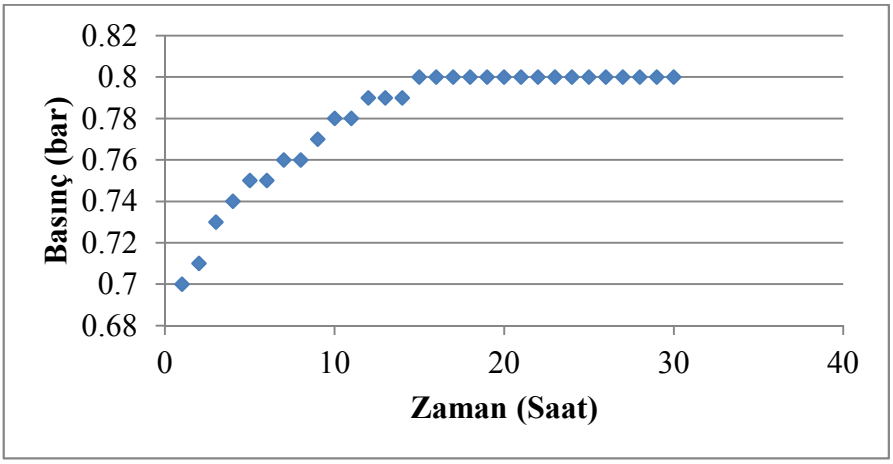
Şekil 3.36. MP005 membranı saf su akı-zaman grafiği



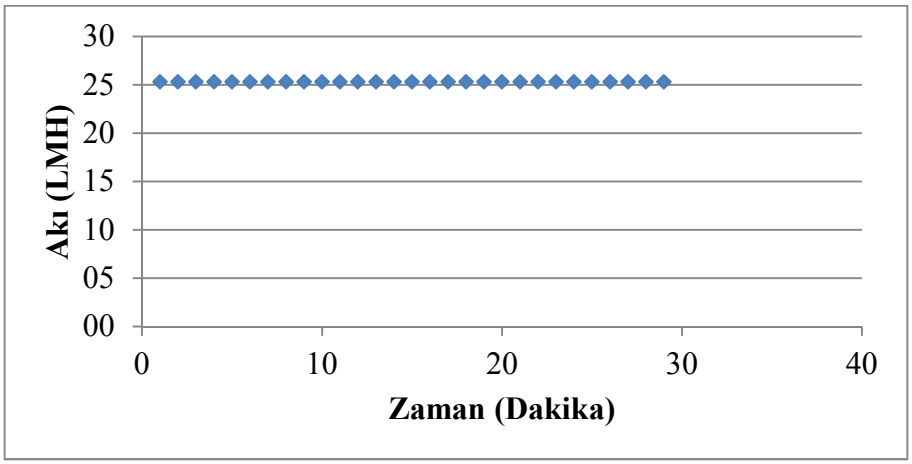
Şekil 3.37. MP005 membranı saf su basınç zaman grafiği



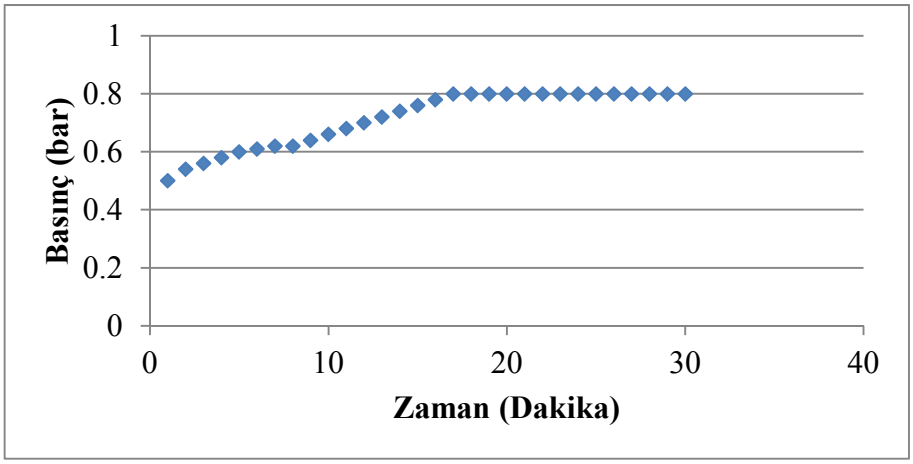
Şekil 3.38. MP005 membranı MBR akı-zaman grafiği



Şekil 3.39. MP005 membranı MBR basınç zaman grafiği



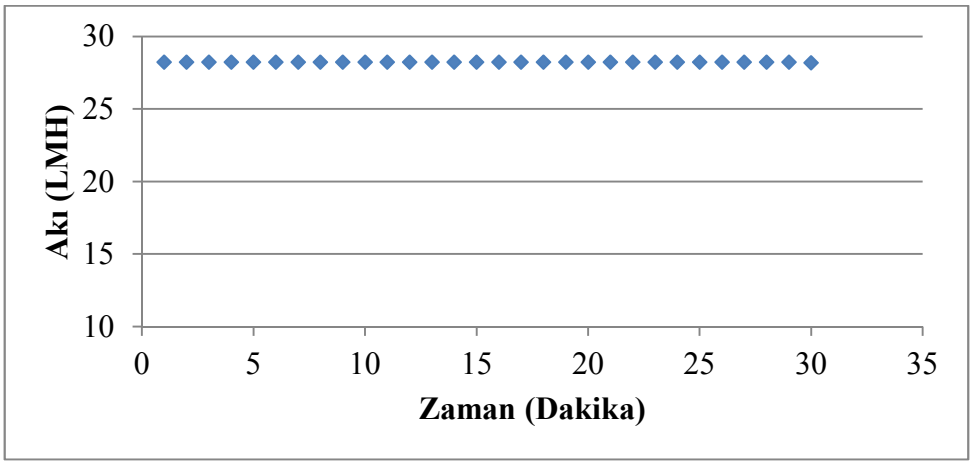
Şekil 3.40. MP005 membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği



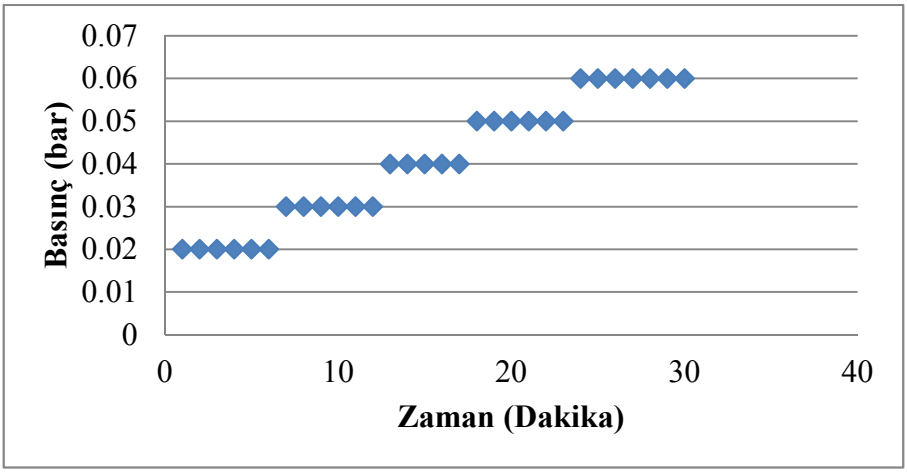
Şekil 3.41. MP005 membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği

3.2.1.2 MF membranı kesikli MBR çalışmaları

MF membranı da aynı boyutlarda yapıldıktan sonra sırasıyla saf su, MBR ve fiziksel temizleme sonrası performansı incelenmiştir. Saf su akısı ve basıncı Şekil 3.42 ve Şekil 3.43'te, MBR akısı ve basıncı Şekil 3.44 ve Şekil 3.45'te, temizleme sonrası akısı ve basıncı ise sırasıyla Şekil 3.46 ve Şekil 3.47'de verilmiştir. Bu membranın da çıkış suyu kalitesi diğer membranlara göre daha kötü durumdadır. Ancak MBR basıncı 24 saat sonunda 0,3 bara yükselmiştir. Bu da bir önceki membrandan daha iyi bir basınç sağlayacağını göstermektedir. Bu membranın seçimi için direnç değerlerini karşılaştırarak karar vermek daha iyi bir seçenek olabilir.

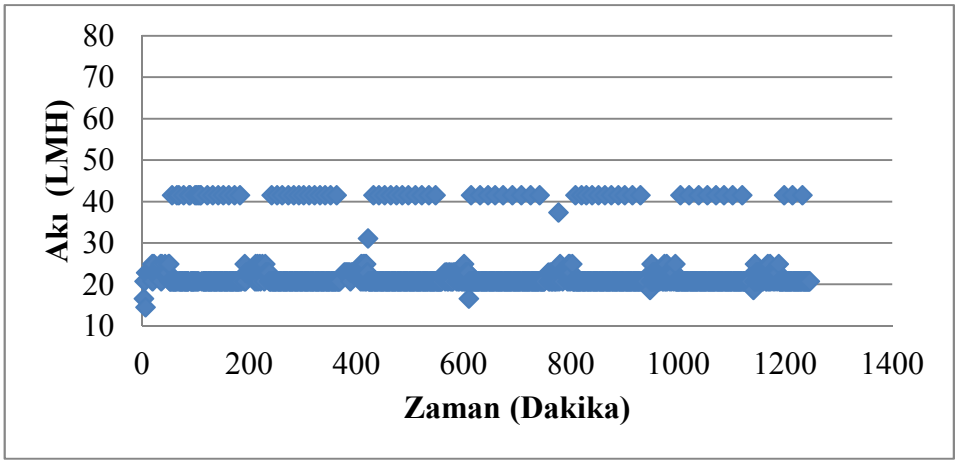


Şekil 3.42. MF membranı saf su akı-zaman grafiği

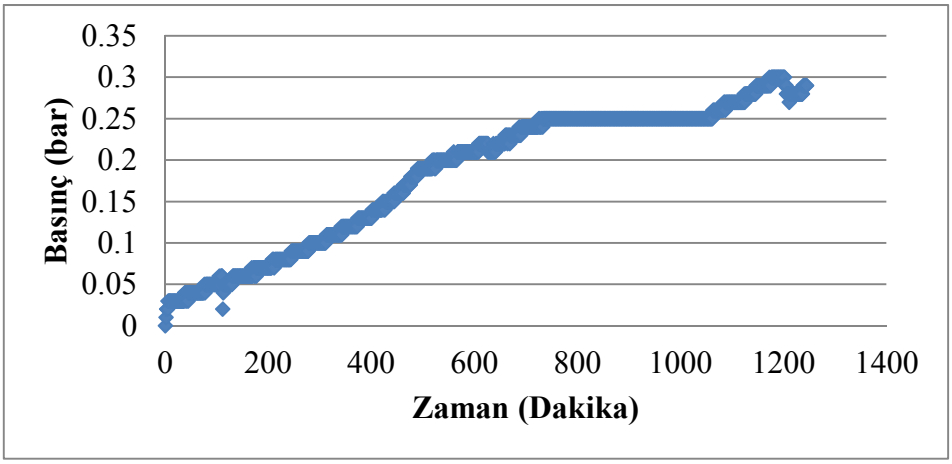


Şekil 3.43. MF membranı saf su basınç zaman grafiği

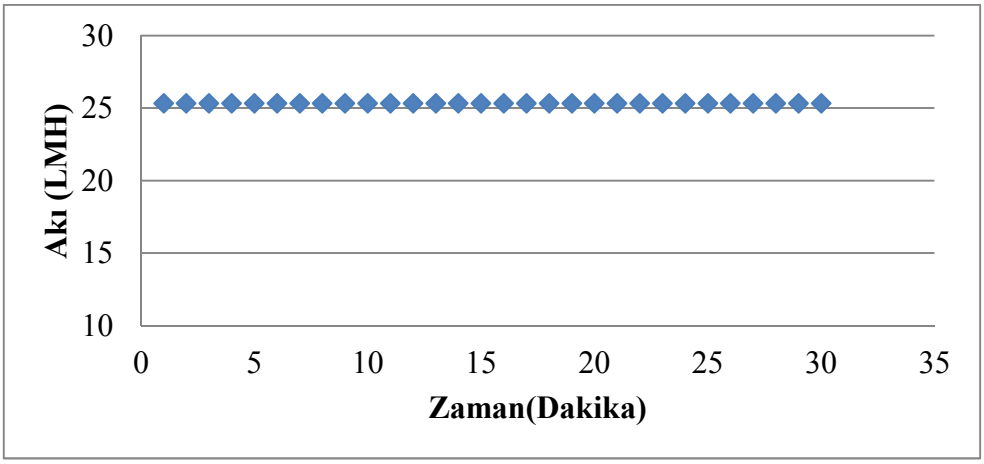
MF membranının vakum hattında salınımlar olması ve sabit akıda su elde edilememesi nedeniyle akı grafiğinde iyi bir sonuç elde edilememesine neden olmuştur (Şekil 3.44).Bu membran için elde edilen su miktarına göre ortalama akı belirlenmiş olup direnç hesaplamalarında ortalama akı kullanılmıştır. Aşağıda elde edilen grafikte 40 LMH'larda akı varmış gibi görünmesine rağmen ortalama akı 20 LMH'lar civarındadır.



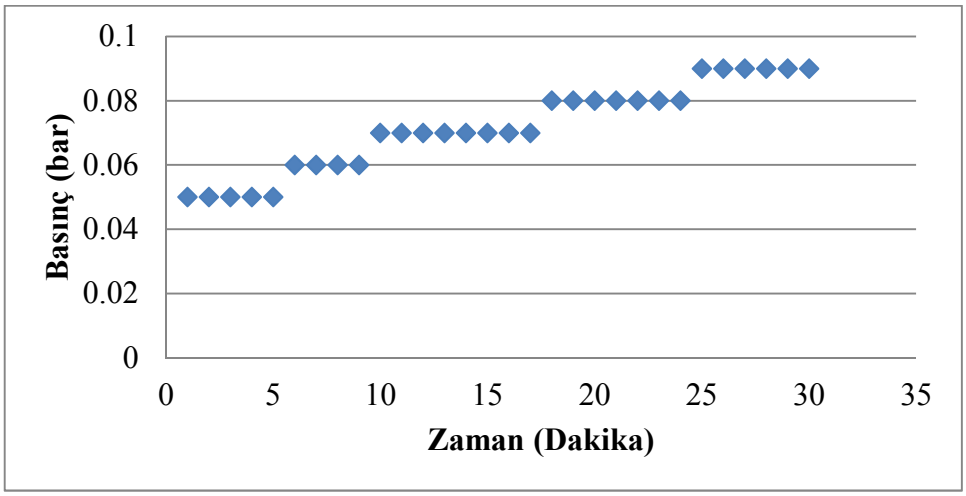
Şekil 3.44. MF membranı MBR akı-zaman grafiği



Şekil 3.45. MF membranı MBR basınç zaman grafiği



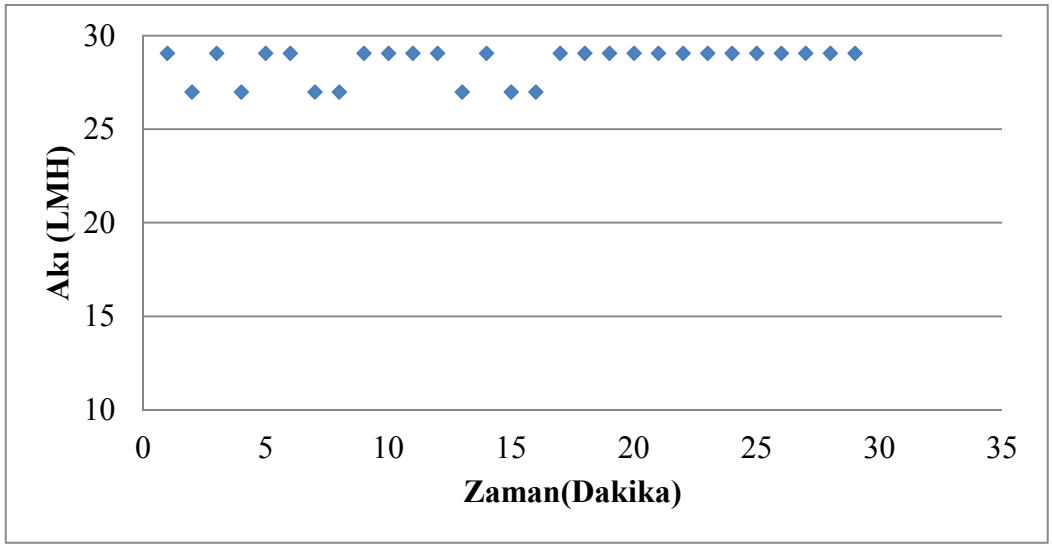
Şekil 3.46. MF membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği



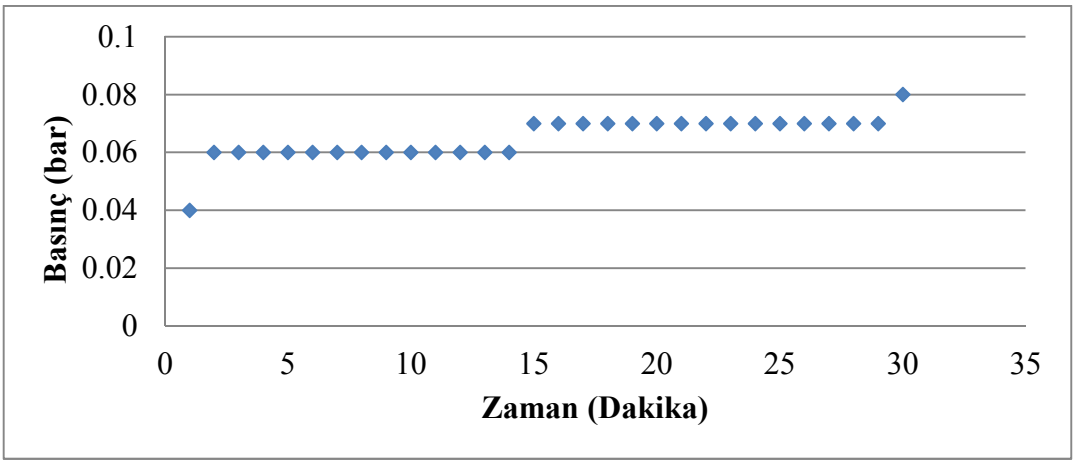
Şekil 3.47. MF membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği

3.2.1.3 MV02 membranı kesikli MBR çalışmaları

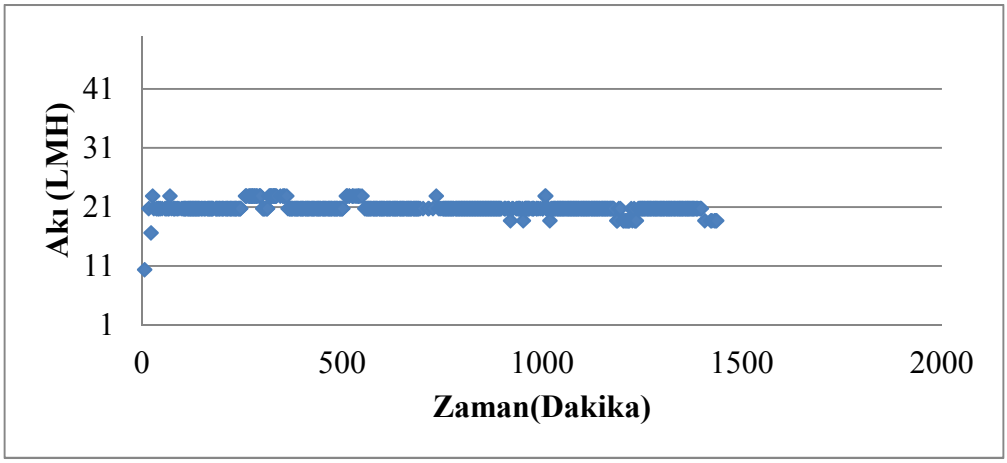
MV02 membranının kesikli çalışmaları incelendiğinde MF membranına benzer değerlerde akı ve basınç ölçümlerinin olduğu görülmektedir. Ancak, MV02 membranı MBR'de çalıştırıldıktan sonra saf su akısında nispeten yüksek basınç vermiştir. Bu da membranın porlarında ciddi tıkanma olasılığı bulunduğunu göstermektedir. Analiz sonuçlarına bakıldığında ise MF'den daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. MV02 membranı için saf su akı ve basınç grafikleri Şekil 3.48 ve Şekil 3.49'da, MBR akı ve basınç grafikleri Şekil 3.50 ve Şekil 3.51'de, temizleme sonrası akı ve basınç grafikleri ise Şekil 3.52 ve Şekil 3.53'te verilmiştir.



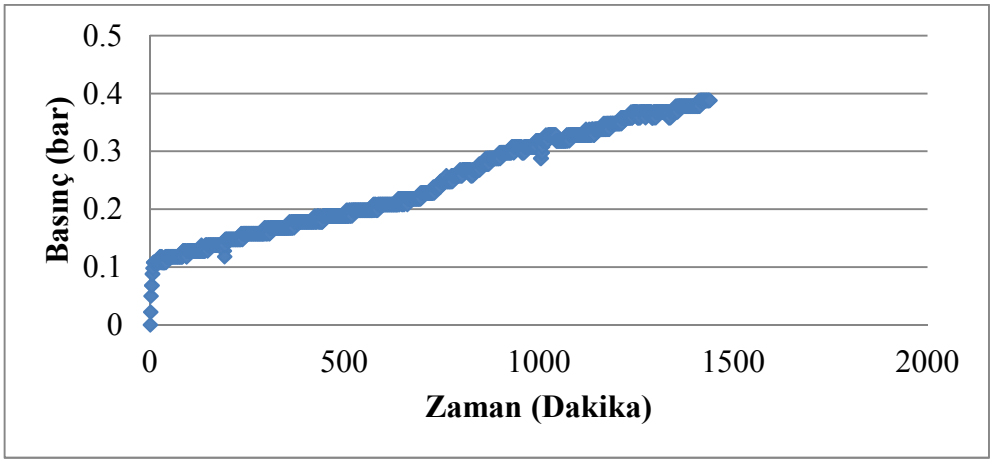
Şekil 3.48. MV02 membranı saf su akı-zaman grafiği



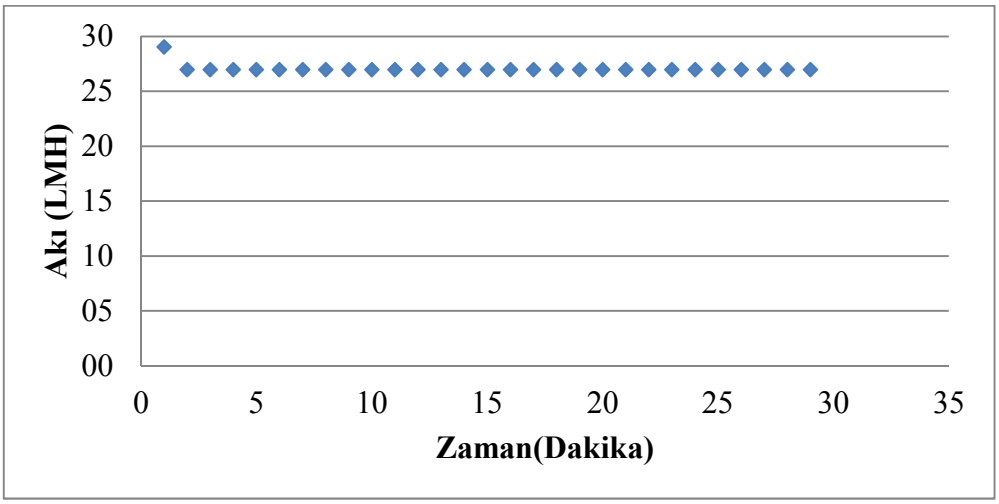
Şekil 3.49. MV02 membranı saf su basınç zaman grafiği



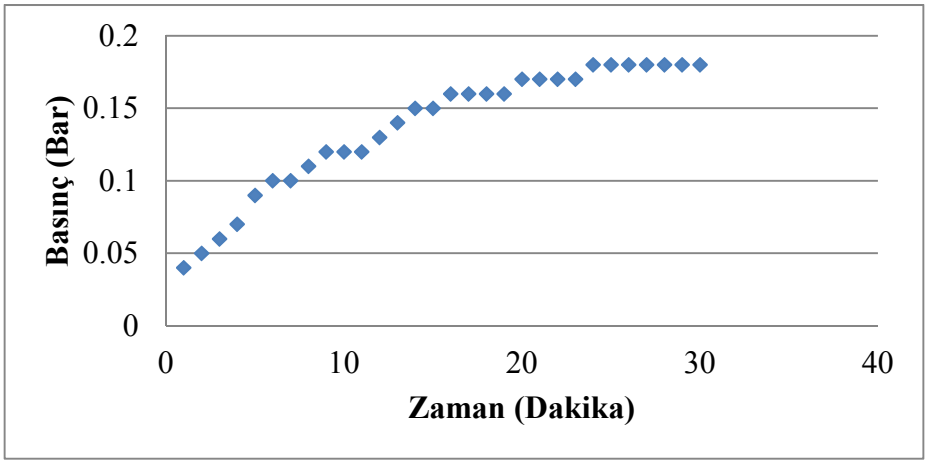
Şekil 3.50. MV02 membranı MBR akı-zaman grafiği



Şekil 3.51. MV02 membranı MBR basınç zaman grafiği



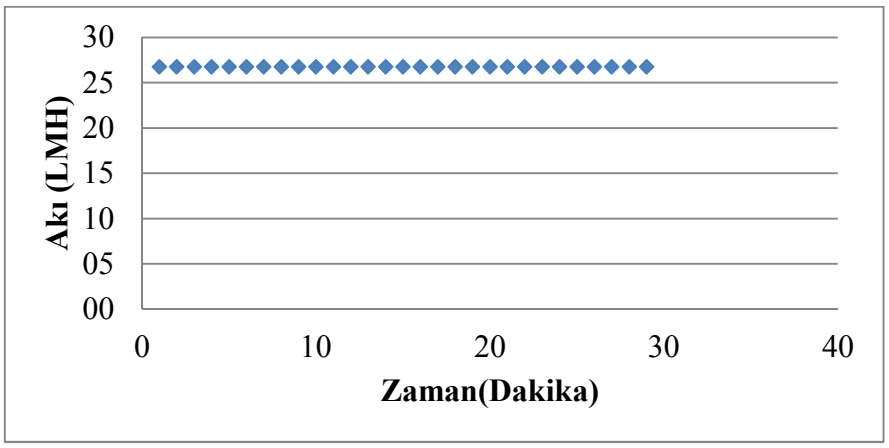
Şekil 3.52. MV02 membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği



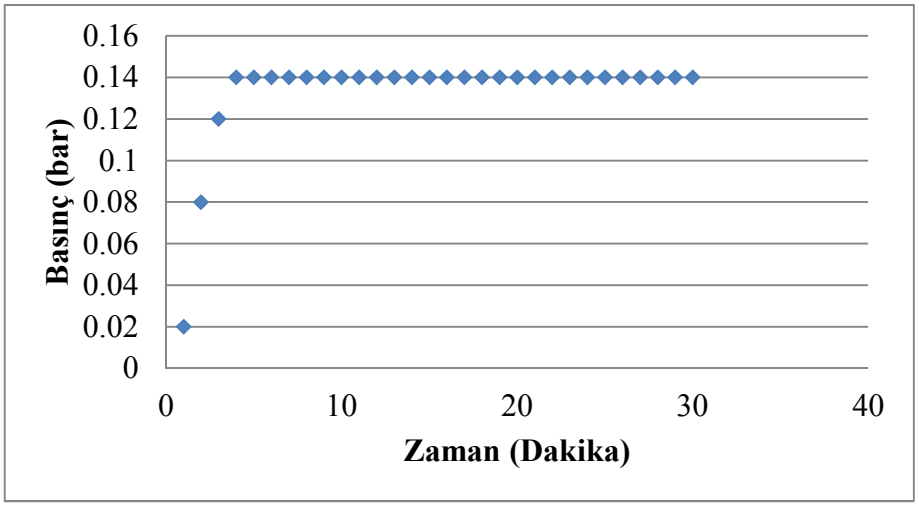
Şekil 3.53. MV02 membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği

3.2.1.4 UF 4 kDa membranı kesikli MBR çalışmaları

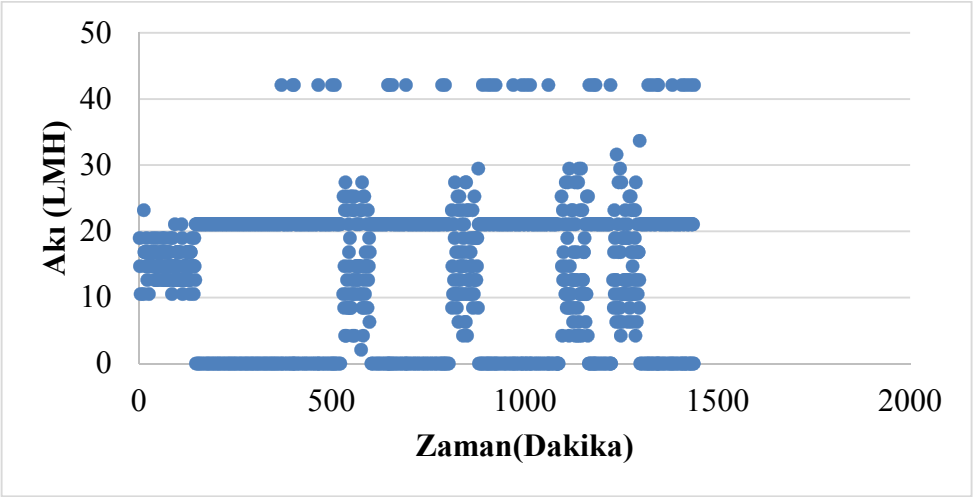
UF 4 kDa kesikli membran çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi basınç ve akı değişimlerine bakarak yapıldığında diğer membranlara göre daha kolay yapılabilir. Çünkü bu membranın analiz sonuçları diğer UF membranlarına göre daha iyi olsa da, tıkanma hızı ve ani basınç artışı daha belirgindir. Ayrıca, bu membranın por direnci de diğerlerine göre yaklaşık 2 kat daha yüksektir. Bu membran için saf su çalışmaları (Şekil 3.54 ve Şekil 3.55), MBR çalışmaları Şekil 3.56 ve Şekil 3.57) ve temizleme sonrası çalışmalar aşağıda özetlenmiştir (Şekil 3.58 ve Şekil 3.59).



Şekil 3.54. UF 4 kDa membranı saf su akı-zaman grafiği



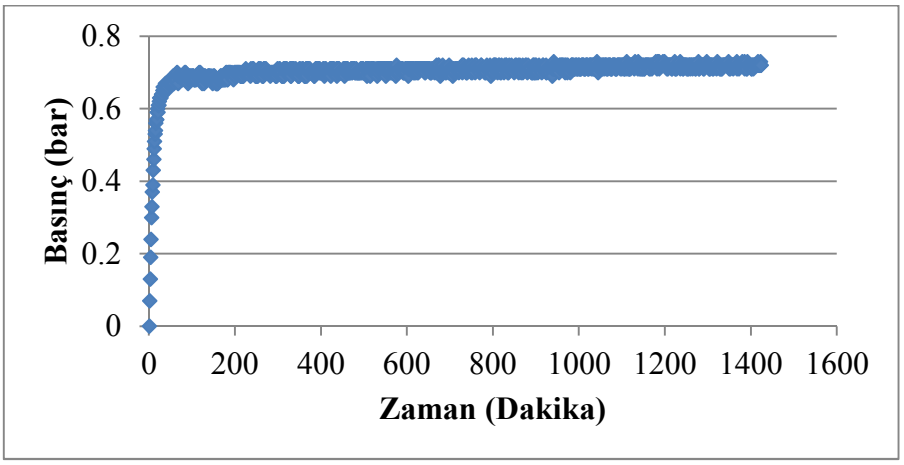
Şekil 3.55. UF 4 kDa membranı saf su basınç zaman grafiği



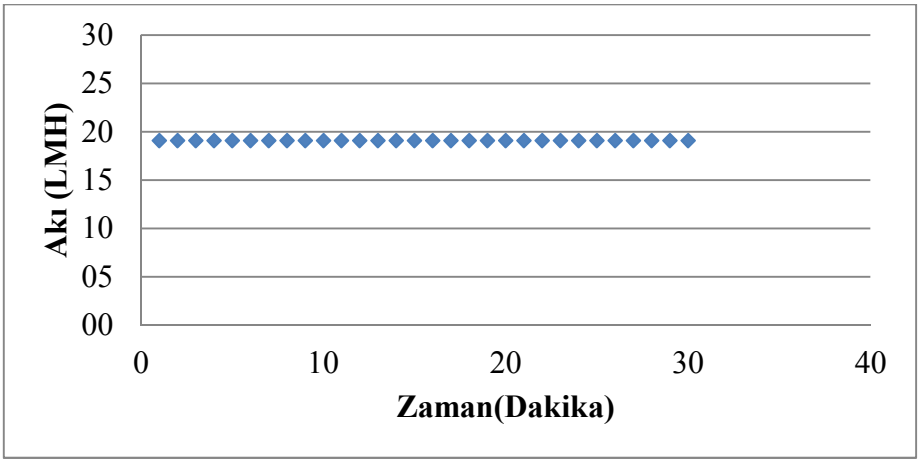
Şekil 3.56. UF 4 kDa membranı MBR akı-zaman grafiği

Kesikli MBR çalışmalarında verilerin 24 saat boyunca kaydedilebilmesi ve analiz edilebilmesi için MBR sistemi vakum hattına bağlanarak çalışılmıştır. MBR sisteminin otomasyonunda veri alma sıklığı dakikada 1 kez olup; basınç, terazi ağırlığı, akı, sıcaklık vb. parametreler otomasyon sisteminde kaydedilmektedir. Sistemde filtrasyon sırasında elde edilen süzüntü teraziye düştüğünde terazi veriyi bilgisayara göndermekte ve kaydedilmektedir. PLC sistemi terazi verilerini 1000 g ve üzeri tartımlarda 10'un katları (g) şeklinde kaydetmektedir. Bu nedenle Akı zaman grafiğinde düzgün olmayan sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, Şekil 3.56'da görüldüğü gibi basıncın hızla arttığı UF 4kDa membranında vakum hattının zorlandığı ve zaman zaman kesikli şekilde su ve hava geldiği görülmüştür. Böyle

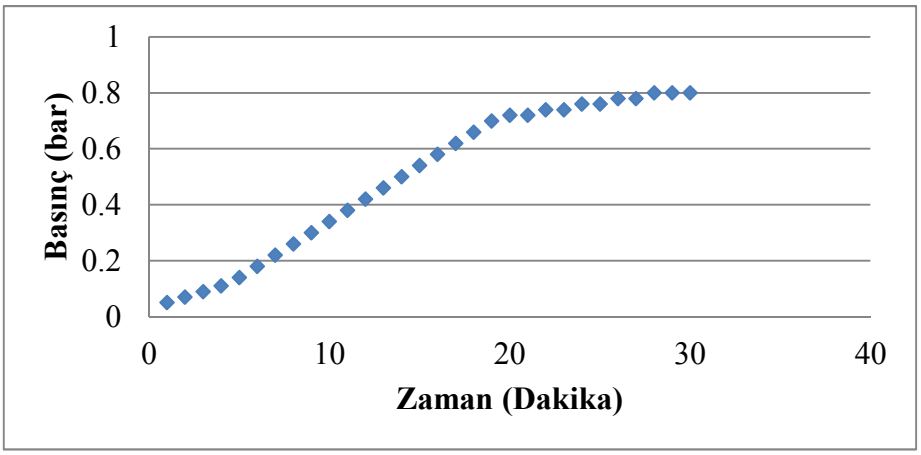
durumlarda ise terazi ağırlığı artış göstermediği için hesaplanan akı değerleri 0 (sıfır) olarak görülmektedir.



Şekil 3.57. UF 4 kDa membranı MBR basınç zaman grafiği



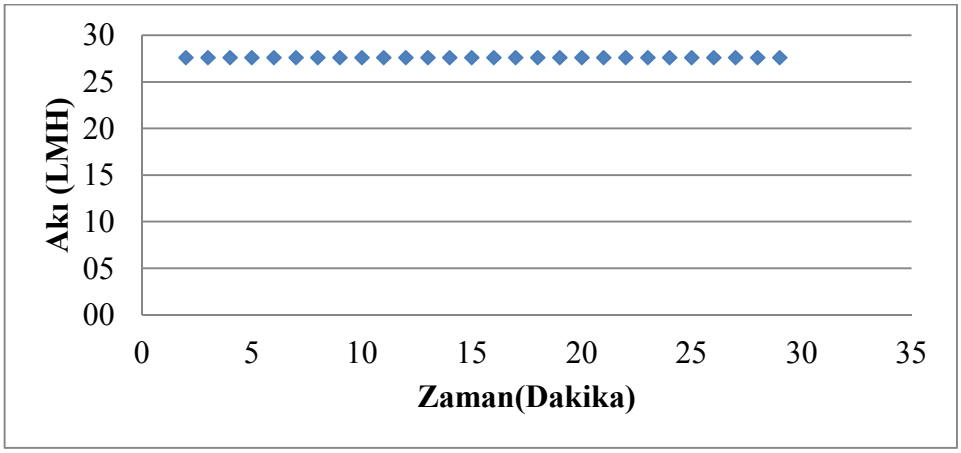
Şekil 3.58. UF 4 kDa membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği



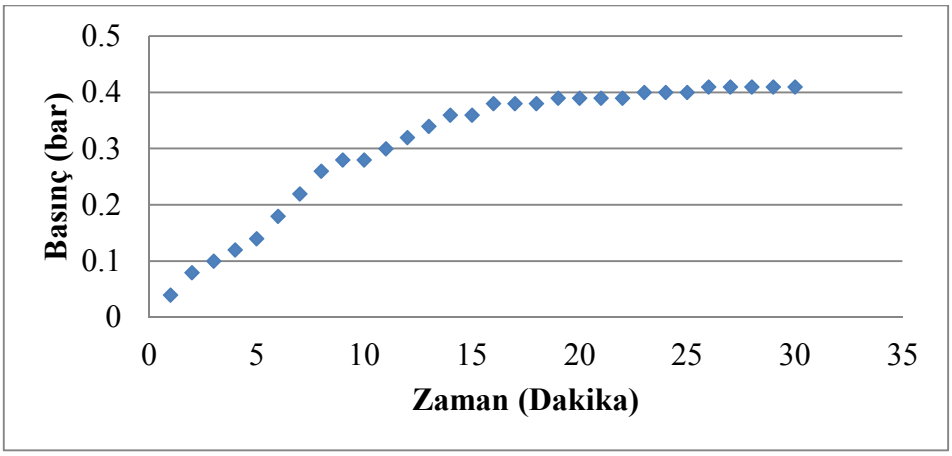
Şekil 3.59. UF 4 kDa membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği

3.2.1.5 UF 10 kDa membranı kesikli MBR çalışmaları

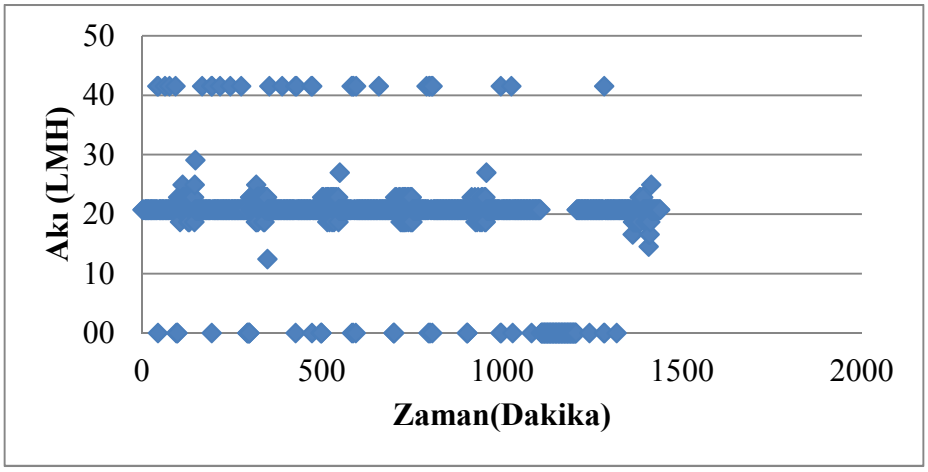
UF 10.000 Da membranının diğer membranlara göre en yüksek membran direncine sahip olduğu Şekil 38'de görülebilir. Bu membranın por direnci de oldukça yüksek olup tıkanma potansiyelinin yüksek olduğu söylenebilir. Bu membranda da akının salınımlı okunmuş ve direnç hesaplarında ortalama akı alınmıştır. Bu membranla ilgili akı ve basınç grafikleri ise Şekil 3.60, Şekil 3.61, Şekil 3.62, Şekil 3.63, Şekil 3.64 ve Şekil 3.65'te verilmiştir.



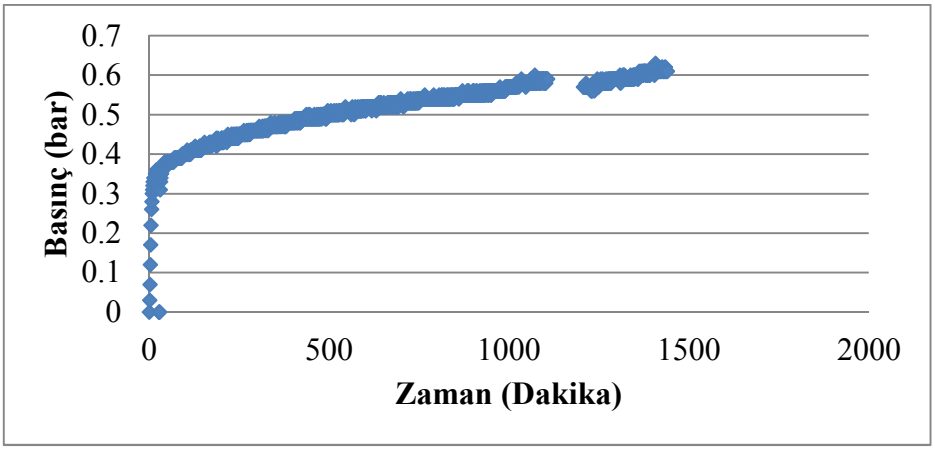
Şekil 3.60. UF 10 kDa membranı saf su akı-zaman grafiği



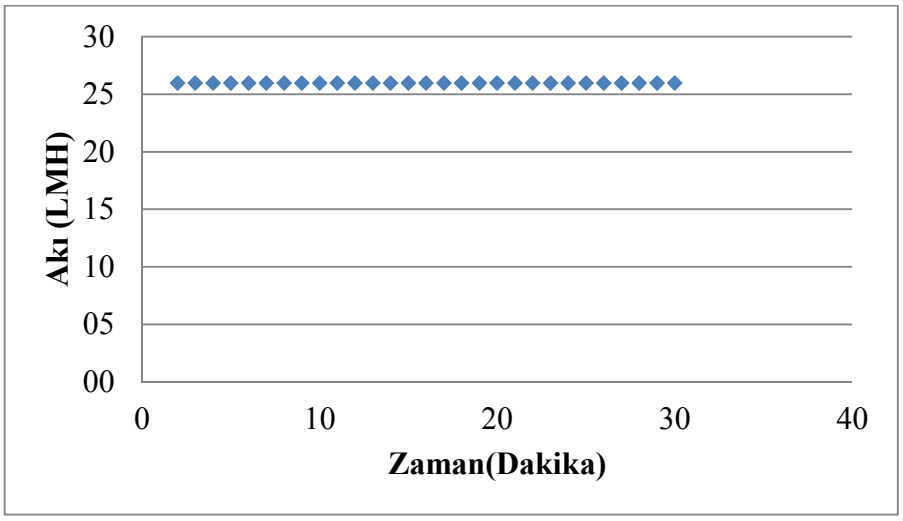
Şekil 3.61. UF 10 kDa membranı saf su basınç zaman grafiği



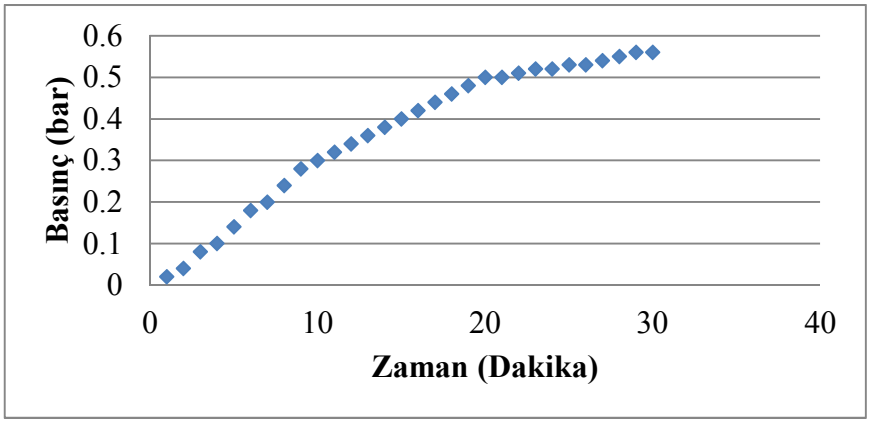
Şekil 3.62. UF 10 kDa membranı MBR akı-zaman grafiği



Şekil 3.63. UF 10 kDa membranı MBR basınç zaman grafiği



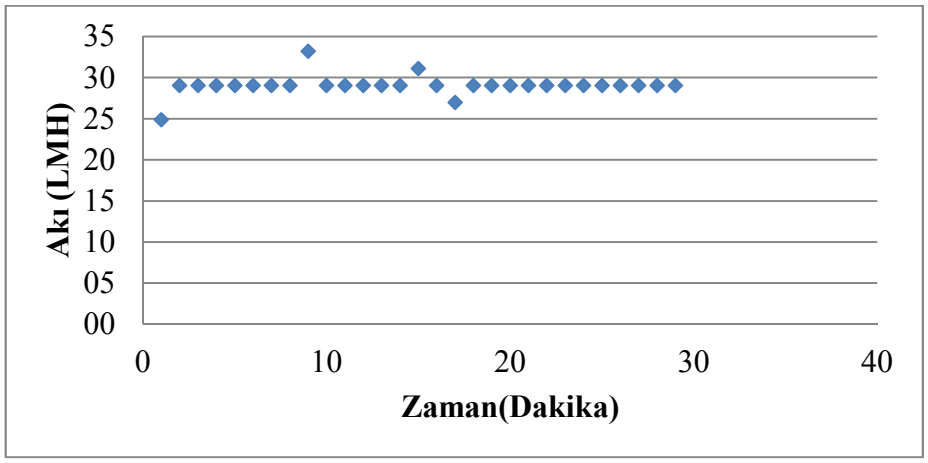
Şekil 3.64. UF 10 kDa membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği



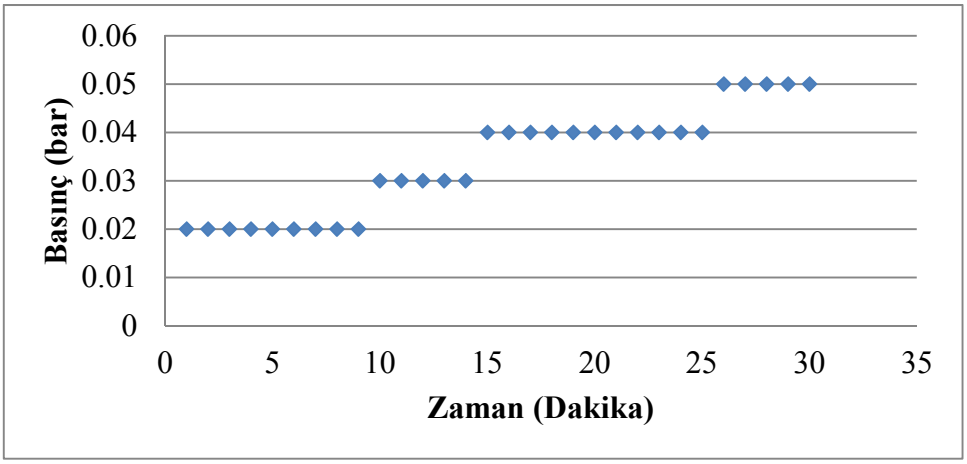
Şekil 3.65. UF 10 kDa membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği

3.2.1.6 UF 250kDa membranı kesikli MBR çalışmaları

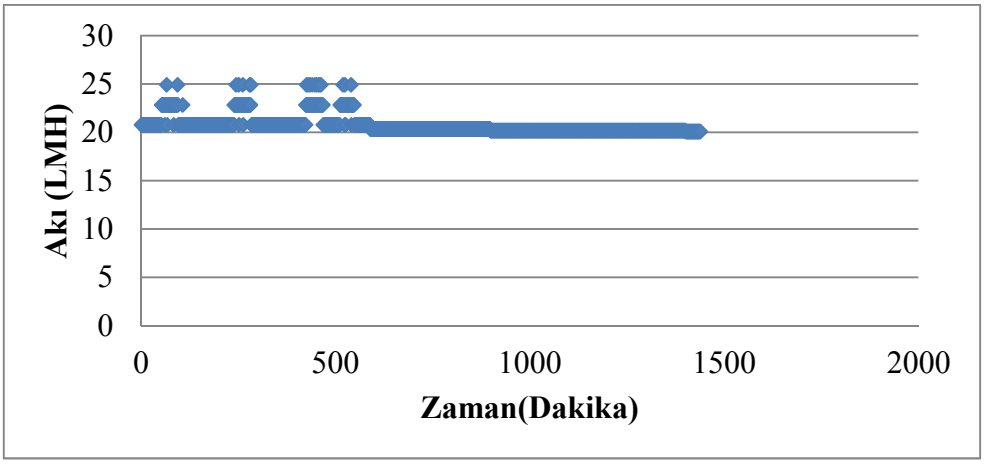
UF 250.000 kDa membranı diğer membranlara göre en düşük direnç değerlerine sahiptir. Bu membranın çıkış suyu analiz sonuçlarına bakıldığında ise diğer membranlara göre daha iyi çıkış suyu sağladığı görülmektedir (Tablo 3.9). Aşağıda verilen akı ve basınç sonuçları incelendiğinde ise bu membranın ciddi tıkanma eğilimi göstermediği görülmektedir. Bu membranda 30 LMH'a yakın saf su akısı, 25 LMH'a yakın MBR akısı sağlanmıştır. Saf su, MBR ve temizleme sonrası akı ve basınç grafikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 3.66, Şekil 3.67, Şekil 3.68, Şekil 3.69, Şekil 3.70, Şekil 3.71 ve Şekil 3.72).



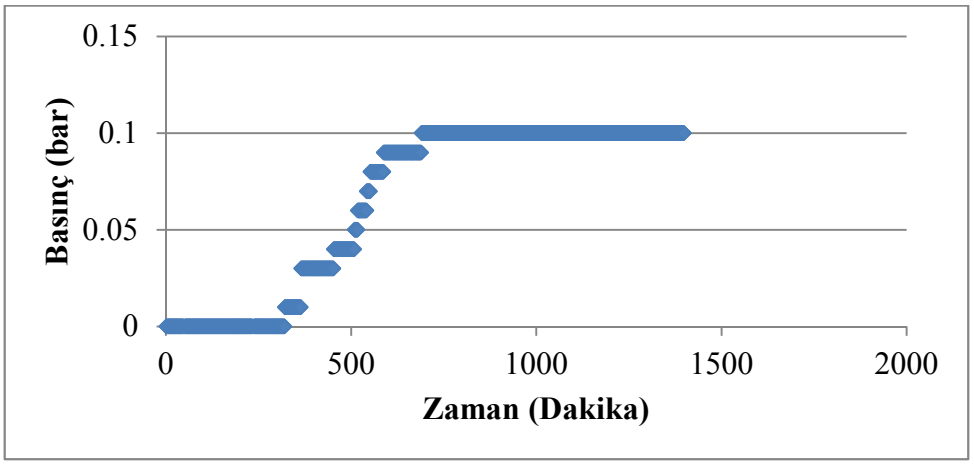
Şekil 3.66. UF 250kDa membranı saf su akı-zaman grafiği



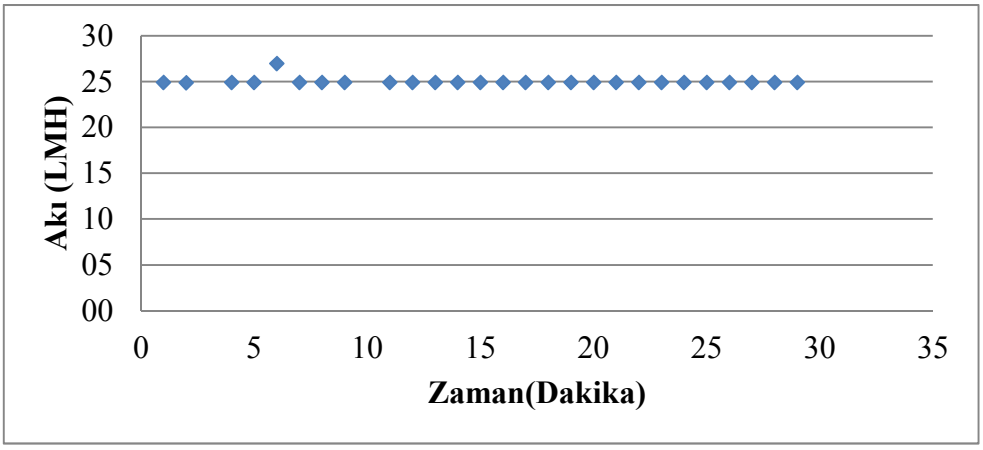
Şekil 3.67. UF 250kDa membranı saf su basınç zaman grafiği



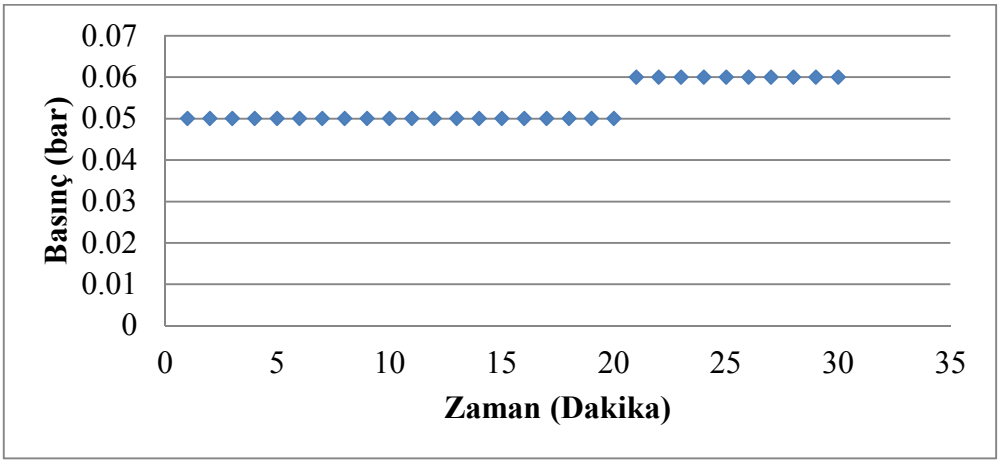
Şekil 3.68. UF 250kDa membranı MBR akı-zaman grafiği



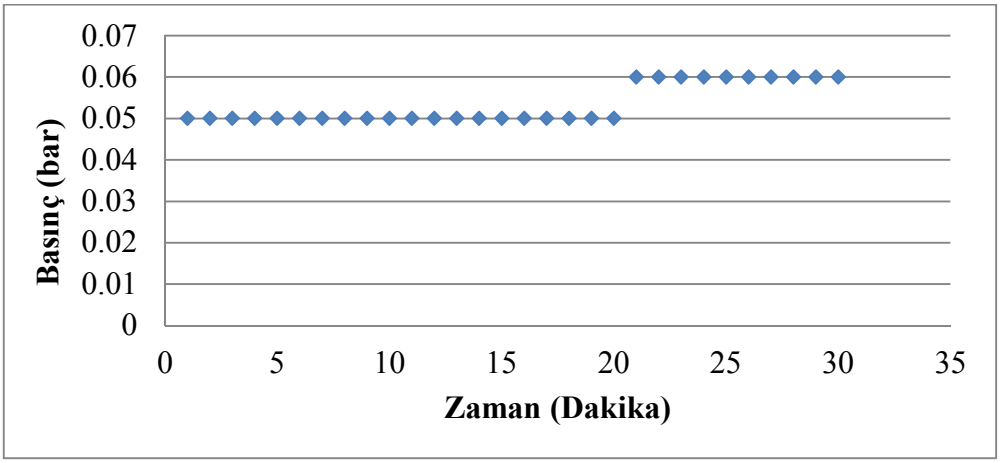
Şekil 3.69. UF 250kDa membranı MBR basınç zaman grafiği



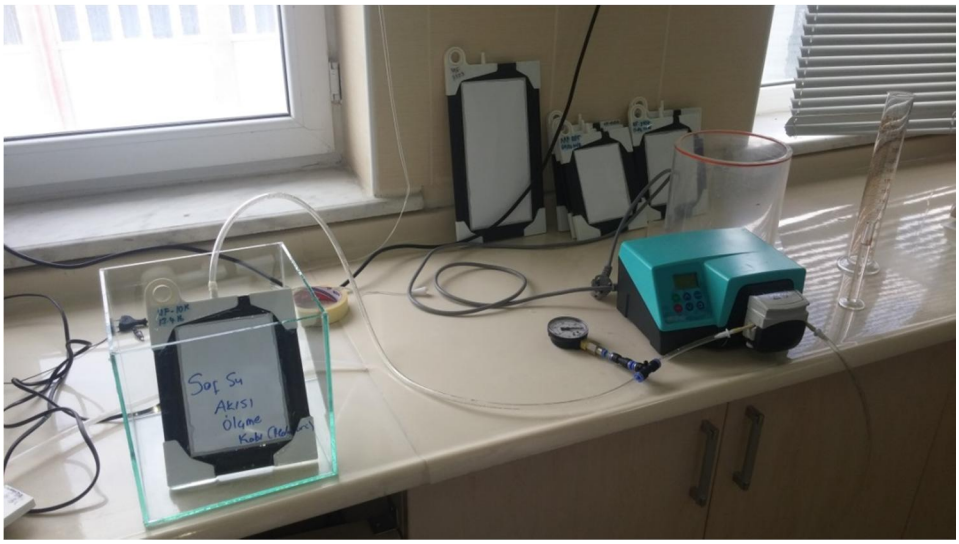
Şekil 3.70. UF 250kDa membranı temizleme sonrası saf su akı-zaman grafiği



Şekil 3.71. UF 250 kDa membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği



Şekil 3.72. UF 250 kDa membranı temizleme sonrası saf su basınç zaman grafiği



Şekil 3.73. Saf su akısı deneme çalışmaları

Şekil 3.74. MBR işletimi sonrası membran modülünden bir görünüm

3.2.2 Membran Biyoreaktörde Membran Modüllerinin İşletilmesi

Laboratuvar ölçekli MBR'de kullanılacak membran tipleri kesikli filtrasyon çalışmaları ile belirlenmiş olup en düşük dirence sahip (MF ve UF 250 kDa) iki membran 90'ar gün işletilmiştir. Sürekli izlenen parametreler ortalama değerler olarak Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. MBR işletilen modüllerin performansı

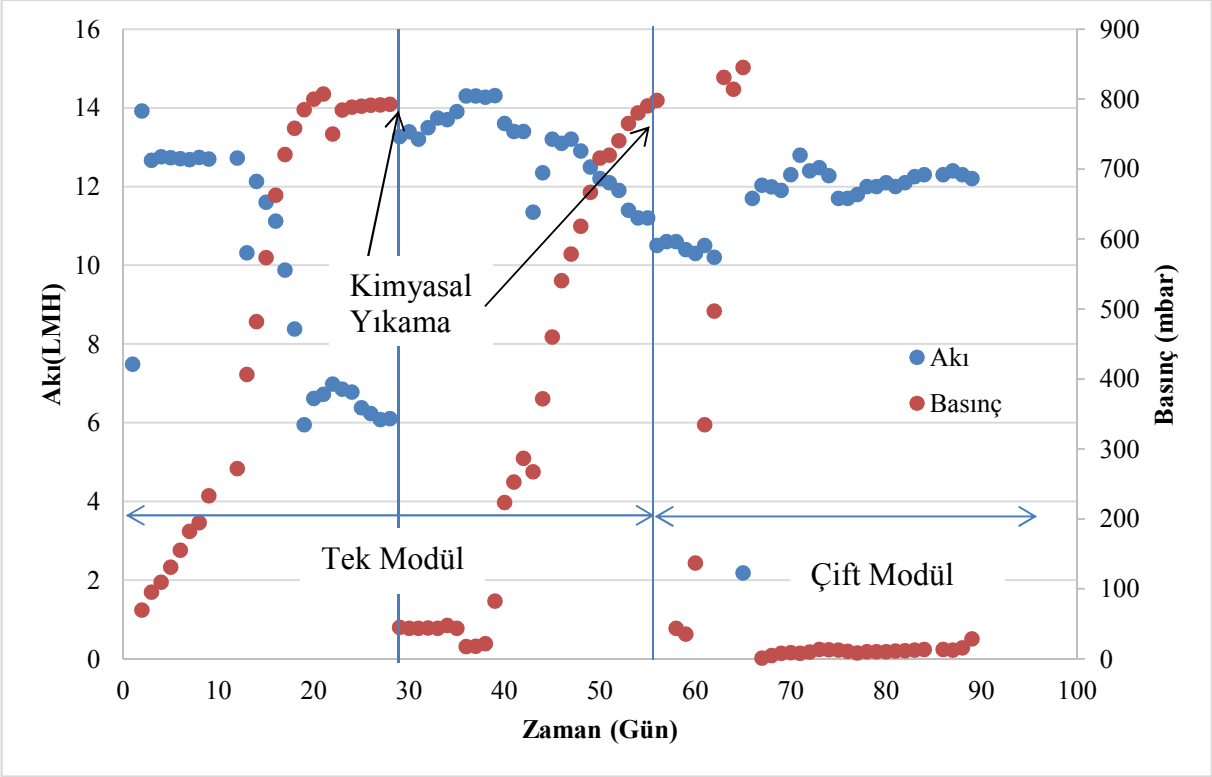
Parametre	**MF Modülü**	**UF Modülü**
Giriş pH	7,4 ± 0,24	7,1 ± 0,68
Çıkış pH	8,5 ± 0,36	8,4 ± 0,21
Giriş iletkenlik (ms/cm)	4,26 ± 0,70	3,88 ± 0,43
Çıkış iletkenlik (ms/cm)	4,49± 0,35	4,29 ± 0,40
Giriş KOİ (mg/L)	467 ± 135	618 ± 155
Çıkış KOİ (mg/L)	35,8 ± 19,6	37,6 ± 13,4
Çıkış TP (mg/L)	2,02 ± 1,2	2,19 ± 0,40
Çıkış NO_2-N (mg/L)	0	0
Çıkış NO_3-N (mg/L)	2,01 ± 1,56	6,28 ± 3,87
Çıkış Renk (Pt-Co)	67,6 ± 20,2	70,42 ± 14,34
Akı(LMH)	11,51 ± 2,21	11,94 ± 3,08

Tablo 3.11. MBR'de işletilen modüllerin çıkış suyu karakterizasyonları

Membran Türü	**Basınç (Bar)**	**pH**	**KOİ (mg/L)**	**İletkenlik (ms/cm)**	**Bulanıklık (NTU)**
MBR-MF Modül	<1	8,44±0,2	38,0±21,1	4,94±1,73	1,25±0,25
MBR-UF Modül	<1	8,41±0,2	37,6±13,4	4,29±0,4	1.20±0,16

MBR'de yüzey alanı toplam 0,07 m^2 olan düz plaka (FS) MF membranı işletmeye alınmıştır. Tıkanma süresi yaklaşık 20 gün olan bu membran, fiziksel yıkamanın etkisiz olması nedeniyle, iki kez kimyasal olarak reaktör dışına alınarak yıkanmıştır (Şekil 3.83). İlk 50 günlük işletme boyunca, membran alanının birkaç kez tıkanması ve kritik akıda çalışamaması nedeniyle membran alanının artırılmasına karar verilmiştir. Bu yüzden, işletime başlanmasından 56 gün sonra ikili modül sistemine geçilmiştir (Şekil 3.76). Daha sonra reaktörün beslenmesinde yaşanan problem nedeniyle basınç tekrar artınca membran hem fiziksel hem de kimyasal olarak tekrar yıkanmış, reaktördeki aktif çamur yenilenmiştir.

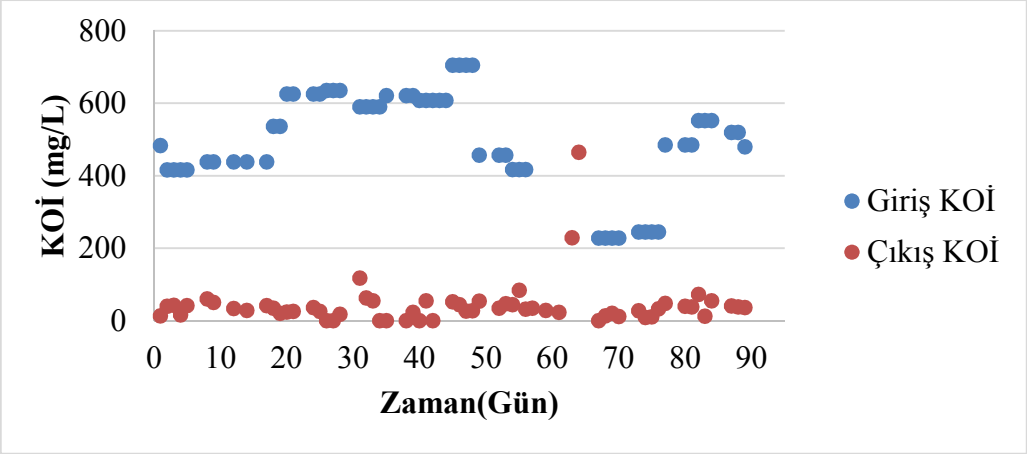
İkili modüllerin işletmeye alınmasından sonra akıda ciddi bir değişme gözlenmezken, işletmenin sonlarında basınçta bir miktar artış gözlemlenmiştir.



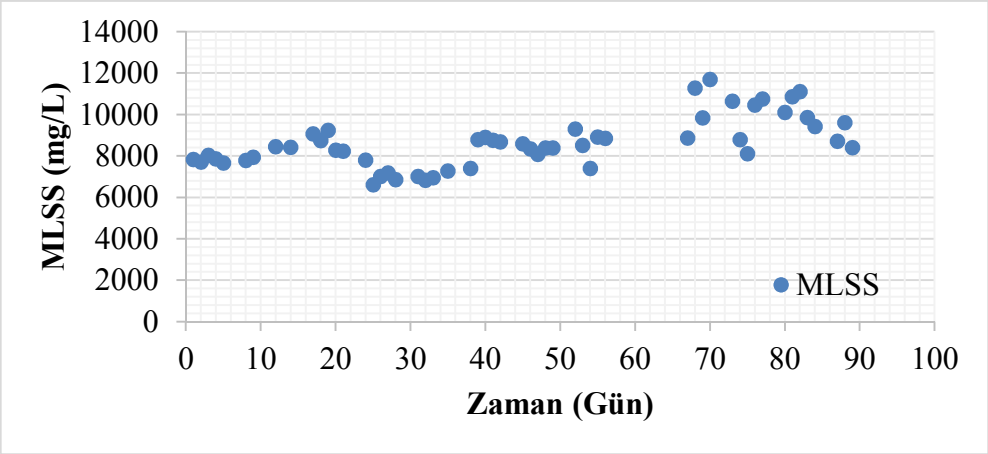
Şekil 3.75. MF modülünün akı-basınç performansı

Şekil 3.76. MF modüllerinden bir görünüm

MF modülünün işletilmesi sırasında KOİ değerleri birkaç gün hariç sürekli 100 mg/L'nin altında ölçülmüştür (Şekil 3.77). MLSS değerleri ise 40 günlük çamur yaşında 8.000 mg/L civarlarında, 20 günlük çamur yaşında ise 10.000 mg/L civarlarında seyretmiştir (Şekil 3.78).

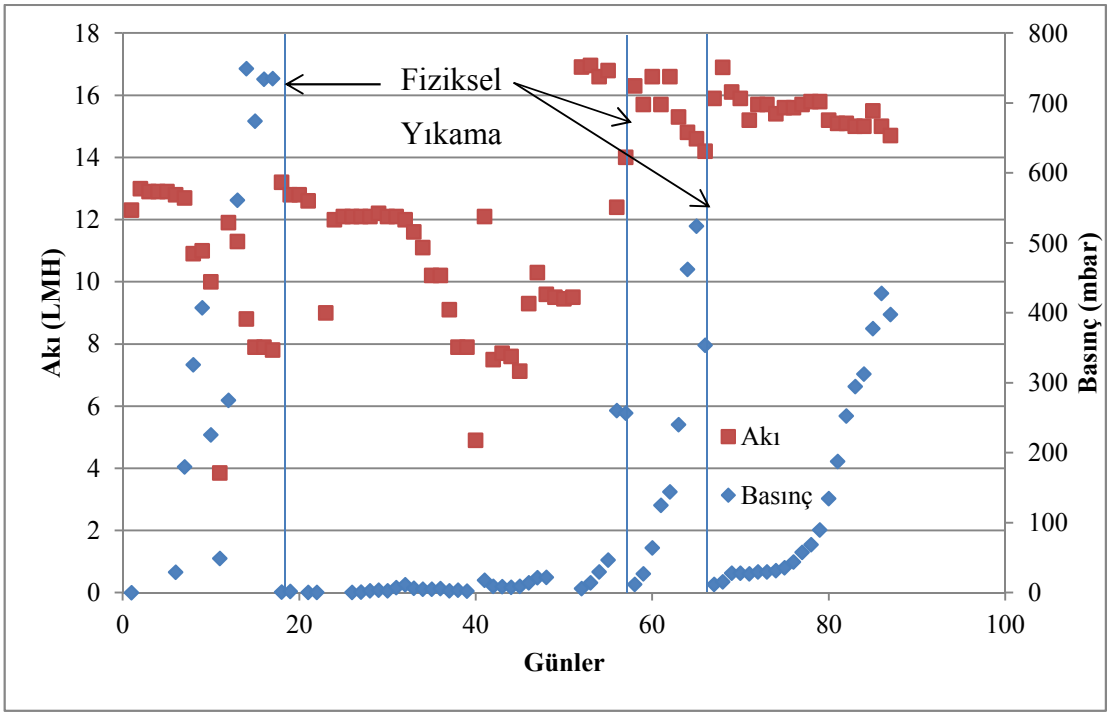


Şekil 3.77. MF modülü giriş ve çıkış KOİ değişimleri



Şekil 3.78. MF modülü MLSS değişimi

UF modüllerinin işletilmesi sırasında ise 0,11 m^2 toplam yüzey alanına ve 250 kDa MWCO değerine sahip membranlar kullanılmıştır. Toplamda yine 90 gün işletilen bu membran modülleri için akı basınç performansı Şekil 3.79'te verilmiştir. Bu membran modül yerleşimi ve geometrisinden kaynaklanan kek tabakası oluşumu nedeniyle fiziksel olarak 3 kez yıkanmıştır. Bu nedenle, modülün 18'i ile 58 günleri arasnda basınçta ciddi bir artış yaşanmamasına rağmen, akıda salınımlar olmuştur. Bu modül 40 gün boyunca basınç artışı yaşanmadan işletilebilmiştir (Şekil 3.79).



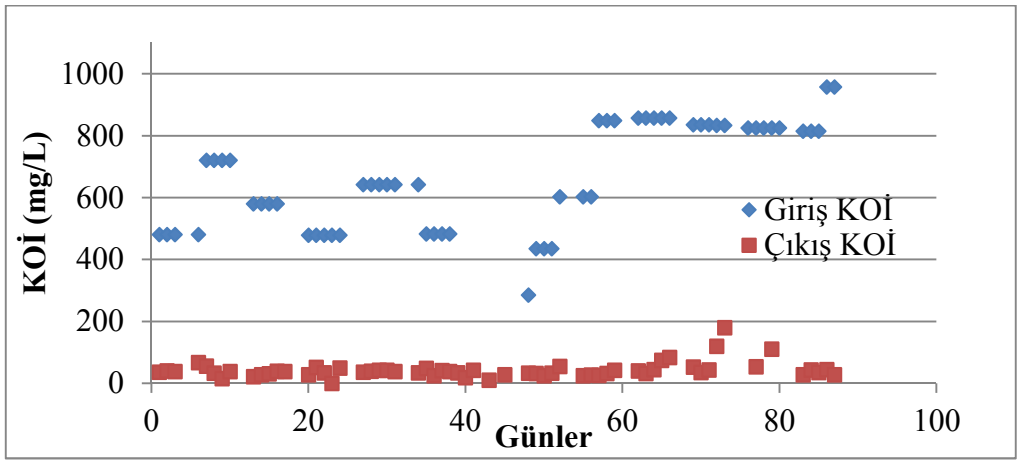
Şekil 3.79. UF modülünün akı-basınç performansı

Bu modülde yaşanan tıkanma görüntüleri Şekil 3.80'de verilmiştir. Ortadaki resimde kek tabakasının modül içlerinde daha fazla oluştuğu görülmektedir. Reaktör seviyesindeki düşüşten kaynaklanan bir tıkanma da en sağdaki fotoğrafta görülmektedir.

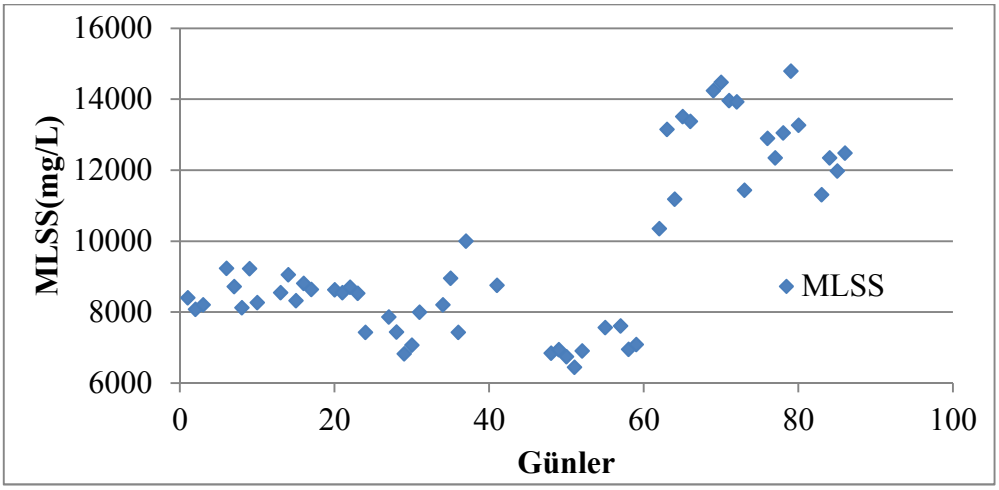
Şekil 3.80. UF modülünde çeşitli tıkanma görüntüleri

Reaktördeki KOİ ve MLSS değişimleri ise sırasıyla Şekil 3.81 ve Şekil 3.82'da verilmiştir. Bu modülde de çıkış KOİ değerleri çoğunlukla 50 mg/L'nin altında

ölçülmüştür. MLSS değerleri ise 40 günlük çamur yaşında 8.000 mg/L civarlarında salınırken, 20 günlük çamur yaşında 12.000 mg/L civarlarında seyretmiştir.



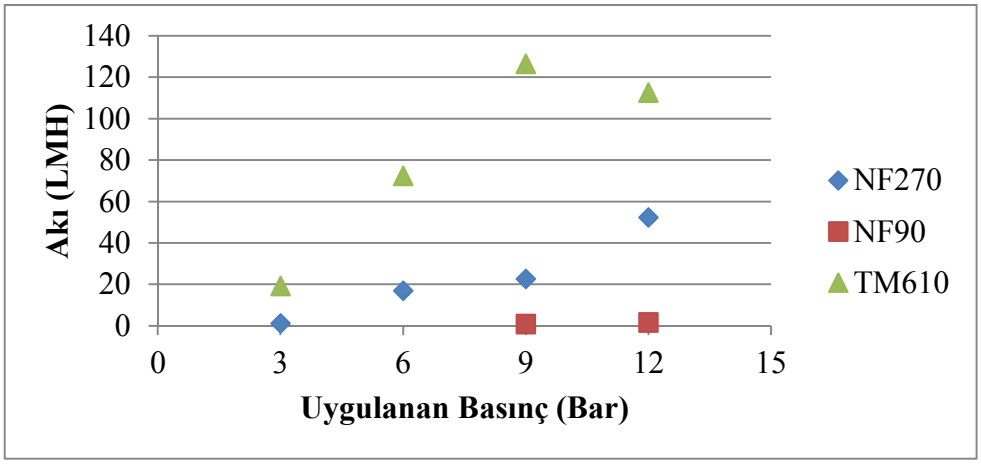
Şekil 3.81. UF modülü giriş ve çıkış KOİ değişimleri



Şekil 3.82. UF modülü MLSS değişimi

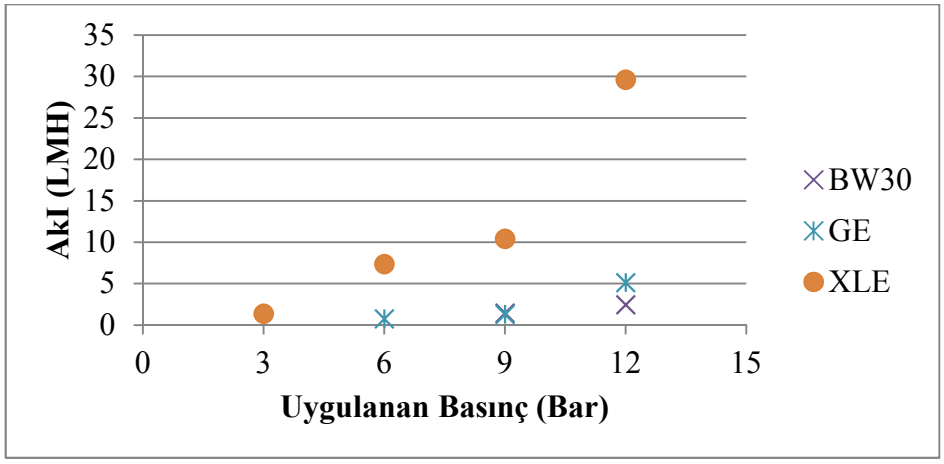
3.2.3. MBR'de İşletilen MF Modülü Çıkış Suyunun NF/RO Sonuçları

MBR'de MF modülünün işletilmesi sırasında alınan numunelerle yapılan NF ve RO çalışmalarına ait sonuçlar ise aşağıda verilmiştir. Şekil 3.83'de NF membranlarına ait akılar gösterilmiştir. Bu suyun NF membranındaki akı sonuçları AAT çıkış suyunun UF 250kDa'luk membrandan süzüldükten sonra yapılan çalışmalara benzemektedir. NF90 membranındaki 9 ve 12 bardaki akılar, 100 LMH'ın üzerindeki TM610 akıları ve 20-40 LMH'lık NF270 akıları da bu membranlarla yapılan diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir.



Şekil 3.83. MBR-MF çıkışı- NF basınç-akı grafiği

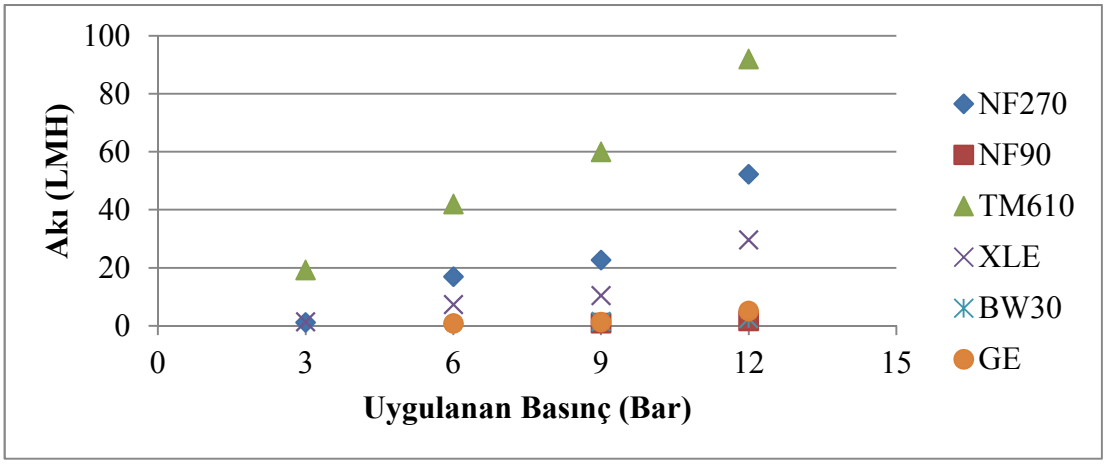
MBR'de MF modülü çıkış suyunun RO membranlarından geçirildikten sonraki akı performansı ise Şekil 3.84'te gösterilmiştir.



Şekil 3.84. MBR-MF çıkışı - RO basınç-akı grafiği

Şekil 3.84'da da görüldüğü gibi GE ve BW30 tipi membrandan 12 bar basınçta bile akı düşük gelmiştir. RO türü membranlardan en yüksek akı performansı bu sette de XLE tipi membranda gözlemlenmiştir. NF ve RO membranlarıından geçirilen MF modülünün akı performansları karşılaştırmalı olarak Şekil 3.85'te gösterilmiştir.

MBR'deki MF modülü çıkış suyunun NF ve RO membranlarından süzüldükten sonra elde edilen analiz sonuçları ise Tablo 3.12'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre süzülme sonrası ciddi pH değişiminin olmadığı, 1 NTU'nun altında bulanıklığın görüldüğü ve düşük KOİ değerlerinin elde edildiği görülmüştür.



Şekil 3.85. MBR- MF çıkışı - NF ve RO basınç-akı grafiği

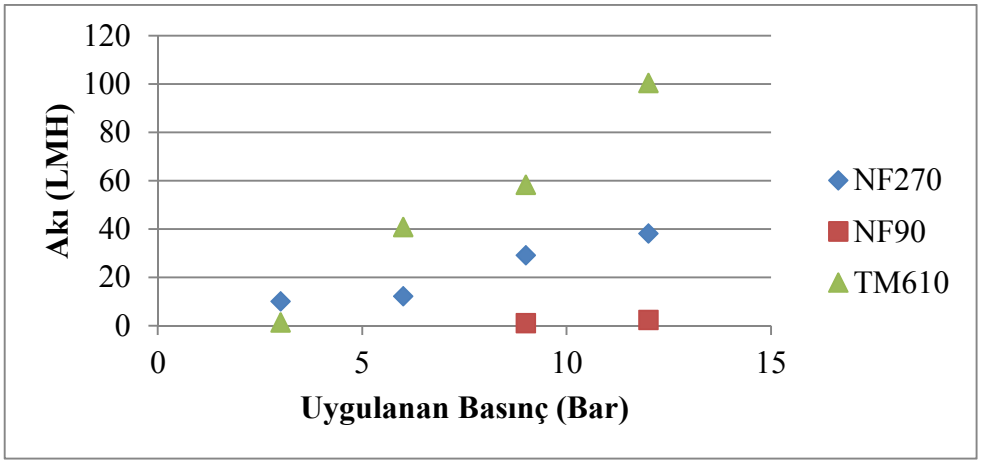
İletkenlik değerlerinde ise membran farklılıklarından dolayı türler arasında ciddi farklar oluştuğu gözlenmiştir. Düşük iletkenlik değerlerinin (<1ms/cm) RO membranlarında elde edildiği, en yüksek iletkenliğin TM610 membranında oluştuğu gözlenmiştir.

Tablo 3.12. MBR-MF çıkışı sonrası NF ve RO filtrasyon denemeleri analiz sonuçları

Membran Türü	Basınç (Bar)	pH	KOİ (mg/L)	İletkenlik (ms/cm)	Bulanıklık (NTU)
NF-90	9	8,26	12	1,73	0,14
NF-90	12	8,38	16	2,23	0,19
NF-270	3	8,23	5	2,15	1,12
NF-270	6	8,23	2	2,68	0,83
NF-270	9	8,46	17	2,98	0,76
NF-270	12	8,50	9	3,15	0,57
NF-TM610	3	8,47	22	3,73	0,38
NF-TM610	6	8,45	26	3,61	0,52
NF-TM610	9	8,6	24	3,18	0,39
NF-TM610	12	8,55	22	3,35	0,29
RO-XLE	3	8,56	14	1,47	0,95
RO-XLE	6	8,64	22	1,14	0,72
RO-XLE	9	8,4	16	0,81	0,42
RO-XLE	12	8,07	12	0,46	0,56
RO-GE	6	8,46	15	1,60	0,42
RO-GE	9	8,52	21	1,80	0,32
RO-GE	12	8,42	25	2,10	0,45
RO-BW30	9	7,2	8	0,43	0,48
RO-BW30	12	8,1	14	0,52	0,60

3.2.4 MBR'de İşletilen UF Modülü Çıkış Suyunun NF/RO Sonuçları

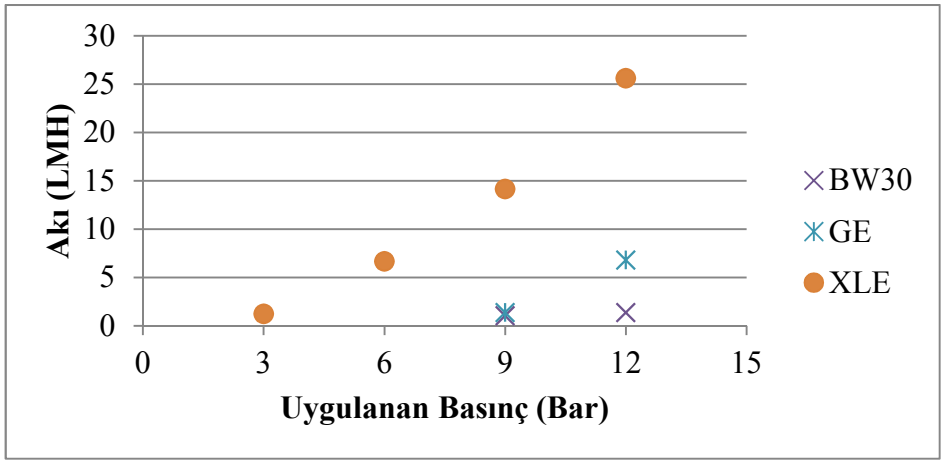
MBR'de işletilen 2 farklı membran türünden UF modülü çıkış suyundan da NF ve RO çalışmaları yapılmıştır. UF modülünden 20 gün SRT ile çalışılırken elde edilen çıkış suyu ile çalışmalar yapılmıştır. UF modülü çıkış suyuyla yapılan NF türü membranların akı grafikleri Şekil 3.86'da verilmiştir. TM610 membranlarının düşük basınçta düşük akı verdiği, yüksek basınçta ise yüksek akı verdiği bu çalışmada da görülmüştür. NF 270 membranlarında ise basınçlar arasında akı farklılığın TM610 kadar belirgin olmadığı görülebilir. Diğer çalışmalarda da olduğu gibi NF90 membranında 9-12 barlarda düşük akılar elde edilmiştir.



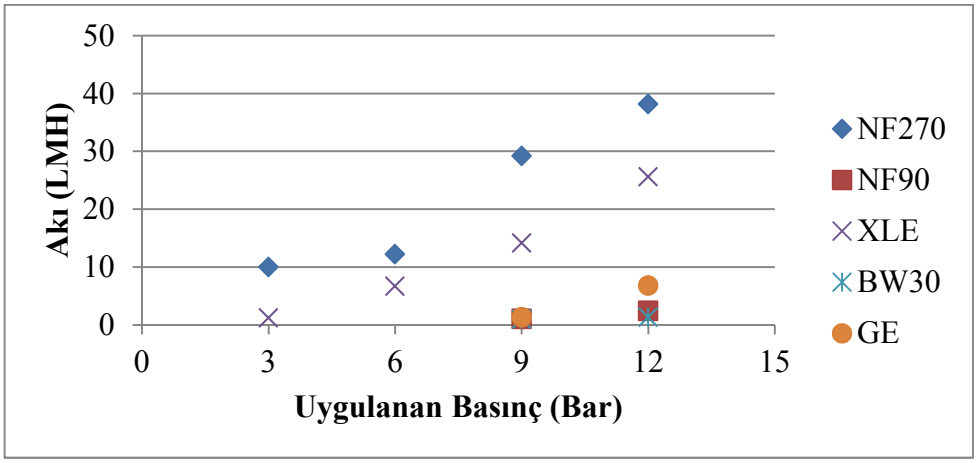
Şekil 3.86. MBR-UF çıkış NF basınç-akı grafiği

Şekil 3.86'da görüldüğü gibi NF90 tipi membranda 12 bar basınçta dahi akı 5 LMH'nin altında gelmiştir. NF270 tipi membranda ise 9 bardan sonra akı performansı 2 katından daha fazla artmıştır. TM610 membranında 3 bar basınçta beklenenden düşük akı geldiği için tekrar edilecektir. UF modülü çıkış suyunun RO membranlarından süzüldükten sonraki akı grafikleri Şekil 3.87'de verilmiştir.

MBR'deki UF modülü çıkış suyunun RO membranlarından süzüldükten sonraki akı performansları MF modülü ile yapılan çalışmaya büyük oranda benzerlik göstermiş olup en yüksek akı performansı yine XLE tipi membranda görülmüştür. BW 30 ve GE membranları 9 barda 5 LMH'nin altında akı performansı göstermiş olsa da bu sette 12 bar basınçta GE membran tipinde akı 5 LMH'nin üzerine çıkmıştır. UF modülünden süzülen NF ve RO grafiklerinin akılarının karşılaştırıldığı grafik Şekil 3.88'de verilmiştir.



Şekil 3.87. MBR-UF çıkış RO basınç-akı grafiği



Şekil 3.88. MBR-UF çıkış NF ve RO basınç-akı grafiği

UF modülün çıkış suyundan yapılan NF ve RO çalışmalarının analiz sonuçları Tablo 3.13'te verilmiştir.

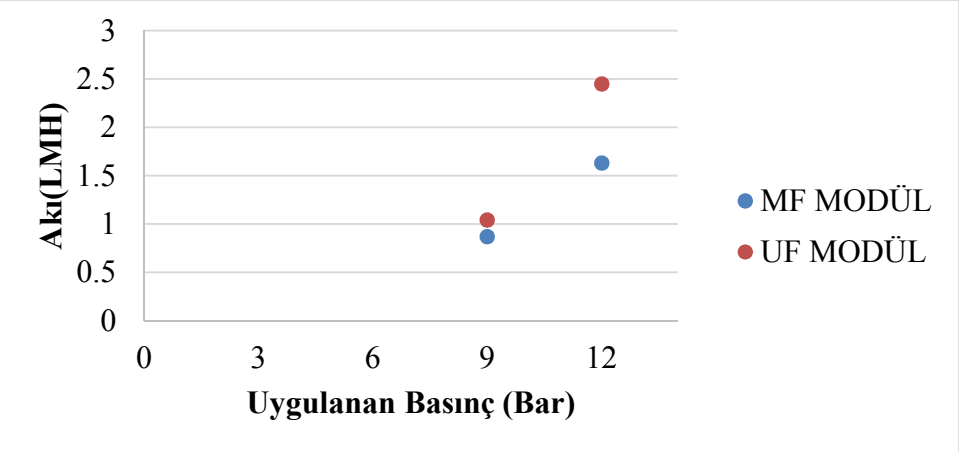
MBR'de yapılan deney setlerinden elde edilen iletkenlik sonuçları incelendiğinde, en düşük iletkenlik değerlerinin MF modülü çıkışında yapılan BW30 membranı çalışmaları ortaya çıkmaktadır. En yüksek akı değerinin 12 barda elde edildiği bu çalışmada 2,4 LMH akı değeri elde edilmiştir. Az-orta zararlı kullanım derecesine sahip iletkenlik değerlerinin elde edilemediği membran ise MF membranı çıkışında TM610 membranı, UF membranında ise TM610 ve NF270 membranlarıdır.

MBR'de ise her iki membran modülü için de yapılan NF/RO çalışmalarında MF modülü çıkış suyunun, bazı NF ya da RO membranında, UF modülü ile yapılan

çalışmada elde edilen süzüntü suyuna göre daha yüksek akı performansı gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3.89).

Tablo 3.13. UF modülün çıkış suyundan yapılan NF ve RO çalışmaları

Membran Türü	Basınç (Bar)	pH	KOİ (mg/L)	İletkenlik (ms/cm)	Bulanıklık (NTU)
NF-90	9	8,45	9	1,58	0,23
NF-90	12	8,54	10	1,72	0,20
NF-270	3	8,48	27	4,59	0,15
NF-270	6	8,48	7	3,56	0,32
NF-270	9	8,33	8	3,75	0,27
NF-270	12	8,37	16	3,96	0,45
NF-TM610	3	8,89	22	4,51	0,52
NF-TM610	6	8,57	24	3,70	0,35
NF-TM610	9	8,82	14	3,76	0,38
NF-TM610	12	8,72	9	3,90	0,42
RO-XLE	3	8,12	26	1,58	0,29
RO-XLE	6	7,84	16	1,35	0,24
RO-XLE	9	7,8	11	1,09	0,46
RO-XLE	12	7,8	8	0,62	0,34
RO-GE	9	8,43	15	1,08	0,23
RO-GE	12	8,18	23	1,18	0,21
RO-BW30	9	7,94	7	1,38	0,19
RO-BW30	12	8,01	7	1,29	0,17



Şekil 3.89. NF90 membranının farklı MBR membranlarındaki performansları

3.2.5 KOSB Atıksularının Membran Biyoreaktör Sistemiyle Yeniden Kullanım Seçeneklerinin Oluşturulması

MBR'de işletilen MF ve UF 250 kDa membranlarının işletilmeleri sırasında işletme kolaylığı ve (tıkanma, yıkama, işletme şartlarının sağlanması vb.) çıkış suyu kalitesi açısından optimum şartları sağlayan membran belirlenmelidir.

MBR'de işletilen her iki membran için de çıkış suyu kaliteleri benzer özelliktedir. Çoğunlukla 50 mg/L'den daha düşük KOİ değerleri, 4 ms/cm civarlarında iletkenlik değerleri ve düşük renk değerleri (60-70 Pt-Co) elde edilmiştir. İşletme şartları açısından da her iki membran da da benzer işletme şartları denenmiştir. SRT'de 40 ve 20 günlük çamur yaşları, 8 g/L'den 13 g/L'ye kadar MLSS değerleri ve ortalama 11,5 LMH akı değeri ile çalışılmıştır.

MBR'de işletilen MF ve UF reaktörlerinin tıkanma eğilimine bakıldığında ise MF reaktörünün giderilemeyen tıkanma eğiliminde olduğu söylenebilir. UF membranının ise fiziksel yıkama ile temizlenebilen bir membran türü olduğu söylenebilir (giderilebilen tıkanma).

MBR'de membran malzemesi için karar verici mekanizmalar şu şekilde sıralanabilir:

- İşletme problemlerinin daha az yaşandığı
- Tıkanma eğiliminin daha düşük olduğu
- Giderilebilen tıkanmaya sahip membran özelliklerine sahip olması
- İstenen işletme şartlarını sağlamaya daha uygun özelliklere sahip olması
- Yüksek akılarda çalışmaya elverişli olması

Ancak MBR işletme şartlarının optimizasyonu ve su geri kazanımı için belirlenen kriter öncelikle sulama suyu kriterleridir. Bu yüzden, MBR sonrası NF ve RO çalışmaları önem arz etmektedir.

Sulama suyu kriterlerine göre kritik parametrenin iletkenlik olduğu görülmektedir. Sulama suyu kriterlerinden olan iletkenlik değerinin, kullanımda zarar derecesine göre az-orta zararlı olması durumunda 0,7-3,0 ms/cm arasında olması gerekmektedir. İletkenlik değerinin 0,7 ms/cm olması durumunda sulama için zararsız olduğu ilgili tebliğde belirtilmiştir. Bu yüzden, membran seçiminde iletkenlik, akı, ve membran

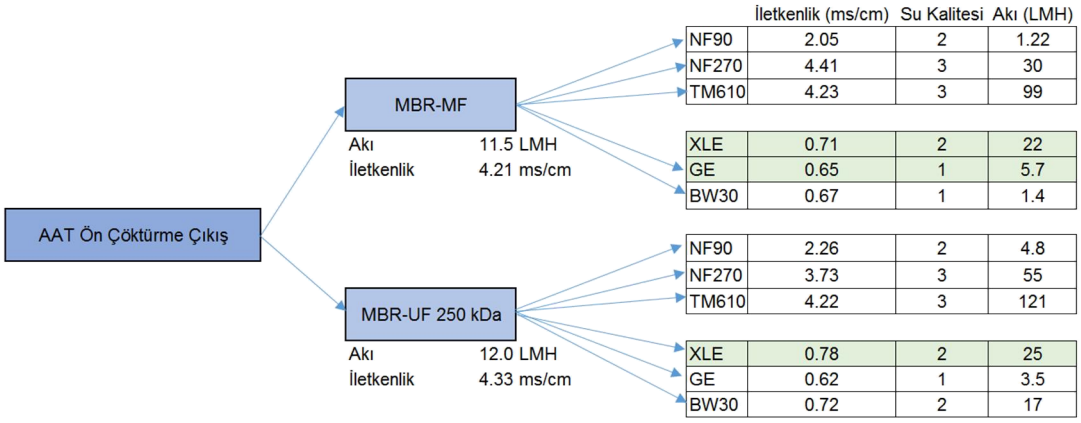
performanslarına göre değerlendirme yapılmıştır. Membran seçiminde belirlenen eleme kriterleri şunlardır:

1) MBR için NF/RO membran seçimi yapılırken çıkış suyunda öncelikle zararlı kullanım derecesine sahip sistemler yeniden kullanılabilir sınıfa dahil edilmemelidir (İletkenlik > 3ms/cm). Sonuç tablolarında (Tablo 3.12 ve Tablo 3.13) da görüldüğü gibi NF270 ve TM610 membranları iletkenlik açısından kötü kaliteye sahip su vermektedir. Bu özelliğe sahip membranların kullanımı sulama suyuna uygun olmamaktadır.
2) Daha sonra NF/RO filtrasyonunda 5 LMH'den düşük akı veren membranlar da elenmiştir. NF90 ve BW30 membranlarının tümünde ve 12 bardan düşük basınçta çalıştırılan GE çalışmalarında akılar 5 LMH'den düşük çıkmıştır. Bu membranlar da elenmiştir.
3) Ayrıca, MBR'de yapılan NF/RO çalışmalarında MF membranı ile UF membranı birbirinden ciddi anlamda farklı performans göstermiştir (Şekil 3.89). Bu yüzden, daha düşük performans gösteren membrana ait deney seti de yeniden kullanım seçeneklerine karar vermede etkili olacaktır.

Sonuç olarak MBR sonrası NF/RO sistemi için yukarıda belirlenen tüm kriterler değerlendirilerek Tablo 3.14 ve Şekil 3.90 oluşturulmuştur.

Tablo 3.14. MBR'de membran çiftlerinin performansı

MBR membranı	**NF/RO membranı**	**İletkenlik (ms/cm)**	**Su Kalitesi**	**Akı (LMH)**	**Dezavantaj**
MF	NF90	2,05	2	1,22	Düşük akı
	NF270	4,41	3	30	Düşük su kalitesi
	TM610	4,23	3	99	Düşük su kalitesi
	XLE	0,71	2	22	Orta su kalitesi
	GE	0,94	2	5,7	Orta seviye akı ve su kalitesi
	BW30	0,67	1	1,4	Düşük akı
UF 250 kDa	NF90	2,26	2	4,8	Düşük akı
	NF270	3,73	3	55	Düşük su kalitesi
	TM610	4,22	3	121	Düşük su kalitesi
	XLE	0,78	2	25	Orta su kalitesi
	GE	0,62	1	6,8	Düşük akı
	BW30	0,72	2	1,6	Düşük akı



Şekil 3.90. MBR'de eleme kriterlerine göre yapılan değerlendirme

Alternatifler arasına giren 3 membran Tablo 3.15'te verilmiştir. Tabloya göre MBR çıkış sularının hem MF hem de UF membranıyla MBR'de işletme alternatifi ve farklı 2 RO membranıyla (XLE-GE) geri kazanım alternatifi oluşturulmuştur. Tablo 3.16'da ise ortaya çıkan 3 alternatif için tekrar yapılan filtrasyon çalışmaları sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre farklı atıksularda bu membranlardan benzer akılar elde edilebileceği görülmüştür.

Tablo 3.15. MBR çalışmaları için geri kazanım alternatifleri

MBR membranı	**UF-Akı (LMH)**	**İletkenlik (µs/cm)**	**Membran Türü**	**RO-Akı (LMH)**	**İletkenlik (µs/cm)**
MF	11,5	4,12	XLE	29,6	0,28
UF 250K	11,9	4,29	XLE	25,6	0,68
			GE	6,8	0,94

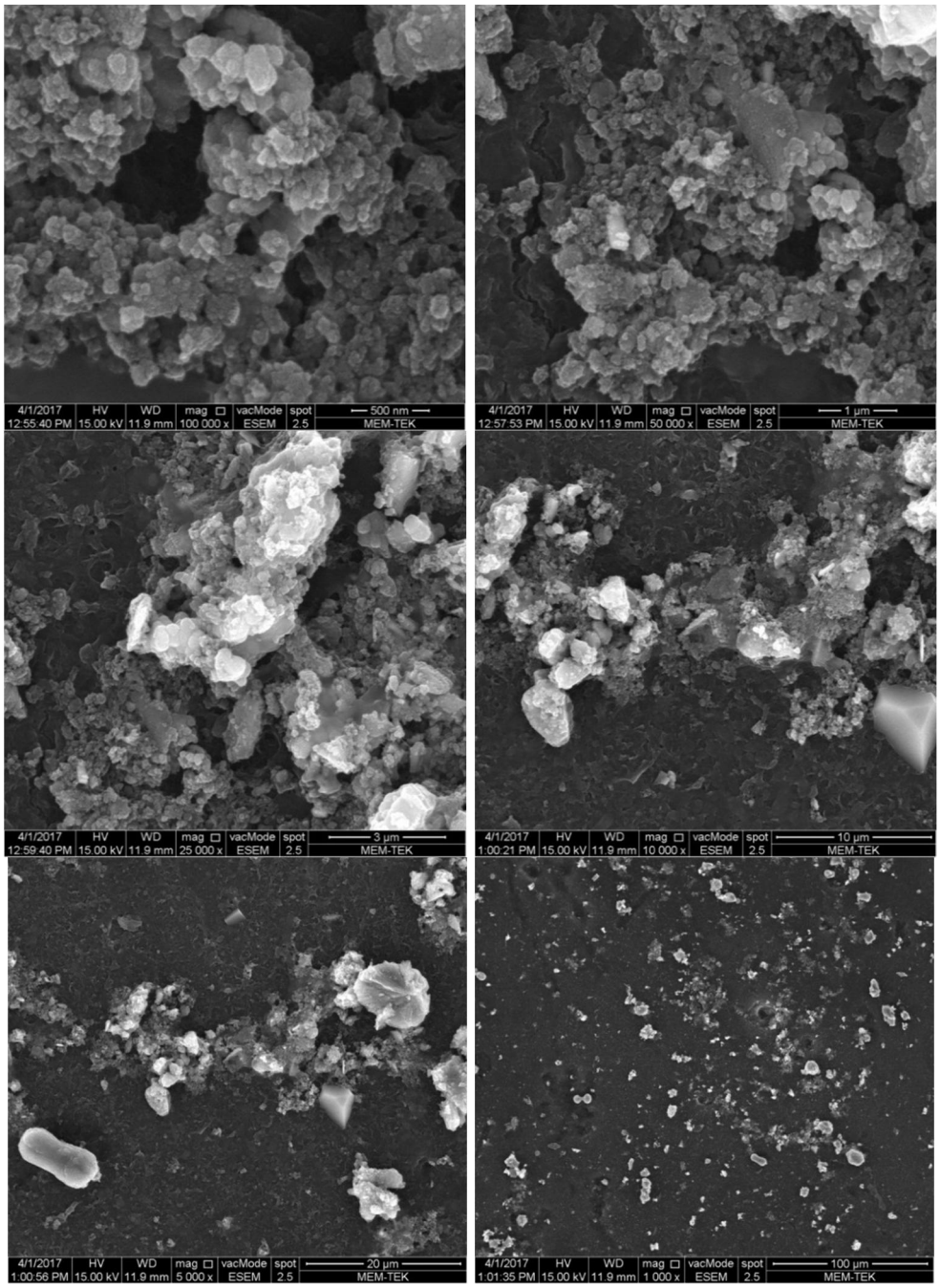
Tablo 3.16. MBR çıkış sularında yapılan tekrar çalışmaları

MBR membranı	**UF-Akı (LMH)**	**İletkenlik (µs/cm)**	**Membran Türü**	**RO-Akı (LMH)**	**İletkenlik (µs/cm)**
MF	11,5	4,12	XLE	22,3	0,78
UF 250K	14,7	4,30	XLE	25,1	0,62
			GE	5,1	0,72

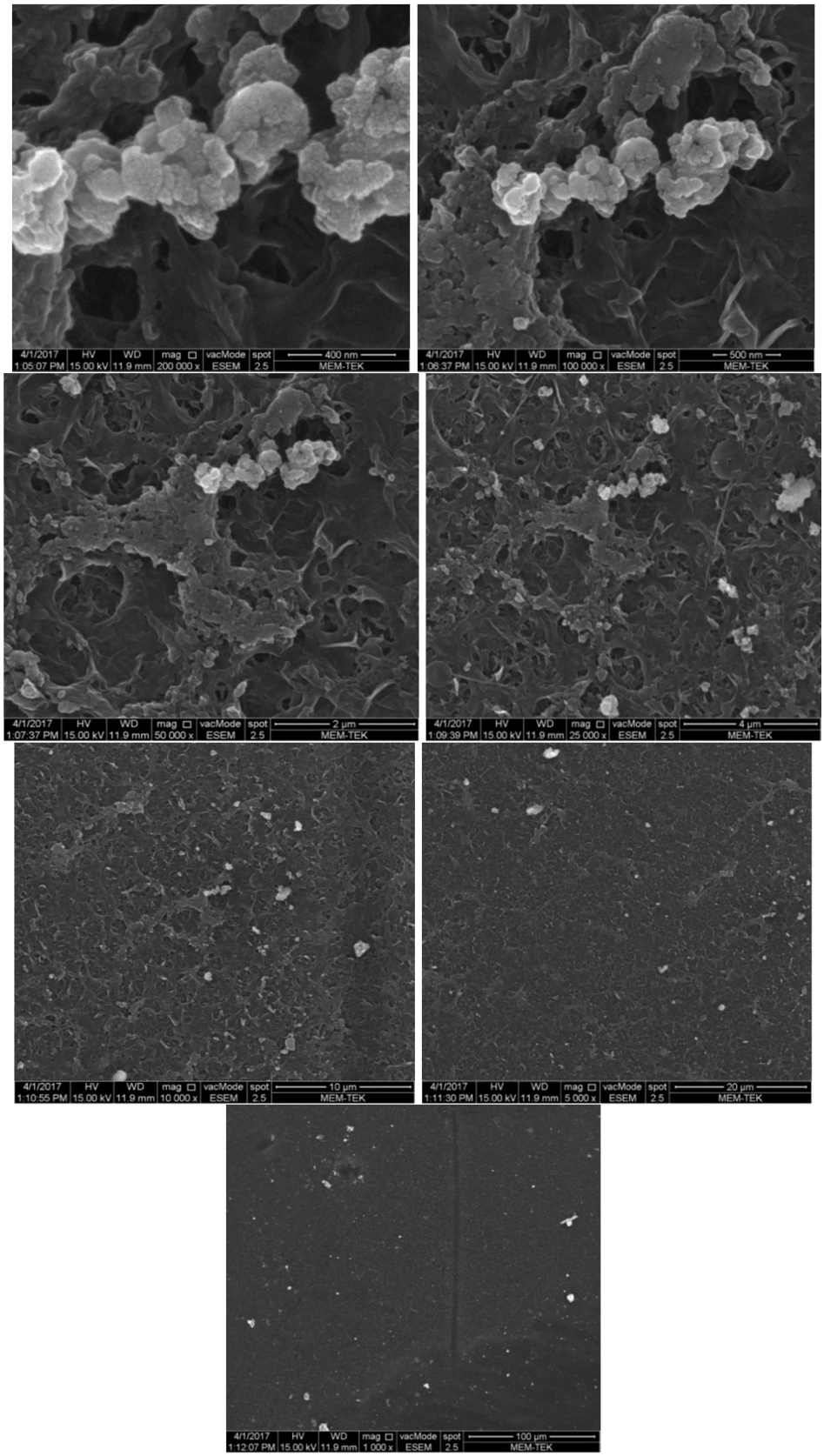
3.2.6 MBR Sonrası RO Membranlarının İncelenmesi

MBR çıkış suyunda yapılan NF ve RO membranlarından iyi sonuç veren ve geri kazanım alternatifi oluşturabilen membranların karakterizasyonu yapılmıştır. SEM görüntüleri, SEM-EDS sonuçları ve CLSM görüntüleri incelenerek tıkanma eğilimleri ve profilleri hakkında fikir oluşturulmuştur.

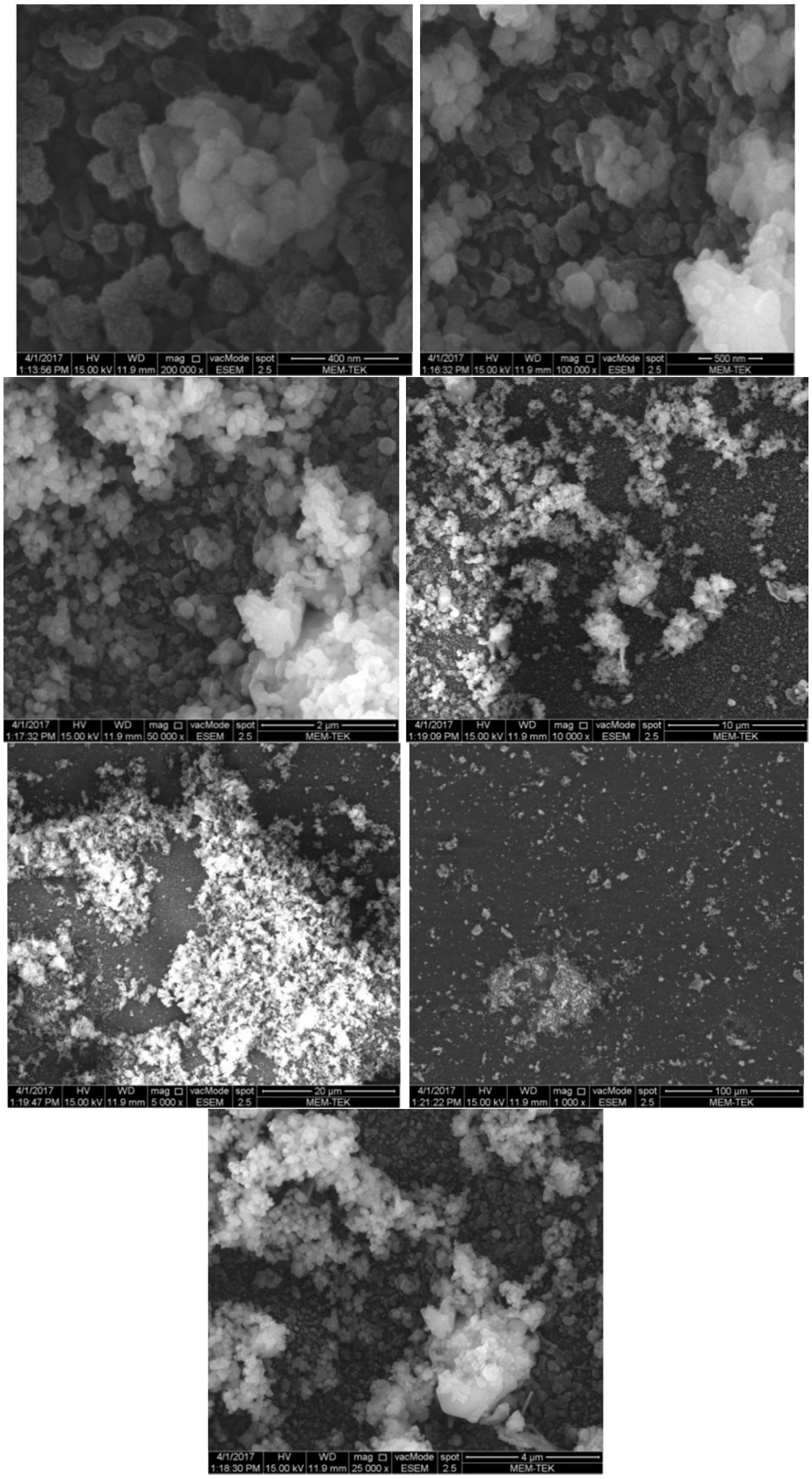
RO membranları ile yapılan SEM görüntüleme sonuçları MF sonrası XLE membranı için çeşitli yakınlaştırma değerlerinde Şekil 3.91'de verilmiştir. MBR'de işletilen UF membranı sonrası XLE membranının SEM görüntüleri ise Şekil 3.92'de verilmiştir. Son olarak yine MBR-UF sonrası GE membranının SEM görüntüsü ise Şekil 3.93'da verilmiştir. MBR'de MF ya da UF kullanımının XLE'nin tıkanması üzerine etkisi incelendiğinde UF membranının daha iyi bir ön arıtma sağladığı görülmektedir. XLE membranı UF sonrası MF'ye göre daha az tıkanma eğilimi göstermiştir. XLE ve GE membranları karşılaştırıldığında ise, her iki membranın da aynı UF membranında ön arıtma yapıldığı düşünüldüğünde, GE membranının daha fazla çökelek oluşturduğu ve gözeneklerinin tıkandığı görülmektedir. XLE membranının bu denli iyi performans göstermesi su kalitesine kötü yansımamıştır (Tablo 3.16). Aksine, XLE membranı çıkış iletkenliği GE membranına göre daha düşük çıkmıştır.



Şekil 3.91. MBR'de işletilen MF membranı sonrası XLE membranının SEM görüntüleri



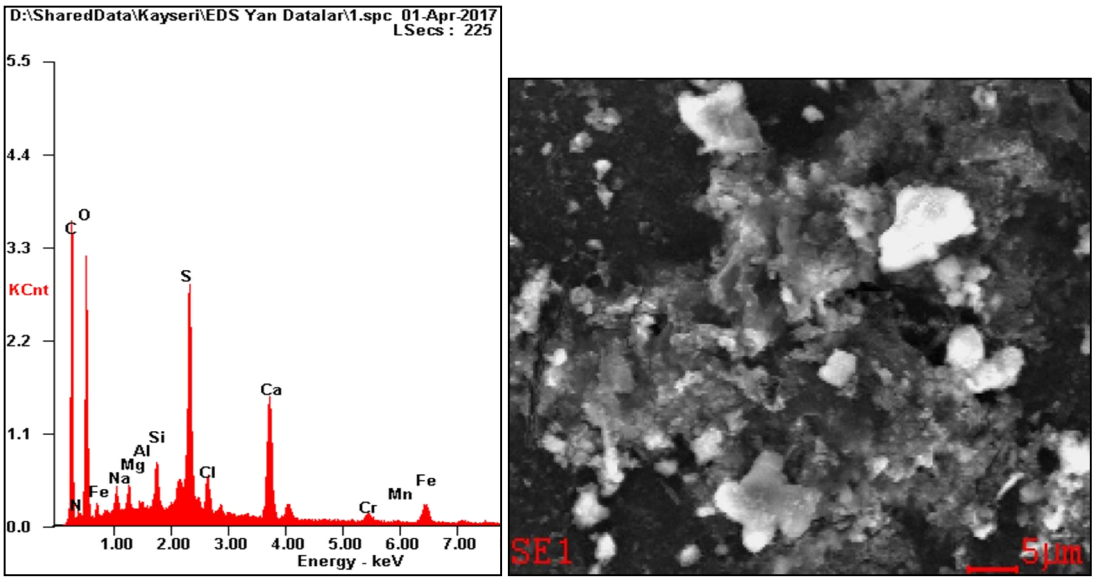
Şekil 3.92. MBR'de işletilen UF membranı sonrası XLE membranının SEM görüntüleri



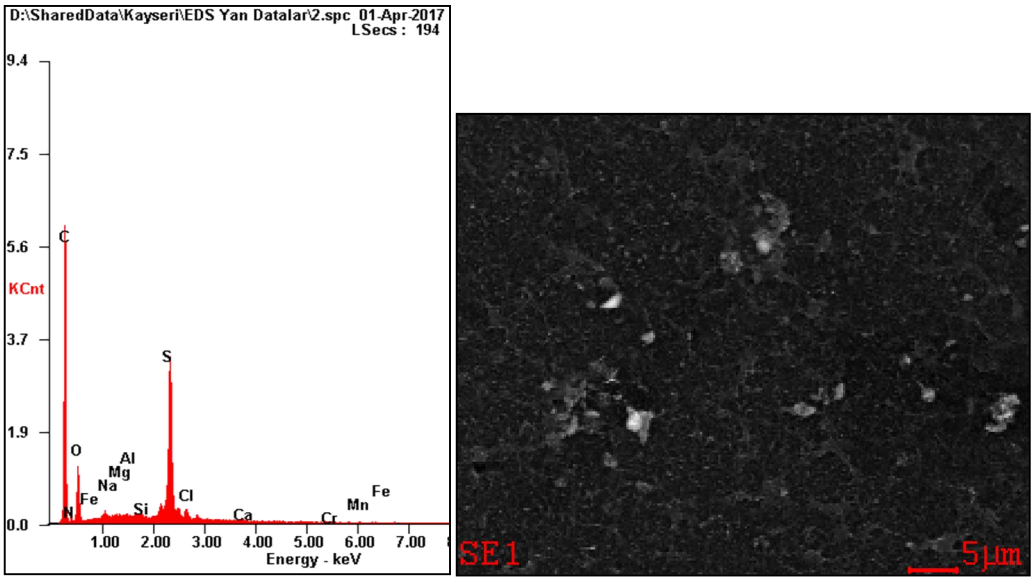
Şekil 3.93. MBR'de işletilen UF membranı sonrası GE membranının SEM görüntüleri

SEM-EDS sonuçlarında ise MBR-MF sonrası XLE membranında oluşan çökelekler göze çarpmaktadır (Şekil 3.94) Şekil 3.95'de ise MBR-UF sonrası XLE membranının görüntüsü verilmiş olup diğer SEM analizlerine göre çok daha az yoğunlukta çökelek oluşumu gözlenmiştir MBR'de farklı iki membranla yapılan bu çalışmada birbirinden bu denli farklı iki tıkanma profilinin çıkması MBR'de kullanılan membranın önemini ortaya koymaktadır. RO öncesi ön arıtma olan MBR membranının tıkanmayı önleyici nitelikte olması, uzun süreli işletme koşullarında membran ömrü açısından hayati önem taşımaktadır [59, 136].

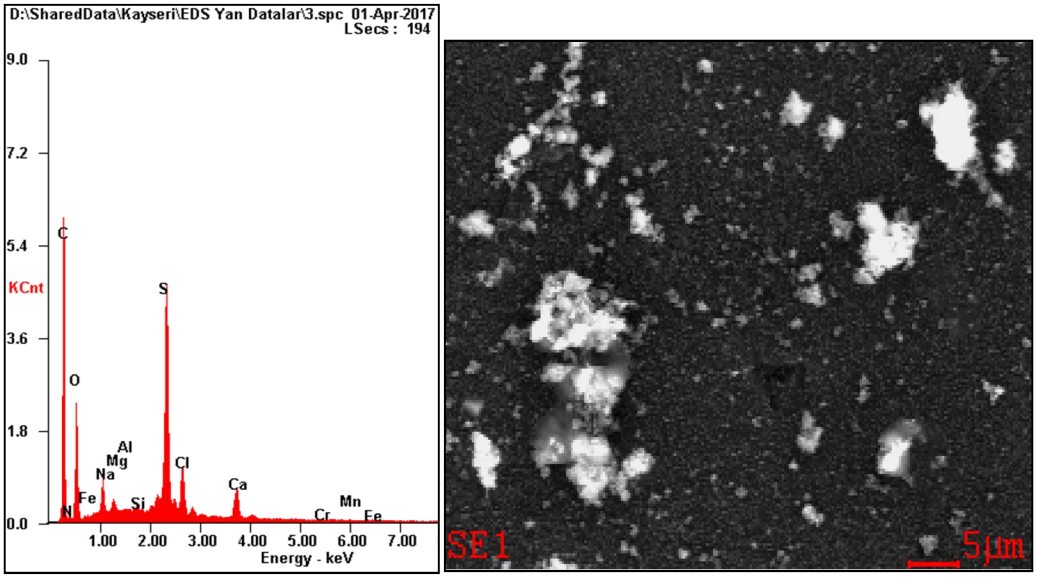
Şekil 3.96'de ise bir önceki şekilde MBR-UF çıkışındakinden çok daha fazla çökelek oluşumu gözlenmiştir. MBR sonrası aynı çıkış suyunun kullanıldığı bu iki çalışmadan XLE membranının GE'ye göre daha az tıkanma eğilimine sahip olduğu sonucu çıkarılabilir.



Şekil 3.94. MBR-MF sonrası XLE membranı SEM-EDS analiz sonucu

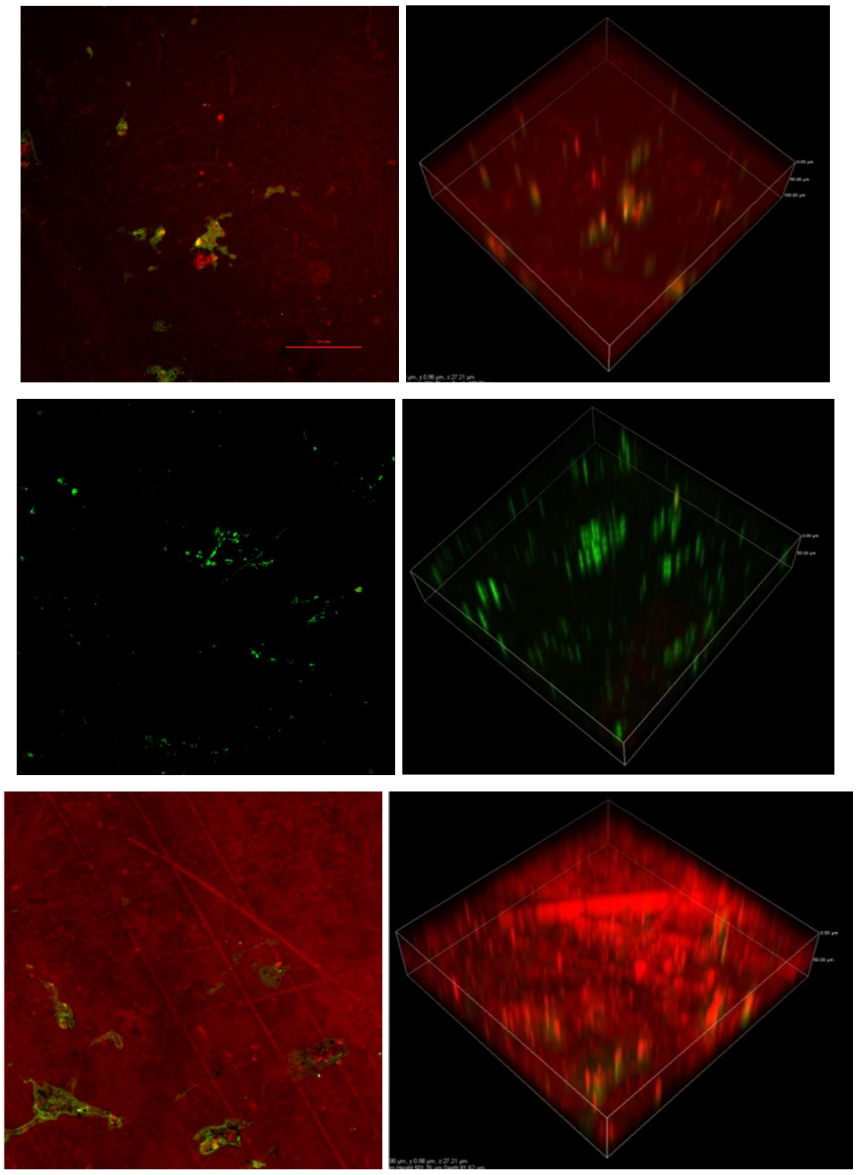


Şekil 3.95. MBR-UF sonrası XLE membranı SEM-EDS analiz sonucu



Şekil 3.96. MBR-UF sonrası GE membranı SEM-EDS analiz sonucu

MBR sonrası yeniden kullanılabilir nitelikte su kalitesi sunan RO membranlarının CLSM görünleri ise Şekil 3.97'de verilmiştir. SEM ve SEM-EDS sonuçlarını doğrular nitelikteki bu görüntülerde MBR-UF sonrası XLE membranının çok düşük kirlenme profiline sahip olduğu hem bir üstündeki MBR-MF sonrası XLE membranının görüntüsünden, hem de bir altındaki MBR-UF sonrası GE membranının görüntüsünden anlaşılmaktadır. MBR-MF çıkışında yapılan RO membranlarındaki bu bakteriyel kirlilik MF membranının UF membranına göre daha düşük performanslı olduğunu da göstermektedir.



Şekil 3.97. MBR sonrası işletilen RO membranları, yukarıdan aşağıya MF-XLE, UF-XLE, UF-GE. Soldaki görüntüler yüzeysel, Sağdaki görüntüler kesit görüntüleridir.

Tekstil sektörüne ait bir arıtma tesisinin çıkış sularının NF ve RO membranlarıyla arıtılmasının değerlendirildiği bir çalışmada NF membranlarının KOİ gidermede RO membranlarından daha iyi olduğu fakat iletkenlik gideriminin tam tersi olduğu bildirilmiştir [133]. NF membranları kullanarak yeniden kullanılabilir su elde edilen bir çalışmada [137], 23 ila 32 LMH aralığında akılar elde edilmiştir. Fakat, bu çalışmalarda iletkenliğin istenilen seviyeye düşürülemediği bildirilmiştir.

Sonuç olarak hem MBR çıkışında hem de AAT çıkış suyunda geri kazanım alternatifleri oluşturulmuştur. Bu alternatiflere göre MBR'de MF modülü kullanıldığında XLE, UF modülü kullanıldığında ise XLE ya da GE membranları sulama suyu kriterlerinde su temin edilebilmesine olanak sağlayabilmektedir. AAT çıkış suyunda ise UF membranlarında 4 kDa molekül boyutuna sahip membran kullanıldığında GE, 250 kDa boyutundaki membran kullanıldığında ise XLE ya da GE membranlarının sulama suyu açısından uygun su temin edebildiği için kullanılabileceği belirlenmiştir. Ancak GE membranlarında XLE'ye göre daha düşük akıda süzüntü elde edilebilmektedir. Bu yüzden her iki sistem için de UF 250 kDa ve XLE membran ikilisinin seçilmesi daha uygun gözükmektedir.

3.3 Mikrokirletici Sonuçları

MBR'de işletilen iki farklı membran modülü için birer mikrokirletici ölçümü yapılmıştır. Ayrıca, MBR'nin alışma evresinde de UF 10 kDa membran çıkışında da bir ölçüm yapılmıştır. Numuneler hem AAT ön çöktürme çıkışından (MBR giriş), hem MBR çıkışındna, hem de AAT çıkışından alınmış yapılmış olup Tablo 3.19 ve Tablo 3.21'da verilmiştir. Tablo 3.19'te MBR'de MF modülü işletilirken yapılan ölçümler ile hem MBR'nin hem de AAT'nin giderim verimleri verilmiştir.

PCB'lere OSB atıksuyunda her iki numunede de rastlanmamıştır. Ölçülen değerler cihazın ölçüm hassasiyetine çok yakın değerler olduğundan ihmal edilecek seviyededir. PAH'larda ise MF modülü işletilirken MBR'de yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. UF modülü işletilirken yapılan analizlerde ekstraksiyon sırasında yapılan bir hata nedeniyle ölçümler tamamlanamamıştır.

Fitalat ölçümleri incelendiğinde her iki membranda da AAT'de bazı türlerde daha yüksek giderim verimlerinin elde edildiği görülmüştür. Özellikle benzilbütilfitalat ölçümlerinde AAT'de daha belirgin şekilde daha yüksek verimler elde edilmiştir. Diğer fitalat türlerinde ise MBR'nin ya da AAT'nin daha etkili olduğunu söylemek güçtür. Fitalat ölçümlerinde standart temin edilemediğinden sonuçlar cihaz tepkisi (response) şeklinde verilmiştir

Triclosan'a ait ölçüm sonuçları incelendiğinde ön çöktürme çıkış suyundaki konsantrasyonun MBR ya da son çöktürme çıkış suyunda daha yüksek olduğu

görülmektedir. Bu durumun AAT'den anlık alınan numunelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. MBR için yapılan ölçümlerde MBR'ye beslenen atıksudan ve 1 günlük filtrasyon sonunda biriken süzüntü suyundan alınan numunelerle mikrokirletici ölçümü yapılmaktadır. Ancak, AAT ön çöktürme çıkış suyu anlık olarak alınabildiği için AAT çıkışında daha yüksek/düşük konsantrasyonla karşılaşılabilmektedir.

Ön çöktürme çıkış suları dengeleme tankında karıştıktan ve bekleme süresi boyunca bekledikten sonra diğer proseslere alınmasına rağmen tutarsız ölçümler elde edilmiştir. MBR'de işletilen tüm membran modüllerinin çıkış sularının ve AAT çıkış sularının ortalama mikrokirletici konsantrasyonları Tablo 3.20'de verilmiştir. Standart sapma değerlerinin oldukça yüksek olduğu ve konsantrasyon değerlerinin ciddi salınımlar gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle, ölçüm sıklığının artırılması ve ölçüm hassasiyetlerinin iyileştirilmesi gerektiği söylenebilir.

Mikrokirleticilerin AAT ve MBR'de giderim verimlerinin çalışma boyunca 3 farklı ölçüm seti için karşılaştırması yapılmış olup Tablo 3.21'de verilmiştir. Bu tabloda net olarak elde edilen sonuçlar şunlardır:

- BPA ve İbuprofen hem MBR'de hem de AAT'de çok yüksek oranlarda giderilmektedir.
- PAH'lar KOSB atıksularında bulunmakta ve hem AAT'de hem de MBR'de yüksek oranlarda giderilmektedir.
- MBR birçok PAH türünde AAT'den daha yüksek performans göstermektedir.
- PCB'ler KOSB atıksularında nadiren rastlanmakta ve giderilmektedir.
- Fitalarlar açısından net bir şey söylemek mümkün olmasa da bazı fitalat türlerinin AAT'de daha yüksek oranlarda giderilebildiği söylenebilir.

Tablo 3.17. MBR'de UF 10 kDa membranı işletmede iken mikrokirletici ölçüm sonuçları (ng/L)

Türü	Mikrokirletici	MBR Giriş	AAT Çıkış	MBR Çıkış	AAT Verim	MBR Verim
Plastik, PVC	BPA	220874	31	41	99,9	99,9
İlaç	Ibuprofen	3574	0	0	100,0	100,0
Kişisel Bakım ürünü	triclosan	200,2	53,1	47,46	73,5	76,3
Fitalatlar	MethylPhtalate	83	15	59	81,9	28,9
	EthylPhtalate	14783	791	795	94,6	94,6
	DibuthylPhtalate	8767	4882	4667	44,3	46,8
	BenzylButylPhtalate	144	7	7	95,1	95,1
	bis2EthylHexylPhtalate	26000	3192	3324	87,7	87,2
	nOctylPhtalate	16464	11736	17626	28,7	
PAH'lar ve PCB'ler	naftalin	443,1	30,8	43,9	93,1	90,1
	metilnaftalin	93,9	21,4	25,2	77,2	73,2
	etilnaftalin	25,3	12,3	13,5	51,4	46,6
	acenapthyene	115,0	7,1	14,0	93,8	87,8
	acenaphene	0,0	0,0	0,0		
	fluorene	40,7	8,9	11,4	78,2	71,9
	phenantrene	101,6	19,3	23,0	81,0	77,4
	antrecene	87,1	6,4	4,0	92,6	95,4
	PCB28	0,0	0,0	0,0		
	2metilphenantrene	46,1	8,6	6,8	81,4	85,2
	1metilphenantrene	39,6	6,0	5,7	84,8	85,6
	PCB52	3,9	0,0	0,0		
	36dimetilphenantrene	0,0	0,0	0,0		
	fluoranthene	112,8	13,2	8,9	88,3	92,1
	PCB101	0,0	0,0	0,2		
	pyrene	60,3	6,5	5,5	89,3	91,0
	PCB118	0,1	0,0	0,1		
	1metilpyrene	27,5	0,2	0,2	99,4	99,3
	PCB153	0,0	0,0	0,0		
	PCB138	0,0	0,1	0,3		
	chresene	48,0	6,3	0,1	86,9	99,8
	benzoAantrecene	60,8	6,4	3,9	89,4	93,5
	PCB180	0,0	0,2	0,0		
	benzoBfluoranthene	92,5	10,6	3,8	88,5	95,9
	benzoKfluoranthene	84,2	10,4	3,2	87,7	96,2
	benzoEpyrene	44,4	6,1	3,9	86,4	91,2
	benzoApyrene	54,0	8,9	4,3	83,6	92,1
	indeno123cdpyrene	68,3	1,2	0,0	98,2	
	dibenzoAHantrecene	38,8	22,4	14,9	42,3	61,6
	benzoGHIperylene	60,1	7,4	7,6	87,7	87,4

Tablo 3.18. MBR'de MF membranı işletmede iken mikrokirletici ölçüm sonuçları (ng/L)

Türü	Mikrokirletici	MBR Giriş	AAT Çıkış	MBR Çıkış	AAT Verim	MBR Verim
Plastik, PVC	BPA	78830	65	99	99,9	99,8
İlaç	Ibuprofen	40	0	0	100,0	100,0
Kişisel Bakım ürünü	triclosan	6,9	1,0	NF	85,6	100,0
Fitalatlar	MethylPhtalate	92	21	72	77,2	21,7
	EthylPhtalate	9875	625	637	93,7	93,5
	DibuthylPhtalate	10257	5954	6575	42,0	35,9
	BenzylButylPhtalate	357	69	45	80,7	87,4
	bis2EthylHexylPhtalate	32500	2650	2245	91,8	93,1
	nOctylPhtalate	27540	21354	23400	22,5	15,0
PAH'lar	naftalin	14,7	2,3	2,1	84,4	85,9
	metilnaftalin	2,5	1,0	1,0	59,6	60,4
	etilnaftalin	1,4	0,8	0,4	46,0	72,5
	acenapthyene	2,8	0,1	0,1	95,8	96,2
	acenaphene	93,3	27,0	8,4		
	fluorene	1,4	0,3	0,2	81,2	88,7
	phenantrene	5,0	0,5	0,4	90,6	92,4
	antrecene	3,1	0,6	0,5	81,0	84,6
	2metilphenantrene	4,5	1,2	1,3		
	1metilphenantrene	3,7	0,2	0,5	95,9	87,9
	36dimetilphenantrene	0,7	0,1	NF	92,5	
	fluoranthene	7,8	0,2	0,1		
	pyrene	3,6	0,1	0,1		
	1metilpyrene	2,4	0,1	0,1	96,2	97,4
	chresene	3,3	NF	NF		
	benzoAantrecene	2,5	NF	NF		
	benzoBfluoranthene	4,6	NF	NF		
	benzoKfluoranthene	3,7	NF	NF		
	benzoEpyrene	2,5	NF	NF		
	benzoApyrene	2,4	NF	NF		
	indeno123cdpyrene	1,7	NF	NF		
	dibenzoAHantrecene	0,8	NF	NF		
	benzoGHIperylene	2,2	NF	NF		
	PCB28	0,0	0,0	NF	89,7	
	PCB52	0,1	NF	NF		
	PCB101	0,0	0,0	NF		
	PCB118	NF	NF	NF		
	PCB153	NF	NF	NF		
	PCB138	NF	NF	0,0		
	PCB180	NF	NF	NF		

NF: not found, bulunamadı

Tablo 3.19. MBR'de UF membranı işletmede iken mikrokirletici ölçüm sonuçları

Türü	**Mikrokirletici**	**MBR Giriş**	**AAT Çıkış**	**MBR Çıkış**	**AAT Verim**	**MBR Verim**
Plastik, PVC	BPA	41720	61	70	99,85	99,83
İlaç	Ibuprofen	860	0	0	100,0	100,0
Kişisel bakım	triclosan	13,3	20,2	36,1		
Fitalatlar	MethylPhtalate	89	17	58	80,9	34,8
	EthylPhtalate	12440	1649	1675	86,7	86,5
	DibuthylPhtalate	9340	4113	4270	56,0	54,3
	BenzylButylPhtalate	78	29	36	62,8	53,8
	bis2EthylHexylPhtalate	27340	2680	2540	90,2	90,7
	nOctylPhtalate	12623	10300	9850	18,4	22,0
PAH'lar	naftalin	126,0	128,8	218,6		
	metilnaftalin	120,4	136,7	155,5		
	etilnaftalin	158,4	326,2	222,1		
	acenapthyene	26,8	10,5	11,5	60,9	57,3
	acenaphene	1562,6	2935,7	2202,7		
	fluorene	52,6	88,1	128,9		
	phenantrene	82,3	89,5	85,8		
	antrecene	117,8	128,2	122,8		
	2metilphenantrene	113,0	188,6	266,4		
	1metilphenantrene	26,7	107,4	95,2		
	36dimetilphenantrene	8,1	1,0	9,0	87,5	
	fluoranthene	498,0	47,4	32,0	90,5	93,6
	pyrene	1605,6	34,7	19,3	97,8	98,8
	1metilpyrene	16,7	25,5	11,5		31,2
	chresene	14,1	NF	NF	100	100
	benzoAantrecene	81,0	10,2	NF	87,4	100
	benzoBfluoranthene	49,7	NF	NF	100	100
	benzoKfluoranthene	62,3	NF	NF	100	100
	benzoEpyrene	66,1	NF	NF	100	100
	benzoApyrene	47,3	NF	NF	100	100
	indeno123cdpyrene	101,1	NF	NF	100	100
	dibenzoAHantrecene	NF	NF	NF		
	benzoGHIperylene	1084,1	NF	NF	100	100
PCB'ler	PCB28	NF	NF	NF		
	PCB52	1,3	NF	NF	100	100
	PCB101	NF	NF	0,1		
	PCB118	NF	0,1	NF		
	PCB153	NF	NF	NF		
	PCB138	NF	0,1	NF		
	PCB180	NF	NF	NF		

NF: not found, bulunamadı

Tablo 3.20. MBR ve AAT'deki ortalama mikrokirletici konsantrasyonları

Türü	Mikrokirletici	MBR Giriş	Std, Sapma	AAT Çıkış	Std, Sapma	MBR Çıkış	Std, Sapma
Plastik, PVC	BPA	113808	77208	52	15	70	24
İlaç	Ibuprofen	1491	1510	0	0	0	0
Kişisel bakım	triclosan	74	90	25	22	42	6
Fitalatlar	MethylPhtalate	88	4	18	2	63	6
	EthylPhtalate	12366	2004	1022	449	1036	457
	DibuthylPhtalate	9455	614	4983	755	5171	1006
	BenzylButylPhtalate	193	119	35	26	29	16
	bis2EthylHexylPhtalate	28613	2802	2841	249	2703	455
	nOctylPhtalate	18876	6324	14463	4908	16959	5552
PAH'lar	naftalin	194,6	182	54,0	54	88,2	94
	metilnaftalin	72,3	50	53,1	60	60,6	68
	etilnaftalin	61,7	69	113,1	151	78,7	102
	acenapthyene	48,2	48	5,9	4	8,5	6
	acenaphene	551,9	716	987,6	1378	737,0	1036
	fluorene	31,6	22	32,4	40	46,8	58
	phenantrene	63,0	42	36,4	38	36,4	36
	antrecene	69,3	49	45,1	59	42,4	57
	2metilphenantrene	54,5	45	66,1	87	91,5	124
	1metilphenantrene	23,4	15	37,9	49	33,8	43
	36dimetilphenantrene	2,9	4	0,4	0	4,5	4
	fluoranthene	206,2	211	20,3	20	13,7	13
	pyrene	556,5	742	13,8	15	8,3	8
	1metilpyrene	15,5	10	8,6	12	3,9	5
	chresene	21,8	19	6,3	0	0,1	0
	benzoAantrecene	48,1	33	8,3	2	3,9	0
	benzoBfluoranthene	48,9	36	10,6	0	3,8	0
	benzoKfluoranthene	50,1	34	10,4	0	3,2	0
	benzoEpyrene	37,7	26	6,1	0	3,9	0
	benzoApyrene	34,6	23	8,9	0	4,3	0
	indeno123cdpyrene	57,1	41	1,2	0	0,0	0
	dibenzoAHantrecene	19,8	19	22,4	0	14,9	0
	benzoGHIperylene	382,1	497	7,4	0	7,6	0
PCB'ler	PCB28	0,0	0	0,0	0	0,0	0
	PCB52	1,8	2	0,0	0	0,0	0
	PCB101	0,0	0	0,0	0	0,2	0
	PCB118	0,1	0	0,1	0	0,1	0
	PCB153	0,0	0	0,0	0	0,0	0
	PCB138	0,0	0	0,1	0	0,2	0
	PCB180	0,0	0	0,2	0	0,0	0

Tablo 3.21. MBR ve AAT'de mikrokirleticilerin verim karşılaştırması

Mikrokirletici	**AAT Verim**	**MBR UF 10 k Verim**	**AAT Verim**	**MBR-MF Verim**	**AAT Verim**	**MBR-UF 250 k Verim**
BPA	99	99	100	100	100	100
Ibuprofen	99	99	100	100	100	100
triclosan	73	76	86	100		
MethylPhtalate*	82	29	77,2	21,7	80,9	34,8
EthylPhtalate*	95	95	93,7	93,6	86,7	86,5
DibuthylPhtalate*	44	47	42,0	35,9	56,0	54,3
BenzylButylPhtalate*	95	95	80,7	87,4	62,8	53,8
bis2EthylHexylPhtalate*	88	87	91,8	93,1	90,2	90,7
nOctylPhtalate*	29		22,5	15,0	18,4	22,0
naftalin	93	90	84	86		
metilnaftalin	77	73	60	60		
etilnaftalin	51	47	46	72		
acenapthyene	94	88	96	96		
acenaphene			71	91		
fluorene	78	72	81	89		
phenantrene	81	77	91	92		
antrecene	93	95	81	85		
2metilphenantrene	81	85	74	72		
1metilphenantrene	85	86	96	88		
36dimetilphenantrene			93	100	88	
fluoranthene	88	92	97	98	90	94
pyrene	89	91	97	98	98	99
1metilpyrene	99	99	96	97		31
chresene	87	100	100	100	100	100
benzoAantrecene	89	93	100	100	87	100
benzoBfluoranthene	89	96	100	100	100	100
benzoKfluoranthene	88	96	100	100	100	100
benzoEpyrene	86	91	100	100	100	100
benzoApyrene	84	92	100	100	100	100
indeno123cdpyrene	98		100	100	100	100
dibenzoAHantrecene	42	62	100	100		
benzoGHIperylene	88	87	100	100	100	100
PCB28			89,7	100		
PCB52			100	100	100	100
PCB101				100		
PCB118						
PCB153						
PCB138						
PCB180						

Literatürde MBR ve klasik aktif çamur (KAÇ) sisteminde mikrokirleticilerin akıbeti incelenmiştir. Mikrokirleticilerin gideriminde klasik arıtma sistemlerinin yeterli olmadığını savunan bir derleme çalışmasında ileri oksidasyon proseslerinin mikrokirleticileri gidermede daha etkili olduğunu söylemektedir [67]. Mikrokirleticilerin MBR ve klasik aktif çamur prosesindeki giderimini inceleyen bir çalışmada da giderim mekanizmasının sorpsiyon ya da biyobozunumla olduğu bulunmuştur. Ayrıca, sıcak iklimlerde mikrokirleticilerin biyolojik olarak gideriminin daha yüksek olduğu sonucuna da ulaşılmıştır [138].

3.4 MBR ve AAT'lerde Maliyet Karşılaştırması

MBR ve klasik aktif çamur (KAÇ) sistemlerinin maliyet karşılaştırmasının yapılması bu sistemlerin geleceklerinin ne yönde şekilleneceğini gösterebilir. İki sistemin karşılaştırıldığı bir çalışmaya göre, sıkı deşarj standarlarının olmadığı durumlarda, örneğin azot ve fosfor gideriminin zorunlu olmadığı durumda, klasik biyolojik arıtma sisteminin ilk yatırım ve işletme maliyetleri yönünden daha avantajlı olduğu belirlenmiştir [139].

Hem MBR hem KAÇ için 7 farklı senaryo karşılaştırması yapılmıştır (Tablo 3.22). İlk yatırım, işletme ve 20 yıllık işletme sonucu oluşan toplam maliyetler de karşılaştırılmış olup Şekil 3.98, Şekil 3.99 ve Şekil 3.100'de verilmiştir [139].

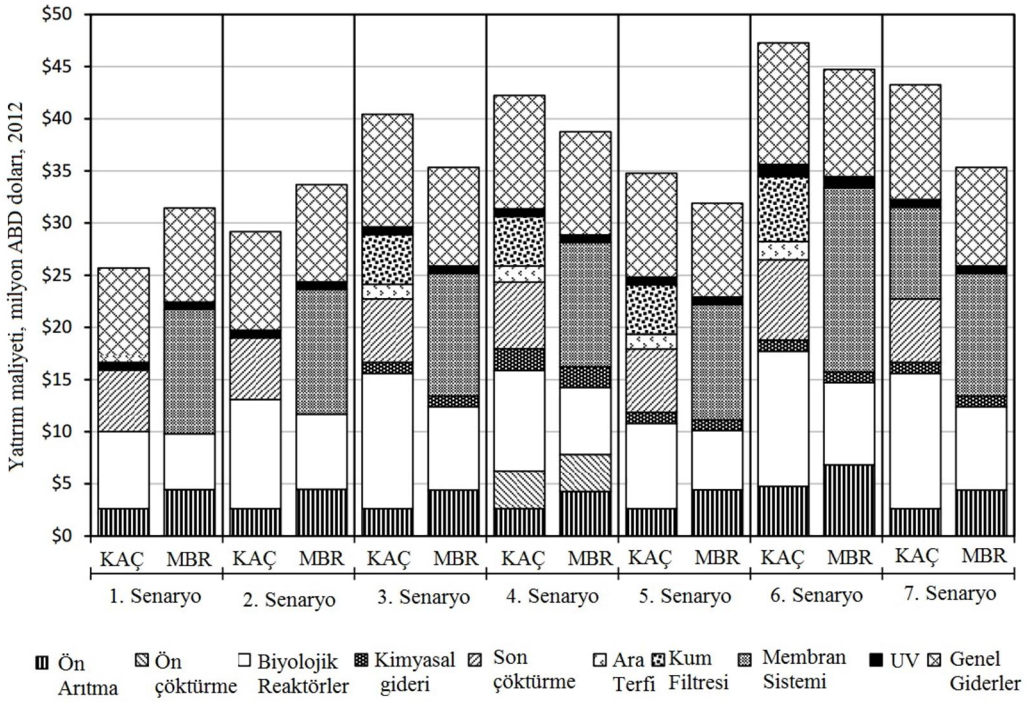
Tablo 3.22. MBR ve KAÇ sistemlerinin karşılaştırılmasında uygulanan senaryolar

Senaryo	**Durum**	**Çıkış BOİ/AKM/TN/TP (mg/L)**
1	TN ve TP deşarj standardı yok	20/20
2	TP deşarj standardı yok	20/20/10
3	Mühendislik haber kayıtları	10/10/10/0,2
4	Ön çöktürme	10/10/10/0,2
5	Sıcak hava şartları (min. 25 ^{o}C)	10/10/10/0,2
6	Pik debi durumu (2x)	10/10/10/0,2
7	Yüksek TP deşarj standardı	10/10/10/0,1

İlk yatırım maliyetleri açısından ilk iki senaryo hariç MBR'nin daha avantajlı olduğu görülmektedir. Biyolojik reaktör giderlerin KAÇ'ta MBR'den her durumda yüksek olduğu, ön arıtmanın ise MBR'lerde daha maliyetli olduğu göze çarpmaktadır.

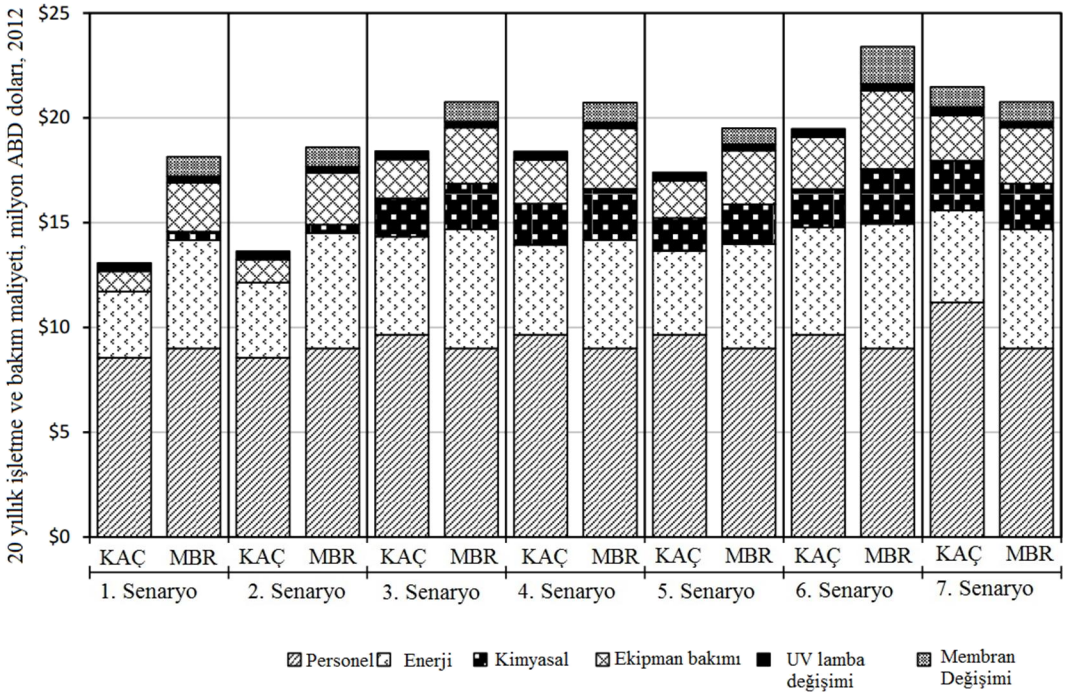
MBR'lerde membran sisteminin en fazla maliyeti oluşturduğu, KAÇ'ta ise havalandırma ve genel giderlerin en fazla maliyeti oluşturduğu görülmektedir.

İşletme maliyetlerinde personel giderlerinin her iki sistemde de yüksek olduğu, enerji giderlerinin ise MBR'lerde daha yüksek olduğu görülmektedir. MBR'lerde membran değişiminin MBR'lerdeki işletme giderlerinin KAÇ sisteminin işletme giderlerinin çok üzerine çıkmasına neden olmuştur.

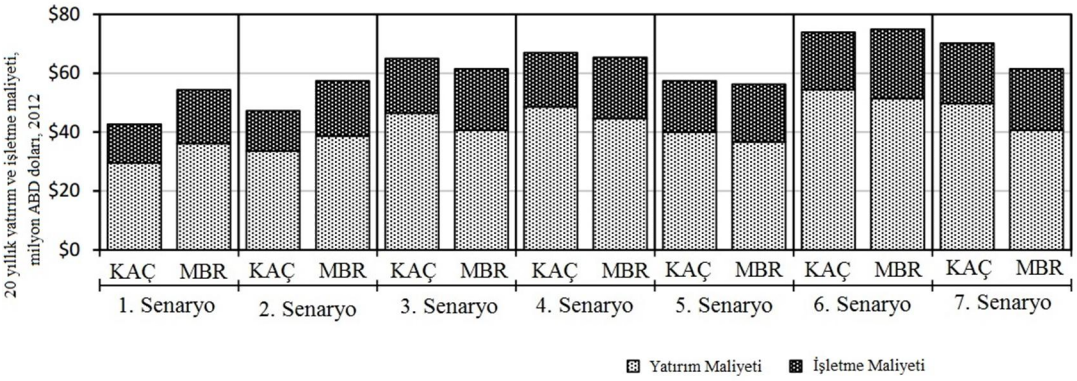


Şekil 3.98. Klasik aktif çamur sistemi ile MBR'nin yatırım maliyetleri karşılaştırması

Ancak 20 yıllık projeksiyonda 1. ve 2. senaryo hariç tüm senaryoların MBR'nin maliyet üstünlüğünü göstermektedir. Membran malzemelerin çeşitlenmesi ve ucuzlaması ile MBR'lerin yatırım maliyetlerinin önümüzdeki yıllarda daha da düşeceğini göstermektedir [140].

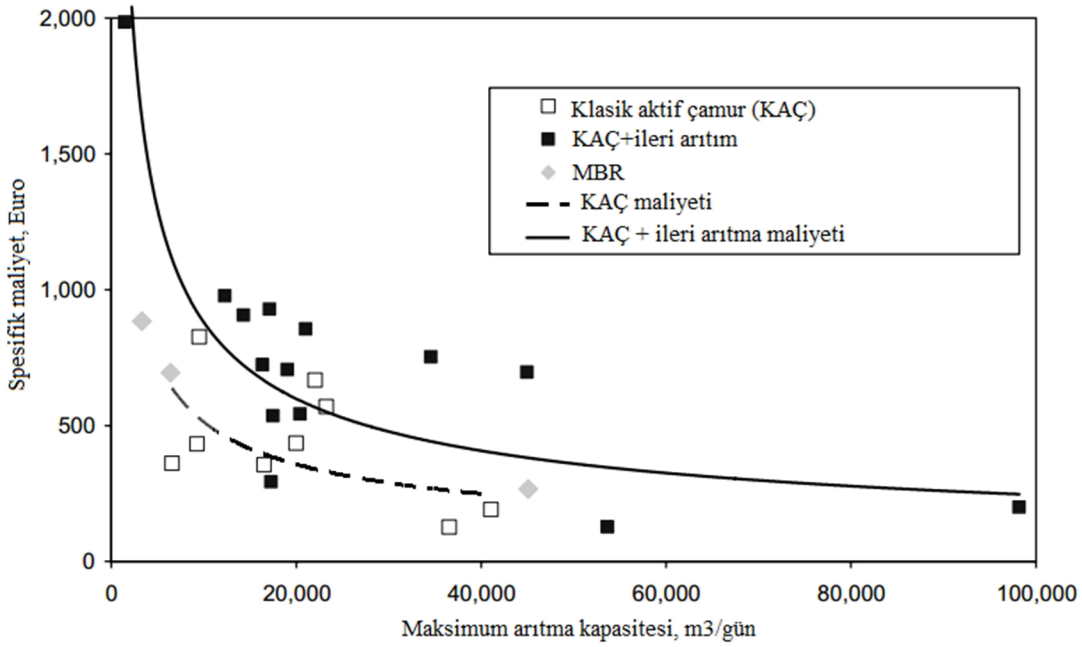


Şekil 3.99. Klasik aktif çamur sistemi ile MBR'nin işletme maliyetleri karşılaştırması

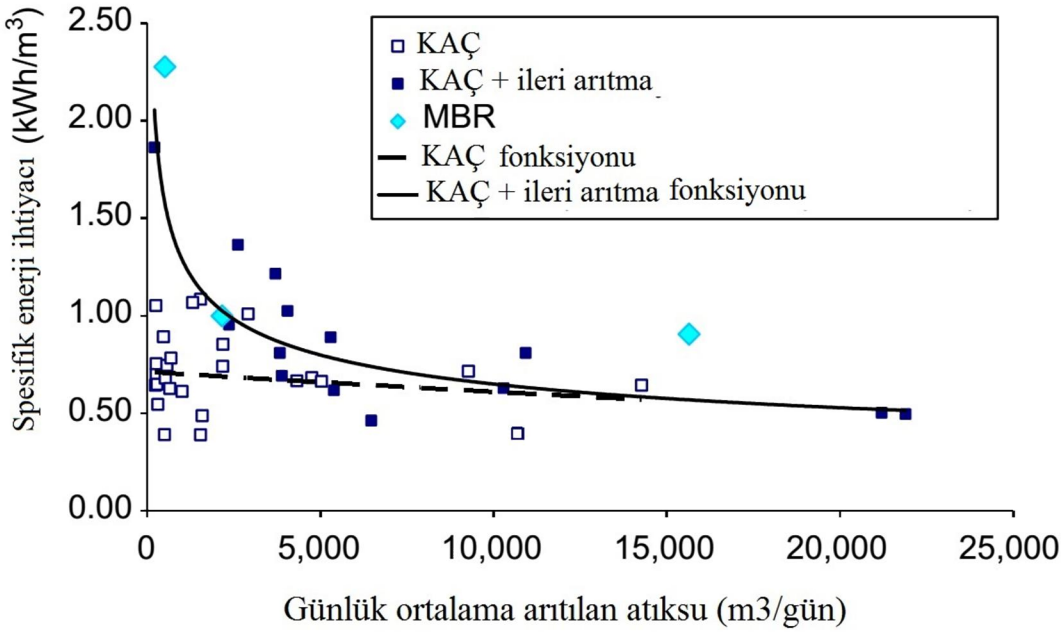


Şekil 3.100. Klasik aktif çamur sistemi ile MBR'nin 20 yıllık işletme maliyeti projeksiyonu

Şekil 3.101 ve Şekil 3.102'de görülen MBR'lerle KAÇ sisteminin karşılaştırıldığı bir başka çalışmada ise KAÇ sonrası ileri arıtımın yatırım ve işletme maliyetini çok artırdığı görülmektedir [140, 141].



Şekil 3.101. Evsel AAT'de MBR ve KAÇ yatırım maliyeti karşılaştırması



Şekil 3.102. Evsel AAT'de MBR ve KAÇ enerji karşılaştırması

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, OSB atıksularının membranlı arıtma sistemleriyle yeniden kullanımı için iki yol izlenmiştir. Birincisi, mevcut arıtma tesisine entegre edilebilecek UF ve NF/RO filtrasyon sistemi ile, ikincisi ise konvansiyonel biyolojik atıksu arıtma tesisi yerine membran biyoreaktör (MBR) sistemi ve sonrasında NF/RO membranları ile yeniden kullanım seçeneklerinin oluşturulmasıdır.

Yapılan laboratuvar ölçekli çalışmalarda her iki sistem için de uygun membranlar belirlenmiştir. AAT çıkış suyunda moleküler ağırlık engelleme sınırı 250 kDa olan UF membranı ile XLE membranın kullanılması ile yüksek su kalitesi, düşük tıkanma eğilimi ve yüksek akı elde edilmiştir. MBR modülünde aynı UF membranı ile XLE membranı kullanılması durumunda da yüksek su kalitesi, yüksek akı ve düşük tıkanma eğilimi elde edilmiştir.

Mikrokirleticilerin de incelendiği bu çalışmada; BPA %99'un üzerinde, ibuprofen ise tamamen giderilmiş, PCB'lere rastlanmamış ve yüksek PAH giderimleri elde edilmiştir. Mikrokirleticilerin giderilmesinde MBR çıkış suyunda birçok mikrokirleticide AAT çıkış suyundan daha fazla giderim verimi elde edilmiştir.

Türkiye'de yaşanan ve gelecek projeksiyonlarında daha sert yaşanması beklenen küresel iklim değişimi ve buna bağlı kuraklıklar suyun yeniden kullanımının zorunlu hale gelmesine neden olmaktadır. Temiz suya erişim ve içme suyu arıtma maliyetlerinin artması Türkiye'de ve dünyada membranlı arıtma sistemlerinin kullanımını artırması beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Membran filtrasyonunun ve MBR sistemlerinin geleneksel arıtma sistemlerine göre maliyetleri yüksek olsa da, elde edilen su kalitesi ve sürdürülebilirlik açısından membranlı

sistemler daha fazla tercih edilmelidir. Membranlı sistemler için maliyet handikapının yerli üretimlerle ortadan kaldırılabilmesi mümkündür.

MBR ve klasik arıtma sisteminin karşılaştırması göstermiştir ki; MBR'lerde yatırım maliyetleri KAÇ'lara göre arıtma ihtiyacına göre daha düşük olabilmektedir. Deşarj standartlarının sıkılaştığı ve temiz su kaynaklarının azaldığı Türkiye için MBR'lerin yeniden kullanım için yaygınlaşması kaçınılmazdır. Özellikle OSB'ler gibi suyu fazla tüketen bölgelerin MBR sistemlerine geçmesi ile maliyetlerin düşme eğilimine geçmesi beklenmektedir. Bu çalışmada izlenen mikrokirleticilerin akıbetine bakılacak olursa, su kaynaklarının NF ya da RO gibi ileri arıtım teknolojilerine de ihtiyaç duyacağı açıktır.

Bu çalışma, OSB atıksularının membranlı arıtma sistemleriyle yeniden kullanılabilirliğin incelemiştir. Hem MBR'de, hem de mevcut bir OSB'de ileri biyolojik AAT'de membranlı bir sistemle suyun yeniden kullanılabileği görülmüştür.

Yapılan maliyet karşılaştırmalarına göre, gelecekte klasik aktif çamur sistemlerinin yerini MBR'lerin alması öngörülmektedir. Ancak, Türkiye şartlarında detaylı maliyet analizlerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü hem enerji maliyetleri, hem personel giderleri, hem de yerli üretim malzemelerin kullanılması bu iki sistemin hem yatırım hem de işletme maliyetlerini değiştirebilecek önemli değişkenlerdir.

KAYNAKLAR

1. Sharma, S. K., Sanghi, R., 2012. Wastewater Reuse and Management. Springer Science & Business Media.
2. Nations, U. (Erişim Tarihi: 29.07.2017). *Water Scarcity, International Decade for Water Life 2005-2015*. Available: **http://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity**
3. Ranade, V. V., Bhandari, V. M., 2014. Industrial wastewater treatment, recycling and reuse. Butterworth-Heinemann.
4. Wang, L. K., Chen, J. P., Hung, Y.-T., Shammas, N. K., 2008. Membrane and desalination technologies. Springer.
5. Cui, Z., Muralidhara, H., 2010. Membrane technology: a practical guide to membrane technology and applications in food and bioprocessing. Elsevier.
6. Hong, S., Bae, T., Tak, T., Hong, S., Randall, A., 2002. Fouling control in activated sludge submerged hollow fiber membrane bioreactors. **Desalination, 143** (3): 219-228.
7. Technology, R. S. M., "Ion Exchange Flat Sheet Membrane," 2017.
8. Judd, S., 2015. The status of industrial and municipal effluent treatment with membrane bioreactor technology. **Chemical Engineering Journal,**
9. Association, A. W. W., 2008. Microfiltration and ultrafiltration membranes for drinking water. **Journal-American Water Works Association, 100** (12): 84-97.
10. Judd, S., 2010. The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment. Elsevier.
11. Judd, S., 2008. The status of membrane bioreactor technology. **Trends in biotechnology, 26** (2): 109-116.
12. Yurtsever, A., Sahinkaya, E., Aktaş, Ö., Uçar, D., Çinar, Ö., Wang, Z., 2015. Performances of anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of synthetic textile wastewater. **Bioresource Technology, 192**: 564-573.
13. Lin, H., Gao, W., Meng, F., Liao, B.-Q., Leung, K.-T., Zhao, L., Chen, J., Hong, H., 2012. Membrane bioreactors for industrial wastewater treatment: a critical review. **Critical reviews in environmental science and technology, 42** (7): 677-740.
14. Santos, A., Ma, W., Judd, S. J., 2011. Membrane bioreactors: two decades of research and implementation. **Desalination, 273** (1): 148-154.
15. Richard, W. B., 2004. Membrane technology and applications. **John Wiley & Sons Ltd,**

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 research, 43** (6): 1489-1512.

17. Ognier, S., Wisniewski, C., Grasmick, A., 2004. Membrane bioreactor fouling in sub-critical filtration conditions: a local critical flux concept. **Journal of Membrane Science, 229** (1): 171-177.

18. Wei, C.-H., Huang, X., Aim, R. B., Yamamoto, K., Amy, G., 2011. Critical flux and chemical cleaning-in-place during the long-term operation of a pilot-scale submerged membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. **Water research, 45** (2): 863-871.

19. Fang, H. H., Shi, X., 2005. Pore fouling of microfiltration membranes by activated sludge. **Journal of Membrane Science, 264** (1): 161-166.

20. 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.

21. 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 Research, 40** (14): 2675-2683.

22. Tang, C. Y., Fu, Q. S., Criddle, C. S., Leckie, J. O., 2007. Effect of flux (transmembrane pressure) and membrane properties on fouling and rejection of reverse osmosis and nanofiltration membranes treating perfluorooctane sulfonate containing wastewater. **Environmental science & technology, 41** (6): 2008-2014.

23. Yigit, N., 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): 124-132.

24. Jang, D., Hwang, Y., Shin, H., Lee, W., 2013. Effects of salinity on the characteristics of biomass and membrane fouling in membrane bioreactors. **Bioresource technology, 141**: 50-56.

25. Jeon, S., Rajabzadeh, S., Okamura, R., Ishigami, T., Hasegawa, S., Kato, N., Matsuyama, H., 2016. The Effect of Membrane Material and Surface Pore Size on the Fouling Properties of Submerged Membranes. **Water, 8** (12): 602.

26. Lin, H., Zhang, M., Wang, F., Meng, F., Liao, B.-Q., Hong, H., Chen, J., Gao, W., 2014. A critical review of extracellular polymeric substances (EPSs) in membrane bioreactors: characteristics, roles in membrane fouling and control strategies. **Journal of Membrane science, 460**: 110-125.

27. Wu, Z., Wang, Q., Wang, Z., Ma, Y., Zhou, Q., Yang, D., 2010. Membrane fouling properties under different filtration modes in a submerged membrane bioreactor. **Process Biochemistry, 45** (10): 1699-1706.

28. Jiang, T., Kennedy, M. D., van der Meer, W. G., Vanrolleghem, P. A., Schippers, J. C., 2003. The role of blocking and cake filtration in MBR fouling. **Desalination, 157** (1-3): 335-343.

29. Han, S.-S., Bae, T.-H., Jang, G.-G., Tak, T.-M., 2005. Influence of sludge retention time on membrane fouling and bioactivities in membrane bioreactor system. **Process Biochemistry, 40** (7): 2393-2400.

30. Vanysacker, L., Declerck, P., Bilad, M. R., Vankelecom, I. F. J., 2014. Biofouling on microfiltration membranes in MBRs: Role of membrane type and microbial community. **Journal of Membrane Science, 453**: 394-401.

31. Molina-Muñoz, M., Poyatos, J., Sánchez-Peinado, M., Hontoria, E., González-López, J., Rodelas, B., 2009. Microbial community structure and dynamics in a pilot-scale submerged membrane bioreactor aerobically treating domestic wastewater under real operation conditions. **Science of the total environment, 407** (13): 3994-4003.

32. 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. **Journal of Bioscience and Bioengineering, 121** (5): 550-556.

33. Luo, W., Phan, H. V., Hai, F. I., Price, W. E., Guo, W., Ngo, H. H., Yamamoto, K., Nghiem, L. D., 2016. Effects of salinity build-up on the performance and bacterial community structure of a membrane bioreactor. **Bioresource technology, 200**: 305-310.

34. Qu, F., Liang, H., Zhou, J., Nan, J., Shao, S., Zhang, J., Li, G., 2014. Ultrafiltration membrane fouling caused by extracellular organic matter (EOM) from Microcystis aeruginosa: Effects of membrane pore size and surface hydrophobicity. **Journal of Membrane Science, 449**: 58-66.

35. Faust, L., Temmink, H., Zwijnenburg, A., Kemperman, A. J., Rijnaarts, H., 2014. High loaded MBRs for organic matter recovery from sewage: effect of solids retention time on bioflocculation and on the role of extracellular polymers. **Water research, 56**: 258-266.

36. Liang, S., Liu, C., Song, L., 2007. Soluble microbial products in membrane bioreactor operation: behaviors, characteristics, and fouling potential. **Water Research, 41** (1): 95-101.

37. Kimura, K., Naruse, T., Watanabe, Y., 2009. Changes in characteristics of soluble microbial products in membrane bioreactors associated with different solid retention times: Relation to membrane fouling. **Water Research, 43** (4): 1033-1039.

38. Juang, L.-C., Tseng, D.-H., Chen, Y.-M., Semblante, G. U., You, S.-J., 2013. The effect soluble microbial products (SMP) on the quality and fouling potential of MBR effluent. **Desalination, 326**: 96-102.

39. Charfi, A., Yang, Y., Harmand, J., Amar, N. B., Héran, M., Grasmick, A., 2015. Soluble microbial products and suspended solids influence in

membrane fouling dynamics and interest of punctual relaxation and/or backwashing. **Journal of Membrane Science, 475**: 156-166.

40. Guo, W., Ngo, H.-H., Li, J., 2012. A mini-review on membrane fouling. **Bioresource Technology, 122**: 27-34.

41. 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.

42. Radjenović, J., Petrović, M., Barceló, D., 2009. Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. **Water Research, 43** (3): 831-841.

43. Alturki, A. A., Tadkaew, N., McDonald, J. A., Khan, S. J., Price, W. E., Nghiem, L. D., 2010. Combining MBR and NF/RO membrane filtration for the removal of trace organics in indirect potable water reuse applications. **Journal of Membrane Science, 365** (1): 206-215.

44. Bernhard, M., Müller, J., Knepper, T. P., 2006. Biodegradation of persistent polar pollutants in wastewater: Comparison of an optimised lab-scale membrane bioreactor and activated sludge treatment. **Water Research, 40** (18): 3419-3428.

45. Weiss, S., Reemtsma, T., 2008. Membrane bioreactors for municipal wastewater treatment–A viable option to reduce the amount of polar pollutants discharged into surface waters? **Water Research, 42** (14): 3837-3847.

46. Nguyen, L. N., Hai, F. I., Kang, J., Price, W. E., Nghiem, L. D., 2013. Removal of emerging trace organic contaminants by MBR-based hybrid treatment processes. **International Biodeterioration & Biodegradation, 85**: 474-482.

47. Wijekoon, K. C., Hai, F. I., Kang, J., Price, W. E., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., 2013. The fate of pharmaceuticals, steroid hormones, phytoestrogens, UV-filters and pesticides during MBR treatment. **Bioresource Technology, 144**: 247-254.

48. Farias, E. L., Howe, K. J., Thomson, B. M., 2014. Effect of membrane bioreactor solids retention time on reverse osmosis membrane fouling for wastewater reuse. **Water Research, 49**: 53-61.

49. Kappel, C., Kemperman, A., Temmink, H., Zwijnenburg, A., Rijnaarts, H., Nijmeijer, K., 2014. Impacts of NF concentrate recirculation on membrane performance in an integrated MBR and NF membrane process for wastewater treatment. **Journal of membrane science, 453**: 359-368.

50. Monclús, H., Sipma, J., Ferrero, G., Rodriguez-Roda, I., Comas, J., 2010. Biological nutrient removal in an MBR treating municipal wastewater with special focus on biological phosphorus removal. **Bioresource Technology, 101** (11): 3984-3991.

51. Zuthi, M., Ngo, H., Guo, W., Nghiem, L., Hai, F., Xia, S., Zhang, Z., Li, J., 2015. Biomass viability: an experimental study and the development of an empirical mathematical model for submerged membrane bioreactor. **Bioresource Technology, 190**: 352-358.

52. 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.

53. 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.

54. Chae, S., Shin, H., 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.

55. Xia, S., Guo, J., Wang, R., 2008. Performance of a pilot-scale submerged membrane bioreactor (MBR) in treating bathing wastewater. **Bioresource technology, 99** (15): 6834-6843.

56. Yigit, N., 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): 143-150.

57. Sabia, G., Ferraris, M., Spagni, A., 2013. Effect of solid retention time on sludge filterability and biomass activity: Long-term experiment on a pilot-scale membrane bioreactor treating municipal wastewater. **Chemical engineering journal, 221**: 176-184.

58. 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 research, 57**: 140-150.

59. Kimura, K., Nishimura, S.-I., Miyoshi, R., Hoque, A., Miyoshi, T., Watanabe, Y., 2015. Application of glyco-blotting for identification of structures of polysaccharides causing membrane fouling in a pilot-scale membrane bioreactor treating municipal wastewater. **Bioresource technology, 179**: 180-186.

60. 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 research, 100**: 448-457.

61. 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.

62. Müdürlüğü, S. Y. G. (Erişim Tarihi: 25 Nisan 2016). *Türkiye'ye Özgü Çevresel Kalite Standardı Geliştirme İhtiyacı Bulunan Spesifik Kirleticilerin Listesi* Available: **http://suyonetimi.ormansu.gov.tr/AnaSayfa/tumDuyuru/16-02-10/T%C3%BCrkiye%E2%80%99ye_%C3%96zg%C3%BC_%C3%87evresel_Kalite_Standard%C4%B1_Geli%C5%9Ftirme_%C4%B0htiyac%C4%B1_Bulunan_Spesifik_Kirleticilerin_Listesi.aspx?sflang=tr**

63. 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.

64. Schriks, M., Heringa, M. B., van der Kooi, M. M., de Voogt, P., van Wezel, A. P., 2010. Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality. **Water research, 44** (2): 461-476.

65. 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.

66. Kruglova, A., Kråkström, M., Riska, M., Mikola, A., Rantanen, P., Vahala, R., Kronberg, L., 2016. Comparative study of emerging micropollutants removal by aerobic activated sludge of large laboratory-scale membrane bioreactors and sequencing batch reactors under low-temperature conditions. **Bioresource Technology,**

67. 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.

68. Sarkar, S. K., "Accumulation of Micropollutants in Representative Biota of Sundarban Wetland," in *Marine Organic Micropollutants*, ed: Springer, 2016, pp. 69-86.

69. Petrie, B., Gravell, A., Mills, G. A., Youdan, J., Barden, R., Kasprzyk-Hordern, B., 2016. In situ calibration of a new chemcatcher configuration for the determination of polar organic micropollutants in wastewater effluent. **Environmental science & technology, 50** (17): 9469-9478.

70. 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.

71. Sayal, A., Amjad, S., Bilal, M., Pervez, A., Mahmood, Q., Afridi, M. A., 2016. Industrial water contamination and health impacts: an economic perspective. **Polish Journal of Environmental Studies, 25** (2)

72. Neisi, A., Farhadi, M., Takdastan, A., Babaei, A. A., Yari, A. R., Mohammadi, M. J., Vosoughi, M., 2017. REMOVAL OF OXYTETRACYCLINE ANTIBIOTICS FROM HOSPITAL WASTEWATER. **Fresenius Environmental Bulletin, 26** (3): 2422-2429.

73. Emmanuel, E., Perrodin, Y., Keck, G., Blanchard, J.-M., Vermande, P., 2005. Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network. **Journal of Hazardous Materials, 117** (1): 1-11.

74. 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.

75. Jolibois, B., Guerbet, M., 2006. Hospital wastewater genotoxicity. **Annals of Occupational Hygiene, 50** (2): 189-196.

76. Langford, K. H., Thomas, K. V., 2009. Determination of pharmaceutical compounds in hospital effluents and their contribution to wastewater treatment works. **Environment International, 35** (5): 766-770.

77. 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**: 1-12.

78. 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.

79. Ternes, T. A., Meisenheimer, M., McDowell, D., Sacher, F., Brauch, H.-J., Haist-Gulde, B., Preuss, G., Wilme, U., Zulei-Seibert, N., 2002. Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment. **Environmental science & technology, 36** (17): 3855-3863.

80. Sipma, J., Osuna, B., Collado, N., Monclús, H., Ferrero, G., Comas, J., Rodriguez-Roda, I., 2010. Comparison of removal of pharmaceuticals in MBR and activated sludge systems. **Desalination, 250** (2): 653-659.

81. 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.

82. Görenoğlu, E., 2013. İki Farklı Saf Kültür Ve Aktif Çamur Üzerinde Triklosan Toksisitesinin Belirlenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

83. Forrez, I., Carballa, M., Fink, G., Wick, A., Hennebel, T., Vanhaecke, L., Ternes, T., Boon, N., Verstraete, W., 2011. Biogenic metals for the oxidative and reductive removal of pharmaceuticals, biocides and iodinated contrast media in a polishing membrane bioreactor. **Water research, 45** (4): 1763-1773.

84. Subagio, D. P., Srinivasan, M., Lim, M., Lim, T.-T., 2010. Photocatalytic degradation of bisphenol-A by nitrogen-doped TiO 2 hollow sphere in a vis-LED photoreactor. **Applied Catalysis B: Environmental, 95** (3): 414-422.

85. Rubin, B. S., 2011. Bisphenol A: an endocrine disruptor with widespread exposure and multiple effects. **The Journal of steroid biochemistry and molecular biology, 127** (1): 27-34.

86. Cases, V., Alonso, V., Argandoña, V., Rodriguez, M., Prats, D., 2011. Endocrine disrupting compounds: A comparison of removal between conventional activated sludge and membrane bioreactors. **Desalination, 272** (1): 240-245.

87. Zhu, H., Li, W., 2013. Bisphenol A removal from synthetic municipal wastewater by a bioreactor coupled with either a forward osmotic membrane or a microfiltration membrane unit. **Frontiers of Environmental Science & Engineering, 7** (2): 294-300.

88. Köseler, M. D., 2008. Büyükçekmece Gölü'nde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) Konsantrasyonunun Belirlenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

89. Wiszniowski, J., Ziembińska, A., Ciesielski, S., "Membrane biological reactor (MBR) for treatment of wastewater contaminated by petroleum organic compounds," *Proceedings of a Polish-Swedish–Ukrainian seminar, Stockholm*, 2009, pp. 27-33.

90. Fatone, F., Bolzonella, D., Battistoni, P., Cecchi, F., 2005. Removal of nutrients and micropollutants treating low loaded wastewaters in a membrane bioreactor operating the automatic alternate-cycles process. **Desalination, 183** (1): 395-405.

91. González-Pérez, D. M., Garralón, G., Plaza, F., Pérez, J. I., Moreno, B., Gómez, M. A., 2012. Removal of low concentrations of phenanthrene, fluoranthene and pyrene from urban wastewater by membrane bioreactors technology. **Journal of Environmental Science and Health, Part A, 47** (14): 2190-2197.

92. Nebesio, T. D., Pescovitz, O. H., "The role of endocrine disruptors in pubertal development," in *When puberty is precocious*, ed: Springer, 2007, pp. 425-442.

93. Loraine, G. A., Pettigrove, M. E., 2006. Seasonal variations in concentrations of pharmaceuticals and personal care products in drinking water and reclaimed wastewater in southern California. **Environmental Science & Technology, 40** (3): 687-695.

94. Boonyaroj, V., Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theepharaksapan, S., Yamamoto, K., 2012. Toxic organic micro-pollutants removal mechanisms in long-term operated membrane bioreactor treating municipal solid waste leachate. **Bioresource Technology, 113**: 174-180.

95. Abraham, W.-R., Nogales, B., Golyshin, P. N., Pieper, D. H., Timmis, K. N., 2002. Polychlorinated biphenyl-degrading microbial communities in soils and sediments. **Current opinion in microbiology, 5** (3): 246-253.

96. Smith, A., Gangolli, S., 2002. Organochlorine chemicals in seafood: occurrence and health concerns. **Food and Chemical Toxicology, 40** (6): 767-779.

97. Tiedje, J. M., Quensen III, J. F., Chee-Sanford, J., Schimel, J. P., Boyd, S. A., 1993. Microbial reductive dechlorination of PCBs. **Biodegradation, 4** (4): 231-240.

98. Jelic, A., Di Fabio, S., Vecchiato, G., Cecchi, F., Fatone, F., 2015. Nano-occurrence and removal of PCBs within the Europe's largest petrochemical MBR system. **Water research, 83**: 329-336.

99. Ternes, T. A., 1998. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. **Water research, 32** (11): 3245-3260.

100. Westerhoff, P., Yoon, Y., Snyder, S., Wert, E., 2005. Fate of endocrine-disruptor, pharmaceutical, and personal care product chemicals during simulated drinking water treatment processes. **Environmental Science & Technology, 39** (17): 6649-6663.

101. Snyder, S. A., Keith, T. L., Verbrugge, D. A., Snyder, E. M., Gross, T. S., Kannan, K., Giesy, J. P., 1999. Analytical methods for detection of selected estrogenic compounds in aqueous mixtures. **Environmental Science & Technology, 33** (16): 2814-2820.

102. Okuda, T., Kobayashi, Y., Nagao, R., Yamashita, N., Tanaka, H., Tanaka, S., Fujii, S., Konishi, C., Houwa, I., 2008. Removal efficiency of 66 pharmaceuticals during wastewater treatment process in Japan. **Water Science & Technology, 57** (1)

103. Comerton, A. M., Andrews, R. C., Bagley, D. M., Hao, C., 2008. The rejection of endocrine disrupting and pharmaceutically active compounds by NF and RO membranes as a function of compound and water matrix properties. **Journal of Membrane Science, 313** (1): 323-335.

104. Bolzonella, D., Fatone, F., di Fabio, S., Cecchi, F., 2010. Application of membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse in the Mediterranean region: Focusing on removal efficiency of non-conventional pollutants. **Journal of Environmental Management, 91** (12): 2424-2431.

105. Bolzonella, D., Fatone, F., Pavan, P., Cecchi, F., 2010. Poly-chlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzo-furans and dioxin-like poly-chlorinated biphenyls occurrence and removal in conventional and membrane activated sludge processes. **Bioresource technology, 101** (24): 9445-9454.

106. Vogelsang, C., Grung, M., Jantsch, T. G., Tollefsen, K. E., Liltved, H., 2006. Occurrence and removal of selected organic micropollutants at mechanical, chemical and advanced wastewater treatment plants in Norway. **Water research, 40** (19): 3559-3570.

107. Beier, S., Cramer, C., Köster, S., Mauer, C., Palmowski, L., Schröder, H. F., Pinnekamp, J., 2011. Full scale membrane bioreactor treatment of hospital wastewater as forerunner for hot-spot wastewater treatment solutions in high density urban areas. **Water Science & Technology, 63** (1)

108. Liu, Z.-h., Kanjo, Y., Mizutani, S., 2010. A review of phytoestrogens: their occurrence and fate in the environment. **Water research, 44** (2): 567-577.

109. Yang, S., Hai, F. I., Price, W. E., McDonald, J., Khan, S. J., Nghiem, L. D., 2016. Occurrence of trace organic contaminants in wastewater sludge and their removals by anaerobic digestion. **Bioresource Technology,**

110. Phan, H. V., McDonald, J. A., Hai, F. I., Price, W. E., Khan, S. J., Fujioka, T., Nghiem, L. D., 2016. Biological performance and trace organic contaminant removal by a side-stream ceramic nanofiltration membrane bioreactor. **International Biodeterioration & Biodegradation,**

111. Padhye, L. P., Yao, H., Kung'u, F. T., Huang, C.-H., 2014. Year-long evaluation on the occurrence and fate of pharmaceuticals, personal care products, and endocrine disrupting chemicals in an urban drinking water treatment plant. **Water research, 51**: 266-276.

112. Sitesi, O. B. (Erişim Tarihi: 23.06.2016). *Organize Sanayi Bölgeleri* Available: **https://osbbs.sanayi.gov.tr/citylist.aspx**

113. Kurumu, T. İ. (Erişim Tarihi: 29.07.2017). *Organize Sanayi Bölgelerinin Çevresel Harcamaları*. Available: **http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1441**

114. Müdürlüğü, M. G. (Erişim Tarihi: 15.07.2017). *Standart Yağış İndeksi Metoduna Göre 2017 Haziran Ayı Meteorolojik Kuraklık Durumu*. Available: **https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi.aspx**

115. Müdürlüğü, M. G. (Erişim Tarihi: 15.07.2017). *Yeni Senaryolarla Türküye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları*. Available: **https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi.aspx**

116. Müdürlüğü, M. G. (Erişim Tarihi: 10.07.2017). *2016 Yılı Yağış Değerlendirmesi* Available: **https://mgm.gov.tr/FILES/arastirma/yagis-degerlendirme/2016alansal.pdf**

117. Bölgesi, K. O. S. (Erişim Tarihi: 06.06.2017). *Firmaların Sektörlerde Dağılım Oranları*. Available: **http://kayseriosb.org/tr/5/Firmalar.html**

118. Store, D. Ç. (Erişim Tarihi: 12.07.2017). *Yatırımın Cazibe Merkezi KOSB - Kayseri Organize Sanayi Bölgesi*. Available: **http://www.demircelik.com.tr/haber_img/yatirimin-cazibe-merkezi-kosb--kayseri-organize-sanayi-bolgesi-6159.jpg**

119. Du, X., Qiu, X., Zhang, Y., Ni, J., 2015. Treatment and recycling of garment washing wastewater. **IDA Journal of Desalination and Water Reuse**: 2051645215Y. 0000000003.

120. Komesli, O. T., Muz, M., Ak, S., Gökçay, C. F., 2015. Prolonged reuse of domestic wastewater after membrane bioreactor treatment. **Desalination and Water Treatment, 53** (12): 3295-3302.

121. Ferrer, I., Zweigenbaum, J. A., Thurman, E. M., 2010. Analysis of 70 Environmental Protection Agency priority pharmaceuticals in water by EPA Method 1694. **Journal of Chromatography A, 1217** (36): 5674-5686.

122. İmer, D. Y., 2011. JET LOOP MEMBRAN BİYOREAKTÖR (JLMBR) SİSTEMİNDE MİKROFİLTRASYON MEMBRANLARININ KİRLENME ÖZELLİKLERİNİN MEMBRAN TİPİNE VE GÖZENEK BOYUTUNA

BAĞLI OLARAK İNCELENMESİ. GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ, MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, Doktora.

123. Debik, E., Kaykioglu, G., Coban, A., Koyuncu, I., 2010. Reuse of anaerobically and aerobically pre-treated textile wastewater by UF and NF membranes. **Desalination, 256** (1): 174-180.

124. Nataraj, S., Schomäcker, R., Kraume, M., Mishra, I., Drews, A., 2008. Analyses of polysaccharide fouling mechanisms during crossflow membrane filtration. **Journal of Membrane Science, 308** (1): 152-161.

125. Zhang, M., Liao, B.-q., Zhou, X., He, Y., Hong, H., Lin, H., Chen, J., 2015. Effects of hydrophilicity/hydrophobicity of membrane on membrane fouling in a submerged membrane bioreactor. **Bioresource technology, 175**: 59-67.

126. Tran, T., Bolto, B., Gray, S., Hoang, M., Ostarcevic, E., 2007. An autopsy study of a fouled reverse osmosis membrane element used in a brackish water treatment plant. **Water Research, 41** (17): 3915-3923.

127. Phuntsho, S., Lotfi, F., Hong, S., Shaffer, D. L., Elimelech, M., Shon, H. K., 2014. Membrane scaling and flux decline during fertiliser-drawn forward osmosis desalination of brackish groundwater. **Water research, 57**: 172-182.

128. Zhong, W., Li, H., Ye, Y., Chen, V., 2016. Evaluation of silica fouling for coal seam gas produced water in a submerged vacuum membrane distillation system. **Desalination, 393**: 52-64.

129. Juang, L.-C., Tseng, D.-H., Lin, H.-Y., 2007. Membrane processes for water reuse from the effluent of industrial park wastewater treatment plant: a study on flux and fouling of membrane. **Desalination, 202** (1): 302-309.

130. Song, Y., Xu, J., Xu, Y., Gao, X., Gao, C., 2011. Performance of UF–NF integrated membrane process for seawater softening. **Desalination, 276** (1–3): 109-116.

131. Zagklis, D. P., Vavouraki, A. I., Kornaros, M. E., Paraskeva, C. A., 2015. Purification of olive mill wastewater phenols through membrane filtration and resin adsorption/desorption. **Journal of hazardous materials, 285**: 69-76.

132. Gozálvez-Zafrilla, J. M., Sanz-Escribano, D., Lora-García, J., León Hidalgo, M. C., 2008. Nanofiltration of secondary effluent for wastewater reuse in the textile industry. **Desalination, 222** (1): 272-279.

133. Liu, M., Lü, Z., Chen, Z., Yu, S., Gao, C., 2011. Comparison of reverse osmosis and nanofiltration membranes in the treatment of biologically treated textile effluent for water reuse. **Desalination, 281**: 372-378.

134. Choi, J.-H., Ng, H. Y., 2008. Effect of membrane type and material on performance of a submerged membrane bioreactor. **Chemosphere, 71** (5): 853-859.

135. Turken, T., Sengur-Tasdemir, R., Koseoglu-Imer, D. Y., Koyuncu, I., 2015. Determination of filtration performances of nanocomposite hollow fiber

membranes with silver nanoparticles. **Environmental Engineering Science, 32** (8): 656-665.

136. Kimura, K., Okazaki, S., Ohashi, T., Watanabe, Y., 2016. Importance of the co-presence of silica and organic matter in membrane fouling for RO filtering MBR effluent. **Journal of Membrane Science, 501**: 60-67.

137. Bes-Piá, A., Iborra-Clar, A., García-Figueruelo, C., Barredo-Damas, S., Alcaina-Miranda, M., Mendoza-Roca, J., Iborra-Clar, M., 2009. Comparison of three NF membranes for the reuse of secondary textile effluents. **Desalination, 241** (1-3): 1-7.

138. Cirja, M., Ivashechkin, P., Schäffer, A., Corvini, P. F., 2008. Factors affecting the removal of organic micropollutants from wastewater in conventional treatment plants (CTP) and membrane bioreactors (MBR). **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 7** (1): 61-78.

139. 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.

140. Brepols, C., Schäfer, H., Engelhardt, N., 2010. Considerations on the design and financial feasibility of full-scale membrane bioreactors for municipal applications. **Water Science and Technology, 61** (10): 2461-2468.

141. Brepols, C., 2010. Operating large scale membrane bioreactors for municipal wastewater treatment. IWA publishing.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: İbrahim UYANIK
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 21 Temmuz 1984, Bakırköy/İstanbul
Medeni Durumu: Evli
Tel: +90 352 207 66 66 - 7498
Fax: ---
email: iuyanik@erciyes.edu.tr
Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 15 Temmuz Yerleşkesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 38039, Talas/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2017
Yüksek Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2012
Lisans	Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü (İngilizce)	2007
Lise	Ataşehir Lisesi	2000

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2012-Halen	Erciyes Üniversitesi Çevre Müh. Bölümü	Arş. Gör.
2010–2012	Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü	Arş. Gör.

YABANCI DİL

İngilizce, çok iyi.

SCI YAYINLAR

1. Özkan, O., & Uyanık, İ., "Effect of Membrane Type for the Treatment of Organized Industrial Zone (OIZ) Wastewater with a Membrane Bioreactor (MBR): Batch Experiments", WATER, Vol. *9,* No.8, 582. 2017.

2. Uyanik I., Özkan O., Koyuncu İ., "NF-RO Membrane Performance for Treating the Effluent of an Organized Industrial Zone Wastewater Treatment Plant: Effect of Different UF Types", WATER, vol.9 , no.506, pp.1-10, 2017
3. Özkan O., Oğuz M., Uyanik I., "Fish Processing Industry Wastewater Treatment By Sequencing Batch Reactor", Fresenius Environmental Bulletin, vol.25, pp.2687-2692, 2016.
4. Demirel S., Uyanik I., Çelikten H. , Yurtsever A., Uçar D. , "Simultaneous Bromate And Nitrate Reduction In Water Using Sulfur-Utilizing Autotrophic And Mixotrophic Denitrification Processes In A Fixed Bed Column Reactor", CLEAN-SOIL, AIR, WATER, vol.42, pp.1185-1189, 2014.
5. Uyanik İ., Özkaya B., Demir S. , Çakmakçı M., "Meteorologıcal Parameters as an Important Factor on the Energy Recovery of Landfill Gas In Landfills", Journal of Renewable and Sustainable Energy, vol.4, no.6, pp.1-9, 2012.