

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE ENERJİ İHTİYACININ AZALTILMASI
VE MEMBRAN YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMLERİNE DEĞİŞİK
YAKLAŞIMLAR**

DOKTORA TEZİ

Sedat SOYBAY

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

KASIM 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE ENERJİ İHTİYACININ AZALTILMASI
VE MEMBRAN YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMLERİNE DEĞİŞİK
YAKLAŞIMLAR**

DOKTORA TEZİ

**Sedat SOYBAY
(5018220011)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

KASIM 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 5018220011 numaralı Doktora Öğrencisi Sedat SOYBAY, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Membran Biyoreaktörlerde Enerji İhtiyacının Azaltılması ve Membran Yüzey Temizleme İşlemlerine Değişik Yaklaşımlar” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İsmail KOYUNCU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr.**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr.
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 EKİM 2016**
Savunma Tarihi : **09 KASIM 2016**

ÖNSÖZ

1982 yılında İTÜ, Fen Bilimler Enstitüsünde, Prof. Dr. Derin Orhon yönetiminde başlamış olduğum doktora programına, yoğun özel sektör çalışmalarım nedeniyle ara vermek zorunda kaldığım halde 33 yıl sonra bana cesaret vererek, bu programa kaldığım yerden devamına olanak sağlayan, destekleyen, yöneten, yönlendiren Prof. Dr. İsmail Koyuncu hocama, başlangıç çalışmalarındaki ilgi ve desteği için Prof. Dr. Derin Orhon'a, Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. İsmail Töröz'e ve verdiği destekler için Prof. Dr. Mehmet Karpuzcu'ya,

Pilot tesis çalışmalarını gerçekleştirdiğim Gebze Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü, Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi imkanlarının sağlanması için desteklerini esirgemeyen Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Vahit Yıldırım'a, Başkan Yardımcısı Sn. Ümit Şişmanoğlu'na, Bölge Müdürü Sn. Nil Sönmez'e, Çevre Mühendisi Sn. Funda Yılmaz'a,

MBR modülü otopsi çalışmaları, RO laboratuvar ölçekli çalışmalar ve analizler için değerli çabalarıyla yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. İsmail Koyuncu başkanlığında, Recep Kaya ve tüm MEM-TEK çalışanlarına,

Bu çalışmaya sponsorluk yapan Mass Arıtma İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş ve çalışma arkadaşlarım başta Erenşah Kaya, İsmail Aktaş, Tayfun Şahan olmak üzere, Mahir Yakın ve GOSB Atıksu Arıtma Tesisi çalışanlarına,

Baştan sona her konuda desteğini esirgemeyen sevgili ortağım Dr. Mithat Akkaya'ya,

Sevgili eşim Şehnaz Soybay'a candan destekleri için teşekkür ederim.

KASIM 2016

Sedat Soybay

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Anlamı ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ	5
2.1 Genel MBR Tanımı	5
2.1.1 Tasarım ve işletim parametresi	5
2.2 MBR Uygulamaları	5
2.2.1 MBR türleri.....	6
2.2.2 MBR sistemlerinin avantaj ve dezavantajları	7
2.3 MBR Sistemlerinde Tıkanıklık ve Çözüm Yöntemleri	8
2.3.1 Hava kabarcığı ile temizleme sistemi	9
2.3.2 Ses dalgası ile (ultrasonik) temizleme sistemi	11
2.3.3 Titreşim ile temizleme sistemi	14
2.3.4 Kimyasal yıkama yöntemi ile temizleme sistemi	14
2.4 Atıksu Geri Kazanımında Membran Uygulamaları.....	17
2.4.1 Membran tipleri	17
2.4.2 Membran modülleri	20
2.4.3 Membran teknolojileri	21
2.4.3.1 Mikrofiltrasyon (MF).....	21
2.4.3.2 Ultrafiltrasyon (UF)	21
2.4.3.3 Nanofiltrasyon (NF).....	22
2.4.3.4 Ters osmoz (RO).....	22
2.4.4 Ters osmoz (RO) ve kullanım alanları.....	22
2.5 MBR Biyoreaktörlerinde Enerji Tüketimi	23
3. MATERYAL VE METOT	25
3.1 GOSB Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Tanıtımı	25
3.2 MBR Pilot Tesis Sistemi	29
3.2.1 Sistemde kullanılan ekipmanlar ve aksesuarlar	33
3.3 MBR Pilot Tesis Çalışma Koşullarının Belirlenmesi, Tıkanıklık, Akı ve Enerji Mukayese Çalışmaları.....	41
3.3.1 Çalışma koşullarının belirlenmesi	41
3.3.1.1 Etkin temizlik sürelerinin belirlenmesi.....	41
3.3.1.2 MLSS konsantrasyonunun belirlenmesi	43
3.3.1.3 PAC 17 (poli alüminyum klorür) kullanımı	43

3.3.2	Tıkanıklık problemini azaltmaya yönelik çalışmalar.....	44
3.3.2.1	Hava kabarcığı ile temizleme sistemi (MBR-1)	44
3.3.2.2	Ses dalgası ile (ultrasonik) temizleme sistemi (MBR-2)	45
3.3.2.3	Titreşim ile temizleme sistemi (MBR-3)	48
3.3.2.4	Hava kabarcığı ve geri yıkama yöntemi ile temizleme sistemi (MBR-4)	51
3.3.3	Tıkanma problemini azaltmaya yönelik çalışmalarda akı mukayesesi.....	53
3.3.4	Tıkanma problemini azaltmaya yönelik çalışmalarda enerji mukayesesi.....	53
3.4	Membran Otopsisı.....	53
3.4.1	Taramalı elektron mikroskobu analizi	53
3.4.2	ICP analizi.....	54
3.5	Atıksu ve Arıtılmış Su Kalitesi	54
3.5.1	GOSB merkezi atıksu arıtma tesisi ve MBR pilot tesis çıkış suyu mukayesesi.....	56
3.6	Su Geri Kazanım Çalışmaları	56
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	61
4.1	MBR Pilot Tesiste, Tıkanıklık Problemini Azaltan ve Düşük Enerji İhtiyacı Gerektiren Yeni Yöntemlerin Denenmesi ve Elde Edilen Sonuçlar	61
4.1.1	Çalışma koşullarının belirlenmesi	64
4.1.1.1	MLSS konsantrasyonun akıya etkisi.....	64
4.1.1.2	Çalışma süresinin akıya etkisi.....	67
4.1.1.3	PAC ilavesinin etkisi	70
4.1.2	Uzun süreli akı verileri	73
4.1.2.1	MBR-1’de yapılan çalışmalar	73
4.1.2.2	MBR-2’de yapılan çalışmalar	75
4.1.2.3	MBR-3’te yapılan çalışmalar	77
4.1.2.4	MBR-4’te yapılan çalışmalar	81
4.1.2.5	Uzun süreli akı değerleri mukayesesi	84
4.1.3	Tıkanmayı azaltmaya yönelik çalışmalarda enerji verileri	89
4.1.3.1	MBR-1 enerji verileri.....	89
4.1.3.2	MBR-2 enerji verileri.....	90
4.1.3.3	MBR-3 enerji verileri.....	91
4.1.3.4	MBR-4 enerji verileri.....	94
4.1.3.5	Tıkanmayı azaltmaya yönelik çalışmalarda enerji mukayesesi.....	95
4.1.4	MBR modülleri otopsi çalışmaları.....	97
4.1.4.1	MBR modülleri inceleme.....	97
4.1.4.2	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi sonuçları.....	102
4.1.4.3	Enerji dağılımlı x-ışınları spektrofotometrisi analizi (EDS)	104
4.1.4.4	Konfokal mikroskop analizi.....	110
4.1.4.5	ICP analizi.....	112
4.3	MBR İle Arıtılmış Su Kalitesi	113
4.3.1	GOSB merkezi atıksu arıtma tesisi ve MBR pilot tesis çıkış suyu karakterizasyonlarının mukayesesi	118
4.4	Su Geri Kazanım Çalışmaları	120
4.4.1	Laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli ters osmoz çalışmaları	121

4.4.1.1	Laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli ters Osmoz bulanıklık, iletkenlik ve giriş ve çıkış suyu test sonuçları ...	122
4.5	GOSB Atıksu Arıtma Tesisinde Su Geri Kazanım Uygulama Maliyet Analizi	125
4.4.1	Yapım ve işletme	125
4.4.1.1	Geri kazanım tesisi yatırım maliyeti kapsamı	125
4.4.1.2	Geri kazanım tesisi işletme maliyeti kapsamı	126
5.	SONUÇLAR	129
5.1	Çalışma Koşullarının Belirlenmesi	129
5.2	Tıkanmanın Önlenmesine Yönelik Çalışmalar	130
5.3	Atıksu ve Arıtılmış Su Kalitesi	132
5.4	Membran Otopsisı	133
5.5	Ters Osmoz Çalışması	134
	KAYNAKLAR	135
	ÖZGEÇMİŞ	147

KISALTMALAR

AAT	: Atıksu arıtma tesisi
AeMBR	: Aerobik MBR
AKM	: Askıda katı madde
Al	: Alüminyum
AnMBR	: Anaerobik MBR
At	: Atom sayısı olarak oran
Au- Pd	: Altın- paladyum
B	: Şehir / belediye
BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
CIP	: Yerde kimyasal temizlik
Cl	: Klor
Cn	: Siyanür
Cr₊₆	: Krom Altı
Cu	: Bakır
Da	: Atomik kütle birimi
DC	: Doğru akım
E	: Evsel
EDS	: Enerji dağılımlı x-ışınları spektrofotometrisi analizi
EDTA	: Etilendiamin tetra asetik asit
EN	: Endüstriyel
Ex-MBR	: Harici MBR
F/M	: Organik madde/ bakteri kütlesi oranı
Fe	: Demir
Fl	: Florür
FS	: Düz plaka tip
FSC	: Düz plaka tip seramik membran
G	: Evrensel çekim sabiti
GAK	: Granül aktif karbon
GOSB	: Gebze Organize Sanayi Bölgesi
HF	: İçi boş lif modülü
HNO₃	: Nitrik asit
HRT	: Hidrolik bekletme süresi
ICP	: İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
k W	: Kilowatt
LE	: Düşük enerji
MBR	: Membran biyoreaktör
MBR-1	: Hava kabarcığı ile temizleme sistemi uygulanan membran tankı
MBR-2	: Ses dalgası ile temizleme sistemi uygulanan membran tankı
MBR-3	: Titreşim ile temizleme sistemi uygulanan membran tankı
MBR-4	: Hava kabarcığı ve geri yıkama yöntemi ile temizleme sistemi uygulanan membran tankı

MF	: Mikrofiltrasyon
Mg	: Magnezyum
MgSO₄	: Magnezyum sülfat
MLSS	: Askıda katı madde konsantrasyonu
MLVSS	: Uçucu askıda katı madde konsantrasyonu
MMV	: Manyetik kaynaklı titreşim sistemleri
Mn	: Mangan
MWCO	: Molekül ağırlığı ayırma sınıfı
N	: Nehir suyu
Na	: Sodyum
NaCl	: Sodyum klorür
NaClO	: Sodyum hipoklorit
NaOH	: Sodyum hidroksit
NF	: Nanofiltrasyon
NTU	: Nefelometrik bulanıklık birimi
Ni	: Nikel
O₂	: Oksijen
OSB	: Organize sanayi bölgesi
OPM	: Optik darbe cihazı birimi (dakikadaki elektron yörüngesi)
PAC	: Poli alüminyum klorür
Pb	: Kurşun
PE	: Polietilen
PES	: Poli eter sülfon (Poliester)
pH	: Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimi
PP	: Polipropilen
PU	: Poliüretan
Px	: Fazla çamur miktarı
Q	: Debi
RO	: Ters Osmoz
RPM	: Dakikadaki devir sayısı
S	: Sentetik
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu analizi
Si	: Silisyum
So	: Giriş KOI miktarı
SRT	: Çamur yaşı
STP	: Sodyum Tripolifosfat
T.Cn	: Toplam siyanür
T.Cr	: Toplam krom
Ti	: Titanyum
T.N	: Toplam azot
T.P	: Toplam fosfor
TAK	: Toz aktif karbon
TM	: Tüp tipi membran
UF	: Ultrafiltrasyon
P	: Fosfor
VHFM	: Titreşimli içi boş fiber membran modülü
VSEP	: Titreşimli kayma geliştirilmiş proses
W	: Watt
Wt	: Ağırlıkça oran
Zn	: Çinko

SEMBOLLER

A	: Toplam membran yüzey alanı (m^2)
F/M	: Organik madde/ bakteri kütlesi oranı
H	: Yükseklik
Jt	: t zamandaki anlık süzüntü suyu akısı (lt/m^2 -saat)
L	: Uzunluk
Px	: Fazla çamur miktarı
Q	: Debi
Qe	: Arıtılmış su debisi
Qi	: Giriş debisi
Qp	: t zamandaki anlık süzüntü suyu debisi (lt/ m^2)
Qw	: Atıksu debisi
So	: Giriş KOİ miktarı
V	: Hacim
W	: Genişlik
X	: Askıda katı madde konsantrasyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Çalışma amaç ve kapsamı.	4
Çizelge 2.1 : Dahili ve harici MBR'ların karşılaştırılması.	7
Çizelge 2.2 : MBR sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.	8
Çizelge 2.3 : Literatürde yer alan membran filtrasyon ve temizleme süreleri.	10
Çizelge 2.4 : Ses dalgası ile temizleme sistemini etkileyen faktörler.	13
Çizelge 2.5 : Titreşim sistemleri özet tablosu.	15
Çizelge 2.6 : MBR sistemlerine koagülant eklenmesi ve temizleme verimi.	18
Çizelge 2.7 : Literatürde yer alan MBR üreticilerinin tavsiye ettiği kimyasal temizleme sistemleri.	19
Çizelge 2.8 : Literatürde yer alan çeşitli evsel MBR sistemlerinin enerji tüketimleri özet tablosu.	24
Çizelge 3.1 : GOSB atıksu arıtma tesisi giriş atıksu değerleri.	28
Çizelge 3.2 : GOSB atıksu arıtma tesisi çıkış suyu değerleri.	29
Çizelge 3.3 : MBR pilot tesis işletme koşulları.	31
Çizelge 3.4 : MBR Pilot tesis çalışmalarında kullanılan ekipman ve aksesuarlar.	34
Çizelge 3.5 : Pilot tesis çalışmalarında kullanılan membran modülü özellikleri.	38
Çizelge 3.6 : Pilot tesis çalışmalarında kullanılan seramik membran modülü özellikleri.	39
Çizelge 3.7 : Filtrasyon ve etkin temizlik evrelerinde devrede olan sistemler özet tablosu.	44
Çizelge 3.8 : Analiz metotları.	55
Çizelge 3.9 : MBR pilot tesis çalışma süresince ölçülen parametreler, ölçüm noktaları ve ölçüm sıklıkları (tüm numuneler anlık olarak alınmıştır.).	56
Çizelge 3.10 : Laboratuvar ölçekli filtrasyon sisteminin teknik özellikleri.	58
Çizelge 3.11 : Laboratuvar ölçekli RO çalışmasında kullanılan DOW XLE membranının özellikleri.	59
Çizelge 3.12 : Laboratuvar ölçekli RO çalışmasında kullanılan BW30 membranının özellikleri.	59
Çizelge 3.13 : RO pilot tesis çalışmalarında kullanılan membran özellikleri.	60
Çizelge 4.1 : Ekstraksiyon sonucu MBR-1 ve MBR-4 membran yüzeylerinden elde edilen kirlilik değerleri.	112
Çizelge 4.2 : MBR pilot tesis çalışma süresince elde edilen çıkış suyu kalite değerleri.	113
Çizelge 4.3 : MBR pilot tesis çalışma süresince elde edilen MBR ve GOSB arıtma çıkış suyu kalite değerleri.	118
Çizelge 4.4 : BW30, Dow XLE ve Lanxess membranları konsantre ve çıkış suları bulanıklık değerleri.	122
Çizelge 4.5 : BW30, Dow XLE ve Lanxses membranları konsantre ve çıkış suları iletkenlik değerleri.	122

Çizelge 4.6 : BW30, Dow XLE ve Lanxsess membranları konsantre ve çıkış suları KOİ değerleri	123
Çizelge 4.7 : RO Sistemi giriş atıksu değerleri.....	124
Çizelge 4.8 : RO sistemi çıkış suyu değerleri.	124
Çizelge 4.9 : GOSB AAT geri kazanım tesisi kapasite bilgileri.....	125
Çizelge 4.10 : GOSB Atık su AAT su geri kazanım yatırım maliyeti kapsamı.	126
Çizelge 4.11 : GOSB AAT su geri kazanım işletme giderleri.	127

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : MBR sistemi akım şeması.	6
Şekil 2.2 : Harici MBR şematik görünümü.	7
Şekil 2.3 : Dahili MBR şematik görünümü.	7
Şekil 2.4 : Geri yıkama sistemi şematik görünümü. (a) Pompa ile geri yıkama sistemi (b) statik basınç ile geri yıkama sistemi.	17
Şekil 2.5 : Başlıca membran tiplerinin şematik gösterimi.	20
Şekil 2.6 : Membran uygulamalarında kullanılan içi boş lif modülü görünümü.	20
Şekil 2.7 : Membran uygulamalarında kullanılan levha- çerçeve modülü görünümü.	20
Şekil 2.8 : Membran uygulamalarında kullanılan spiral sargı modülü görünümü.	21
Şekil 2.9 : Membran uygulamalarında kullanılan borusal modül görünümü.	21
Şekil 2.10 : RO Sistemi şematik görünümü.	22
Şekil 2.11 : 2007-2010 yılları arasında Heenvliet'te düz plaka tip membran kullanılarak işletilen MBR sisteminin enerji tüketim birleşenleri dağılımları.	23
Şekil 3.1 : GOSB atıksu arıtma tesisi görünümü.	25
Şekil 3.2 : Gebze organize sanayi bölgesi pilot tesisin yeri.	26
Şekil 3.3 : GOSB atıksu arıtma tesisi blok diagramı.	27
Şekil 3.4 : Pilot tesiste PAC kullanımı öncesi olumsuz köpürme koşulları ve PAC kullanımı sonucu.	30
Şekil 3.5 : MBR pilot tesis şematik görünümü.	31
Şekil 3.6 : MBR pilot tesis genel görünümü.	32
Şekil 3.7 : MBR pilot tesis genel görünümü.	32
Şekil 3.8 : MBR pilot tesisi blok diagramı.	33
Şekil 3.9 : PES membran modülü.	38
Şekil 3.10 : Seramik membran modülü görünüşleri.	39
Şekil 3.11 : MBR-1 hava kabarcığı ile temizleme sistemi tank görünümü.	45
Şekil 3.12 : MBR-1 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünüşleri.	45
Şekil 3.13 : Ses dalgası çalışmaları sırasında zarar gören membran modülü.	46
Şekil 3.14 : Mobil ultrasonik ses dalgası cihazı.	46
Şekil 3.15 : Seramik membran modülü.	47
Şekil 3.16 : Seramik membran geri yıkama hattı görünümü.	47
Şekil 3.17 : MBR-2 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünüşleri.	48
Şekil 3.18 : (A-B) Ultrasonik yıkama modülü uygulaması sonucu seramik membran görünüşleri.	48
Şekil 3.19 : Titreşim motorları görünümü.	49

Şekil 3.20 :	MBR-3 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünümleri.....	50
Şekil 3.21 :	MBR-1-3-4 (kombine) sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünümleri.	51
Şekil 3.22 :	100 litrelik geri yıkama PE tank görünümü.....	52
Şekil 3.23 :	MBR-4 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünümleri.....	52
Şekil 3.24 :	(A)Taramalı elektron mikroskobu ve (B) Au-Pd kaplama cihazı.....	53
Şekil 3.25 :	GOSB AAT'ye kurulacak geri kazanım tesisi proses şeması.....	57
Şekil 3.26 :	Filtrasyon deney düzeneğinin hazırlanma aşamaları.....	58
Şekil 3.27 :	Pilot ölçekli RO sistemi görünümleri.....	60
Şekil 4.1 :	MBR pilot tesis çalışma süresince reaktördeki MLSS ve MLVSS değerleri.....	62
Şekil 4.2 :	MBR pilot tesis çalışma süresince reaktördeki su sıcaklık değerleri.....	62
Şekil 4.3 :	MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu pH değerleri.....	63
Şekil 4.4 :	MBR pilot tesis çalışma süresince reaktördeki ve MBR tanktaki oksijen değerleri.....	63
Şekil 4.5 :	15.000 mg/l MLSS'te yapılan çalışmada akı değerleri.....	64
Şekil 4.6 :	12.000 mg/l MLSS'te yapılan çalışmada akı değerleri.....	65
Şekil 4.7 :	MBR-1'de 15.000 mg/l ve 12.000 mg/l MLSS'te akı mukayesesi.....	65
Şekil 4.8 :	MBR-2'de 15.000 mg/l ve 12.000 mg/l MLSS'te akı mukayesesi.....	66
Şekil 4.9 :	MBR-3'te 15.000 mg/l ve 12.000 mg/l MLSS'te akı mukayesesi.....	66
Şekil 4.10 :	MBR-4'te 15.000 mg/l ve 12.000 mg/l MLSS'te akı mukayesesi.....	67
Şekil 4.11 :	45 dk filtrasyon 15 dk akı kesilerek yapılan çalışmada akı değerleri.....	68
Şekil 4.12 :	12 dk filtrasyon 3 dk akı kesilerek yapılan çalışmada akı değerleri.....	68
Şekil 4.13 :	10 dk filtrasyon 5 dk akı kesilerek yapılan çalışmada akı değerleri.....	69
Şekil 4.14 :	15 dk filtrasyon 5 dk akı kesilerek yapılan çalışmada akı değerleri.....	69
Şekil 4.15 :	PAC'sız çalışma akı değerleri (SRT: 22 gün).....	70
Şekil 4.16 :	PAC'lı çalışma akı değerleri (SRT: 22 gün).....	71
Şekil 4.17 :	MBR-1'de PAC'sız ve PAC'lı çalışma akı mukayesesi (SRT: 22 gün).....	71
Şekil 4.18 :	MBR-2'de PAC'sız ve PAC'lı çalışma akı mukayesesi (SRT: 22 gün).....	72
Şekil 4.19 :	MBR-3'te PAC'sız ve PAC'lı çalışma akı mukayesesi (SRT: 22 gün).....	72
Şekil 4.20 :	MBR-4'te PAC'sız ve PAC'lı çalışma akı mukayesesi (SRT: 22 gün).....	72
Şekil 4.21 :	MBR-1 Scada ekran görüntüsü.....	73
Şekil 4.22 :	MBR-1 saatlik debi trendi.....	73
Şekil 4.23 :	MBR-1 bir günlük debi trendi.....	74
Şekil 4.24 :	MBR-1 akı değişimi (SRT: 22 gün).....	74
Şekil 4.25 :	MBR-2 Scada ekran görüntüsü.....	75
Şekil 4.26 :	MBR-2 saatlik debi trendi.....	75
Şekil 4.27 :	MBR-2 günlük debi trendi.....	76

Şekil 4.28 : MBR-2 akı değişimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).....	76
Şekil 4.29 : Seramik membran çalışmasında iki aylık izleme süresindeki akı değişimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).....	77
Şekil 4.30 : MBR-3 Scada ekran görüntüsü.....	77
Şekil 4.31 : MBR-3 saatlik debi trendi.....	78
Şekil 4.32 : MBR-3 günlük debi trendi.....	78
Şekil 4.33 : MBR-3 akı değerleri (SRT: 22 gün).....	79
Şekil 4.34 : MBR-3'e geri yıkama etkisi sonucu akı değerleri (100 mg/l PAC ilaveli çalışma. SRT: 22 gün).....	79
Şekil 4.35 : MBR-3'e hava kabarcığı ile temizleme etkisi sonucu akı değerleri (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).....	80
Şekil 4.36 : 80 Watt titreşim motoru gücünün akıya etkisi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).....	80
Şekil 4.37 : 160 Watt titreşim motoru gücünün akıya etkisi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).....	81
Şekil 4.38 : MBR-4 Scada ekran görüntüsü.....	82
Şekil 4.39 : MBR-4 saatlik debi trendi.....	82
Şekil 4.40 : MBR-4 günlük debi trendi.....	82
Şekil 4.41 : MBR-4 akı değişimi (SRT: 22 gün).....	83
Şekil 4.42 : MBR-4'te iki farklı geri yıkama periyodunda akı değerleri (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).....	84
Şekil 4.43 : Scada ana ekran görüntüsü.....	85
Şekil 4.44 : Saatlik debi trendleri.....	85
Şekil 4.45 : Günlük debi trendleri.....	85
Şekil 4.46 : Akı değerleri (SRT: 22 gün).....	86
Şekil 4.47 : Çalışma süresince elde edilen ortalama akı değerleri.....	86
Şekil 4.48 : MBR-3'te 4 m ³ /saat sürekli hava akısı verilmesi sonucu akı mukayesesi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).....	87
Şekil 4.49 : 80 Watt ve 160 Watt titreşim gücünün akı mukayesesi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).....	88
Şekil 4.50 : MBR-4'te iki farklı geri yıkama periyodunda akı değerleri (100 mg/l PAC ilaveli çalışma. SRT: 22 gün).....	88
Şekil 4.51 : MBR-1 enerji tüketim bileşenleri dağılımları.....	89
Şekil 4.52 : MBR-1 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi.....	89
Şekil 4.53 : MBR-2 enerji tüketim bileşenleri dağılımları.....	90
Şekil 4.54 : MBR-2 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).....	90
Şekil 4.55 : MBR-2 iki aylık izleme süresindeki birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).....	91
Şekil 4.56 : MBR-3 enerji tüketim bileşenleri dağılımları.....	92
Şekil 4.57 : MBR-3 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi.....	92
Şekil 4.58 : MBR-3'te hava kabarcığı ve titreşimin aynı anda uygulanması sonucu birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).....	92
Şekil 4.59 : MBR-3'te 80 watt titreşimin birim arıtılmış su başına enerji tüketimine etkisi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).....	93
Şekil 4.60 : MBR-3'te 160 watt titreşimin birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).....	93
Şekil 4.61 : MBR-4 enerji tüketim bileşenleri dağılımları.....	94

Şekil 4.62 :	MBR-4 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi.	94
Şekil 4.63 :	Birim arıtılmış su başına enerji tüketimleri.	95
Şekil 4.64 :	Birim arıtılmış su başına ortalama enerji tüketimleri.	96
Şekil 4.65 :	MBR-2 ve MBR-1 sistemlerinde iki aylık birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).	96
Şekil 4.66 :	MBR-3'te 80 watt ve 160 watt gücünde titreşim motorunun birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma.)	97
Şekil 4.67 :	MBR-1 ve MBR-4 modüllerinin teslim anındaki görünüşleri.	98
Şekil 4.68 :	MBR-1 modülün koruyucu kabuklarının açılması görüntüleri.	98
Şekil 4.69 :	MBR-4 modülün koruyucu kabuklarının açılması görüntüleri.	98
Şekil 4.70 :	MBR-1 modül levha görüntüleri-1.	99
Şekil 4.71 :	MBR-1 modül levha görüntüleri-2.	99
Şekil 4.72 :	MBR-1 modül levha görüntüleri-3.	99
Şekil 4.73 :	MBR-1 modül levha görüntüleri-4.	99
Şekil 4.74 :	MBR-1 modül levha görüntüleri-5.	100
Şekil 4.75 :	MBR-4 modül levha görüntüleri-1.	100
Şekil 4.76 :	MBR-4 modül levha görüntüleri-2.	100
Şekil 4.77 :	MBR-4 modül levha görüntüleri-3.	100
Şekil 4.78 :	MBR-4 modül levha görüntüleri-4.	101
Şekil 4.79 :	MBR-4 modül levha görüntüleri-5.	101
Şekil 4.80 :	MBR-1 membran yüzeyinin 200000X, 100000X, 50000X, 25000X, 10000X, 5000X, 2500X ve 1000X büyütülmüş SEM görüntüleri.	103
Şekil 4.81 :	MBR-4 membran yüzeyinin 200000X, 100000X, 50000X, 25000X, 10000X, 5000X, 2500X ve 1000X büyütülmüş SEM görüntüleri.	104
Şekil 4.82 :	MBR-1 membran yüzeyinden 10000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları.	106
Şekil 4.83 :	MBR-1 membran yüzeyinden 1000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları.	107
Şekil 4.84 :	MBR-4 membran yüzeyinden 10000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları.	108
Şekil 4.85 :	MBR-4 membran kek tabakasından 10000X büyütmeyle alınmış haritalanmaya ait EDS sonuçları.	109
Şekil 4.86 :	MBR-1 membran yüzeyinden 1000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları.	110
Şekil 4.87 :	MBR-4 membran yüzeyinden 1000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları.	110
Şekil 4.88 :	MBR-1 membran yüzeyi konfokal mikroskop görüntüsü.	111
Şekil 4.89 :	MBR-4 membran yüzeyi konfokal mikroskop görüntüsü.	111
Şekil 4.90 :	MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık toplam azot değerleri (T.N) (SRT: 22 gün).	114
Şekil 4.91 :	MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık toplam fosfor değerleri (T.P) (SRT: 22 gün).	114
Şekil 4.92 :	MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri (KOİ) (SRT: 22 gün).	115
Şekil 4.93 :	MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık biyolojik oksijen ihtiyacı değerleri (BOİ) (SRT: 22 gün).	115
Şekil 4.94 :	MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık askıda katı madde değerleri (AKM) (SRT: 22 gün).	116

Şekil 4.95 : MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık elektriksel iletkenlik değerleri (SRT: 22 gün).	116
Şekil 4.96 : MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık yağ ve gres değerleri (SRT: 22 gün).	117
Şekil 4.97 : MBR pilot tesis PAC'sız ve PAC'lı çalışma çıkış suyu kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri (KOİ).	117
Şekil 4.98 : MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri (KOİ) (SRT: 22 gün).	118
Şekil 4.99 : MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık biyolojik oksijen ihtiyacı değerleri (BOİ) (SRT: 22 gün).	119
Şekil 4.100 : MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık askıda katı madde değerleri (AKM) (SRT: 22 gün).	119
Şekil 4.101 : MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık toplam azot değerleri (T.N) (SRT: 22 gün).	120
Şekil 4.102 : MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık toplam fosfor değerleri (T.P) (SRT: 22 gün).	120
Şekil 4.103 : Farklı basınç kademelerinde BW 30 , Dow XLE membranlarının ve sabit basınçta Lanxess membranının performans karşılaştırma grafiği.	121
Şekil 4.104 : GOSB AAT geri kazanım kapsamı.	126

MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE ENERJİ İHTİYACININ AZALTILMASI VE MEMBRAN YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMLERİNE DEĞİŞİK YAKLAŞIMLAR

ÖZET

Su kaynaklarının azalması, sanayileşme, nüfus artışı, çevre yönetim ve denetim sistemlerinin daha hassas hale gelmesi gibi faktörler nedeniyle atıksuyun ileri arıtımı, geri kazanımı ve alternatif su kaynakları sağlayan teknolojiler günümüzde önemli hale gelmiştir.

Biyolojik arıtma tesislerinde neredeyse klasik hale gelmiş olan konvansiyonel aktif çamur proseslerine, membran biyoreaktörler (MBR) alternatif olmaya başlamış, biyolojik arıtma prosesinin bir bölümünü teşkil eden biyokütlenin sudan ayrılması amacıyla kullanılan çökeltim tanklarının yerini biyomembranlar almaya başlamıştır. Gerek çökeltim tankına ihtiyaç kalmaması, gerekse yüksek aktif çamur konsantrasyonları ile çalışma avantajı, az yer tutan, yüksek verimli, membran biyoreaktör uygulamalarına olanak sağlamıştır. MBR'ler, mevcut konvansiyonel aktif çamur sistemlerinin, ileri teknoloji içerecek şekilde MBR sistemlerine modifikasyonuna da olanak sağlamıştır.

Polimer endüstrisindeki gelişmeler ile membran sistemleri günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. MBR'lerin alan ihtiyacının az olması, yüksek oranda katı madde giderimi sağlaması, yüksek çamur yaşı nedeniyle daha az çamur üretimi olması, mevcut sistemlere adaptasyonun kolaylıkla yapılabilmesi ve dezenfeksiyon gerektirmeden mikroorganizma giderimi yapılabilmesi sebebiyle tercih sebeplerindendir. Ülkemiz su stresi altında ülkeler arasında olduğu için su geri kazanımı sağlayan membran sistemleri önem arz etmektedir.

MBR kullanımının en önemli dezavantajı tıkanıklık problemidir. Tıkanıklık probleminin verimli bir şekilde çözülebilmesi ve düşük enerji ihtiyacı gerektiren yeni yöntemlerin ortaya çıkarılması MBR'lerin daha yaygın ve ekonomik bir şekilde kullanımını mümkün kılacaktır. Bu çalışmanın birinci bölümünde; membran yüzey temizleme amacıyla hava kabarcığı ile temizleme sistemi (MBR-1), ses dalgası ile temizleme sistemi (MBR-2), titreşim ile temizleme sistemi (MBR-3) ve kimyasal yıkama yöntemi ile temizleme sistemi (MBR-4) gibi yöntemlerin denenerek, her metodun birbiri ile karşılaştırması ve birkaç metodun aynı anda kullanılarak enerji ihtiyacının düşürülmesi amaçlanmıştır; işletme maliyetlerinin düşürülmesi için gerekli tespitler yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında kurulan pilot tesis, bir yıl boyunca Gebze Organize Sanayi Bölgesi (GOSB)'nde bulunan Atıksu Arıtma tesisinde işletilmiştir. GOSB'de gıda, ilaç, boya, kozmetik, yapı kimyasalları gibi farklı sektörlerden 192 sanayi tesisi bulunduğu için endüstriyel atıksu karakteristiği değişkendir. MBR'lerin karışık ve değişken karakterli bu endüstriyel atıksudaki performansının da araştırılabilmesi için GOSB atıksu arıtma tesisi seçilmiştir. Pilot tesiste düz plakalı tip, batık PES

membran modülleri kullanılmıştır. Ses dalgası ile temizleme sisteminde PES membran modülü zarar gördüğü ve etkili temizlik yapılamadığı için sesi yansıtan seramik membran ile kısa süreli çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ile ses dalgasının PES membran modülünde etkili olmadığı, seramik membranda etkili olduğu görülmüştür. İleride ses dalgası ile temizleme sistemi için seramik membran kullanımı üzerine çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Pilot tesis devreye alındığında köpük gibi problemlerle karşılaşmış, bu duruma çözüm olarak PAC17 reaktöre eklenmiştir. PAC17 kullanımı ile birlikte karşılaşılan problemler ortadan kalkmıştır. Sistemde PAC17 kullanımı ile birlikte olumsuzlukların ortadan kalkması ile akı değerlerinde ciddi artışlar görülmüştür ve dolayısıyla enerji tüketimlerinde de azalma gözlenmiştir. Bu çalışmada endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde MBR uygulamalarında koagulantın çok etkin problem çözücü ve işletme şartlarını rahatlatıcı olduğu tespit edilmiştir.

Pilot tesis çalışmasında 12.000-15.000 mg/L aralığında çeşitli MLSS konsantrasyonları denenmiş ve en etkin konsantrasyon olan 12.000 mg/l'de çalışmaya devam edilmiştir. Bu çalışma ile MLSS konsantrasyonu arttıkça akının azaldığı görülmüştür.

Pilot tesis çalışmasında 45 dakika filtrasyon-15 dakika temizlik, 12 dakika filtrasyon-3 dakika temizlik, 10 dakika filtrasyon- 5 dakika temizlik ve 15 dakika filtrasyon- 5 dakika temizlik olmak üzere çeşitli etkin temizlik süreleri denenmiş; en etkin temizlik süresinin 15 dakika filtrasyon ve 5 dakika etkin temizlik olarak bulunmuştur.

Pilot tesis çalışmasında etkin temizlik sürelerinin belirlenmesi, MLSS konsantrasyonlarının belirlenmesi, PAC kullanımı gibi çalışma koşullarının belirlenmesi ile seçilen dört metodun uzun süreli akı ve enerji mukayeseleri yapılmıştır. Hava kabarcığı, titreşim ve kimyasal geri yıkamanın beraber uygulandığı temizleme metodunun en etkili yöntem olduğu saptanmış, tıkanıklıkta kimyasal geri yıkamanın çok etkili olduğu kanıtlanmıştır.

Pilot tesis çalışması sonunda kullanılan MBR-1 ve MBR-4 membran modüllerine tıkanıklık sebeplerinin araştırılması için otopsi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucu en temel kirleticilerin karbon, alüminyum, silisyum ve fosfor; ikincil kirletici olarak da potasyum, azot, kalsiyum magnezyum ve titanyum olduğu bulunmuştur. Bu veriler değerlendirildiğinde bu kirleticilerin boya sektörü, kimya sektörü, kozmetik sektörü ve gıda sektörü kaynaklı olduğu bulunmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde; MBR pilot tesis çalışması süresince, değişken debi ve ham atıksu karakteristik özelliği bulunan tesiste çıkış suyu incelenmiştir. MBR pilot tesis çalışmasında PAC'ın etkisi, su sıcaklığı, oksijen, MLSS, MLVSS kontrolü yapılmış, su kalitesinin belirlenmesi için giriş ve çıkış suyunda analizler yapılmıştır. MBR pilot tesisi ve GOSB AAT'ne ait çıkış suyu kaliteleri mukayese edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; suyun geri kazanımı çalışmaları yapılmıştır. MBR çıkış suyu kullanılarak, laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli ters osmoz (RO) geri kazanım çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen verilere dayanarak GOSB AAT çıkış suyunun geri kazanılması amacıyla mevcut arıtma tesisi ile ilişkili, 2400 m³/gün kapasiteli MBR ve RO sistemlerinin kurulumuna karar verilmiştir. Çalışmada; deney sonuçları, kurulum ve işletme bilgilerine de yer almaktadır.

REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN MBR SYSTEMS AND DIFFERENT APPROACHES OF MEMBRANE SURFACE CLEANING SYSTEMS

SUMMARY

The technologies that enables advanced wastewater treatment, recovery of water and alternative water resources become important due to the such factors, reduction of fresh water resources, industrialization, population growth, become more sensitive of environmental management and control systems.

Membrane bioreactor begin to take place of conventional activated sludge processes which has become almost classical in the biological treatment plant .

Biomembranes begin to take the place of sedimentation tanks that used for the separation of biomass from water in a part of biological treatment process. Thus the applications of high efficient membrane bioreactors which occupy less space are started with operating with high MLSS concentrations. Membrane bioreactors which include advanced technologies enable modifications of existing conventional activated sludge systems, too.

Membrane systems are started to be widely used today with the development of polymer industry. Needed small footprint in the membrane systems, removal of high TSS, less sludge production due to the high sludge age, easy modularity to existing systems and removal of microorganisms without disinfections are the preferred reasons of using membranes bioreactors. Membrane bioreactors which enable recovery of water is important in our country that is among the countries under water stress.

Fouling problem is the most important disadvantages of using MBR. The using of membrane bioreactors will be more common and economic with the solving of fouling problems in an efficient manner and researching new cleaning methods that need low energy consumption. In the first section of this study, in air scouring (MBR-1), cleaning system with ultrasound (MBR-2), cleaning system with vibration (MBR-3) and chemically enhanced backwash cleaning system (MBR-4) are tried for the purpose of membrane surface cleaning systems, and investigate their effectiveness with each other and aimed to reduce energy consumption with using some methods together at the same time. Needed determinations are done to decrease of operating costs.

In the scope of this research, pilot plant is operated for one year at the industrial wastewater treatment plant which placed in Gebze industrial zone. Industrial wastewater characteristic is variable for the reason of 192 pieces factories from different sectors such as food, pharmaceutical, paint and cosmetics industries at the Gebze organized industrial zone.

GOSB wastewater treatment plant is selected to investigate the performance of membrane bioreactors in the mixed and variable characteristic of this industrial wastewater.

PES flat-sheet submerged membrane modules are used at the pilot plant. Since ceramic is the one of the membrane materials having high-sound reflecting properties thus, high cleaning efficiency and tests indicated that ultrasounic cleaning system damages PES membrane, ceramic membrane is used for a while for ultrasound application. Future researches are needed for using ultrasonic cleaning system on ceramic membranes.

To overcome problems such as foam in the pilot plant, PAC17 is added to the reactor as a solution of this situation. With the using of PAC17 in the system, problems are eliminated and significant increase on flux is observed and Correspondingly unit energy consumption decreased. This research proved that coagulants are effective problem solver and relaxing of operating conditions in MBR applications at industrial wastewater treatment plants.

In the range of 12.000-15.000 mg/L several MLSS concentrations are tested in the pilot plant study and the study continue with 12.000 mg/l that is the most efficient concentration. This study showed that flux decrease with inceasing of MLSS concentration.

The respective filtration and cleaning durations of 45 min and 15 min; 12 min and 3 min; 10 min and 5 min; 15 min and 5 min are tested in the pilot plant study; it is found that most effective period is 10 min filtration and 5 min cleaning.

Comparison of long period flux and energy for selected four methods in the pilot plant study is done with the determination of operation conditions such effective cleaning duration, MLSS concentrations and using PAC.

The most efficient cleaning method is found as chemically enchanced backwash together with constantly induced air and vibration. It is proved that chemically enchanced backwash is very effective for fouling.

Autopsy studies are done to membrane modules that used at pilot plant to investigate the reasons of fouling reasons. It is found that predominantly contaminants are carbon, aluminum, silicone and phosphorous and secondarily contaminants are potassium, nitrogen, calcium, manganese and titanium. When these date evaluated, it is found that the resources of this contaminants are paint sector, chemical sector, cosmetic sector and food sector.

In the second section of this study; effluent water is investigated at the MBR pilot plant that has variable flow and raw water characteristic property. Controls for effect of using PAC, water temperature, oxygen, MLSS, MLVSS are done in the MBR pilot plant study, analysis are performed to determine the influent and effluent water quality. Comparison of qualiyy of effluent water is done for MBR pilot plant and GOSB wastewater treatment plant.

In the third section of this study; water recovery studies are done. With the using of effluent water of MBR pilot plant, laboratory-scale reverse osmosis (RO) and pilot-scale RO recovery studies are done. Based on recovery studies data obtained from established pilot plant, the aim of GOSB wastewater treatment plant effluent water recycling, it was decided that the installation MBR and RO system which will allow

2400 m³ / day water recovery in addition to the existing system. In this study, the test results, installation and operation information are also included .

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlamı ve Önemi

Membran biyoreaktör sistemleri (MBR), evsel ve endüstriyel atıksuların ileri arıtımında yüksek arıtma verimliği sağlayan bir teknolojidir. Membran ünitesi, konvansiyonel çöktürme tankı ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve daha küçük alanda yüksek MLSS yüklemelerine olanak sağlamaktadır. Membran sisteminin çok yaygın kullanılmamasının en önemli sebebi membranların çok çabuk tıkanmasıdır. Tıkanmalar membran yüzeyinde veya membran gözenekleri içinde meydana gelebilir. MBR'lardaki membran tıkanmaları fiziksel, inorganik, organik veya biyolojik kökenli olabilir.

Membranlardaki tıkanma, birim membran alanı başına arıtılmış temiz su üretiminin azalmasına ve enerji tüketiminin artmasına neden olur. Tıkanmanın önlenmesi, geciktirilmesi veya giderilmesi amacı ile bugüne kadar birçok yöntem denenmiştir. Hava kabarcığıyla temizleme sistemi ve kimyasal yıkama yöntemi ile temizleme sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler işletme maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir.

Konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde, çıkış suyu kalitesini olumsuz yönde etkileyen en önemli problemlerin başında çamurun çökelme özellikleri gelmektedir. Bunun nedeni mikrobiyal flokların zayıf floklaşma kabiliyetleri ve filamentli bakterilerin çabuk üremesi olarak sayılabilir. Membran prosesleri ile katı ve kolloid maddelerin hemen hepsi elimine edilebildiğinden, arıtılmış suyun kalitesi çöktürme adımından etkilenmez. Bu durum özellikle endüstriyel atıksuların arıtılmasında nitrüentlerin eksikliği nedeniyle filamentli mikroorganizmaların aşırı büyümesi sonucu oluşan zayıf çökelme özelliğindeki çamurun ayrılmasında etkili bir çözüm olmaktadır. Membran prosesleri çıkış suları askıda katı madde içermediğinden direk deşarj edilebileceği gibi sulama, proses veya soğutma suyu olarak da tekrar kullanılabilir.

MBR'ların, alan ve hacim ihtiyacının az olması, yüksek oranda katı madde giderimi sağlaması, yüksek çamur yaşı nedeniyle daha az çamur üretimi olması, daha fazla yükleme yapılabilmesi, çeşitli büyüklük ve kapasitelere adaptasyon kolaylığı ve dezenfeksiyon gerektirmeden mikroorganizma giderimi gibi sebeplerden suyun geri kazanımdaki rolü büyüktür.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Aşağıda bu çalışmanın üç aşamasının kapsamı açıklanmaktadır:

- MBR Pilot tesiste, dört farklı temizleme metodunun uygulanması ile tıkanıklık probleminin verimli bir şekilde çözülmesi için;
 - Düşük enerji ihtiyacı gerektiren yeni yöntemlerin denenmesi,
 - Birkaç metodun aynı anda uygulanması sonucu MBR' ların daha etkin kullanılması,
 - Enerji ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi,
 - Kullanılan temizleme metotları arasındaki tıkanıklık ve enerji tüketim kıyaslamaları,
- MBR pilot tesis çalışması süresince, değişken debi ve ham atıksu karakteristik özelliği bulunan tesiste çıkış suyu kalitesinin incelenmesi,
- GOSB'da kozmetik, gıda, kimya, ilaç sanayi, yapı kimyasalları gibi farklı sektörlerin de yer aldığı 192 endüstriyel tesisten kaynaklanan, günlük ve dönemsel (yağışlı ve kuru hava koşullarında) olarak değişken karakterli, karışık endüstriyel nitelikli atıksuların geri kazanımı ve kullanım alanlarının araştırılması,

amaçlanmıştır.

Çalışmanın birinci aşamasında, MBR pilot tesiste tıkanıklık probleminin verimli bir şekilde çözülmesi ve düşük enerji ihtiyacı gerektiren yeni yöntemlerin ortaya çıkarılması, membran biyoreaktörlerin daha yaygın ve ekonomik bir şekilde kullanımının irdelenmesi için aşağıda belirtilen dört farklı metot uygulanarak denenmesi hedeflenmiştir:

1. MBR-1: Hava kabarcıklarının kesme kuvvetinden yararlanılarak ve akının zaman zaman durdurulması ile membran yüzeyinde tıkanıklığın ve buna bağlı olarak birim enerji tüketiminin incelenmesi,
2. MBR-2: Ses dalgası verebilen mobil ultrasonik yıkama modülü kullanılarak ve akının zaman zaman durdurulması ile tıkanıklığın önlenmesi ve buna bağlı olarak birim enerji tüketiminin incelenmesi,
3. MBR-3: Titreşim motoru ile kesintisiz titreşim verilerek, akının zaman zaman durdurulması ve hava kabarcığının kesme kuvveti etkisi ile birlikte tıkanıklığın ve buna bağlı olarak birim enerji tüketiminin incelenmesi,
4. MBR-4: Hava kabarcıklarının kesme kuvvetinden yararlanılarak ve akının zaman zaman durdurulması sırasında sodyum hipoklorit çözeltisi (pH:10) ile geri yıkama yapılarak tıkanıklığın ve buna bağlı olarak birim enerji tüketiminin incelenmesi,

Değişken karakterli karışık endüstriyel nitelikli atıksuların arıtımını gerçekleştiren MBR pilot tesiste, bahsedilen dört farklı metot aynı anda çalıştırılarak MBR modüllerinde tıkanmanın önlenmesi, geciktirilmesi, giderilmesi ve birim enerji tüketimi araştırılmış ve metotlar arasında akı değerleri ve enerji tüketim kıyaslamaları yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, karışık endüstriyel nitelikli atıksularla yapılan pilot tesis çalışmasında aerobik, anaerobik ve anoksik şartlar oluşturulup karbon, azot ve fosfor giderimi hedeflenmiş, MBR pilot tesis çalışması süresince, değişken debi ve ham atıksu karakteristik özelliği bulunan tesiste çıkış suyu kalitesi incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü aşamasında, GOSB değişken karakterli karışık endüstriyel nitelikli atıksuların geri kazanımı incelenmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi bu çalışmada üç farklı aşamada çalışmalar yapılmış olup, çalışmanın amaç ve kapsamı Çizelge 1.1’de sunulmuştur.

Çizelge 1.1 : Çalışma amaç ve kapsamı.

Çalışma No	Amaç	Kapsam
1	MBR pilot tesiste, dört farklı temizleme metodunun (MBR-1, MBR-2, MBR-3 ve MBR-4) uygulanması ile tıkanıklık probleminin verimli bir şekilde çözülmesi, düşük enerji ihtiyacı gerektiren yeni yöntemlerin ortaya çıkarılması, birkaç metodun aynı anda uygulanması sonucu MBR'ların daha etkin kullanılması, enerji ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi, metodlar arasında tıkanıklık ve enerji tüketim kıyaslamaları.	MBR pilot tesiste dört farklı temizleme metoduna göre uygulama çalışmalarına başlamadan önce, MBR pilot tesisin stabil çalışma koşullarının belirlenmesi kapsamı aşağıdaki çalışmalarda verilmiştir: 1) İki farklı biyokütle (MLSS) konsantrasyonunda (15.000 mg/l ve 12.000 mg/l) debi ölçümleri yapılarak akı hesabı yapılmıştır. 2) Farklı temizleme periyotlarında (45 dk filtrasyon- 15 dk etkin temizlik, 12 dk filtrasyon - 3 dk etkin temizlik, 10 dk filtrasyon- 5 dk etkin temizlik, 15 dk filtrasyon- 5 dk etkin temizlik) çalışılmıştır. Debi ölçümleri ve akı hesabı yapılmıştır. 3) PAC 17 (Poli Alüminyum Klorür) kullanılarak endüstriyel atıksudaki olumsuzlukların giderilmesi sağlanmış ve filtrasyon özellikleri iyileştirilmiştir. 4) Enerji tüketimi gözlenmiş, debi ölçümleri ve enerji ölçümleri yapılarak akı hesabı ve birim enerji sarfıyatı hesaplanmıştır. • Tıkanmanın önlenmesine yönelik çalışmalar: 1) MBR-1'de hava kabarcıklarının kesme kuvvetinden yararlanılarak ve akının zaman zaman durdurulması ile tıkanma ve birim enerji tüketimi incelenmiştir, 2) MBR-2'de, ses dalgası verebilen mobil ultrasonik temizleme modülü kullanılarak; a) PES malzemeden düz plaka tip membran kullanılarak tıkanma ve birim enerji tüketimi incelenmiştir. b) Seramik membran kullanılarak tıkanma ve birim enerji tüketimi incelenmiştir. 3) MBR-3 sisteminde titreşim motoru kullanılarak tıkanma ve birim enerji tüketimi incelenmiştir. a) Titreşim, hava kabarcığı ve geri yıkama yöntemi ile temizleme sonucu tıkanma ve birim enerji tüketimi incelenmiştir. b) Titreşim gücü iki kat artırılmış, tıkanma ve birim enerji tüketimi incelenmiştir. c) Titreşim, sürekli hava kabarcığı (filtrasyon ve etkin temizlikte) ve geri yıkama yöntemi ile temizleme sonucu tıkanma ve birim enerji tüketimi incelenmiştir (MBR-1-3-4 kombine sistem). 4) MBR-4'te, hava kabarcığı ile temizleme sistemine ek olarak, %0,25'lik sodyum hipoklorit çözeltisi ile geri yıkama metodu kullanılarak tıkanma ve birim enerji tüketimi incelenmiştir. a) MBR-4 sisteminde geri yıkama periyotları uzatılarak tıkanma ve birim enerji tüketimi incelenmiştir. Yukarıda belirtilen maddelerin haricinde; tıkanmayı önlemeye yönelik çalışmalarda akı ve enerji mukayeseleri yapılmış ve MBR-1, MBR-4 modüllerine otopsi işlemi uygulanarak tıkanma sebepleri ortaya konmuştur.
2	MBR pilot tesis çalışması süresince, değişken debi ve ham atıksu karakteristik özelliği bulunan tesiste çıkış suyu kalitesinin incelenmesi.	• MBR pilot tesis çalışmasında PAC'ın su kalitesine etkisi, su sıcaklığı, O₂, MLSS, MLVSS kontrolü yapılmış, su kalitesinin belirlenebilmesi için giriş ve çıkış suyunda yapılan analizler sırasıyla verilmiştir; pH, KOİ, AKM, BOİ, T.N, T.P, İletkenlik, Yağ ve Gres, T.Cr, Cr₊₆, Pb, Tcn, Cd, Fe, Fl, Cu, Zn. • MBR Pilot tesisi ve GOSB AAT 'ne ait çıkış suyu kaliteleri mukayesesi yapılmıştır.
3	Yapılan çalışmalarda veriler kullanılarak Gebze Organize Sanayi Bölgesinde bulunan farklı sektörde sanayiden kaynaklı, değişken karakterli, karışık endüstriyel atıksularının geri kazanımı ve kullanım alanları araştırılması.	• Membran pilot tesisi çıkış suyu ile (ters osmoz) RO denemeleri için, BW 30 ve Dow XLE membranları kullanılarak laboratuvar ölçekli ve Lanxess membranı kullanılarak pilot ölçekli performans testleri gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Genel MBR Tanımı

MBR'ler, aktif çamur floklarının gözenek açıklığı 0.1-0.4 µm olan membran yüzeylerinden çoğunlukla gravite ile veya çok düşük basınçla emiş prosesleri ile süzüldüğü filtrasyon prosesleri olarak açıklanmaktadır. Aktif çamur konsantrasyonunun yüksek tutulabildiği bu proseste, dışarıya askıda madde kaçağı/deşarjı olmadığı için istenilen MLSS konsantrasyonlarında çalışma yapılabilmektedir. Membranlar, reaktör içerisinde batık yerleştirilebildiği gibi reaktör dışında ayrı bir tankta da teşkil edebilmektedir.

2.1.1 Tasarım ve işletim parametresi

MBR sistemlerinde en önemli işletim parametresi akıdır. Aşağıda akı ile ilgili formül yer almaktadır.

Akı:

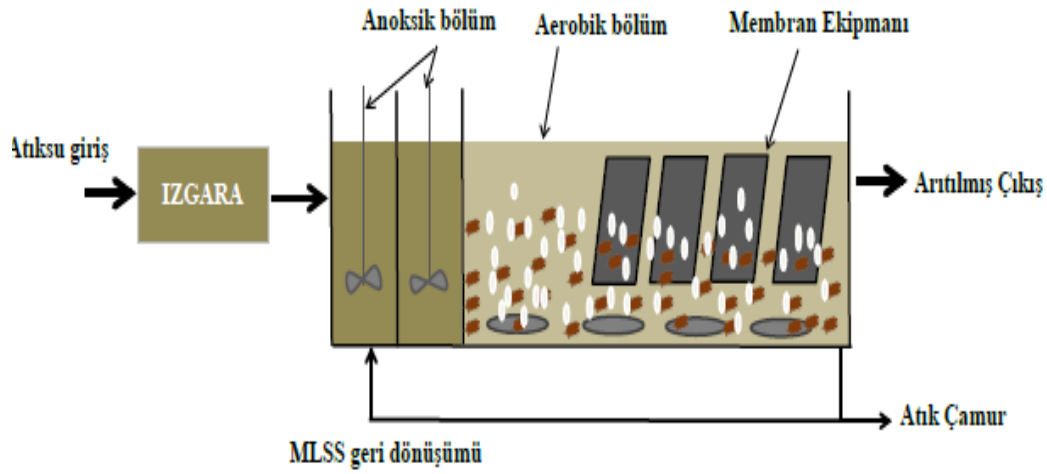
- ✓ $J_t = Q_p / A$ (2.1)
- ✓ J_t : t zamandaki anlık süzüntü suyu akısı (lt/m² -saat)
- ✓ Q_p : t zamandaki süzüntü suyu debisi (lt/saat)
- ✓ A : Toplam membran yüzey alanı (m²)

2.2 MBR Uygulamaları

Konvansiyonel biyolojik atıksu arıtma tesislerinin MBR'lara dönüştürülmesi ve son çökeltim havuzlarının iptali böylelikle yüksek su kalitesi ve kapasite artımı yapılabilmesi mümkündür (Yiğit, 2007; Arıkan, 2015).

Konvansiyonel aktif çamur prosesinde havalandırma ve çökeltim tanklarından gerçekleşen biyokimyasal oksidasyon ve su biyokütle ayrımı MBR'ler de tek tankta gerçekleşmektedir (Arıkan, 2015). Bu tankta hem aktif çamur oluşmakta, tank içindeki membran gözeneklerine gravite veya düşük basınç uygulanarak arıtılmış su

çelikle ve karbon giderimi sağlayan biyokütle tank içerisinde kalmaktadır (Arıkan, 2015). Şekil 2.1’de tipik bir MBR sistemi akım şeması bulunmaktadır.

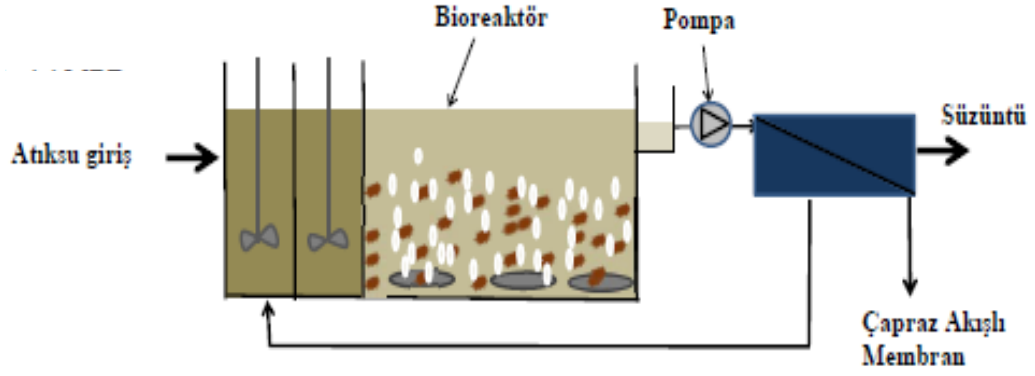


Şekil 2.1 : MBR sistemi akım şeması.

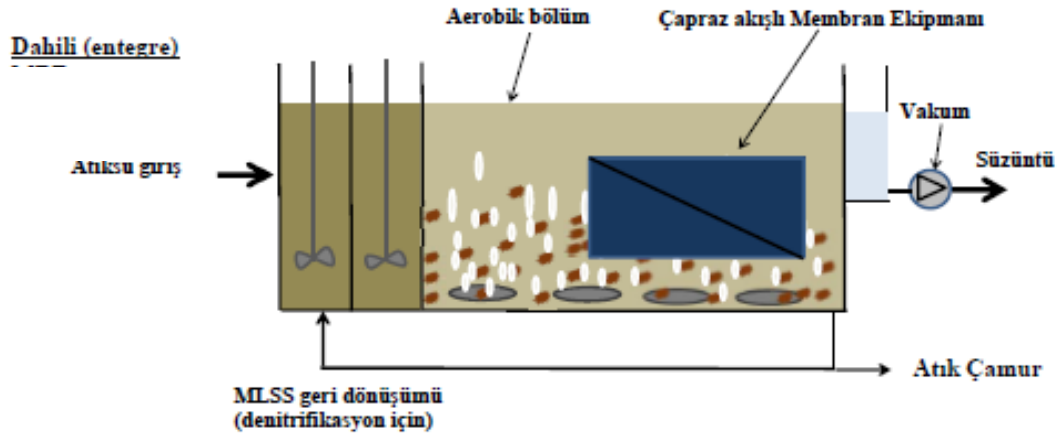
Membranları tıkayabilecek büyük çaplı malzemeleri ayırmak için MBR tankından önce ince ızgara ünitesi yapılması gerekmektedir. MBR tankının giriş bölümü yukarıda görüldüğü gibi havalandırmaz yapılarak anoksik şartlar sağlanıp denitrifikasyonda uygulanabilmektedir. Havalandırma tankında nitrifikasyon ile oluşan nitrat içsel geri devir ile anaoksik tanka geri döndürülür. Bu şekilde organik karbon gideriminin yanında amonyak azotu giderimi de sağlanabilir. Eğer fosfor giderimi de istenirse giriş kısmına anaerobik tank da eklenebilir. Sentetik toksik maddelerin ya da ağır metallerin giderimi için isteğe bağlı olarak koagülasyon/flokülasyon bölümleri de eklenebilir (Arıkan, 2015).

2.2.1 MBR türleri

MBR sistemleri harici ve dahili olmak üzere iki türdür. Harici MBR sisteminde sıvı/biyokütle ayrımı ayrı bir ünite de gerçekleşirken, dahili MBR sisteminde sıvı/biyokütle ayrımı biyoreaktör içinde batık membranlar ile gerçekleşmektedir. Tipik harici ve dahili türleri Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’de ve harici ve dahili MBR sistemlerinin karşılaştırması ise Çizelge 2.1’de yer almaktadır.



Şekil 2.2 : Harici MBR şematik görünümü.



Şekil 2.3 : Dahili MBR şematik görünümü.

Çizelge 2.1 : Dahili ve harici MBR'ların karşılaştırılması (Yiğit, 2007; Arıkan, 2015).

Dahili MBR	Harici MBR
Yüksek havalandırma masrafı	Düşük havalandırma masrafı
Düşük pompa masrafı	Yüksek pompa masrafı
Düşük akı	Yüksek akı
Daha nadir temizleme ihtiyacı	Daha sık temizleme ihtiyacı
Düşük işletim maliyeti	Yüksek işletim maliyeti
Yüksek ilk yatırım maliyeti	Düşük ilk yatırım maliyeti

Orta ve büyük ölçekli kentsel atıksu arıtma tesisleri için genellikle dahili batık MBR'ler uygulanmaktadır (Yiğit, 2007).

2.2.2 MBR sistemlerinin avantaj ve dezavantajları

MBR sisteminin bir çok avantajı olduğu gibi tıkanıklık gibi önemli dezavantajları da bulunmaktadır. Aşağıda Çizelge 2.2'de MBR sistemlerinin avantaj ve dezavantajları yer almaktadır.

Çizelge 2.2 : MBR sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.

MBR Sistemlerinin Avantajları	MBR Sistemlerinin Dezavantajları
• Küçük alan ihtiyacı • Çöktürme tankı ihtiyacını ortadan kaldırması • Yüksek çamur yaşı nedeniyle daha az çamur üretimi • Yüksek MLSS yüklemelerine olanak vermesi • Suyun geri kazanımı	• İşletme ve bakım maaliyetleri • Membranların tıkanması • Sistemin mekanik ve kontrol açısından konveksiyonel sisteme göre kompleks olması

2.3 MBR Sistemlerinde Tıkanıklık ve Çözüm Yöntemleri

MBR uygulamalarında karşılaşılan en büyük sorun aktif çamurun filtrasyonu sırasında oluşan tıkanmadır. Tıkanmanın oluşmasıyla birlikte temiz su çıkışı debisi ve akı azalmaktadır. Daha öncede bahsedildiği gibi, membran tıkanması mekanik anlamda geri dönüşümlü tıkanma ve geri dönüşümsüz tıkanma olmak üzere ikiye ayrılır. Membran yüzeyinden oluşan kek ya da jel tabakası havalandırma, geri yıkama gibi fiziksel metotlar ile giderilebiliyorsa bu tıkanmaya geri dönüşümlü tıkanma denilmektedir. Çözünmüş veya kolloidal maddelerin adsorbsiyonu ile membran gözeneklerinde birikimi sonucu oluşan tıkanmaya geri dönüşümsüz tıkanma denilmektedir. Geri dönüşümsüz tıkanmalarda kimyasal temizleme metotları kullanılmaktadır. Ancak kimyasal temizleme metotlarına rağmen akı ilk haline gelememektedir. Tıkanmalar fiziksel, organik, inorganik veya biyolojik olabilmektedir. Membran gözeneklerinin kolloidal tanecikler ile tıkanması sonucu membran yüzeyinin bir kısmının etkisiz hale gelmesine fiziksel tıkanma denilmektedir. Protein, polisakkarit, hümitik asit gibi tortu oluşturucularından kaynaklanan tıkanmaya organik tıkanma, inorganik tortu oluşturucularından kaynaklanan tıkanmaya inorganik tıkanma denilmektedir. Membran sistemlerinde gerçekleşen tıkanmaların hemen hemen yarısına yakını biofilmlerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Chang vd., 2001). MBR’lerde akı, membran özellikleri (malzemesi, tipi, konfigürasyonu, yüzey alanı gibi), biyokütle (MLSS, flok yapısı, flok büyüklüğü, çözünmüş maddeler ve ortam koşulları geri yıkama sıklığını etkilemektedir (Psoch, C. ve Schiewer, 2005). Her membran üreticisinin farklı temizleme metodu olmasına rağmen metotlar birbirine benzerdir. Genellikle hava kabarcığı ile temizleme, geri yıkama yoluyla temizleme ve kimyasal temizleme

metotları kullanılmaktadır. Hava kabarcığı ile temizleme ve geri yıkama yolu ile temizlemedeki amaç membran yüzeyine tutulmuş materyallerin uzaklaştırılmasıdır. Geri yıkama prosesinde önce arıtım durdurulur; basınçla tersten su ya da hava kabarcığı verilerek yüzeyde gevşek halde tutunan materyaller hidrolik temizleme yolu ile uzaklaştırılır. Birincil temizleme olarak genellikle bu yöntemler kullanılmaktadır. Eğer akı değerindeki değişim birincil temizleme metotları ile ilk haline getirilemiyorsa ikincil temizleme metodu olarak kimyasal temizleme metodu uygulanmaktadır. Membran tankı içinde geri yıkama suyuna kimyasal katılarak ve basınçla kimyasal verilerek temizleme sağlanmaktadır. Genellikle kimyasal olarak sitrik asit ve sodyum hipoklorit kullanılmaktadır. Sitrik asit ortam pH'ını düşürüp tortuların çözülmesini sağlamaktadır. Sodyum hipoklorit ise biyofilm tabakasını parçalamak için kullanılmaktadır. İkincil temizleme metodu da membran tankında gerçekleşmektedir. Bu sebepten sistem yaklaşık 30-45 dakika servis dışı kalmaktadır (ZENON Environmental Inc., 2002). Eğer ikincil temizleme metodu da yetersiz kalıp tıkanıklık devam ederse üçüncül temizleme metodu uygulanır. Bu metotta membran, tanktan dışarı alınıp yüksek dozda asit içeren tanklarda batık halde yaklaşık 10 saat bekletilir. Bekleme sonunda düşük pH'ı nötralize etmek için membranlar sodyum hipoklorit ile yıkanır. Bu metot en yoğun temizleme metodudur. Birincil temizleme metodu genellikle her 10-15 dakikada bir, ikincil temizleme metodu genellikle haftada bir ve üçüncül temizleme metodu da yılda birkaç kez uygulanmaktadır.

Geri yıkamalar ve bilinen çeşitli membran temizleme metotları işletme maliyetlerini arttırmakta proses kesintilerine dolayısıyla zaman kaybına neden olmaktadır. Bu sebepten tıkanmayı önleyen ve enerji tasarrufu sağlayan yeni metotlar üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

2.3.1 Hava kabarcığı ile temizleme sistemi

Membran sistemlerinin çoğunda tıkanıklığı önlemek için hava kabarcığıyla ile temizleme sistemi kullanılmaktadır. Hava kabarcığı yöntemi, sınırlı akı artımı sağlar ve toplam enerji tüketiminin %70 ini oluşturur (Arıkan, 2015). Bu temizleme yöntemi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Hava kabarcığı boyutu, şekli, difüzörlerin geometrisi ve yeri gibi etkenler temizleme sistemi verimini etkilemektedir.

Wei vd (2013) yaptığı çalışmalarda, kritik hava kabarcığı boyutunun temizleme verimini etkilediğini bulmuştur (Wei vd., 2013). Çulfaz vd (2011) yaptığı çalışmada; iri hava kabarcığıyla yapılan çalışmaların küçük hava kabarcığıyla yapılan çalışmalardan daha verimli olduğunu bulmuştur (Çulfaz vd., 2011). Ancak Sofia vd. yaptığı çalışmalarda; açıklık boyutu 0.5 mm'den küçük difüzör kullanılmasının açıklık boyutu 2 mm olan difüzör kullanılmasının daha etkili olduğunu saptamıştır (Sofia vd., 2004). Yapılan bütün çalışmalar göstermektedir ki hava kabarcığı boyutu, şekli haricinde hızı, membran geçirgenliği, yapısı, çamur konsantrasyonu, reaktör şekli ve boyutları gibi bütün etkenler temizleme verimini etkilemektedir (Liu vd., 2012; Prieske vd., 2010; Yamanoi ve Kageyama, 2010). Çizelge 2.3'te literatürde yer alan membran filtrasyon ve temizleme süreleri yer almaktadır.

Çizelge 2.3 : Literatürde yer alan membran filtrasyon ve temizleme süreleri (Wang vd., 2014).

MBR	Membran	Giriş Suyu	Filtrasyon (dakika)	Temizleme (dakika)	Ölçek	Referans
AeMBR	HF	E	7–12	0.67–3	Tesis boyutu	(Zsirai vd., 2012)
AeMBR	HF	S	3.7–7.3	0.33–0.67	Lab-ölçekli	(Wu vd., 2008)
AeMBR	HF	S	45	15	Lab-ölçekli	(Hong vd., 2002)
AeMBR	HF	EN	9	1	Tesis boyutu	(Zsirai vd., 2012)
AeMBR	HF	-	10–15	5	Lab-ölçekli	(Albasi vd., 2002)
AeMBR	HF	E	8–15	1–8	Pilot-ölçekli	(Gui vd., 2003)
AeMBR	HF	E	4		Pilot-ölçekli	(Santasmassas vd., 2013)
AeMBR	FS	S	8	4	Lab-ölçekli	(Chua vd., 2002)
AeMBR	FS	E	10	2	Pilot-ölçekli	(Ma vd., 2013; Wang vd., 2008)
AeMBR	FS	E	8	2	Pilot-ölçekli	(Santasmassas vd., 2013)
AeMBR	FS	E	9	1,5	Tesis boyutu	(Itokawa vd., 2008)
AeMBR	FS	S	8	2	Lab-ölçekli	(Z. Huang vd., 2008)
AeMBR	FS	EN	4	1	Lab-ölçekli	(Lin vd., 2010)
AeMBR	FS	E	10	0,5	Pilot-ölçekli	(Martinez-Sosa vd., 2011)
AeMBR	HF	E	4,2	0,83	Pilot-ölçekli	(Robles vd., 2012; Tran vd., 2013)
AeMBR	HF	S	7	0,33	Lab-ölçekli	(Tran vd., 2013)
AeMBR	HF	E	4	1	Lab-ölçekli	(C. Wen vd., 1999)
AeMBR	TM	S	4	1	Lab-ölçekli	(Cerón-Vivas vd., 2012)

Not: AeMBR, aerobik MBR; HF, içi boş fiber; FS, düz plaka tip membran; TM, tüp tipi membran; E, evsel; S, sentetik; EN, endüstriyel;

2.3.2 Ses dalgası ile (ultrasonik) temizleme sistemi

Yakın zamanda yapılan çalışmalar göstermektedir ki ses dalgası membran temizleme sisteminde kullanılabilecek etkili bir yöntemdir. Ses dalgası membran üzerinde oluşan biofilm tabakası oluşumunun azaltılmasına etki etmektedir.

Ultrasonik temizleme verimini; frekans, güç akı yoğunluğu, süre, sıcaklık ve MLSS etkilemektedir.

Daha önce yapılan çalışmalarda frekans arttıkça akı azalmakta dolayısıyla temizleme verimi düşmektedir. 20 ile 100 kHz'de yapılan çalışmalarda frekans arttıkça akının gözle görülür şekilde düştüğü gözlemlenmiştir (JIN vd.,2008; Kyllönen vd.,2005; X. Wen vd.,2008).

Güç akı yoğunluğu arttıkça temizleme verimi artmaktadır. Ancak yüksek güç akı yoğunluğunun membrana zarar verdiği gözlemlenmiştir (JIN vd.,2008; Kyllönen vd.,2005; X. Wen vd.,2008). Yapılan araştırmalarda malzemesi PP ya da PES olan membranlara düşük frekansta (20 kHz) ve yüksek güç akı yoğunluğunda (20 W/cm²) ses dalgası uygulandığında herhangi bir zarar gözlemlenmemiştir (Lamminen vd., 2004).

Wen vd. polietilen (PE) içi boş fiber membran modülleri ile yaptığı çalışmada 0.122-0.203 W/cm² güç akı yoğunluğunda, 28 kHz frekansta ve her 15 dakikada 2 dakika ses dalgası uygulandığında membrana zarar verdiğini gözlemlemiştir (Wen vd., 2008). Masselin vd. polimerik (PAN, PES, PVDF) membranlar ile yaptığı çalışmalarda 47 kHz frekansta membranların zarar gördüğünü gözlemlemiştir (Masselin vd., 2001).

Polimerik membran ile seramik membran kıyaslandığında, ses dalgası ile temizleme sisteminin seramik membranda daha etkili olduğu ve membranın daha az zarar gördüğü gözlemlenmiştir (V. Chen vd., 2004; Lamminen vd., 2004).

Lamminen vd. yaptığı çalışmalarda; ses dalgası cihazının yerleştirildiği yerin de temizleme verimini etkilediğini gözlemlemiştir (Lamminen vd., 2004). Oryantasyon mesafesinin (ses dalgası kaynağı ve membran arası mesafenin) temizleme verimini etkilediği raporlanmıştır. Chen vd. yaptığı çalışmalarda oryantasyon mesafesini sırasıyla 3.5 cm'den 2.6 cm'ye ve 2.6 cm'den 1.7 cm'ye düşürdüğünde; temizleme veriminin sırasıyla %60, %75 ve %97 olduğunu gözlemlemiştir. Buna ek olarak, ses dalgası kaynağı olarak prob kullanıldığında ve prob ile membran arası mesafe 1.3 cm

yani ultrasonik kaviteasyon bölgesinde olduğuunda membrana zarar verdiği gözlemlenmiştir (D. Chen vd., 2006).

Lamminen vd. yaptığı çalışmada sisteme aralıksız olarak ses dalgası uygulamış ve gücün 45.2 W olduğuunda membrana zarar verdiğini ancak gücün 12.2 W olduğuunda membrana herhangi bir zarar vermediğini gözlemlemiştir (Lamminen vd., 2004).

MBR sistemlerinde kullanılan çamurun özelliğine bağlı olarak da ses dalgası ile temizleme sistemi verimi etkilenmektedir. Çoğu araştırmacı yaptığı çalışmalarda, çamur yapısına bağlı olarak ses dalgası ile temizleme sistemi uygulandığında, flokların kırıldığı ve küçük parçaların membranı tıkanığını gözlemlemiştir (Muthukumaran vd., 2007).

özülebilir organik madde içeriği yüksek olan çamurların da temizleme verimini düşüdüğu gözlemlenmiştir (Le-Clech vd., 2006; Meng vd., 2009; Sim vd., 2013).

Ultrasonik temizleme sisteminin diğer metotlara göre avantajları fazladır. Bunlardan bir tanesi, diğer uygulamalara göre biyolojik arıtım verimini de arttırmasıdır (Gure, 2011; Kocamemi vd., 2015). Diğer metotlar gibi filtrasyonun kesilmesine ya da kimyasal kullanılmasına gerek yoktur. Ultrasonik temizleme de membranın dışarı çıkarılmasına gerek yoktur, sistem otomatik olarak çalışmaktadır ve işletilmesi diğer metotlara göre kolaydır (Boley vd., 2010).

Boley vd. seramik membranla yaptığı çalışmalarda, ses dalgası ile temizleme ve geri-yıkamayı birlikte kullandığında seramik membranların ilk günkü akı değerlerine ulaştığını gözlemlemiştir (Boley vd., 2010).

Popovic vd. tüp tipi seramik membran kullanarak yaptığı çalışmalarda, ses dalgası ile temizleme sistemi ve kimyasal temizleme sistemini birlikte kullanmıştır. İki metodun birlikte kullanılmasının temizleme verimini arttırdığını gözlemlemiştir (Popović vd., 2010). Aşağıda izelge 2.4'te ses dalgası ile temizleme sistemini etkileyen faktörler ile ilgili özet tablo bulunmaktadır.

Çizelge 2.4 : Ses dalgası ile temizleme sistemini etkileyen faktörler (Wang vd., 2014).

Faktörler		Temizleme Verimine Etkileri	Referanslar
Ses Dalgası Parametreleri	Frekans	*frekans↑-kavitasyon kabarcık boyutu ↓/ -temizleme verimi ↓ * art arda frenkans kullanımı (28 kHz ve 220 kHz) –temizleme verimi↑	(Wang vd., 2014)
	Güç yoğunluğu	Güç yoğunluğu ↑-kavitasyon kabarcık sayısı ↑/kavitasyon bölgesi boyutu↑-temizleme verimi↑	(Fujii, 2000, 2000; Lamminen vd., 2004)
	Süre	süre↓↓-temizleme verimi↓↓; süre↑↑-partikül kırılması- tıkanma↑-Temizleme verimi↓	(D. Li vd., 2013; Lim ve Bai, 2003; Muthukumaran vd., 2007)
	Oryantasyon Mesafesi	*ses dalgası cihazının yüzeye yakınlığı –temizleme verimi↑ *ses dalgası kaynağı ve membran arası mesafe↓-temizleme verimi↑; Çok yakın mesafede membrana zarar verdiği gözlenmiştir. *ses dalgası kaynağı membran yüzeyinin karşısına yerleştirildiğinde – temizleme verimi↑	(D. Chen vd., 2006; Kobayashi vd., 1999; Lamminen vd., 2004, 2006)
	Diğer Parametreler	İşletme Şartları *MLSS↑-temizleme verimi↓ *60–70 °C-maksimum kavitasyon –temizleme verimi↑ *sıcaklığın 23 to 40 °C ye yükselmesi-temizleme verimi↓ * sıcaklık↑-temizleme verimi↑ *Yüzey aktif madde bulunmaması-temizleme verimi↑	(Ahmad vd., 2012; Cai vd., 2010; Chai vd., 1999; J. Li vd., 2002; Muthukumaran vd., 2005; Ng vd., 2012)
Diğer Parametreler	Membran Malzemesi	*sesi yansıtan malzemelerin kullanılması (plastik, metal, seramik) temizleme verimi↑ * ses dalgası yansıtan malzemelerin eklenmesi (yarı silindirik)-temizleme verimi↑ *ses dalgası membran gözenek çapı 0.2 mm’de 0.04 mm veya 0.8 mm’ye göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.	(Ahmad vd., 2012; Kyllönen vd., 2005; Lamminen vd., 2004; Latt ve Kobayashi, 2006)

Not: ↑artar’, ↓azalır’, ↑↑belirgin bir şekilde artar’ ve belirgin bir şekilde azalır↓↓.

2.3.3 Titreşim ile temizleme sistemi

Yakın dönemde yapılan çalışmalar göstermektedir ki titreşim membran yüzeyinde türbülans yaratarak tıkanmayı etkileyen mekanik bir temizleme yöntemidir (Kimura vd., 2000; Yeon vd., 2009).

Titreşimli kayma gerilimli sistemlerin rotasyonel, boylamasına, çaprazlama motor sürücülü ya da manyetik sürücülü farklı türleri vardır. Partiküllerin porlardan filtrasyon solüsyonuna geri transferi sonucu daha yüksek kayma gerilimi gücü, daha düşük kirlenme oranına sebep olur. Ayrıca membran yüzeyinde oluşan hız; akıyı arttırarak kirlenmeyi azaltmaktadır.

Bugüne kadar raporlanan çalışmalar incelendiğinde titreşimli içi boş fiber (HF) membran modülleri (VHFM) ile yapılan çalışmalar 1990 yılına dayanmaktadır (Jaffrin vd., 2004; Kola vd., 2014).

En çok bilinen titreşimli hareket eden membran konsepti Armando vd. tarafında 1992 yılında gerçekleştirilen titreşimli kayma geliştirilmiş procestir (VSEP) (Armando vd., 1992). Bu sistem egzantirik ağırlıklı motorun burulma yayı ile sismik bir kütleye bağlanmasını içerir. Bu sistem kullanıldığında frekans 70 Hz'ye kadar ulaşabilmektedir. Geliştirilen bu sistem, MBR sisteme entegrasyonu sağlanarak kombine çalışabilmektedir. Frekans ayarı yapılabilmesi için sisteme hız konvetörü içeren bir elektrik motoru da eklenebilmektedir.

Titreşimli batık membranlarda kullanılan diğer bir teknoloji de manyetik kaynaklı titreşim sistemleri (MMV)'dir. MMV sistemi, ses yazılımı ve kontrol üniteli bir manyetik titreşim motorundan oluşur ve titreşim frekansı 60 Hz'ye kadar çıkabilir, genlik ise maksimum 2 mm'dir (Arıkan, 2015).

Çizelge 2.5'de titreşim sistemleri ile ilgili özet tablolar bulunmaktadır.

2.3.4 Kimyasal yıkama yöntemi ile temizleme sistemi

Kimyasal yıkama yöntemi ile temizleme de yaygın kullanılan kimyasal temizleme metotlarından biridir. Bu metotla, membran yüzeyinde oluşan tortular ve biofilm tabakasının uzaklaştırılması amaçlanmaktadır.

Çizelge 2.5 : Titreşim sistemleri özet tablosu (Arıkan, 2015).

Titreşim Mekanizması	Frekans Aralığı	Genlik Mesafesi	Salınım Tipi	Membran Türü	Kaynak
Motorla çalıştırılan mekanik şaft	Sabit 30 Hz	Sabit 100 mm	Uzunlamasına	HF	(Low vd., 2005)
Motorla çalıştırılan yaylı şaft	0 - 30 Hz	0.2, 0.7, 1.175 mm	Uzunlamasına	HF	(Beier vd., 2006)
Krank millli doğru akım (DC) motoru	0 -15 Hz	0 - 12 mm	Uzunlamasına	HF	(T. Li vd., 2012)
Krank millli doğru akım (DC) motoru	0 -10 Hz	Sabit 40 mm	Uzunlamasına	HF	(Genkin vd., 2006)
Değişken salınımlı mekanizmalarıyla değişken hızlı motor	5, 10, 15, 18, 20, 25 Hz	3, 12, 20, 30 mm	Uzunlamasına	FS	(Gomaa ve Rao, 2011)
Krank millli doğru akım (DC) motoru	0 - 10 Hz	0 - 28mm ile 4mm ıklıklarla	Enlemesine	HF	(T. Li vd., 2012)
Düz milli motor	220 - 3480 OPM	0.5 - 5 mm	Enlemesine	HF	(Kola vd., 2014)
Dairesel hareketlerle sallama tabakası	0 - 2200 OPM	Sabit 2.5 mm	Enlemesine sıvı hareketi	HF	(Kola vd., 2014)
Bir motor ile çapraz dönüşlü hareket	30 RPM	Sabit 180° geri ve dışa doğru hareket	Çapraz dönüşlü	HF	(Low vd., 2005)
Eksantrik motorla çalıştırılan bükülme yayı	70 Hz	19 - 32 mm	VSEP L Serisi	FS	(Low vd., 2005)
Manyetik indüklenmiş titreşim sistemi	0 - 60 Hz	Maksimum 2 mm	Manyetik indüklü	FS	(Bilad vd., 2012)

Not: HF, içi boş fiber; FS, düz plaka tip membran; TM, tüp tipi membran

Membranların kimyasal kullanılarak temizlenmesi 6 aşamalı bir süreçtir. Hidroliz, iyonlaşma vb. ara reaksiyonlar, kimyasalın membranların iç yüzeyine taşınması, kimyasalın tıkanan yüzeylere nüfuz etmesi, tıkanan kısımların çözülmesi ve yüzeyden ayrılması, yüzeyden ayrılan atıkların membranın dışına taşınması ve uzaklaştırılmasıdır (Porcelli ve Judd, 2010). Temizleme verimi sadece kirletici ve kimyasal arasındaki reaksiyona bağlı değildir, kimyasal reaksiyon hızı, kütle transfer hızı ve geri taşıma hızı da temizleme verimini etkilemektedir. Membranların temizlenmesinde kullanılan kimyasallar asitler, bazlar, oksidanlar ve yüzey aktif temizleyiciler gibi kimyasallar olmak üzere dört kategoride incelenmektedir. Membran yüzeyinde tutunan kirleticilerin malzeme içeriği organik, inorganik ve biyolojik maddelerden oluşuyorsa birkaç kimyasalın kullanılması önerilmektedir (J. C. Chen vd., 2004; Woo vd., 2013).

Asitler: Asitler, inorganik ve biyolojik tıkanma olduğunda tercih edilmektedir (Malaeb vd., 2013; Meng vd., 2009). Membran temizliğinde en sık kullanılan

kimyasallar; oksalik asit, sitrik asit, nitrik asit, hidroklorik asit, fosforik asit ve sülfürik asittir. Yapılan çalışmalar sonucu temizleme verimi en yüksek olan asit sitrik asittir (Strugholtz vd., 2005).

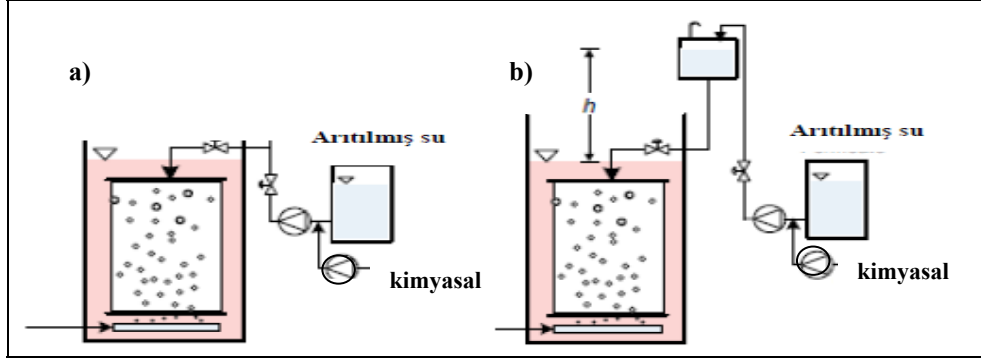
Bazlar: Membran yüzeyinde biriken organik maddelerin temizlenmesi için bazlar tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu temizleme verimi en yüksek olan baz sodyum hidroksittir (Wang vd., 2013).

Oksidanlar ve Dezenfektanlar: Membran yüzeyinde biriken organik ve biyolojik kirleticileri oksidasyon ve/veya dezenfeksiyon yolu ile uzaklaştırmak için oksidanlar kullanılmaktadır. Membran temizliğinde en sık kullanılan kimyasallar sodyum hipoklorit, hidrojen peroksittir. Bu iki kimyasal haricinde perasetik asit, sodyum perborat da kullanılmaktadır (Paugam vd., 2016; Raffin vd., 2012). J.O. Kim vd. yaptığı çalışmada mikrofiltrasyon için batık metal membran kullanarak ozonla temizlik yapmıştır. Her 60 dakikada bir 2 dakika 12-24 m³/m²sa ve 58 mg/l konsantrasyonda ozon ile temizleme yapmıştır. Yapılan bu çalışmada ozon kullanılarak yapılan temizlemenin; hava kabarcığı ile temizleme ve geri yıkamadan daha etkili olduğu gözlemlenmiştir (J.-O. Kim vd., 2007). Lee vd. yaptığı çalışmalarda, 5 mg- sodyum hipoklorit / g- MLVSS dozu azaldığında ortalama flok boyutu 43.6 µm'den 36.7 µm'ye düştüğü gözlemlenmiştir (Woo vd., 2013) .

Diğer kimyasallar: Membran temizliğinde kullanılan diğer kimyasallar etilendiamin tetra asetik asit (EDTA), sodyum tripolifosfat (STP) ve bazı yüzey aktif maddeler deterjanlardır (Beyer vd., 2010; Itokawa vd., 2008; Judd ve Judd, 2008).

Membranlarda oluşan tıkanıklığı gidermede kimyasal geri yıkamanın etkili olduğu bilinmektedir. Şekil 2.4'te pompa ve statik basınç ile yapılan geri yıkama sistemi şematik görünümü bulunmaktadır.

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi geri yıkama; pompa ya da statik basınç vasıtasıyla olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilir. Depolanan çıkış suyu ve kimyasal kullanılarak istenilen pH 'da hazırlanan çözelti; pompa vasıtasıyla ya da sabit statik basınçta kendi cazibesıyla geri yıkama yapılabilir. Geri yıkama, deşarjın kesildiği, hava kabarcığı ile temizliğin yapıldığı safhada, kapalı olan deşarj vanasının arkasından ve geri yıkama suyunun membran yüzeylerinden tersine geçmesi sağlanarak yapılmaktadır.



Şekil 2.4 : Geri yıkama sistemi şematik görünümü. (a) Pompa ile geri yıkama sistemi (b) statik basınç ile geri yıkama sistemi (Wang vd., 2014).

Çizelge 2.6’da MBR sistemlerine koagülant eklenmesi ve temizleme verimi ve Çizelge 2.7’de literatürde yer alan MBR üreticilerinin tavsiye ettiği kimyasal temizleme sistemleri ile ilgili özet tablolar bulunmaktadır.

2.4 Atıksu Geri Kazanımında Membran Uygulamaları

Çevre yönetim ve denetim sistemlerinin hassasiyet kazanması, suya ulaşımın pahalı hale gelmesi, gelişen geri kazanım teknolojileri ile atıksuların geri kazanımı cazip hale gelmiştir. Arıtılmış atıksuların; tarımsal, endüstriyel, yangın suyu, yer altı suyu beslemesi gibi kullanım alanları vardır. Su temini fiyatlarındaki artış, geri kazanılmış suların endüstrilerde proses suyu olarak kullanılabilmesi gibi nedenlerden özellikle endüstriyel atıksuların geri kullanımı önemli hale gelmiş ve bu konu üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Membran teknolojileri, aktif karbon ve ileri oksidasyon gibi ileri arıtma alternatifleri günümüzde geri kazanım teknolojileri olarak kullanılmaktadır. Öncelikle membran tiplerinden bahsedilip daha sonra geri kazanım teknolojilerinden bahsedilecektir.

2.4.1 Membran tipleri

Membran tipleri; mikrogözenekli, homojen, iyon değiştirici ve asimetric olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Başlıca membran tipleri Şekil 2.5’te şematik olarak gösterilmiştir (Salt ve Dinçer, 2006).

Çizelge 2.6 : MBR sistemlerine koagülant eklenmesi ve temizleme verimi (Wang vd., 2014).

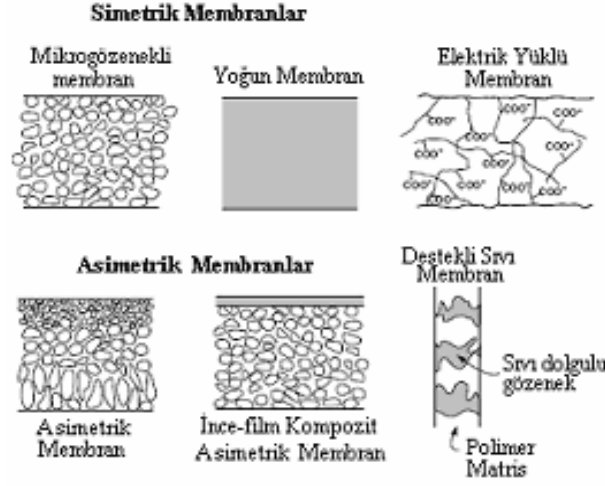
Membran	Tip	Giriş	Koagulant/ Partikül	Şekil	Çap(mm)	Özkütle (10 ³ kg/m ³)	Doz	Verim	Referans
AeMBR FS	FS	E	PP	Küresel	3	1,04	2.6 kg/m ³	Akı değeri 10-14 L/(m ² sa) aralığında 100 günde temizleme yapılmadan çalıştırılmıştır.	(Siembida vd., 2010)
AeMBR HF	HF	S	PP	Silindirik	3	0.978	1–10% v/v	MLSS sırasıyla 5,8,11 g/L olduğunda,optimum doz sırasıyla %1,%1.3 ve %2.3 olarak belirlenmiştir.	(X. Huang vd., 2008)
AeMBR HF	HF	EN	PU	Kübik	10X10X10	0.03	20% v/v	Kritik akının %20 arttığı, çamur keki resistansının %86 azaldığı gözlemlenmiştir.	(Yang vd., 2006)
AeMBR FS	FS	S	Mineral PP	Küresel	25	42491,00	4.0 kg/m ³	Geçirgenliğin değişmediği net akının %30 arttığı gözlenmiştir.	(J. Kim vd., 2011)
AeMBR HF	HF	S	Sünger	Kübik	10X10X10	0.028	10% v/v	MLSS sırasıyla 5,8,11 g/L olduğunda,optimum doz sırasıyla %1,%1.3 ve %2.3 olarak belirlenmiştir.	(Guo vd., 2009)
AeMBR FS	FS	S	GAK	-	0.15-1.2	-	0.5–2 kg/m ³	26.7–58.9% temizleme verimi sağlanmıştır.	(M. A. H. Johir vd., 2011; M. A. Johir vd., 2013)
AeMBR FS	FS	-	GAK	-	0.3-0.6	0.748	1 kg/m ³	Transmembran basıncının %32 azaldığı gözlemlenmiştir.	(Pradhan vd., 2012)
AeMBR FSC	FSC	E	PE	-	12X10X7	0.57	5.7% v/v	Çamur keki resistansının %72.7 azaldığı gözlemlenmiştir.	(L. Jin, S.L. Ong, 2013)
AnMBR HF	HF	S	GAK	-	10X30Xmesh	-	112.5–225 kg/m ³	Denenen bütün GAK konsantrasyonlarında tıkanmanın azaldığı gözlemlenmiştir.	(J. Kim vd., 2011)
AnMBR FS	FS	S	TAK/GAK	-	-	0.425/0.310	1.7 kg/m ³	TAK'ın GAK'dan daha efektif olduğu gözlenmiştir.	Hu ve Stuckey [153]
AeMBR FS	FS	S	TAK	-	0.15/0.25-1	-	1–5 kg/m ³	TAK dozajı arttığında akıda %30 artış gözlenmiştir.	(Hu ve Stuckey, 2007)

Not: AeMBR, aerobik MBR; AnMBR, anaerobik MBR; HF, içi boşluklu lif modülü ; FS, düz plaka tipi membran; FSC, düz plaka tipi seramik membran; S, sentetik; EN, endüstriyel; E, evsel PP, polipropilen; PU, poliüretan; PE, polietilen; GAK, granül aktif karbon; TAK, toz aktif karbon.

Çizelge 2.7 : Literatürde yer alan MBR üreticilerinin tavsiye ettiği kimyasal temizleme sistemleri (Itokawa vd., 2008; Judd ve Judd, 2008).

Membran	Tip	Tedarikçi	Giriş	Temizleme Prosedürleri
AeMBR	FS	Kubota	E	5000 mg/L NaClO her 2-4 ayda bir 2 saat yıkama (bazı tesislerde ek olarak 300 mg/L asit ile yıkama)
AeMBR	FS	Kubota	EN	Her 3-4 ayda bir yıkama ve seyreltilmiş HCl ile her 2-3 ayda bir temizleme
AeMBR	FS	Kubota	E	2000-5000 mg/L NaClO ve 5000 mg/L sitrik asit ile; yılda 4-5 kere temizlik
AnMBR	FS	Kubota	EN	6-8 haftada bir bakım temizliği
AeMBR	FS	LG	E	0.5 wt% NaClO ayda 6 kere 3 saat yıkama 0.1 wt% NaOH ile yılda iki kez yıkama
AeMBR	HF	-	E	1000-1500 mg/L NaClO ile her 3-7 günde bir ve 3000 mg/L NaClO ile ayda bir yere 0.5-2 saat yıkama (bazı tesislerde 1-1.5 wt% sitrik asit ile ek yıkama yapılabilir).
AeMBR	HF	GE Zenon	E	Her hafta 500 mg/L hipoklorit ve 0.2 wt% sitrik asit ile 0.75-1 saat boyunca yıkama
AeMBR	HF	GE Zenon	E	Her 10 günde bir 200 mg/L hipoklorit ile yıkama, ek olarak her 20 günde bir 2000 mg/L sitrik asit ile yıkama
AeMBR	HF	GE Zenon	E	Her 3-7 günde bir 100-200 mg/L ile 1 saat yıkama
AeMBR	HF	GE Zenon	E	Her hafta ya da iki haftada bir 200-800 mg/L NaClO ile birlikte 2500-3200 mg/L sitrik asit ile yıkama (veya pH: 2 sitrik / (sitrik + HCl) veya 3000 mg/L sitrik+ HNO ₃);
AeMBR	HF	Asahi Kasei	N	Her hafta 500 mg/L NaClO, her ay 3000 mg/L NaClO ve her üç ayda bir 1.5 wt% sitrik asit ile 3 saat boyunca ile yıkama
AeMBR	HF	Asahi Kasei	E	3000 mg/L NaClO ile 1.5 saat boyunca yıkama
AeMBR	HF	Asahi Kasei	EN	Her iki haftada bir 1000 mg/L NaClO ile 1.5 saat yıkama
AeMBR	HF	Beijing	E	Her hafta 500 mg/L NaClO, her ay 3000 mg/L NaClO ve her üç ayda bir 1.5 wt% sitrik asit ile 3 saat boyunca ile yıkama
Origin	HF	Water	E	Her iki haftada bir 2000 mg/L NaClO ile 2 saat yıkama
AeMBR	HF	Korea	E	Her iki haftada bir 2500 mg/L H ₂ O ₂ ve 2000 mg/L sitrik asit/fosforik asit
AeMBR	HF	Memstar	EN	Her 10-30 günde bir 200-500 mg/L NaClO ile 1.5-3 saat yıkama
AeMBR	HF	Sumitomo	EN	Her ay 2 wt% NaOH ile 2 saat ve 3000 mg/L NaClO ile 2 ay yıkama
AeMBR	HF	Tianjin Motimo	EN	Ayda iki kez 300 mg/L NaClO ile 0.5-1 saat yıkama
Ex-MBR	TM	Norit	E	Her 6 ayda bir 300 mg/L NaClO ile 4 saat yıkama

Not: AeMBR, aerobik MBR; AnMBR, anaerobik MBR; Ex-MBR, Harici MBR; HF, içi boşluk lif modülü; FS, Düz plakalı tip membran; TM, borusal modül membran; E, evsel; EN, endüstriyel; N, nehir suyu saflaştırma.

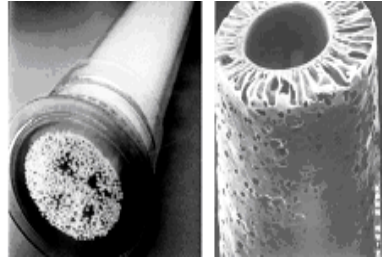


Şekil 2.5 : Başlıca membran tiplerinin şematik gösterimi (Salt ve Dinçer, 2006).

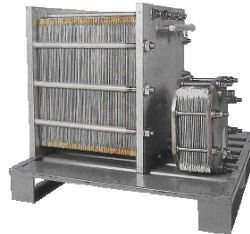
Membranların imalatında genellikle polimer veya seramik kullanılmaktadır. En yaygın membranlar polimer malzemeden yapılan membranlardır.

2.4.2 Membran modülleri

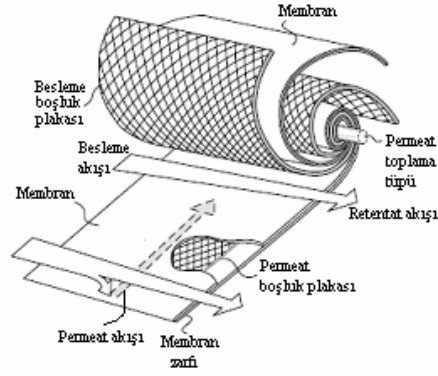
Membran modülleri, içi boş lif modülü (HF) , kapiler modül, düz plakalı tip modül (FS) , spiral-sargı modülü, borusal modül olmak üzere beş gruba ayrılır. Membran uygulamalarında kullanılan içi boş lif modülü, düz plakalı modülü, spiral-sargı modülü ve borusal modül görünüşleri sırasıyla Şekil 2.6, Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9 'te yer almaktadır.



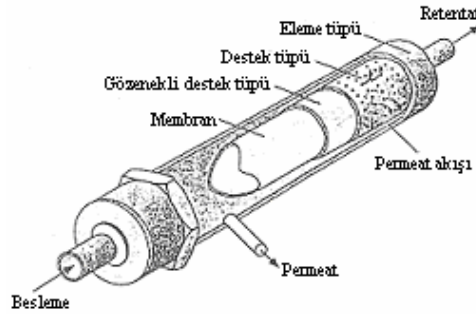
Şekil 2.6 : Membran uygulamalarında kullanılan içi boş lif modülü görünümü (Salt ve Dinçer, 2006).



Şekil 2.7 : Membran uygulamalarında kullanılan düz plakalı tip modül görünümü (Salt ve Dinçer, 2006).



Şekil 2.8 : Membran uygulamalarında kullanılan spiral sargı modülü görünümü (Salt ve Dinçer, 2006).



Şekil 2.9 : Membran uygulamalarında kullanılan borusal modül görünümü (Salt ve Dinçer, 2006).

2.4.3 Membran teknolojileri

Polimer ve seramik endüstrisindeki gelişmeler, membran teknolojilerinin dolayısıyla membran üretiminin de gelişmesine olanak sağlamıştır. Endüstriyelleşmiş olan membran prosesleri mikrofiltrasyon(MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (RO)'dur.

2.4.3.1 Mikrofiltrasyon (MF)

Gözenek çapı boyutu 0.1'den 20 μm 'ye kadar olan moleküller mikrofiltrasyon prosesinde membranlar tarafından tutulmaktadır. Genellikle kapiler ya da borusal tip membran modülleri mikrofiltrasyonda tercih edilmektedir (Salt ve Dinçer, 2006).

2.4.3.2 Ultrafiltrasyon (UF)

Gözenek çapı boyutu 0.001'den 0.1 μm 'ye kadar olan moleküller ultrafiltrasyon prosesinde membranlar tarafından tutulmaktadır. Genellikle kapiler, borusal ya da spiral sargı tip membran modülleri ultrafiltrasyonda tercih edilmektedir (Salt ve Dinçer, 2006).

2.4.3.3 Nanofiltrasyon (NF)

Gözenek çapı boyutu 0.002 µm olan moleküller nanofiltrasyon prosesinde membranlar tarafından tutulmaktadır. Genellikle spiral sargı tip membran modülleri nanofiltrasyonda tercih edilmektedir (Salt ve Dinçer, 2006).

2.4.3.4 Ters osmoz (RO)

Gözenek çapı boyutu 0.001 µm'dan küçük olan moleküller ters osmoz prosesinde membranlar tarafından tutulmaktadır. Genellikle içi boş lif ve spiral sargı tip membran modülleri ters osmozda tercih edilmektedir. Ters osmoz su içerisinde bulunan bakteri, virüs vs. giderebildiği için birçok sektörde su eldesi gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir (Salt ve Dinçer, 2006).

2.4.4 Ters osmoz (RO) ve kullanım alanları

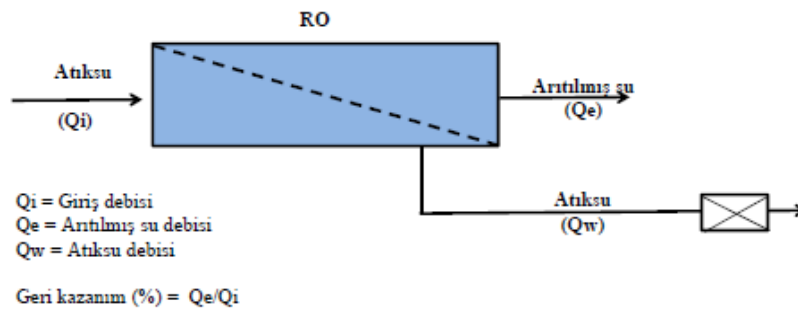
Ters osmoz günümüzde sıklıkla kullanılan bir membran teknolojisi olup, osmotik basınç kullanılarak mineralce zengin suyun, yarı geçirgen bir zar vasıtasıyla mineralleri azaltılmış bir şekilde geçirilmesi işlemidir (Yaşa, 2010). Osmotik basınç, statik yükseklik farkı ile sağlanmaktadır.

Sentetik membran teknolojisindeki gelişmeler ters osmoz teknolojisininde çok hızlı bir şekilde gelişmesine olanak sağlamıştır.

Ters osmoz teknolojisi eczacılık, tıp, kaplamacılık, gıda gibi farklı sektörlerde kullanılmaktadır. Son yıllarda içme suyu üretimi, deniz suyu arıtımı ve atıksuların arıtımı gibi konularda da gündeme gelmektedir.

Membran seçimi, basınç, sıcaklık, giriş suyu karakteristiği, sistem geri kazanımı ve ayırma kapasitesi gibi faktörler ters osmoz tasarımını etkilemektedir (Yasa, 2010).

Şekil 2.10'da tipik RO sistemi şematik görünümü bulunmaktadır.

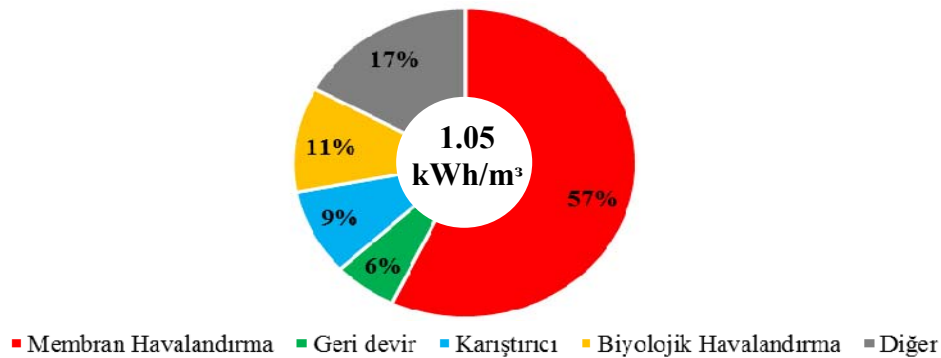


Şekil 2.10 : RO Sistemi şematik görünümü.

Sistem geri kazanımı, arıtılmış suyun giriş suyuna bölünmesi ile bulunmaktadır. Genel olarak; yüksek debide su istendiğinde, geri kazanımın artırılması gerekmektedir. Su arıtım amaçlı tesislerde %85'e kadar çıkarılmaktadır (Yasa, 2010).

2.5 MBR Biyoreaktörlerinde Enerji Tüketimi

MBR sistemlerinde spesifik enerji tüketimini; tasarım, yerleşim, kapasite, operasyonel stratejiler, membran tipi vs. gibi birçok faktör etkilemektedir. (Krzeminski vd.,2012). Optimal şartlarda işletme ile düşük enerji tüketimi ve enerji verimliliği sağlanmaktadır. Membran modül tiplerine bağlı olmak ile birlikte geleneksel yöntem olan hava ile temizleme sistemi kullanılan MBR sistemlerinde membran havalandırma enerji tüketimleri 0.5-0.7 kWh/m³ aralığındadır. (Krzeminski vd.,2012). Daha önce yapılan çalışmalarda düz plaka tip membran modülü ile içi boş lif modülünün enerji tüketimleri karşılaştırıldığında, düz plaka tip membran modülü enerji tüketiminin yaklaşık olarak % 33-37 daha fazla olduğu görülmüştür. (Krzeminski vd.,2012). MBR sistemlerinde enerji tüketiminin yaklaşık olarak % 50'den fazlasını havalandırma oluşturmaktadır. (Krzeminski vd.,2012). 2007-2010 yılları arasında Heenvliet'te düz plaka tip membran kullanılarak işletilen MBR sisteminin enerji tüketim bileşenleri dağılımlarını gösteren grafik Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11 : 2007-2010 yılları arasında Heenvliet'te düz plaka tip membran kullanılarak işletilen MBR sisteminin enerji tüketim birleşenleri dağılımları (Krzeminski vd., 2012).

Çizelge 2.8'de Literatürde yer alan çeşitli evsel MBR sistemlerinin enerji tüketimleri özet tablosu yer almaktadır.

Çizelge 2.8 : Literatürde yer alan çeşitli evsel MBR sistemlerinin enerji tüketimleri özet tablosu (Krzeminski vd., 2012).

Kurulum yeri	Membran tipi	Debi (m ³ /gün)	Devreye alma yılı	Analiz Periyodu	Enerji Tüketimi (KWh/m ³)	Referans
Schwagalp (AL)	FS/ Hubert	100-156	2003	-	1.40	(Judd, 2006)
Park Place (US)	HF/ Memcor	610-890	2003	-	1.10	(Fatone vd., 2007)
METU (ANK)	FS/Hubert	144	2005	-	1.0-2.0 (~1.4)	(Komesli ve Gökçay, 2010)
Grasse Roumiguieres (FR)	HF/ Zenon	6250	2007	-	0.47-2.2	(Lazarova vd., 2010)
Glessen (DE)	HF/Zenon	2000-6500	2008	-	0.9	(Brepols vd., 2009)
Rodingen(AL)	HF/Zenon	300-3200	1999	2001	2.0-2.4	(Cornel vd., 2003; Brepols vd., 2009)
Markranstadt (AL)	HF/Zenon	2700-4320	2000	2001-2003	0.8-1.5 (~1.36)	(Giesen vd., 2008; Pinnekamp vd., 2008)
Knautnaundorf (AL)	FS/ Hubert	113-432	2002	2002-2003	1.3-2.0	(Judd, 2006; Giesen vd., 2008; Fatone vd., 2007)
Cauley Creek (US)	HF/Zenon	9464-18930	2002	2003	1.59	(Pellegrin & Kinnear 2010)
Brescia-Verziano (IT)	HF/Zenon	12000-42500	2002	2003-2005	0.85	(Giesen vd., 2008; Fatone vd., 2007; Wallis- Lage ve Levesque, 2009)
Monheim (AL)	HF/Zenon	1820-6900	2003	2003-2005	1.0	(Giesen vd., 2008)
Viareggio (IT)	HF/Zenon	5250-6000	2005	2006	<0.60	(Fatone vd., 2007)
Nordkanal-Kaarst (AL)	HF/Zenon	16000-45000	2004	2004-2005	0.4-0.9 (~0.9)	(Judd, 2006; Giesen vd., 2008; Fatone vd.,2007; Wallis-Large ve Levesque 2009; Brepols vd.,2008; Engelhard ve Lindner, 2006; Judd, 2011)
Seelscheid (AL)	FS/Kubota	8544-11000	2004	2004-2005	0.9-1.7 (~1.5)	(Giesen vd., 2008; Wallis-Large ve Levesque, 2009)
Pooler (US)	HF/Zenon	-	2004	2005	1.74	(Pellegrin ve Kinnear, 2010)
Schilde (BE)	HF/Zenon	5250-8500	2004	2005-2006	0.62-0.64	(Wallis- Large ve Levesque, 2009; Fenu vd.,2010; Garces vd., 2007)
Fowler (US)	HF/Zenon	9500	2004	2005-2007	4.23	(Pellegrin ve Kinnear, 2010)
Varsseveld (NL)	HF/Zenon	6000-18120	2005	2005-2009	0.75- 1.0	(Giesen vd., 2008; Van Bentem vd.,2008; Van Bentem vd., 2010).
Westbury (UK)	FS/Kubota	4150-5008	2002	2006-2007	1.98	(Ryan, 2007)
Dundee (US)	FS/Kubota	2990-5700	2005	2006-2007	0.66-1.23	(Stone ve Livingston, 2008)
Heenvliet (NL)	FS/ Toray	912-2400	2006	2006-2009	0.7-1.2	(Mulder, 2009)
Ulu Pandan (SG)	HF/Zenon	23000	2006	2007	0.54-0.55	(Wallis- Large ve Levesque, 2009; Tao vd., 2008)
Delphos (US)	FS/Kubota	5700-45500	2006	2007-2009	1.59-1.95	(Livingstone, 2008)
Healdsburg (US)	HF/Memcor	6057-15142	2004	2008-2009	1.82	(Pellegrin ve Kinnear, 2010)
LOTT(US)	HF/Memcor	7600	2006	2008-2009	1.61	(Pellegrin ve Kinnear, 2010)
Bonnita Springs (US)	HF/Zenon	15250	2007	2008-2010	1.43	(Pellegrin ve Kinnear, 2010)
Running Springs (US)	FS/Kubota	2300- 4500	2003	2009-2010	1.3-3.0 (~0.7)	(Judd, 2011)
Sabadell- Riu Sec(ES)	FS/ Kubota	35000- 62880	2008	2010	0.8-1.0	(Judd, 2011)
Santa Paula (US)	HF/ Koch	12900- 27000	2010	2010	1.16	(Koch, 2011)

3. MATERYAL VE METOT

MBR pilot tesis çalışmaları, GOSB atıksu arıtma tesisinde yapılmıştır. Aşağıda GOSB evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisi ve burada kurulan, üzerinde çalışmalar yapılan MBR pilot tesis tanıtımı ve çalışmaları yer almaktadır.

3.1 GOSB Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Tanıtımı

GOSB Atıksu Arıtma Tesisi, Gebze Organize Sanayi Bölgesi bünyesinde bulunan farklı sektörlerle ait 192 sanayi kuruluşuna ait atıksuları arıtmak için tasarlanmış, 2009 Yılında 13.500 m² alan üzerine Kocaeli ili Çayırova mevkiine MASS ARITMA A.Ş. tarafından inşa edilmiş bir atıksu arıtma tesisi' dir. Şekil 3.1'de GOSB Atıksu Arıtma Tesisi görünümü, Şekil 3.2'de Gebze organize sanayi bölgesi pilot tesisin yeri ve Şekil 3.3'te GOSB Atıksu Arıtma Tesisi blok diagramı verilmiştir.



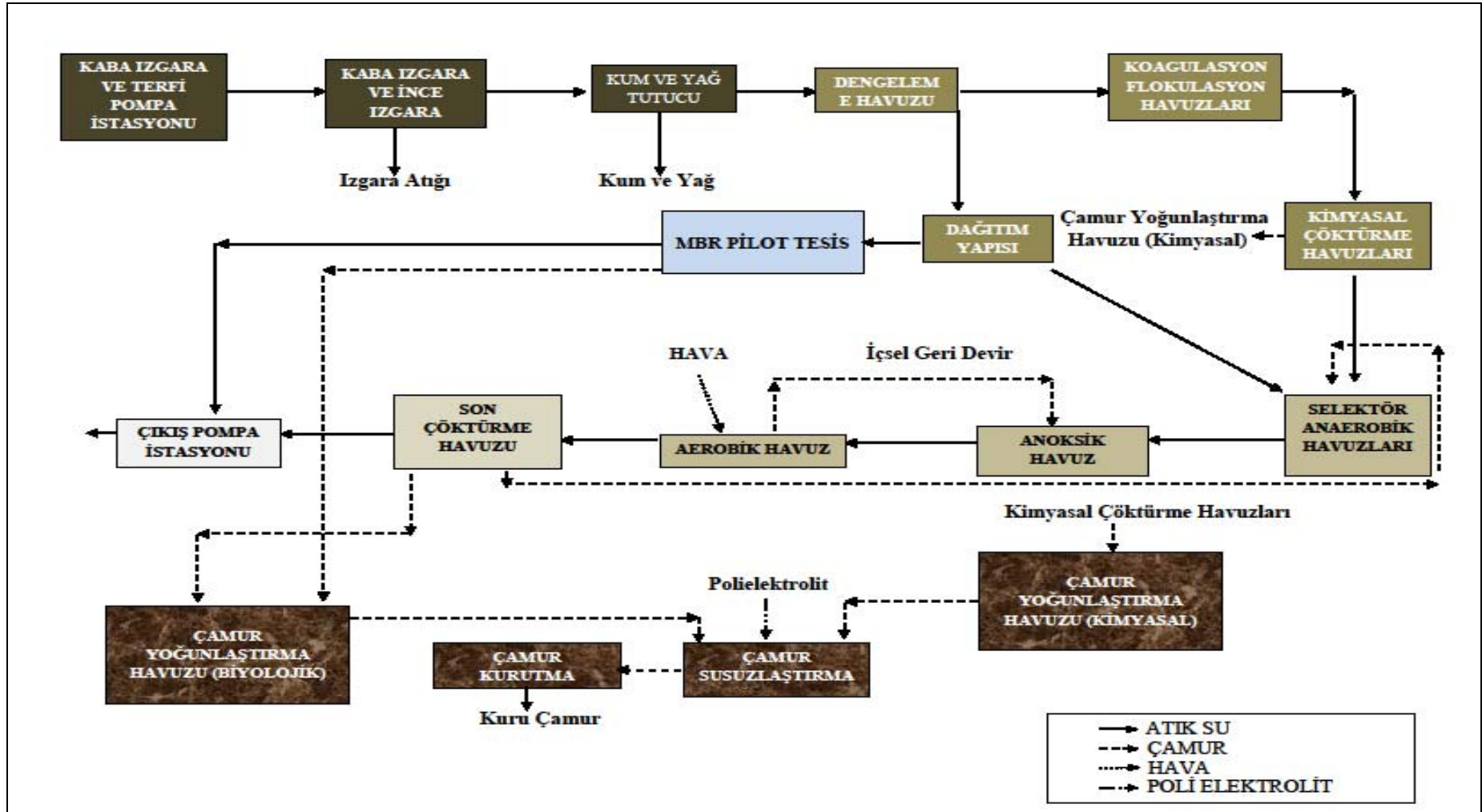
Şekil 3.1 : GOSB atıksu arıtma tesisi görünümü.



Şekil 3.2 : Gebze organize sanayi bölgesi pilot tesisin yeri.

Arıtma tesisine gelen atıksular genellikle karışık endüstriyel nitelikte olup, içerisinde evsel suları barındırmakla birlikte özellikle kış aylarında yağmur suları da mevcuttur. GOSB Atıksu Arıtma Tesisi, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği “Tablo 19: Karışık Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları” parametrelerine uygun olarak işletilmektedir. Arıtma sistemi, fiziksel ön arıtmanın yer aldığı ileri azot ve fosfor giderimli biyolojik aktif çamur sistemini esas almaktadır.

Tesis, 6.400 m³/gün debi ve 2.500 mg/L KOI, 10 gün çamur yaşında ATV 131 E ve WEF Manual of Practice doğrultusunda tasarlanmıştır. Arıtma tesisinin, fiziksel ön arıtmasında ardışık olarak kaba ve ince ızgaralar ile kum ve yağ tutucu vardır. Sonrasında dengeleme havuzu, kimyasal arıtma ve biyolojik arıtma, arıtılmış su tankı mevcuttur. Ayrıca çamur yoğunlaştırma üniteleri (kimyasal ve biyolojik), çamur susuzlaştırma (dekantör), çamur kurutma sistemi ve biyolojik koku giderim sistemi (biyofiltre) vardır. Kimyasal arıtmada; koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme üniteleri vardır. Biyolojik arıtmada ise havalandırma ve çöktürme havuzları haricinde anaerobik ve anoksik tankları da bulunmaktadır. Gelen kirletici konsantrasyonlar göz önünde bulundurulduğunda kimyasal arıtma devre dışı durumdadır.



Şekil 3.3 : GOSB atıksu arıtma tesisi blok diagramı.

Yapılan hesaplamalar da anoksik hacmin toplam hacime oranı %20 olması yeterli iken tasarım da bu oran %25 kabul edilmiş ve havalandırma havuzu bu doğrultuda boyutlandırılmıştır. Böylece sistem ileride olası azot konsantrasyonu artışından etkilenmeyecek esnekliğe de sahip olacaktır. Benzer şekilde gelecekte ihtiyaç olması halinde anoksik reaktörlere ilave difüzör temin edilerek hava verilmesi suretiyle aerobik hacim arttırılabilecek durumdadır. Proses seçiminde ve yerleşiminde minimum alan kullanılmaya özen gösterilmek için iç içe tanklardan oluşan kompakt biyolojik reaktör ve son çökeltme havuzları dizayn edilmiştir.

GOSB Atıksu Arıtma Tesisi' ne Ocak 2015 – Şubat 2016 tarihleri arasında gelen atıksuların günlük ortalama debisi 4.000 m³ 'dür

GOSB Atıksu Arıtma Tesisi giriş atıksu değerleri ve GOSB Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu değerleri sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir:

Çizelge 3.1 : GOSB atıksu arıtma tesisi giriş atıksu değerleri.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
KOİ (mg/l)	610	3540	1600
BOİ (mg/l)	235	820	530
AKM (mg/l)	110	980	340
T.N (mg/l)	9	88	45
T.P (mg/l)	1,15	14	5,40
iletkenlik (µs/cm)	1115	3580	2045
Yağ&gres (mg/l)	30	90	55
T.Cr (mg/l)	0,05	1,15	0,60
Cr (mg/l)	0,01	0,38	0,10
Pb (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2
T.Cn (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2
Cd (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02
Fe (mg/l)	2,32	6,15	3,90
Fl (mg/l)	0,02	1,60	0,40
Cu (mg/l)	0,01	2,90	0,8
Zn (mg/l)	0,20	2,20	0,95
Al (mg/l)	0,06	1,40	0,9
Ni (mg/l)	0,14	1,60	0,57
Cl (mg/l)	-	-	-
Mn (mg/l)	-	-	0,29
Sıcaklık (°c)	12	27,5	21
p H	5,7	7,3	6,9

Çizelge 3.2 : GOSB atıksu arıtma tesisi çıkış suyu değerleri.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
KOİ (mg/l)	37	84	60
BOİ (mg/l)	10	30	18
AKM (mg/l)	10	20	14
T.N (mg/l)	<2	8	5,6
T.P (mg/l)	<0,2	1	0,4
iletkenlik (µs/cm)	1024	2910	1982
Yağ&gres (mg/l)	<10	14	<10
T.Cr (mg/l)	<0,02	0,05	<0,02
Cr (mg/l)	<0,02	0,02	<0,02
Pb (mg/l)	<0,2	0,1	<0,2
T.Cn (mg/l)	<0,01	0,02	<0,01
Cd (mg/l)	<0,1	0,01	<0,01
Fe (mg/l)	<0,1	2,3	0,26
Fl (mg/l)	<0,1	4,1	0,41
Cu (mg/l)	<0,2	0,22	0,29
Zn (mg/l)	0,06	0,22	0,12
Al (mg/l)	0,14	0,78	0,12
Ni (mg/l)	-	-	0,30
Cl (mg/l)	-	-	-
Mn (mg/l)	-	-	0,20
Sıcaklık (°c)	8,9	29,1	19,7
p H	6,5	7,5	7

3.2 MBR Pilot Tesis Sistemi

Bu çalışma için tasarlanan MBR pilot tesis 3.1’de tanıtılan GOSB evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisinde kurulmuştur. Membran modülleri reaktör dışında tasarlanmış olup, MBR-1, MBR-2, MBR-3 ve MBR-4 olmak üzere 4 ayrı bölüme yerleştirilmiştir. Her bir bölümde hava kabarcığı ile temizleme alt yapısı oluşturulmuş ve hava debisi 4 m³/ saat olarak sabitlenmiştir. Geri devir 1:3 oranında airlift sistemi kullanılarak sağlanmıştır. Her bir bağımsız reaktörden günlük çamur atımı için alt yapı hazırlanmıştır. Tesise düzenli olarak GOSB arıtma tesisi dağıtım yapısından 4.000 lt / gün atıksu ile beslenmiştir. Üretim koşullarına ve yağışlı havalara bağlı olarak; membran pilot tesis atıksu giriş KOİ değerinin 620-3.527 mg/l arasında değiştiği izlenmiştir. Atıksu düzenli olarak dengeleme tankı çıkışından alınmıştır. Çalışma boyunca çoğu zaman atıksuda bir takım olumsuz koşullara rastlanmıştır. Bunun sebebi GOSB’ta yer alan çeşitli sektörlere ait değişken atıksu kaynağıdır. Biyodizel üretimden kaynaklanan petrol türevleri, gıda üretiminden

kaynaklanan maya ve yağ, deterjan üretiminden kaynaklanan aşırı köpürme v.s gibi olumsuzluklar gözlenmiştir. Pilot tesiste poli alüminyum klorür (100mg/L PAC %17) kullanımı öncesi olumsuz köpürme koşulları ve PAC kullanımı sonucu Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Pilot tesiste PAC kullanımı öncesi olumsuz köpürme koşulları ve PAC kullanımı sonucu.

GOSB AAT'de kimyasal arıtma devrede olmadığından bu olumsuzluklar doğrudan pilot tesise yansımıştır. Bu nedenle çalışmanın başlangıcında membranlarda aşırı tıkanmalar meydana gelmiştir. Çalışmanın ilk bir aylık döneminde GOSB atıksu girişinde yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı ortaya çıkan olumsuz koşullar sebebiyle bütün membran modülleri haftada bir geri yıkama suyu (%0,25'lik sodyum hipoklorit) ile bir defaya mahsus olmak üzere %0,2 lik ($P_h < 2$) sitrik asit çözeltisi ile periyodik temizlik yapılmıştır. Membranlarda yaşanan tıkanıklık probleminin önüne geçilebilmesi amacıyla 100 mg/L PAC (%17) kullanılmıştır.

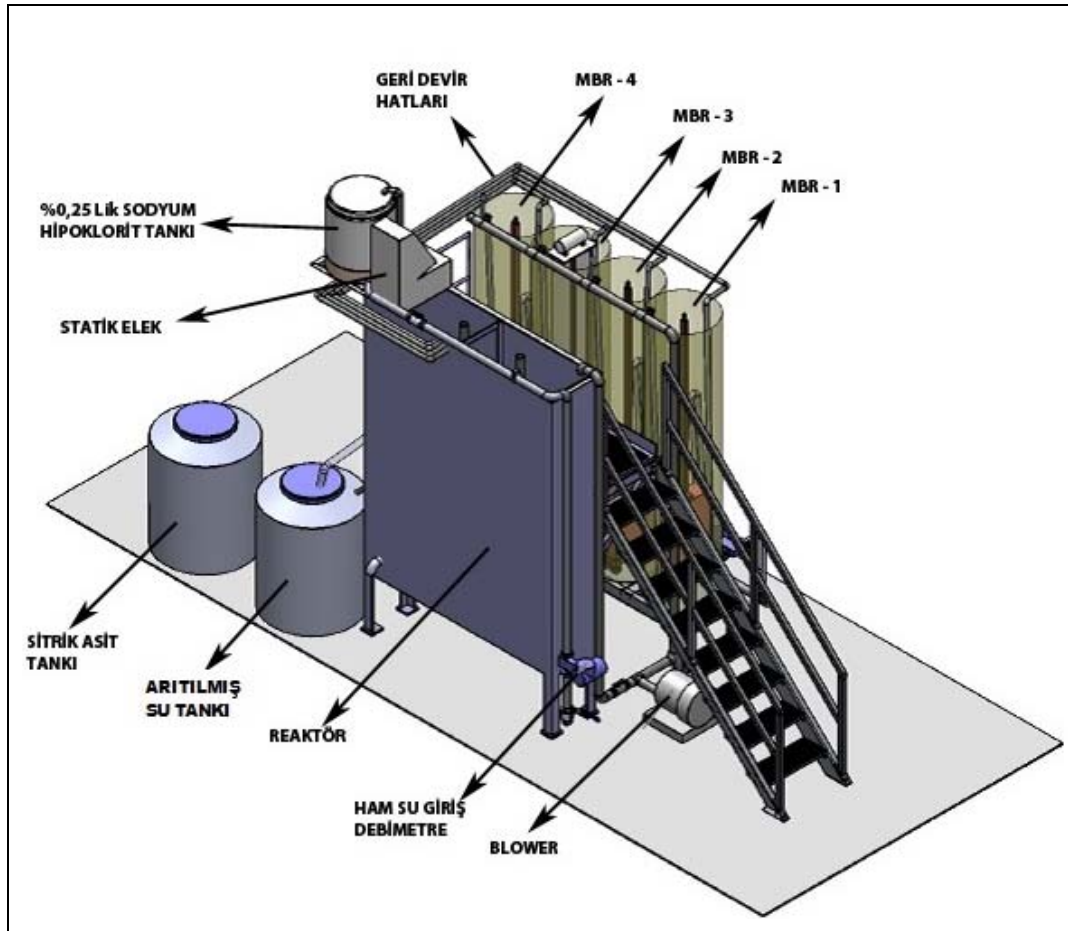
PAC kullanımı süresince MBR pilot tesiste köpürme sorunu ve periyodik temizlik ihtiyacı ortadan kalkmıştır.

Pilot tesis reaktör bölümünde; 12 saat hidrolik bekletme süresi, 0.5-1 mg/L oksijen değeri, 12.000 - 15.000 mg/ l MLSS, 22-30 gün çamur yaşı koşullarında çalışılmıştır. MBR-1-2-3-4 ünitelerinin her birinden 40-60 lt/gün çamur atımı gerçekleştirilmiştir. Biomembranlardan deşarj edilen arıtılmış su MBR pilot tesiste geri yıkama suyu olarak kullanılmak üzere 500 litrelik PE depoda toplanmıştır. Geri yıkama sırasında depolanan çıkış suyuna pH 10 olacak şekilde %0,25 sodyum hipoklorit ilave edilmiştir. PAC dozlaması, 100 mg/l dozlama esasına göre başlangıçta reaktör bölümüne 400 gr/gün olarak, daha sonra beş günde bir 2000 gram toplu dozlama

yapılarak çalışılmıştır. Çizelge 3.3'te MBR pilot tesis işletme koşulları ve Şekil 3.5'te membran pilot tesis şematik görünümü verilmiştir. Parantez içerisindeki değerler uzun süreli pilot tesis çalışmasında seçilen değerlerdir.

Çizelge 3.3 : MBR pilot tesis işletme koşulları.

MLSS	10.000-15.000 mg/L (12.000 mg/ L)
MLVSS	8000-10,500 mg/L (10.500 mg/ L)
KAPASİTE	4.000 L/gün
GERİ DEVİR ORANI	1:3
SRT	22-30 gün (22 gün)
HRT	12 saat
PAC 17 KULLANIMI	100 mg/L
NaClO KULLANIMI	%0,25
ETKİN TEMİZLİK SÜRELERİ	45-15 dk, 12-3 dk, 10- 5 dk, 15-5 dk
(Filtrasyon- etkin temizlik)	(15dk-5 dk)



Şekil 3.5 : MBR pilot tesis şematik görünümü.

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de pilot tesis genel görünümü ve Şekil 3.8'de MBR pilot tesisi blok diagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : MBR pilot tesis genel görünümü.



Şekil 3.7 : MBR pilot tesis genel görünümü.

Çizelge 3.4 : MBR pilot tesis çalışmalarında kullanılan ekipman ve aksesuarlar.

No	Sistemde Kullanılan Ekipman ve Aksesuarlar	Özellikler	Miktar
Membran plakalar			
1		MMF marka (Model: Max Flow: UX05-002), düz plakalı tip formunda PES malzemeden, 4.3 m ² yüzey alanı, 15-25 l/m ² -saat akı ve 40 nm gözenek çapına sahip modül kullanılmıştır.	4 adet
		Seramik membran ITN Water Filtration marka (Model: Filtration modülT-seri HP-S) düz plakalı tip formunda seramik malzemeden, 4 m ² yüzey alanına sahip modül kullanılmıştır.	1 adet
Statik elek			
2		Mass Arıtma Sistemleri İnşaat San. ve Tic. A.Ş. tarafında üretilen, membran modüllerini tıkayabilecek atıksudaki katı maddeleri ayırmak için elek aralığı 1 mm olan paslanmaz çelik statik elek kullanılmıştır.	1 adet
Atıksu besleme pompası			
3		Dalgıç tip Lowara marka, basma kapasitesi: 6.5 m ³ /sa, h: 6 mss, 0.55 kW gücünde atıksu besleme pompası kullanılmıştır.	1 adet

Çizelge 3.4 (devam) : MBR pilot tesis çalışmalarında kullanılan ekipman ve aksesuarlar.

No	Sistemde Kullanılan Ekipman ve Aksesuarlar	Özellikler	Miktar
Blower ve Difüzör			
4		FZP 30 DH modeli, hava kapasitesi 35 m³/saat, basıncı 300 mbar ve 1.1 kW gücünde blower; Aquaflex marka, tip:ADD80-3", hava kapasitesi 5 m³/saat olan difüzörler kullanılmıştır.	1 set
Yıkama kimyasalı transfer pompası			
5		Wilo marka, dalgıç tip, debisi 3 m³/saat, h: 7 mss olan, 0.55 kW gücünde kimyasal transfer pompası kullanılmıştır.	1 adet
Debimetre			
6		Khrone marka 1 adet DN50 atıksu giriş debimetresi ve 4 adet DN 25 artırılmış su çıkış debimetresi kullanılmıştır.	5 adet
Hava akış transmitteri			
7		Reaktör ve MBR-1-2-3-4'e verilen hava debilerini ölçmek Deltaohm marka hotwire sabit tip hava hızı transmitteri kullanılmıştır.	5 set

Çizelge 3.4 (devam) : MBR pilot tesis çalışmalarında kullanılan ekipman ve aksesuarlar.

No	Sistemde Kullanılan Ekipman ve Aksesuarlar	Özellikler	Miktar
8	Ultrasonik seviye ölçer  	Reaktörde seviye kontrolü için Siemens marka ultrasonik seviye ölçer kullanılmıştır.	1 set
9	Titreşim motoru 	Titreşim ile temizleme yöntemi için 1 adet Vibrax-Micro marka titreşim motoru (220 V, 21 Watt, 50 Hz, 4 g) ve (1+1 adet) yine Vibrax- Micro marka titreşim motoru (380 V, 60 Watt, 50 Hz, 4 g) kullanılmıştır.	2+1 adet
10	Ultrasonik yıkama modülü 	Ultrasonik temizleme yöntemi için Everest marka, Mobil clean N ultrasonik yıkama modülü (Mobile clean-15001, toplam kurulu güç 1.5 kW/adet, 220 V, 50 Hz) membranın alt kısmına yerleştirilerek ses dalgalarının direk membran yüzeyine etki etmesi sağlanmıştır. Ultrasonik yıkama modülü sabit 28 Khz'de çalıştırılmıştır.	1 set
11	Reaktör ve platform 	Mass Arıtma Sistemleri İnşaat San. ve Tic. A.Ş. tarafında üretilen karbon çelik reaktör ve platform kullanılmıştır.	1 set

Çizelge 3.4 (devam) : MBR pilot tesis çalışmalarında kullanılan ekipman ve aksesuarlar.

No	Sistemde Kullanılan Ekipman ve Aksesuarlar	Özellikler	Miktar
Membran tankları			
12		Her bir metodunun karşılaştırılmasının yapılabilmesi için reaktör dışında 4 adet silindirik formda, (Ø60 cm, h: 2 m) ve 300 litre hacminde, Mass Arıtma Sistemleri İnşaat San. ve Tic. A.Ş tarafından üretilen karbon çelik membran tankı kullanılmıştır.	4 adet
Çamur transferi için air lift sistemi			
13		Çamur transferi için her bir membran tankına 1 adet olmak üzere toplam da 4 set airlift sistemi kullanılmıştır. Her membran tankı airlift sistemi için 2 m³/ sa olmak üzere toplam da 8 m³/sa hava ihtiyacı blowerdan sağlanmıştır. Çamur pompası yerine airlift sistemi kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır. Geri devir 1:3 oranı da airlift sistemi kullanılarak sağlanmıştır.	4 set
Geri yıkama tankı			
14		Geri yıkama sistemi için (%0,25 pH:10 sodyum hipoklorit) 100 lt PE tank kullanılmıştır.	1 adet
Arıtılmış su tankı ve sitrik asit tankı			
15		Sitrik asit (%0,2, pH < 2) için 500 lt PE tank kullanılmıştır. Geri yıkama suyu ihtiyacı ve arıtılmış su deşarjı sırasında taşmalı çalışan 1 adet 500 lt PE tank kullanılmıştır.	2 adet

Çizelge 3.4 (devam) : MBR pilot tesis çalışmalarında kullanılan ekipman ve aksesuarlar.

No	Sistemde Kullanılan Ekipman ve Aksesuarlar	Özellikler	Miktar
16	Otomasyon sistemi 	Membran pilot tesisinde uzaktan izleme ve kayıt yapılabilmesi için SCADA otomasyon sistemi kullanılmıştır. Debimetreler ile deşaj debisi ve hava akım debileri; ayrıca Blower ve terfi pompası hattı üzerine takılan akım trafoları ile çektikleri güç kayıt altına alınmıştır.	1 set

✓ Pilot tesis çalışmalarında kullanılan membran modülü özellikleri Çizelge 3.5’te verilmiş, görünümü ise Şekil 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Pilot tesis çalışmalarında kullanılan membran modülü özellikleri.

Açıklama	Teknik Özellik
Marka	MMF
Membran tipi	Düz plakalı tip
Membrane yüzey alanı (m ²)	4.3
Gözenek çapı	40 nm
Genişlik (mm ±2.5)	152
Yükseklik (mm ± 0.0)	540
Ağırlık (kg)	15.5
Oksijen ihtiyacı (m ³ /h)	5
Akı (Flux rate) (l/m2-saat)	15 - 25
Spesifik akı (l/m2-saat*bar)	200-300
İşletme basıncı (mbar)	
Geri yıkama basıncı (mbar)	< 50
Sıcaklık aralığı (°C)	5 – 50
pH (Geri yıkama için)	2 – 11



Şekil 3.9 : PES membran modülü.

- ✓ Pilot tesis çalışmalarında kullanılan seramik membran özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiş olup, Şekil 3.10'da görünümü gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Pilot tesis çalışmalarında kullanılan seramik membran modülü özellikleri.

Açıklama	Teknik Özellik
Marka	ITN Water Filtration
Membran tipi	Düz plakalı tip
Membrane yüzey alanı (m ²)	4
Toplam plaka sayısı	35
Genişlik (mm ± 0.0)	510
Uzunluk(mm ± 0.0)	610
Yükseklik (mm ± 0.0)	140
Modül ağırlığı (kg)	30
Maksimum debi (l/h)	280
Emme Basıncı (bar)	-0.7 bar
Geri yıkama basıncı (bar)	-1.5 bar
pH (Geri Yıkama İçin)	2 – 11
Geçirgenlik (Flux rate) (l/m ² -saat)	15 - 25
İşletme basıncı (mbar)	20 – 250
Sıcaklık aralığı (°C)	5 – 35



Şekil 3.10 : Seramik membran modülü görünümüleri.

• Otomasyon Sistemi

Membran pilot tesisi SCADA otomasyon sistemi ile uzaktan izleme ve kayıt gerçekleştirilmiştir. Pilot tesiste SCADA sistemi ile deşarj debileri, hava akısı ve enerji bütçesi kayıt altına alınmıştır. Litre/gün cinsinden kayıt altına alınan deşarj debisi scadaya tariflenen ve aşağıda verilen formül ile lt/m²-saat cinsinden verilere işlenmiştir.

• Akı Hesabı:

$$J_t = Q_p/A \quad (2.1)$$

- ✓ J_t : t zamandaki anlık süzöntü suyu akısı (lt/m² -saat)

- ✓ Qp: t zamandaki süzüntü suyu debisi (lt/saat)
- ✓ A: Toplam membran yüzey alanı (m²)

• **Pilot tesis tasarım bilgileri**

Tek bir membranın yüzey alanı (Maxflow-UX05-002): 4.3 m²

Geçirgenlik (lt/m²-sa): 15-25 arasında olabilmektedir.

Buradan hareketle membran geçirgenliğini 15 lt/m²-sa olarak kabul edersek her bir membran için debi eşdeğeri;

$$(15 \text{ lt/m}^2\text{-sa}) \times (4.3 \text{ m}^2) / 1000 = 0.0645 \text{ m}^3/\text{sa}$$

Toplam 16 saat çalışma süresi için tek modül için debi: 16 x 0.0645 = 1.032 m³/gün

Toplam debi:

$$Q = 4 \times 1.032 = 4.128 \text{ m}^3/\text{gün}$$

• **Reaktör hacmi hesabı:**

F/M: ~ 0.175 g KOİ/ g MLVSS/gün olarak kabul edilirse (Brepols, 2010);

$$\frac{Q \times S_o}{F / M \times X} = \frac{4.125 \times 1400}{0.1 \times 15000} \quad 2.2016 \text{ m}^3 \quad (3.1)$$

Efektif yükseklik: 2.4 m kabul edilirse;

$$V = W \times L \times H \Rightarrow 2.2016 = W \times L \times 2.4 \Rightarrow W \times L = \sim 0.92 \text{ m}^2$$

Her dört MBR modülün yan yana yerleştirileceği düşünülürse gereken minimum reaktör uzunluğu: 2000 mm olması gerekmektedir.

$$W \times 20 = 0.92 \text{ m}^2 \Rightarrow W = 0.46 \text{ m olmalıdır.}$$

• **Hidrolik bekletme süresi hesabı:**

$$\text{HRT} = V/Q \Rightarrow (2.2016/4.128) = 0.53 \text{ gün} \sim 13 \text{ saat} \quad (3.2)$$

• **Fazla çamur miktarı ve hava ihtiyacı:**

Seçilen çamur yaşı, SRT = 20 gün (MetcalfveEddy, 2003)

$$P_x \text{ SRT} = V_T \times X \quad (\text{MetcalfveEddy, 2003}) \quad (3.3)$$

P_x = Fazla çamur miktarı, kg/gün

$$V = 2.2016 \text{ m}^3$$

$P_x = 0.154 \text{ kg/gün}$

Membranlar için toplam hava ihtiyacı : $4 * 4 = 16 \text{ m}^3/\text{saat}$

Air lift sistemi için toplam hava ihtiyacı : $2 * 4 = 8 \text{ m}^3/\text{saat}$

Reaktör karışım için hava ihtiyacı : $2,5 * 1 = 2,5 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'tir.

3.3 MBR Pilot Tesis Çalışma Koşullarının Belirlenmesi, Tıkanıklık, Akı ve Enerji Mukayese Çalışmaları

3.3.1 Çalışma koşullarının belirlenmesi

MBR pilot tesiste dört farklı metodun aynı çalışma koşullarında değerlendirilmesi için çalışmanın başlangıcında, çalışma koşulları (temizleme periyodu, MLSS konsantrasyonu ve PAC'lı çalışma) belirlenmiştir. MBR pilot tesis, belirlenen çalışma koşulları ile 12 ay boyunca çalıştırılmıştır.

3.3.1.1 Etkin temizlik sürelerinin belirlenmesi

MBR pilot tesis çalışmasında; temizlik sürelerinin belirlenmesi için dört farklı metodun kendi temizleme yöntemi kullanılarak; dört farklı filtrasyon ve temizlik süresi 10'ar günlük çalışma periyotları ile denenmiştir. Aşağıda denenilen dört farklı filtrasyon ve temizlik süreleri ile ilgili bilgiler yer almaktadır:

Çeşitli zaman aralıkları ile deşarj kesintiye uğratılmış; bunun için saatte 15 dk, 12 dk ve 20 dk kesintiler uygulanmıştır. Çalışmanın ilk bölümü saatte 15 dk, 12 dk ve 20 dk olan uzun etkin temizlik aralıkları ile yapılmış, daha sonra süreler parçalara bölünerek sırası ile her 45 dakikada 15 dakika, 12 dakikada 3 dakika, 10 dakikada 5 dakika ve 15 dakikada 5 dakika olarak daha kısa aralıklarda tekrarlanmıştır. Sistemde temizlik için kullanılan hava debisi her metod için eşit miktarda uygulanarak her metodun kendi yöntemi ile temizlik sağlanmıştır.

MBR-1'de membran modülünün altına yerleştiren difüzör sistemi ile hava kabarcıklarının kesme kuvvetinden yararlanılarak filtrasyon - temizlik süreleri sırası ile,

45 dakika filtrasyon- 15 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,

12 dakika filtrasyon- 3 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,

10 dakika filtrasyon- 5 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,

15 dakika filtrasyon- 5 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
denenmiş ve tıkanıklık durumu gözlenmiştir.

MBR-2 sisteminde ultrasonik temizleme modülü membranın ayak kısmına yerleştirilip doğrudan membran yüzeylerine etki etmesi sağlanmış ve filtrasyon - temizlik süreleri sırası ile,

45 dakika filtrasyon- 15 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
12 dakika filtrasyon- 3 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
10 dakika filtrasyon- 5 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
15 dakika filtrasyon- 5 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
denenmiş ve tıkanıklık durumu gözlenmiştir.

MBR-3'te 1 adet 220 V, 20 Watt (50 Hz, 4 g) titreşim motoru ve 1 adet 380 V, 60 Watt (50 Hz, 4g) titreşim motoru kesintisiz devrede bırakılmış, aşağıda sırasıyla denenilen filtrasyon - temizlik sürelerinde sadece deşarj kapatılarak yapılan etkin temizlikte 4 m³/saat hava akısı devreye sokularak;

45 dakika filtrasyon- 15 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
12 dakika filtrasyon- 3 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
10 dakika filtrasyon- 5 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
15 dakika filtrasyon- 5 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
denenmiş ve tıkanıklık durumu gözlenmiştir.

MBR-4'te hava kabarcıklarının kesme kuvveti ile temizleme (MBR-1) sistemine ek olarak, aşağıda sırasıyla denenilen filtrasyon- temizlik sürelerinde; deşarj kapatılarak yapılan etkin temizlik zamanlarında depolanan çıkış suyuna %0,25 sodyum hipoklorit ilavesi yapılarak pH 'ın 10 olması sağlanmış ve geri yıkama yapılmıştır.

45 dakika filtrasyon- 15 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
12 dakika filtrasyon- 3 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
10 dakika filtrasyon- 5 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
15 dakika filtrasyon- 5 dakika deşarjın kesilmesi ile temizlik,
denenmiş tıkanıklık durumu gözlenmiştir.

Bulgular bölümünde karşılaştırmalı belirtildiği üzere; en efektif temizleme süresi 15 dakika filtrasyon ve 5 dakika etkin temizlik süresi olarak belirlenip çalışmalara bu şekilde devam edilmiştir.

3.3.1.2 MLSS konsantrasyonunun belirlenmesi

MBR pilot tesis çalışmasında çalışma koşullarının belirlenmesi için aşağıda dört farklı temizleme metodu bulunan pilot tesis üzerinde sırası ile 15.000 mg/L, 12.000 mg/L MLSS konsantrasyonunda 20'şer gün çalışılmıştır.

MLSS konsantrasyonu 15.000 mg/L uygulamasında MBR ünitesinden ayrı ayrı 40 litre/gün olmak üzere toplamda 160 lt/gün çamur atımı gerçekleştirilmiş ve SRT 30 gün tutulmuştur. MLSS konsantrasyonu 12.000 mg/L uygulamasında MBR ünitelerinden ayrı ayrı 50 litre/gün olmak üzere toplam da 200 litre/gün çamur atımı gerçekleştirilmiş ve SRT 22 gün tutulmuştur. Stokiyometrik analizde atılan çamurun %75'i PAC ve onun etkisi ile çamura dönüşen AKM'den, %25'i biyolojik çamur fazlasından oluşmaktadır.

3.3.1.3 PAC 17 (poli alüminyum klorür) kullanımı

GOSB'ta bulunan; boya-yapı malzemeleri, kozmetik - kişisel temizlik ürünleri, gıda, kimya-ilaç sanayi gibi farklı sektörlerde faaliyet gösteren 192 firma bulunduğundan çoğu zaman atıksu karakterinde değişkenlikler olduğu gözlenmiştir.

- Temizlik maddesi üretimi yapılan tesisler kaynaklı fosfor ve yüzey aktif maddenin fabrika çıkışlarında yeterli düzeyde tutulamaması,
- Boya ve kimyasal ara ve hammadde üretimi yapılan tesisler kaynaklı toksitite özelliği yüksek olan atıksuların kaynağında bertaraf edilememesi,
- İlaç üretimi yapılan tesislerden gelen jelimsi zehirlilik özelliği olabilen maddelerin kontrol altına alınamaması,
- Kaplama tesislerinin bölge genelinde takibinin yeterli sıklık ile yapılamaması,
- Biyodizel üretimi yapan tesis kaynaklı zehirlilik ve yağ-gressin takip edilememesi,
- Gıda sektöründe faaliyet gösteren firmalar bakımından ise KOİ, AKM, Yağ-Gress parametrelerinin tesis girişinde fazlaca değişkenlik göstermesi, bu durumun yağışlı hava debisine bağlı olarak farklı grafik çizmesi,
- Üretimde maya kullanımının yapıldığı tesislerden kaynaklı toksitite varlığı,

MBR pilot tesis çalışmalarını olumsuz yönde etkilemiştir.

MBR pilot tesis çalışmalarının ilk 40 günlük döneminde 12.000-15.000 mg/l MLSS değerlerinde istenilen akı değerlerine ulaşamamıştır.

Çalışmada yukarıda belirtilen olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacı ile 100 mg/l PAC 17 kimyasalı kullanılmıştır. PAC dozlaması başlangıçta reaktör bölümüne günlük eşit miktarda yapılmıştır. Daha sonra günlük dozlama yerine beş günde bir toplu dozlama yapılmasının daha etkili olduğu gözlenmiş ve çalışmaya bu şekilde devam edilmiştir.

3.3.2 Tıkanıklık problemini azaltmaya yönelik çalışmalar

Yukarıda belirlenen çalışma koşullarında (MLSS 12000 mg/L, etkin temizlik süresi 15 dk- 5 dk, 100 mg/L PAC 17) MBR pilot tesis çalışmaları sürdürülmüş ve aşağıda belirtilen dört farklı temizleme metodu uygulanmıştır. Çizelge 3.7’de kullanılan temizleme sistemleri için filtrasyon ve etkin temizlikte devrede olan sistemler ile ilgili özet tablo bulunmaktadır. MBR-3 modülü üzerine MBR-1 ve MBR-4’te uygulanan tüm metotlar ilave edilmiş ve böylelikle hava kabarcığı, titreşim ve geri yıkamanın birlikte yer aldığı kombine bir metot denenmiştir.

Çizelge 3.7 : Filtrasyon ve etkin temizlik evrelerinde devrede olan sistemler özet tablosu.

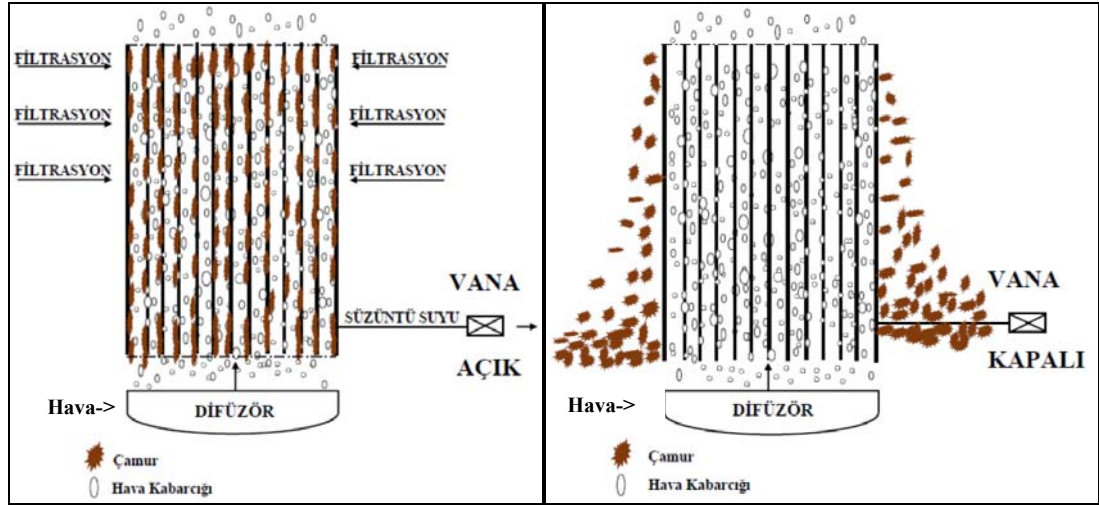
Evre	Devrede Olan Sistem	Membran Modülü	Membran Modülü	Membran Modülü	Membran Modülü	MBR-1-3-4 (Kombine)
		MBR-1	MBR-2	MBR-3	MBR-4	
Filtrasyon	Hava	4 m ³ / saat	-	-	4 m ³ / saat	4 m ³ / saat
	Ses Dalgası	-	28 kHz	-	-	-
	Titreşim	-	-	50 Hz, 4g	-	50 Hz, 4g
	Geri Yıkama	-	-	-	-	-
Etkin Temizlik	Hava	4 m ³ / saat	-	4 m ³ / saat	4 m ³ / saat	4 m ³ / saat
	Ses Dalgası	-	28 kHz	-	-	-
	Titreşim	-	-	50 Hz, 4g	-	50 Hz, 4g
	Geri Yıkama	-	%0.25 NaOCl	%0.25 NaOCl	%0.25 NaOCl	%0.25 NaOCl

3.3.2.1 Hava kabarcığı ile temizleme sistemi (MBR-1)

Hava kabarcığının kesme kuvvetinden yararlanılarak membran yüzey temizliği denenen MBR-1’de, membran modülünün altına yerleştirilen difüzör sistemi ile temizlik sağlanmıştır. Şekil 3.11’de MBR-1 hava kabarcığı ile temizleme sistemi tankı görünümü, MBR-1 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görüntüleri ise Şekil 3.12’de yer almaktadır.



Şekil 3.11 : MBR-1 hava kabarcığı ile temizleme sistemi tank görünümü.



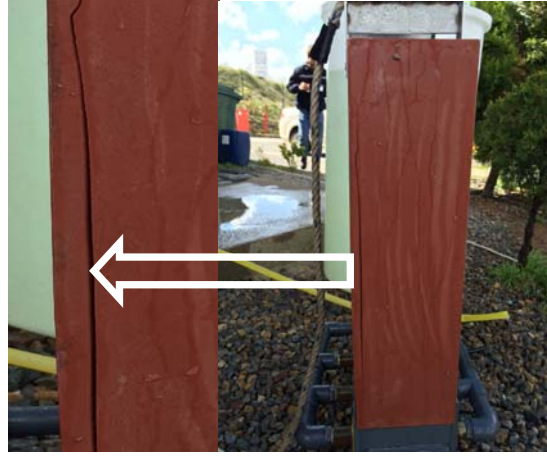
Şekil 3.12 : MBR-1 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünümleri.

Sistemde temizlik için kullanılan hava debisi 4 m³/saat, geri devir oranı 1:3 olarak sabit tutulmuştur. Hava kabarcığı ile yapılan temizlik sırasında her 15 dakikada bir 5 dakika deşarjın kesilmesiyle etkin temizlik yapılmıştır. MBR-1’de SCADA sistemi ile deşarj debileri, hava akısı ve enerji kayıt altına alınmıştır.

3.3.2.2 Ses dalgası ile (ultrasonik) temizleme sistemi (MBR-2)

Bu uygulamada sabit 28 kHz frekansta ses dalgası verebilen mobil ultrasonik temizleme modülü kullanılmıştır. Ultrasonik temizleme modülü oryantasyon mesafesi 15- 30 cm olarak düşünülüp, membranın altına yerleştirilerek doğrudan membran yüzeylerine etki etmesi sağlanmıştır. Sistemde geri devir oranı 1: 3 olarak sabit tutulmuştur. Sistemde ilk edapta 28 kHz’de 250 watt gücünde ultrasonik yıkama modülü yerleştirilmiştir. Ancak cihazın yetersiz kaldığı düşünülüp 28 kHz’de

1.25 kW gücünde ultrasonik yıkama modülüne geçilmiştir. Ultrasonik yıkama kesintisiz uygulanmıştır. PES malzemeden düz plaka tip membran ile başlanan çalışmalarda temizliğin yetersiz kaldığı ve ses dalgasının membran yüzeyine ve konstrüksiyonuna zarar verdiği gözlenmiştir. Ses dalgası çalışmaları sırasında zarar gören membran modülü Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : Ses dalgası çalışmaları sırasında zarar gören membran modülü.

Yapılan araştırmalar sonucu ultrasonik temizleme veriminin sesi yansıtan yüzeylerde (seramik, metal gibi) daha etkili olduğu düşünülmektedir (Wang vd.; 2014). Bu sebepten çalışmanın iki aylık kısmında PES malzemeden düz plaka tip membran modülü yerine seramik membran modülü yerleştirilmiştir. Şekil 3.14'te mobil ultrasonik ses dalgası cihazı, Şekil 3.15'te seramik membran modülü görünümü ve Şekil 3.16'da seramik membran geri yıkama hattı görünümü gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Mobil ultrasonik ses dalgası cihazı.



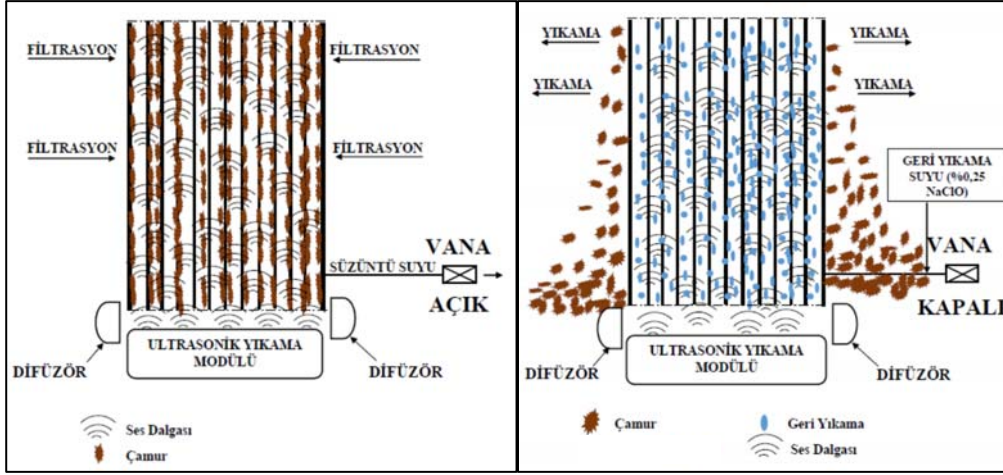
Şekil 3.15 : Seramik membran modülü.



Şekil 3.16 : Seramik membran geri yıkama hattı görünümü.

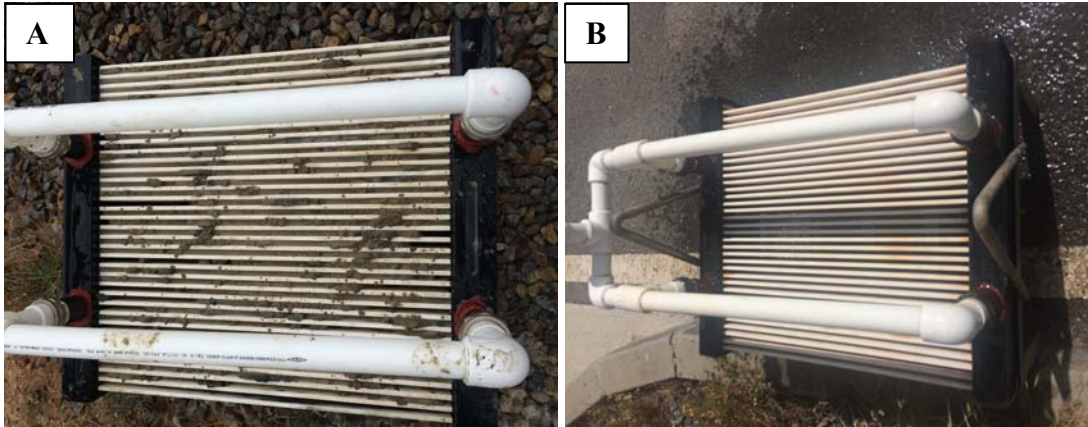
Seramik membranın özelliği sebebiyle, -0,5 bar emme basıncı ile deşarj yapılması ve 1,5 bar ile geri yıkama yapılması gerekmiştir. -0,5 bar emme basıncı, MBR ünitesi deşarj noktası -5 mt kot farkı yaratılarak sağlanmıştır. 1,5 bar geri yıkama basıncı ise şebeke hattından su bağlanarak sağlanmıştır. Şekil.3.18’de görüldüğü gibi geri yıkama debi takibinin yapılabilmesi için su saati takılmıştır. 27 lt/saat geri yıkama debisi kullanılmıştır.

MBR-2 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünümleri Şekil 3.18 ’de yer almaktadır.



Şekil 3.17 : MBR-2 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünümü.

Sistemde 28 kHz’de 1.25 kW gücünde, üç kademe çalışabilen ultrasonik yıkama modülü seramik membran altına yerleştirilmiştir. Toplam gücü 1,25 kW olan ultrasonik yıkama modülünün birinci kademe gücü 0,41 kW, ikinci kademe gücü 0,82 kW ve üçüncü kademe gücü 1,25 kW’tır. Ultrasonik yıkama modülü ilk etapta 0,41 kW ve 0,82 kW gücünde daha sonra 1,25 kW gücünde çalıştırılmıştır. Ultrasonik yıkama modülü 0,41 kW ve 0,82 kW uygulanması sonucu membran plakalarının aralarının temizlenmediği görülmektedir (Şekil 3.18-A), ultrasonik yıkama modülü 1,25 kW uygulanması sonucu membran aralarının temizlendiği görülmektedir (Şekil 3.18-B).



Şekil 3.18 : (A-B) Ultrasonik yıkama modülü uygulaması sonucu seramik membran görünümü.

3.3.2.3 Titreşim ile temizleme sistemi (MBR-3)

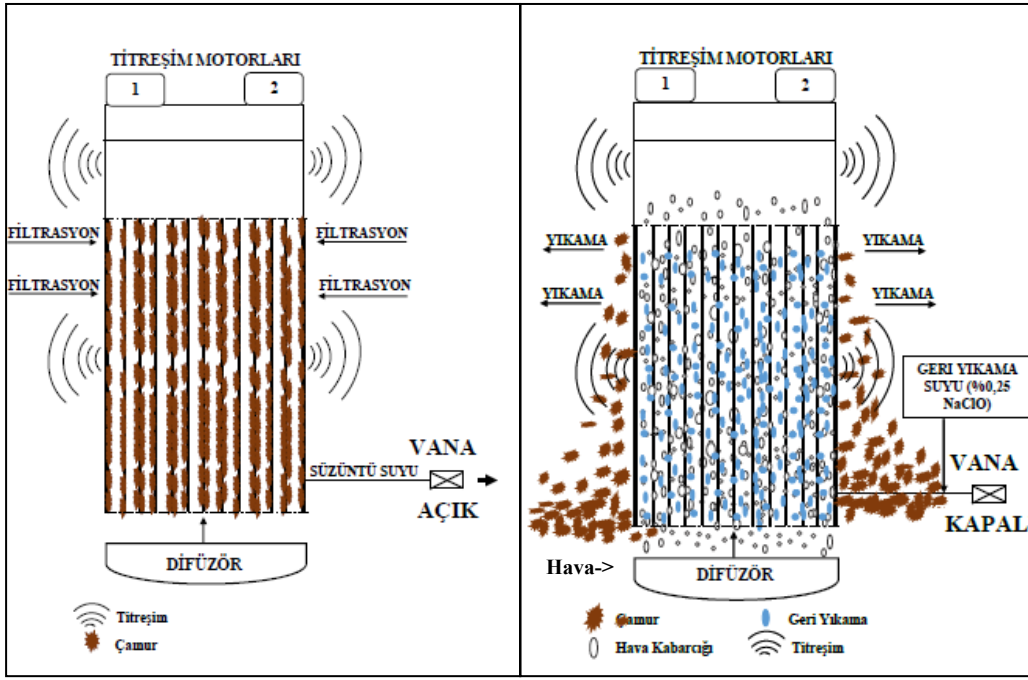
Sistemde membran modülü çelik kafes içerisine sabitlenmiştir. Çelik kafes üzerine 1 adet Vibrax-Micro marka 220 V, 20 Watt (50 Hz, 4g) titreşim motoru ve (1+1) adet

Vibrax- Micro marka 380 V, 60 Watt (50 Hz, 4g) titreşim motoru yerleştirilmiştir (Şekil 3.19). MBR-3 sisteminde geri devir oranı 1: 3 olarak sabit tutulmuştur. Sistemde sadece her 15 dakikada bir deşarj kapatılarak yapılan 5 dakikalık etkin temizlik süresince 4 m³/saat hava akısı devreye sokulmuş, bütün çalışma boyunca bu iki titreşim motoru kesintisiz devrede kalmıştır. Daha yüksek verimde çalışabilmek amacıyla sadece titreşimin devrede olduğu, hava kabarcığı ile temizlik yapılmadığı zamanlarda; çamurun çökmesini önleyebilmek adına 0.5 m³/saat hava kullanılmıştır. Etkin temizlik boyunca 500 litrelik depoda biriktirilen deşarj suyu kullanılarak pH'ı 10 olacak şekilde %0,25 sodyum hipoklorit ile hazırlanan çözelti ile geri yıkama yapılmıştır. Geri yıkama basıncı, MBR su seviyesinden 120 cm yükseklikte sabit statik basınç yaratılmış, 100 litrelik depo kullanılarak sağlanmıştır. Geri yıkama, deşarjın kesildiği, hava kabarcığı ile temizliğin yapıldığı safhada, kapalı olan deşarj vanasının arkasından ve geri yıkama suyunun membran yüzeylerinden tersine geçmesi sağlanarak yapılmıştır.



Şekil 3.19 : Titreşim motorları görünümü.

MBR-3 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünümleri Şekil 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.20 : MBR-3 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünüşleri.

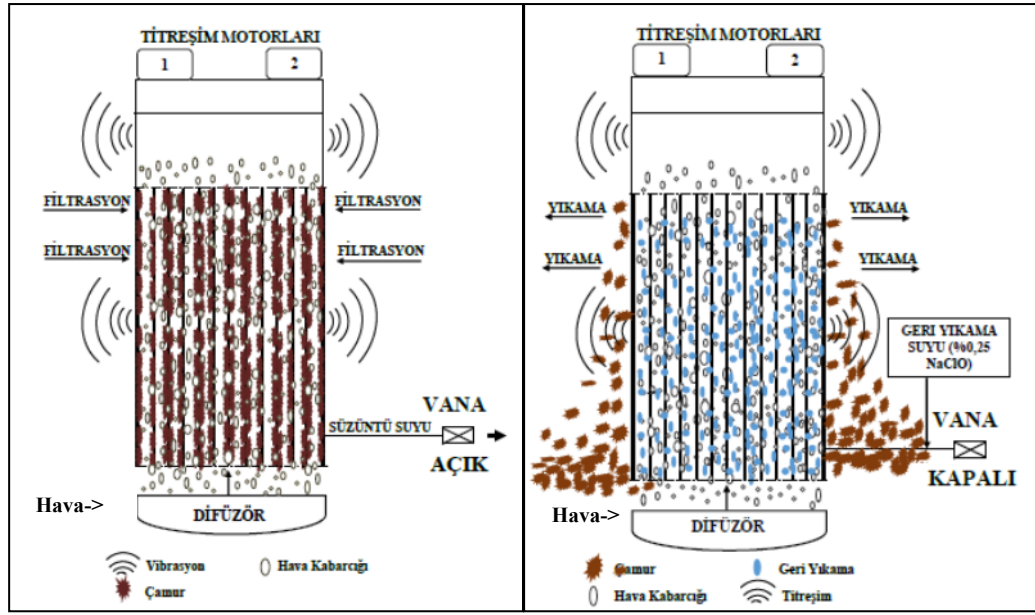
MBR-3 sisteminde tıkanıklığı önlemeye yönelik iki çalışma yapılmış ve aşağıda açıklanmıştır.

1. MBR-3 sisteminde yapılan ilk çalışmada $4 \text{ m}^3/\text{saat}$ hava kabarcığı, titreşim ve geri yıkama uygulanmıştır. Bütün çalışma boyunca 20 Watt ve 60 Watt titreşim motorları kesintisiz devrede kalmıştır. Her 15 dakikada bir 5 dakika akı kesilerek yapılan etkin temizlik boyunca 500 lt deşarj suyu kullanılarak pH'ı 10 olacak şekilde %0,25'lik sodyum hipoklorit ile hazırlanan çözelti ile geri yıkama yapılmıştır.

2. MBR-3 sisteminde yapılan ikinci çalışmada aynı çalışma koşullarında, 80 Watt gücünde olan titreşim motorlarının güçleri iki katına çıkartılabilmesi için, sistemde bulunan çelik kafes üzerine farklı güçlerde 2 adet Vibrax-Micro marka 220 V, 50 Watt titreşim motoru ve 1 adet Vibrax- Micro marka 380 V, 60 Watt titreşim motoru yerleştirilmiş, titreşim gücü toplam da 160 Watt olmuştur. Yirmi gün boyunca 160 Watt vibrason gücünde çalışmalar sürdürülmüş tıkanıklık gözlenmiştir.

MBR-3 sisteminde, $4 \text{ m}^3/\text{saat}$ hava akısı sürekli verilerek 80 Watt ve 160 Watt titreşim gücünde yapılan çalışmada akı mukayesesi yapılmıştır.

MBR-3 sistemine ek olarak çalışmanın bir aylık sürecinde; titreşim, sürekli hava ve geri yıkama uygulanarak kombine temizleme metodu çalışmaları yapılmıştır. Aşağıda MBR-1-3-4 kombine sistemin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünüşleri Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.21 : MBR-1-3-4 (kombine) sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünümüleri.

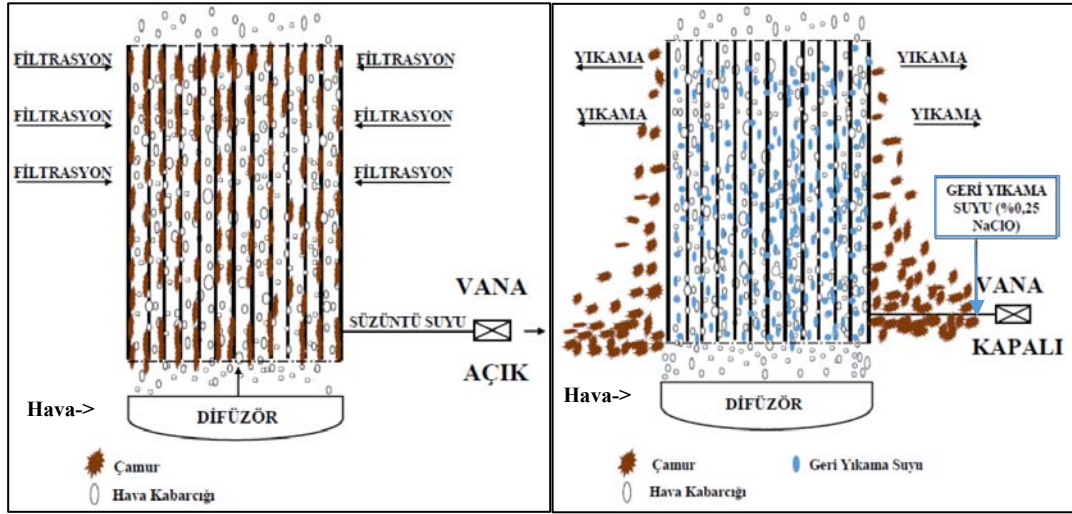
3.3.2.4 Hava kabarcığı ve geri yıkama yöntemi ile temizleme sistemi (MBR-4)

MBR-4 sisteminde hava kabarcığı ve geri yıkama yöntemi uygulamasının aynı anda yapılabilmesi için membran modülünün altına yerleştirilen difüzör sistemi ile hava kabarcıklarının kesme kuvvetinden yararlanılmış, hava kabarcığı ile temizleme (MBR-1) sistemine ek olarak, etkin temizleme sırasında geri yıkama uygulaması yapılmıştır. 500 litrelik PE depoda toplanan çıkış suyu pH: 10 olacak şekilde %0,25 Sodyum Hipoklorit eklenmiştir. Geri yıkama basıncını sağlayabilmek için MBR-4 sisteminin su seviyesinin üst sınırına 120 cm yüksekliğinde 100 litrelik PE tank yerleştirilmiştir. Görünümü Şekil 3.22’de verilmiştir. Böylelikle statik basınç sağlanmıştır. PE tankta depolanan çıkış suyu; dalgıç tip pompa ile 100 litrelik besleme tankına basılmıştır. Sistemde temizlik için kullanılan hava debisi 4 m³/saat, geri devir oranı 1: 3 olarak sabit tutulmuştur. Temizlik sırasında her 15 dakikada bir 5 dakika deşarjın kesilmesi sağlanmış, aynı anda hatta pH 10 olan çıkış suyu ile geri yıkama yapılmıştır.

MBR-4 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünümüleri Şekil 3.23’te verilmiştir.



Şekil 3.22 : 100 litrelik geri yıkama PE tank görünümü.



Şekil 3.23 : MBR-4 sisteminin filtrasyon ve etkin temizlik şematik görünümleri.

MBR-4 sisteminde ayrıca geri yıkama periyotlarının uzatılması amacıyla sürekli 4 m³/saat hava verilmiş, pH:10 olan %0,25 sodyum hipoklorit çözeltisi ile yapılan geri yıkama periyot aralığı uzatılarak her 45 dakikada 5 dakika olarak uygulanmıştır. Geri yıkamanın yapılmadığı zamanlarda her 15 dakikada bir 5 dakika akının kesilmesi ile sadece 4 m³/saat hava akısı uygulanarak etkin temizlik yapılmıştır. Bir ay sürdürülen bu çalışmada, her 15 dakikada 5 dakika uygulanan geri yıkama ve her 45 dakikada 5 dakika uygulanan geri yıkama yapılan sistemin akı mukayeseleri yapılmıştır.

3.3.3 Tıkanma problemini azaltmaya yönelik çalışmalarda akı mukayesesi

Tüm çalışmalar 12.000 mg/l MLSS konsantrasyonu, SRT 22 gün, 1: 3 geri devir, PAC dozlaması yapılarak sürdürülmüştür. MBR sisteminde on iki aylık çalışma boyunca dört farklı temizlik metodunun aralarında akı mukayesesi yapılmıştır.

3.3.4 Tıkanma problemini azaltmaya yönelik çalışmalarda enerji mukayesesi

MBR sisteminde on iki aylık çalışma boyunca yukarıda açıklamaları yapılan dört farklı temizlik metodunun enerji sarfiyatları mukayesesi yapılmıştır.

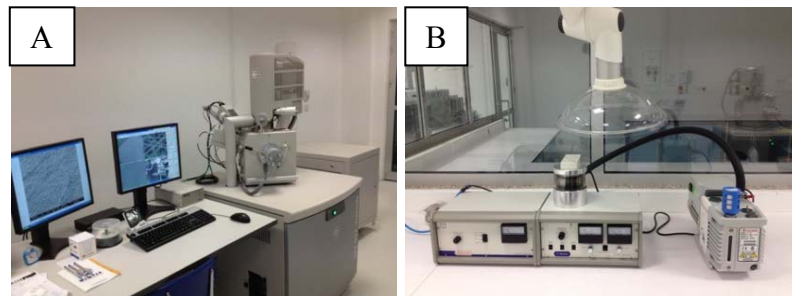
3.4 Membran Otopsis

Membran otopsis için, hava kabarcığı kullanılarak temizleme yapılan MBR-1 sisteminin modülü ile buna ilave geri yıkama yönteminin de kullanıldığı MBR-4 sistemi modülü seçilmiştir. Otopsi kapsamında aşağıdaki analizler yapılmıştır.

- Modüllerin fiziki incelenmesi
- SEM analizi
- SEM/EDS analizi
- Konfokal mikrosop analizi
- ICP analizi

3.4.1 Taramalı elektron mikroskobu analizi

Membranların morfolojik karakterizasyonu FEI Quanta FEG 200 marka elektron mikroskobu ile yapılmıştır (Şekil 3.24-A). Elektron mikroskobu ile görüntülerine bakılmadan önce, numuneler altın-palladyum ile 3-4 nm civarı bir kalınlıkta kaplanmıştır. Kaplama işlemi Quorum SC7620 marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.24-B) .



Şekil 3.24 : (A)Taramalı elektron mikroskobu ve (B) Au-Pd kaplama cihazı.

3.4.2 ICP analizi

Ana (sodyum, kalsiyum, magnezyum) ve eser (baryum, stronsiyum, krom, bakır, kurşun, demir, nikel, çinko, kadmiyum, civa, kükürt) miktardaki katyonların analizleri ICP-OES (İndüktif Eşlenmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler için İTÜ Çevre Mühendisliği bölümünde bulunan Perkin Elmer Optima DV 3000 ICP-OES cihazı kullanılmıştır. ICP analizlerinde kullanılmak üzere 4x4 cm boyutlarında membran ve 10 gram ağırlığında reçine alınarak ekstraksiyon işlemi için hazırlanan 100'er ml'lik 0,8 M HNO₃ ve 0,5 M NaOH çözeltileri içerisine konulmuştur. Ekstraksiyonun daha verimli olması için membran parçaları ve çözeltiler 210 dakika boyunca ultrasonik banyo içerisinde bekletilmiştir. Numuneler 0,45 mikronluk filtrelerden süzölmüş ve ICP cihazında analiz edilmiştir.

3.5 Atıksu ve Arıtılmış Su Kalitesi

MBR pilot tesiste ham atıksu kaynağı olarak, GOSB'ta farklı sektörde sanayiden kaynaklı, günlük ve dönemsel (yağışlı ve kuru hava koşullarında) olarak değişken karakterli, karışık, endüstriyel nitelikli atıksular kullanılmış, giriş ve çıkış suyu kalitesi on iki ay boyunca izlenmiştir. MBR pilot tesis ilk 38 gün PAC 17 kullanılmadan çalıştırılmıştır. Geri kalan 11 aylık çalışmada pilot tesisin reaktör bölümüne 100 mg/l PAC 17 ilave edilerek çalışılmıştır. MBR sisteminde 38 günlük PAC'sız ve 11 aylık PAC'lı çalışmada çıkış suyu kalitesi mukayesesi yapılmıştır.

Reaktör bölümünde oksijen değeri 0-30 cm su derinliğinde 1,5 mg/l O₂, 30-90 cm su derinliğinde 0,7 mg/l O₂, 90-150 cm su derinliğinde 0,5 mg/l O₂, 150-200 cm su derinliğinde 0,3 mg/l O₂, 200-240 cm su derinliğinde 0,1 mg/l O₂ değeri gözlenmiştir. Yüzeyde O₂ değerlerinin yüksek olma nedeni geri devir dönüşlerinin yüzeyde olmasıdır. Hava kabarcığı ile temizlik yapılması nedeni ile MBR tanklarında oksijen değerinin yüksek olması ile; aerobik, anaerobik ve anoksik şartlar oluşturulup toplam karbon, toplam azot ve fosfor giderimi hedeflenmiştir.

MBR pilot tesis çalışması süresince, değişken debi ve ham atıksu karakteristik özelliği bulunan tesiste giriş ve çıkış suyunda GOSB atıksu arıtma tesisi laboratuvarında ölçümler yapılmıştır. Çizelge 3.8 'de analiz metotları, Çizelge 3.9'da MBR pilot tesis çalışma süresince ölçülen parametreler, ölçüm noktaları ve ölçüm sıklıkları verilmiştir.

Çizelge 3.8 : Analiz metotları.

Parametre	Metot	Enstrüman	Açıklama
KOİ (mg/l)	DIN 38409-H41-H44	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 014, LCK 114, LCK 314, LCK 1414, LCK 514, LCK 614
BOİ₅ (mg/l)	SM 5210 B	İnkübatör, Oxitop seti	
AKM (mg/l)	SM 2540 D	Askıda Katı Madde Süzme Seti	
T.N* (mg/l)	EN ISO 11905-1	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 138, LCK 238, LCK 338
TP* (mg/l)	EN 1189	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK348, LCK 349, LCK 350
İletkenlik (µs/cm)	SM 2510 B	Hach Lange (HQ40D)	
Yağ&Gres (mg/l)	SM 5520 D	Sokslet Ekstraksiyon	
T.Cr (mg/l)	EN ISO 11885	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 313, LCS 313
Cr₊₆ (mg/l)	DIN 38405-D24	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 313, LCS 313
Pb (mg/l)	EN ISO 11885	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 306
T.Cn (mg/l)	DIN 38405-D13	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 319
Cd (mg/l)	EN ISO 11885	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 308
Fe (mg/l)	EN ISO 11885	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 321, LCK 521, LCK 320
Fl (mg/l)	DIN 38405-D4	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 323
Cu (mg/l)	EN ISO 11885	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 329, LCK 529
Zn (mg/l)	EN ISO 11885	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 360, LCS 360
Al (mg/l)	EN ISO 12020	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 301
Ni (mg/l)	EN ISO 11885	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 337, LCK 537
Cl (mg/l)	EN ISO 10304-1	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCK 311
Mn (mg/l)	EN ISO 11885	Hach Lange (Ht 200S-Dr5000)	LCW 032
Sıcaklık (°C)	SM 2550 B	Hach Lange (HQ40D)	Laboratuvar ve Saha metodu
pH	SM 4500 H+	Hach Lange (HQ40D)	
Çözülmüş Oksijen	SM 4500 O.G	Hach Lange (HQ40D)	
MLSS	SM 2540 D	Askıda Katı Madde Süzme Seti	
MLVSS	SM 2540 D	Askıda Katı Madde Süzme Seti	

Çizelge 3.9 : MBR pilot tesis çalışma süresince ölçülen parametreler, ölçüm noktaları ve ölçüm sıklıkları (tüm numuneler anlık olarak alınmıştır.).

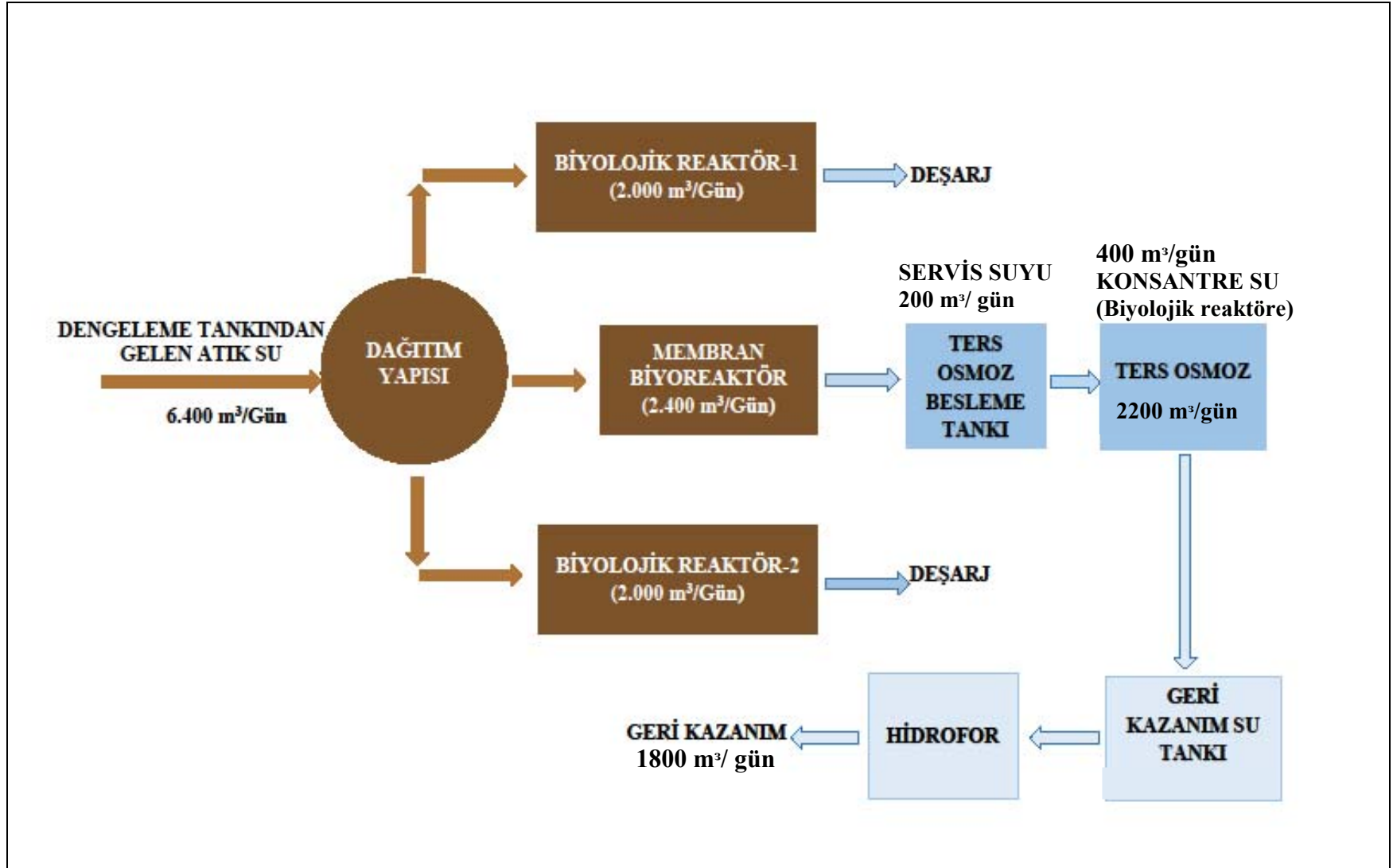
Ölçüm	Ölçüm Noktası				
	MBR Pilot Tesis Giriş	MBR Pilot Tesis Çıkış	Mevcut Arıtma Çıkış	Reaktör	MBR Tank
Çözülmüş oksijen	-	-	-	Sürekli	günlük
MLSS	-	-	-	günlük	haftalık
MLVSS	-	-	-	günlük	haftalık
KOİ (mg/l)	günlük	günlük	günlük	-	-
BOİ (mg/l)	günlük	haftalık	haftalık	-	-
AKM (mg/l)	günlük	günlük	günlük	-	-
T.N (mg/l)	günlük	günlük	günlük	-	-
T.P (mg/l)	günlük	günlük	günlük	-	-
iletkenlik (µs/cm)	günlük	günlük	-	-	-
Yağ&gres (mg/l)	haftalık	haftalık	-	-	-
T.Cr (mg/l)	haftalık	haftalık	-	-	-
Cr (mg/l)	haftalık	haftalık	-	-	-
Pb (mg/l)	haftalık	haftalık	-	-	-
T.Cn (mg/l)	haftalık	haftalık	-	-	-
Cd (mg/l)	haftalık	haftalık	-	-	-
Fe (mg/l)	haftalık	haftalık	-	-	-
Fl (mg/l)	haftalık	haftalık	-	-	-
Cu (mg/l)	haftalık	haftalık	-	-	-
Zn (mg/l)	haftalık	haftalık	-	-	-
Sıcaklık (°c)	-	-	-	Sürekli	-
p H	günlük	günlük	-	-	-

3.5.1 GOSB merkezi atıksu arıtma tesisi ve MBR pilot tesis çıkış suyu mukayesesi

MBR sisteminde on iki aylık çalışma boyunca GOSB atıksu arıtma tesisi laboratuvarında MBR ve GOSB atıksu arıtma tesisi çıkış suyunda, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅ mg/l), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ mg/l), askıda katı madde (AKM mg/l), toplam azot (T.N.mg/l), toplam fosfor (T.P.mg/l), demir (Fe mg/l), alüminyum (Al mg/l), nikel (Ni mg/l), klor (Cl mg/l) ve mangan (Mn mg/l) ölçümleri yapılmıştır. MBR pilot tesis ve GOSB atıksu arıtma tesisi çıkış suyu kalitesi mukayese edilmiştir.

3.6 Su Geri Kazanım Çalışmaları

Suyun geri kazanımı amacıyla MBR pilot tesisi çıkış suyu üzerinde laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli RO çalışmaları yapılmıştır. BW 30 ve DOW XLE membranları kullanılarak laboratuvar ölçekli ve Lanxess membranı kullanılarak pilot ölçekli performans testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.25'te bu çalışmalar sonucunda GOSB AAT'inde kurulması planlanan geri kazanım tesisinin proses şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.25 : GOSB AAT'ye kurulacak geri kazanım tesisi proses şeması.

MEM-TEK'te yapılan laboratuvar ölçekli RO çalışmasında, filtrasyon deneylerinde istenilen basınca ayarlanabilen azot gazı kullanılarak Sterlitech HP4750 marka manyetik karıştırıcı klasik filtrasyon hücresi kullanılmıştır. Bu kısımda manyetik karıştırıcı kullanılmasının nedeni membran yüzeyinde membran yüzeyinde çapraz akış yaratmaktır. Kullanılan filtrasyon sisteminin üretici firma tarafından verilen özellikleri çizelge 3.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.10 : Laboratuvar ölçekli filtrasyon sisteminin teknik özellikleri.

Parametre	Değer
Membran çapı	49 mm
Aktif membran alanı	14.6 cm ²
Maksimum hacim	300 ml
Maksimum sıcaklık	121 ⁰ C
Maksimum basınç	69 bar

Filtrasyon sisteminin deney düzeneğinin hazırlanma aşamaları Şekil 3.26'da detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.26 : Filtrasyon deney düzeneğinin hazırlanma aşamaları.

GOSB Atıksu Arıtma Tesis çıkış suyu ile BW30 ve Dow XLE adlı membranları kullanılarak % 80 oranında geri kazanım neticesinde membranların farklı basınç değerlerinde permeabilite (geçirgenlik), tuzluluk ve bulanıklık performansları izlenmiştir. Dow XLE membranlarına ait özellikler Çizelge 3.11’de, BW30 membranına ait özellikler ise Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 : Laboratuvar ölçekli RO çalışmasında kullanılan DOW XLE membranının özellikleri.

Açıklama	Teknik Özellik
Marka- model	DOW-XLE
Membran türü	Poliamid-brackish TO
MWCO (Da)	100
Ortalama NaCl/ MgSO4 tutunumu	%98.7
Su akısı (L/m ² .sa.bar)	8.0

Çizelge 3.12 : Laboratuvar ölçekli RO çalışmasında kullanılan BW30 membranının özellikleri.

Açıklama	Teknik Özellik
Marka- model	DOW-BW30
Membran türü	Polyamid-brackish
MWCO (Da)	7.9
Ortalama NaCl/ MgSO4 tutunumu	%99.5
Su akısı (L/m ² .sa.bar)	2.6

GOSB AAT’ye pilot ölçekli kurulan ters osmoz sisteminde Lanxess marka membran kullanılarak %75-80 oranında geri kazanım neticesinde membranın sabit basınç değerinde (9-10 bar) permeabilite (geçirgenlik) ve iletkenlik performansları izlenmiştir.

Kullanılan Lanxess marka membranın teknik özellikleri Çizelge 3.13’te ve pilot ölçekli RO sisteminin görünümüleri de Şekil 3.27’de yer almaktadır.

Geri kazanım deneme çalışmalarının yapılabilmesi için ters osmoz pilot tesisi 3 ay süre ile MEM-TEK’ten tedarik edilmiştir. Yukarıda görüldüğü gibi sistemde 1 adet Lanxess marka RO membranı, antisikalant ve sodyum metabisüfit kimyasalları için 2 adet PE tank, yıkama ve arıtılmış suyun depolanması için 1 adet PE tank ve 1 adet otomasyon sistemi bulunmaktadır.

Çizelge 3.13 : RO pilot tesis çalışmalarında kullanılan membran özellikleri.

Açıklama	Teknik Özellik
Marka	Lanxess (LE- düşük enerji)
Membran tipi	Spiral Sargı Tip
Membrane yüzey alanı (m ²)	7.9
Uzunluk (mm)	1016
Çap (mm)	100
Tuz giderim, ortalama	%99.5
Tuz giderim, minimum	%99
Permeabilite, ortalama (geçirgenlik, m ³ /gün)	7.4
Permeabilite, minimum (geçirgenlik, m ³ /gün)	5.9
İşletme basıncı, maksimum (bar)	41
İşletme sıcaklığı, maksimum (°C)	45
Giriş debisi (m ³ /sa)	4
pH(İşletme sırasında)	2-11
Klor, maksimum (ppm)	0.1
pH (Geri Yıkama İçin)	1-12



Şekil 3.27 : Pilot ölçekli RO sistemi görünümüleri.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üç aşamada yapılan MBR pilot tesis çalışmasının bulguları aşağıda detaylı olarak verilerek tartışılmıştır.

4.1 MBR Pilot Tesiste, Tıkanıklık Problemini Azaltan ve Düşük Enerji İhtiyacı Gerektiren Yeni Yöntemlerin Denenmesi ve Elde Edilen Sonuçlar

Çalışmanın başlangıcında, çalışma koşullarının belirlenmesi amacı ile MBR sisteminde iki farklı MLSS konsantrasyonunda akı değerleri, dört farklı etkin temizlik süreleri ve PAC 17 kullanımı araştırılmıştır. Başlangıçta ilk 38 günlük bölümünde elde edilen akı sonuçlara göre , 12 aylık çalışma dönemine geçilmiş ve bu dönemde 12.000 mg/l MLSS konsantrasyonunda, 15 dakika filtrasyon, 5 dakika etkin temizlik uygulanmış ve 100 mg/l PAC 17 kullanılarak çalışılmıştır.

Daha öncede belirtildiği gibi; GOSB'ta bulunan çeşitli sektörlerden sürekli olarak değişkenlik gösteren, endüstriyel nitelikli atıksuların arıtımını gerçekleştiren MBR pilot tesiste, tıkanıklık problemini azaltan ve düşük enerji ihtiyacı gerektiren aşağıdaki yöntemler denenmiştir.

MBR-1: Hava kabarcıklarının kesme kuvvetinden yararlanılarak akının zaman zaman durdurulması ile tıkanıklık önlenmesi ve birim enerji tüketimi araştırılmıştır.

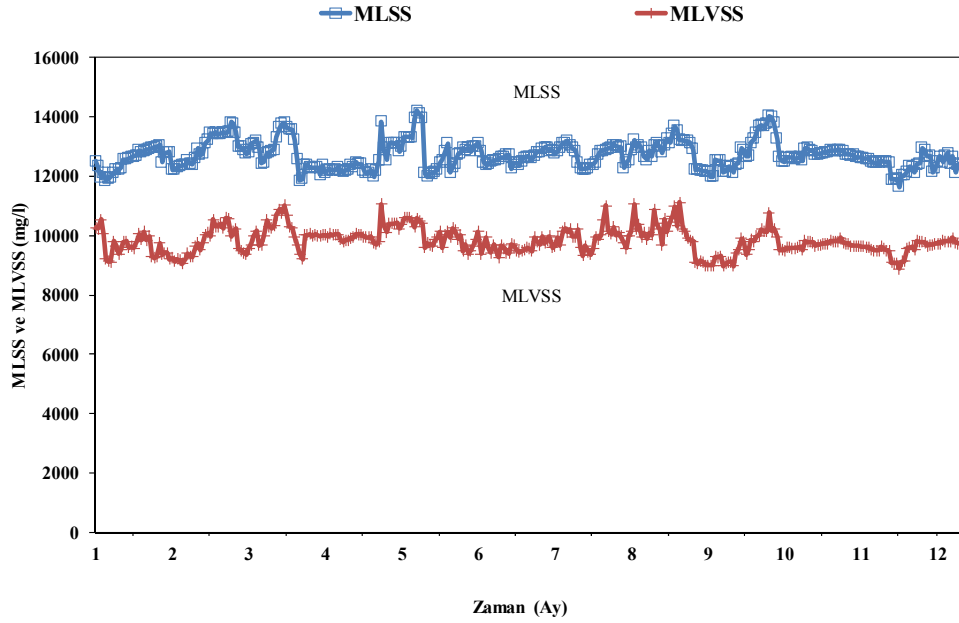
MBR-2: Ses dalgası verebilen mobil ultrasonik yıkama modülü kullanılarak akının zaman zaman durdurulması ile tıkanıklık önlenmesi ve birim enerji tüketimi araştırılmıştır.

Seramik membran üzerinde, ses dalgası verebilen mobil ultrasonik yıkama modülü kullanılarak akının zaman zaman durdurulması ile tıkanıklığın önlenmesi ve birim enerji tüketimi araştırılmıştır.

MBR-3: Titreşim motoru ile 24 saat boyunca titreşim verilerek, akının zaman zaman durdurulması ile tıkanıklığın önlenmesi ve birim enerji tüketimi araştırılmıştır.

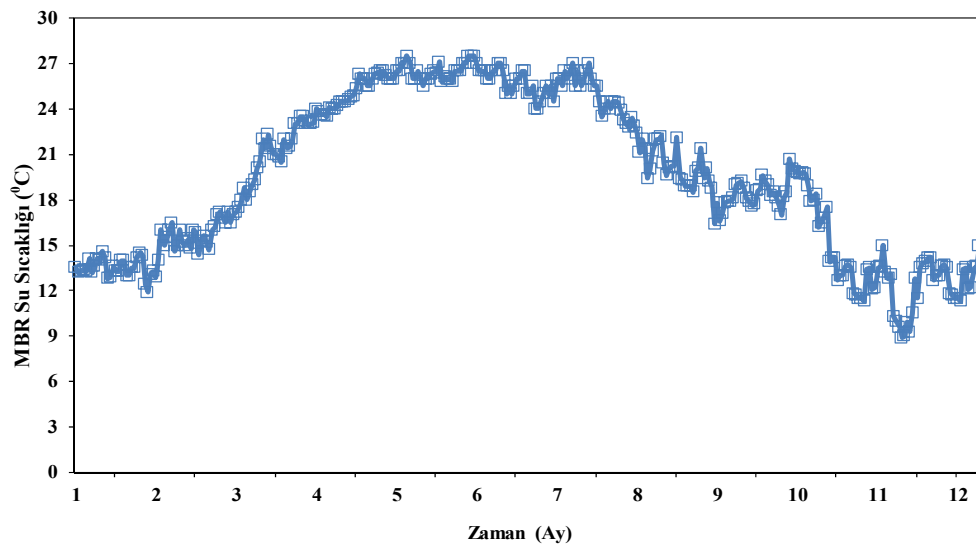
MBR-4: Hava kabarcıklarının kesme kuvveti ve %0,25 sodyum hipoklorit çözeltisi (pH:10) ile geri yıkama yapılarak akının zaman zaman durdurulması ile tıkanıklığın önlenmesi ve birim enerji tüketimi araştırılmıştır.

MBR pilot tesis çalışma süresince sırasıyla MLSS/ MLVSS değerleri, reaktördeki su sıcaklık değerleri, giriş ve çıkış suyu pH değerleri, oksijen değerleri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te yer almaktadır.

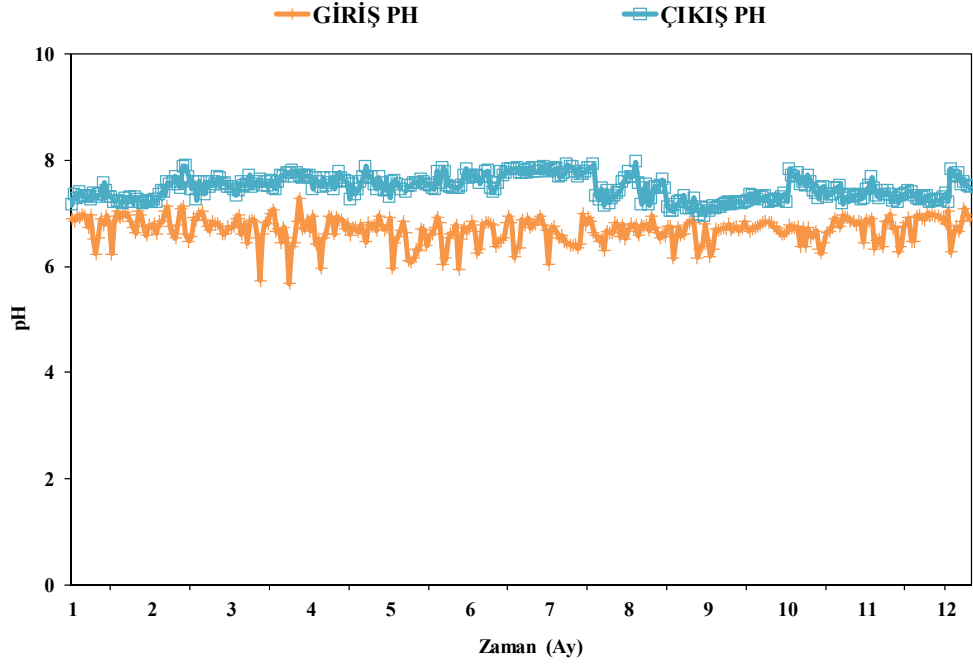


Şekil 4.1 : MBR pilot tesis çalışma süresince reaktördeki MLSS ve MLVSS değerleri.

On iki aylık çalışma boyunca MLVSS/MLSS oranı ortalama %77 bulunmuştur.

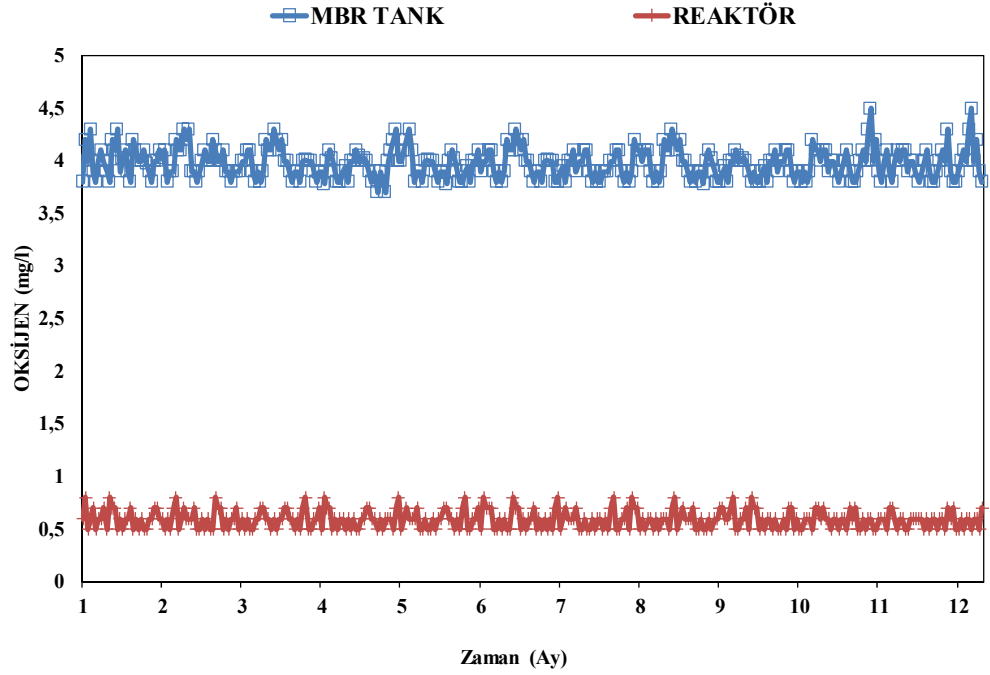


Şekil 4.2 : MBR pilot tesis çalışma süresince reaktördeki su sıcaklık değerleri.



Şekil 4.3 : MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu pH değerleri.

Membran pilot tesis çalışmasında ortalama giriş pH değeri 6,7 ve ortalama çıkış pH değeri 7,5 bulunmuştur.

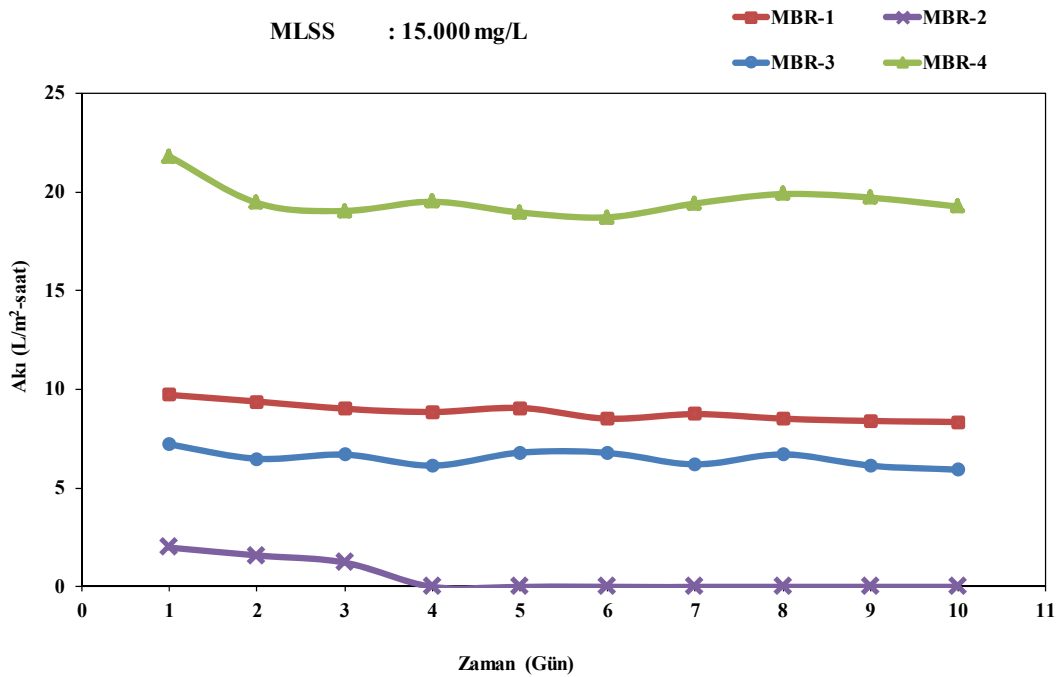


Şekil 4.4 : MBR pilot tesis çalışma süresince reaktördeki ve MBR tanktaki oksijen değerleri.

4.1.1 Çalışma koşullarının belirlenmesi

4.1.1.1 MLSS konsantrasyonunun akıya etkisi

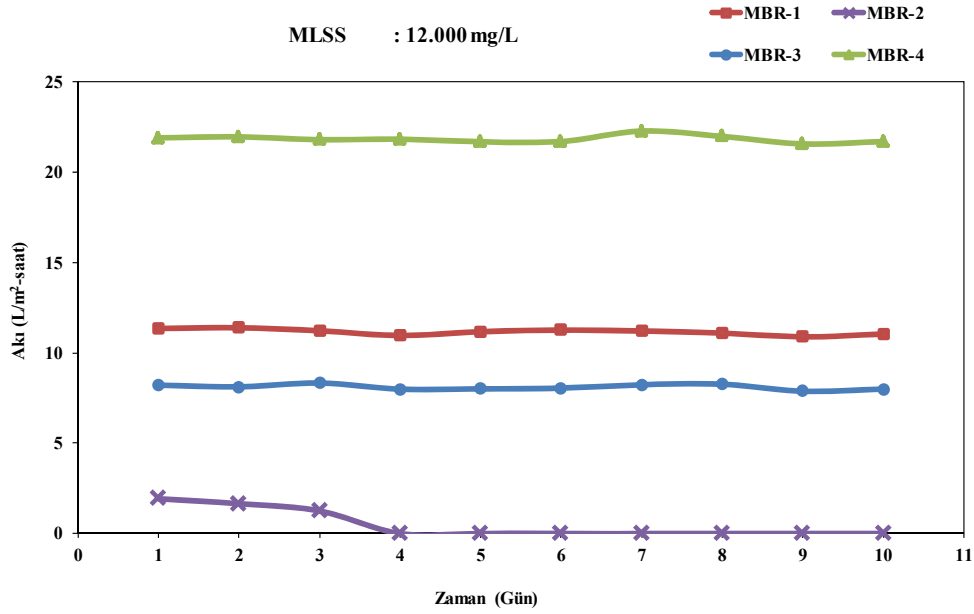
MBR sistemi, hali hazırda işletilen GOSB atıksu arıtma tesisi dağıtım yapısından alınan, 4 m³ aktif çamur beslemesi ile devreye alınmıştır. MLSS konsantrasyonu 15.000 mg/l'de tutulmuş ve sistemden fazla çamur atımı gerçekleştirilmemiştir (SRT 30 gün). MLSS konsantrasyonu 15.000 mg/l MLSS konsantrasyonunda on günlük çalışma sonucu MBR-1, MBR-2, MBR-3 ve MBR-4 sistemlerinde akı değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : 15.000 mg/l MLSS'te yapılan çalışmada akı değerleri.

15.000 mg/l MLSS çalışmasında sistemde çamur köpürmesi meydana gelmiştir. Her bir MBR modülden sırası ile MBR-1: 8,9 L/m²-saat, MBR-2: 0,5 L/m²-saat, MBR-3: 6,5 L/m²-saat, MBR-4: 19,6 L/m²-saat ortalama akı değerleri alınmıştır. MBR-2 sisteminde ilk üç gün sonunda tıkanıklık meydana geldiğinden veri alınamamıştır.

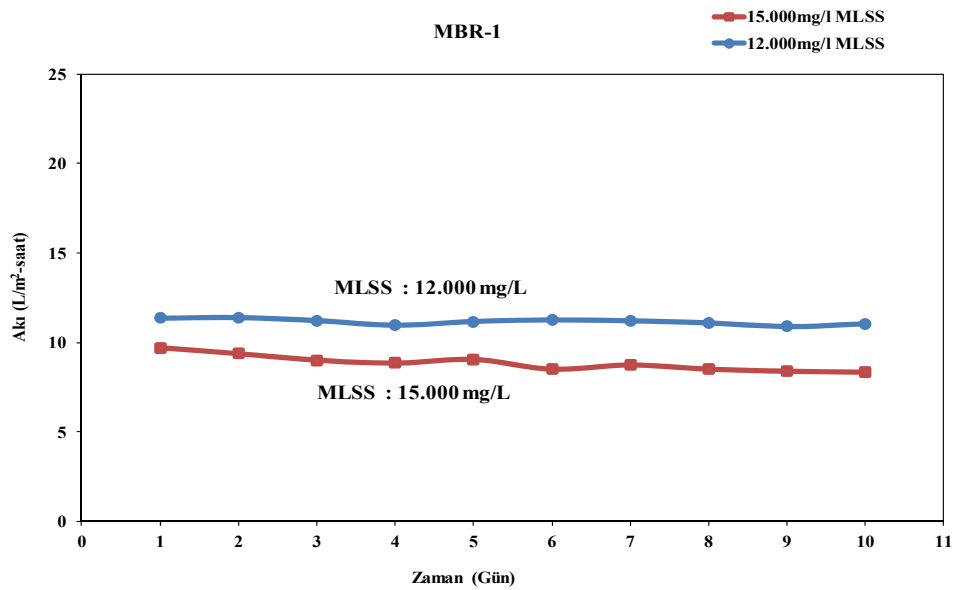
Sistemden, her bir bağımsız membran tankı dip kısmından 40-60 l/gün çamur atımı gerçekleştirilmiş ve MLSS konsantrasyonu 12.000 mg/l, SRT: 22 gün sağlanmıştır. 12.000 mg/l MLSS konsantrasyonunda on günlük çalışma sonucu MBR-1, MBR-2, MBR-3 ve MBR-4 sistemlerinde akı değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



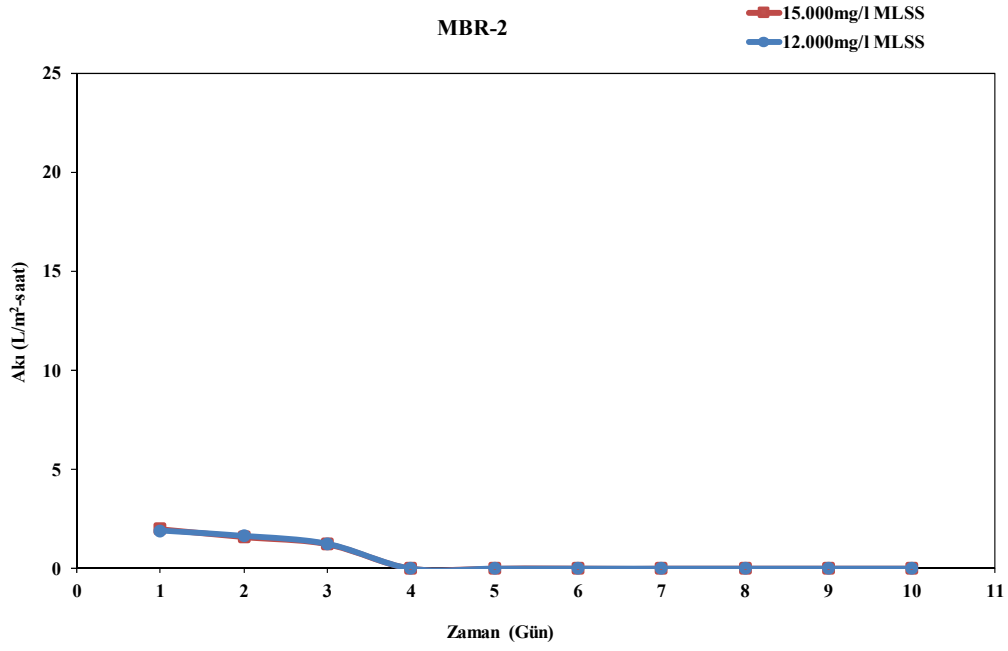
Şekil 4.6 : 12.000 mg/l MLSS'te yapılan çalışmada akı değerleri.

MLSS konsantrasyonu 12.000 mg/l'de sürdürülen on günlük çalışma akı değerleri sırası ile MBR-1 sisteminde 11,2 L/m²-saat, MBR-2: 0,5 L/m²-saat, MBR-3: 8,1 L/m²-saat, MBR-4: 21,8 L/m²-saat ortalama akı değerleri alınmıştır. MBR-2 sisteminde ilk üç gün sonunda tıkanıklık meydana geldiğinden veri alınamamıştır.

Çalışmalar MBR-1, MBR-2, MBR-3 ve MBR-4 sistemlerinde her iki MLSS konsantrasyonunda on gün sürdürülmüştür. MBR-1, MBR-2, MBR-3 ve MBR-4 sistemlerinde 15.000 mg/l ve 12.000 mg/l MLSS konsantrasyonunda elde edilen akı değerleri kıyaslaması sırası ile Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

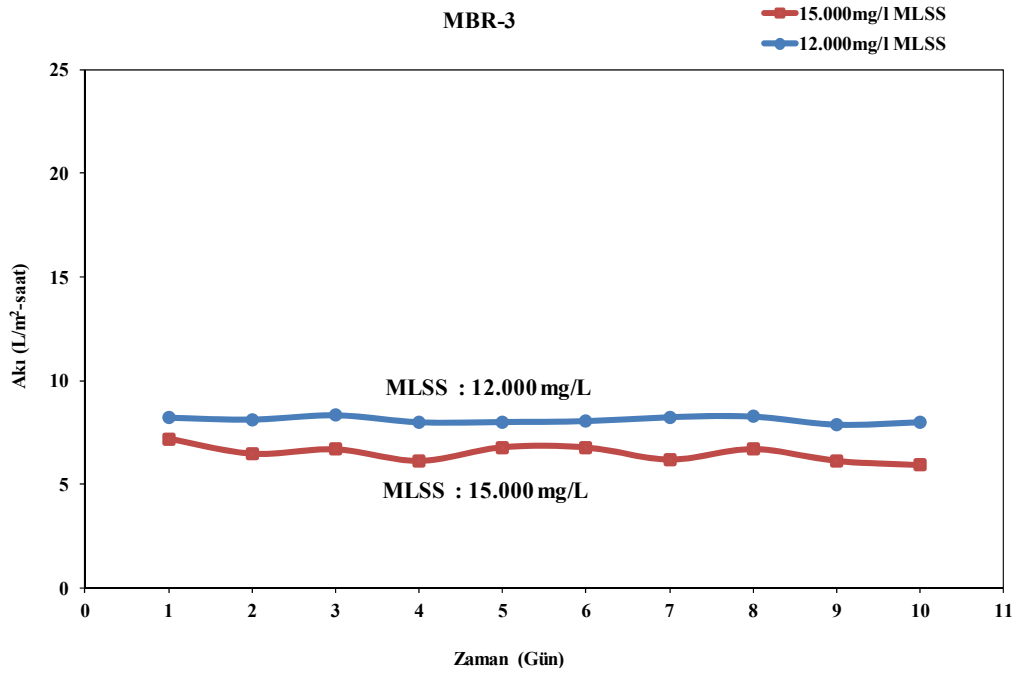


Şekil 4.7 : MBR-1'de 15.000 mg/l ve 12.000 mg/l MLSS'te akı mukayesesi.

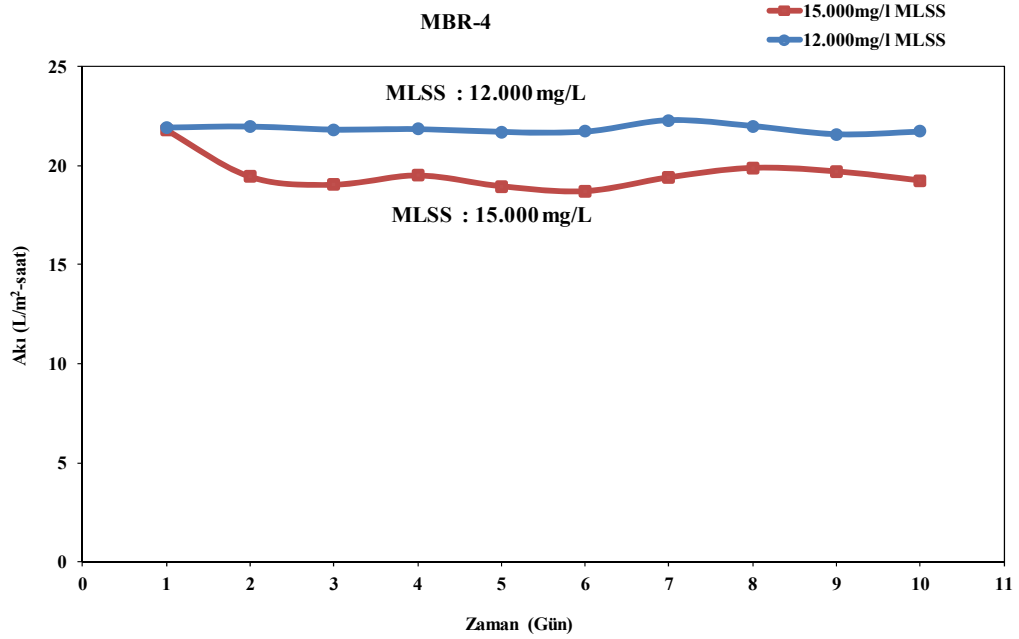


Şekil 4.8 : MBR-2'de 15.000 mg/l ve 12.000 mg/l MLSS'te akı mukayesesi.

MBR-2 sisteminin her iki MLSS konsantrasyonunda tıkanıldığı görülmüştür. MBR-2 sisteminde ilk üç gün sonunda tıkanıklık meydana geldiğinden veri alınamamıştır.



Şekil 4.9 : MBR-3' te 15.000 mg/l ve 12.000 mg/l MLSS'te akı mukayesesi.



Şekil 4.10 : MBR-4' te 15.000 mg/l ve 12.000 mg/l MLSS'te akı mukayesesi.

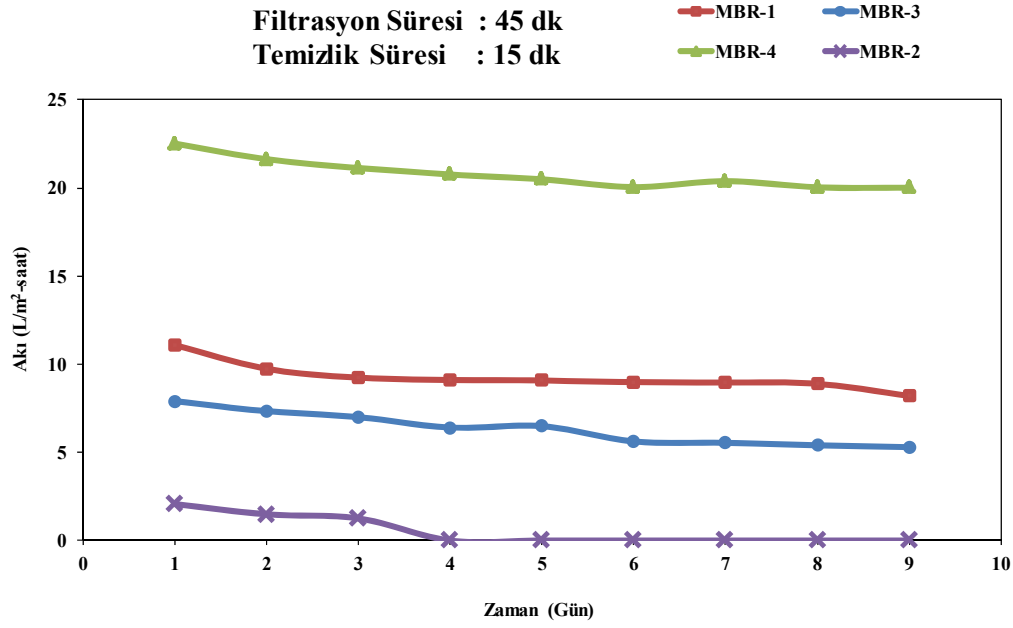
MLSS konsantrasyonunun 15.000 mg/l'den 12.000 mg/l değerlerine çekilmesi ile MBR-1, MBR-3 ve MBR-4 sisteminde istikrarlı akı elde edilmiş ve akı değerinde sırası ile yaklaşık %26, %25, %11 artış görülmüştür. Aynı zamanda 15.000 mg/l MLSS konsantrasyonunda çalışmalar sırasında oluşan çamur köpüğü gibi olumsuzluklar giderilmiştir. Bu nedenle bundan sonraki çalışmalar 12.000 mg/l MLSS konsantrasyonu ve SRT: 22 gün koşullarında sürdürülmüştür.

4.1.1.2 Çalışma süresinin akıya etkisi

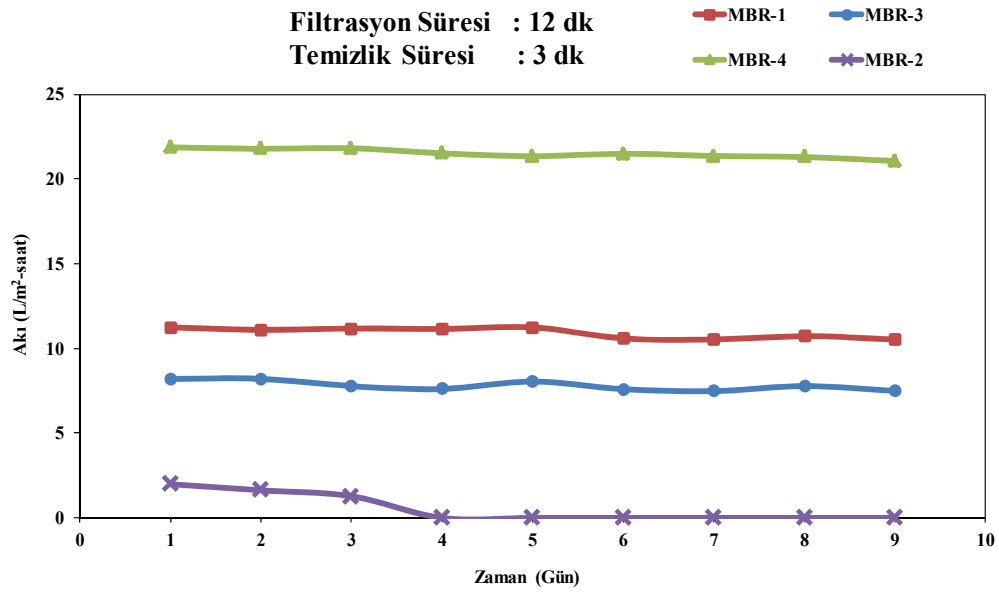
MBR sistemlerinde etkin temizlik sürelerinin önemi büyüktür. Bu nedenle farklı temizlik metotlarının uygulandığı sitemde daha etkin temizliğin sağlanabilmesi için dört farklı temizlik süresi denenmiştir.

Sistemde her membran modülüne ait temizleme metodu uygulanarak dört farklı etkin temizlik süresi denenmiştir. Etkin temizlik sırasında her membran modülün kendine özgü temizlik metodu uygulanarak sırası ile saatte 12 dakika, 15 dakika ve 20 dakika zaman aralıkları ile deşarj kesintiye uğratılmıştır. Bir saatte uygulanan deşarj kesintileri parçalara bölünerek sırası ile 45 dakika filtrasyon-15 dakika etkin temizlik, 12 dakika filtrasyon-3 dakika etkin temizlik, 10 dakika filtrasyon-5 dakika etkin temizlik ve 15 dakika filtrasyon-5 dakika etkin temizlik şeklinde uygulanmıştır. Etkin temizlik süreleri denemeleri sırası ile Şekil 4.11'de 45 dakika filtrasyon -15

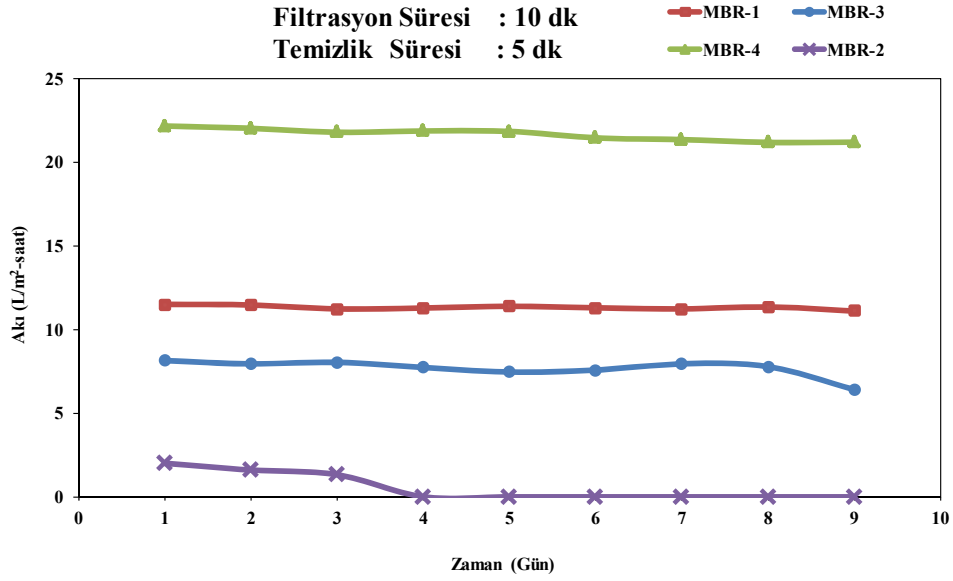
dakika etkin temizlik, Şekil 4.12’de 12 dakika filtrasyon-3 dakika etkin temizlik, Şekil 4.13’te 10 dakika filtrasyon-5 dakika etkin temizlik ve Şekil 4.14’te 15 dakika filtrasyon-5 dakika etkin temizlik akı değerleri verilmiştir.



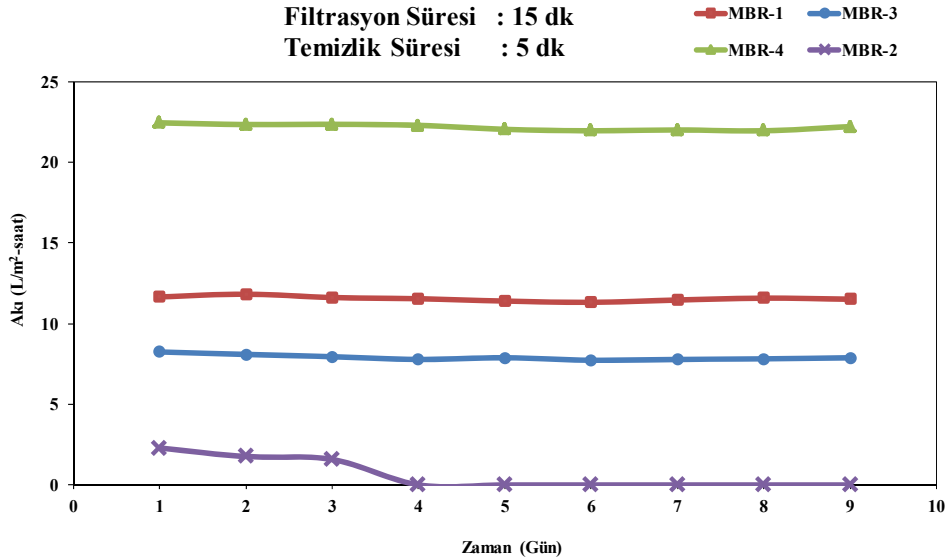
Şekil 4.11 : 45 dk filtrasyon 15 dk akı kesilerek yapılan çalışmada akı değerleri.



Şekil 4.12 : 12 dk filtrasyon 3 dk akı kesilerek yapılan çalışmada akı değerleri.



Şekil 4.13 : 10 dk filtrasyon 5 dk akı kesilerek yapılan çalışmada akı değerleri.



Şekil 4.14 : 15 dk filtrasyon 5 dk akı kesilerek yapılan çalışmada akı değerleri.

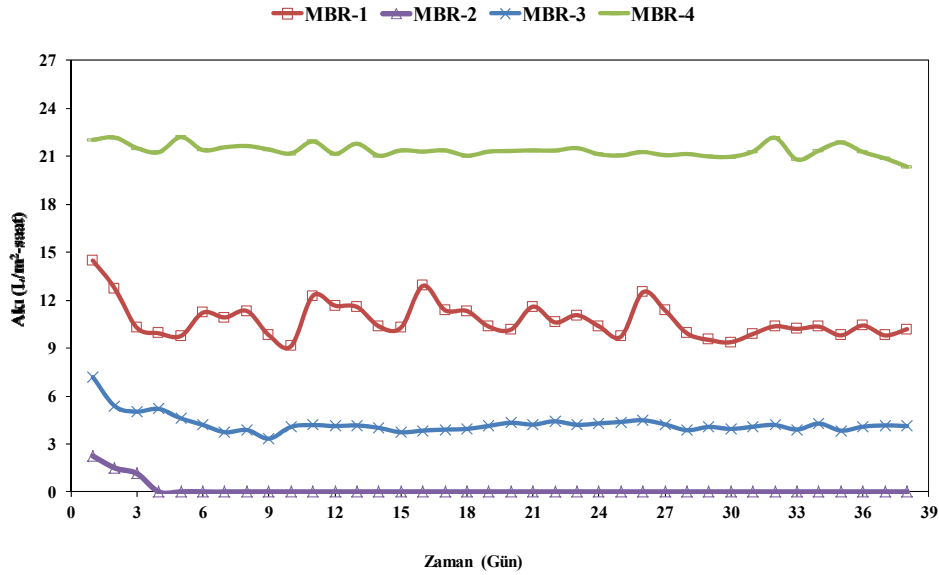
Denenen dört farklı temizlik süresinde de MBR-2 siteminin ilk üç gün sonunda tıkanıp görülmüş ve MBR-2 sisteminden veri alınamamıştır. MBR-1, MBR-3 ve MBR-4 sisteminde yapılan temizlik çalışmalarında 45 dakika filtrasyon 15 dakika temizlik süresinde; MBR-1 ortalama akı değeri 9,3 L/m²-saat, MBR-3 ortalama akı değeri 6,3 L/m²-saat ve MBR-4 ortalama akı değeri 20,8 L/m²-saattir. 12 dakika filtrasyon 3 dakika temizlik süresinde; MBR-1 ortalama akı değeri 10,9 L/m²-saat, MBR-3 ortalama akı değeri 7,8 L/m²-saat ve MBR-4 ortalama akı değeri 21,5 L/m²-saattir. 10 dakika filtrasyon 5 dakika temizlik süresinde; MBR-1 ortalama akı değeri 11,3 L/m²-saat, MBR-3 ortalama akı değeri 7,7 L/m²-saat ve MBR-4 ortalama akı değeri 21,6 L/m²-saattir. Son olarak 15 dakikada 5 dakika temizlik süresinde; MBR-1

ortalama akı değeri 11,5 L/m²-saat, MBR-3 ortalama akı değeri 7,9 L/m²-saat ve MBR-4 ortalama akı değeri 22,2 L/m²-saat akı değeri elde edilmiştir. Dört farklı temizlik süresinden 15 dakika filtrasyon 5 dakika uygulanan etkin temizliğin; diğer üç farklı temizlik süresinde elde edilen akıya göre daha istikrarlı olduğu ve en etkin temizliği sağladığı görülmüştür. Bu nedenle on iki aylık çalışma, 15 dakika filtrasyon 5 dakika etkin temizlik uygulanarak sürdürülmüştür.

Başlangıç çalışmalarında; çoğu zaman atıksu karakterinde değişkenlikler ve atıksu içeriğinde fosfor, yüzey aktif madde ve toksisite varlığı ve yağ ve gres gibi olumsuzluklar olduğu gözlenmiştir. Tıkanma sıklığı, temizlik zorluğu ve akı değerlerinin düşük olması GOSB endüstriyel atıksu karakterinin sürekli değişkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır.

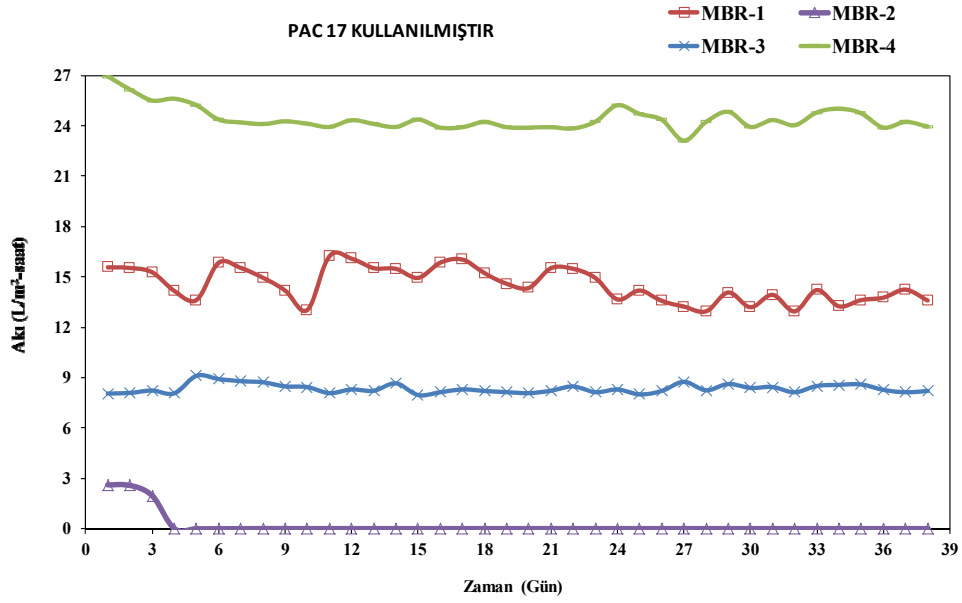
4.1.1.3 PAC ilavesinin etkisi

Çalışmada yukarıda belirtilen olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacı ile PAC 17 kimyasalı kullanılmıştır. MBR-1, MBR-2, MBR-3 ve MBR-4 sistemlerinde Şekil 4.15'te PAC'sız çalışma akı değerleri, Şekil 4.16'da PAC'lı çalışma akı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.15 : PAC'sız çalışma akı değerleri (SRT: 22 gün).

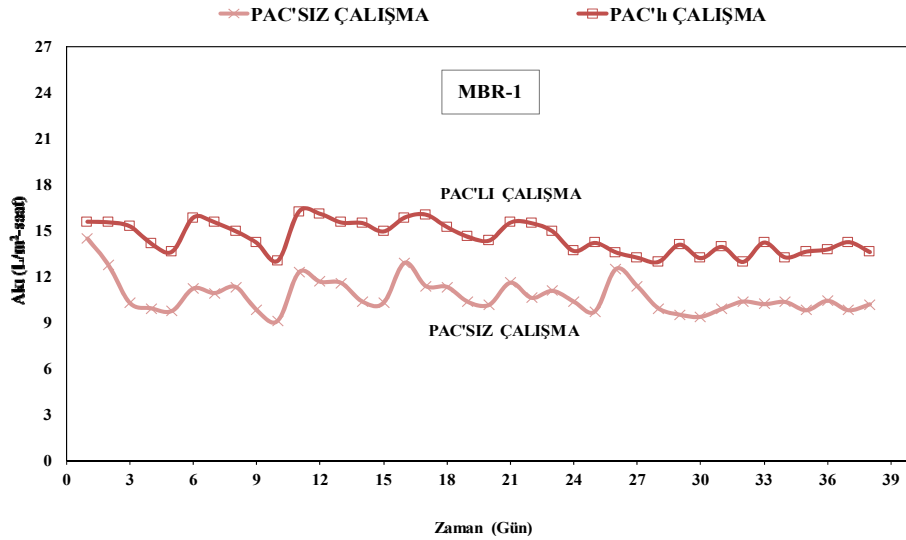
Şekil 4.15'te PAC 17 ilave edilmeden yapılan otuz sekiz günlük çalışmada, MBR-2 sisteminde ilk üç gün sonunda tıkanma olduğundan veri alınamamıştır. MBR-1, MBR-3 ve MBR-4 sisteminden alınan akı değeri sırası ile, MBR-1: 10,8 L/m²-saat, MBR-3: 4,3 L/m²-saat ve MBR-4: 21,4 L/m²-saat tespit edilmiştir.



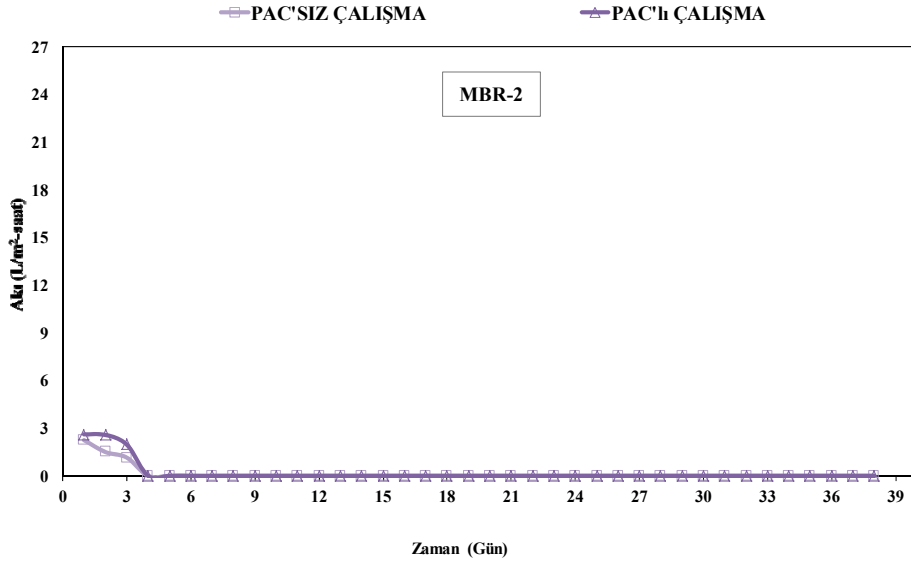
Şekil 4.16 : PAC'lı çalışma akı değerleri (SRT: 22 gün).

PAC 17 kullanımı sonucunda MBR-2 sisteminde ilk üç gün sonunda tıkanma olduğundan veri alınamamıştır. Şekil 4.16'da verilen akı değerleri sırası ile, MBR-1: 14,5 L/m^2-saat , MBR-3: 8,7 L/m^2-saat ve MBR-4: 24,4 L/m^2-saat tespit edilmiştir.

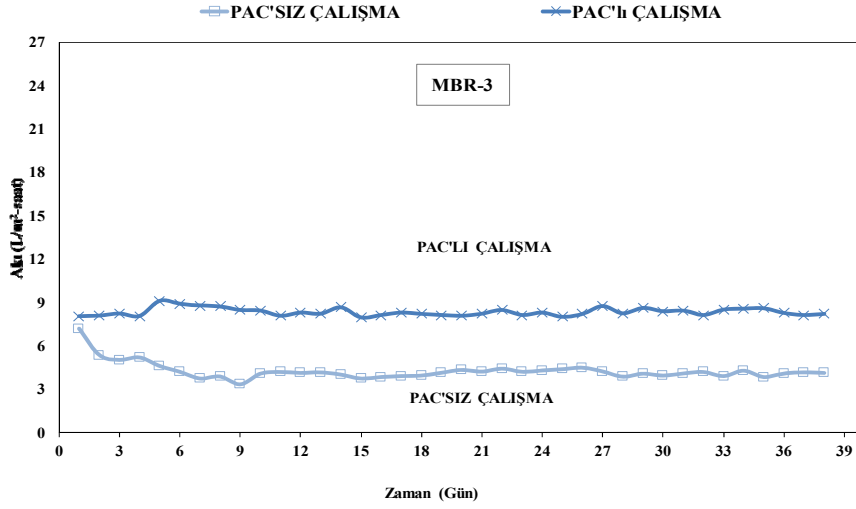
Dört farklı temizleme metodunun uygulandığı MBR-1, MBR-2, MBR-3 ve MBR-4 sistemlerinde PAC'sız çalışma ve PAC'lı çalışma akı verileri kıyaslamaları sırası ile Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20'de verilmiştir.



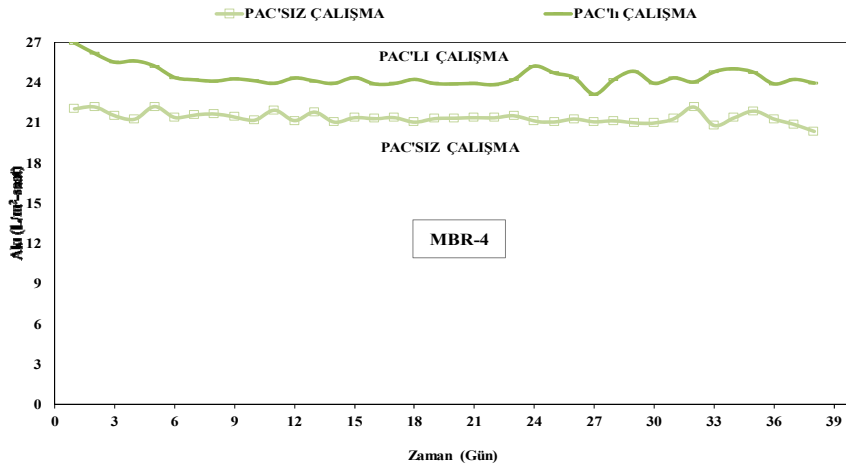
Şekil 4.17 : MBR-1'de PAC'sız ve PAC'lı çalışma akı mukayesesi (SRT: 22 gün).



Şekil 4.18 : MBR-2’de PAC’sız ve PAC’lı çalışma akı mukayesesi (SRT: 22 gün).



Şekil 4.19 : MBR-3’te PAC’sız ve PAC’lı çalışma akı mukayesesi (SRT: 22 gün).



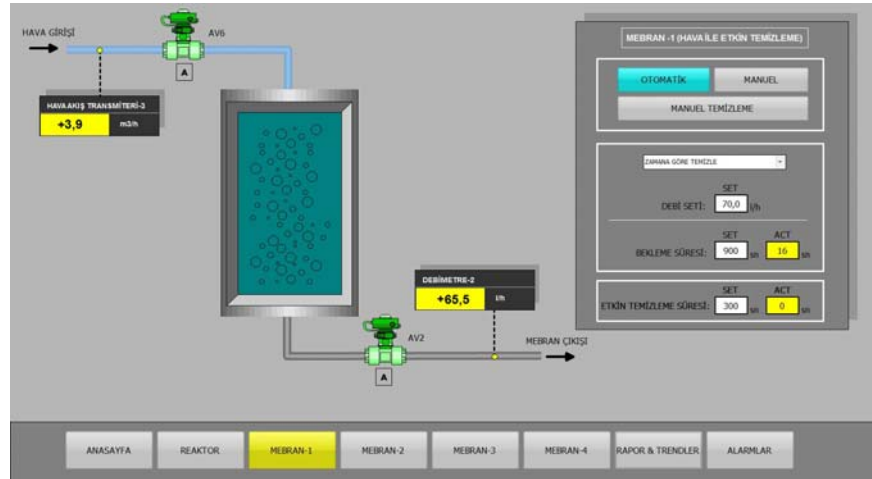
Şekil 4.20 : MBR-4’te PAC’sız ve PAC’lı çalışma akı mukayesesi (SRT: 22 gün).

Her iki çalışmanın (PAC'lı ve PAC'sız çalışma) akı değerlerine bakıldığında, MBR-2 sisteminin ilk üç gün sonunda tıkanmış gözlenmiştir. PAC 17 kullanımının ortalama akı değerini sırası ile MBR-1'de %34, MBR-2'de %0 (tıkanmadan dolayı veri elde edilememiştir.), MBR-3'te %93 ve MBR-4'te %14 oranında artırdığı görülmüştür. Bu nedenle çalışmanın geri kalan kısmında PAC 17 kullanılmıştır.

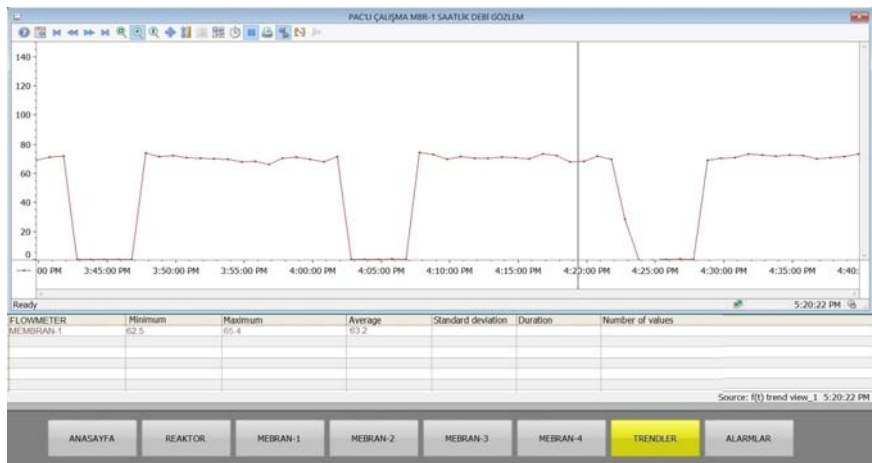
4.1.2 Uzun süreli akı verileri

4.1.2.1 MBR-1'de yapılan çalışmalar

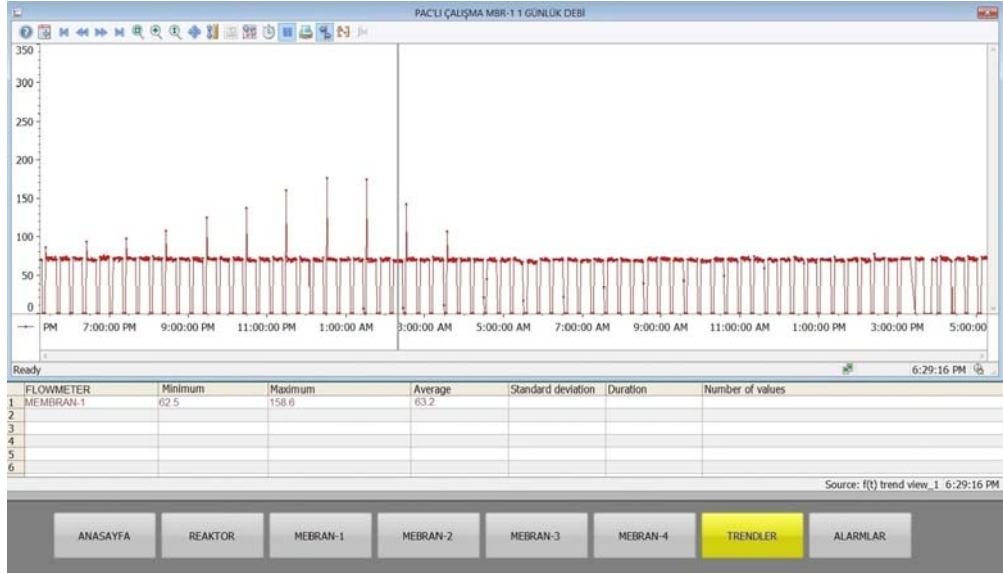
Tüm çalışma boyunca MBR sisteminde SCADA sistemi ile deşarj debileri litre/gün olarak kayıt altına alınmıştır. PAC ilaveli çalışmada, Şekil 4.21'de MBR-1 scada ekran görüntüsü, Şekil 4.22'de MBR-1 litre/saat cinsinden saatlik debi trendleri, Şekil 4.23'te MBR-1 günlük debi trendleri verilmiştir.



Şekil 4.21 : MBR-1 Scada ekran görüntüsü.



Şekil 4.22 : MBR-1 saatlik debi trendi.



Şekil 4.23 : MBR-1 bir günlük debi trendi.

Scada verilerinden litre/gün cinsinden alınan deşarj debisi, scadaya tariflenen akı hesabı formülü (2.1) ile hesaplanan uzun vadeli akı değişim grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir. MBR-1 için yapılan örnek ortalama akı hesabı da aşağıda verilmiştir:

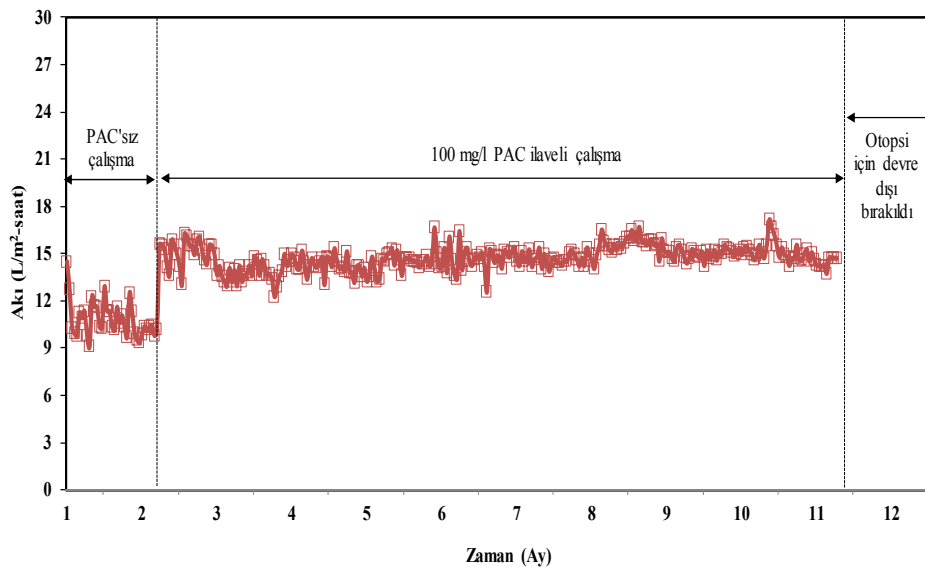
Qp: Debimetreden okunan ortalama debi, 46.44 (lt/saat)

A: Toplam membran yüzey alanı, 4.3 m²

$$\checkmark J_t = Q_p / A \quad (2.1)$$

Jt: t zamandaki anlık süzüntü suyu akısı (lt/m² -saat)

$$J_t = 46.44 / 4.3 = 10.8 \text{ lt/m}^2 \text{ -saat.}$$

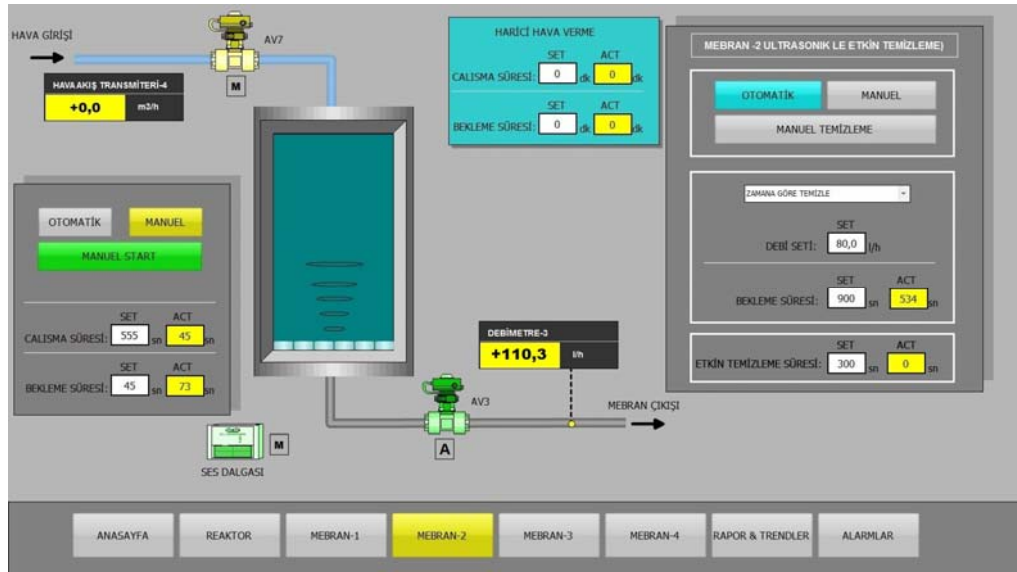


Şekil 4.24 : MBR-1 akı değişimi (SRT: 22 gün).

Otuz sekiz günlük PAC 17 kullanmadan sürdürülen çalışma döneminde akı ortalamasının 10,8 L/m²-saat ve PAC 17 kullanılarak yapılan on bir aylık çalışma döneminde akı ortalamasının 14,6 L/m²-saat olduğu görülmüştür.

4.1.2.2 MBR-2’de yapılan çalışmalar

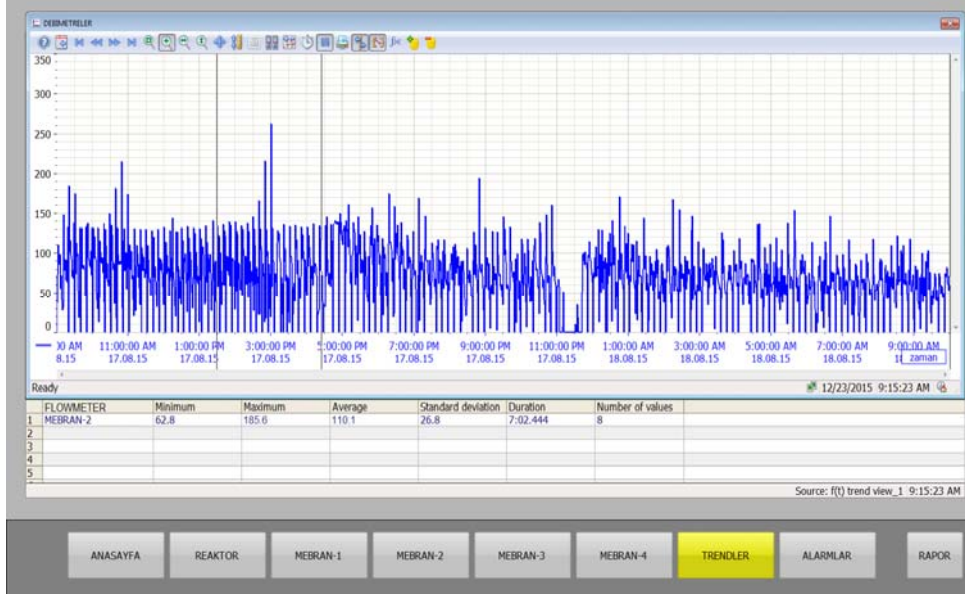
Tüm çalışma boyunca MBR sisteminde SCADA sistemi ile deşarj debileri litre/gün olarak kayıt altına alınmıştır. PAC ilaveli seramik membran ile yapılan çalışmada, Şekil 4.25’te MBR-2 scada ekran görüntüsü, Şekil 4.26’ da MBR-2 litre/saat cinsinden saatlik debi trendi, Şekil 4.27’de MBR-2 günlük debi trendi verilmiştir.



Şekil 4.25 : MBR-2 Scada ekran görüntüsü.

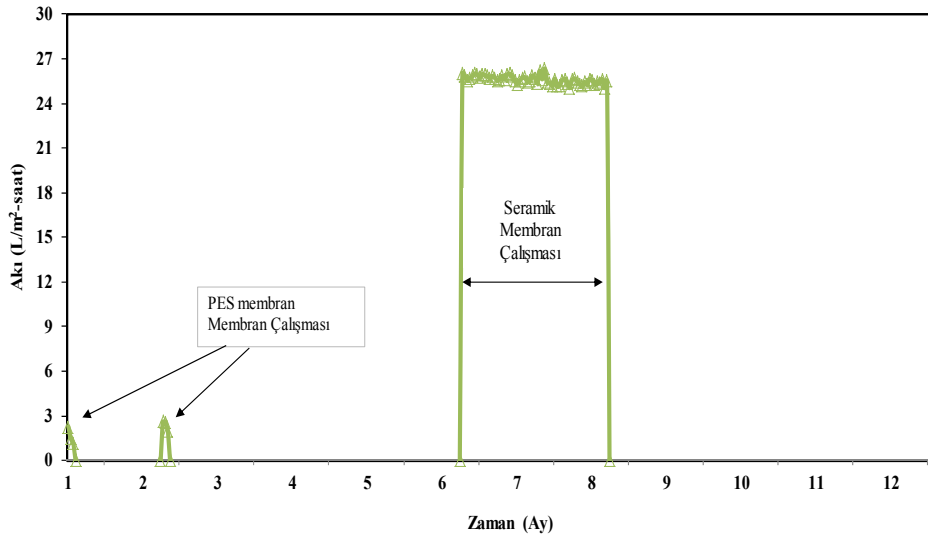


Şekil 4.26 : MBR-2 saatlik debi trendi.



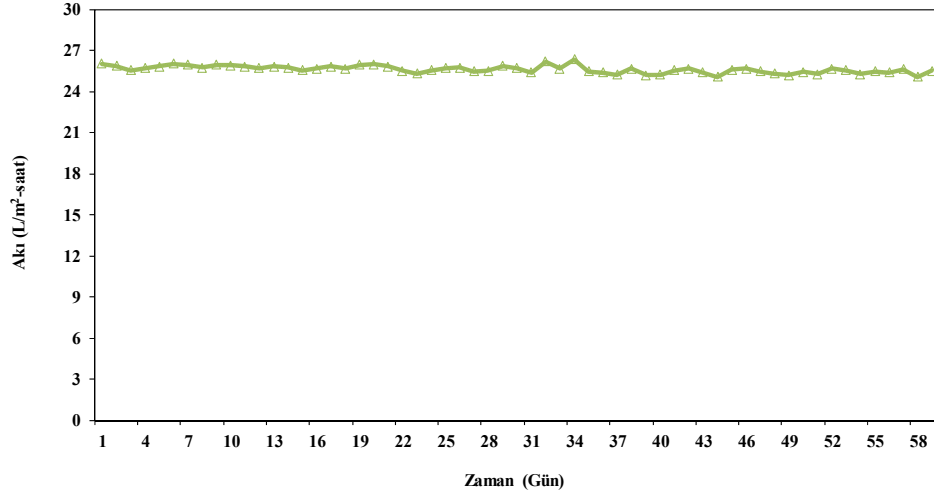
Şekil 4.27 : MBR-2 günlük debi trendi.

Scada verilerinden litre/gün cinsinden alınan deşarj debisi, scadaya tariflenen akı hesabı formülü (2.1) ile hesaplanan uzun vadeli akı değişim grafiği Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28 : MBR-2 akı değişimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).

MBR-2 sisteminde başlangıçta PES malzemedен düz plaka tip membran ile ultrasonik ses dalgası verilerek temizlik yapılmış ancak Şekil 4.28’de görüldüğü gibi üçüncü günün sonunda MBR-2 tıkanmıştır. Seramik membran tedarik süresince akı elde edilememiştir. İki aylık seramik membran uygulamasında Şekil 4.28’de görüldüğü gibi ortalama 25,6 L/m²-saat akı değeri alınmıştır. Şekil 4.29’da seramik membran ile yapılan çalışmanın iki aylık izleme süresindeki akı değerleri verilmiştir.

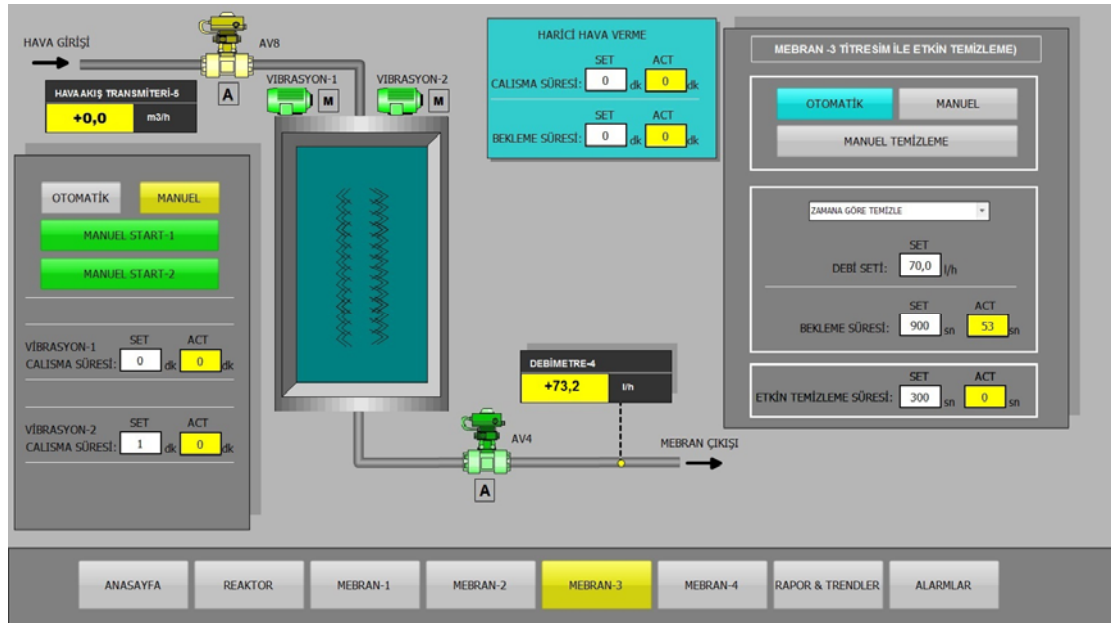


Şekil 4.29 : Seramik membran çalışmasında iki aylık izleme süresindeki akı değişimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).

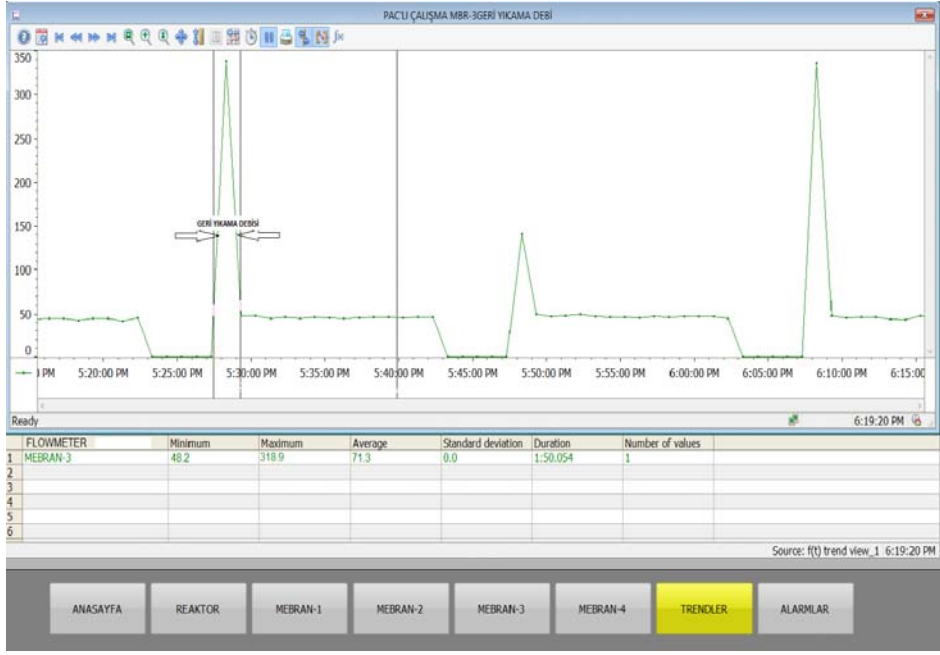
İki aylık seramik membran çalışmasında ortalama 25,61 L/m²-saat akı elde edilmiştir.

4.1.2.3 MBR-3'te yapılan çalışmalar

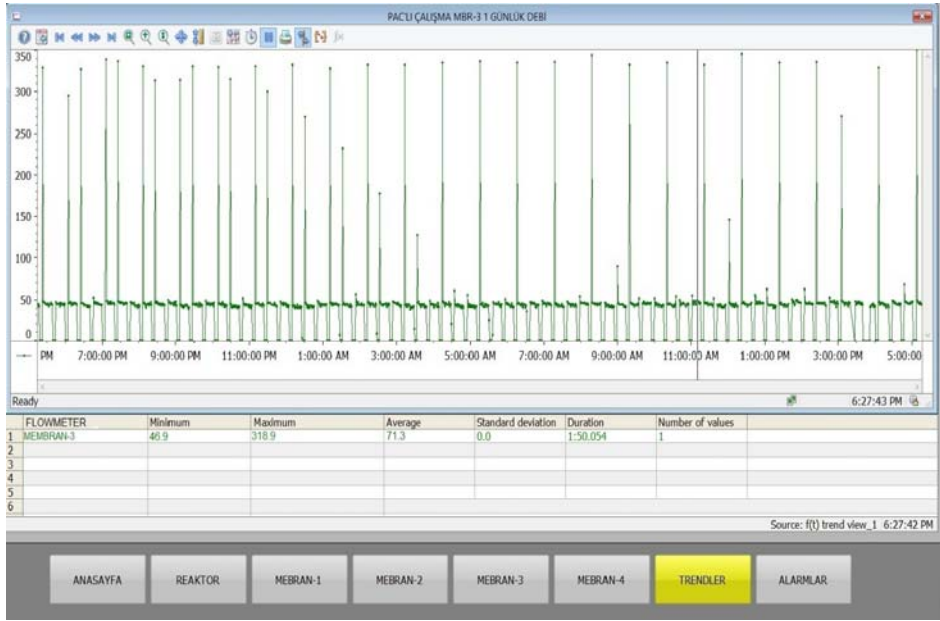
Tüm çalışma boyunca MBR sisteminde SCADA sistemi ile deşarj debileri litre/gün olarak kayıt altına alınmıştır. PAC ilaveli çalışmada, Şekil 4.30'da MBR-3 scada ekran görüntüsü, Şekil 4.31'de MBR-3 litre/saat cinsinden saatlik debi trendi, Şekil 4.32'de MBR-3 günlük debi trendi verilmiştir.



Şekil 4.30 : MBR-3 Scada ekran görüntüsü.

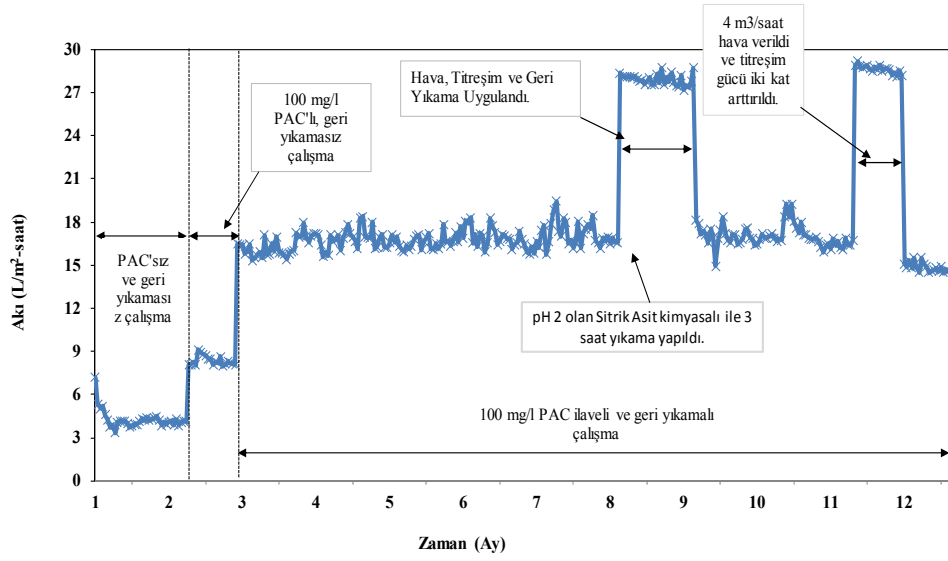


Şekil 4.31 : MBR-3 saatlik debi trendi.



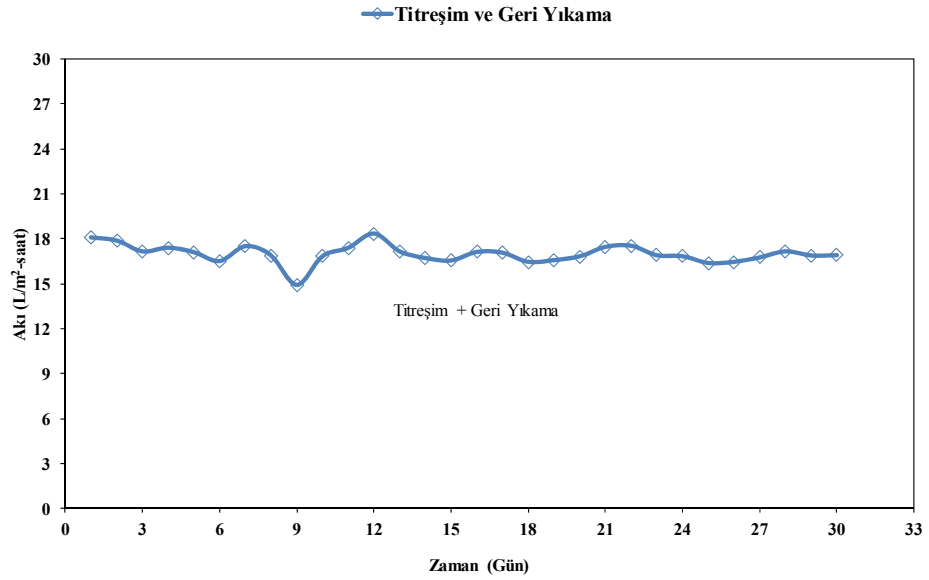
Şekil 4.32 : MBR-3 günlük debi trendi.

Scada verilerinden litre/gün cinsinden alınan deşarj debisi, scadaya tariflenen akı hesabı formülü (2.1) ile hesaplanan uzun vadeli akı değişim grafiği Şekil 4.33'te verilmiştir.

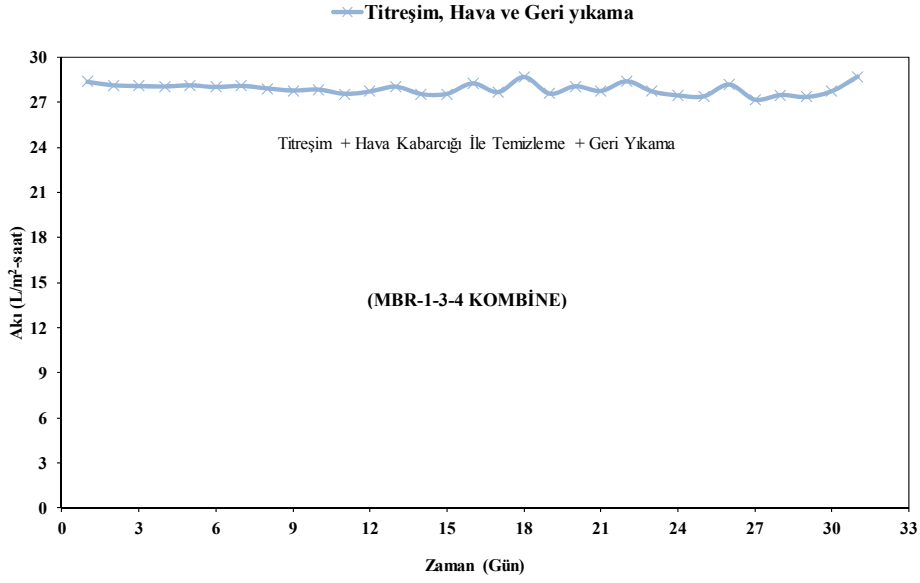


Şekil 4.33 : MBR-3 akı değerleri (SRT: 22 gün).

PAC 17 kullanmadan ve geri yıkama uygulanmadan çalışılan otuz sekiz günlük çalışma süresince MBR-3'te elde edilen ortalama akı değeri 4,3 L/m²-saat, 100 mg/l PAC 17 kullanılarak yapılan 20 günlük çalışma süresince 8,3 L/m²-saat ve geri yıkama uygulanarak yapılan yedi ay on gün sürdürülen çalışma boyunca elde edilen ortalama akı değerinin ise 16,8 L/m²-saat olduğu görülmüştür. Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te MBR-3'e hava kabarcığı ile temizleme etkisi sonucu akı değerleri verilmiştir.



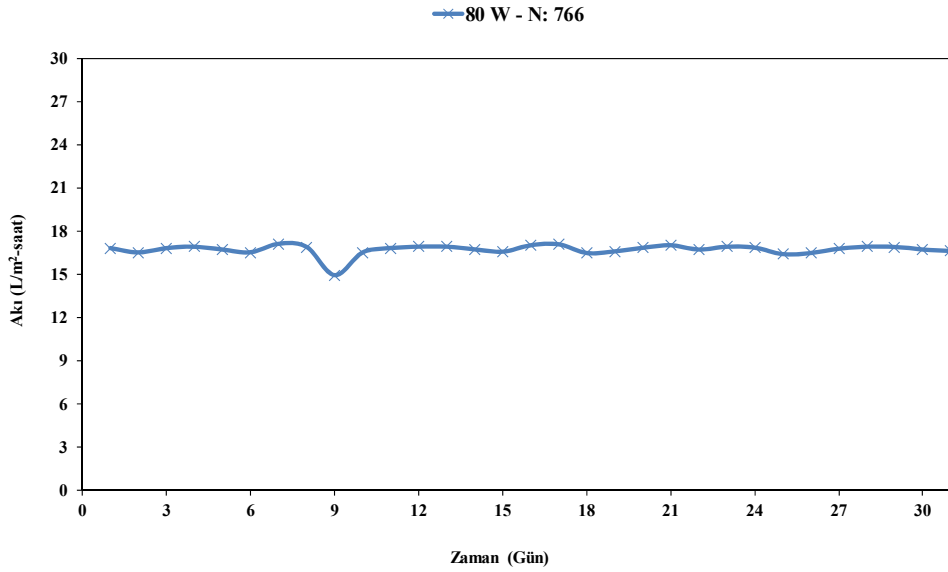
Şekil 4.34 : MBR-3'e geri yıkama etkisi sonucu akı değerleri (100 mg/l PAC ilaveli çalışma. SRT: 22 gün).



Şekil 4.35 : MBR-3'e hava kabarcığı ile temizleme etkisi sonucu akı değerleri (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).

MBR-3 sisteminde titreşim ve geri yıkama uygulamasının otuz günlük çalışma sonunda ortalama 16,7 L/m²-saat, (Şekil 4.35) 4 m³/saat hava, titreşim ve geri yıkama uygulamasının otuz günlük çalışma sonunda ortalama 27,8 L/m²-saat akı değeri gözlenmiştir (Şekil 4.36). MBR-3 sisteminde 4 m³/saat hava kabarcığı ile temizleme etkisi dahil edildiğinde akı değerini %67 oranında artırdığı görülmüştür.

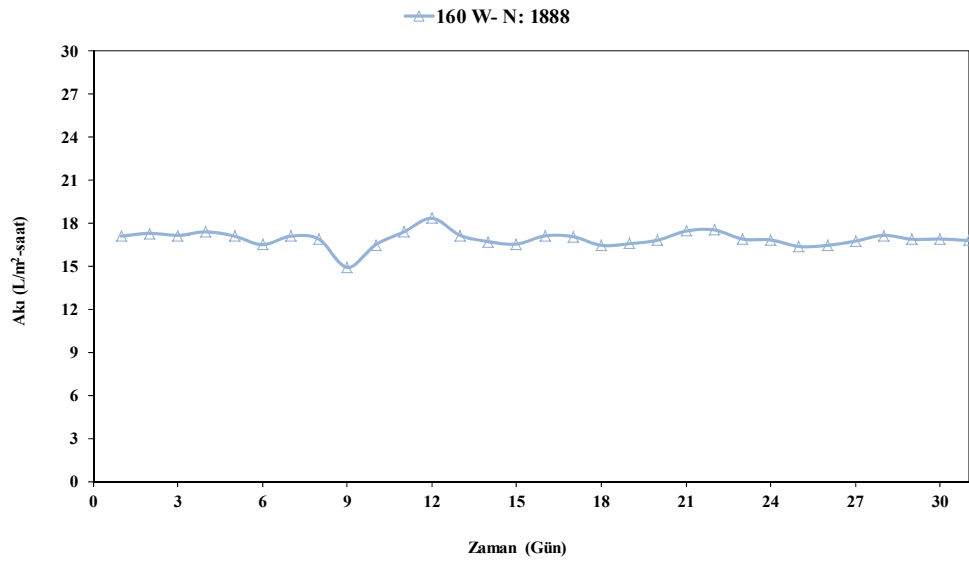
80 Watt gücünde titreşim motoru ile sürdürülen yirmi günlük akı değerleri Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36 : 80 Watt titreşim motoru gücünün akıya etkisi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).

MBR-3 sisteminde 80 Watt titreşim gücünde sürdürülen yirmi günlük çalışmada ortalama $16,7 \text{ L/m}^2\text{-saat}$ akı değeri görülmüştür.

MBR-3 sisteminde, 80 Watt gücünde olan titreşim motorlarının güçleri iki katına çıkartılabilmesi için, sistemde bulunan çelik kafes üzerine farklı güçlerde 2 adet Vibrax-Micro marka 220 V, 50 Watt titreşim motoru ve 1 adet Vibrax- Micro marka 380 V, 60 Watt titreşim motoru yerleştirilmiş, titreşim gücü toplamda 160 Watt olmuştur. Yirmi gün boyunca 160 W titreşim gücünde çalışmalar sürdürülmüş tıkanıklık gözlenmiştir. Titreşim gücü iki katına çıkartılarak sürdürülen yirmi günlük çalışmanın akı değerleri Şekil 4.37’de verilmiştir.

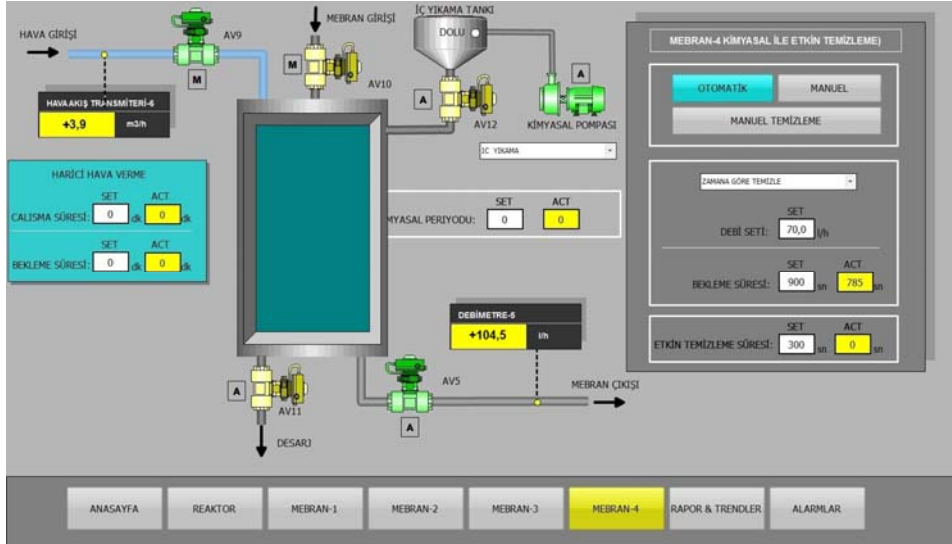


Şekil 4.37 : 160 Watt titreşim motoru gücünün akıya etkisi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).

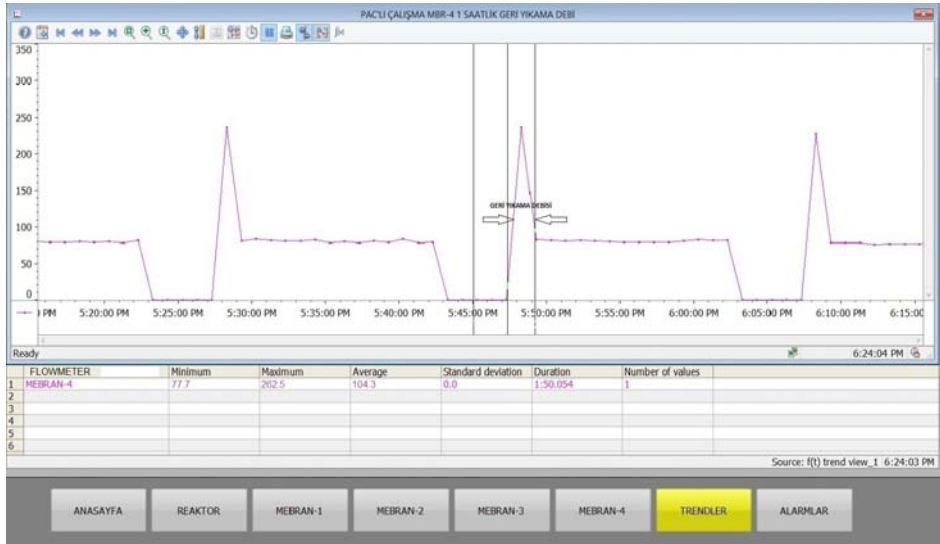
MBR-3 sisteminde titreşim gücünü iki kat arttırarak sürdürülen yirmi günlük çalışma süresince ortalama akı değeri $16,9 \text{ L/m}^2\text{-saat}$ 'tir.

4.1.2.4 MBR-4'te yapılan çalışmalar

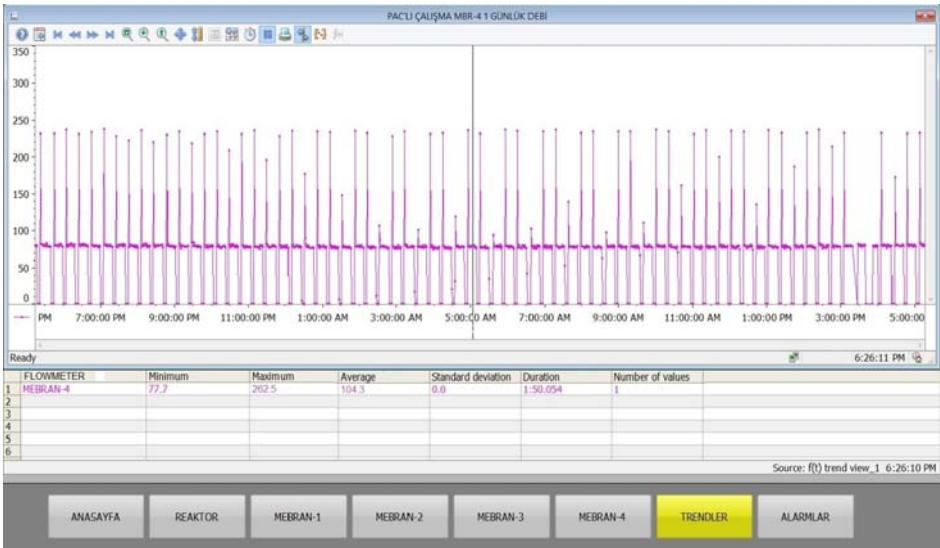
Tüm çalışma boyunca MBR sisteminde SCADA sistemi ile deşarj debileri litre/gün olarak kayıt altına alınmıştır. PAC ilaveli çalışmanın, Şekil 4.38'de MBR-4 scada ekran görüntüsü, Şekil 4.39'da MBR-4 litre/saat cinsinden saatlik debi trendi, Şekil 4.40'ta MBR-4 günlük debi trendi verilmiştir.



Şekil 4.38 : MBR-4 Scada ekran görüntüsü.

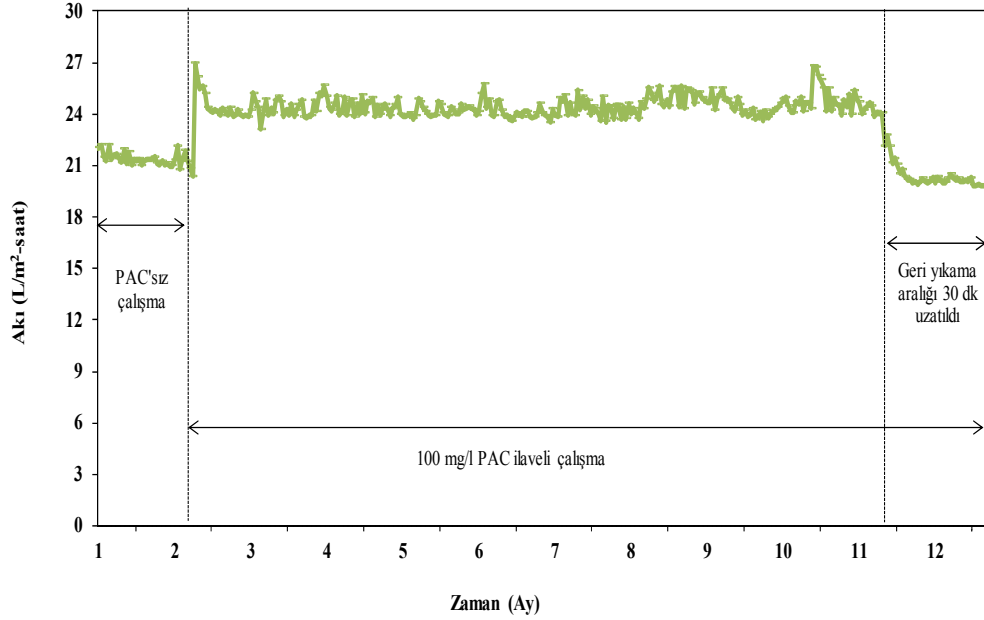


Şekil 4.39 : MBR-4 saatlik debi trendi.



Şekil 4.40 : MBR-4 günlük debi trendi.

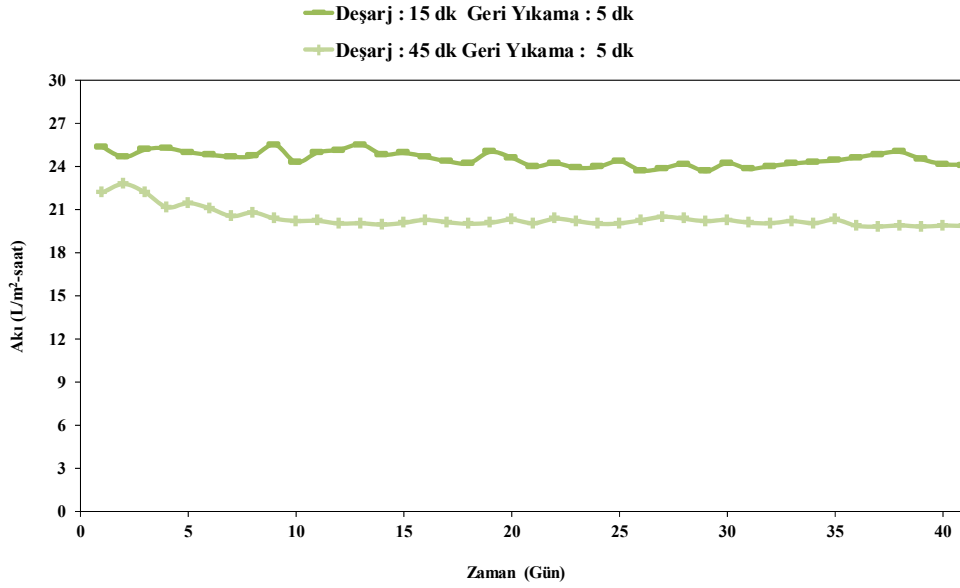
Scada verilerinden litre/gün cinsinden alınan deşarj debisi, scadaya tariflenen akı hesabı formülü (2.1) ile hesaplanan uzun vadeli akı değişim grafiği Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41 : MBR-4 akı değişimi (SRT: 22 gün).

MBR-4’te PAC 17 kullanmadan çalışılan otuz sekiz günlük çalışma süresince elde edilen ortalama akı değeri 21,3 L/m²-saat, 100 mg/l PAC 17 kullanılarak yapılan on iki aylık çalışma boyunca elde edilen ortalama akı değeri 24,4 L/m²-saat olduğu görölmüştür.

MBR-4 sisteminde kırk gün sürdürölen çalışmada her 15 dakika da bir 5 dakikalık akının kesilmesi ile sadece hava verilerek etkin temizlik sağlanmış, ayrıca pH 10 olan %0,25 sodyum hipoklorit eklenmiş çözelti ile her 45 dakikada bir 5 dakika geri yıkama yapılmıştır. Şekil 4.42’de 15 dakikada bir 5 dakika geri yıkama ve 45 dakikada 5 dakika geri yıkamanın yapıldığı çalışmanın akı değeri verilmiştir.

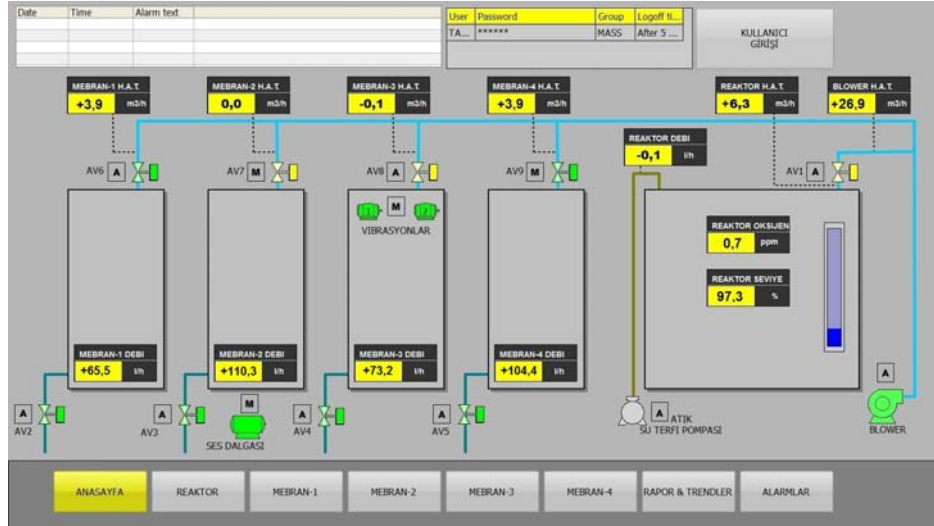


Şekil 4.42 : MBR-4'te iki farklı geri yıkama periyodunda akı değerleri (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).

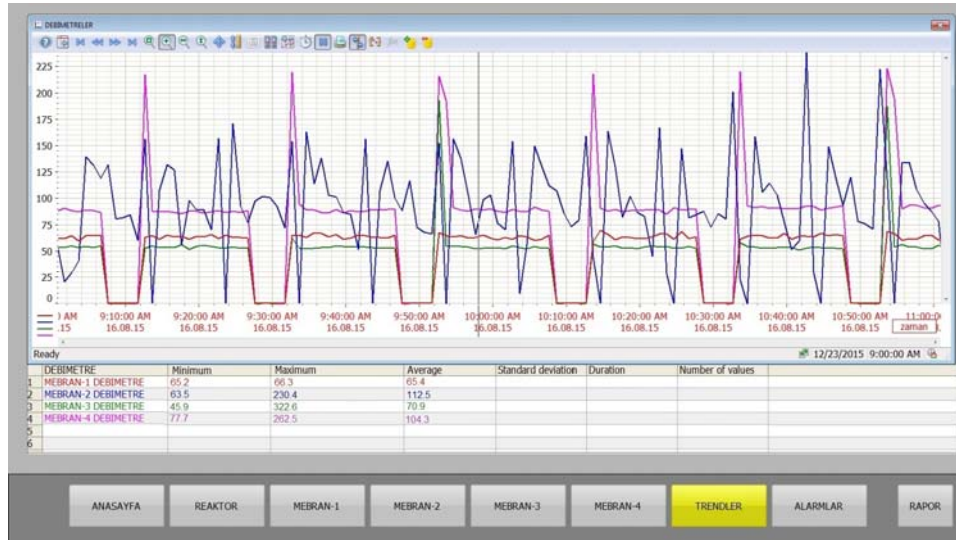
Kırk günlük her 15 dakikada 5 dakika yapılan geri yıkama akı ortalaması 24,46 L/m²-saat, kırk günlük her 45 dakikada 5 dakika yapılan geri yıkama akı ortalaması 20,36 L/m²-saat'tir.

4.1.2.5 Uzun süreli akı değerleri mukayesesi

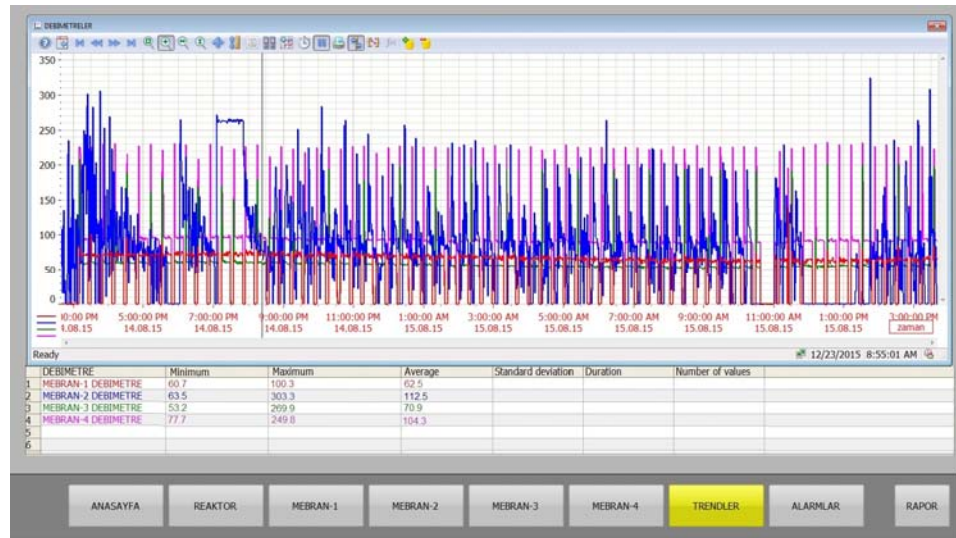
Tüm çalışmalar diğer bölümlerde detaylı bir şekilde bahsedildiği gibi; 12.000 mg/l MLSS konsantrasyonu, SRT 22 gün, 1: 3 geri devir oranı ve PAC 17 dozlaması yapılarak sürdürülmüştür. Bu çalışmalarda MBR-1'in etkin temizlik metodu referans metot olarak alınmıştır. MBR-2 sisteminde PES malzemeden düz plaka tip membran modülde uygulanan ses dalgası ile verim alınamadığından veri bulunmamaktadır. Ses dalgası ile temizleme metodu iki aylık dönemde (4 Ağustos-4 Ekim 2015) seramik membran modülü kullanılarak çalıştırılmıştır. MBR-1 sisteminde ortalama 14,7 L/m²-saat, MBR-2 sistemi iki aylık seramik membran çalışmasında ortalama 25,61 L/m²-saat, MBR-3 sisteminde ortalama 16,7 L/m²-saat ve MBR-4 sisteminde ortalama 24,46 L/m²-saat akı geçtiği görülmüştür. MBR sisteminde on iki aylık çalışma boyunca yukarıda açıklamaları yapılan dört farklı temizlik metodunun birbirleriyle akı mukayesesi yapılmış olup, tüm çalışma boyunca MBR sisteminde SCADA sistemi ile deşarj debileri kayıt altına alınmıştır. PAC ilaveli çalışmada, Şekil 4.43'te scada ana ekran görüntüsü, Şekil 4.44'de litre/saat cinsinden saatlik debi trendleri, Şekil 4.45'te günlük debi trendleri verilmiştir.



Şekil 4.43 : Scada ana ekran görüntüsü.

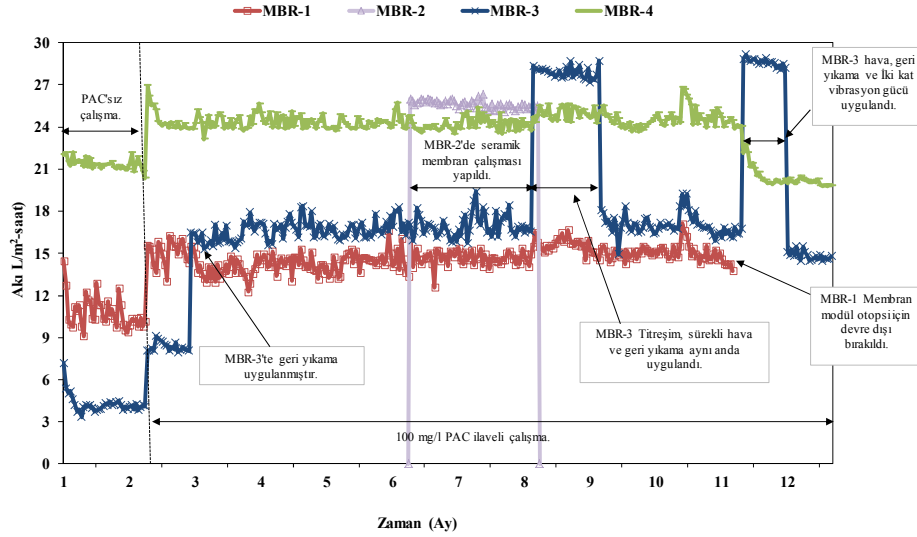


Şekil 4.44 : Saatlik debi trendleri.



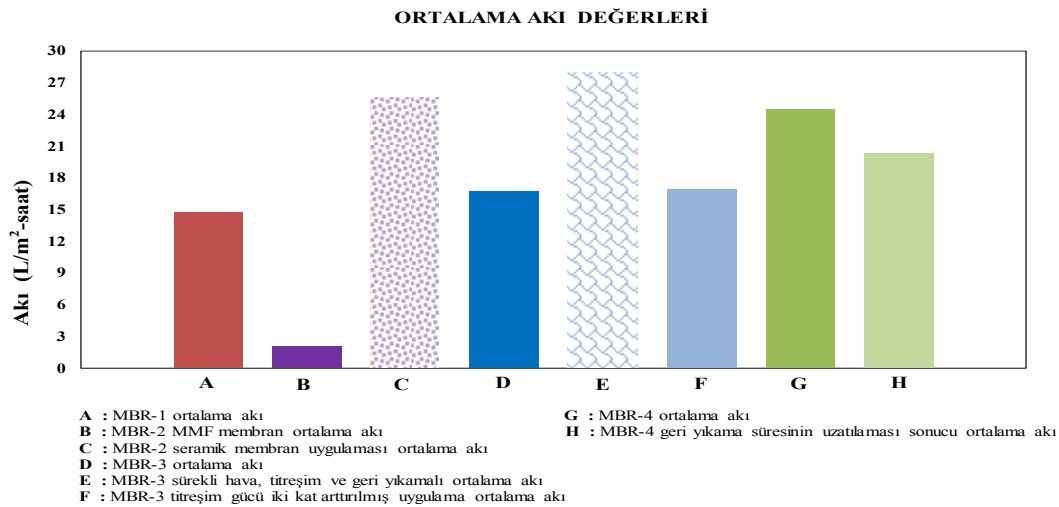
Şekil 4.45 : Günlük debi trendleri.

Scada verilerinden litre/gün cinsinden alınan deşarj debisi, scadaya tariflenen akı hesabı formülü (2.1) ile hesaplanan uzun vadeli akı değerleri Şekil 4.46’da verilmiştir.



Şekil 4.46 : Akı değerleri (SRT: 22 gün).

On iki aylık çalışma süresince MBR-1 sistemine göre akı mukayesesi yapıldığında, MBR-2 sisteminde PES malzemeden düz plaka tip membran modülünün kullanıldığı çalışmada tıkanma olduğundan veri elde edilememiştir. MBR-2 seramik membran modülünün kullanıldığı iki aylık çalışma döneminde elde edilen akı değeri MBR-1’e göre %74 daha yüksektir. MBR-3 sisteminden elde edilen akı değeri MBR-1’e göre %16 daha yüksektir. MBR-4 sisteminden elde edilen akı değeri MBR-1’e göre %66 daha yüksektir. Şekil 4.47’de MBR’lerde çalışma süresince elde edilen ortalama akı değerleri gösterilmiştir:

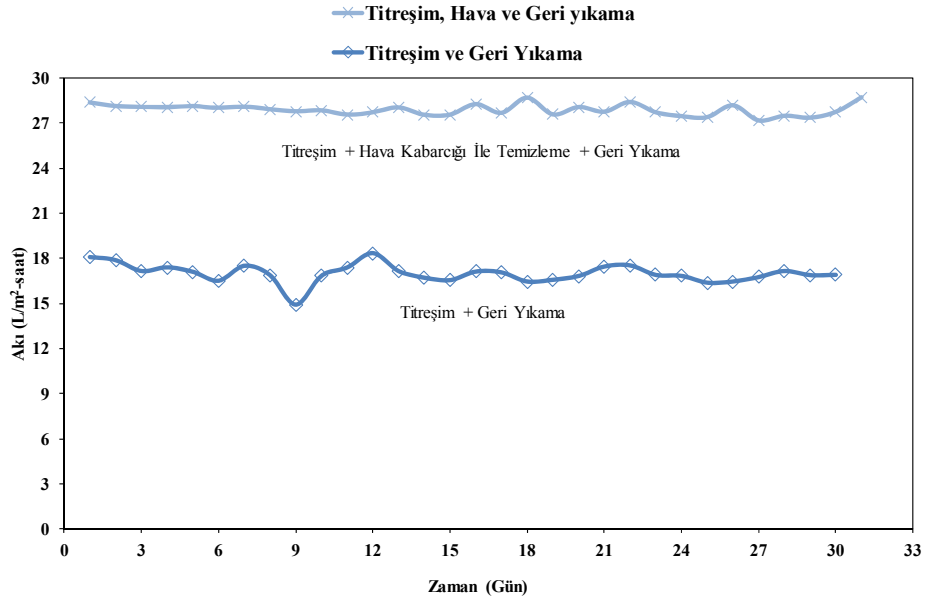


Şekil 4.47 : Çalışma süresince elde edilen ortalama akı değerleri.

%0,25'lik NaClO çözeltisi ile çıkış suyunun %35'i kullanılarak 15 dakikada bir 5 dakika uygulanan geri yıkama sonucunda, MBR-4 sisteminden elde edilen akı değeri, aynı koşullarda geri yıkamasız çalıştırılan MBR-1 sisteminden elde edilen akı değerinden %66 daha fazladır. Geri yıkama uygulaması ile %35 arıtılmış su kaybına karşılık %66 akı artışı sağlanmıştır. Geri yıkama uygulamasının net akı artışına etkisi %27'dir.

MBR-4 sisteminde aynı çalışma koşulları sağlanarak, sadece geri yıkama periyodu 30 dakika uzatılarak çıkış suyunun %11'i kullanılmış ve MBR-4 sisteminden elde edilen akı değeri, aynı koşullarda geri yıkamasız çalıştırılan MBR-1 sisteminden elde edilen akı değerinden %39 daha fazla olduğu görülmüştür. Geri yıkama uygulaması ile %11 arıtılmış su kaybına karşılık %28 akı artışı sağlanmıştır. Geri yıkama uygulamasının net akı artışına etkisi %23'tür.

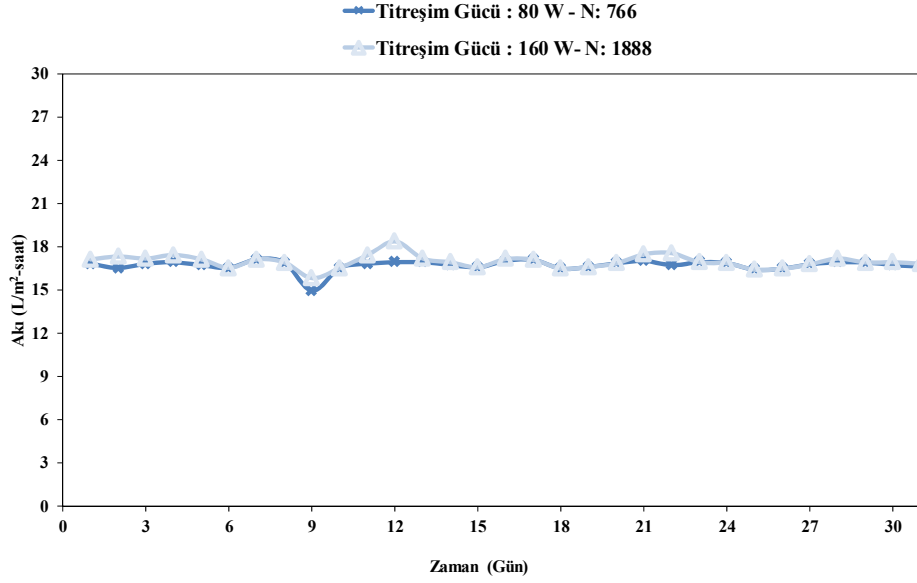
MBR-3 sisteminde 4 m³/saat hava kabarcığı, titreşim ve geri yıkama uygulamasının otuz günlük akı değeri ve sistemde titreşim, geri yıkama ve sadece 5 dakikalık akının kesilmesi ile etkin temizlik zamanında 4 m³/saat hava akısının devrede olduğu uygulamanın akı değeri kıyaslaması Şekil 4.48'de verilmiştir:



Şekil 4.48 : MBR-3'te 4 m³/saat sürekli hava akısı verilmesi sonucu akı mukayesesi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).

Şekil 4.48'de görüldüğü gibi sisteme sürekli 4 m³/saat hava akısı verilmesi sonucu akı değeri %67 oranında artmıştır.

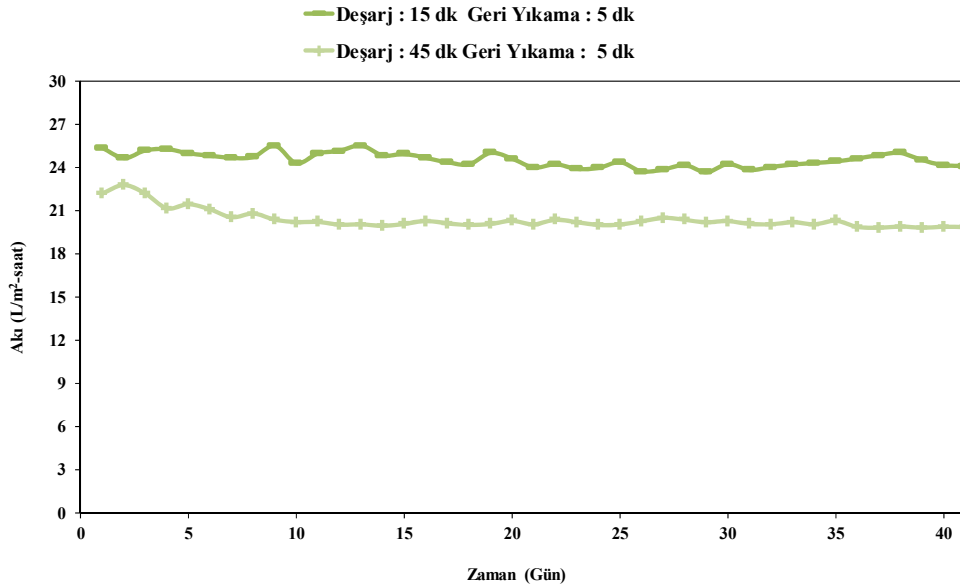
MBR-3 sisteminde, 4 m³/ saat hava akısı sürekli verilerek 80 Watt ve 160 Watt titreşim gücünde yapılan çalışmaların Şekil 4.49’da akı mukayesesi gösterilmiştir.



Şekil 4.49 : 80 Watt ve 160 Watt titreşim gücünün akı mukayesesi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma, SRT: 22 gün).

MBR-3 sisteminde, 4 m³/ saat hava akısı sürekli verilerek 80 Watt ve 160 Watt titreşim gücünde yapılan çalışmada, titreşim gücünün arttırılması akı değerinde olumlu ya da olumsuz herhangi bir etkisinin olamadığı görülmüştür.

MBR-4 sisteminde denenen iki farklı geri yıkama periyodundaki akı değerleri mukayesesi Şekil 4.50’de gösterilmiştir.



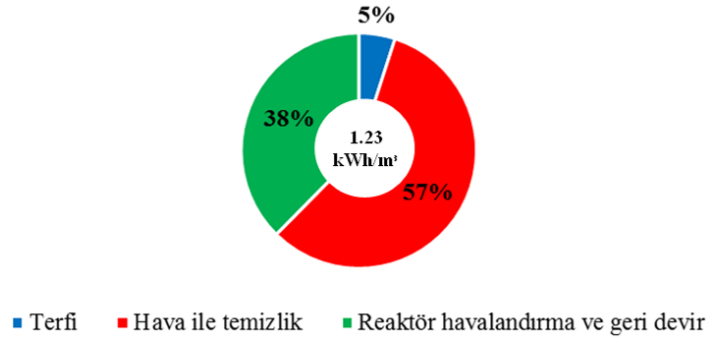
Şekil 4.50 : MBR-4'te iki farklı geri yıkama periyodunda akı değerleri (100 mg/l PAC ilaveli çalışma. SRT: 22 gün).

MBR-4 sisteminde, 15 dk olan geri yıkama periyodu uzatılarak 45 dk olarak uygulanmış ve akı değerleri incelendiğinde iki yıkama periyodunun %4'lük akı farkı olduğu görülmüştür.

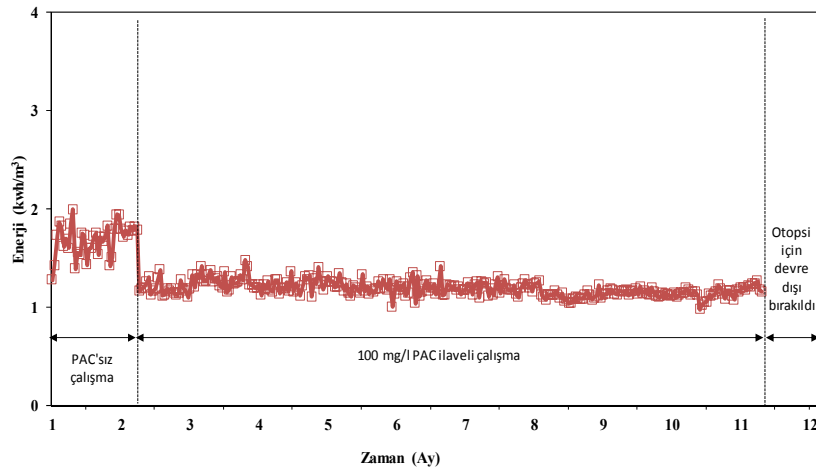
4.1.3 Tıkanmayı azaltmaya yönelik çalışmalarda enerji verileri

4.1.3.1 MBR-1 enerji verileri

Tüm çalışma boyunca MBR sisteminde SCADA sistemi ile enerji tüketimleri kayıt altına alınmıştır. Pilot tesis çalışmalarında enerji kullanımı; terfi, MBR modülünün hava ile temizliği, biyolojik havalandırma ve airlift ile geri devir sırasında gerçekleşmektedir. Şekil.4.51'de MBR-1 enerji tüketim bileşenleri dağılımları, Şekil 4.52'de MBR-1 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi yer almaktadır.



Şekil 4.51 : MBR-1 enerji tüketim bileşenleri dağılımları.

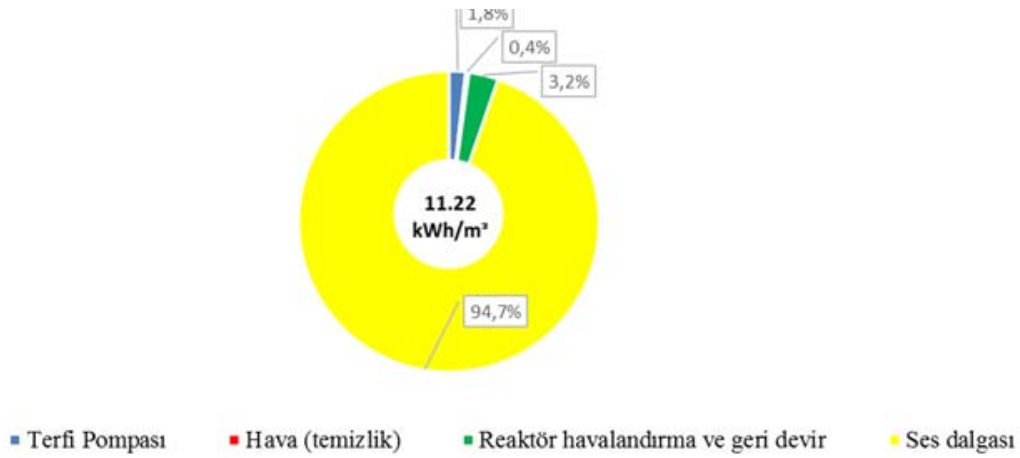


Şekil 4.52 : MBR-1 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi.

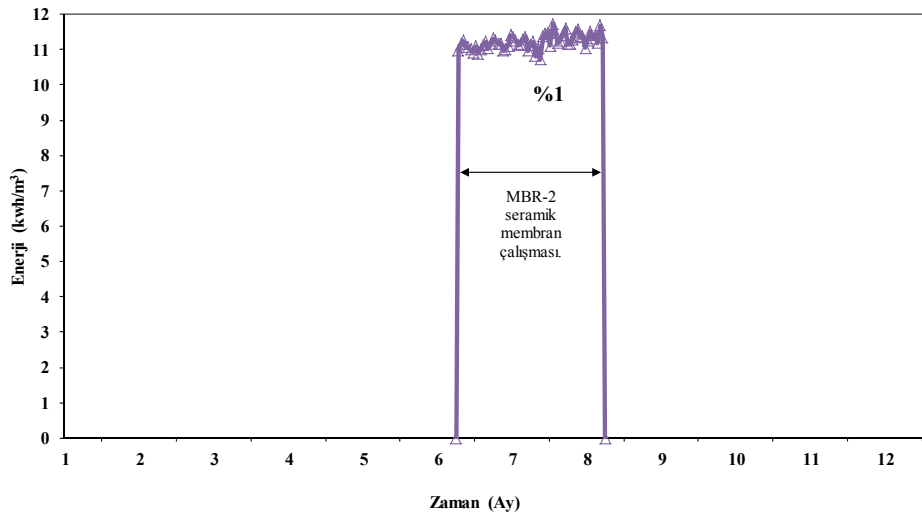
MBR-1 sisteminde otuz sekiz günlük PAC 17 kullanmadan sürdürülen çalışma döneminde birim arıtılmış su başına enerji tüketimi ortalamasının 1,71 kWh/m³, PAC 17 kullanılarak yapılan on bir aylık çalışma döneminde birim arıtılmış su başına enerji tüketimi 1,23 kWh/m³ olduğu görülmüştür.

4.1.3.2 MBR-2 enerji verileri

Tüm çalışma boyunca MBR sisteminde SCADA sistemi ile enerji tüketimleri kayıt altına alınmıştır. Pilot tesis çalışmalarında enerji kullanımı; terfi, MBR modülünün hava ile temizliği, biyolojik havalandırma ve airlift ile geri devir sırasında gerçekleşmektedir. Şekil.4.53'te MBR-2 enerji tüketim bileşenleri dağılımları, Şekil 4.54'te MBR-2 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi ve Şekil 4.55'te seramik membran çalışmasındaki iki aylık izleme süresindeki birim arıtılmış su başına enerji tüketimi yer almaktadır.



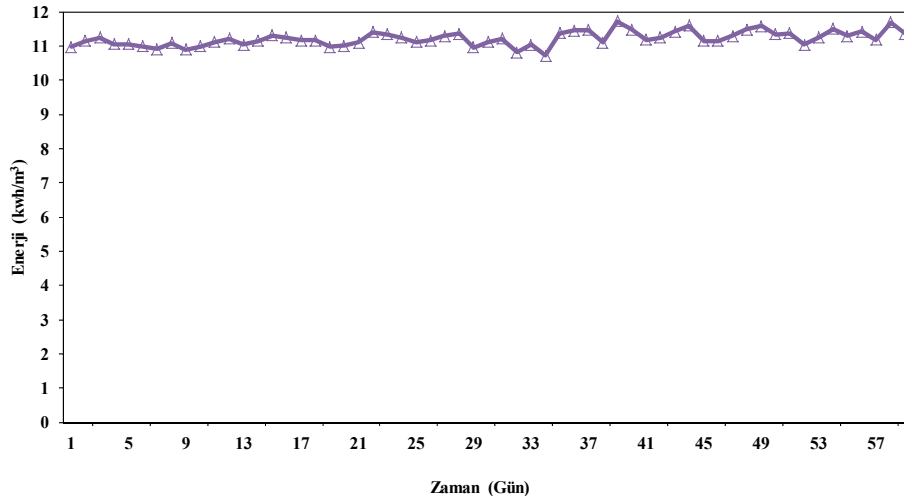
Şekil 4.53 : MBR-2 enerji tüketim bileşenleri dağılımları.



Şekil 4.54 : MBR-2 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).

MBR-2 sisteminde PES malzemeden düz plaka tip membran modülü kullanılarak yapılan çalışmada tıkanma meydana geldiğinden veri alınamamıştır. 60 günlük

seramik membran modülü kullanılarak yapılan çalışmada ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi 11,22 kwh/m³ olduğu görülmüştür.

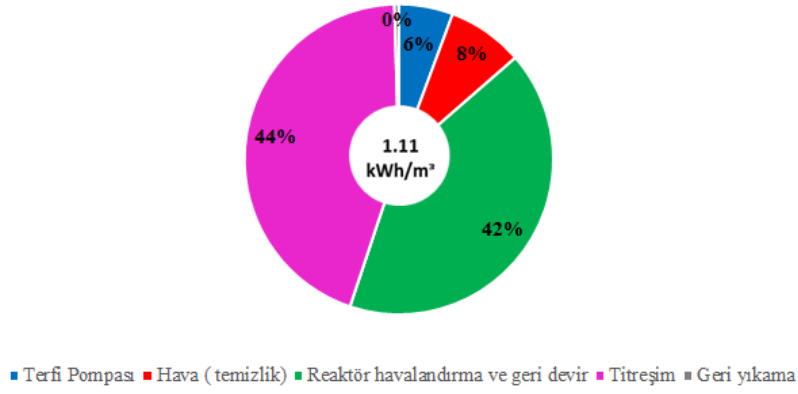


Şekil 4.55 : MBR-2 iki aylık izleme süresindeki birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).

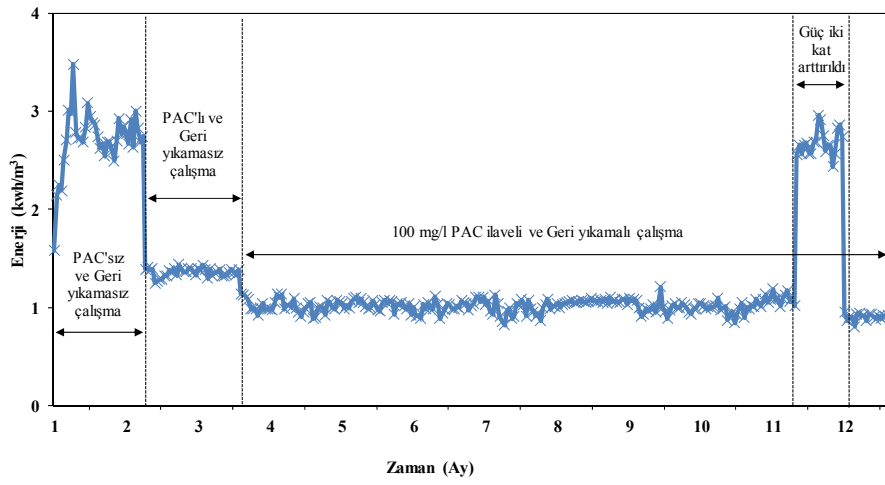
İki aylık seramik membran çalışmasında ortalama 11,22 kwh/m³ birim arıtılmış su başına enerji tüketimi elde edilmiştir. Mobil ultrasonik yıkama modülü tedarikçisinin bu konuyla ilgili daha önce bir tecrübesi olmaması sebebiyle cihazın konumu, frekansı, etki alanı vb. gibi çalışmalarda tam olarak destek verememesi nedeniyle MBR-2 sisteminde yüksek enerji çıkmıştır.

4.1.3.3 MBR-3 enerji verileri

Tüm çalışma boyunca MBR sisteminde SCADA sistemi ile enerji tüketimleri kayıt altına alınmıştır. Pilot tesis çalışmalarında enerji kullanımı; terfi, MBR modülünün hava ile temizliği, biyolojik havalandırma ve airlift ile geri devir sırasında gerçekleşmektedir. Şekil.4.56'da MBR-3 enerji tüketim bileşenleri dağılımları, Şekil 4.57'de MBR-3 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi, Şekil 4.58'de MBR-3'te hava kabarcığı ve titreşimin aynı anda uygulanması sonucu birim arıtılmış su başına enerji tüketimi, Şekil 4.59'da MBR-3'te 80 watt titreşimin enerjiye etkisi, Şekil 4.60'da MBR-3'te 160 watt titreşimin enerjiye etkisi verilmiştir.

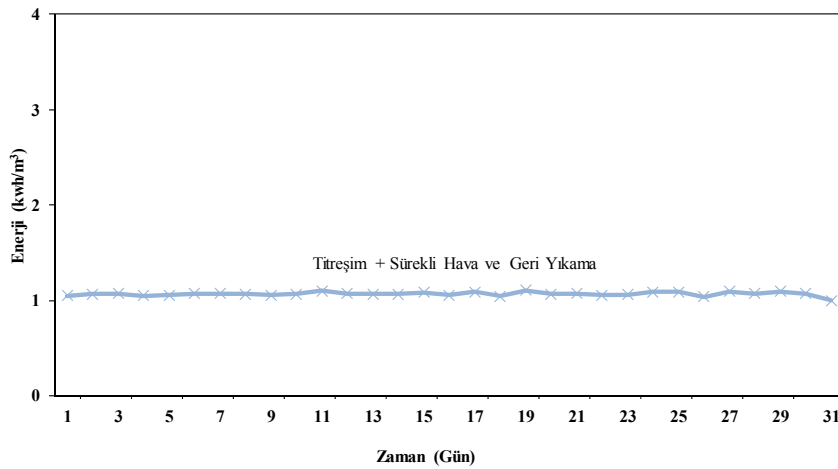


Şekil 4.56 : MBR-3 enerji tüketim bileşenleri dağılımları.



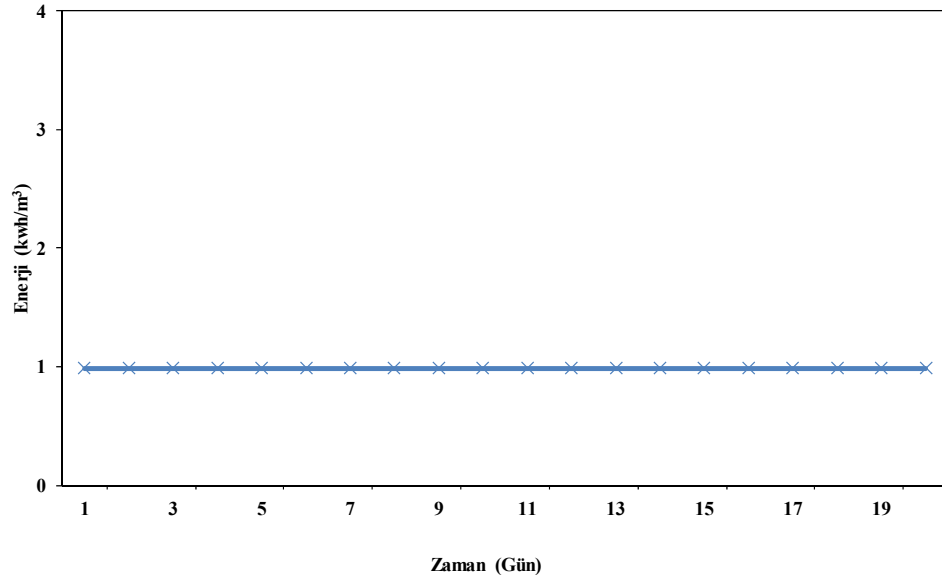
Şekil 4.57 : MBR-3 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi.

MBR-3 sisteminde otuz sekiz günlük PAC 17 kullanmadan sürdürülen çalışma döneminde birim arıtılmış su başına enerji tüketimi ortalamasının $2,74 \text{ kWh/m}^3$, PAC 17 kullanılarak yapılan on bir aylık çalışma döneminde birim arıtılmış su başına enerji tüketimi $1,11 \text{ kWh/m}^3$ olduğu görülmüştür.



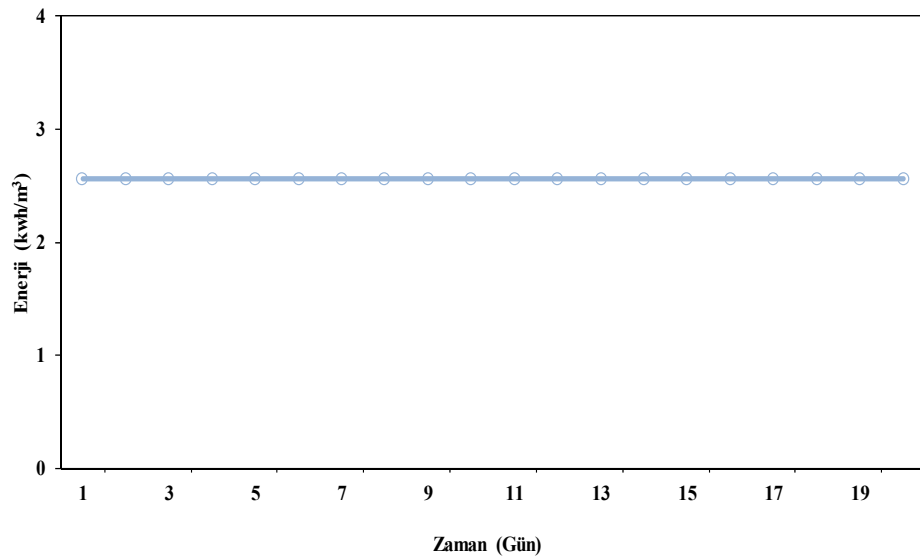
Şekil 4.58 : MBR-3'te hava kabarcığı ve titreşimin aynı anda uygulanması sonucu birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).

MBR-3 sisteminde titreşim, sürekli hava kabarcığı ve geri yıkama yöntemi uygulamasının otuz günlük çalışma sonunda ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi $1,07 \text{ kwh/m}^3$ 'tür.



Şekil 4.59 : MBR-3'te 80 watt titreşimin birim arıtılmış su başına enerji tüketimine etkisi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).

Sistemde 80 watt titreşim gücü ile yapılan çalışmada ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi $1,07 \text{ kwh/m}^3$ bulunmuştur.

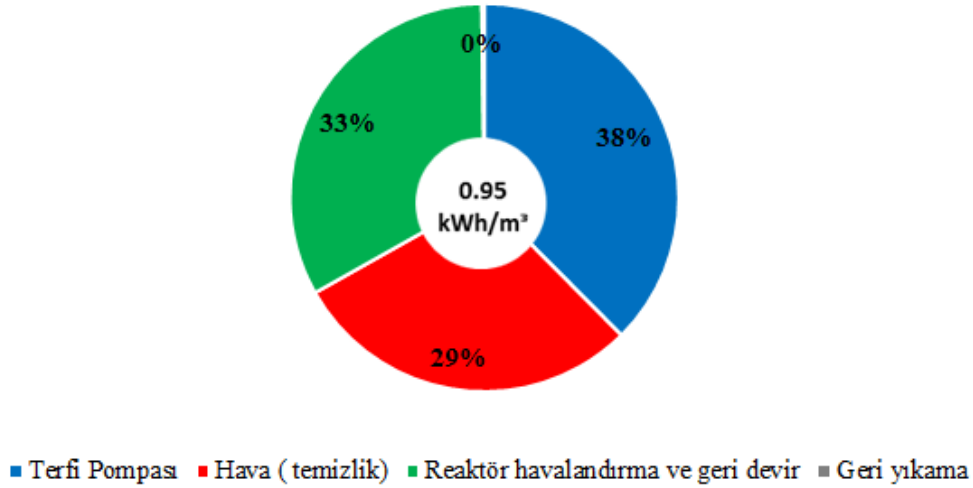


Şekil 4.60 : MBR-3'te 160 watt titreşimin birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).

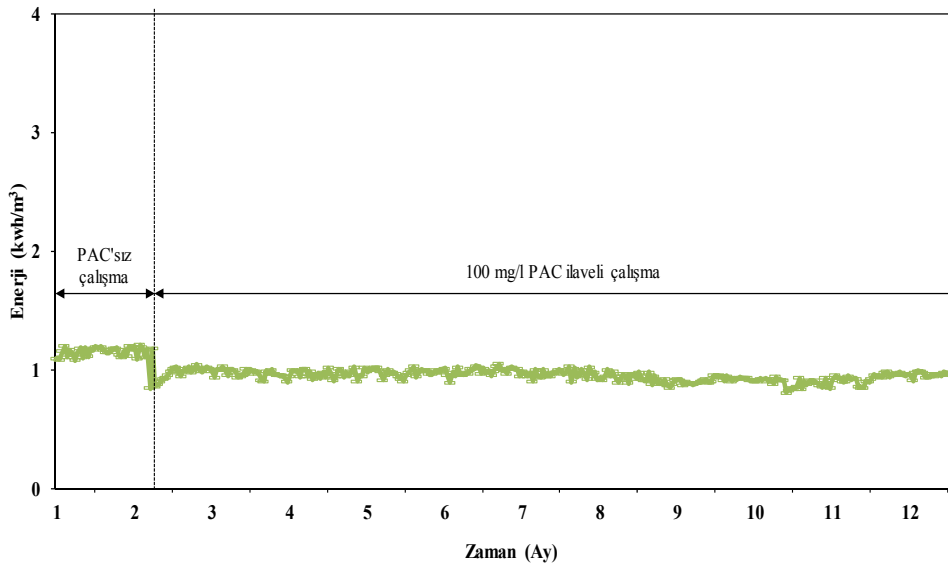
Sistemde 160 watt titreşim gücü ile yapılan çalışmada ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi $2,71 \text{ kwh/m}^3$ bulunmuştur.

4.1.3.4 MBR-4 enerji verileri

Tüm çalışma boyunca MBR sisteminde SCADA sistemi ile enerji tüketimleri kayıt altına alınmıştır. Pilot tesis çalışmalarında enerji kullanımı; terfi, MBR modülünün hava ile temizliği, biyolojik havalandırma ve airlift ile geri devir sırasında gerçekleşmektedir. Şekil.4.61’de MBR-4 enerji tüketim bileşenleri dağılımları, Şekil 4.62’de MBR-4 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi yer almaktadır.



Şekil 4.61 : MBR-4 enerji tüketim bileşenleri dağılımları.

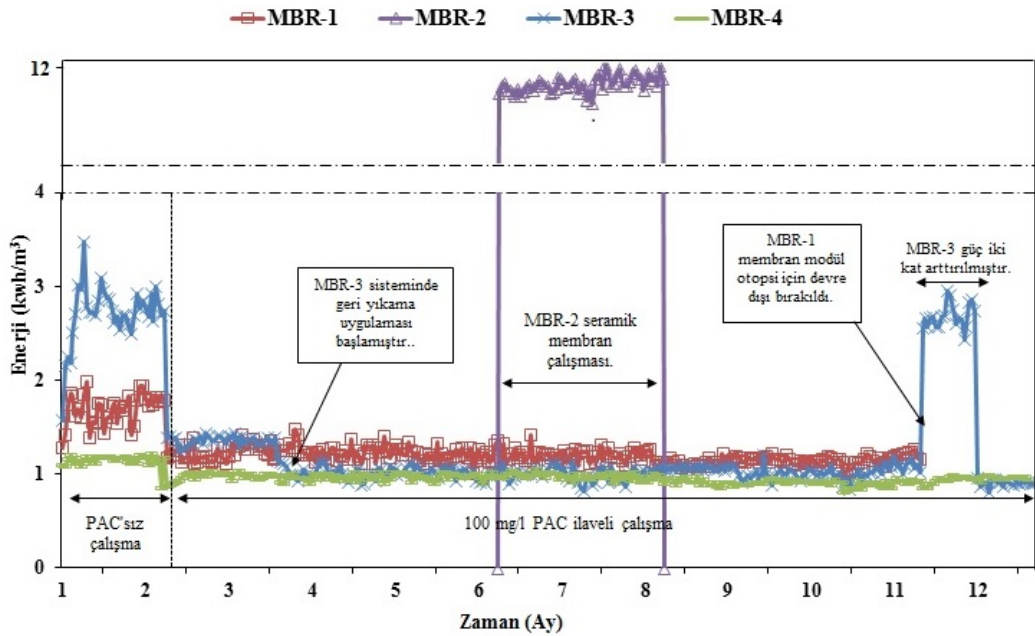


Şekil 4.62 : MBR-4 birim arıtılmış su başına enerji tüketimi.

MBR-4 sisteminde otuz sekiz günlük PAC 17 kullanmadan sürdürülen çalışma döneminde birim arıtılmış su başına enerji tüketimi ortalamasının 1,15 kWh/m³, PAC 17 kullanılarak yapılan on bir aylık çalışma döneminde birim arıtılmış su başına enerji tüketimi 0,95 kWh/m³ olduğu görülmüştür.

4.1.3.5 Tıkanmayı azaltmaya yönelik çalışmalarda enerji mukayesesi

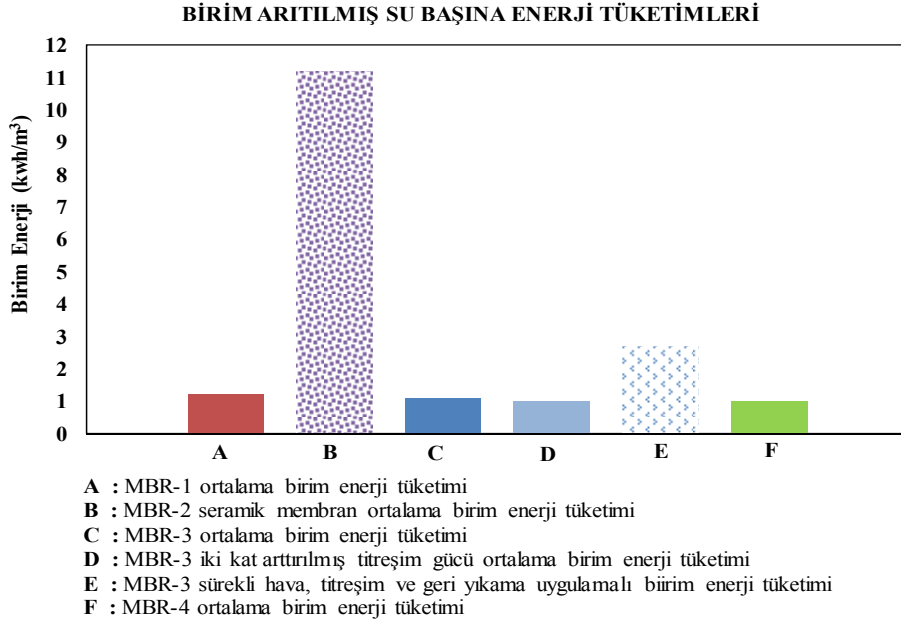
On iki aylık çalışma boyunca MBR-1 sisteminde 38 günlük PAC'sız yapılan çalışmada ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi $1,71 \text{ kwh/m}^3$, 11 aylık PAC'lı çalışma sonucunda $1,23 \text{ kwh/m}^3$, MBR-2 sisteminde 2 aylık seramik membran modülünün kullanıldığı çalışmanın ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi $11,22 \text{ kwh/m}^3$ 'tür. MBR-3 sisteminde PAC'sız ve geri yıkamasız 38 günlük çalışma ortalamasının birim arıtılmış su başına enerji tüketimi $2,74 \text{ kwh/m}^3$, PAC'lı ve geri yıkamasız 40 günlük çalışmanın ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi $1,36 \text{ kwh/m}^3$, PAC'lı, geri yıkamalı 7,5 aylık çalışmanın ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi $1,11 \text{ kwh/m}^3$ ve MBR-4 sisteminde 38 günlük PAC'sız yapılan çalışmada ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi $1,15 \text{ kwh/m}^3$, 11 aylık PAC'lı çalışma sonucunda $0,95 \text{ kwh/m}^3$ birim enerji sarfıyatı görülmektedir. Yukarıda açıklamaları yapılan dört farklı temizlik metodunun birim arıtılmış su başına enerji tüketimi mukayeseleri Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'te gösterilmiştir.



Şekil 4.63 : Birim arıtılmış su başına enerji tüketimleri.

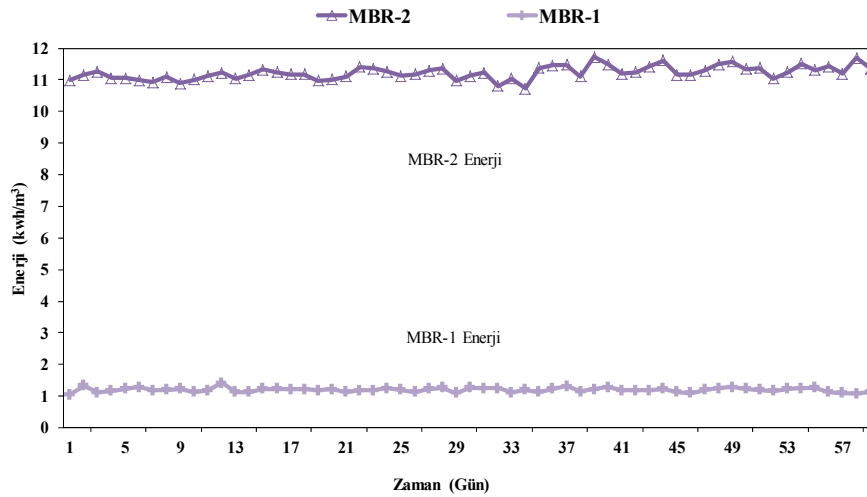
On iki aylık çalışma süresince MBR-1 sistemine göre birim arıtılmış su başına enerji tüketimi mukayesesi yapıldığında, MBR-2 seramik membran modülünün kullanıldığı çalışma döneminde elde edilen birim arıtılmış su başına enerji tüketimi 9.12 kat (%912) daha yüksektir. MBR-3 siteminden elde edilen birim arıtılmış su başına

enerji tüketimi %10,8 daha düşüktür. MBR-4 sisteminden elde edilen birim arıtılmış su başına enerji tüketimi %29 daha düşüktür.



Şekil 4.64 : Birim arıtılmış su başına ortalama enerji tüketimleri.

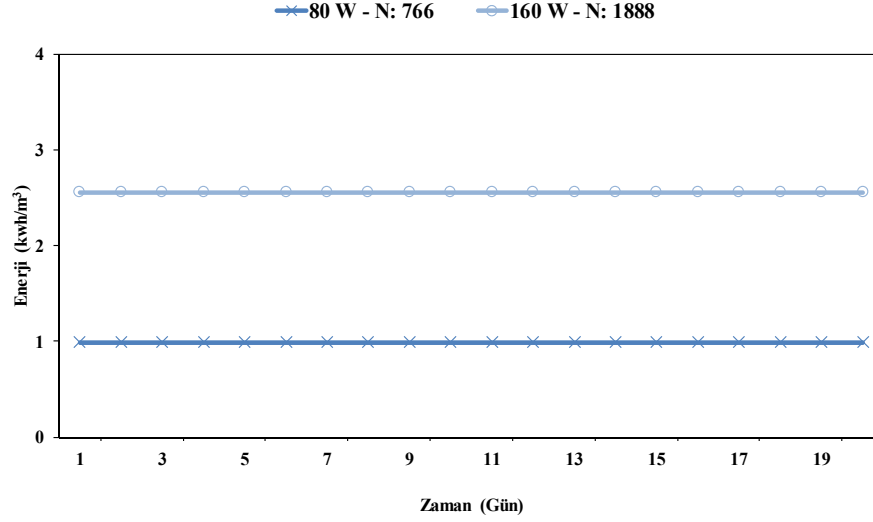
Şekil 4.65'te görüldüğü gibi iki aylık seramik membran modülünün kullanıldığı çalışmanın birim arıtılmış su başına enerji tüketimi MBR-1 sistemi ile kıyaslandığında enerji tüketiminin MBR- 1 sisteminin birim arıtılmış su başına enerji tüketiminden 9.12 kat (%912) daha fazla olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.65 : MBR-2 ve MBR-1 sistemlerinde iki aylık birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma).

İki ay sürdürülen seramik membran modülünün kullanıldığı çalışmada birim arıtılmış su başına enerji tüketimi, MBR-1 sistemi ile mukayesesi Şekil 4.66'da gösterilmiştir.

MBR-3 sisteminde, 4 m³/ saat hava akısı sürekli verilerek 80 Watt ve 160 Watt titreşim gücünde yapılan çalışmaların Şekil 4.66'da birim arıtılmış su başına enerji tüketimi mukayesesi gösterilmiştir.



Şekil 4.66 : MBR-3'te 80 watt ve 160 watt gücünde titreşim motorunun birim arıtılmış su başına enerji tüketimi (100 mg/l PAC ilaveli çalışma.)

Sistemde 80 watt titreşim gücü ile yapılan çalışmada ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi 1,07 kwh/m³, 160 watt titreşim gücünde yapılan çalışmada ortalama birim arıtılmış su başına enerji tüketimi 2,71 kwh/m³ bulunmuştur. MBR-2 sistemi hariç PAC'lı çalışmalarda enerji tüketim değerleri daha önce bu konu üzerinde yapılan çalışmalar ile uyushmaktadır.

4.1.4 MBR modülleri otopsi çalışmaları

Çalışma kapsamında membran tıkanıklık sebeplerinin daha detaylı incelenebilmesi için MBR-1 ve MBR-4 tanklarında yer alan membran modülleri otopsi çalışması yapılabilmesi için MEM-TEK araştırma merkezine gönderilmiştir. Çalışma detayları aşağıda belirtilmiştir.

4.1.4.1 MBR modülleri inceleme

Modül ilk inceleme

Modül görüntüleri Şekil 4.67'de verilmiştir. Modüller üzerinde gözle görülebilir bir hasar mevcut değildir. Dış kısmında modül üniformluğunu bozan problemler ve çatlaklar gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.67 : MBR-1 ve MBR-4 modüllerinin teslim anındaki görüntüleri.

Modüllerin koruyucu kabuklarının açılması ve fiziki inceleme

Modüller üzerinde kesilmesi gereken alanlar belirlenmiş ve çizilmiştir. Modüller üzerindeki koruyucu kaplama spiral ve dekopaj testere yardımı ile her iki tarafından boydan boya kesilmiştir. Membran modüllerinin giriş ve çıkışları incelendiğinde herhangi bir problem ile karşılaşılmamıştır. Modüller dışarıdan oldukça üniform ve problemsiz durmaktadır. Kesme işlemine ait modüllerin koruyucu kabuklarının açılması görüntüleri Şekil 4.68 ve şekil 4.69’da yer almaktadır.



Şekil 4.68 : MBR-1 modülün koruyucu kabuklarının açılması görüntüleri.

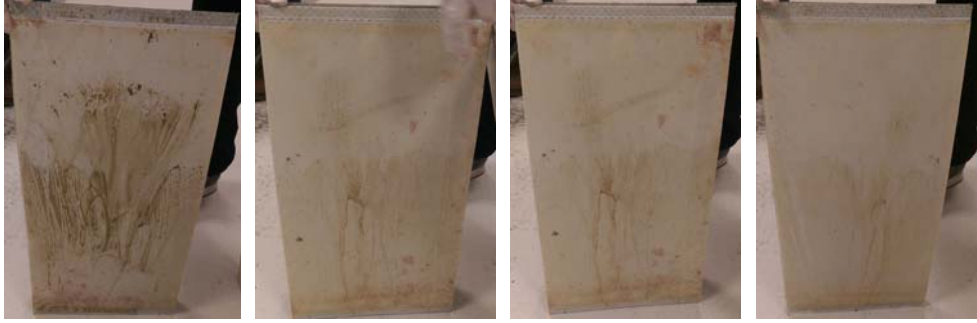


Şekil 4.69 : MBR-4 modülün koruyucu kabuklarının açılması görüntüleri.

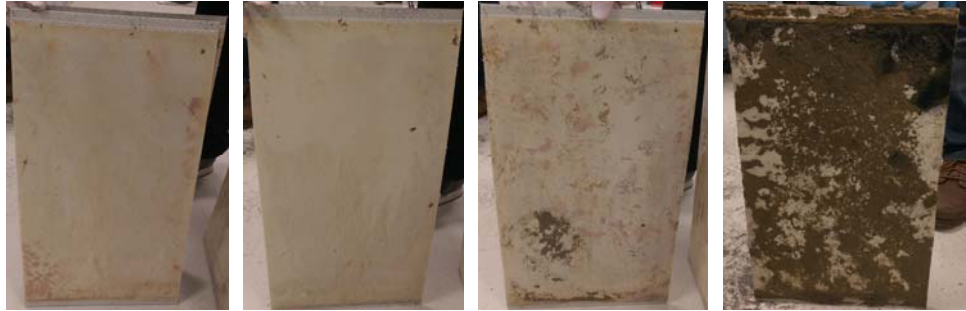
Koruyucu modül malzemesi bir kabuk gibi düzgün bir biçimde çıkarılmıştır. Kesme işlemleri esnasında membrana minimum zarar verilmeye çalışılmıştır. Kesme işlemi esnasında oluşan tozların membrana zarar vermemesi, analiz sonuçlarını etkilememesi için oluşan tozlar vakum ile anında ortamdan uzaklaştırılmıştır.



Şekil 4.70 : MBR-1 modül levha görüntüleri-1.



Şekil 4.71 : MBR-1 modül levha görüntüleri-2.



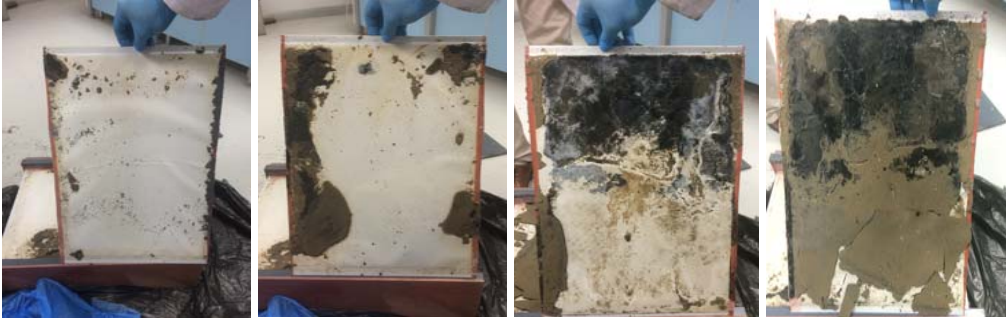
Şekil 4.72 : MBR-1 modül levha görüntüleri-3.



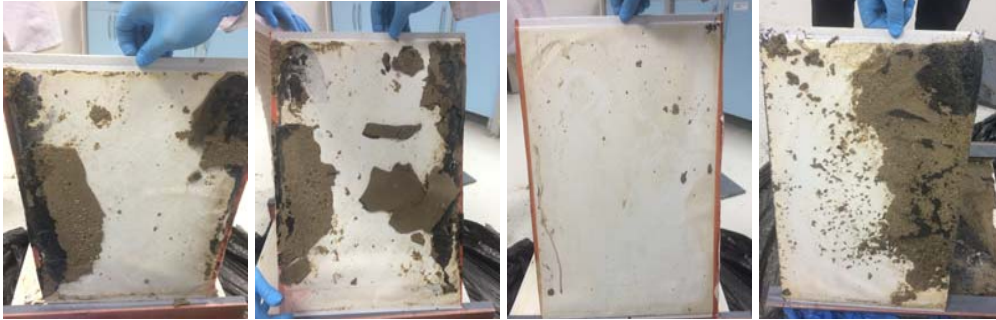
Şekil 4.73 : MBR-1 modül levha görüntüleri-4.



Şekil 4.74 : MBR-1 modül levha görüntüleri-5.



Şekil 4.75 : MBR-4 modül levha görüntüleri-1.



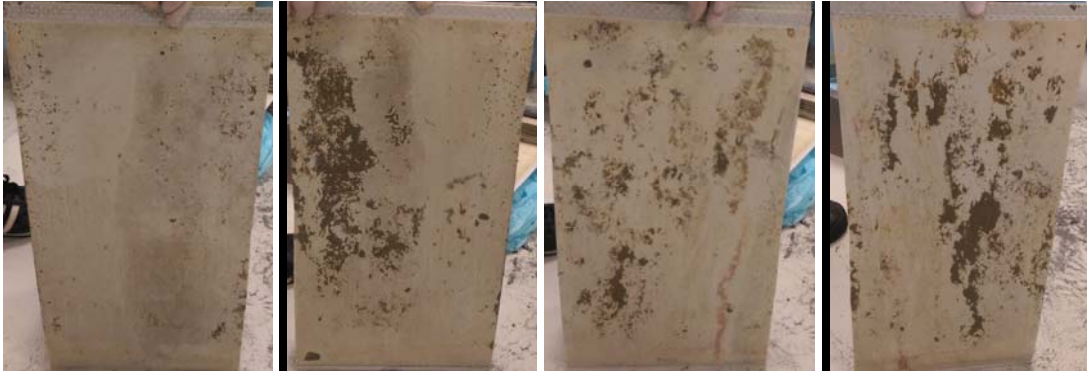
Şekil 4.76 : MBR-4 modül levha görüntüleri-2.



Şekil 4.77 : MBR-4 modül levha görüntüleri-3.



Şekil 4.78 : MBR-4 modül levha görüntüleri-4.



Şekil 4.79 : MBR-4 modül levha görüntüleri-5.

Düz plaka tip membranların yüzeylerine ait görüntüler Şekil 4.70 ve Şekil 4.79 arasında verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde membran yüzeylerinin kirletici kaplı olduğu görülmektedir. Bazı membran yüzeylerinde çok fazla kirlilik gözlemlenmezken bazı membran yüzeylerinde yoğun bir kirletici tabaka olduğu görülmektedir. Bazı bölgelerdeki bu kirletici tabakanın nedeni plakalar arasında yeterince karışım olmamasıdır. Bu tip düz plaka tip MBR modüllerinde hava kabarcıkları alttan verilir. Verilen hava kabarcıkları yukarı doğru çıkarken her iki membran yüzeyinin arasında kalan boşluktan geçerek modülün üst kısmında çıkar. Modül içerisinden geçerken türbülans yaratarak membran yüzeylerini sıyrır ve kirlenmeyi önler. Burada havalandırma veya havalandırmanın verimli kullanılması ile ilgili bir problem olduğu söylenebilir. Bazı membran yüzeyleri hava sıyırmasından yeterince faydalanamamış ve kirletici tabaka ile kaplanmıştır. Bu gibi durumlarda membran filtrasyon performansında çok büyük düşüşler görülmektedir.

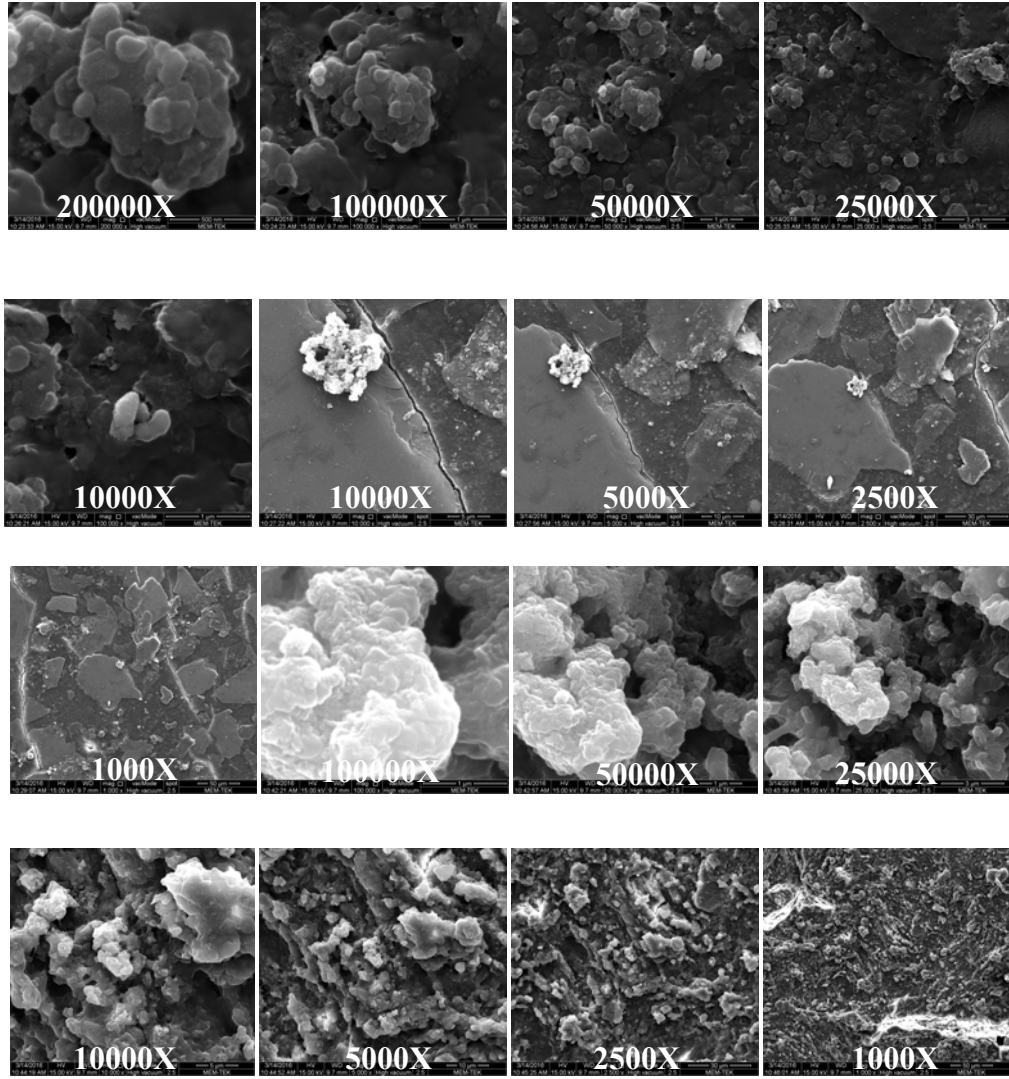
Membranlarda biyolojik tıkanmayı etkileyen belli başlı diğer faktörler aşağıda belirtilmiştir. Eğer havalandırma sisteminin yeterli olduğu düşünülüyorsa aşağıdaki bilgiler ışığında sonuçlar tekrar irdelenmelidir.

- Membran özellikleri: gözenek çapı, hidrofilikliği, gözenek çapı dağılımı ve membran malzemesi
- Çözelti özellikleri: katı (partikül) konsantrasyonu, partikül boyutu ve bileşenin doğası
- İşletme koşulları: pH, sıcaklık, debi ve basınç

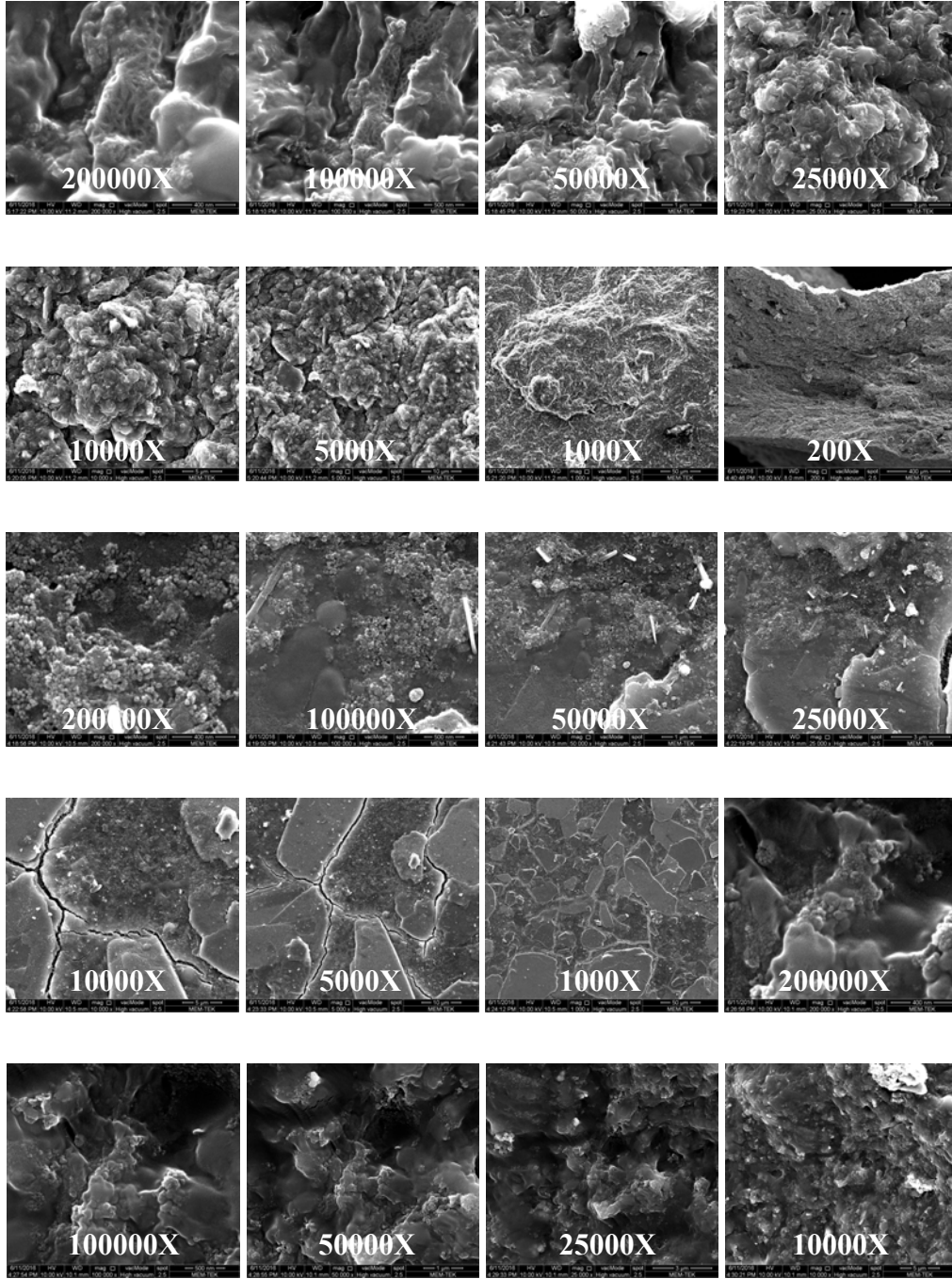
4.1.4.2 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi sonuçları

Işık mikroskobunun yeterli büyütmeyi sağlamadığı durumlarda, daha yüksek büyütme için taramalı elektron mikroskobu kullanılmaktadır. Membran ve reçine yüzeyinde daha detaylı bir inceleme yapılabilmesi için elektron mikroskobu ile numune yüzeyleri incelenmiştir. İnceleme için membran üzerinden bir parça kesilip Au-Pd kaplanarak elektron mikroskobu için hazır hale getirilmiştir.

Membran yüzeyinden 1000X, 5000X, 10000X, 25000X, 50000X, 100000X ve 200000X büyütme değerlerinde taramalı elektron mikroskobu görüntüleri elde edilmiştir. MBR-1 membran yüzeyine ait görüntüler Şekil.4.80 ve MBR-4 membran yüzeyine ait görüntüler ise, Şekil 4.81’de yer almaktadır. Membran yüzey görüntüleri incelendiğinde yüzeyde organik ve inorganik kirliliğin beraber olduğu görülmektedir. Yüzeyde inorganik kirlilik açık bir şekilde mineral kristalleri ile görülmektedir. Ayrıca bazı bölgelerde biyolojik bulgular olarak bakteriler ve biyofilm tabakası da görülmektedir.



Şekil 4.80 : MBR-1 membran yüzeyinin 200000X, 100000X, 50000X, 25000X, 10000X, 5000X, 2500X ve 1000X büyütülmüş SEM görüntüleri.



Şekil 4.81 : MBR-4 membran yüzeyinin 200000X, 100000X, 50000X, 25000X, 10000X, 5000X, 2500X ve 1000X büyütülmüş SEM görüntüleri.

4.1.4.3 Enerji dağılımlı x-ışınları spektrofotometrisi analizi (EDS)

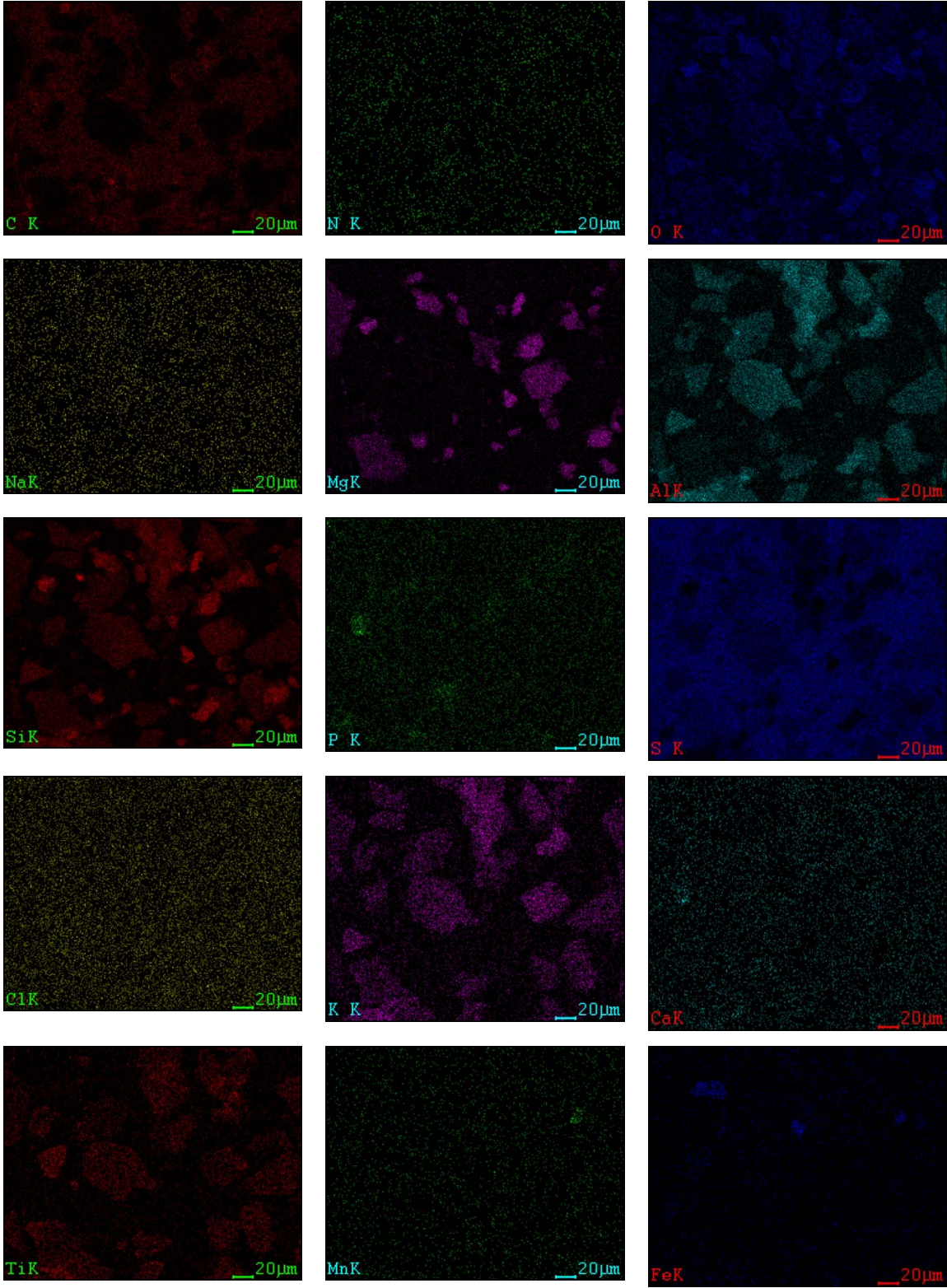
Alınan SEM numuneleri yüzeylerinde EDS analizi ile madde tayini yapılmıştır. Hem EDS spektrumu alınmış hem de element haritalaması yapılmıştır. Membran üzerinden 10000X ve 1000X büyütme ile genel tarama yapılmıştır ve MBR-1 modülü için görüntüler Şekil 4.82 ile Şekil 4.83 arasında, MBR-4 modülü için Şekil 4.84 ile Şekil 4.85 arasında verilmiştir. Her bir şeklin sağ alt tarafında, yapılan analiz sonucu bulunan elementlerin kendi içerilerindeki oranlarını gösteren tablo

verilmiştir. Bu tabloda wt% ağırlıkça oranı, at% atom sayısı olarak oranı göstermektedir. MBR-1 modülü için en yüksek oran karbon maddesinde çıkmıştır ancak karbon sinyali membran yapısından da gelebilmektedir ve tüm oran sadece kirliliğe ait değildir.

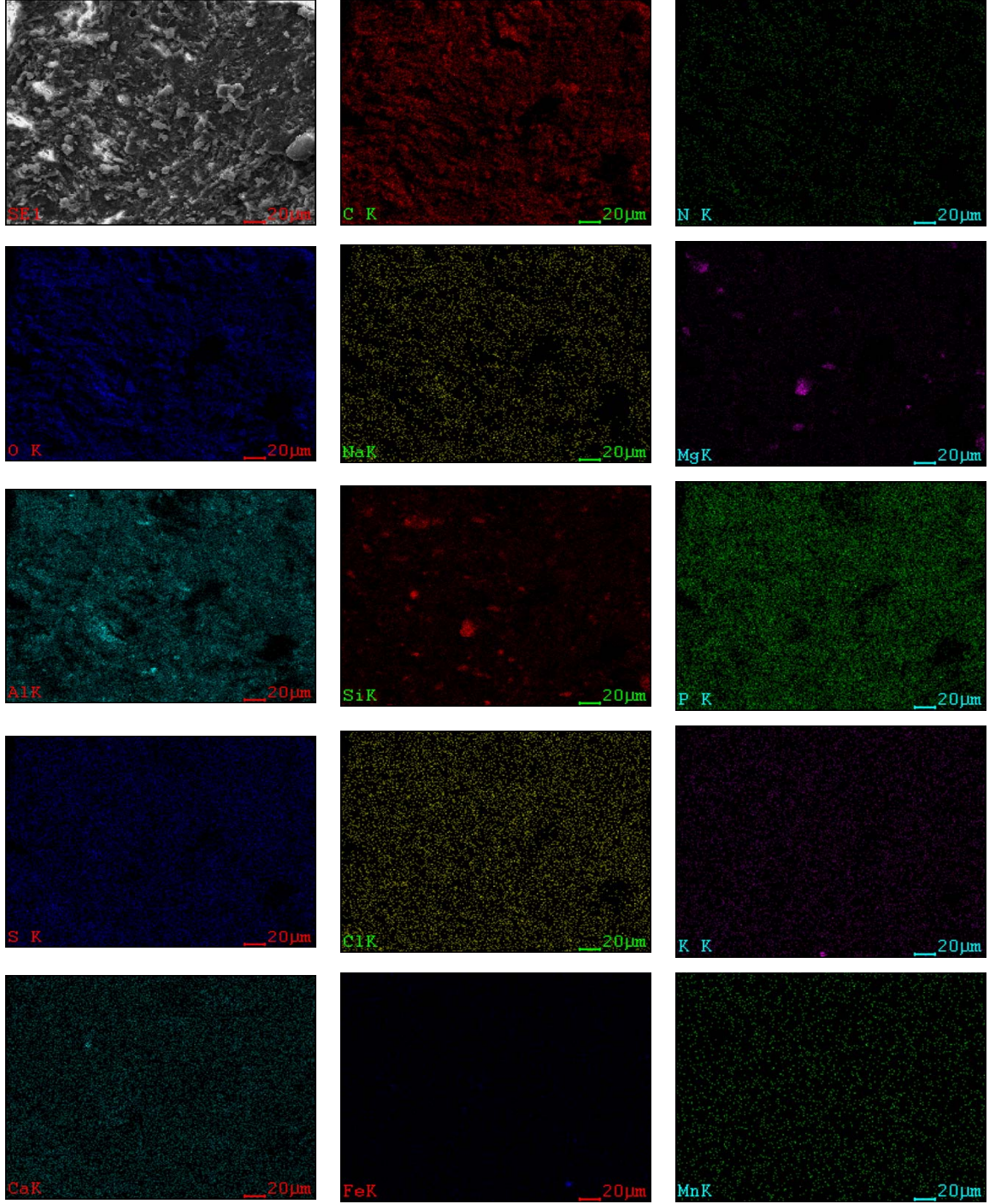
Yapılan analiz sonucunda bu durum göz önüne alındığında MBR-1 membran modülü üzerinde bulunan ağırlıklı kirleticilerin karbonlu maddeler, alüminyum, fosfor ve silisyum çökelekleri oldukları görülecektir. Az miktarda da kalsiyum, potasyum, sodyum klorür ve titanyum çökelekleri mevcuttur. MBR-1 membran üzerine yapılan haritalandırma ise Şekil 4.82’de verilmiştir. C, N, Si, O, Al, P, S, Ca, Ti ve Fe elementleri görülmektedir. Bu durum göz önüne alındığında ağırlıklı kirleticinin alüminyum olduğu ve ikincil kirleticilerin silisyum, kükürt, kalsiyum, demir, fosfor ve potasyum oldukları görülmektedir. Şekil 4.86’da magnezyum, alüminyum, silisyum, titanyum ve potasyum elementlerinin aynı bölgelerde iç içe bulunduğu görülmektedir.

MBR-4 membran modülü üzerine yapılan haritalandırma ise şekil 4.83’te verilmiştir. Şekil 4.87’te membran yüzeyindeki metaller incelendiğinde C, N, Na, Si, O, Al, P, S, Ca, Ti, Fe ve Mg elementleri görülmektedir. Bu durum göz önüne alındığında membran yüzeyinde ağırlıklı kirleticinin kükürt, silisyum, alüminyum ve magnezyum olduğu ve ikincil kirleticilerin sodyum, klor, potasyum, kalsiyum, demir, fosfor ve titanyum oldukları görülmektedir. MBR-1 ve MBR-4 modüllerinin analizleri karşılaştırıldığında; MBR-4’te MBR-1’den farklı olarak % 0,25’lik sodyum hipoklorit çözeltisi ile geri yıkama yapılmıştır. Bu sebepten MBR-4 modülünün analizinde MBR-1’den farklı olarak klor gözlenmiştir. MBR-4’te ayrıca C, N, Al, P ve Ca miktarları azalmıştır.

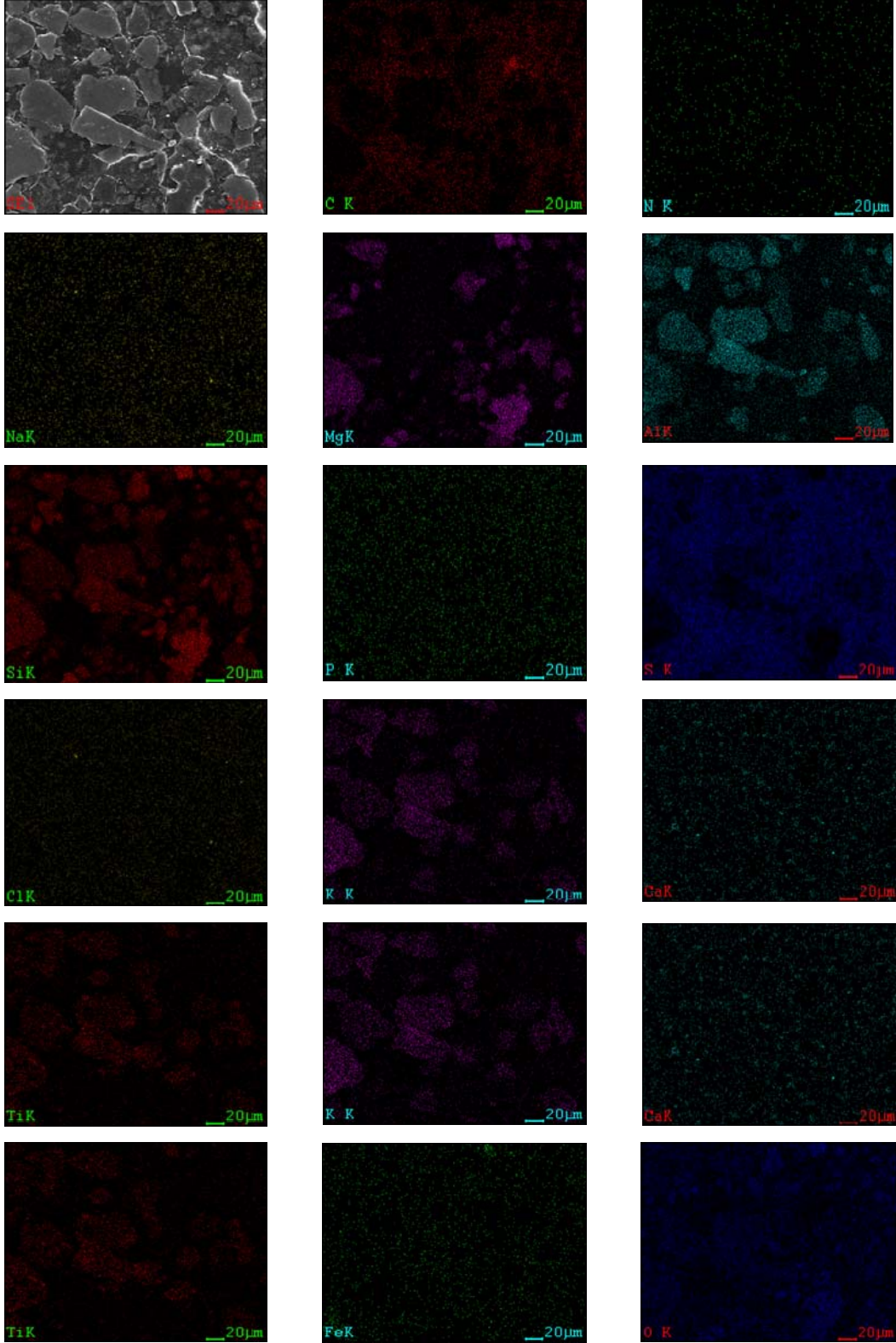
Burada şu husus unutulmamalıdır ki, otopsi işlemi sadece kirletici maddeleri ve gözlemlenebilen problemleri verir. Yukarıdaki tahminlerin daha doğru bir sonuca dönüştürülmesi için giriş suyu analizleri ve çeşitli testler yapılmalıdır.



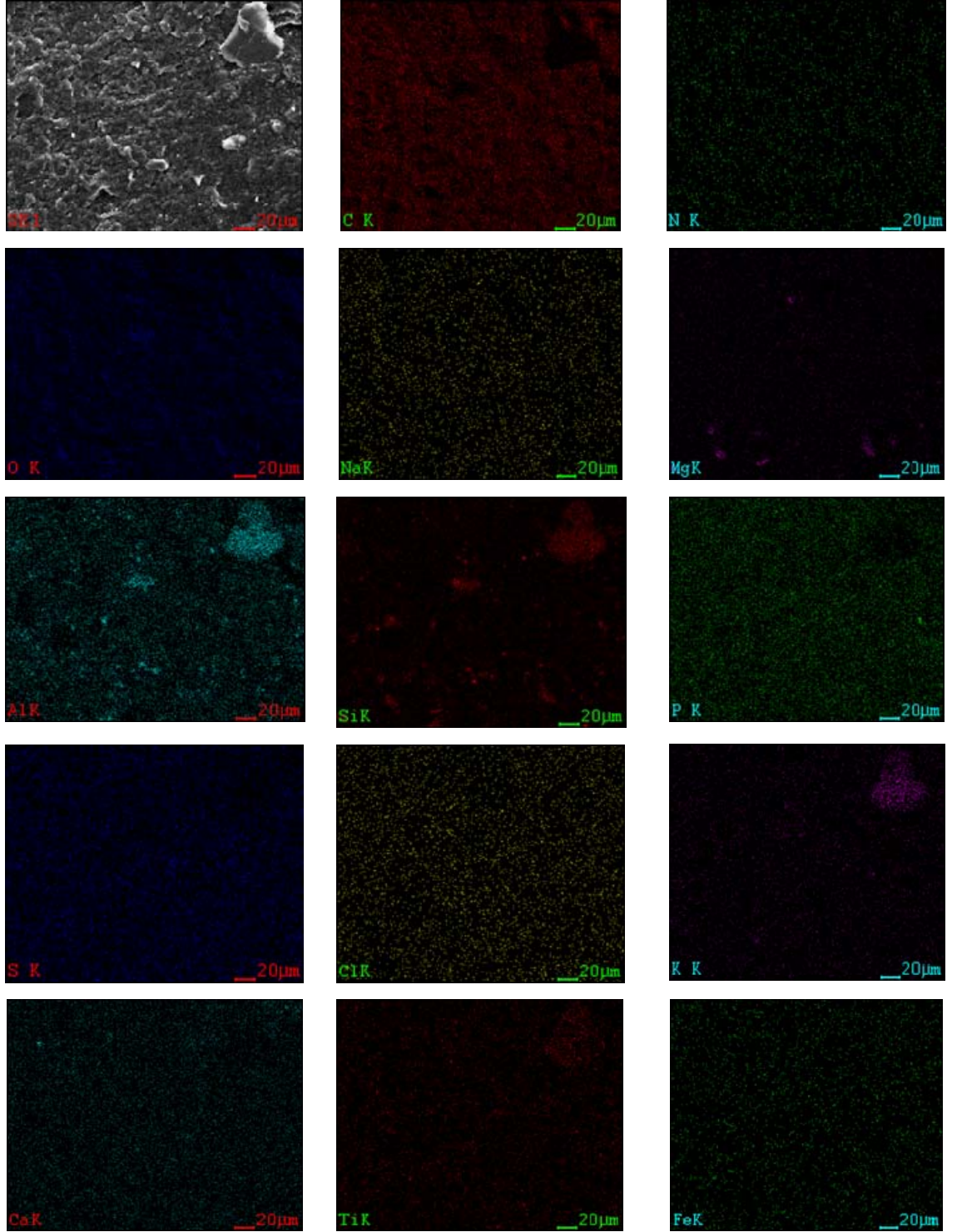
Şekil 4.82 : MBR-1 membran yüzeyinden 10000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları.



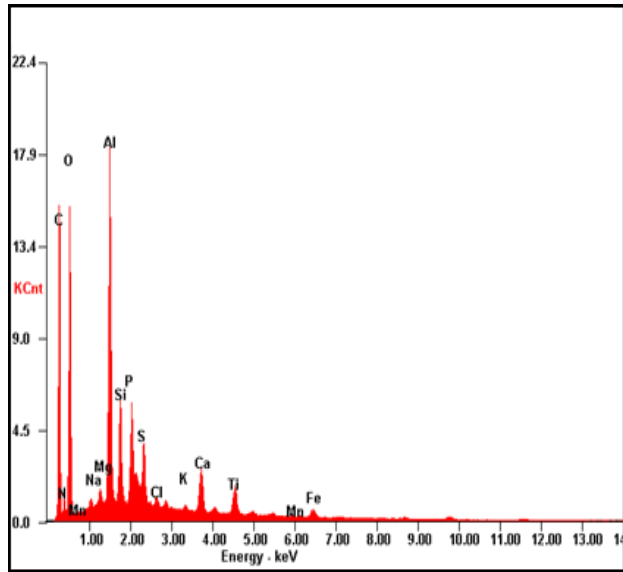
Şekil 4.83 : MBR-1 membran yüzeyinden 1000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları.



Şekil 4.84 : MBR-4 membran yüzeyinden 10000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları.

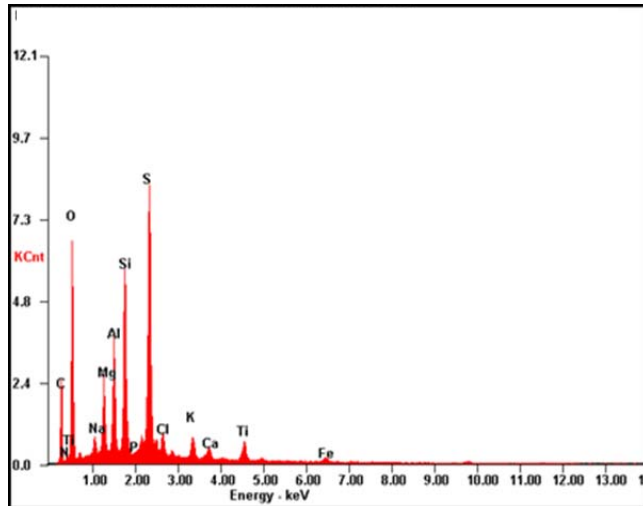


Şekil 4.85 : MBR-4 membran kek tabakasından 10000X büyütmeyle alınmış haritalanmaya ait EDS sonuçları.



Element	Wt%	At%
CK	39.25	51.00
NK	04.99	05.56
OK	32.21	31.42
NaK	00.41	00.28
MgK	00.56	00.36
AlK	09.28	05.37
SiK	03 08	01.71
PK	02.99	01.51
SK	01.93	00.94
ClK	00.35	00.15
KK	00.15	00.06
CaK	01.92	00.75
TiK	01.75	00.57
MnK	00.09	00.03
FeK	01.04	00.29
Matrix	Correction	ZAF

Şekil 4.86 : MBR-1 membran yüzeyinden 1000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları.



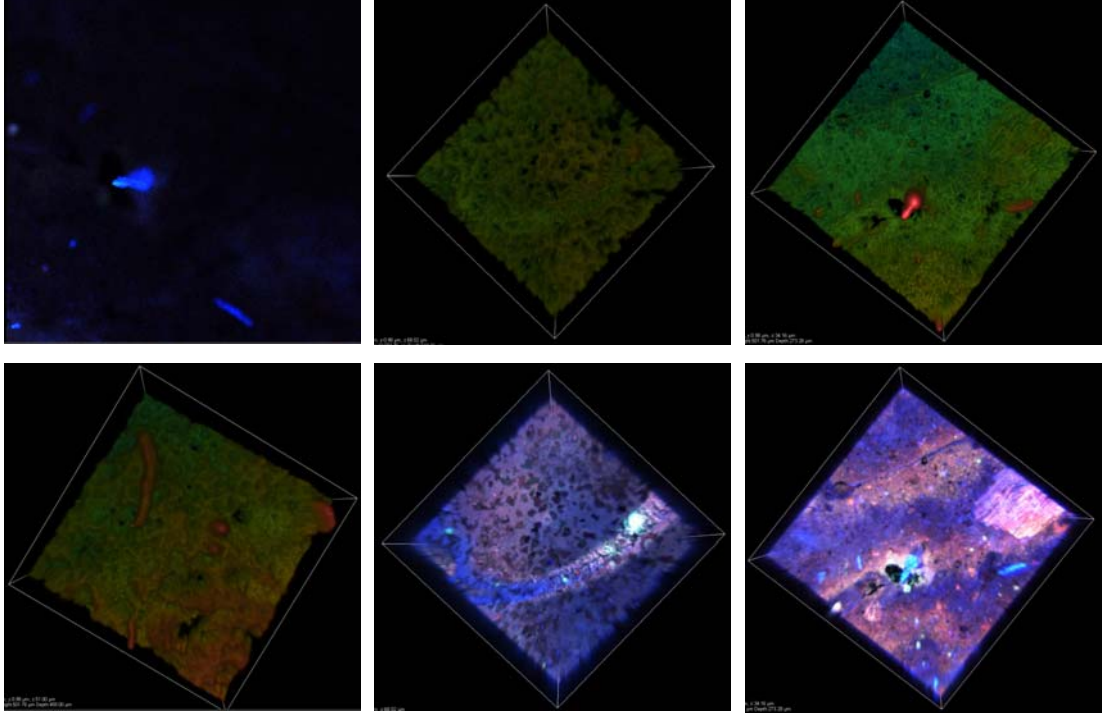
Element	Wt%	At%
CK	27.23	40.00
NK	00.00	00.00
OK	33.24	36.80
NaK	00.21	00.94
MgK	03.74	02.73
AlK	05.08	03.33
SiK	08.77	05.53
PK	00.19	00.11
SK	13.66	07.54
ClK	01.53	00.77
KK	01.47	00.67
CaK	00.85	00.38
TiK	01.97	00.73
FeK	01.06	00.34
Matrix	Correction	ZAF

Şekil 4.87 : MBR-4 membran yüzeyinden 1000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları.

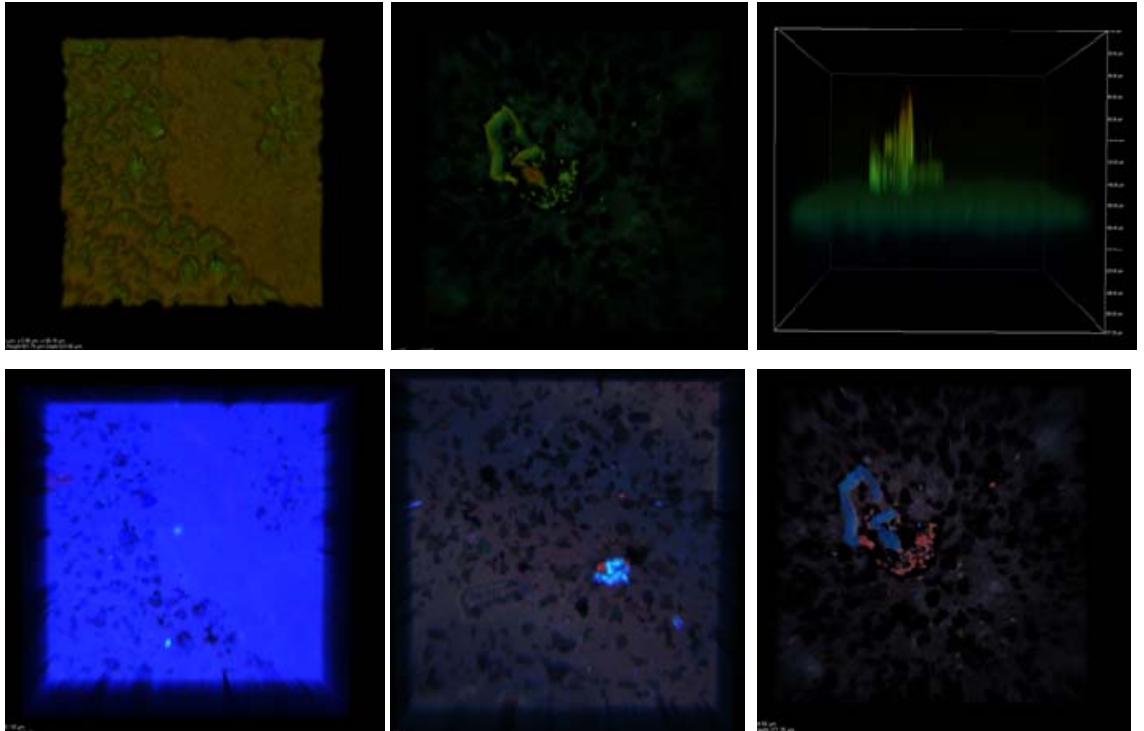
4.1.4.4 Konfokal mikroskop analizi

Membran yüzeyindeki biyokirletici tabakanın varlığının anlaşılması ve kalınlığının belirlenmesi için konfokal mikroskop kullanılmıştır. Konfokal mikroskop ile MBR-1 modülü için alınan görüntü Şekil 4.88’de ve MBR-4 modülü için alınan görüntü Şekil 4.89’da verilmiştir. Yapılan boyamalar ve analizler sonucunda membran yüzeyinde biyofilm olduğu tespit edilmiştir. Membran üzerinde ölü hücreler olduğu düşünülmektedir. Görüntülerdeki kırmızı bölgeler ölü bakterilerin ve hücrelerin varlığını belirtmektedir veya boya ile bir girişim söz konusu olabilir. Bu sonuç SEM

ve EDS ile beraber yorumlandığında membran üzerinde mikroorganizma varlığından bahsedilebilir.



Şekil 4.88 : MBR-1 membran yüzeyi konfokal mikroskop görüntüsü.



Şekil 4.89 : MBR-4 membran yüzeyi konfokal mikroskop görüntüsü.

4.1.4.5 ICP analizi

Materyal ve metot kısmında bahsedildiği gibi 4x4 cm boyutlarında MBR-1 ve MBR-4 için membran alınmış; asidik ve bazik çözelti içerisine atılarak üzerindeki kirleticiler ekstrakte edilerek kirleticilere dair fikir elde edilmeye çalışılmıştır. Çizelge 4.1’de ICP sonuçları verilmiştir. ICP sonuçlarına göre; MBR-1 için en baskın kirletici kalsiyum çıkmıştır. Bu maddeler asidik çözelti içerisinde daha çok görülmüştür. İnorganik maddelerin kimyasal yıkama işlemleri de bu sebeple asidik çözeltilerle yapılmaktadır. Ancak bazı maddeler tam olarak ekstrakte olamayıp veya çözünemeyip partiküler formda kalarak 0,45 µm filtrede elimine olmuş olabilir. Özellikle bu durum reçine üzerinden ekstrakte edilen maddelerde görülmektedir. EDS sonucu ağırlıklı element demir çıkmıştır ancak demir reçine üzerinde görülememiştir. Büyük ihtimal demir iyonik forma geçirilememiştir veya oksit çökelekleri reçine yüzeyinde mevcuttur. Yine de ağırlıklı kirleticilerin anlaşılması ve EDS sonuçlarının doğrulanması açısından analiz sonuçları faydalı olmuştur.

ICP sonuçlarına göre; MBR-4 için en baskın kirletici demir ve kalsiyum çıkmıştır. Bu maddeler asidik çözelti içerisinde daha çok görülmüştür. İnorganik maddelerin kimyasal yıkama işlemleri de bu sebeple asidik çözeltilerle yapılmaktadır. Ancak bazı maddeler tam olarak ekstrakte olamayıp veya çözünemeyip partiküler formda kalarak 0,45 µm filtrede elimine olmuş olabilir. Özellikle bu durum reçine üzerinden ekstrakte edilen maddelerde görülmektedir. ICP analizleri sonucunda Fe, Cr, Ca, Al, Cd, Na ve Mg ağır metalleri çizelge 4.1’de belirtilen değerlerde ölçülmüştür.

Çizelge 4.1 : Ekstraksiyon sonucu MBR-1 ve MBR-4 membran yüzeylerinden elde edilen kirlilik değerleri.

	Membran (mg/m ²)			
	NaOH		HNO ₃	
	MBR-1	MBR-4	MBR-1	MBR-4
Cu	142	-	n.d.	-
Ni	n.d.	-	n.d.	-
Zn	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe	n.d.	646	n.d.	2528
Cr	n.d.	465	2.812	512.5
S	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ca	145	1105	16.937	2750
Sr	n.d.	-	n.d.	-
Al	-	6247	-	3640
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mn	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mg	-	n.d.	-	180
Na	n.d.	4574	403.5	15475

*n.d.: not detected (tespit edilemedi)

4.3 MBR İle Arıtılmış Su Kalitesi

Diğer bölümlerde detaylı bir şekilde bahsedildiği gibi on iki aylık pilot tesis çalışmasında hidrolik bekletme süresi 12 saat, çamur yaşı 22 gün, MLSS konsantrasyonu 12.000 mg/l, MLVSS konsantrasyonu 10.500mg/l, geri devir oranı 1:3 koşulları sağlanmıştır. Çalışmanın ilk 38 gününde PAC'sız çalıştırılmıştır. Çalışmanın geri kalan kısmında 100 mg/l PAC 17 (Poli Alüminyum Klorür) kullanılmıştır. MBR pilot tesiste, giriş ve çıkış suyu kalitesi on iki ay izlenmiştir. On iki aylık membran pilot tesis çalışması boyunca MBR giriş ve çıkış suyu ölçümleri yapılmış, Çizelge 4.2'de çıkış suyu kalite değerleri özetlenmiştir.

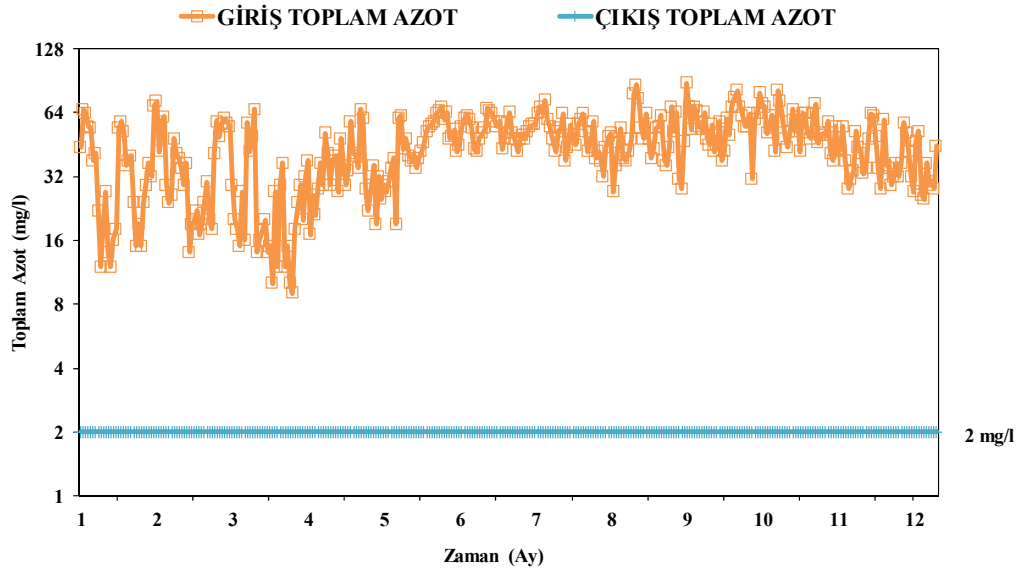
Çizelge 4.2 : MBR pilot tesis çalışma süresince elde edilen çıkış suyu kalite değerleri.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
KOİ (mg/l)	23	56	34
BOİ (mg/l)	1	6	3
AKM (mg/l)	<2	<2	<2
T.N (mg/l)	<2	<2	<2
T.P (mg/l)	<0,2	<0,20	<0,2
iletkenlik (µs/cm)	1024	2910	1982
Yağ&gres (mg/l)	<10	<10	<10
T.Cr (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02
Cr (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02
Pb (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2
T.Cn (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Cd (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Fe (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1
Fl (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2
Cu (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2
Zn (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2
Al (mg/l)	0,05	0,14	0,10
Ni (mg/l)	0,06	0,21	0,13
Cl (mg/l)	-	-	<0,03
Mn (mg/l)	-	-	0,18
Sıcaklık (°c)	8,9	27,5	19,7
p H	7	8	7,5

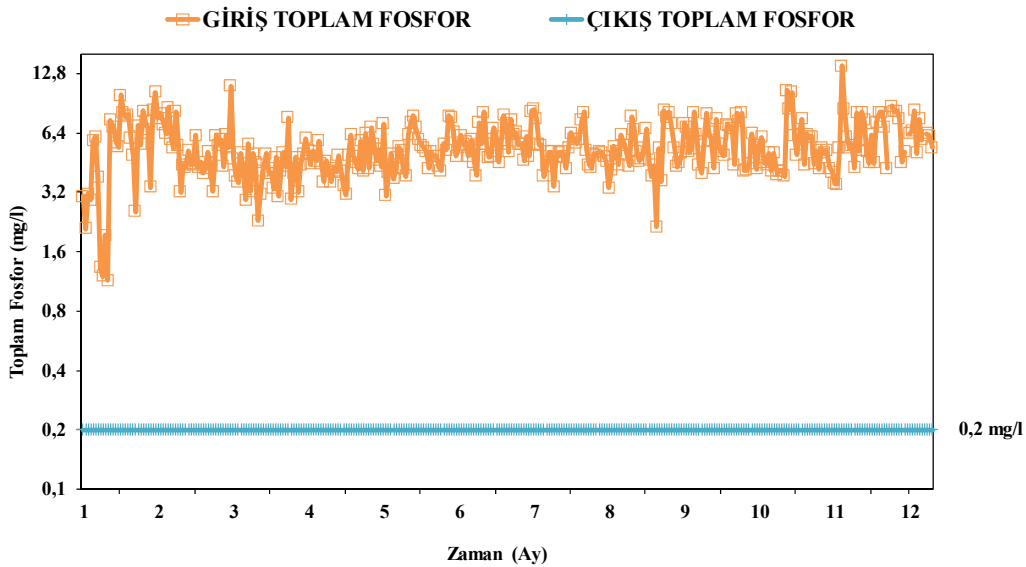
* Yapılan çalışmada, reaktör haznesinde denitrifikasyon ve anaerobik fosfor giderimi uygulanmıştır.

Oksijen değeri reaktörde ortalama 0,5 mg/l tutularak ortalama %95,5 toplam azot giderimi ve %96,2 toplam fosfor giderimi sağlanmıştır.

Çalışma süresince Şekil 4.90'da membran pilot tesis giriş ve çıkış suyu toplam azot değerleri ve Şekil 4.91'de membran pilot tesis giriş ve çıkış suyu toplam fosfor değerleri gösterilmiştir.

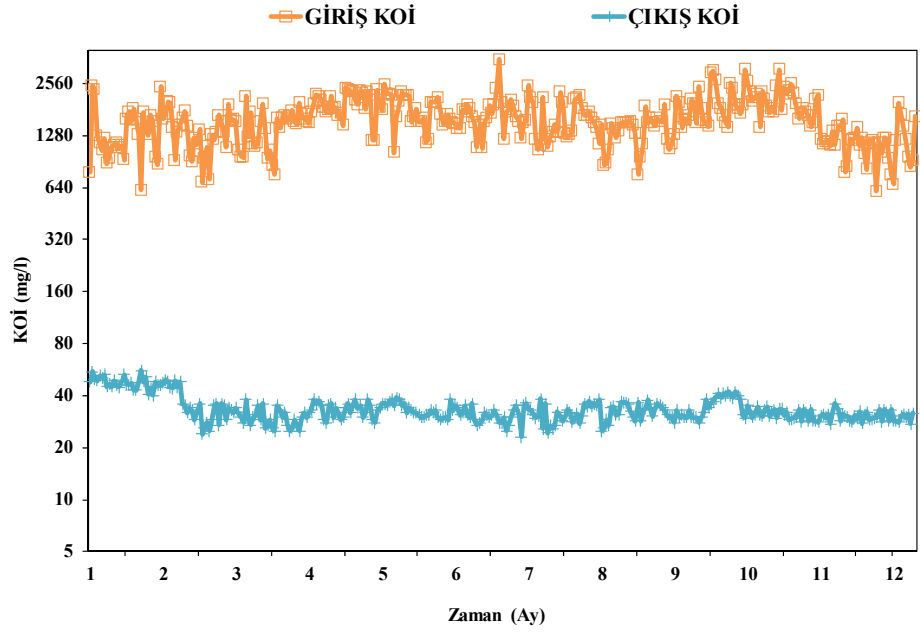


Şekil 4.90 : MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık toplam azot değerleri (T.N) (SRT: 22 gün).



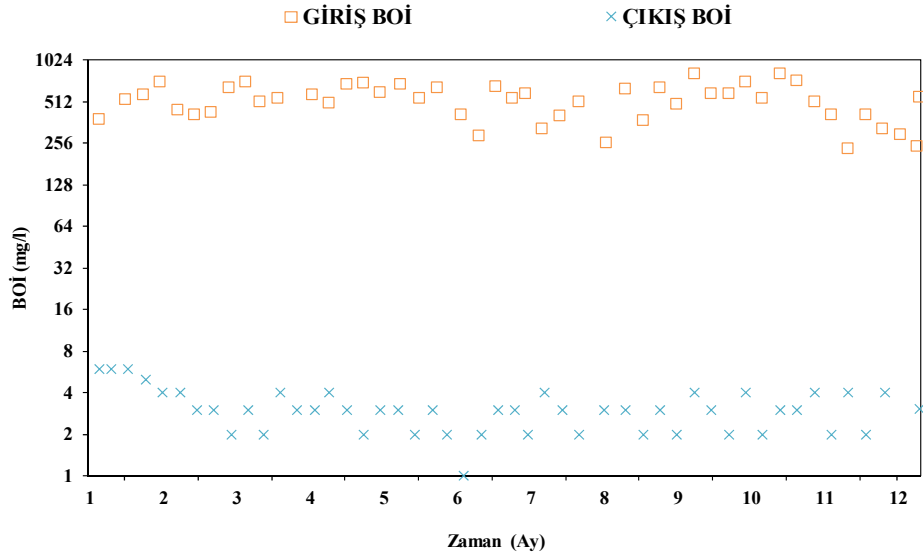
Şekil 4.91 : MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık toplam fosfor değerleri (T.P) (SRT: 22 gün).

MBR pilot tesis çalışması boyunca, giriş ve çıkış suyu yıllık kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri, giriş ve çıkış suyu yıllık biyolojik oksijen ihtiyacı değerleri (BOİ), giriş ve çıkış suyu yıllık askıda katı madde değerleri (AKM), giriş ve çıkış suyu yıllık elektriksel iletkenlik değerleri, giriş ve çıkış suyu yıllık yağ ve gres değerleri sırasıyla Şekil 4.92, Şekil 4.93, Şekil 4.94, Şekil 4.95 ve Şekil 4.96'da verilmiştir:

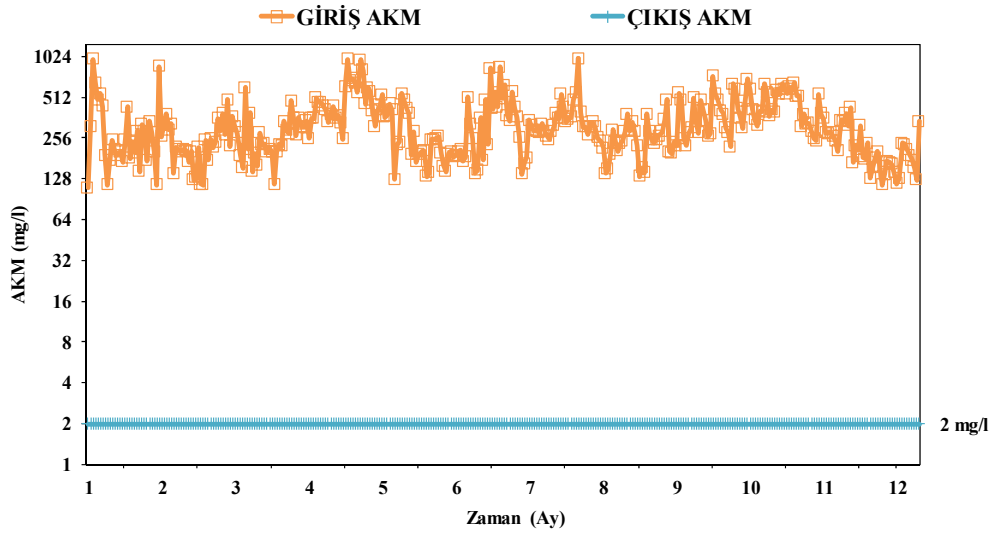


Şekil 4.92 : MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri (KOİ) (SRT: 22 gün).

Sistemde çalışma süresince ortalama %97,6 KOİ giderimi olduğu görülmektedir.

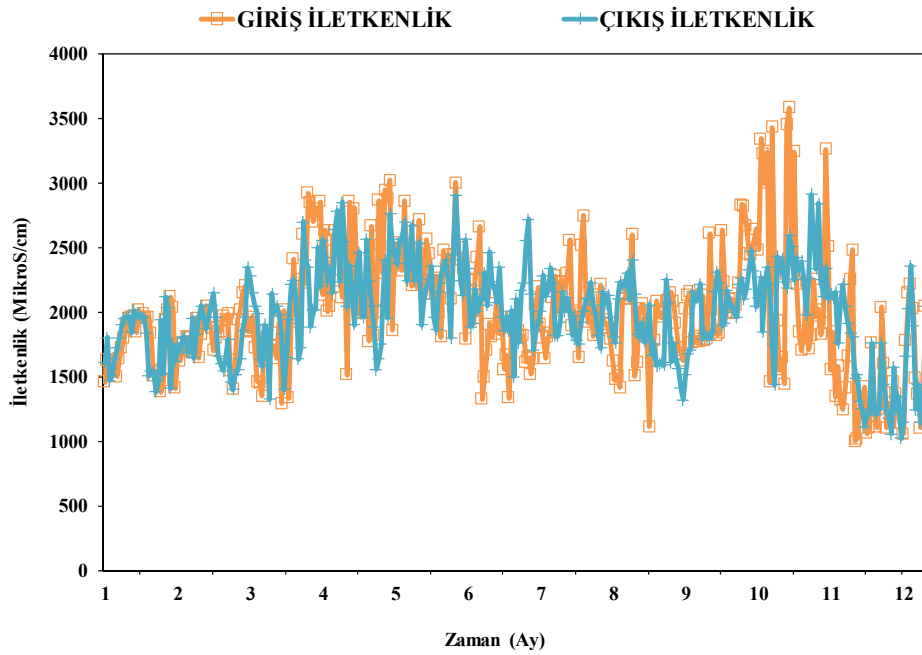


Şekil 4.93 : MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık biyolojik oksijen ihtiyacı değerleri (BOİ) (SRT: 22 gün).



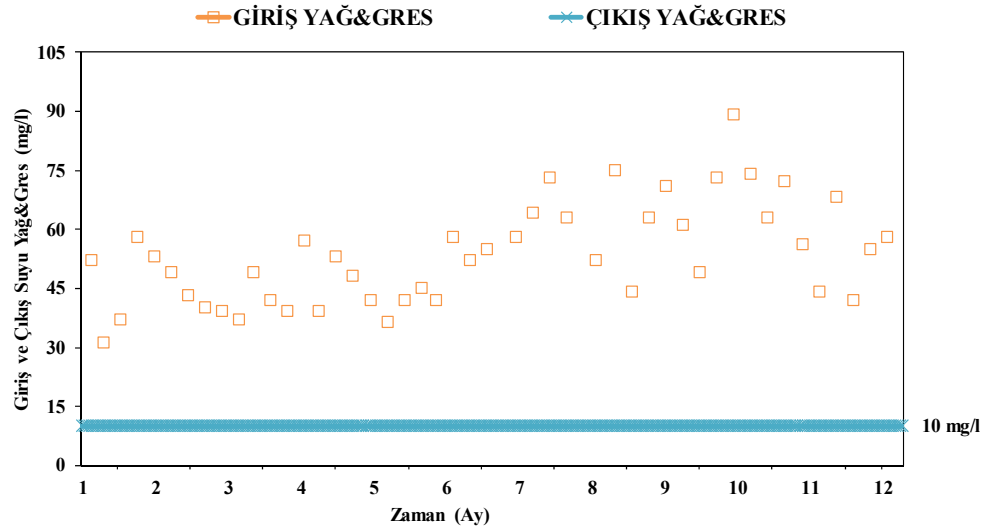
Şekil 4.94 : MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık askıda katı madde değerleri (AKM) (SRT: 22 gün).

Çalışma süresince sistemde %99,4 AKM giderimi sağlanmıştır.



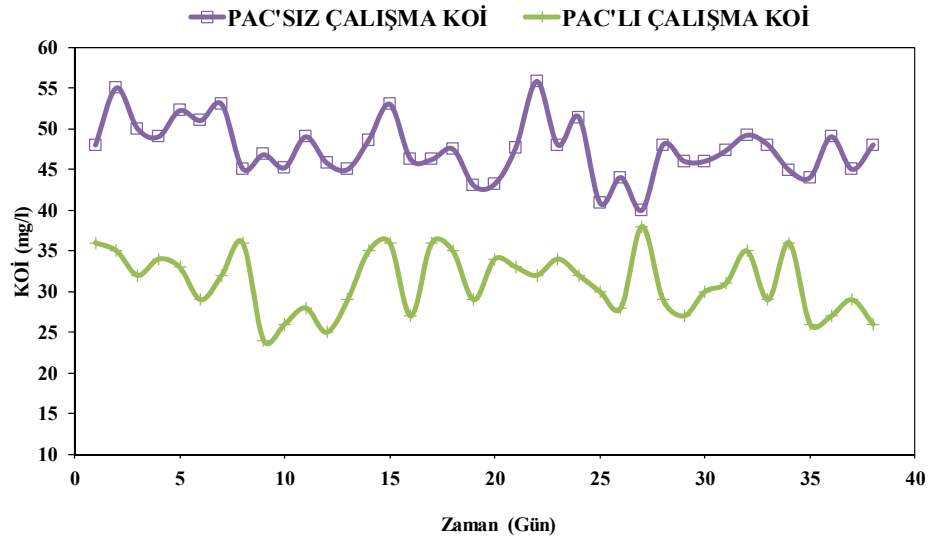
Şekil 4.95 : MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık elektriksel iletkenlik değerleri (SRT: 22 gün).

Şekil 4.95'te görüldüğü gibi membran uygulamasında iletkenlik değerlerinde bir değişim gözlenmemiştir. Su geri kazanımı düşünüldüğünde birinci kalite su iletkenlik değerinin 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerine indirgenmesi için ters osmoz sistemi eklenmelidir.



Şekil 4.96 : MBR pilot tesis giriş ve çıkış suyu yıllık yağ ve gres değerleri (SRT: 22 gün).

MBR sisteminde 38 günlük PAC'sız ve 38 günlük PAC'lı çalışmada çıkış suyu kimyasal oksijen ihtiyacı mukayesesi yapılmıştır. Şekil 4.97'de MBR pilot tesis PAC'sız ve PAC'lı çalışma çıkış suyu kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.97 : MBR pilot tesis PAC'sız ve PAC'lı çalışma çıkış suyu kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri (KOİ).

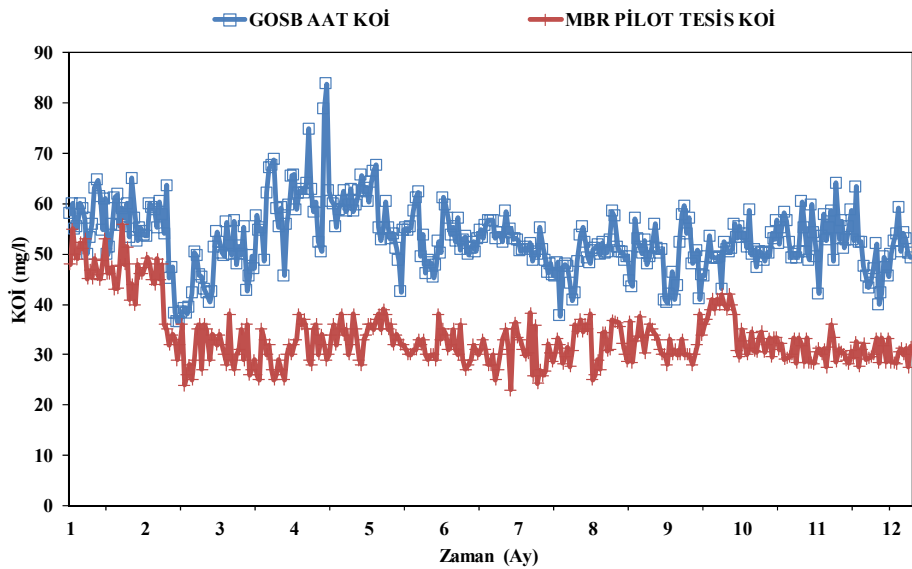
Şekil 4.97'de görüldüğü gibi 100 mg/l PAC 17 kullanımında KOİ değeri PAC'sız yapılan çalışmaya göre ortalama %53 daha düşük bulunmuştur.

4.3.1 GOSB merkezi atıksu arıtma tesisi ve MBR pilot tesis çıkış suyu karakterizasyonlarının mukayesesi

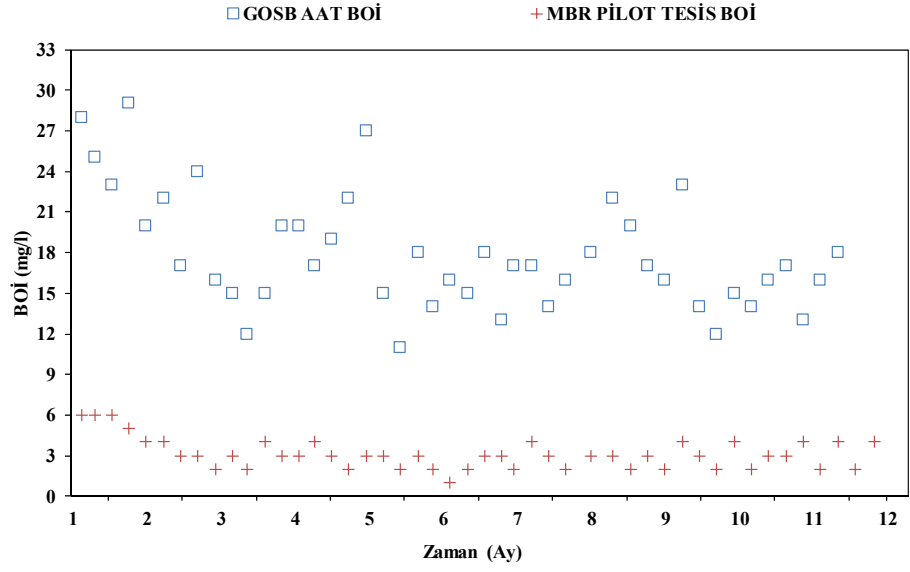
MBR sisteminde on iki aylık çalışma boyunca GOSB atıksu arıtma tesisi laboratuvarında MBR ve GOSB atıksu arıtma tesisi çıkış suyunda, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyolojik oksijen ihtiyacı, askıda katı madde, toplam azot, toplam fosfor , alüminyum, nikel, bakiye klor ve mangan ölçümleri yapılmıştır. MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık KOİ, BOİ, AKM, azot ve fosfor değerleri sırasıyla Şekil 4.98, Şekil 4.99, Şekil 4.100, Şekil 4.101 ve Şekil 4.102’de verilmiştir. MBR pilot tesis ve GOSB atıksu arıtma tesisi çıkış suyu kalitesi mukayese edilmiş ve çıkış suyu kalite değerleri çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : MBR pilot tesis çalışma süresince elde edilen MBR ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu kalite değerleri.

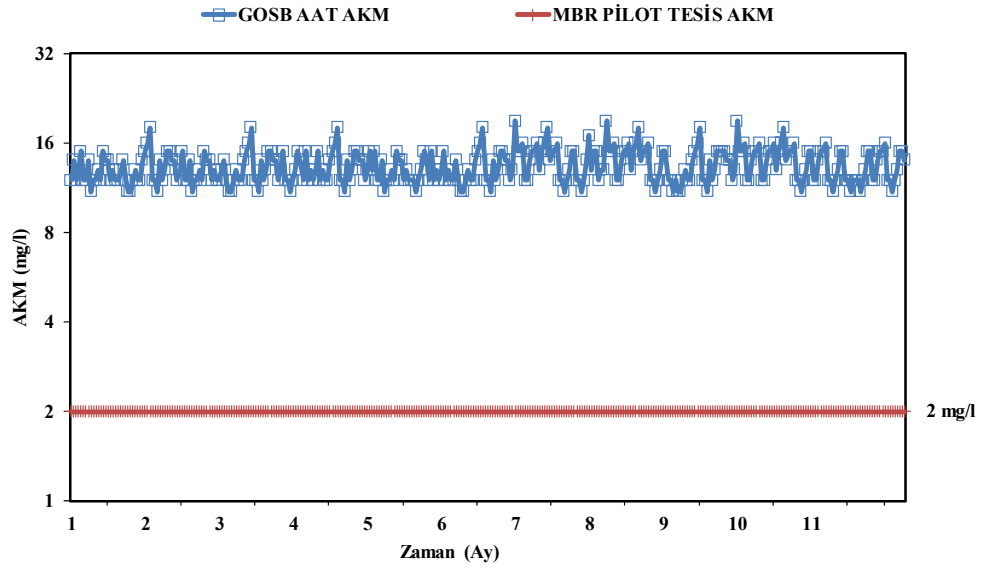
Parametre	MEVCUT ARITMA			MBR PİLOT TESİS		
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama
KOİ (mg/l)	37	84	60	23	56	34
BOİ ₅ (mg/l)	11	29	18	1	6	3
AKM (mg/l)	11	19	13	<2	<2	<2
T.N (mg/l)	<2	8	5,60	<2	<2	<2
TP (mg/l)	<0,2	1,4	0,4	<0,2	<0,2	<0,2
Al (mg/l)	0,06	0,22	0,12	0,05	0,14	0,10
Ni (mg/l)	0,14	0,78	0,30	0,06	0,21	0,13
Cl (mg/l)	-	-	-	-	-	<0,03
Mn (mg/l)	-	-	0,22	-	-	0,18



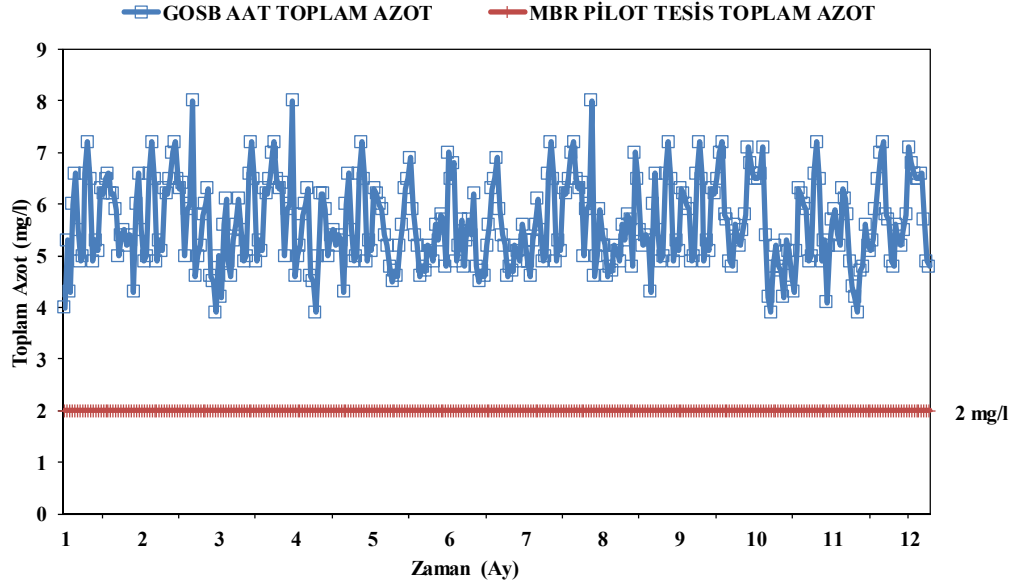
Şekil 4.98 : MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri (KOİ) (SRT: 22 gün).



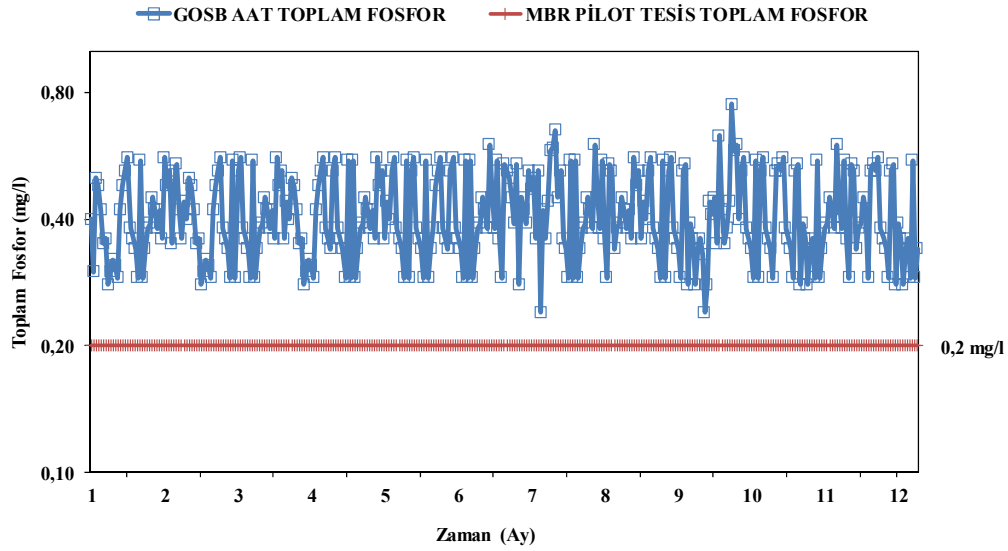
Şekil 4.99 : MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık biyolojik oksijen ihtiyacı değerleri (BOİ) (SRT: 22 gün).



Şekil 4.100 : MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık askıda katı madde değerleri (AKM) (SRT: 22 gün).



Şekil 4.101 : MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık toplam azot değerleri (T.N) (SRT: 22 gün).



Şekil 4.102 : MBR pilot tesis ve GOSB arıtma tesisi çıkış suyu yıllık toplam fosfor değerleri (T.P) (SRT: 22 gün).

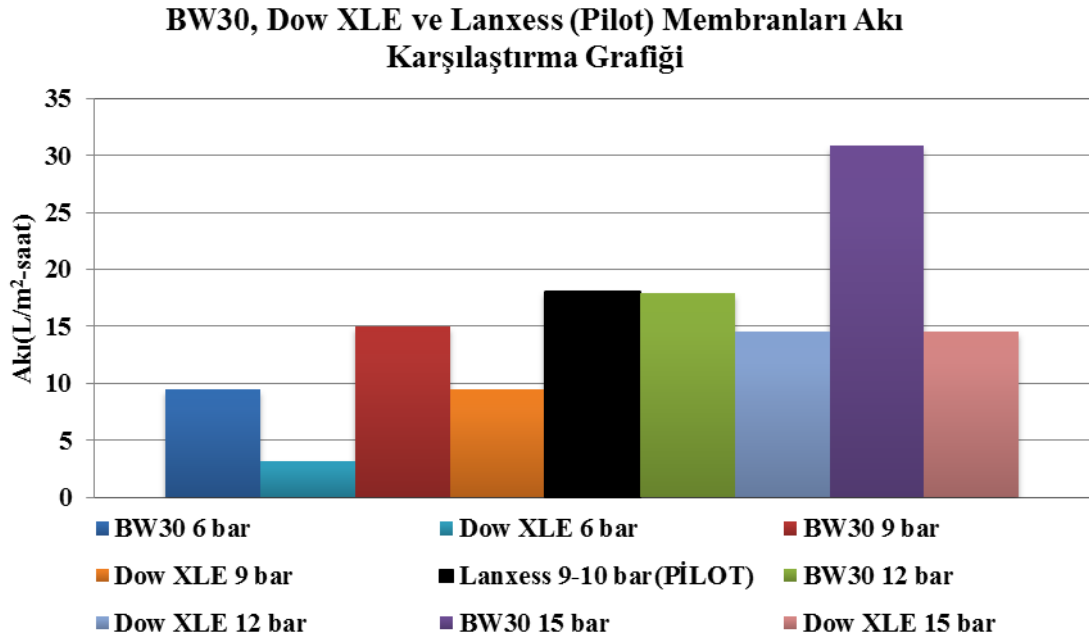
4.4 Su Geri Kazanım Çalışmaları

Su geri kazanımı çalışmaları kapsamında GOSB AAT'ye ters osmoz sistemi kurulacaktır. Ters osmoz, yüksek basınçta yarı geçirgen membran arasından iletkenliği yüksek su veya atıksu içinde çözünür halde bulunan maddeleri belli basınç altında geçirerek sudaki istenmeyen maddeleri filtre etme işlemidir. Ters osmoz sistemleri, su kalitesini iyileştirmek, ultra saf su elde etmek ve atıksuları arıtmak amacı ile uygulanmaktadır. Laboratuvar ölçekli ters osmoz ve pilot ölçekli ters osmoz sistemi çalışmaları aşağıda verilmiştir.

4.4.1 Laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli ters osmoz çalışmaları

MBR pilot tesis çıkış suyu ile öncelikle laboratuvar ortamında BW30 ve Dow XLE membranları kullanılarak %80 oranında geri kazanım neticesinde membranların farklı basınç değerlerinde permeabilite (geçirgenlik), tuzluluk ve bulanıklık performansları izlenmiştir. GOSB AAT'ye pilot ölçekli kurulan ters osmoz sisteminde Lanxess marka membran kullanılarak %75-80 oranında geri kazanım neticesinde membranın sabit basınç değerinde (9-10 bar) permeabilite (geçirgenlik) ve iletkenlik performansları izlenmiştir.

Pilot ölçekli çalışmalar tek membran ile yapılmıştır. Geri kazanım sistemi kurulduğunda iki membran ile çalışılacak ve geri kazanım oranı her iki membran için %50-60 düşünüldüğünde toplamda %75-80 geri kazanım elde edilecektir.



Şekil 4.103 : Farklı basınç kademelerinde BW 30 , Dow XLE membranlarının ve sabit basınçta Lanxsess membranının performans karşılaştırma grafiği.

BW30, Dow XLE ve Lanxess membranları ile yapılan testler sonucunda Şekil 4.103'teki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar laboratuvar ölçek bazında incelendiğinde her basınç kademesinde BW 30 adlı membranın Dow XLE membranına göre daha yüksek akı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli RO sistemi çalışmaları sonuçları incelendiğinde, pilot ölçekli çalışmada kullanılan Lanxess marka membrandan 9-10 bar basınçta daha yüksek akı değeri elde edildiği görülmüştür.

4.4.1.1 Laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli ters Osmoz bulanıklık, iletkenlik ve giriş ve çıkış suyu test sonuçları

MBR modül farkı gözetmeksizin membran çıkışından alınan numune üzerinde çalışmalar yapılmış olup aşağıda detayları verilmiştir.

Laboratuvar ölçekli her iki membran için bulanıklık değerleri Çizelge 4.4'e göre karşılaştırıldığında tüm basınç kademelerinde BW30 membranından elde edilen bulanıklık değerleri Dow XLE membranından daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4 : BW30, Dow XLE ve Lanxess membranları konsantre ve çıkış suları bulanıklık değerleri.

BW 30		
	Konsantre (NTU)	Çıkış (NTU)
6 Bar	3.65	0.34
9 bar	3.86	0.57
12 bar	4.71	0.35
15 bar	17.7	0.62
DOW XLE		
	Konsantre (NTU)	Çıkış (NTU)
6 Bar	6.5	0.66
9 bar	5.33	0.46
12 bar	4.96	0.48
15 bar	3.53	0.76
LANXESS LE		
	Konsantre (NTU)	Çıkış (NTU)
9-10 Bar	2.19	< 0.3

Çizelge 4.5 : BW30, Dow XLE ve Lanxses membranları konsantre ve çıkış suları iletkenlik değerleri.

DOW XLE		
	Çıkış İletkenlik	Konsantre İletkenlik
6 Bar	171.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$	8640 $\mu\text{S}/\text{cm}$
9 bar	1651 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1842 $\mu\text{S}/\text{cm}$
12 bar	79.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$	7300 $\mu\text{S}/\text{cm}$
15 bar	68.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$	10590 $\mu\text{S}/\text{cm}$
BW 30		
	Çıkış İletkenlik	Konsantre İletkenlik
6 Bar	763 $\mu\text{S}/\text{cm}$	5330 $\mu\text{S}/\text{cm}$
9 bar	345 $\mu\text{S}/\text{cm}$	6080 $\mu\text{S}/\text{cm}$
12 bar	165 $\mu\text{S}/\text{cm}$	6170 $\mu\text{S}/\text{cm}$
15 bar	450 $\mu\text{S}/\text{cm}$	5880 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Lanxess (LE)		
	Çıkış İletkenlik	Giriş İletkenlik
9-10 Bar	33 $\mu\text{S}/\text{cm}$	2050 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Çizelge 4.5'teki laboratuvar ölçekli her iki membran için iletkenlik değerleri karşılaştırıldığında tüm basınç kademelerinde BW30 membranından elde edilen bulanıklık değerlerinin Dow XLE membranından daha yüksek olduğu, pilot ölçekli çalışmanın çıkış iletkenlik değerinin en düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6 : BW30, Dow XLE ve Lanxess membranları konsantre ve çıkış suları KOİ değerleri

DOW XLE		
	Süzüntü (mg/l)	Konsantre (mg/l)
15 bar	14.1	57.6
BW 30		
	Süzüntü (mg/l)	Konsantre (mg/l)
15 bar	22.7	283
Lanxess LE		
	Süzüntü (mg/l)	Konsantre (mg/l)
9-10 bar	6,5	40

Çizelge 4.6'daki laboratuvar ölçekli çalışmadaki her iki membran için KOİ değerleri karşılaştırıldığında 15 bar basınç kademesinde BW30 membranından elde edilen süzüntü KOİ değerinin Dow XLE membranından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte BW30 membranına ait konsantre KOİ değeri DOW XLE membranından daha yüksek olduğu görülmektedir. En iyi sonuç pilot tesis çalışmalarında görülmüştür.

Aşağıda pilot ölçekli RO sistemi giriş atıksu değerleri ve pilot ölçekli RO çıkış suyu değerleri sırasıyla Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de verilmiştir:

Çizelge 4.7 : RO sistemi giriş atıksu değerleri.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
KOİ (mg/l)	32	54	43
BOİ (mg/l)	1	7	4
AKM (mg/l)	<10	<10	<10
T.N (mg/l)	<2	7	3
T.P (mg/l)	<0,5	1	0,3
iletkenlik (µs/cm)	1431	3310	2063
Bulanıklık (NTU)	1,15	4,10	2,16
T.Cr (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Cr (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Pb (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
T.Cn (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Cd (mg/l)	<0,004	<0,004	<0,004
Fe (mg/l)	0,2	0,8	0,5
Fl (mg/l)	0,1	0,67	0,39
Cu (mg/l)	0,011	0,017	0,014
Zn (mg/l)	0,03	0,042	0,036
Al (mg/l)	0,1	0,13	0,12
Ni (mg/l)	0,06	0,12	0,09
Cl (mg/l)	-	-	-
Mn (mg/l)	0,14	0,30	0,22
Sıcaklık (°c)	19,5	27,5	23,5
p H	6,5	7,8	-

Çizelge 4.8 : RO sistemi çıkış suyu değerleri.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
KOİ (mg/l)	<5	10	6,5
BOİ (mg/l)	-	-	-
AKM (mg/l)	<2	<2	<2
T.N (mg/l)	<0,5	<0,5	<0,5
T.P (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
iletkenlik (µs/cm)	13,5	74,7	20,5
Bulanıklık (NTU)	<0.2	<0.35	<0.3
T.Cr (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001
Cr (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001
Pb (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001
T.Cn (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001
Cd (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001
Fe (mg/l)	<0,027	<0,01	<0,01
Fl (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02
Cu (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Zn (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Al (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Ni (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Cl (mg/l)	-	-	-
Mn (mg/l)	0,022	0,030	0,026
Sıcaklık (°c)	33	20	26,5
p H	5,7	6,4	-

4.5 GOSB Atıksu Arıtma Tesisinde Su Geri Kazanım Uygulama Maliyet Analizi

Su kaynaklarının azalması, suya ulaşımın pahalı hale gelmesi, mevsimsel yağış eğrilerindeki değişkenlikler neticesi yaşanan su sıkıntısı, artan çevre bilinci nedeniyle tüm evsel ve endüstriyel kullanımlarda olduğu gibi Gebze organize sanayi bölgesinde de evsel ve endüstriyel atıksuların geri kazanımı büyük önem kazanmıştır. GOSB'un, OSB'ler içinde ilklerin öncüsü olma özelliği, proje geliştirme kültürü, yüksek çevre bilinci, atıksuyun geri kazanılması ve ikinci kalite suyun bölge kullanımına sunulması fikrini hep gündeminde tutmuştur. 2010 yılında kurulmuş olan GOSB AAT; yaklaşık 6 yıldır başarıyla çalıştırılmakta olup deşarj standartlarının çok üstünde arıtılmış atıksu Yumrukaya deresine deşarj edilmektedir. Ancak bununla yetinmeyen GOSB yönetim anlayışı, atıksuların geri kazanım konusunu gündemine almıştır. Atıksuyun geri kazanım çalışmalarında kurulması planlanan ünitelerin pilot ve laboratuvar ölçekli çalışmaların yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla bir yılı aşkın süredir çalışmakta olup hala devam eden MBR pilot tesisi ve laboratuvar ve pilot ölçekli RO tesisi ile geri kazanım çalışmaları yapılmıştır. Geri kazanım çalışmaları kapsamında kurulan pilot tesisten elde edilen verilere dayanarak GOSB AAT çıkış suyunun geri kazanılması amacıyla mevcut sisteme ilave olarak 1800 m³/ gün su geri kazanımı sağlayacak MBR ve RO sistemleri kurulacaktır. Çizelge 4.9'da kurulacak geri kazanım tesisi ile ilgili kapasite bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 4.9 : GOSB AAT'ye kurulacak geri kazanım tesisi kapasite bilgileri.

MBR SİSTEMİ		RO SİSTEMİ		MBR Geri Yıkama Debisi (m ³ /gün)	Döner Elek Yıkama Debisi (m ³ /gün)
Giriş Kapasitesi (m ³ /gün)	Çıkış Kapasitesi (m ³ /gün)	Giriş Kapasitesi (m ³ /gün)	Çıkış Kapasitesi (m ³ /gün)		
2400	2200	2200	1800	160	40

4.4.1 Yapım ve işletme

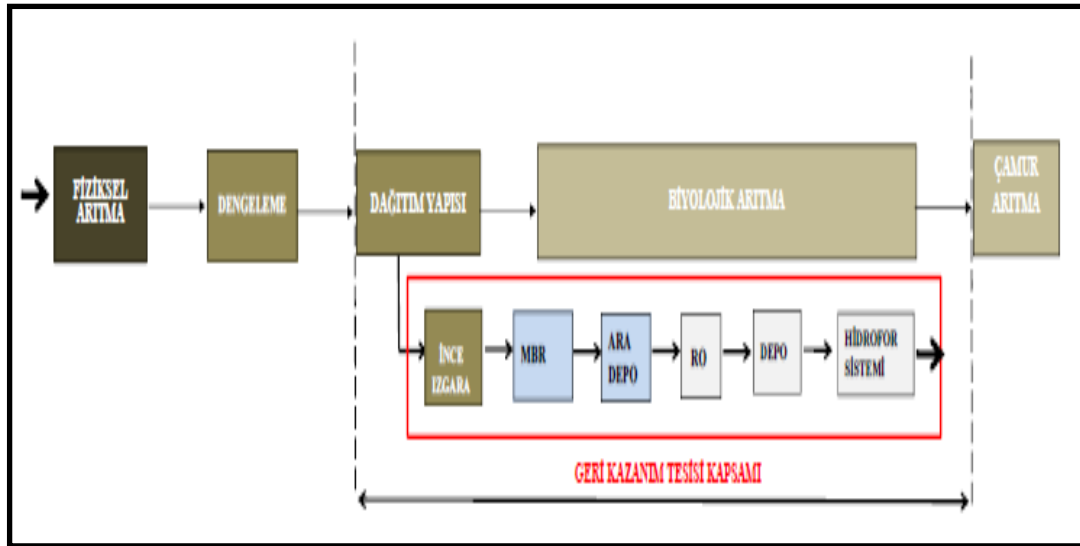
4.4.1.1 Geri kazanım tesisi yatırım maliyeti kapsamı

Mevcut sistemde bulunan ön arıtma, dengeleme ve çamur bertaraf sistemi geri kazanım sisteminde de kullanılacaktır. Yatırım maliyeti kapsamına bu üniteler ile ilgili kısımlar dahil edilmemiştir. Çizelge 4.10'da ve Şekil 4.104'de yatırım kapsamı ile ilgili detaylar bulunmaktadır.

Çizelge 4.10 : GOSB AAT su geri kazanım yatırım maliyeti kapsamı.

YATIRIM KAPSAMI		
1-İnce Izgara, MBR sistemi ve Ara Depo	2-RO sistemi, Geri kazanılmış su tankı ve Hidrofor Sistemi	3-Muhtelif işler
-İnce ızgara (Döner elek) - MBR reaktör - Membran modülleri - Terfi pompası - Debimetre - Ara depo - Borulama & vanalar	- RO besleme tankı - RO besleme pompası - RO sistemi - Dozaj pompaları - CIP tankı - Permenant tankı - Geri kazanılmış su tankı - Borulama&vanalar - Hidrofor sistemi	- Elektrik işleri - Borulama işleri - Borulama işçiliği - Montaj işçiliği - Projelendirme ve mühendislik

Geri kazanım tesisi kapsamında yer alan ünitelerden 1 nolu ünitelere %40, 2 nolu üniteler %45 ve 3 nolu üniteler %15 oranlarda olmak üzere, Toplam yatırım maliyeti 0.330 euro/ m³'tür.



Şekil 4.104 : GOSB AAT geri kazanım kapsamı.

4.4.1.2 Geri kazanım tesisi işletme maliyeti kapsamı

10 yıl boyunca işletilecek olan tesisin işletme kapsamı;

- MBR sistemi işletme giderleri
- Kimyasal madde giderleri
- Bakım onarım giderleri
- Personel giderleri
- RO sistemi işletme giderleri
- Membran yenileme giderleri
- Blower enerji tüketim giderinden oluşmaktadır.

Çizelge 4.11 'de GOSB AAT su geri kazanım işletme giderleri yer almaktadır.

Çizelge 4.11 : GOSB AAT su geri kazanım işletme giderleri.

	MBR (euro/m³)	RO (euro/m³)
Elektrik	0.040	0.063
Kimyasal	0.020	0.034
Bakım onarım	0.010	0.018
Personel	0,015	0.015
Yenileme	0,100	0,080
Toplam	0.185	0.210
Genel Toplam	0.395 euro/m³	

Geri kazanım tesisi kapsamında yer alan ünitelere ait, toplam yatırım maliyeti 0.330 euro/ m³, toplam işletme maliyeti ise 0.395 euro/ m³ olmak üzere toplam maliyet yaklaşık olarak 0.725 euro/m³ olarak hesaplanmıştır. Yukarıda verilen maliyet değerleri 10 yıllık işletme süresi için geçerlidir.

5. SONUÇLAR

Tez kapsamının 1. aşama çalışmalarında (Çalışma koşullarının belirlenmesi, dört farklı temizlik metodu uygulanması ile tıkanıklık, akı ve enerji mukayesesi) elde edilen sonuçlar aşağıda sırası ile özetlenmiştir.

5.1 Çalışma Koşullarının Belirlenmesi

MBR pilot tesis çalışmasında 12.000 mg/l ve 15.000 mg/l MLSS konsantrasyonunda tıkanıklık gözlenmiş, tıkanmanın 12.000 mg/l MLSS konsantrasyonunda yapılan çalışmada 15.000 mg/l MLSS konsantrasyonunda yapılan çalışmaya göre daha az olduğu görülmüştür. GOSB atıksuyunda membran bioreaktörlerin 12.000 mg/l MLSS konsantrasyonunda istikrarlı akı değerleri görülmüş ayrıca 15.000 mg/l MLSS konsantrasyonunda yapılan çalışma sırasında çamur köpürmesi gibi yaşanan olumsuzlukların ortadan kalktığı gözlenmiştir.

Membran pilot tesis çalışmasında, akının zaman zaman kesilmesi ile (45 dk filtrasyon – 15 dk temizlik, 12 dk filtrasyon – 3 dk temizlik, 10 dk filtrasyon – 5 dk temizlik, 15 dk filtrasyon – 5 dk temizlik) farklı etkin temizlik süreleri denenmiş, her 15 dakikada bir akının kesilmesi ile 5 dakika etkin temizliğin en etkin temizliği sağladığı görülmüş ve MBR’lerde istikrarlı akı verileri alınmıştır.

Membran pilot tesis çalışmasında GOSB atıksularının olumsuz karakteristik özelliği düşünüldüğünde sistemin 15-25 l/m²-saat akı değerlerinde çalışılabilmesi için PAC 17 kullanımının en ideal akı değerlerini sağladığı görülmüştür. Sistemde PAC 17 kullanılışından sonra sitrik asit ile yıkama ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Sistemde PAC17 kullanılması ile birim enerji tüketimi, MBR-1’de %42, MBR-3’te %93, MBR-4’te %10 oranında düşmüştür. İleride GOSB AAT’ye kurulması planlanan MBR sisteminde PAC 17 kullanılması ile tıkanmanın önüne geçilebilir olduğu ve birim enerji tüketiminin azaltılabileceği görülmüştür.

5.2 Tıkanmanın Önlenmesine Yönelik Çalışmalar

- ✓ MBR-1 sisteminde 12 aylık yürütülen çalışmalar süresince, GOSB'un karışık nitelikli endüstriyel atıksuyunda MBR modülünün teknik özelliklerinde belirtilen 15-25 l/m²-saat akı değerinin 14.6 l/m²-saat akı değeri ile alt limitine ulaştığı görülmüştür. MBR-1 sisteminde birim enerji tüketimi 1,23 kwh/m³ bulunmuştur.
- ✓ MBR-2 sisteminde ses dalgasının PES malzemeden düz plaka tip membranlarda etkili olmadığı görülmüş, ses dalgasının daha etkili olduğu seramik membran modülü kullanılarak iki aylık çalışma yapılmış ve akı değerleri gözlenmiştir. Ses dalgasının sert yüzeylerde daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Seramik membran ile yapılan çalışmada ortalama akının belirtilen 15-25 l/m²-saat akı değeri aralığında olduğu ancak ses dalgası ile temizlik sağlandığında birim enerji tüketiminin yüksek olduğu görülmüştür (11,22 kwh/m³). Seramik membran uygulamalarında etkin temizlik denemeleri çalışılması gereken konudur.
- ✓ MBR-3 sisteminde titreşimin aralıksız devrede tutulması ve sadece etkin temizlik zamanında akının kesildiği 5 dakikalık zamanlarda 4 m³/saat hava akısı verilerek geri yıkamasız yapılan çalışmada, ortalama akı değeri 8.3 l/m²-saat akı olarak gözlenmiş ve membran modülü teknik özelliklerinde verilen 15-25 l/m²-saat akı değerine ulaşamadığı görülmüştür. Sistemde titreşim, sodyum hipoklorit ile geri yıkama ve sadece etkin temizlik zamanında akının kesildiği 5 dakikalık zamanlarda 4 m³/saat hava akısı verilerek yapılan çalışma boyunca yapılan gözlemler sonucunda akı değeri 16.8 l/m²-saat olarak görülmüş ve membran modülü teknik özelliklerinde verilen değerler aralığında olduğu görülmüştür. Bu akıya ait enerji tüketimi de 1.11 kwh/m³'tür.
 - MBR-3 sisteminde titreşim, sürekli 4 m³/saat hava akısı ve geri yıkama (MBR-1-3-4 kombine sistem) uygulanarak yapılan çalışmada akı değeri 27.8 l/m²-saat akı değeri ile limitlerin üzerinde olduğu gözlenmiş ve akı değerinin %67 oranında arttığı görülmüştür. Bu akıya tekabül eden enerji tüketimi de 1.07 kwh/m³'tür.
 - MBR-3 sisteminde titreşim güçleri iki kat arttırılmış ve tıkanıklık durumu incelenmiş, ancak titreşim gücünün iki kat arttırılması sonucunda akı değerlerinde artış olmamıştır. Titreşim gücünün arttırılmasının tıkanıklığa bir etkisi olmadığı gözlenmiştir.

- ✓ MBR-4 sisteminde PAC ilaveli 7,5 aylık çalışmanın akı ortalaması $24,4 \text{ l/m}^2\text{-saat}$ olarak görülmüş ve $15\text{-}25 \text{ l/m}^2\text{-saat}$ akı değeri aralığında akı elde edilmiştir. Bu akı değerinde enerji tüketimi 0.95 kwh/m^3 'tür.
- MBR-4 sisteminde 15 dakikada bir 5 dakika uygulanan %0,25'lik NaClO çözeltisi ile çıkış suyunun %35'i kullanılarak uygulanan geri yıkama sonucunda, MBR-4 sisteminden elde edilen akı değeri, aynı koşullarda geri yıkamasız çalıştırılan MBR-1 sisteminden elde edilen akı değerinden %66 daha fazladır. Geri yıkama uygulaması ile %35 artırılmış su kaybına karşılık %66 akı artışı sağlanmıştır. Geri yıkama uygulamasının net akı artışına etkisi %27 olmuştur.
- MBR-4 sisteminde aynı çalışma koşulları sağlanarak, sadece geri yıkama periyot aralığı 30 dakika uzatıldığında, (45 dakikada bir 5 dakika uygulanan, %0,25'lik NaClO çözeltisi ile çıkış suyunun %11'i kullanılarak uygulanan geri yıkama) elde edilen akı değeri, aynı koşullarda geri yıkamasız çalıştırılan MBR-1 sisteminden elde edilen akı değerinden %39 daha fazladır. Geri yıkama uygulaması ile %11 artırılmış su kaybına karşılık %28 akı artışı sağlanmıştır. Geri yıkama uygulamasının net akı artışına etkisi %23 olmuştur. Akı değerinde %4'lük düşme olmuştur. MBR-4 sisteminde geri yıkama periyodunun uzatılarak çalışılması kimyasal sarfiyatı açısından daha uygun olduğu görülmüştür.
- ✓ Birinci aşama sonuçlarına göre en az tıkanıklık MBR-3 sisteminde sürekli $4 \text{ m}^3\text{/saat}$ hava akısı, 80 Watt titreşim ve geri yıkamanın aynı anda uygulandığı (MBR-1-3-4 kombine sistem) koşullarda sağlanmıştır. En çok tıkanıklığın olduğu sistem çalışmanın başlangıcında PES malzemeden düz plaka tip membran modülü kullanılarak denenen ses dalgası uygulaması olmuştur.
- ✓ Birinci aşama sonuçlarına göre, 100 mg/l PAC17, 12.000 MLSS konsantrasyonunda ve 15 dk-5 dk etkin temizlik süresinde sürdürülen 12 aylık çalışmada, birim enerji tüketimi en düşükten en yükseğe doğru sıralanırsa ilk sırada MBR-4 sistemi ($0,95 \text{ kwh/m}^3$), ikinci sırada MBR-3 sistemi ($1,07 \text{ kwh/m}^3$), üçüncü sırada MBR-1 sistemi ($1,23 \text{ kwh/m}^3$) ve son olarak da MBR-2 sistemi (seramik membran) ($11,22 \text{ kwh/m}^3$) olduğu görülmüştür. Birim enerji

tüketiminin en düşük olduğu sistem MBR-4'tür. Birim enerji tüketimi en çok MBR-2 sisteminde denenen seramik membran çalışmasında olmuştur.

- ✓ Birinci aşama sonuçlarına göre, GOSB AAT'de kurulabilecek MBR sisteminde aşağıda belirtilen çalışma koşullarında ve etkin temizlik uygulamasında MBR sisteminin işletilebileceği görülmüştür.
 - MLSS konsantrasyonu 12.000 mg/l
 - SRT: 22 gün
 - Filtrasyon ve temizlik süreleri (15 dk - 5 dk)
 - 100 mg/l PAC 17 dozlanması
 - MBR-4 sisteminde uygulanan temizlik metodu kullanılması (Sürekli 4 m³/saat hava akısı ve geri yıkama (%0,25'lik NaClO pH:10))
- ✓ MBR-3 ve MBR-4 sisteminde %0,25'lik sodyum hipoklorit ile yapılan geri yıkama çözeltisinin 500 litrelik çıkış suyu tankında hazırlanması (500 litrelik tankta sodyum hipoklorit ilavesi) sodyum hipoklorit özelliği nedeni ile zamanla etkisinin azalmasına neden olmuş ve geri yıkama etkisi azalmıştır. Geri yıkama çözeltisinin 100 litrelik tankta hazırlanması (sodyum hipoklorit ilavesi) ile çözeltinin daha etkili geri yıkama yaptığı görülmüştür.
- ✓ MBR-3 sisteminde titreşim, sürekli hava ve geri yıkama yöntemi uygulaması (MBR-1-3-4 kombine sistem), diğer bir yaklaşımla da MBR-4 sistemine titreşim ilave edilmesi sonucu akı değerinde %14 artış olduğu görülmüştür.

5.3 Atıksu ve Arıtılmış Su Kalitesi

İkinci aşama çalışmalarında elde edilen sonuçlar aşağıda sırası ile özetlenmiştir.

- MBR pilot tesis çalışması süresince, değişken debi ve ham atıksu karakteristik özelliği bulunan tesiste atıksu girişinde ölçülen parametreler sonucunda; BOİ, KOİ, AKM ve Yağ ve Gres değerlerinde aşırı salınımlar olduğu görülmüştür.
- Giriş suyunda KOİ, BOİ, AKM ve Yağ ve Gres parametrelerindeki aşırı salınımlara rağmen MBR pilot tesis tüm işletim boyunca yüksek arıtma performansı göstermiştir. İşletim süresince 100 mg/l PAC 17 kimyasalı kullanılmasının MBR pilot tesiste yüksek arıtma performansına olumlu etkisi olmuştur.

- MBR pilot tesiste membranların ayrı tanklarda dizayn edilmesi ile reaktörde oksijen değeri düşük tutulmuş, yüksek oranda toplam azot ve toplam fosfor giderimi sağlanmıştır.
- MBR pilot tesis arıtma performansının GOSB AAT' nin performansından oldukça iyi olduğu görülmüştür.

5.4 Membran Otopsi

Yürütölmüş olan otopsi çalışmasında MBR-1 ve MBR-4 membran modöllerinin yüzeyleri incelenerek kirliliğın sebepleri araştırılmıştır.

Modöller fiziki olarak incelendiğinde giriş- çıkışlarında ve bağlantılarında herhangi bir problem gözlemlenmemiştir. Modöller parça parça açıldığında da membranlar üzerinde fiziksel hasar meydana gelmediğı görölmüşür. Muhtemel kirlenmenin sebepleri araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en temel kirleticilerin karbon, alüminyum, silisyum ve fosfor; ikincil kirlletici olarak da potasyum, azot, kalsiyum, klor, magnezyum ve titanyum olduğı bulunmuştur. Klorun bulunma sebebi MBR-4 tankında %0,25'lik NaOCl ile geri yıkama yapılmasıdır.

Elementel analiz haritalarında magnezyum, alüminyum, silisyum, titanyum ve potasyum elementlerinin aynı bölgelerde iç içe bulunduğı görölmektedir. Bu veri değeriendirildiğinde kirlilik kaynakları olarak GOSB'ta bulunan farklı sektörler şöyle sıralanabilir.

- Boya ve sıva sektörü
- Kozmetik sektörü
- Gıda sektörü
- İlaç sektörü

Ayrıca atıksu arıtma tesislerinde alüminyum tuzları koagölant ve fosfor giderimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyumun gibi çift değeriikli katyonların aktif çamurda bulunmaları hakkında çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu yüksek yük değeriği aktif çamur flok stabilitesi açısından büyük önem taşımaktadır.

5.5 Ters Osmoz Çalışması

Çalışmanın üçüncü aşamasında, MBR pilot tesis çıkış suyu ile yapılan laboratuvar ölçekli testler neticesinde Dow XLE membranının daha düşük akıya sahip, fakat daha yüksek giderme verimine sahip olduğu görülmüştür. Buna karşın, BW 30 membranı da daha yüksek akıya sahip olup, daha düşük giderim verimi sağlamaktadır. Pilot ölçekli çalışmada Lanxsess membranı ile yapılan çalışmada akı değerinin laboratuvar ölçekli çalışmaların ortalamasından daha yüksek olduğu; giderim ve geri kazanım açısından daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Membran çıkışındaki suyun ters osmoz sisteminden geçirilerek GOSB sınırları içerisinde proses suyu ve sulama suyu amaçlı istenilen kalitede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Otopsi çalışmalarında elde edilen bulgular, ters osmoz tesisinin tasarımı, kurulması, işletilmesi aşamalarında çalışmalara ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, A. L., Che Lah, N. F., Ismail, S., ve Ooi, B. S.** (2012). Membrane Antifouling Methods and Alternatives: Ultrasound Approach. *Separation & Purification Reviews*, 41(4), 318–346. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/15422119.2011.617804>
- Albasi, C., Bessiere, Y., Desclaux, S., ve Remigy, J. C.** (2002). Filtration of biological sludge by immersed hollow-fiber membranes: influence of initial permeability choice of operating conditions. *Desalination*, 146(1–3), 427–431. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916402005271>
- Arıkan, O. A.** (2015). TÜBİTAK Araştırma Projesi Gelişme Raporu- 113Y341. Istanbul: ITU.
- Armando, A. D., Culkin, B., ve Purchas, D. B.** (1992). New separation system extends the use of membranes. *Proceedings of Euromembrane*, 6, 459.
- Beier, S. P., Guerra, M., Garde, A., ve Jonsson, G.** (2006). Dynamic microfiltration with a vibrating hollow fiber membrane module: Filtration of yeast suspensions. *Journal of Membrane Science*, 281(1–2), 281–287. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738806002316>
- Beyer, M., Lohrengel, B., ve Nghiem, L. D.** (2010). Membrane fouling and chemical cleaning in water recycling applications. *Desalination*, 250(3), 977–981. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916409011175>
- Bilad, M. R., Mezohegyi, G., Declerck, P., ve Vankelecom, I. F. J.** (2012). Novel magnetically induced membrane vibration (MMV) for fouling control in membrane bioreactors. *Water Research*, 46(1), 63–72. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135411006245>
- Boley, A., Narasimhan, K., Kieninger, M., ve Müller, W.-R.** (2010). Ceramic membrane ultrafiltration of natural surface water with ultrasound enhanced backwashing. *Water Science and Technology*, 61(5), 1121–1127.
- Brepols, C.** (2010). *Operating Large Scale Membran Bioreactors for WWTP*. (IWA, Ed.). International Water Association IWA. Brepols, C. (2010).
- Brepols, C., Schäfer, H., & Engelhardt, N.** (2009). Economic aspects of large scale membrane bioreactors. In *The European MBR market* (pp. 29–30). Thessaloniki, Greece.

- Brepols, C., Schafer, H., & Engelhardt, N.** (2010). Considerations on the design and financial feasibility of full-scale membrane bioreactors for municipal applications. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 61(10), 2461–2468.
- Cai, M., Zhao, S., ve Liang, H.** (2010). Mechanisms for the enhancement of ultrafiltration and membrane cleaning by different ultrasonic frequencies. *Desalination*, 263(1–3), 133–138. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916410004418>
- Cerón-Vivas, A., Morgan-Sagastume, J. M., ve Noyola, A.** (2012). Intermittent filtration and gas bubbling for fouling reduction in anaerobic membrane bioreactors. *Journal of Membrane Science*, 423–424, 136–142. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738812006059>
- Chai, X., Kobayashi, T., ve Fujii, N.** (1999). Ultrasound-associated cleaning of polymeric membranes for water treatment. *Separation and Purification Technology*, 15(2), 139–146. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586698000914>
- Chang, I. S., Bag, S. O., ve Lee, C. H.** (2001). Effects of Membrane Fouling on Solute Rejection during Membrane Filtration of Activated Sludge. *Process Biochemistry*, 36(8-9), 855–860.
- Chen, D., Weavers, L. K., ve Walker, H. W.** (2006). Ultrasonic control of ceramic membrane fouling by particles: Effect of ultrasonic factors. *Ultrasonics Sonochemistry*, 13(5), 379–387. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417705000532>
- Chen, J. C., Li, Q., ve Elimelech, M.** (2004). In situ monitoring techniques for concentration polarization and fouling phenomena in membrane filtration. *Advances in Colloid and Interface Science*, 107(2–3), 83–108. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868603001581>
- Chen, V., Li, H., ve Fane, A. G.** (2004). Non-invasive observation of synthetic membrane processes – a review of methods. *Journal of Membrane Science*, 241(1), 23–44. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037673880400287X>
- Chua, H. C., Arnot, T. C., ve Howell, J. A.** (2002). Controlling fouling in membrane bioreactors operated with a variable throughput. *Desalination*, 149(1–3), 225–229. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916402007646>
- Cornel, P., Wagner, M., & Krause, S.** (2003). Investigation of oxygen transfer rates in full scale membrane bioreactors. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 47(11), 313–319.

- Çulfaz, P. Z., Wessling, M., ve Lammertink, R. G. H.** (2011). Fouling behavior of microstructured hollow fiber membranes in submerged and aerated filtrations. *Water Research*, 45(4), 1865–1871. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135410008341>
- Engelhardt, N., & Lindner, W.** (2006). Experiences with the World's Largest Municipal Waste Water Treatment Plant Using Membrane Technology. *Water Practice and Technology*, 1(4).
- Fatone, F., Battistoni, P., Pavan, P., & Cecchi, F.** (2007). Operation and Maintenance of Full-Scale Municipal Membrane Biological Reactors: A Detailed Overview on a Case Study. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(21), 6688–6695. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1021/ie0616848>
- Fenu, A., Roels, J., Wambecq, T., De Gussem, K., Thoeve, C., De Gueldre, G., & Van De Steene, B.** (2010). Energy audit of a full scale MBR system. *Desalination*, 262(1–3), 121–128. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916410003747>
- Fujii, T. K. and T. K. and N.** (2000). Effect of Ultrasound on Enhanced Permeability During Membrane Water Treatment. *Japanese Journal of Applied Physics*, 39(5S), 2980.
- Garcés, A., De Wilde, W., Thoeve, C., & De Gueldre, G.** (2007). Operational cost optimisation of MBR Schilde. In *4th International Membranes Conference*. Harrogate, UK.
- Genkin, G., Waite, T. D., Fane, A. G., ve Chang, S.** (2006). The effect of vibration and coagulant addition on the filtration performance of submerged hollow fibre membranes. *Journal of Membrane Science*, 281(1–2), 726–734. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738806002869>
- Giesen, A., Van Bentem, A., Gademan, G., & Erwee, H.** (2008). Lessons learnt in facility design, tendering and operation of MBR's for industrial and municipal wastewater treatment. In *Proceedings of WISA Biennial Conference and Exhibition* (p. 102). Sun City, South Africa.
- Gomaa, H. G., ve Rao, S.** (2011). Analysis of flux enhancement at oscillating flat surface membranes. *Journal of Membrane Science*, 374(1–2), 59–66. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738811001785>
- Gui, P., Huang, X., Chen, Y., ve Qian, Y.** (2003). Effect of operational parameters on sludge accumulation on membrane surfaces in a submerged membrane bioreactor. *Desalination*, 151(2), 185–194. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916402009979>
- Guo, W., Ngo, H.-H., Palmer, C. G., Xing, W., Hu, A. Y.-J., ve Listowski, A.** (2009). Roles of sponge sizes and membrane types in a single stage sponge-submerged membrane bioreactor for improving nutrient removal from wastewater for reuse. *Desalination*, 249(2), 672–676. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916409008492>

- Gure, N.** (2011). *Phosphorus Removal from Wastewater by Ultrasound Application*. Marmara University.
- Hong, S. P., Bae, T. H., Tak, T. M., Hong, S., ve Randall, A.** (2002). Fouling control in activated sludge submerged hollow fiber membrane bioreactors. *Desalination*, 143(3), 219–228. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916402002606>
- Hu, A., ve Stuckey, D.** (2007). Activated Carbon Addition to a Submerged Anaerobic Membrane Bioreactor: Effect on Performance, Transmembrane Pressure, and Flux. *Journal of Environmental Engineering*, 133(1), 73–80. Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2007\)133:1\(73\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2007)133:1(73))
- Huang, X., Wei, C.-H., ve Yu, K.-C.** (2008). Mechanism of membrane fouling control by suspended carriers in a submerged membrane bioreactor. *Journal of Membrane Science*, 309(1–2), 7–16. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738807007235>
- Huang, Z., Ong, S. L., ve Ng, H. Y.** (2008). Feasibility of submerged anaerobic membrane bioreactor (SAMBR) for treatment of low-strength wastewater. *Water Science and Technology*, 58(10), 1925–1931.
- Itokawa, H., Thiemig, C., ve Pinnekamp, J.** (2008). Design and operating experiences of municipal MBRs in Europe. *Water Science and Technology*, 58(12), 2319–2327.
- Jaffrin, M. Y., Ding, L.-H., Akoum, O., ve Brou, A.** (2004). A hydrodynamic comparison between rotating disk and vibratory dynamic filtration systems. *Journal of Membrane Science*, 242(1–2), 155–167. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738804003291>
- JIN, W., GUO, W., LÜ, X., HAN, P., ve WANG, Y.** (2008). Effect of the Ultrasound Generated by Flat Plate Transducer Cleaning on Polluted Polyvinylidene fluoride Hollow Fiber Ultrafiltration Membrane. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16(5), 801–804. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1004954108601597>
- Johir, M. A. H., Aryal, R., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., ve Grasmick, A.** (2011). Influence of supporting media in suspension on membrane fouling reduction in submerged membrane bioreactor (SMBR). *Journal of Membrane Science*, 374(1–2), 121–128. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738811001906>
- Johir, M. A., Shanmuganathan, S., Vigneswaran, S., ve Kandasamy, J.** (2013). Performance of submerged membrane bioreactor (SMBR) with and without the addition of the different particle sizes of GAC as suspended medium. *Bioresource Technology*, 141, 13–18. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413004008>
- Judd, S.** (2011). *The MBR Book, Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment*, 2nd (2nd ed.). Butterworth-Heinemann, Oxford.

- Judd, S., ve Judd, C.** (2008). *The MBR book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. Vasa. Retrieved from <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- Kim, J., Kim, K., Ye, H., Lee, E., Shin, C., McCarty, P. L., ve Bae, J.** (2011). Anaerobic Fluidized Bed Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment. *Environmental Science & Technology*, 45(2), 576–581. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1021/es1027103>
- Kim, J.-O., Jung, J.-T., Yeom, I.-T., ve Aoh, G.-H.** (2007). Effect of fouling reduction by ozone backwashing in a microfiltration system with advanced new membrane material. *Desalination*, 202(1–3), 361–368. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001191640601232X>
- Kimura, K., Watanabe, Y., ve Ohkuma, N.** (2000). Filtration resistance and efficient cleaning methods of the membrane with fixed nitrifiers. *Water Research*, 34(11), 2895–2904. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135400000403>
- Kobayashi, T., Chai, X., ve Fujii, N.** (1999). Ultrasound enhanced cross-flow membrane filtration. *Separation and Purification Technology*, 17(1), 31–40. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586699000234>
- Kocamemi, B. A., Gure, N., Sarialioglu, F., Kuzey, C., ve Saatci, A. M.** (2015). Application of low intensity ultrasound to enhance biological phosphorous removal. In *ICOCEE, Cappadocia2015*. Nevsehir, TR: ICOCEE.
- Koch.** (2011). Membrane bioreactors: Advanced membranes improve energy efficiency and reduce lifecycle costs. *Filtration & Separation*, 48(1), 34–37. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0015188211700453>
- Kola, A., Ye, Y., Le-Clech, P., ve Chen, V.** (2014). Transverse vibration as novel membrane fouling mitigation strategy in anaerobic membrane bioreactor applications. *Journal of Membrane Science*, 455, 320–329. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738814000027>
- Komesli, O., & Gokcay, C.** (2010). Treatment and Reuse of Domestic Wastewater by MBR (Membrane Bioreactor). In *The Energy Consumption of the MBR* (p. 996). Istanbul, Turkey.
- Krzeminski, P., Van der Graaf, J.H.J.M., Van Lier, J.B.** (2012). Specific energy consumption of membrane bioreactor (MBR) for sewage treatment. *Water Science & Technology*, 65(2), 380–392.
- Kyllönen, H. M., Pirkonen, P., ve Nyström, M.** (2005). Membrane filtration enhanced by ultrasound: a review. *Desalination*, 181(1–3), 319–335. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916405004030>

- L. Jin, S.L. Ong, H. Y. N.** (2013). Fouling control mechanism by suspended biofilm carriers addition in submerged ceramic membrane bioreactors. *J. Membr. Sci.*, 427, 250–258.
- Lamminen, M. O., Walker, H. W., ve Weavers, L. K.** (2004). Mechanisms and factors influencing the ultrasonic cleaning of particle-fouled ceramic membranes. *Journal of Membrane Science*, 237(1–2), 213–223. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738804001978>
- Lamminen, M. O., Walker, H. W., ve Weavers, L. K.** (2006). Cleaning of particle-fouled membranes during cross-flow filtration using an embedded ultrasonic transducer system. *Journal of Membrane Science*, 283(1–2), 225–232. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738806004200>
- Latt, K. K., ve Kobayashi, T.** (2006). Ultrasound-membrane hybrid processes for enhancement of filtration properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 13(4), 321–328. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135041770500043X>
- Lazarova, V., Martin, S., Bonroy, J., & Dauthuille, P.** (n.d.). Main Strategies for Improvement of Energy Efficiency of Membrane Bioreactors. In *The Energy Consumption of the MBR* (pp. 1078–1080). Istanbul, Turkey.
- Le-Clech, P., Chen, V., ve Fane, T. A. G.** (2006). Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment. *Journal of Membrane Science*, 284(1–2), 17–53. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738806005679>
- Li, D., Li, M., Wang, Y., ve Gong, C.** (2013). Optimization of the operating parameters for online ultrasonic on controlling membrane fouling in SMBR. *Desalination and Water Treatment*, 51(19-21), 3832–3839. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.782087>
- Li, J., Sanderson, R. D., ve Jacobs, E. P.** (2002). Ultrasonic cleaning of nylon microfiltration membranes fouled by Kraft paper mill effluent. *Journal of Membrane Science*, 205(1–2), 247–257. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738802001217>
- Li, T., Law, A. W. K., Cetin, M., Fane, A. G., ve Wicaksana, F.** (2012). Fouling Control of Submerged Hollow Fibre Membranes: The Effect of Vibrations and Fibre Looseness. *Procedia Engineering*, 44, 24–26. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812033073>
- Lim, A. L., ve Bai, R.** (2003). Membrane fouling and cleaning in microfiltration of activated sludge wastewater. *Journal of Membrane Science*, 216(1–2), 279–290. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738803000838>

- Lin, H. J., Xie, K., Mahendran, B., Bagley, D. M., Leung, K. T., Liss, S. N., ve Liao, B. Q.** (2010). Factors affecting sludge cake formation in a submerged anaerobic membrane bioreactor. *Journal of Membrane Science*, 361(1–2), 126–134. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738810004382>
- Liu, L., Liu, J., Gao, B., ve Yang, F.** (2012). Minute electric field reduced membrane fouling and improved performance of membrane bioreactor. *Separation and Purification Technology*, 86, 106–112. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586611006319>
- Livingstone, D.** (2008). MBR TURNDOWN.
- Low, S. C., Juan, H. H., ve Siong, L. K.** (2005). A combined VSEP and membrane bioreactor system. *Desalination*, 183(1–3), 353–362. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916405005175>
- Ma, J., Wang, Z., Yang, Y., Mei, X., ve Wu, Z.** (2013). Correlating microbial community structure and composition with aeration intensity in submerged membrane bioreactors by 454 high-throughput pyrosequencing. *Water Research*, 47(2), 859–869. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135412008081>
- Malaeb, L., Le-Clech, P., Vrouwenvelder, J. S., Ayoub, G. M., ve Saikaly, P. E.** (2013). Do biological-based strategies hold promise to biofouling control in MBRs? *Water Research*, 47(15), 5447–5463. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135413005241>
- Martinez-Sosa, D., Helmreich, B., Netter, T., Paris, S., Bischof, F., ve Horn, H.** (2011). Pilot-scale anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) treating municipal wastewater: the fouling phenomenon and long-term operation. *Water Science and Technology*, 64(9), 1804–1811.
- Masselin, I., Chasseray, X., Durand-Bourlier, L., Lainé, J.-M., Syzaret, P.-Y., ve Lemordant, D.** (2001). Effect of sonication on polymeric membranes. *Journal of Membrane Science*, 181(2), 213–220. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738800005342>
- Meng, F., Chae, S.-R., Drews, A., Kraume, M., Shin, H.-S., ve Yang, F.** (2009). Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. *Water Research*, 43(6), 1489–1512. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135408006581>
- Metcalf, ve Eddy, C.** (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.
- Mulder, J. W.** (2009). Operational experiences with the hybrid MBR Heenvliet, a smart way of retrofitting. In *Final MBR Network Workshop*. Berlin, Germany.

- Muthukumaran, S., Kentish, S. E., Stevens, G. W., Ashokkumar, M., ve Mawson, R.** (2007). The application of ultrasound to dairy ultrafiltration: The influence of operating conditions. *Journal of Food Engineering*, 81(2), 364–373. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877406006911>
- Muthukumaran, S., Kentish, S., Lalchandani, S., Ashokkumar, M., Mawson, R., Stevens, G. W., ve Grieser, F.** (2005). The optimisation of ultrasonic cleaning procedures for dairy fouled ultrafiltration membranes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 12(1–2), 29–35. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417704001014>
- Ng, K.-K., Wu, C.-J., Yang, H.-L., Panchangam, S. C., Lin, Y.-C., Hong, P.-K. A., ... Lin, C.-F.** (2012). Effect of Ultrasound on Membrane Filtration and Cleaning Operations. *Separation Science and Technology*, 48(2), 215–222. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/01496395.2012.682289>
- Paugam, L., Delaunay, D., ve Rabiller-Baudry, M.** (2016). Cleaning efficiency and impact on production fluxes of oxidising disinfectants on a pes ultrafiltration membrane fouled with proteins. *Food and Bioproducts Processing*, 88(4), 425–429. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2010.10.005>
- Pellegrin, M.-L., & Kinnear, D.** (2011). MBR Energy Consumption: Comparing Operating Full-Scale Plants. In *Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC* (pp. 30–46). Anaheim, US,.
- Pinnekamp, J.** (2008). *Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben: Begleitprojekt zu FuE-Vorhaben im Bereich der Membrantechnik in Nordrhein-Westfalen*. RWTH Aachen.
- Popović, S., Djurić, M., Milanović, S., Tekić, M. N., ve Lukić, N.** (2010). Application of an ultrasound field in chemical cleaning of ceramic tubular membrane fouled with whey proteins. *Journal of Food Engineering*, 101(3), 296–302. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877410003493>
- Porcelli, N., ve Judd, S.** (2010). Chemical cleaning of potable water membranes: A review. *Separation and Purification Technology*, 71(2), 137–143. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586609005036>
- Pradhan, M., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., ve Aim, R. Ben.** (2012). Combined effect of air and mechanical scouring of membranes for fouling reduction in submerged membrane reactor. *Desalination*, 288, 58–65. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411010307>
- Prieske, H., Böhm, L., Drews, A., ve Kraume, M.** (2010). Optimised hydrodynamics for membrane bioreactors with immersed flat sheet membrane modules. *Desalination and Water Treatment*, 18(1-3), 270–276. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2010.1784>

- Raffin, M., Germain, E., ve Judd, S. J.** (2012). Influence of backwashing, flux and temperature on microfiltration for wastewater reuse. *Separation and Purification Technology*, 96, 147–153. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586612003164>
- Robles, A., Durán, F., Ruano, M. V, Ribes, J., ve Ferrer, J.** (2012). Influence of total solids concentration on membrane permeability in a submerged hollow-fibre anaerobic membrane bioreactor. *Water Science and Technology*, 66(2), 377–384.
- Ryan, O.** (2007). Energy Efficiency Solutions for a Full-Scale MBR Plant. In *Cranfield University*. Cranfield.
- Santasmassas, C., Rovira, M., Clarens, F., ve Valderrama, C.** (2013). Wastewater treatment by MBR pilot plant: flat sheet and hollow fibre case studies. *Desalination and Water Treatment*, 51(10-12), 2423–2430. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2012.747476>
- Siembida, B., Cornel, P., Krause, S., ve Zimmermann, B.** (2010). Effect of mechanical cleaning with granular material on the permeability of submerged membranes in the MBR process. *Water Research*, 44(14), 4037–4046. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135410003246>
- Sim, L. N., Wang, Z. J., Gu, J., Coster, H. G. L., ve Fane, A. G.** (2013). Detection of reverse osmosis membrane fouling with silica, bovine serum albumin and their mixture using in-situ electrical impedance spectroscopy. *Journal of Membrane Science*, 443, 45–53. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738813003463>
- Sofia, A., Ng, W. J., ve Ong, S. L.** (2004). Engineering design approaches for minimum fouling in submerged MBR. *Desalination*, 160(1), 67–74. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916404900185>
- Stone, M., & Livingston, D.** (2008). Flat Plate MBR Energy Consumption—Village of Dundee, MI. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2008(1), 525–547. Retrieved from <http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=1938-6478&volume=2008&issue=1&spage=525>
- Strugholtz, S., Sundaramoorthy, K., Panglisch, S., Lerch, A., Brügger, A., ve Gimbel, R.** (2005). Evaluation of the performance of different chemicals for cleaning capillary membranes. *Desalination*, 179(1–3), 191–202. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916405002833>
- Tao, G. H., Kekre, K. A., Visvanath, B., Oo, M. H., & Seah, H.** (2008). Towards Less Than 0.4 kWh/m³ Energy Consumption of Membrane Bioreactor for Water Reclamation. In *MBR*. Vienna.

- Tran, T. M., Ye, Y., Chen, V., Stuetz, R., ve Le-Clech, P.** (2013). Assessment of anti-fouling strategies for membrane coupled with upflow anaerobic sludge blanket (MUASB) process. *Environmental Technology*, 34(4), 521–528. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2012.701335>
- Van Bentem, A. G. N., Nijman, N., Schyns, P. F. T., & Petri, C. P.** (2010). MBR Varsseveld: 5 years of operational experience. *Water Practice and Technology*, 5(1).
- Van Bentem, A., Nijman, N., Schyns, P., & Petri, C.** (2008). MBR Varssveld: 3.5 Years of Operational Experience. In *Water Pract. Technol.* Amsterdam.
- Wallis- Lage, C. L., & Levesque, S. D.** (2009). Cost Effective & Energy Efficient MBR Systems. In *Singapore International Water Week*. Singapore.
- Wang, Z., Ma, J., Tang, C. Y., Kimura, K., Wang, Q., ve Han, X.** (2014). Membrane cleaning in membrane bioreactors: A review. *Journal of Membrane Science*, 468, 276–307.
- Wang, Z., Wu, Z., Yin, X., ve Tian, L.** (2008). Membrane fouling in a submerged membrane bioreactor (MBR) under sub-critical flux operation: Membrane foulant and gel layer characterization. *Journal of Membrane Science*, 325(1), 238–244. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738808007084>
- Wang, Z., Yu, H., Ma, J., Zheng, X., ve Wu, Z.** (2013). Recent advances in membrane bio-technologies for sludge reduction and treatment. *Biotechnology Advances*, 31(8), 1187–1199. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975013000438>
- Wei, P., Zhang, K., Gao, W., Kong, L., ve Field, R.** (2013). CFD modeling of hydrodynamic characteristics of slug bubble flow in a flat sheet membrane bioreactor. *Journal of Membrane Science*, 445, 15–24. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738813004390>
- Wen, C., Huang, X., ve Qian, Y.** (1999). Domestic wastewater treatment using an anaerobic bioreactor coupled with membrane filtration. *Process Biochemistry*, 35(3–4), 335–340. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003295929900076X>
- Wen, X., Sui, P., ve Huang, X.** (2008). Exerting ultrasound to control the membrane fouling in filtration of anaerobic activated sludge—mechanism and membrane damage. *Water Science and Technology*, 57(5), 773–779.
- Woo, Y. C., Lee, J. J., Oh, J. S., Jang, H. J., ve Kim, H. S.** (2013). Effect of chemical cleaning conditions on the flux recovery of fouled membrane. *Desalination and Water Treatment*, 51(25-27), 5268–5274. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.768754>

- Wu, J., Le-Clech, P., Stuetz, R. M., Fane, A. G., ve Chen, V.** (2008). Effects of relaxation and backwashing conditions on fouling in membrane bioreactor. *Journal of Membrane Science*, 324(1–2), 26–32. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738808006170>
- Yamanoi, I., ve Kageyama, K.** (2010). Evaluation of bubble flow properties between flat sheet membranes in membrane bioreactor. *Journal of Membrane Science*, 360(1–2), 102–108. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738810003571>
- Yang, Q., Chen, J., ve Zhang, F.** (2006). Membrane fouling control in a submerged membrane bioreactor with porous, flexible suspended carriers. *Desalination*, 189(1–3), 292–302. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916406001019>
- Yaşa, E.** (2010). Ters Ozmoz (TO) Su Arıtma Tekniği ve Muhtelif Kullanım Alanları. *Makine Mühendisleri Odası*, 06(09), 5–15.
- Yeon, K.-M., Cheong, W.-S., Oh, H.-S., Lee, W.-N., Hwang, B.-K., Lee, C.-H., ... Lewandowski, Z.** (2009). Quorum Sensing: A New Biofouling Control Paradigm in a Membrane Bioreactor for Advanced Wastewater Treatment. *Environmental Science & Technology*, 43(2), 380–385. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1021/es8019275>
- ZENON Environmental Inc.** (2002). ZENON Environmental Inc.
- Zsirai, T., Buzatu, P., Aerts, P., ve Judd, S.** (2012). Efficacy of relaxation, backflushing, chemical cleaning and clogging removal for an immersed hollow fibre membrane bioreactor. *Water Research*, 46(14), 4499–4507. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135412003107>

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Sedat Soybay
Doğum Tarihi ve Yeri : 06.02.1957
E-posta : sedat.soybay@massaritma.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1974, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Bölümü
- **Yükseklisans** : 1980, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

YAYINLAR

- Orhon, D., **Soybay, S.**, Tünay, O., Artan, N., 1989., *The Effect of Reactor Hydraulics on the Performance of Activated Sludge Systems – I.The Traditional Modelling Approach*, *Water Research* 23(12): 1511 – 1518 – December 1989
- **Soybay, S.** (1982). *Aktif Çamur Modelleşmesine Genel Bakış*(Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Haziran 1982.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- **Soybay, S.**, Koyuncu, İ., 2016. Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, *Karışık Endüstriyel Atıksu Arıtımında Pilot Ölçekli Membran Biyoreaktörlerde İşletme Optimizasyonu*, cilt 6, sayı: 3, Ocak 2017