

KARIŞIK ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITIMINDA PİLOT ÖLÇEKLİ MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE İŞLETME OPTİMİZASYONU VE MEMBRAN YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMLERİNE DEĞİŞİK YAKLAŞIMLAR

Sedat SOYBAY (ORCID ID: 0000-0001-5248-4762)^{1*}
İsmail KOYUNCU (0000-0001-8354-1889)²

¹Mass Arıtma Sistemleri İnşaat San. ve Tic. A.Ş., GOSB, Kocaeli, Türkiye

²Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Geliş / Received: 09.06.2016

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 21.09.2016

Kabul / Accepted: 23.09.2016

ÖZ

Bu araştırmanın amacı, karışık endüstriyel atıksu arıtımında membran biyoreaktörlerdeki (MBR) optimum işletme parametrelerinin pilot ölçekte belirlenmesidir. Çalışma kapsamında Gebze Organize Sanayi Bölgesi (GOSB) Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisine (AAT) pilot tesis kurulmuş ve işletilmiştir. Kurulan tesiste; aktif çamur askıda katı madde konsantrasyonu (MLSS), çalışma süresi ve poli alüminyum klorür (PAK) ilavesinin akı üzerindeki etkisi pilot ölçekte incelenmiş, aynı zamanda alternatif membran temizleme stratejileri denenerek, bu yeni metotların geleneksel temizleme sistemi olan hava kabarcığı ile temizleme sistemiyle karşılaştırması yapılmıştır. Kurulan pilot tesiste; hava kabarcığı, ses dalgası, titreşim ve kimyasal yıkama yöntemi ile temizleme sistemleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu sistemlerin birden fazlası aynı anda denenerek, ses dalgası, titreşim ve hava kabarcığı, titreşim ve kimyasal yıkamanın birlikte olduğu kombine sistemler de denenmiştir. Bütün sistemlerde, düz plaka tip MBR membranı kullanılmıştır. Ultrasonik temizleme verimi ses yansıtın yüzeylerde (seramik, metal gibi) daha yüksek olduğundan ve ses dalgası 28 kHz frekansta membran modülüne zarar verdiğinden çalışmanın iki aylık kısmında polimerik membran modülü yerine seramik membran modülü yerleştirilip denenmiştir. Sonuç olarak, MLSS konsantrasyonunun 12000 mg/L'de tutulmasının akı üzerinde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Filtrasyon/bekletme süresi açısından ise 15 dakika filtrasyon 5 dakika bekletme süresinin daha etkili olduğu görülmüştür. Karışık endüstriyel atıksu olduğu için biyoreaktörde köpük oluşumu görülmüş ve PAK ilavesi ile hem köpük oluşumu engellenmiş hem de akıda iyileşmeler sağlanmıştır. Ayrıca membranlardaki tıkanıklık probleminde en etkili temizleme yönteminin hava kabarcığı, titreşim ve kimyasal yıkamanın birlikte kullanıldığı kombine sistem olduğu da kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Membran biyoreaktörler, tıkanıklık, endüstriyel atıksu, işletme optimizasyonu, alternatif temizleme metotları

OPERATIONAL OPTIMIZATION OF PILOT SCALE MEMBRANE BIOREACTOR TREATING MIXED INDUSTRIAL WASTEWATER AND DIFFERENT APPROACHES TO MEMBRANE SURFACE CLEANING SYSTEMS

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the optimum operation parameters of pilot scale membrane bioreactor treating mixed industrial wastewater. In the scope of this research, pilot scale plant was built in Gebze Organized

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 262 751 2210; e-mail / e-posta: sedat.soybay@massaritma.com

S. SOYBAY, İ. KOYUNCU

Industrial Zone Domestic and Industrial Wastewater Treatment Plant and operated. MLSS concentration, filtration/cleaning durations and effect of adding poly alumina chloride (PAC) on flux were investigated in pilot plant scale. At the same time, alternative membrane cleaning strategies were investigated and their effectiveness were compared to the traditional membrane cleaning method of air scouring. Air scouring, vibration, ultrasonic cleaning system, chemical enhanced backwash were selected as fouling control strategies. Alternative methods are selected as induced ultrasound, vibration, and combination of vibration with the traditional air scouring and chemical cleaning. As a control group, traditional air scouring is selected. For all methodologies flat sheet membranes are used. Since ceramic is one of the membrane materials having high sound-reflecting properties thus, high cleaning efficiency and tests indicated that ultrasonic cleaning at 28 kHz damages membranes, ceramic membranes are used for two months for ultrasound application. In conclusion, it is seen that MLSS concentration of 12000 mg/L gives expected results on flux. In the terms of filtration/ cleaning duration, it is seen that 15 min filtration and 5 min cleaning duration is more effective. Because of the mixed industrial wastewater, foaming is seen in MBR and both prevention of foaming and improvement of flux is seen with adding of PAC. This research also proved that the most efficient cleaning strategy to control membrane fouling is that the chemical enhanced backwash together with constantly induced air scouring and vibration.

Keywords: Membrane bioreactors, fouling, industrial wastewater, operation optimization, alternative membrane cleaning methods

1. GİRİŞ

Membran Biyoreaktör sistemleri, 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. Konvansiyonel biyolojik atıksu arıtma tesislerinin MBR'lara dönüştürülmesi ve son çökeltim havuzlarının iptali ile yüksek arıtılmış su kalitesi elde edilmekte ve tesisin kapasite artırımı yapılabilmesi mümkün olmaktadır. Konvansiyonel aktif çamur prosesinde havalandırma ve çökeltim tanklarından gerçekleşen biyokimyasal oksidasyon ve su/biyokütle ayrımı, MBR'ler de tek tankta gerçekleşmektedir [1].

Membran sistemlerinin çok yaygın kullanılmamasının en önemli sebebi membranların çok çabuk tıkanmasıdır. Tıkanmalar membran yüzeyinde veya membran gözenekleri içinde meydana gelebilmektedir. Membranlardaki tıkanma, birim membran alanı başına arıtılmış temiz su üretiminin azalmasına ve enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır [2, 3]. Tıkanmanın önlenmesi, geciktirilmesi veya giderilmesi amacı ile hava kabarcığıyla temizleme sistemi ve kimyasal temizleme sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler işletme maliyetini önemli ölçüde artırmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, membran biyoreaktörlerin daha yaygın ve ekonomik bir şekilde kullanımının sağlanabilmesi için hava kabarcığı, ses dalgası, titreşim ve kimyasal yıkamadan oluşan yeni temizleme yöntemlerinin araştırılmasıdır. Çalışmalar, değişken karakterli karışık endüstriyel nitelikli atıksular ile gerçekleştirilmiş, MBR modüllerinde tıkanmanın önlenmesi, geciktirilmesi, giderilmesi araştırılmış ve metotlar arasında akı değerleri ve optimum işletme parametrelerinin pilot ölçekte araştırılması hedeflenmiştir. Ayrıca MLSS konsantrasyonu, işletme süresi ve PAK ilavesinin akı üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Atıksu Arıtma Tesisi ve MBR Pilot Tesisi

MBR pilot tesis çalışmaları, Gebze Organize Sanayi Bölgesi (GOSB) Atıksu Arıtma Tesisinde (AAT) yapılmıştır GOSB AAT, Gebze Organize Sanayi Bölgesi bünyesinde bulunan farklı sektörlere ait 192 sanayi kuruluşunun atıksularını arıtmak için tasarlanmış, 2009 Yılında 13500 m² alan üzerine Kocaeli İli Çayırova mevkiinde kurulmuştur.

GOSB AAT'de arıtma sistemi, fiziksel ön arıtmanın yer aldığı ileri azot ve fosfor giderimli biyolojik aktif çamur sistemini esas almaktadır.

Tesis debisi 6400 m³/gün ve 2500 mg/L organik yükünde, 10 gün çamur yaşında ATV 131 E ve WEF Manual of Practice doğrultusunda tasarlanmıştır. Ön arıtma birimi olarak, ardışık kaba ve ince ızgaralar ile birlikte kum ve yağ tutucu vardır. Sonrasında dengeleme havuzu, kimyasal arıtma ve biyolojik arıtma birimleri gelmektedir. Ayrıca çamur yoğunlaştırma üniteleri (kimyasal ve biyolojik), çamur susuzlaştırma (dekantör), çamur kurutma

KARIŞIK ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITIMINDA PİLOT ÖLÇEKLİ MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE İŞLETME OPTİMİZASYONU VE MEMBRAN YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMLERİNE DEĞİŞİK YAKLAŞIMLAR

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 bulunmaktadır. Şekil 1’de GOSB AAT görünümü verilmiştir.



Şekil 1. GOSB AAT ve pilot tesis görünümü.

MBR Pilot tesiste aşağıda belirtilen dört farklı metot uygulanmış ve her bir metot için işletme optimizasyonu yapılmıştır [4]:

1. MBR-1: Hava kabarcıklarının kesme kuvvetinden yararlanılarak ve akının zaman zaman durdurulması ile membran yüzeyinde tıkanıklığın incelenmesi,
2. MBR-2: Ses dalgası verebilen mobil ultrasonik yıkama modülü kullanılarak ve akının zaman zaman durdurulması ile tıkanıklığın incelenmesi [5, 6]
3. MBR-3: Vibrasyon motoru ile kesintisiz titreşim verilerek, akının zaman zaman durdurulması ve hava kabarcığının kesme kuvveti etkisi ile birlikte tıkanıklığın 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 incelenmesi,

4 m³/gün kapasiteye sahip pilot tesiste 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 kendinden emişli sistem (airlift sistemi) kullanılarak sağlanmıştır. Her bir bağımsız reaktörden günlük çamur atımı için altyapı hazırlanmıştır. Tesise düzenli olarak GOSB arıtma tesisi dengeleme tankı çıkışı dağıtım yapısından 4 m³/gün atıksu beslenerek çalıştırılmıştır. Üretim koşullarına ve yağışlı havalara bağlı olarak; pilot tesis atıksu giriş KOİ değerinin 620-3527 mg/L arasında değiştiği izlenmiştir. MBR pilot tesiste membran modüllerinin ayrı tankta dizayn edilmesi ile reaktörde oksijen değeri düşük tutulmuş, yüksek oranda toplam azot ve toplam fosfor giderimi sağlanmıştır.

Pilot tesis reaktör bölümünde; 12 saat hidrolik bekleme süresi, 0,5-1 mg/L oksijen değeri, 12000-15000 mg/ L MLSS, 22-30 gün çamur yaşı koşullarında çalışılmıştır. MBR-1-2-3-4 ünitelerinin her birinden 40-60 L/gün çamur atımı gerçekleştirilmiştir. Membranlardan süzülen arıtılmış su, MBR pilot tesiste geri yıkama suyu olarak kullanılmak üzere 500 litrelik polietilen depoda toplanmıştır. Geri yıkama sırasında depolanan çıkış suyuna pH=10 olacak şekilde %0,25 sodyum hipoklorit ilave edilmiştir. PAK dozlaması başlangıçta reaktör bölümüne 400 g/gün olarak yapılmıştır. Daha sonra günlük dozlama yerine reaktöre 5 günde bir 2000 gram toplu dozlama yapılarak çalışılmıştır.

Çizelge 1’de MBR Pilot tesis işletme koşulları ve Şekil 2’de membran pilot tesis şematik ve genel görünümü verilmiştir.

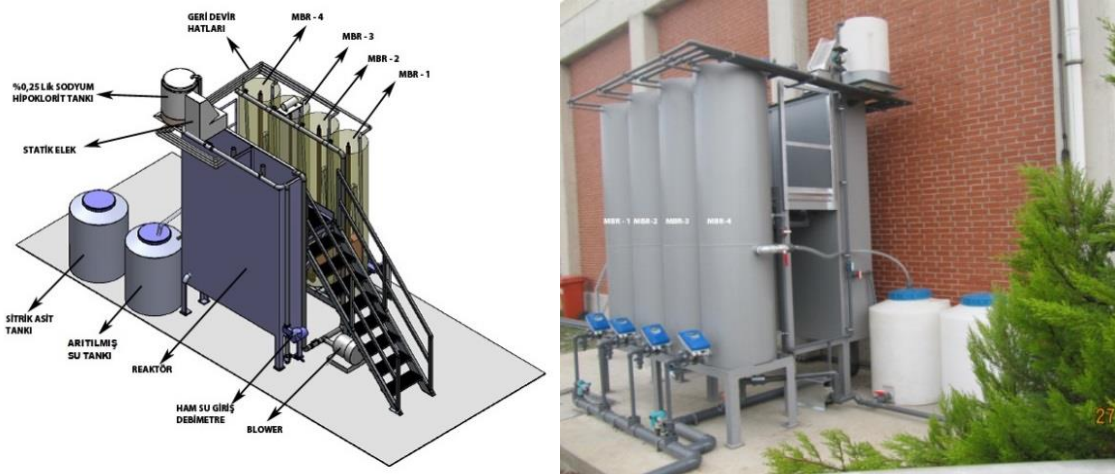
2.1.1. Sistemde kullanılan ekipmanlar ve aksesuarlar

MBR pilot tesisinde kullanılan ekipman ve aksesuarların detayları Çizelge 2’de verilmiştir. Pilot tesis çalışmalarında kullanılan polimerik ve seramik membran modüllerinin özellikleri ise Çizelge 3 ve 4’te verilmiştir.

S. SOYBAY, İ. KOYUNCU

Çizelge 1. MBR pilot tesis işletme koşulları

İşletme Koşulları	Değer
Aktif çamur katı madde konsantrasyonu	10-15 g/L (12000 mg/ L)
Uçucu katı madde konsantrasyonu	8-10,5 g/L (10500 mg/ L)
Kapasite	4000 L/gün
Geri devir	1:3
Çamur yaşı	22-30 gün (22 gün)
Hidrolik bekleme süresi	12 saat
PAK kullanımı	100 mg/L
NaClO kullanımı	%0,25
Etkin Temizlik Süreleri (Filtrasyon- etkin temizlik)	45-15 dk, 12-3 dk, 10- 5 dk, 15-5 dk (15 dk-5 dk)



Şekil 2. MBR pilot tesis şematik ve genel görünümü.

Çizelge 2. MBR Pilot tesis çalışmalarında kullanılan ekipman ve aksesuarlar

Açıklama	Teknik Özellik	Miktar
Polimerik membran modülü	MMF marka, poli eter sülfon (PES), düz plakalı tip	4 adet
Seramik membran modülü	ITN marka, seramik, düz plakalı tip	1 adet
Statik elek	Mass marka, ızgara açıklığı 1 mm	1 adet
Atıksu besleme pompası	Lowara marka, dalgıç tip	1 adet
Blower ve difüzör	FZP marka, 30 DH modeli ve Aquaflex	1 set
Yıkama kimyasalı pompası	Wilo, dalgıç tip	1 adet
Debimetre	Khrone marka	5 adet
Hava akışı transmitteri	Deltaohm marka, hotwire sabit tip	5 adet
Ultrasonik seviye ölçer	Siemens marka, ultrasonik tip	1 adet
Vibrasyon motoru	Vibrax marka, 4 g 50 Hz	2 adet
Ultrasonik yıkama modülü	Everest marka, mobile clean N	1 adet
Reaktör, platform ve tanklar	Mass marka, karbon çelik	1 set
Çamur transferi için kendinden emişli sistem	Mass marka	1 set
Kimyasal ve arıtılmış su tankları	Polietilen tank	2 adet
SCADA otomasyon sistemi	Uzaktan izleme ve kayıt	1 set

KARIŞIK ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITIMINDA PİLOT ÖLÇEKLİ MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE İŞLETME OPTİMİZASYONU VE MEMBRAN YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMLERİNE DEĞİŞİK YAKLAŞIMLAR

Çizelge 3. Pilot tesis çalışmalarında kullanılan membran modülü özellikleri

Açıklama	Teknik Özellik
Marka	MMF
Membran tipi	Düz Plakalı Tip
Membrane yüzey alanı (m ²)	4,3
Oksijen ihtiyacı (m ³ /h)	5
Akı (L/m ² ·saat)	15 - 25
İşletme basıncı (mbar)	20 – 250
Geri yıkama basıncı (mbar)	< 50
Sıcaklık aralığı (°C)	5 – 50
pH (geri yıkama için)	2 – 11

Çizelge 4. 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
Maksimum debi (L/sa)	280
Emme basıncı (bar)	-0,7 bar
Geri yıkama basıncı (bar)	-1,5 bar
pH (geri yıkama için)	2-11
Akı (L/m ² ·saat)	15-25
İşletme basıncı (mbar)	20-250

2.2. Membran Tıkanma Analizi

Çalışma kapsamında membran tıkanıklık sebeplerinin daha detaylı incelenebilmesi için MBR-1 ve MBR-4 tanklarında yer alan membran modülleri üzerinde otopsi çalışması yapılmıştır. Otopsi kapsamında modüllerin fiziksel incelenmesi, taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM), enerji dağılımlı x-ışınları spektrofotometrisi analizi (EDS), konfokal mikroskop analizi ve indüktif olarak eşleştirilmiş plazma (ICP) analizleri yapılmıştır.

2.3. 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 çalışması süresince, değişken debi ve ham atıksu karakteristik özelliği bulunan tesiste giriş ve çıkış suyunda GOSB atıksu arıtma tesisi laboratuvarında ölçümler yapılmıştır. Ölçümü yapılan parametrelerin analiz metodları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır:

Ölçümü yapılan parametrelerden kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) DIN 38409-H41-H44 metodu ile Hach Lange (Ht 200S-Dr5000) cihazı ile LCK 014, LCK 114, LCK 314, LCK 1414, LCK 514 ve LCK 614 nolu kitler kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçümü yapılan parametrelerden biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI) SM 5210 B metodu ile inkübatör, oxitop seti ile GOSB atıksu arıtma tesisi laboratuvarında ölçülmüştür.

Ölçümü yapılan parametrelerden askıda katı madde konsantrasyonu (AKM) SM 2540 D metodu ile askıda katı madde süzme seti ile GOSB atıksu arıtma tesisi laboratuvarında ölçülmüştür.

Ölçümü yapılan parametrelerden toplam azot (TN) EN 1189 metodu ile Hach Lange (Ht 200S-Dr5000) cihazı ile LCK 138, LCK 238 ve LCK 338 nolu kitler kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçümü yapılan parametrelerden toplam fosfor (TP) EN ISO 11905-1 metodu ile Hach Lange (Ht 200S-Dr5000) cihazı ile LCK 138, LCK 238 ve LCK 338 nolu kitler kullanılarak ölçülmüştür.

S. SOYBAY, İ. KOYUNCU

Ölçümü yapılan parametrelerden alüminyum (Al) EN ISO 12020 metodu ile Hach Lange (Ht 200S-Dr5000) cihazı ile LCK 301 nolu kit kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçümü yapılan parametrelerden nikel (Ni) EN ISO 11885 metodu ile Hach Lange (Ht 200S-Dr5000) cihazı ile LCK 337 ve LCK 537 nolu kitler kullanılarak ölçülmüştür.

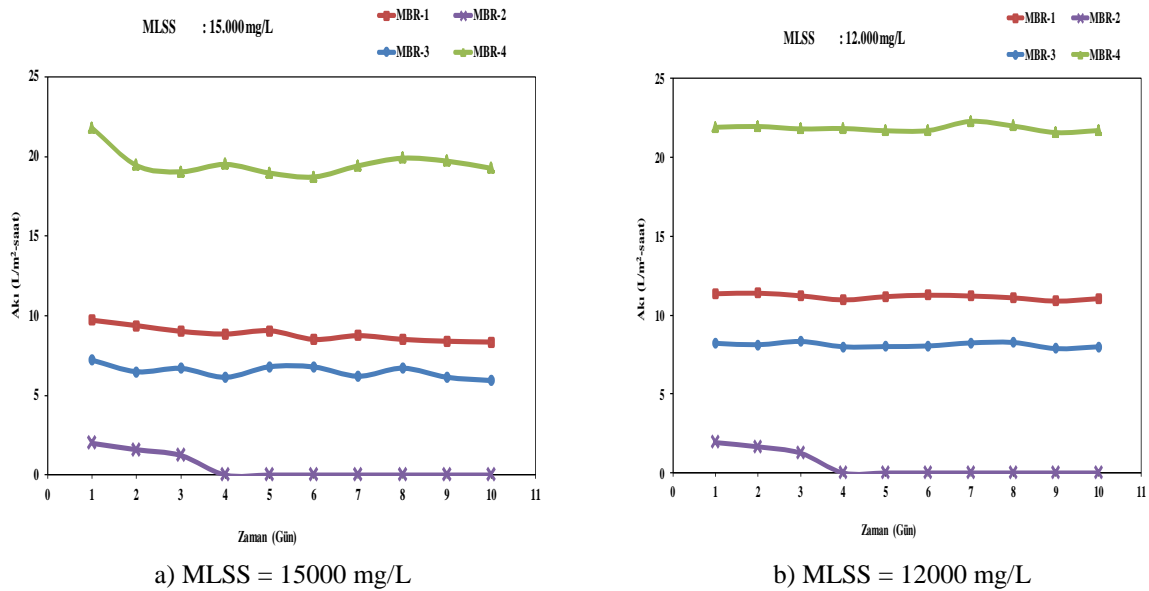
Ölçümü yapılan parametrelerden bakiye klor (Cl) EN ISO 10304-1 metodu ile Hach Lange (Ht 200S-Dr5000) cihazı ile LCK 311 nolu kit kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçümü yapılan parametrelerden mangan (Mn) EN ISO 11885 metodu ile Hach Lange (Ht 200S-Dr5000) cihazı ile LCW 032 nolu kit kullanılarak ölçülmüştür.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. MLSS Konsantrasyonunun Akıya Etkisi

MBR sisteminde MLSS konsantrasyonunun etkisini incelemek üzere, tüm reaktörlerde 2 farklı MLSS konsantrasyonu ile çalışılmıştır. Çalışılan MLSS konsantrasyonlarında elde edilen akı değerleri Şekil 3'te verilmiştir. 15.000 mg/l MLSS çalışmasında sistemde çamur köpürmesi meydana gelmiştir. Her bir MBR modülünden 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. 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. MLSS konsantrasyonunun 15.000 mg/L'den 12.000 mg/L değerlerine çekilmesi ile MBR-1, MBR-3 ve MBR-4 sistemindeki akı değerinde sırası ile %26, %25 ve %11 artış görülmüştür. Aynı zamanda 15.000 mg/L MLSS konsantrasyonundaki çalışmalar sırasında oluşan çamur köpüğü gibi olumsuzluklar giderilmiştir. Bu nedenle uzun süreli çalışmaların 12.000 mg/L MLSS konsantrasyonu ve SRT: 22 gün koşullarında sürdürülmesine karar verilmiştir.



Şekil 3. İki farklı MLSS konsantrasyonunda elde edilen akı değerleri

3.2. Çalışma Süresinin Akıya Etkisi

MBR sistemlerinde etkin temizlik sürelerinin önemi büyüktür. Bu nedenle farklı temizlik metodlarının uygulandığı sistemde 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

KARIŞIK ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITIMINDA PİLOT ÖLÇEKLİ MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE İŞLETME OPTİMİZASYONU VE MEMBRAN YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMLERİNE DEĞİŞİK YAKLAŞIMLAR

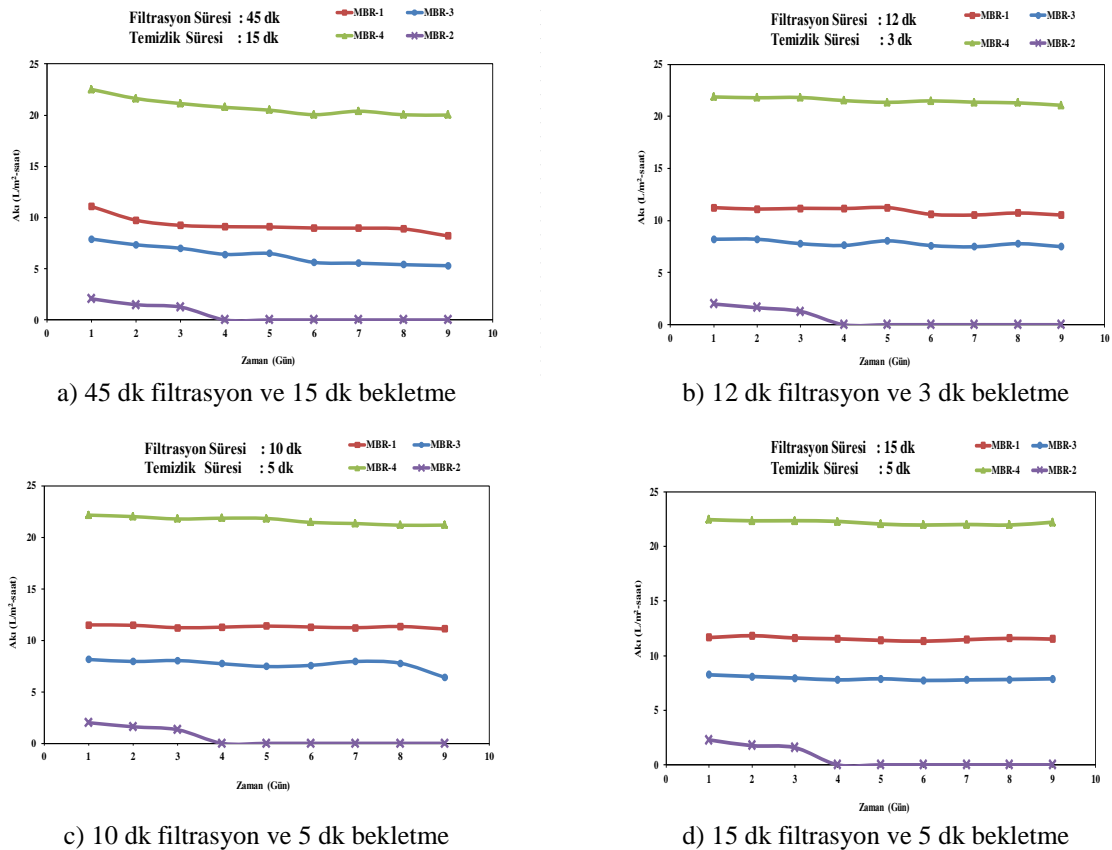
saatte 12 dk, 15 dk ve 20 dk zaman aralıkları ile deşarj kesintiye uğratılmıştır. Bir saatte uygulanan deşarj kesintileri parçalara bölünerek sırası ile 45 dakika filtrasyon-15 dakika etkin temizlik, 12 dakika filtrasyon-3 dakika etkin temizlik, 10 dakika filtrasyon-5 dakika etkin temizlik ve 15 dakika filtrasyon-5 dakika etkin temizlik şeklinde uygulanmıştır. Etkin temizlik sürelerinin akıya olan etkisi sırası ile Şekil 4’te verilmiştir.

Denenen dört farklı temizlik süresinde de MBR-2 sisteminin ilk üç gün sonunda tıkandığı görülmüş ve MBR-2 sisteminden veri alınamamıştır. MBR-1, MBR-3 ve MBR-4 sisteminde yapılan temizlik çalışmalarında, 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. 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.

3.3. Poli Alüminyum Klorür (PAK) İlavesinin Akıya Etkisi

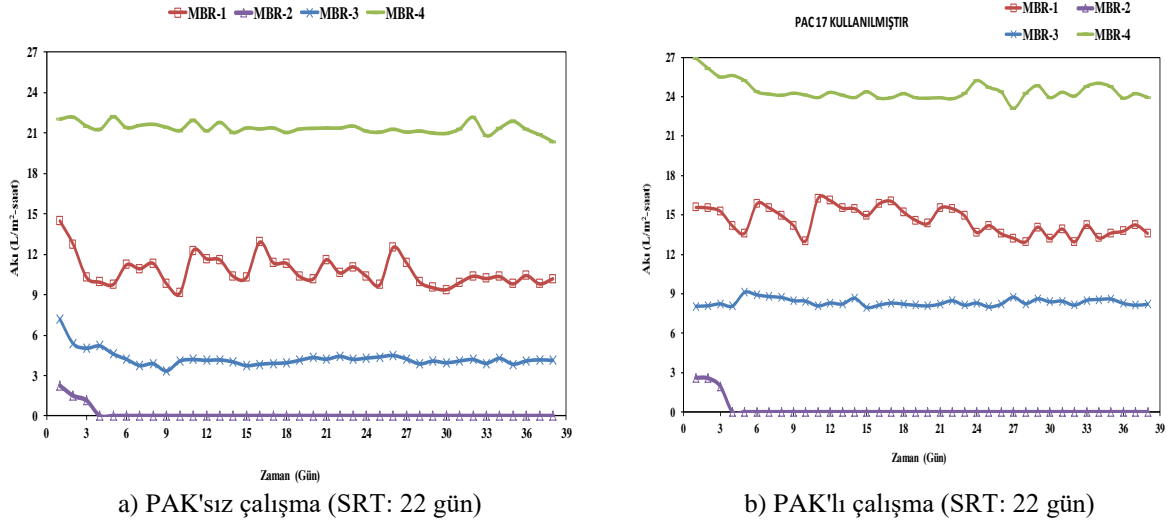
Deneysel çalışmalarda, çoğu zaman atıksu karakterinde değişkenlikler ve atıksu içeriğinde fosfor, yüzey aktif madde ve toksisite varlığı ve yağ ve gres gibi olumsuzluklar olduğu gözlenmiştir. Tıkanma sıklığı, temizlik zorluğu ve akı değerlerinin düşük olması GOSB endüstriyel atıksu karakterinin sürekli değişkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacı ile PAK kimyasalı kullanılmıştır. MBR-1, MBR-2, MBR-3 ve MBR-4 sistemlerinde Şekil 5’te PAK’sız ve PAK’lı çalışma akı değerleri verilmiştir.

Şekil 5a’da PAK 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. Bu değerlere göre sistemde kullanılan membran modüllerin akı aralığının altında kaldığı gözlenmiştir. Şekil 5b’de PAK kullanımı sonucunda akı değerleri sırası ile MBR-1’de 14,5 L/m²·saat, MBR-3’de 8,7 L/m²·saat ve MBR-4’de 24,4 L/m²·saat olarak tespit edilmiştir. PAK ilavesi akı değerlerini artırmış ve reaktördeki köpük problemini önlemiştir. PAK kullanımı süresince MBR pilot tesiste köpürme sorunu ve periyodik temizlik ihtiyacı ortadan kalkmıştır.



Şekil 4. Filtrasyon ve bekletme sürelerinin akıya olan etkisi.

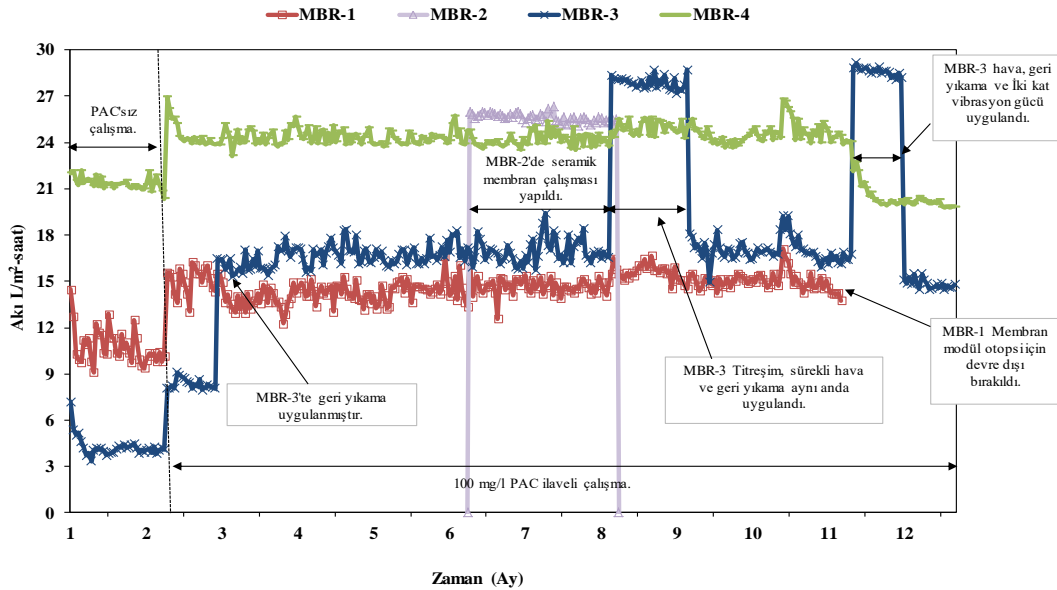
S. SOYBAY, İ. KOYUNCU



Şekil 5. PAK ilavesinin akıya olan etkisi

3.4. Tıkanmayı Azaltmaya Yönelik Çalışmalarda Uzun Süreli Akı Değerleri Mukayesesi

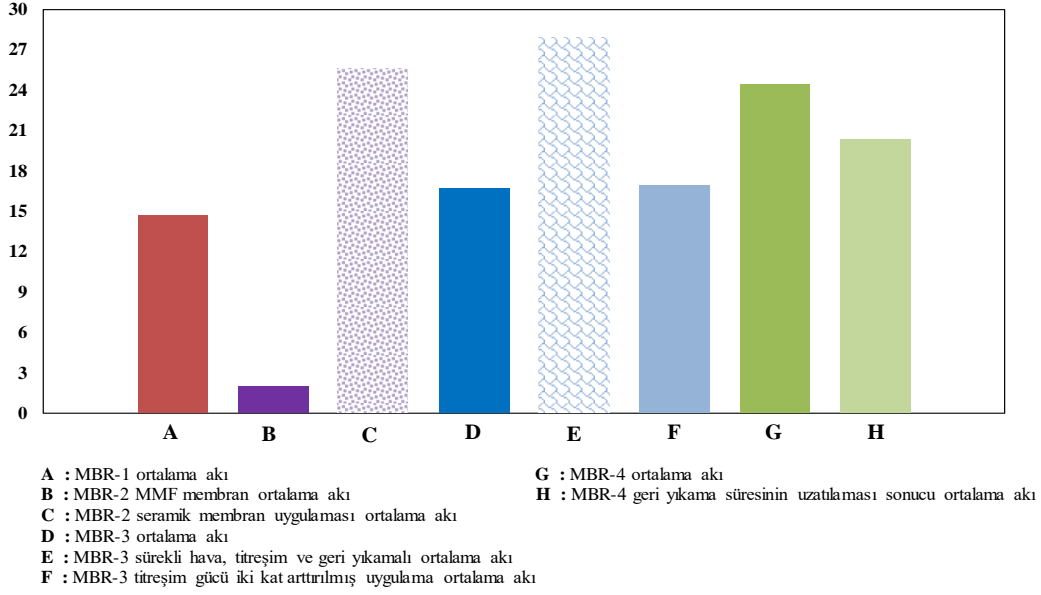
Tüm çalışmalar; 12000 mg/l askıda katı madde konsantrasyonu, 22 gün çamur yaşı, 1: 3 geri devir oranı ve PAK dozlaması yapılarak sürdürülmüştür. Bu çalışmalarda MBR-1'in etkin temizlik metodu referans metot olarak alınmıştır. MBR-2 sisteminde PES malzemeden düz plaka tip membran modülde uygulanan ses dalgası ile verim alınmadığından veri bulunmamaktadır. Ses dalgası ile temizleme metodu iki aylık dönemde seramik membran modülü kullanılarak çalıştırılmıştır. Şekil 6'da MBR'lerde çalışma süresince elde edilen uzun süreli akı değerlerinin zamana göre değişimi ve Şekil 7'de ise MBR'lerde çalışma süresince elde edilen ortalama akı değerleri gösterilmiştir. 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-1 sistemine göre akı mukayesesi yapıldığında, MBR-2 seramik membran 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 %13,6 daha yüksektir. MBR-4 sisteminden elde edilen akı değeri MBR-1'e göre %66 daha yüksektir.



Şekil 6. Uzun süreli akı değerleri (SRT: 22 gün)

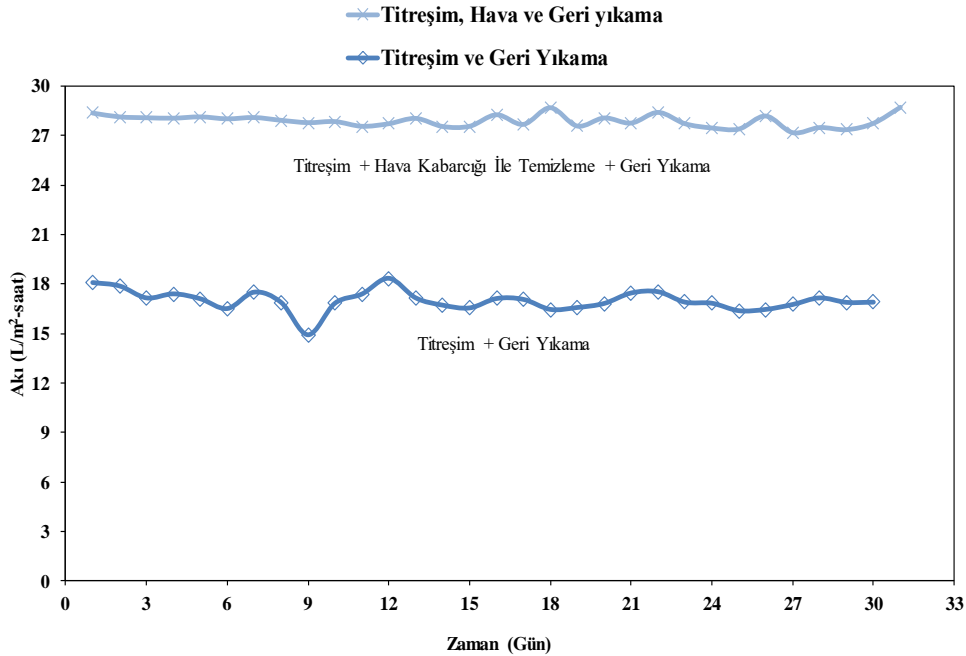
KARIŞIK ENDÜSTİYEL ATIKSU ARITIMINDA PİLOT ÖLÇEKLİ MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE İŞLETME OPTİMİZASYONU VE MEMBRAN YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMLERİNE DEĞİŞİK YAKLAŞIMLAR

ORTALAMA AKI DEĞERLERİ



Şekil 7. Pilot tesis ortalama akı değerleri

MBR-3 sisteminde 4 m³/saat hava kabarcığı, vibrasyon ve geri yıkama uygulamasının (MBR-1-3-4 kombine sistem) otuz günlük akı değeri ve sistemde vibrasyon, geri yıkama ve sadece 5 dakikalık akının kesilmesi ile etkin temizlik zamanında 4 m³/saat hava akısının devrede olduğu uygulamanın akı değeri kıyaslaması Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8’de görüldüğü gibi sisteme sürekli 4 m³/saat hava akısı verilmesi ve titreşimin beraber uygulanması sonucu akı değeri %67 oranında artmıştır.



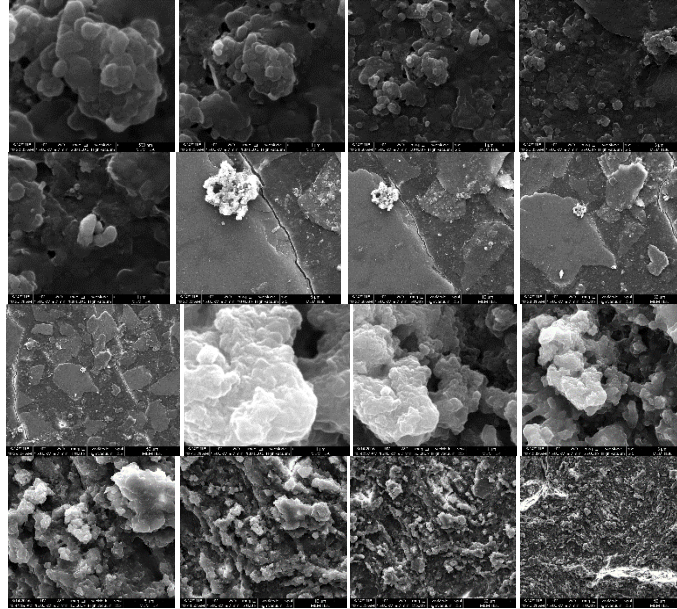
Şekil 8. MBR-3’te 4 m³/saat sürekli hava akısı verilmesi sonucu akı mukayesesi (100 mg/L PAK ilaveli çalışma, SRT: 22 gün)

3.5. Membran Tıkanma Analizi

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 9'da 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.

Alınan SEM numuneleri yüzeylerinde EDS analizi ile madde tayini yapılmış ve sonuçlar, Şekil 10'da verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en temel kirleticilerin karbon, alüminyum, silisyum ve fosfor; ikincil kirletici olarak da potasyum, azot, kalsiyum, klor, magnezyum ve titanyum olduğu bulunmuştur. Klorun bulunma sebebi MBR-4 tankında %0,25'lik sodyum hipoklorit (NaOCl) ile geri yıkama yapılmasıdır. Elementel analiz haritalarında magnezyum, alüminyum, silisyum, titanyum ve potasyum elementlerinin aynı bölgelerde iç içe bulunduğu görülmektedir. Bu veri değerlendirildiğinde kirlilik kaynakları olarak GOSB'nde bulunan boya, kozmetik, gıda ve ilaç gibi farklı sektörler sıralanabilir.

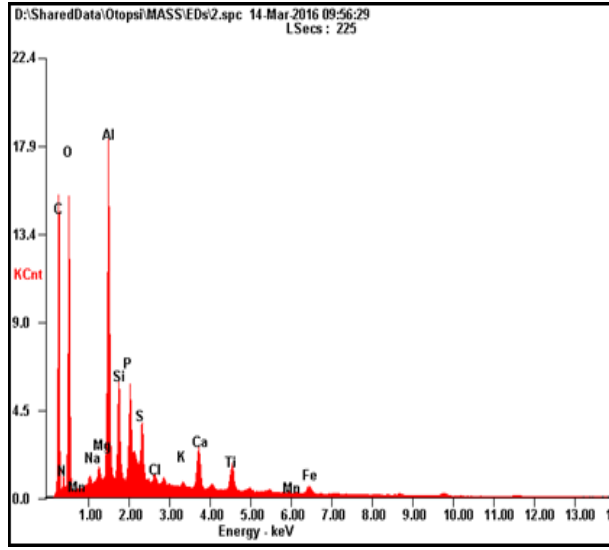


Şekil 9. MBR-1 membran yüzeyinin 200.000X, 100.000X, 50.000X, 25.000X, 10.000X, 5.000X, 2.500X ve 1.000X büyütülmüş SEM görüntüleri

3.6. Arıtılmış Su Kalitesi

MBR sisteminde on iki aylık çalışma boyunca GOSB AAT laboratuvarında MBR ve GOSB atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış suyunda, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ mg/L), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅ mg/L), askıda katı madde (AKM mg/L), toplam azot (T.N.mg/L), toplam fosfor (T.P.mg/L), alüminyum (Al mg/L), nikel (Ni mg/L), bakiye klor (mg/L) ve mangan (Mn mg/L) ölçümleri yapılmıştır. Çizelge 5'te GOSB AAT giriş suyu ve MBR pilot tesis çıkış suyu kalitesi verilmiştir. 4 farklı MBR işletilmesinde elde edilen arıtılmış su değerleri hemen hemen aynı olmuştur. Buna göre, MBR çıkış suyu kalitesi, azot giderimli konvansiyonel atıksu arıtma tesisi çıkışına göre çok daha iyi olmuştur.

KARIŞIK ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITIMINDA PİLOT ÖLÇEKLİ MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE İŞLETME OPTİMİZASYONU VE MEMBRAN YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMLERİNE DEĞİŞİK YAKLAŞIMLAR



Element	Ağırlıkça Oran %	Atom Sayısı Olarak Oran (%)
CK	39,25	51,00
NK	4,99	5,56
OK	32,21	31,42
NaK	0,41	0,28
MgK	0,56	0,36
AlK	9,28	5,37
SiK	3,08	1,71
PK	2,99	1,51
SK	1,93	0,94
ClK	0,35	0,15
KK	0,15	0,06
CaK	1,92	0,75
TiK	1,75	0,57
MnK	0,09	0,03
FeK	1,04	0,29

Şekil 10. MBR-1 Membran yüzeyinden 1000X büyütmeyle alınmış haritalamaya ait EDS sonuçları

Çizelge 5. GOSB AAT giriş suyu ve MBR pilot tesis çıkış suyu kalitesi

Parametre	GOSB AAT GİRİŞ SUYU			MBR PİLOT TESİS ÇIKIŞ SUYU		
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama
KOİ (mg/L)	608	3537	1602	23	56	34
BOİ ₅ (mg/L)	233	818	527	1	6	3
AKM (mg/L)	110	980	340	<2	<2	<2
T.N (mg/L)	9	88	45	<2	<2	<2
TP (mg/L)	1,14	14	5,4	<0,2	<0,2	<0,2
Al (mg/L)	0,06	1,4	0,9	0,05	0,14	0,1
Ni (mg/L)	0,14	1,59	0,57	0,06	0,21	0,13
Cl (mg/L)	-	-	-	-	-	<0,03
Mn (mg/L)	-	-	0,29	-	-	0,183

4. SONUÇLAR

Organize sanayilerde oluşan endüstriyel atıksular çok farklı karakterde oldukları için arıtılma performansları da çok farklı olabilmektedir. Bu tür atıksuların arıtılabilirlik çalışmalarında pilot ölçekli çalışmaların yapılması çok önemlidir. GOSB AAT de benzer özellikte olup atıksu geri kazanım çalışmaları için MBR pilot tesis işletilmiştir. Uzun süreli işletme öncesinde optimum işletme parametrelerinin belirlenmesi için bir çalışma yapılmıştır. MLSS konsantrasyonu, çalışma süresi ve PAK ilavesinin akı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna göre, çalışılan membran türü için 12000 mg/L MLSS değerinin ve 15 dakika filtrasyon, 5 dakika bekletme değerinde çalışılmasının membran akı üzerinde çok etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmadan çıkarılan diğer bir en önemli sonuç ise endüstriyel atıksularla MBR uygulamalarında koagulant (PAK) kullanımının işletme verimine olumlu katkılar sağlamasıdır. Karışık endüstriyel atıksu olduğu için biyoreaktörde köpük oluşumu görülmüş ve PAK ilavesi ile hem bu köpük oluşumu engellenmiş hem de akıda iyileşmeler görülmüştür.

Bir yıl boyunca GOSB AAT’nde işletilen pilot tesisten alınan verilere göre en etkili temizleme sistemi; MBR-3 sisteminde sürekli 4 m³/saat hava akısı, vibrasyon ve %25’lik NaClO ile pH: 10 olacak şekilde hazırlanan geri yıkama suyu ile yapılan yıkamanın aynı anda uygulandığı (MBR-1-3-4 kombine sistem) koşullarda sağlanmıştır. Seramik membrana ses dalgasının etki ettiği görülmüştür. Bu konu üzerine gelecekte daha detaylı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

S. SOYBAY, İ. KOYUNCU

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Mass Arıtma Sistemleri İnş. San ve Tic. A.Ş.'nin sponsorluğunda gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] ARIKAN, O.A., “TÜBİTAK Araştırma Projesi Gelişme Raporu- 113Y341”, ITU, İstanbul, 1–231, 2015.
- [2] CHANG, I.S., BAG, S.O., LEE, C.H. “Effects of Membrane Fouling on Solute Rejection during Membrane Filtration of Activated Sludge”, *Process Biochem.*, 36, 855–860, 2001.
- [3] LE-CLECH, P., CHEN, V., FANE, T.A.G., “Fouling in Membrane Bioreactors Used in wastewater Treatment”, *J. Memb. Sci.*, 284, 17–53, 2006.
- [4] CHEN, J.C., LI, Q., ELIMELECH, M., “In Situ Monitoring Techniques for Concentration Polarization and fouling Phenomena in Membrane Filtration”, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 107, 83–108, 2004.
- [5] LAMMINEN, M.O., WALKER, H.W., WEAVERS, L.K., “Mechanisms and factors influencing the ultrasonic cleaning of particle-fouled ceramic membranes”, *J. Memb. Sci.*, 237, 1–2, 213–223, 2004.
- [6] KOCAMEMI, B.A., GURE, N., SARIALIOGLU, F., KUZHEY, C., SAATCI, A.M., “Application of Low Intensity Ultrasound to Enhance Biological Phosphorous Removal”, *ICOCEE Cappadocia 2015, Kapadokya, Türkiye*, 2015.