T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

KARIŞIK ENDÜSTRİYEL ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİ (OSB) ATIKSULARININ MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) SİSTEMİ İLE ARITILMASI: KOSB ÖRNEĞİ

Hazırlayan
Mehmet Mükerrem RENÇBER

Danışman
Doç. Dr. Oktay ÖZKAN

Yüksek Lisans Tezi

Ekim 2017
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

KARIŞIK ENDÜSTRİYEL ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİ (OSB) ATIKSULARININ MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) SİSTEMİ İLE ARITILMASI: KOSB ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Mehmet Mükerrem RENÇBER

Danışman
Doç. Dr. Oktay ÖZKAN

Bu çalışma; Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 114Y521 numaralı proje ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2017- 7118 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ekim 2017
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

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

Mehmet Mükerrem RENÇBER

YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

Karışık Endüstriyel OSB Atık Sularının Membran Biyoreaktör (MBR) Sistemi İle Arıtılması, KOSB Örneği adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan	**Danışman**
Mehmet Mükerrem RENÇBER	Doç. Dr. Oktay ÖZKAN

Çevre Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Yalçın Şevki YILDIZ

Doç. Dr. Oktay ÖZKAN danışmanlığında **Mehmet Mükerrem RENÇBER** tarafından hazırlanan **"Karışık endüstriyel OSB atık sularının Membran Biyoreaktör (MBR) Sistemi İle Arıtılması, KOSB Örneği"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

30/10/2017

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Oktay ÖZKAN .....

Üye : Prof. Dr. İsmail KOYUNCU .....

Üye : Doç. Dr. Merve OĞUZ .....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun ……...… tarih ve ……..…… sayılı kararı ile onaylanmıştır.

……. /……../ ……

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

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

Deneysel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı Ar. Gör. İbrahim UYANIK'a ve aynı laboratuvarı paylaştığımız çalışma arkadaşlarım Hasan EKRİKAYA, Özlem ÖZCAN ve Mahmut OLGUNHARPUTLU'ya teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na (Proje No: 114Y521) ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje Kodu: FYL-2017-7118) teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Mükerrem RENÇBER

Kayseri, EKİM 2017

KARIŞIK ENDÜSTRİYEL OSB ATIK SULARININ MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) SİSTEMİ İLE ARITILMASI, KOSB ÖRNEĞİ

Mehmet Mükerrem RENÇBER

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

ÖZET

Membran Biyoreaktör (MBR) sistemi, geleneksel arıtma yöntemlerinin aksine düşük çamur üretimi alandan tasarruf ve yüksek giderim verimleri gibi avantajlarından ötürü günümüzde konvansiyonel arıtma sistemlerine alternatif olarak giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada ise organize sanayi bölgeleri karışık endüstriyel atıksularının temel parametreler, işletme şartları ve giderim verimleri açısından, Membran Biyoreaktör (MBR) sistemi ile arıtılması amaçlanmıştır. Tez çalışmasında polivinilidinflorür (PVDF) materyalinden yapılmış 0.24µ gözenek çapına sahip düz plaka mikrofiltrasyon (MF) membran modülü MBR sisteminde 3 ay boyunca işletilmiştir. İşletme sonunda MBR sistemindeki temel parametreler ile metal ve mineral giderim verimleri konvansiyonel arıtma tesisi ile karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Ayrıca MBR çıkış suları yeniden kullanım açısından da değerlendirilmiştir. MBR sistemi farklı hidrolik bekletme süreleri (HRT) ve çamur yaşları (SRT) değerleri ile işletilmiş olup SRT'de 40 ve 20 günlük çamur yaşları, 8 g/L'den 13 g/L'ye kadar MLSS değerleri ve ortalama 11,5 L/m^2.sa (LMH) akı değeri ile çalışılmıştır. Tüm işletim koşullarında %90'ın üzerinde KOİ giderim verimi elde edilmiştir ve KOİ değerinin çoğunlukla 50 mg/l'nin altında olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: MBR, MF, karışık endüstriyel atıksu, OSB

TREATMENT OF MIXED INDUSTRIAL OIZ WASTE WATER BY MEMBRAN BIOREACTOR (MBR) SYSTEM, CASE STUDY

Mehmet Mükerrem RENÇBER

Erciyes University, Gradute School of Natural and Applied Sciences
M.Sc. Thesis, October, 2017
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Oktay ÖZKAN

ABSTRACT

Membrane bioreactor (MBR) system is increasingly becoming an alternative to conventional treatment systems today due to advantages such as low sludge production, saving area and high removal efficiencies, compared to conventional treatment methods. In this study, it is aimed to treat wastewater of organized industrial zones (OIZs) with MBR system in terms of basic parameters, operating conditions and recovery efficiency. In this thesis study, flat sheet microfiltration (MF) membrane module with polyvinylidene fluoride (PVDF) material with a pore diameter of 0.24µ was operated in the MBR system for 3 months. During the operation, the basic parameters and metals and minerals removal efficiency were evaluated. In addition MBR effluent was evaluated in terms of reusing. MBR system was operated with different hydraulic retention time (HRT) and sludge retention time (SRT) values. Operational parameters of MBR were with SRT of 40 and 20 days, mixed liquor suspended solids (MLSS) values of 8 g/L of 13 g/L and average of 11,5 LMH flux values. At all operational conditions have over 90% COD removal efficiency were obtained and the COD value was often below 50 mg/L.

Keywords: MBR, MF, mixed industrial wastewater, OIZ

İÇİNDEKİLER

KARIŞIK ENDÜSTRİYEL OSB ATIK SULARININ MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) SİSTEMİ İLE ARITILMASI, KOSB ÖRNEĞİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii

YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI iii

KABUL ONAY iv

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR v

ÖZET vi

ABSTRACT vii

İÇİNDEKİLER viii

TABLOLAR LİSTESİ x

ŞEKİLLER LİSTESİ xi

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

1.1. MBR Sistemlerinin Genel Tanıtımı 3

1.1.1 MBR Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi 4

1.1.2. MBR Konfigürasyonları 5

1.1.3. MBR Sisteminin Konvansiyonel Sistemlerden Farkı 6

1.1.4. Membran Tıkanması 7

1.1.5 Membran Temizliği 11

1.2. Organize Sanayi Bölgeleri ve KOSB 13

1.2.1. KOSB atıksu karakterizasyonu ve AAT 15

1.3. MBR Sistemi İle Endüstriyel Atıksu Arıtımı 17

2. BÖLÜM

MATERYAL METOD

2.1. Kullanılan Ham Atıksuyun Karakterizasyonu 20

2.2 Laboratuvar Ölçekli Batık MBR Sistemi 22

2.3. Analiz Yöntemleri 26

2.4. Membranların Tanıtılması ve Modülün Hazırlanışı 28

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. SRT'nin Arıtma Verimine Etkisi..... 30

3.2. Membran Alanının Arıtma Verimine Etkisi 32

3.3. MBR Sistemi İle Ağır Metal ve Mineral Giderimi..... 36

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç 40

4.2. Öneriler 41

KAYNAKLAR 43

ÖZGEÇMİŞ..... 49

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Batık MBR sistemlerinin işletme değerleri 6
Tablo 2. KOSB sektöre göre firma sayıları 14
Tablo 3. Ülkelere ve Sektörlere Göre Su Kullanımı 18
Tablo 4. Kayseri OSB AAT temel parametre verimleri 20
Tablo 5. Kayseri OSB AAT giriş parametre değerleri 21
Tablo 6. Kayseri OSB diğer kirletici parametre sonuçları 21
Tablo 7. MBR otomasyon işletme şartları 25
Tablo 8. MBR işletme koşulları 30
Tablo 9. MBR'de İşletilen Modüllerin SRT Değerleri 31
Tablo 10. MBR giriş ve çıkış atıksuyu analiz sonuçları 31
Tablo 11. KOSB AAT metal giriş çıkış değerleri 37
Tablo 12. MBR-MF modülü için metal-mineral giderimleri 37
Tablo 13. Sulama sularının olabilecek maksimum ağır metal konsantrasyonları 38
Tablo 14. Metal konsantrasyonlarının sulama değerleri ile karşılaştırılması 39

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Genel MBR Sistemi 3
Şekil 2. Membran konfigürasyonu 5
Şekil 3. Membranların SEM görüntüleri a) temizlenmiş membran, b) kirli membran. 8
Şekil 4. Çeşitli membran tıkanma mekanizmaları..... 8
Şekil 5. Tıkanmaya etki eden koşullar 9
Şekil 6. Membranları fiziksel temizleme yöntemleri. 12
Şekil 7. Bölgelere göre OSB dağılımı 13
Şekil 8. KOSB atıksu arıtma tesisi 16
Şekil 9. KOSB'deki firma sayılarına göre oluşturulan grafik 16
Şekil 10. KOSB AAT temel parametrelerdeki giderim verimleri..... 17
Şekil 11. Laboratuvar ölçekli MBR sistemi 23
Şekil 12. Membran biyoreaktör..... 23
Şekil 13. MBR SCADA sistemi 24
Şekil 14. MBR sistemi akım şeması..... 25
Şekil 15. SCADA işletim parametreleri kontrol ekranı 26
Şekil 16. Membran modülünün hazırlanışı 29
Şekil 17. MF modülü akı-basınç değişimi..... 33
Şekil 18. MF modüllerinin temizlik öncesi ve sonrası durumları 34
Şekil 19. MF modülü KOİ değişimleri..... 34
Şekil 20. MF modülü MLSS değişimi..... 35
Şekil 21. MF modülü pH değişimi 36

GİRİŞ

Son yıllarda artarak devam eden sanayileşme ve küresel iklim değişiklikleri sonucunda hem su kaynakları azalmakta hem de suya olan ihtiyaç artmaktadır. Bu durum mevcut su kaynaklarının korunması ve oluşan atıksuların yeniden kullanımına yönelik uygulamaları zorunlu hale getirtmektedir.

Atıksuların arıtılması sonucunda elde edilen çıkış suları uygun kriterleri sağladığı takdirde kentsel, endüstriyel ve zirai alanlarda kullanılabilmektedir. Kentsel kullanıma park ve spor tesisleri ve yangın söndürme suları olarak kullanım, endüstriyel kullanıma proses ve soğutma suları, zirai kullanıma ise tarımsal sulama örnek olarak verilebilir. Ülkemizin bir tarım ülkesi olduğu gerçeği düşünüldüğünde tarımsal sulamada arıtılmış suyun kullanılması durumunda ciddi bir su tasarrufu sağlanacağı ortadadır. Bu bağlamda mevcutta bulunan arıtma tesisleri ile rekabet edecek ve sulama suyu kriterlerinde çıkış suyu sağlayacak arıtma teknolojilerine ihtiyaç vardır. Son 20 yıl içinde geliştirilen membran biyoreaktör (MBR) sistemleri sağladıkları çıkış suyu kalitesi bakımından bu teknolojiye verilebilecek en önemli örneklerden biridir. MBR sistemlerinin çıkış suları sadece tarımsal sulamada değil aynı zamanda endüstriyel alanlarda proses suyu veya yukarda belirtilen alanlarda da kullanılabilmektedir.

MBR sistemleri son çöktürme ünitesi yerine membran filtrasyon ünitelerini kullanır. Membran teknolojisi klasik aktif çamur proseslerinin aksine daha iyi dezenfeksiyon kabiliyeti, yüksek hacimsel yükleme, daha az çamur üretimi, artan nüfus değişikliğine karşı proses esnekliği, ve geliştirilmiş nitrifikasyon prosesi ile oldukça etkili olduğunu kanıtlamıştır.

Organik ve inorganik kirleticilerin yanı sıra atıksulardan, mikroorganizmaların uzaklaştırılması ve daha kompakt bir sistem olması nedeniyle artan bir popülarite kazanmıştır. Çevre ile ilgili ulusal ve uluslararası yasal düzenlemelerin sonucunda son

yıllarda artan suyun yeniden kullanımı girişimleri MBR teknolojisi için yeni bir atılım olmuştur.

MBR sistemleri konvansiyonel sistemlere göre daha yüksek MLSS konsantrasyonunda rahatlıkla çalıştırılabilmektedir. Bu durum daha az çamur üretimi ve daha düşük yatırım maliyetiyle birlikte reaktör hacmi ve ilk yatırım maliyetinde azalma anlamına gelir. Biyokütle ayrımı ağırlıkla çökelme işleminden bağımsız olup mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon ünitelerinde gerçekleştiği için aktif çamurun çökelebilme son çökeltim prosesine ihtiyaç duyulmayıp çamur kabarması ve filementüs bakterilerinin sebep olduğu büyümeden kaynaklanan çökeltim problemleri söz konusu olamaz. MBR sistemlerinde 15.000- 20.000 mg/L MLSS konsantrasyonlarında bile rahatlıkla çalışılabilir ve sisteme fazlaca organik yükleme yapılabilir. Bu sayede nitrifikasyon süreci daha iyi işler. Ayrıca toksik organik maddelerin işletme problemlerine neden olan engelleyici etkileri ile de daha az karşılaşılır. Çünkü MBR'lerde konvansiyonel aktif çamur sistemine göre daha fazla çamur yaşı (SRT) ile çalışılabilir. Yine yüksek SRT değerleri, oluşan biyokütle miktarını da azaltır. Bütün bu avantajlar düşünüldüğünde;

Bu çalışmada Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (KOSB) arıtma tesisinin karışık ham endüstriyel atıksuları batık tip MBR sisteminde arıtılmış, temel kirletici parametreleri ile birlikte, metal ve mineral giderim verimleri bakımından konvansiyonel arıtım yöntemiyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

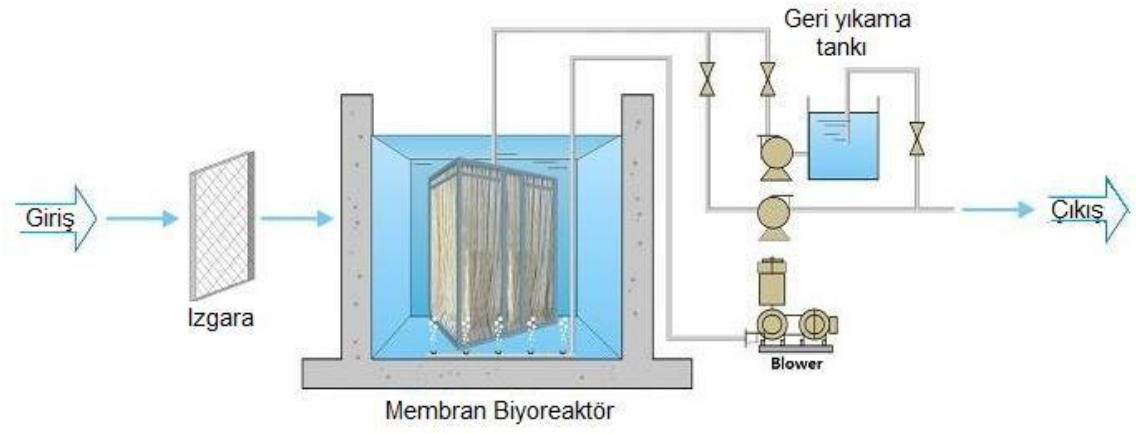
Bu tez 4 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde MBR sisteminin genel tanıtımı ve tez konusu ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. İkinci bölümde, çalışması esnasında yürütülen deneylerin prosedürü anlatılmış ve analizler için kullanılan materyaller tanıtılmış ve metotlar belirtilmiştir. Üçüncü bölümde analiz sonuçları verilmiştir. Dördüncü bölümde ise analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

1.1. MBR Sistemlerinin Genel Tanıtımı

Membran Biyoreaktör (MBR) sistemi biyolojik prosesler ile membran teknolojisini birleştirme mantığına dayanan ve sahip olduğu membran ekipmanı ile arıtılmış suyun ve biyokütlenin birbirinden fiziksel olarak ayrıldığı biyolojik proseslerdir. Geleneksel aktif çamur sitemlerinde iki ayrı tankta gerçekleşen biyokimyasal oksidasyon ve su/biyokütle ayrımı, MBR'de tek tankta gerçekleşmektedir [1]. Dolayısıyla MBR prosesi çöktürme tankını elimine etmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Genel MBR Sistemi [2].

MBR sistemlerini biyolojik ve fiziksel arıtımı aynı tankta gerçekleştiren bir proses olarak da tanımlayabiliriz. Biyolojik arıtım esnasında biyolojik prosesler gerçekleşirken fiziksel arıtım esnasında ise membranların por çapı ve morfolojik yapılarına bağlı olarak katı maddelerin tutulması sonucunda gerçekleşmektedir. Eğer kirletici madde türü membran gözenek çaplarından daha büyük çapa sahip ise kirletici partiküller

membranda tutulur, eğer kirletici madde türleri membran gözenek boyutundan daha küçük çaplı bileşenler veya akışkanlar ise membranlardan geçer. Düşük basınç ile işletimin sağlandığı membran biyoreaktörler mikrofiltrasyon (MF) veya ultrafiltrasyon (UF) türü membranlar ile işletilirler. Ultrafiltrasyon veya mikrofiltrasyon membran türleri ile işletim esnasında katı- sıvı ayrımı ile birlikte askıda büyüme reaktörünün kompakt bir sistem haline getirilmesi sonucunda membran biyoreaktör sistemleri daha yüksek verimler sağlar [2].

1.1.1 MBR Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında oldukça yeni olan MBR sistemleri günümüzde dahi gelişmeye devam etmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte modüllerde kullanılan membran alanları artmakta, membran ve arıtım maliyetleri ise giderek düşmektedir [3].

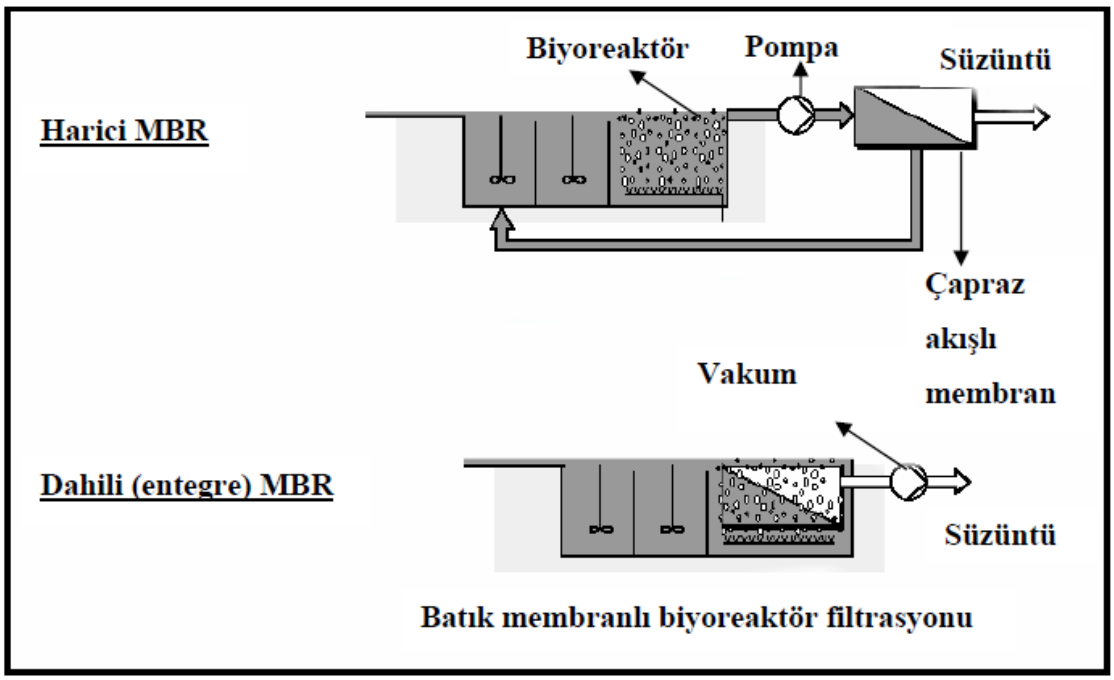
MBR sisteminin geliştirilmesi membran teknolojilerinin çalışma mantığını keşfettikten sonra ortaya çıkmıştır. Abbe Nolet ozmos olayını keşfetmiş ve yıllar sonra ozmos olayı iki fazı birbirinden ayırma prensibine dayanarak atıksuyun kirletici partiküllerden ayrılmasında kullanılmıştır. 1950-1960 yılları arasında J.E. Breton hücrelerin enerji harcamadan yaptığı bu olayın tam tersini enerji kullanarak laboratuvar ortamında denemiş ve ilk ters ozmos membranlarını üretmiştir [4]. Ancak düşük süzme kapasitesinden dolayı kullanılamamıştır.

MBR'ler ticari olarak ise 1960'lı yılların sonuna doğru Dorr-Oliver tarafından geliştirilmiş olup gemilerde oluşan atıksuların arıtılması amacıyla kullanılmıştır. Dorr-Oliver'in geliştirdiği MBR türü düz tabaka membran türü olup ultrafiltrasyon kategorisine girmektedir. Bu membran türü de yine günümüze göre düşük akı ve yüksek işletme basıncına sahiptir. 1980'li yılların başlarından itibaren Japon bilim adamı Nitto-Denko tarafından patenti alınan düz tabaka harici MBR sistemi kullanılmıştır. Yine Japon bilim adamları tarafından 1980'li yılların sonunda hollow fiber (ince boşluklu) membranlar atıksu geri kazanımı amacıyla kullanılmıştır. 1990'a kadar üretilen bu membranlar günümüze göre düşük akı ve yüksek işletme basıncına sahip olsalar da günümüzdeki su kalitesine yakın bir su kalitesi elde etmişlerdir [3].

1990'lı yılların başından itibaren Kubota ve Mitsubishi Rayon ticari membran üretim şirketleri piyasaya girmiştir. İlk batık membran (MBR) uygulaması olan ZenoGem® yine 1990larda ortaya çıkmıştır [5]. Zenon, 1993 yılında ilk batık hollow fiber (HF) ZeeWeed® modülünü tanıtmıştır. Bu modül ZW 145 yaklaşık 13.5 m^2 olup daha sonra ZW130 ve ZW150 modülleri üretilmiştir. 1997'de ise ZW500 serisi üretilmiştir. Bu yıllarda Kubota enerji ihtiyacını azaltan çift katlı sitemini 2003'de geliştirmiştir [5].

1.1.2. MBR Konfigürasyonları

MBR sistemleri membranın biyokütle içindeki konumuna göre dâhili ve harici olmak üzere 2'ye ayrılır. Harici membranlarda sıvı/biyokütle ayrımı çapraz akışlı membran filtrasyonu ile ayrı bir ünitede gerçekleşir. Dâhili membranlarda ise sıvı/biyokütle ayrımı biyoreaktör içinde batık membranlar ile gerçekleşir (Şekil 2).



Şekil 2. Membran konfigürasyonu [4].

Membran konfigürasyonu Şekil 2'de gösterilmiş olup dâhili batık MBR'ler harici membranlara göre daha düşük işletme akılarında çalıştırılırlar. Bu sebeple yüksek permeabiliteye ve yüksek hidrolik verimliliğe sahiptirler. Düşük akı ile çalışmak membran tıkanması bakımından önemlidir ve tıkanmayı azaltan bir faktördür [6]. Dâhili batık MBR'ler harici MBR'lere göre daha düşük pompaj masrafları gerektirse de daha

yoğun havalandırma ihtiyacı arz ederler. Bunun sebebi havalandırmanın membran porlarına yapacağı etki ile tıkanmasını engelleyici ana yöntem olmasıdır [7]. Ayrıca, batık MBR'lerde düşük akı ile çalışılması daha fazla membran alanı gerektirir. Ancak bu dezavantajlara rağmen Batık MBR'ler düşük pompa maliyeti, daha az temizleme ihtiyacı ve düşük işletme maliyeti nedeniyle orta ölçekli evsel ve endüstriyel atıksularda daha fazla tercih edilmektedir [8]. Batık MBR sistemlerinin literatürdeki genel işletim şartları Tablo 1'de verilmiştir. Tablodaki değerlerden çamur yaşı (SRT) MBR sisteminde sonsuz yaşta çalıştırılabilir.

Tablo 1. Batık MBR sistemlerinin işletme değerleri [7].

Parametre	**Ortalama değer**
Akı ($L/m^2.sa$)	15-30
TMP (kPa)	20
Biyokütle Konsantrasyonu (g/L)	5-25
SRT (gün)	≥20
HRT (saat)	2-12
F/M oranı (gKOİ/gVSS.gün)	≤2
İşletme sıcaklığı ^0C	10-35
pH	7-7.5

1.1.3. MBR Sisteminin Konvansiyonel Sistemlerden Farkı

MBR sisteminin en önemli avantajlarından biri alandan tasarruf ederek ilk yatırım maliyetini düşürmesi olarak söylenebilir. Çünkü MBR sisteminde askıda katı madde (AKM) yoğunluğu klasik aktif çamur sistemine göre oldukça fazladır. Ayrıca konvansiyonel sisteme göre düşük hidrolik bekletme süresi (HRT) olması sayesinde havuz hacmi düşürülerek ilk yatırım maliyeti azaltılır [4].

MBR sistemi çıkış suyu kalitesi bakımından özellikle mikro kirletici gideriminde konvansiyonel sisteme göre çok daha avantajlı olduğu söylenebilir [9-12]. MBR sistemi biyokütle su ayırımı sayesinde yüksek dezenfektan kullanılan sistemlerin bakteri virüs ve patojenler tutarak maliyet ve su kalitesi açısından konvansiyonel sistemlere göre oldukça avantajlıdır.

Geleneksel arıtma teknolojileriyle karşılaştırıldığında, MBR sisteminin sahip olduğu en önemli dezavantajlardan birisi tıkanma problemidir. Membran tıkanması MBR işletimi

sırasında ortaya çıkan en önemli işletme sorunudur. Membran tıkanması ile ilgili detaylı bilgiler ve literatür çalışmaları membran tıkanması başlığında detaylı bir şekilde verilecektir.

Membran biyoreaktörün avantajları özetlenir ise; sürekli işletme halinde olabilmesi, yer ihtiyacının çok az olması, modüler olarak kullanılabilmesi, çok yüksek konsantrasyonlu atıksu arıtımında uygulanabilmesi, taşınabilir olması, herhangi bir inşaat gerektirmemesi ve maliyetinin gün geçtikçe daha da aşağılara çekilmesidir [13].

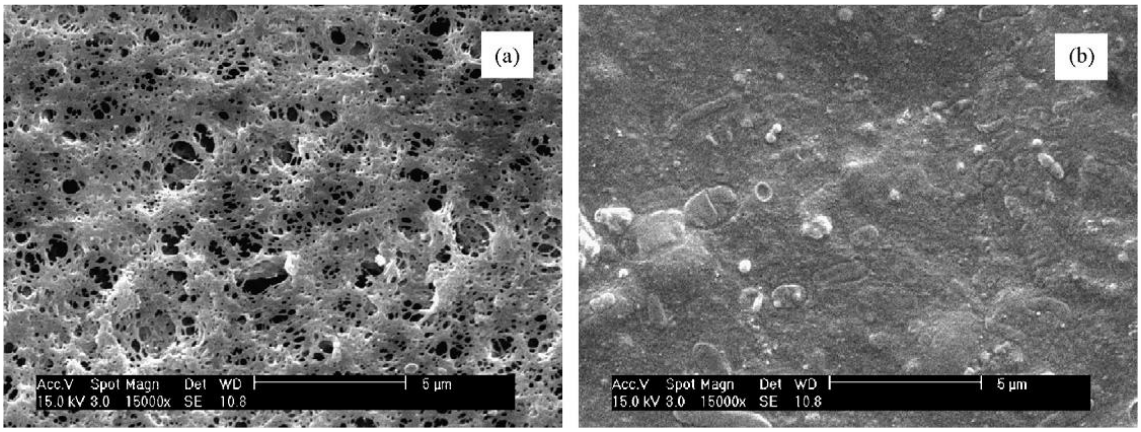
1.1.4. Membran Tıkanması

Membran tıkanması, atıksuyun içinde bulunan kirleticilerin membran yüzeyinde birikerek veya membran porlarına adsorbe olarak membranın zar direncini düşüren ve akının azalmasına neden olan süreçlere verilen genel isimdir [14].

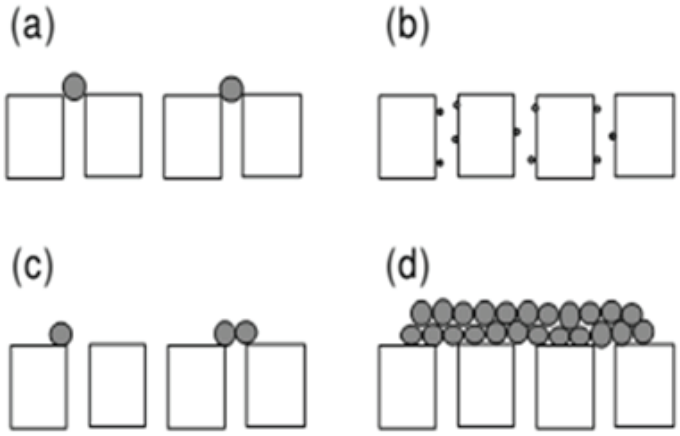
Membran tıkanması, gelişen kek tabakası ile akının düşmesine, membranın daha küçük gözenek çapındaymış gibi davranmasına ve zamanla geri döndürülemez tıkanmalara yol açmasına neden olmaktadır. Bu nedenle geri yıkama ve bekletme stratejileri geliştirilmiştir. Örneğin, düz plaka modüllerde dinlendirme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

Giderilebilen (removable) tıkanma; fiziksel temizleme yöntemleri ile (örneğin geri yıkama) giderilebilen tıkanma türüdür. Giderilebilen tıkanma daha çok gevşek bağlı kirleticilerin sebep olduğu tıkanmadır. Giderilemeyen (irremovable) tıkanma ise; fiziksel temizleme yöntemleriyle giderilemeyen ve kimyasal yıkamayla elimine edilebilen tıkanma çeşididir [7]. Bu tür tıkanma daha çok gözenek tıkanması ve sıkı bağlanan organik maddeler nedeniyle oluşan tıkanmalardır [15]. Giderilebilen ve giderilemeyen tıkanma çeşitleri geri dönüştürülebilir tıkanmalar olup, geri döndürülebilir (reversible) tıkanma olarak ifade edilirler. Geri döndürülemeyen (irreversible) tıkanma ise; kalıcı tıkanma olup herhangi bir şekilde giderilemeyen tıkanma çeşididir. Genel olarak giderilebilen tıkanma; kek tabakasının sebep olduğu tıkanma, giderilemeyen tıkanma ise gözenek tıkanmasının sebep olduğu tıkanmadır (

Şekil 3).



Şekil 3. Membranların SEM görüntüleri a) temizlenmiş membran, b) kirli membran [15].



Şekil 4. Çeşitli membran tıkanma mekanizmaları [2].

Şekil 4'te 4 farklı tıkanma mekanizması gösterilmiştir. Bunlardan (a) görselinde gözüken tıkanma mekanizması gözenek tıkanmasıdır (b) görselinde gözüken tıkanma türü ise dâhili kirlenmeye örnektir. (c) görselindeki tıkanma türü ise kısmi gözenek tıkanması olup (d) görselinde ise kek oluşumu görülmektedir.

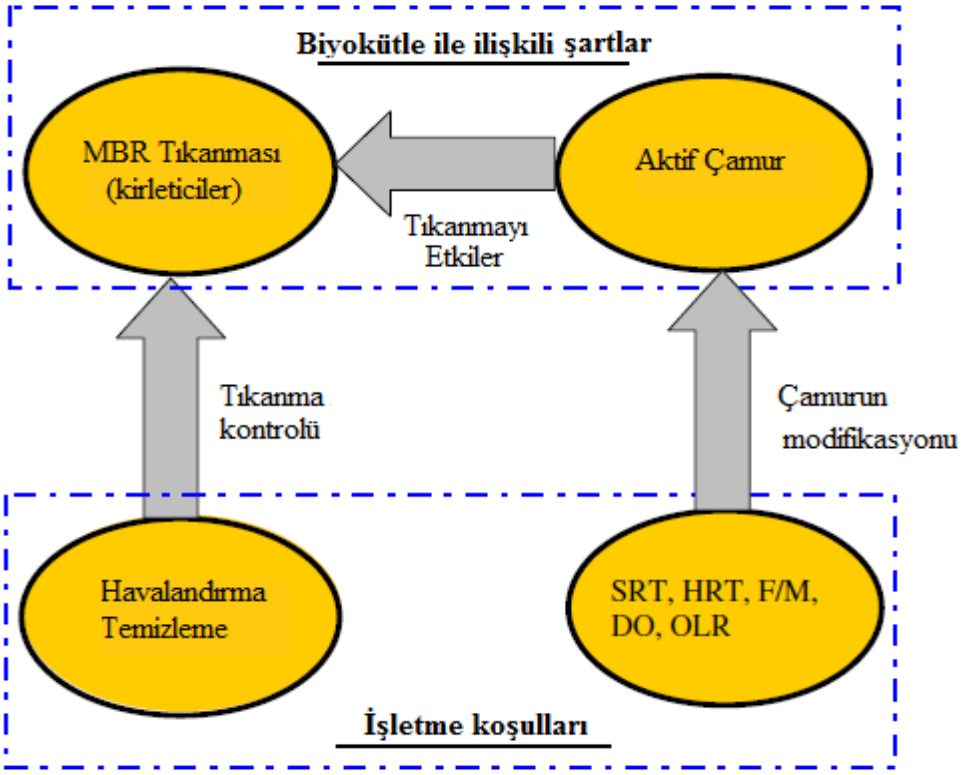
Membranların tıkanma durumlarına doğrudan etki eden dört temel faktör vardır [16].

• Membran prosesinin konfigürasyonu

• Membran materyali ve konfigürasyonu

• Proses işletimi (sistem hidrodinamiği)

• Biyokütle konsantrasyonu ve kompozisyonu



Şekil 5. Tıkanmaya etki eden koşullar [5].

Membran tıkanmalarına direk etki eden 3 ana faktör; biyokütle özellikleri, işletim şartları ve membran fizikokimyasal karakterleridir. Membran tıkanması ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmış olup bunlardan birkaçı incelenmiştir.

MBR'lerin en büyük işletme problemlerinden biri olan tıkanma problemi ilgili yapılan birçok çalışmada araştırmaların çamur yaşı çözünmüş mikrobiyal ürünler (SMP) ve hücre dışı polimerik madde (EPS)'nin etkileri üzerine yapıldığı görülmüştür.

MBR uygulamalarında çamur yaşı tıkanma üzerinde çok etkili bir parametredir. MBR sistemlerinde sistemden hiç çamur atmadan sonsuz çamur yaşlarında çalışılabilir ancak çok yüksek çamur yaşlarının tıkanmayı arttırdığı söylenebilir [15].

MBR sistemini yüksek çamur yaşlarında işletmenin yanı sıra düşük çamur yaşlarında işletmekte tıkanma problemini olumsuz yönde etkiler. Çünkü SMP düşük çamur yaşıyla çalışıldığında artar ve tıkanma oranını da artırır [6]. Bu bakımdan çamur yaşı ve hidrolik bekleme süresi gibi işletme parametrelerinin optimizasyonu tıkanmayı azaltacağı için

bu parametreler son derece önemli parametrelerdir. Aerobik MBR'ler için optimum çamur yaşının 20-50 gün arası değerlerde olduğu söylenmiştir [6].

SRT'nin yanı sıra hidrolik bekletme süreside tıkanma üzerine etki eden önemli bir parametredir.

2003 yılında Lee ve arkadaşlarının [17] yaptığı bir çalışmada farklı çamur yaşlarında denemeler yapılmış olup SRT'nin artması ile hücre dışı polimerik maddenin (EPS) de arttığı görülmüştür. Ancak artan çamur yaşı süresinin ilerleyen zamanlarda protein konsantrasyonun düştüğünü gözlemlemişlerdir.

EPS ve SRT gibi faktörlerden başka floklaşma da membran tıkanması açısından önemli bir konudur. MBR sisteminde bulunan flokların bozulması membran kirliliği ile sonuçlanacağı için floklaşma hassas bir parametredir. Küçük partikül boyutlarının daha fazla membran kirlenmesine neden olduğu bilinmektedir [18].

Tez çalışmasına konu olan ham endüstriyel atıksuların metal içermesi membran tıkanmasına metal etkilerinin nasıl olacağı sorusunu akla getirmektedir. Nitekim son zamanlarda MBR sistemlerinde ağır metallerin tıkanmaya olan etkisini incelemek üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. 2009 yılında EPS üzerine metallerin etkisinin incelendiği bir çalışmada sabit kalsiyum konsantrasyonu altında magnezyum konsantrasyonu arttıkça (70-95 mg/L) membran geçirgenliğinin arttığı membran kirliliğinin ise azaldığı görülmüştür. Öte yandan düşük Mg konsantrasyonlarında (5-10 mg/L) ise EPS konsantrasyonunun azaldığı floklaşma hacminin azaldığı kek direncinin artarak membran kirliliğinde ve membran tıkanmasında artış görülmüştür. Magnezyumun artması yalnızca EPS ile değil SMP konsantrasyonu ile de ilişkilidir. Magnezyum konsantrasyonu arttıkça SMP'de azalmaktadır. Magnezyumun negatif yüklü polimerleri biyolojik floklaşmayı geliştirerek arıtım verimini artırırlar. Artan floklaşma sayesinde membran üzerindeki kirlilik yükü azalır ve tıkanmanın azalması sağlanır [19]. Yine metal konsantrasyonlarının membran tıkanması üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada magnezyum konsantrasyonun artmasının tıkanmayı azalttığını göstermiştir. Ayrıca biyolojik floklaşmadaki ham protein oranının azaldığı da gözlemlenmiştir [20]. SRT'nin membran tıkanması üzerine etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada ise SRT'nin çamur yoğunluğunu doğrudan etkilediği ve SRT arttıkça kirletici artışı ve

yüksek viskoziteye bağlı olarak tıkanmanın arttığı gözlemleniştir. SRT değerinin artması ile düşük akılarda bile tıkanma gözlemlenmeye başlamıştır [15].

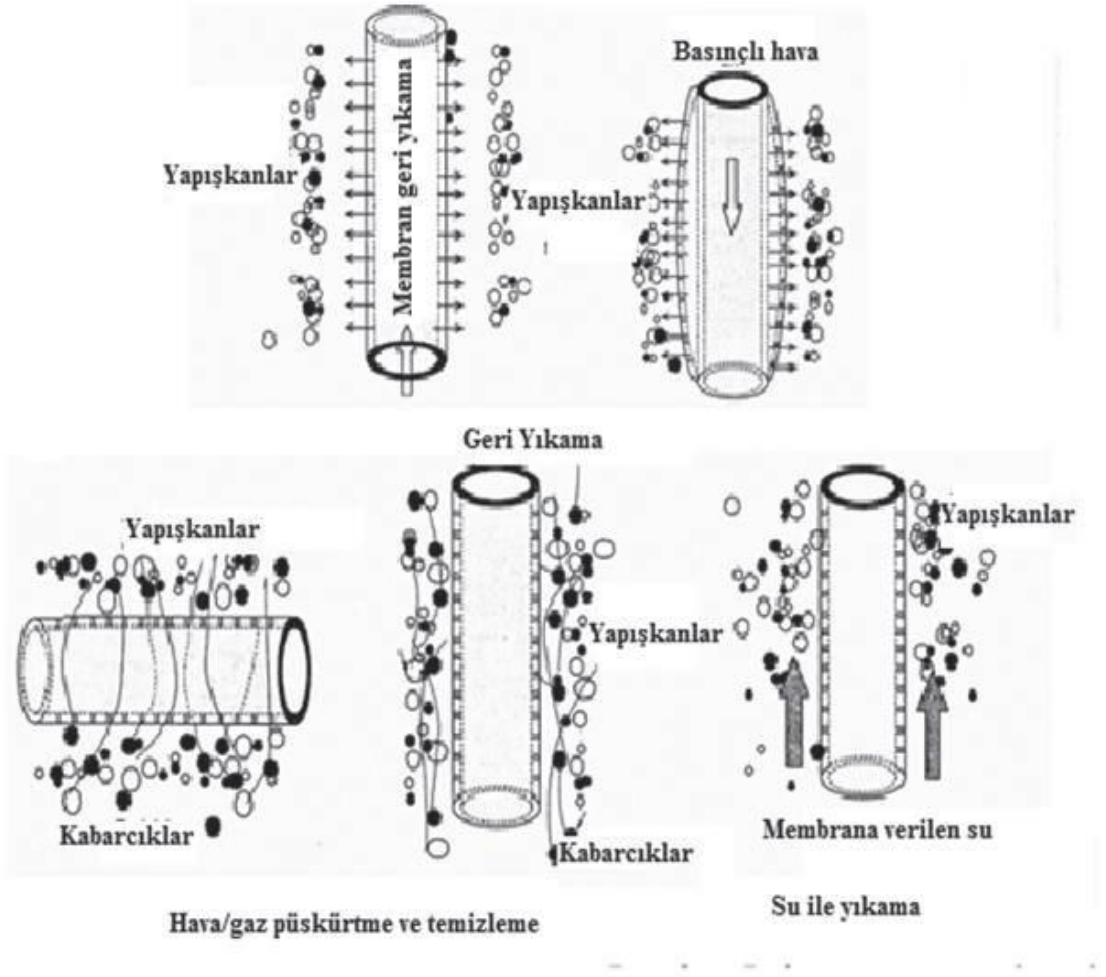
SRT'nin ve HRT'nin yanı sıra çözünmüş oksijen konsantrasyonu da tıkanmada önemli bir parametredir. MBR sistemi yüksek havalandırma hızlarında havalandırılarak çözünmüş oksijen konsantrasyonu artırılabilir. Artan çözünmüş oksijen konsantrasyonunun flokşmayı artırarak tıkanmayı azalttığı söylenebilir [21].

1.1.5 Membran Temizliği

MBR sisteminin en önemli işletme problemi olan tıkanma problemini gidermek ve membran maliyetini düşürmek için membranlar işletme sırasında çeşitli temizleme işlemlerine tabi tutulurlar. MBR sistemlerinde membranların tıkandığını anlamanın en önemli yolu basıncı takip etmektir. Çünkü membran alanından birim zamanda geçen debi tıkanmayla por çaplarında meydana gelen küçülmeden dolayı düşecek ve basınç artacaktır. Genellikle akı ve basınçtan birisi sabit tutulur ve diğerindeki değişim izlenir. Buna göre de proses tasarımı yapılır. Yapılan membran konfigürasyonuna ve belirlenen işletme akısına göre membran temizleme periyodları ve sıklığı belirlenmektedir. Genellikle membranlar, başlama şartına göre basınç azalması % 20'yi geçerse, akı değeri % 10 azalırsa, besleme basıncı % 10 artarsa ve giderme verimi % 15 kötüleşirse temizlenmelidir [22]. Temizleme; fiziksel ve kimyasal temizleme olarak ikiye ayrılabilir [23]. Klasik temizleme yöntemlerinin bazı dezavantajları vardır. Bunlardan en önemlisi membran temizleme prosedürlerinin net olmayışıdır. Temizleme prosedürleri genellikle membranı üreten firmalar tarafından belirlendiği için genel bir prosedür yoktur. Ayrıca tıkanmaya sebep olan etmenlerin farklılıklarından dolayı da kirlenme mekanizması ve kirlenmenin asıl nedeni net olarak anlaşılamamaktadır. Temizleme sıklığı ve süresi de net değildir [24]. Fiziksel temizleme genellikle iki türlü yapılır. Bunlardan ilki membranın geri yıkanmasıdır. Bu temizleme türünde temiz su (bu temizleme suyunda membrandan geçen süzüntü suyu da kullanılabilir) kısmen yüksek bir hızda geri verilerek membranın temizlenmesi sağlanır. Ancak bu yöntem düz plaka membran modüllerinde uygulanmamaktadır. Fiziksel yıkama amacıyla en çok kullanılan ikinci yöntem ise dinlenme (relaxation)dir. Bu yöntemde ise, hava ile temizleme devam ederken su çekimine ara verilerek TMP sıfıra düşürülür ve havanın fiziksel olarak kek tabakasını giderme performansı arttırılır. Bu metot genellikle düz plaka yöntemler için

uygundur. Membran temizleme işleminde çoğunlukla hava ile temizlik, geri yıkama ve dinlendirme gibi temizlik yöntemleri birlikte kullanır [18].

Kimyasal yıkama ise; mineral veya organik asit ile kostik ile veya sodyum hipoklorit ile yapılır. MBR'lerde genellikle sodyum hipoklorit tercih edilir. Kimyasal yıkama dâhili veya harici olarak yapılabilir. Alternatif olarak düşük konsantrasyonda kimyasal temizleyici geri yıkama suyuna eklenerek kimyasal olarak güçlendirilmiş geri yıkama yapılabilir [4].



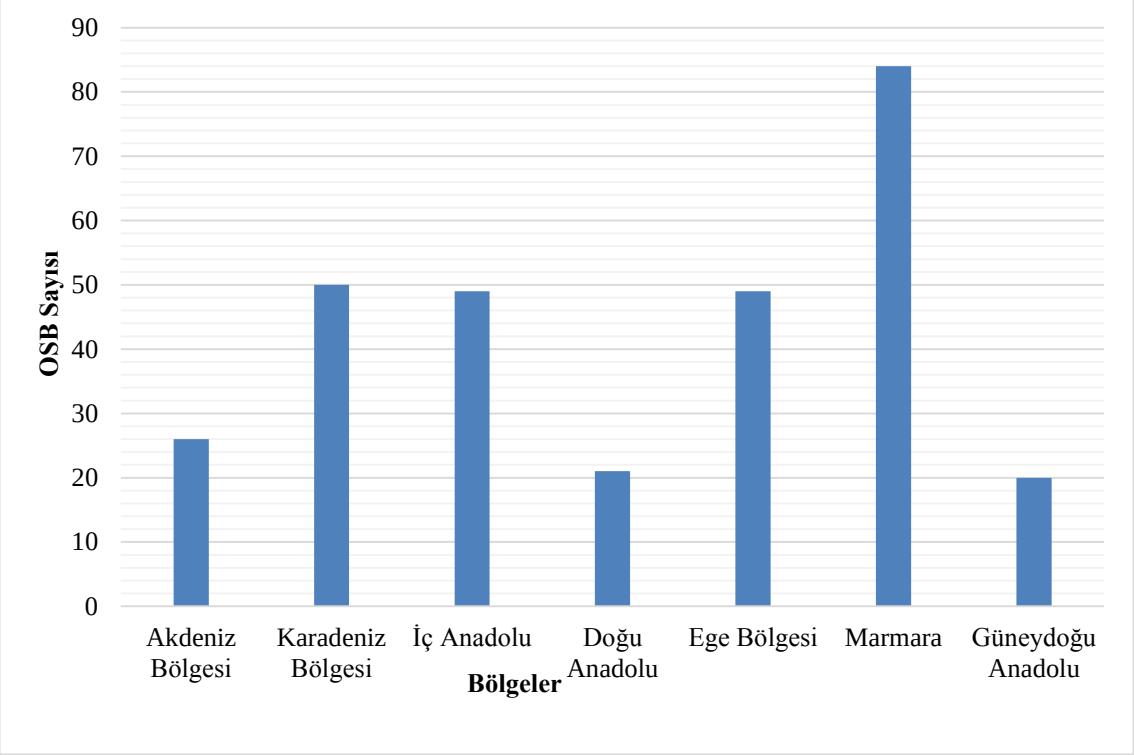
Şekil 6. Membranları fiziksel temizleme yöntemleri[2].

Fiziksel temizleme kimyasal temizlemeye göre daha basittir daha sık yapılabilir ayrıca daha az zaman alan bir işlemdir. Herhangi bir kimyasal kullanılmadığı için kimyasal atık da oluşturmaz ve membrana verilen zarar kimyasal yıkamaya göre oldukça azdır [2]. Ancak fiziksel yıkama kimyasal yıkamaya kıyasla çok daha az etkilidir [25].

Fiziksel yıkama membran yüzeyine yapışmış olan maddeleri gidermede etkilidir. Membran proseslerinde membrana uygulanan temizlemeden sonra akı ilk duruma göre elbette düşük olacaktır ancak akının 4-6 L/m^2.saat (LMH)'in altına düştüğü durumda kimyasal yıkama gerekir. Fiziksel temizleme membranın ilk günkü performansına ulaşmasa da işletilmeye devam edilebiliyosa buna geri döndürebilir tıkanma denir. Eğer kimyasal yıkamadan sonra dahi akı 1 (LMH)'nin altına düşüyorsa ve membrandan performans alınamayıp tıkanma problemi tekrar eden yıkamalara rağmen düzelmiyorsa buna geri döndürülemez tıkanma denir [14].

1.2. Organize Sanayi Bölgeleri Ve KOSB

Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) sanayinin daha uygun alanlarda yapılmasını sağlayan sürdürülebilir kalkınmayı, düzenli sanayileşmeyi ve çevre sorunlarını en aza indirgemeyi amaçlayan mal ve hizmet üretim bölgeleri olarak tanımlanabilirler [26]. 1960'lı yılların başında ilk olarak Bursa vilayetinde kurulan OSB'ler ülkenin kalkınmasıyla birlikte sayıları geçen her yıl artmış ve günümüzde 290'ın üzerinde sayıya ulaşmıştır. Türkiye'nin her bölgesinde ve ilinde OSB bulunup bölgelere göre OSB'lerin durumu Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Bölgelere göre OSB dağılımı [27].

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi, 1976 yılında kurulmuş olup, 2.2 hektarlık alan üzerinde kurulmuştur. Yaklaşık 1180'e ulaşan firma sayısı ve 65 bin çalışanı bulunmaktadır. Ülkemizde bulunan 300 civarındaki OSB arasında yatırım, üretim, istihdam ve ihracatı ile ilk 10 sırada yer almaktadır.

Sektörel bazda bakıldığında KOSB'nin birincil sektörün metal ürünlerden ikincil sektörün mobilya ürünlerinden üçüncül sektör olarak tekstil ve son olarak inşaat ve yapı malzemelerinden oluştuğu söylenebilir (Tablo 2). 2017 yılı itibari ile Türkiye genelinde 287 adet OSB bulunmaktadır ve bunların yalnızca 87 tanesinde arıtma tesisi mevcuttur [27]. Mevcut arıtma tesislerinin büyük çoğunluğu konvansiyonel arıtma sistemini tercih etmektedir.

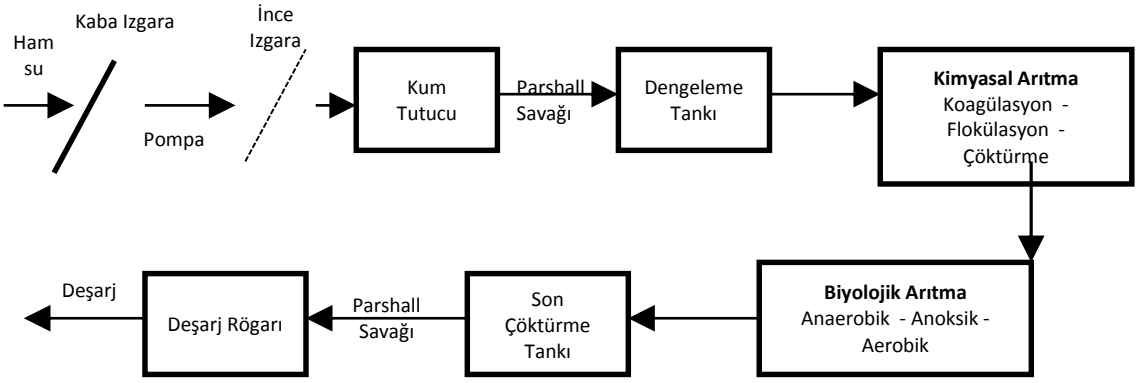
Tablo 2. KOSB sektöre göre firma sayıları [28].

Sektör Türü	Firma Sayısı
Mobilya Ahşap Ürünler	259
Metal Ürünler	291
Makine	51
Tekstil Sanayi	112
İnşaat ve Yapı Malzemeleri	135
Gıda Sanayi	51
Kâğıt Sanayi	41
Otomotiv Sanayi	21
Reklâmcılık ve Matbaa Sanayi	37
Elektrik ve Elektronik	40
Ambalaj Plastik	51
Kimya Sanayi	15
Diğer	76
Toplam	1180

1.2.1. KOSB atıksu karakterizasyonu ve AAT

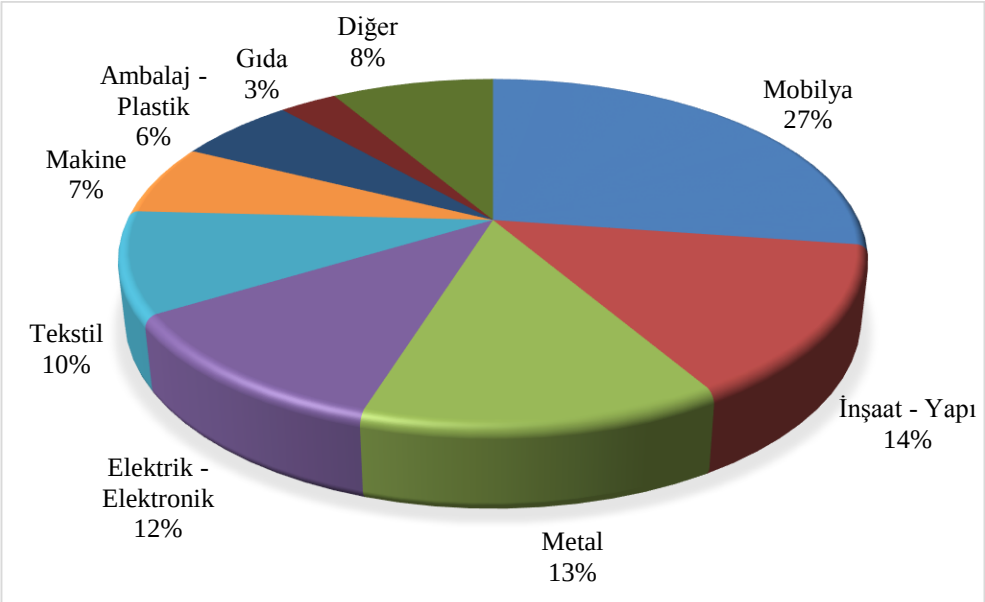
OSB atıksuları, evsel nitelikli kullanımlardan ve kanala bağlantı limitleri dahilinde alınan atıksulardan oluşmaktadır. Tez çalışmasına konu olan Kayseri OSB'de günlük oluşan atıksuyun % 10 ila 20'sinin evsel nitelikli atıksu olduğu düşünülmektedir. Bu yüzden, evsel atıksuların arıtılmasında olduğu gibi OSB atıksularının arıtılmasında da konvansiyonel tipte arıtma sistemi tercih edilmektedir. Ancak, bu atıksuların sulama ya da endüstriyel amaçlı kullanıma uygun olmadığı bilinmektedir. Literatürde karışık endüstriyel atıksular için yapılmış çalışmalar çok az olmasına rağmen bunlardan çoğu yeniden kullanım için membranlı arıtma sistemlerini tercih ettiği görülmektedir. Membran malzemeler iyi kalitede su temin ettiği ve daha bütünleşik sistemler sunduğu için atıksuların yeniden kullanılmasında tercih edilmektedir.

KOSB atıksu arıtma tesisinin (Şekil 8) 2009 yılında temeli atılmış 2013 yılında ise işletmeye alınmıştır. Tesis 2 aşamalı olarak dizayn edilmiştir. Tesis 1. aşamada 40.000 m^3/gün 2.aşamada ise gelecekteki duruma göre 20.000 m^3/gün atıksu debisine göre tasarlanan arıtma tesisi toplam 60.000 m^3/gün'lük kapasiteye inşa edilmiştir. Arıtma tesisi sayesinde günümüzde 956 adet üretim yapan tesisten kaynaklanan endüstriyel atıksular ve yaklaşık 65.000 çalışandan kaynaklanan evsel nitelikli atıksular günümüzde de verimli bir şekilde arıtılarak (Tablo 4) deşarj edilmektedir. Tesis atıksularını, yüksek oranda kağıt geri dönüşüm ve tekstil boyama fabrikaları oluşturmaktadır. Tesiste; fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma prosesleri mevcut olup birinci aşamada inşa edilmiş olan tesis maksimum 40.000 m^3'lük debiye sahiptir. Bu tesiste, çamur susuzlaştırma ünitelerinde ve tesis yeşil alanlarında toplamda ortalama günlük 1000 m^3 suya ihtiyaç duyulmaktadır. Sadece yeraltı suyu kaynaklarından beslenen KOSB'nin orta vadede yüksek olasılıkla yaşanacak su kıtlığından etkilenmesi, dolayısıyla ekonomik ve sosyal yaşamın etkilenmesi anlamına gelecektir.



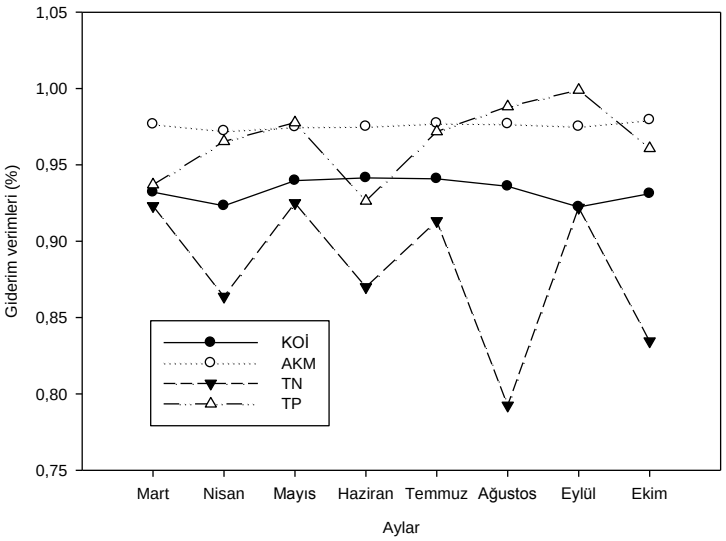
Şekil 8. KOSB atıksu arıtma tesisi [29].

KOSB atıksuları yukarıda verilen akım şemasına göre arıtılmış olup Şekil 10'da verilen giderim verimleriyle deşarj edilmektedir. Kayseri OSB atıksularının kirlilik yükününün %30 oranında tekstil, %30 oranında kağıt fabrikaları ve geri dönüşüm tesisleri, %10-20 arasında da evsel atıksu ve diğer atıksular tarafından oluştuğu söylenebilir (Şekil 9).



Şekil 9. KOSB'deki firma sayılarına göre oluşturulan grafik

KOSB'deki mevcut arıtma tesisi yüksek derecede giderim verimlerine sahip olup Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Askıda Katı Madde (AKM) gibi temel parametrelerdeki giderim verimleri Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. KOSB AAT temel parametrelerdeki giderim verimleri [29].

1.3. MBR Sistemi İle Endüstriyel Atıksu Arıtımı

Endüstriyel atıksular, ticarete ait veya endüstriyel bir faaliyetin sonucunda gerçekleşip, faaliyetin meydana geldiği ortamdan gelen evsel nitelikli atıksu ile ve yağmur suyu haricinde deşarj edilen atıksu olarak tanımlanırlar. Endüstriyel atıksular yalnızca üretim sonucunda meydana gelen değil üretim prosesi esnasında meydana gelen atıksuları da kapsamaktadırlar. Katı atık bertaraf tesisi atıksuları, soğutma suları sızıntı suları, yenileme tesisi atıksuları gibi atıksular da endüstriyel atıksu olarak tanımlanmaktadır [30]. Gelişmişlik düzeyi ile oluşan endüstriyel atıksu miktarının durumu arasında doğrudan ilişki vardır. Endüstriyel atıksu üretimi aynı zamanda ülkelerin gelişmişlik durumunu gösteren bir parametredir. 3. Dünya ülkelerinde endüstriyel atıksu miktarının kullanılan tüm atıksu miktarına oranı %10'u bulmazken Almanya, Fransa gibi gelişmiş ülkelerde bu oran %80'lere kadar yükselmektedir [31]. Türkiye'de ise bu oran % 12'ye yaklaşmaktadır. 2023 yılında bu oranın artan sanayi ile daha da artacağı düşünülmektedir. Ülkemizde yıllık tüketilen su miktarı m^3 cinsinden Tablo 3'te verilmektedir. Endüstriyel atıksuyun karekterizasyonu endüstri türüne göre farklılıklar gösterir. Farklı endüstrilerin atıksu özelliklerinin farklı olmasının yanı sıra aynı endüstri türünde bile hammadde ve proses farklılıklarından dolayı atıksu karekterizasyonu farklıdır [32]. Bu kirletici parametrelerinin farklı olması durumu nedeniyle her tesisin çevreye verebileceği zarar farklı olabilmektedir. Buna rağmen kimi sektörlerin atıksularının bazı ortak yönleri bulunmaktadır. Örneğin gıda endüstrisi atıksuları yüksek derecede organik kirletici içerir. Tekstil endüstrisi atıksuları ise ana üretim prosesi

boyama işlemi olduğu için yüksek renk konsantrasyonuna sahiptir. Ayrıca tekstil atıksuları üretim proseslerinde kullanılan kostik maddesinin etkisiyle yüksek pH değerlerine sahiptir [33]. Çünkü kostik maddesinde bulunan hidroksil (OH^-) grubu atıksuya bazik karakter kazandırarak pH oranını yükseltir. Kimya endüstrisi atıksuları yağ, sülfit, fenol, makine yağları, katı maddeler, fosfatlar, indirgenemeyen organik maddeler ve yüksek pH içerebilir. Metal endüstrisi atıksularında ise krom (Cr), kadmiyum (Cd), çinko (Zn) ve siyanür $(CN)^{-}$ gibi ağır metalleri içerdiği söylenebilir mümkün olmaktadır [34]. Deri endüstrisinde ise genel olarak koku, katı maddeler, BOİ ve yüksek pH tipik kirletici maddeler olarak söylenebilir [35].

2004 yılında yapılan "İmalat Sanayi Atık Envanteri Anketi" kapsamında 4.000'den fazla işyerinden toplam 1,145 milyar m^3 atıksu deşarj edildiği belirtilmektedir. Bu işletmelerden 1,198 adedinin atıksu arıtma tesisi bulunmakta, 385 milyon m^3 atıksu arıtılarak alıcı ortama deşarj edilmekte olup kalan 2,112 tesisten 760 milyon m^3 su doğrudan alıcı ortama deşarj edilmektedir. Bu sonuçlardan sanayi kaynaklı atıksuların yaklaşık olarak %66'sının arıtılmadan alıcı ortama verildiği anlaşılmaktadır [31].

Tablo 3. Ülkelere ve Sektörlere Göre Su Kullanımı [30].

ÜLKE	YIL	SU KULLANIMI		EVSEL (%)	END. (%)	TARIM (%)	NÜFUS (milyon)
		Toplam (km^3/yıl)	**Kişi başına (m^3/kişi yıl)**				
Türkiye	2001	39,78	544	15	11	74	73,19
BAE	2000	2,30	511	23	9	68	4,5
Vietnam	2000	71,39	847	8	24	68	84,24
Yemen	2000	6,63	316	4	1	95	20,98
Avusturya	1999	3,67	448	35	64	1	8,19
Belçika	1998	7,44	714	13	85	2	10,42
Bulgaristan	2003	6,92	895	3	78	19	7,73
Çekya	2002	1,91	187	41	57	2	10,22
Danimarka	2002	0,67	123	32	26	42	5,43
Finlandiya	1999	2,33	444	14	84	3	5,25
Fransa	2000	33,16	548	16	74	10	60,5
Almanya	2001	38,01	460	12	68	20	82,69
Macaristan	2001	21,03	2082	9	59	32	10,1
İtalya	1998	41,98	723	18	37	45	58,09
Hollanda	2001	8,86	544	6	60	34	16,30
Norveç	1996	2,40	519	23	67	10	4,62
Romanya	2003	6,50	299	9	34	57	21,71
Rusya	2000	76,68	535	19	63	18	143,20
İsveç	2002	2,68	296	37	54	9	9,04
İspanya	2002	37,22	864	13	19	68	43,06
İngiltere	1994	11,75	197	22	75	3	59,67

Endüstriyel atıksular yüksek organik yüke sahiplerdir aynı zamanda endüstriyel atıksuların muhtevası arıtmaya dirençli bileşiklerden oluşur [36]. Tez çalışmasında MBR sistemi ile karışık endüstriyel atıksuların arıtılması ilgili literatür çalışmaları derlenmiştir. Yapılan literatür taramalarında evsel ve sentetik atık suların MBR sisteminde endüstriyel atıksulara göre çok daha fazla incelendiği görülmüştür.

Klasik aktif çamur sisteminde olduğu gibi MBR sisteminde de yüksek oranda nütrient giderimi vardır. 2015 yılında tekstil endüstrisi atıksuları batık MBR sistemi ile arıtılmış ve %98 KOİ ve %96 BOİ giderimi elde edilmiştir [37].

2014 yılında yapılan MBR sisteminde endüstriyel atıksuyun arıtımını değerlendiren pilot ölçekli bir çalışmada farklı HRT ve SRT ile denemeler yapılmış 20 gün çamur yaşında KOİ, toplam Azot ve Fosfor giderimi sırasıyla %99,2, %94,3 ve %89,3 olarak bulunmuştur. HRT değişiminin KOİ giderimi gibi temel parametrelerde fazla etkisi görülmese de özellikle nütrient gideriminde çok etkili bir parametre olduğu görülmüştür. [38].

2007 yılında yapılan bir çalışmada ham endüstriyel atıksu batık MBR tipinde laboratuvar ölçeğinde MF türü membranda uzun süre işletilerek arıtma verimi değerlendirilmiştir. Çalışmada MLSS konsantrasyonu 14-28 g/L gibi yüksek konsantrasyonlarda tutulmuş olup farklı membran modül tipleri ile uzun süre işletilmiştir. PE ve PVDF türü MF membranları farklı kritik akılara işletilmiş ve çalışma sonucunda düşük hidrolik bekletme sürelerinde bile %99 a yakın giderim verimi elde edilmiştir [39].

Endüstriyel atıksuların MBR sistemiyle arıtımı ile ilgili yapılan bir derleme çalışmasında [40] karışık endüstriyel atıksular yayın sayılarının % 5'inden daha azını oluşturmaktadır. Bu çalışmada da karışık endüstriyel atıksuların MBR sisteminde arıtma performansı incelendiğinden eksik olan literatür bilgilerine katkıda bulunulacağı düşünülmektedir.

2. BÖLÜM

MATERYAL METOD

2.1. Kullanılan Ham Atıksuyun Karakterizasyonu

KOSB 2017 yılı itibariyle 956 adet üretim yapan tesisten oluşmakta olup günlük ortalama 30.000 m^3 atıksu üreten bir sanayi bölgesidir. Faaliyette olan ve atıksu kaynağını oluşturan firmaların çoğunluğu tekstil kağıt ve geri dönüşüm kaynaklıdır. Üretim yapan firmalar için kanala deşarj standartı KOSB bölge müdürlüğü tarafından belirlenmiş olup, sanayi bölgesine ait bir adet ileri atıksu arıtma tesisi (AAT) bulunmaktadır. KOSB'deki mevcut arıtma tesisinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma üniteleri bulunmakta olup 2015 -2016 yılları arasındaki giriş ve çıkış parametrelerinin yıllık ortalama değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kayseri OSB AAT temel parametre verimleri

Parametreler (yıllık ortalama)	Giriş	Çıkış	Verim %
KOI (mg/L)	1343	82,6	93,8
AKM (mg/L)	1269	29,4	97,6
pH	7	8,5	-
TN (mg/L)	27	3	88,9
TP (mg/L)	4	0,1	98

Kayseri OSB atıksuları diğer endüstriyel atıksularda olduğu gibi yüksek organik yüke sahiptir. KOİ değeri ortalama 1000 mg/L'nin üstünde olup yine 1000 mg/L'nin üstünde askıda katı madde yüküne sahiptir. Tez çalışmasında yürütülen çalışmalar sırasında MBR sistemine beslenen su arıtma tesisine giren giriş suyu olmayıp ön çöktürme tankından

alınan sular olduğundan hem ham atıksu hem de ön çöktürme çıkış suyu karakterizasyonu verilmiştir. Tablo 5'te verilen OSB'nin temel parametrelerdeki yıllık ortalama bazında giriş ve çıkış değerleri standart sapmalarıyla birlikte verilmiştir. KOİ ortalama %94, AKM %98, Toplam Azot (TN) %89 ve Toplam Fosfor (TP) ise ortalama %98 oranında giderilmiştir.

Tablo 5. Kayseri OSB AAT giriş parametre değerleri

Parametre	**Ortalama Giriş**	**Ortalama Çıkış**
KOİ (mg/L)	1233 ± 67,4	82 ± 7,4
AKM (mg/L)	1190 ± 90,2	29 ± 3,1
TN (mg/L)	27 ± 9,3	3 ± 1,1
TP (mg/L)	4 ± 1,3	0,1

Tesis için 2015 yılında ölçülen çoğunlukla ağır metal olan bazı parametrelerin analiz sonuçları ise Tablo 6'da verilmiştir. Ağır metallerden kurşun (Pb) ve Çinko (Zn) hariç hepsinin %95'in üzerinde giderildiği görülmektedir.

Tablo 6. Kayseri OSB diğer kirletici parametre sonuçları

Parametre	**Ortalama Giriş**	**Ortalama Çıkış**
Cu (mg/L)	4,8	0,2
Zn (mg/L)	1,3	0,2
Pb (mg/L)	0,9	0,2
Fe (mg/L)	13,9	0,7
CN (mg/L)	0,2	0.0
Cr VI mg/L)	1,0	0,0
Top.Cr (mg/L)	1,6	0,1
SO_4 (mg/L)	564,5	452,8
Cd (mg/L)	0,0	0,0

OSB atıksuları, evsel nitelikli kullanımlardan ve kanala bağlantı limitleri dâhilinde alınan atıksulardan oluşmaktadır. Tez çalışmasına konu olan Kayseri OSB'de 65.000'e yakın personel çalışmaktadır. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Tablo 2.1'den alınan su tüketim bilgilerine göre bu personellerden kaynaklanan atıksuların günlük yaklaşık 6.000 m^3 olduğu söylenebilir. Buda KOSB'de oluşan atıksuyun % 15 ila 20'sinin evsel nitelikteki atıksulardan oluştuğunu gösterir. Bu yüzden, evsel

atıksuların arıtılmasında olduğu gibi OSB atıksularının arıtılmasında da konvansiyonel tipte arıtma sistemi tercih edilmektedir. Ancak, bu atıksuların sulama ya da endüstriyel amaçlı kullanıma uygun olmadığı bilinmektedir. Literatürde karışık endüstriyel atıksular için yapılmış çalışmalar çok az olmasına rağmen bunlardan çoğunun yeniden kullanım için membranlı arıtma sistemlerini tercih ettiği görülmektedir. Membran malzemeler iyi kalitede su temin ettiği ve daha bütünleşik sistemler sunduğu için atıksuların yeniden kullanılmasında tercih edilmektedir.

2.2 Laboratuvar Ölçekli Batık MBR Sistemi

Çalışmada kullanılan MBR sistemi tam otomasyonlu olup Şekil 11'de görülen haliyle tüm sistem ekipmanlarıyla aşağıda verilen ünitelerden oluşmaktadır.

1. Reaktör (20 L)
2. Besleme Tankı (35 L)
3. Besleme Pompası (peristaltik)
4. Vakum Pompası (hızı ayarlanabilir)
5. Hava Pompası
6. Kimyasal Geri Yıkama Pompası
7. Süzüntü Suyu Toplama Tankı
8. Elektronik Tartı
9. pH, ORP, Sıcaklık, çözünmüş oksijen probları
10. Seviye Sensörü
11. Yönlendirme Selenoid Valfleri
12. Asit, Baz ve Çamur Tankları
13. Asit, Baz ve Çamur Atma Pompaları
14. PLC ve Pano Ünitesi
15. Scada Yazılımı



Şekil 11. Laboratuvar ölçekli MBR sistemi

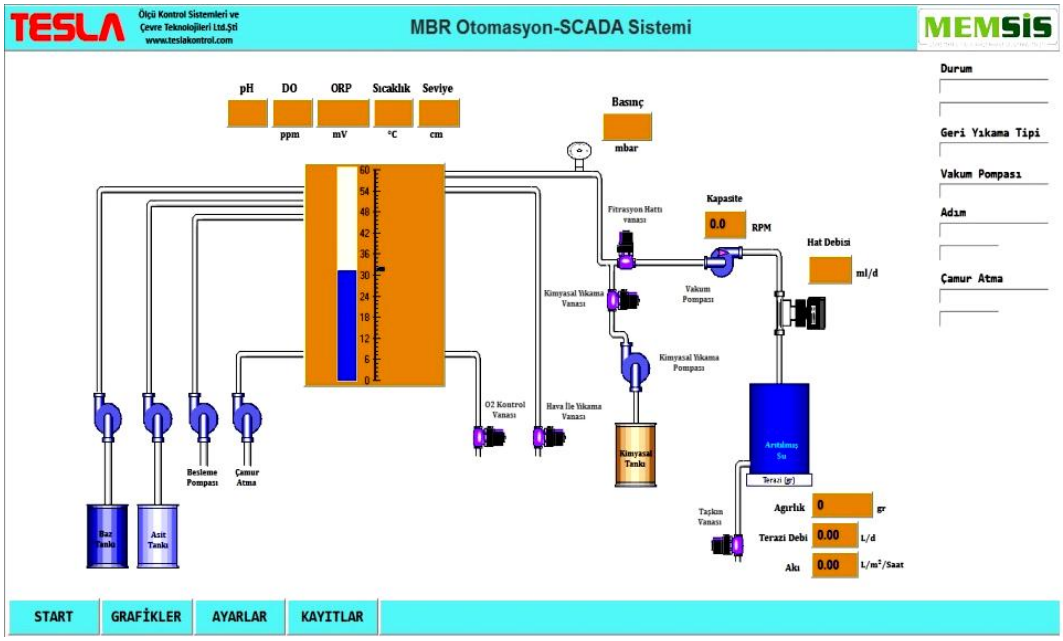
Biyoreaktör silindirik olarak tasarlanmış olup 33 cm çapa sahiptir. Reaktör 60 cm yüksekliğe sahip olup tüm hacmi 20 L'dir. İşletme sırasında reaktör 50 cm yüksekliğinde işletilmiş olup aktif hacmi 15 L olacak şekilde çalıştırılmıştır. (Şekil 12).



Şekil 12. Membran biyoreaktör

Sistem, besleme tankına bağlı olup KOSB ön çökeltme tankından alınan ham atıksu ile sürekli beslenmektedir. Vakum pompasına bağlı membran modülü ile istenen dönüş hızında sistemden arıtılmış su çekilmektedir. Reaktör üzerinde; pH, çözünmüş oksijen, ORP probları ve seviye sensörü bulunmaktadır. Sistem otomasyon sistemine bağlı olup

birçok parametre kontrol edilmekte ve bu parametreler için istenen alt-üst limit değerlerin geçilmesi durumunda pompa/vana devreye girmektedir (Şekil 12).

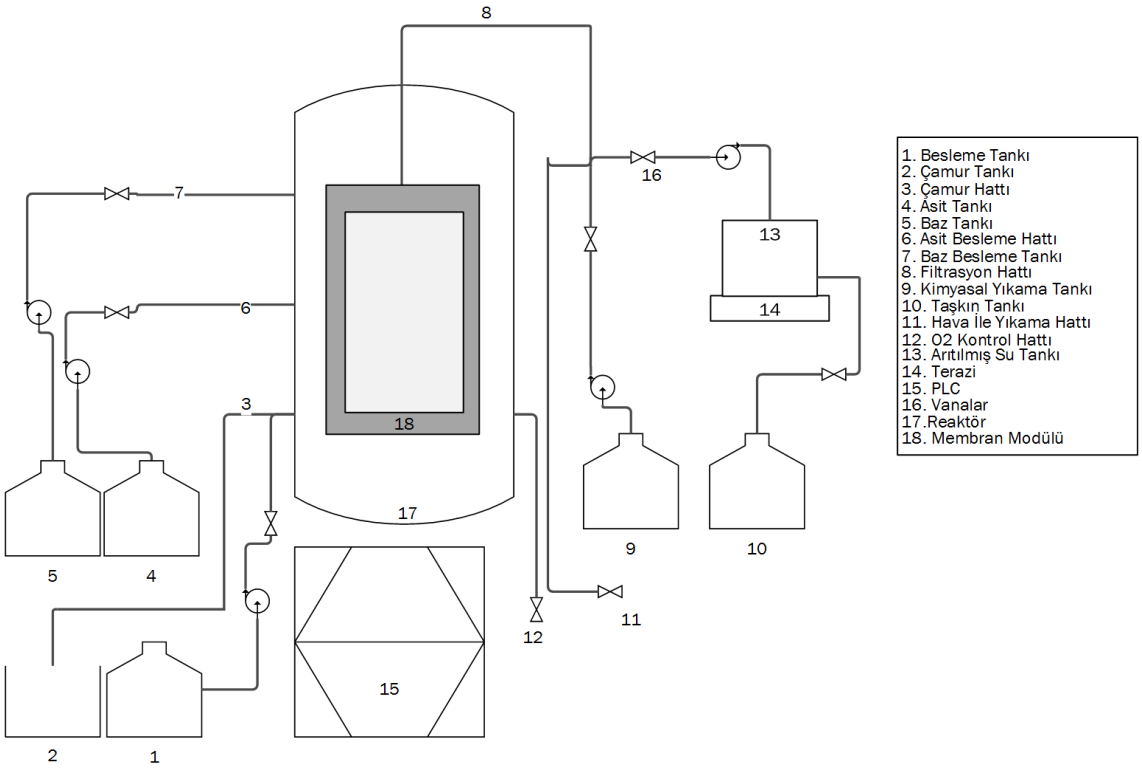


Şekil 13. MBR SCADA sistemi

MBR sisteminin akım şeması ise Şekil 14'te verilmiştir. Akım şemasında sistemdeki tüm ana unsurlar gösterilmiştir. MBR'de işletilecek membran modüllerinin hazırlanışı Şekil 16'da gösterilmiş olup, modüllerin gerektiğinde fiziksel ve kimyasal olarak yıkanmasıyla ilgili prosedürler ise aşağıda verilmiştir.

Fiziksel yıkama prosedürü: Modül MBR dışına çıkarılarak musluk suyu ile yıkanır. Yumuşak bir sünger ile sürekli aynı yöne doğru çamur tabakası temizlenir. Modül tekrar çeşme suyuyla yıkanarak işletmeye alınır.

Kimyasal yıkama prosedürü: Modül MBR dışına çıkarılarak fiziksel yıkama prosedürü uygulanır. Daha sonra 300 mg/L NaOCl çözeltisinde ve H_2SO_4 çözeltisinde (pH 2) 1'er saat bekletilir.



Şekil 14. MBR sistemi akım şeması

Sistemin çalışma şartları Tablo 7'de verilmiş olup bunların dışında, vakum hızı da sistemden rpm cinsinden otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Sistemden çamur atma sıklığı ve süresi de otomasyon ile ayarlanabilmektedir (Şekil 15).

Tablo 7. MBR otomasyon işletme şartları

Parametre	**İşletilen değer**	**Müdahale aralığı**
pH	7,5	6,5-8,5
Oksijen (mg/L)	3	2-5
Seviye (cm)	50	48-51

Sistemdeki pH düşüşü ya da yükselişi de asit ya da baz çözeltileri ile kontrol edilmektedir. pH ayarlaması dozlama pompaları yardımıyla 0,1 N sülfürik asit (H_2SO_4) ya da 0,1 N sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile yapılmaktadır.



Şekil 15. SCADA işletim parametreleri kontrol ekranı

MBR sisteminin düz plaka membranlarla işletilmesi nedeniyle sistemin vakum yapma - rahatlama (dinlenme) süreleri de otomasyonla kontrol edilmektedir. Seçilecek tüm geri yıkama senaryoları otomasyon sistemi ile belirlenmektedir. Bu çalışmada, membran tıkanma farklılıklarını gözlemlemek için farklı vakum-bekleme (relaxation) seçenekleri denenmiştir. Literatürde 5 dakika vakum ve 1 dakika rahatlama ya da 8:2, 4:1 gibi denemeler mevcuttur [39-41]. Bu çalışmada 5:1 ve 10:1 çalışma şartları denenmiştir.

2.3. Analiz Yöntemleri

Laboratuvar ölçekli çalışmalarda yapılacak analiz yöntemleri belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan parametreler ve ölçüm yöntemleri şunlardır;

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

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

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

NO_2-N: Haftada bir gün MQuant ™ marka nitrit test stripleri ile kaba ölçümleri yapılmıştır.

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

Toplam Fosfor: Standart metot 4500P-E'ye göre askorbik asit ile HACH–DR 3800 marka spektrofotometrede 690 nm dalga boyunda ölçülerek hesaplanmıştır.

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

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

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

Gerçek SRT değeri hesaplama: Gerçek çamur yaşı değeri aşağıda verilen hesaplama metoduna göre yapılmıştır.

Havalandırma Tankı hacmine göre hesaplama:

$$\theta c = \frac{VrX}{QwXw + QeXe}$$

θc = Çamur yaşı, gün

Vr = Havalandırma havuzu hacmi, m^3

X= Havalandırma havuzundaki uçucu askıda katı konsantrasyonu

Qw= Atılan çamur debisi, m^3/gün

Xw= Atık çamurdaki uçucu katı madde konsantrasyonu, mg/L

Qe = Çıkış suyu debisi, m^3/gün

Xe= Çıkış atıksuyunda uçucu askıda katı madde konsantrasyonu

Metal Analizleri: Kobalt (Co), bakır (Cu), bor (B), çinko (Zn), mangan (Mn), alüminyum (Al), gümüş (Ag), krom (Cr+3), nikel (Ni), magnzeyum (Mg), demir (Fe), sodyum (Na), kadmiyum (Cd), kalsiyum (Ca) analizleri için ICP-MS analiz tekniği kullanılmıştır. Teknik elektromanyetik indüksiyonla 10,000 ^{0}K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından numunenin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir detektör tarafından ölçülmesi aşamalarını içerir. OSB için geçmiş tarihli verilen metal analizleri de metal ölçüm kitleriyle (Hach) yapılmıştır.

2.4. Membranların Tanıtılması ve Modülün Hazırlanışı

MBR sistemi için işletilecek ve farklı boyutlarda tasarlanabilecek düz plaka membran modülleri laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında farklı alanlara sahip 2 adet MF modülü hazırlanmıştır. Membran modüllerinin hazırlanması için aşağıdaki sıra takip edilmiştir. Ayrıca modül hazırlama aşamaları Şekil 16'da verilmiştir.

- Polipropilen malzemeden üretilmiş oluklu levha istenilen ölçülere (modül boyutuna) getirilir.
- Oluklu levha üzerine süzülen suyun vakum pompası yardımıyla çekilebilmesi için yeterli sayıda delikler açılır.

- Levha üzerine çift taraflı bant yardımıyla membran destek malzemesi yapıştırılır. Bu sayede membranın basınç ile deforme olmasının önüne geçilmiş olur.
- Destek malzemesi üzerine yine çift taraflı bant yardımıyla membran yüzeyine dikkat edilerek membran yapıştırılır.
- Plastik köşebentler kesilen levhaya uygun ölçü ve açılarda kesilerek levha kenarlarına uygulanır. Bu uygulama sırasında membran yüzeyinin deforme olmamasına dikkat edilir.
- Membran ile köşebentlerin arasında oluşan boşluklarının kapatılması için reçine ve sertleştirici ile hazırlanan epoksi yapıştırıcı boşlukların doldurulması için kullanılır.
- Modül üzerine filtrasyon işleminin gerçekleşebilmesi için uygun köşebent üzerindeki filtrasyon ucunun içerisine uygun boyutta delik açılır.
- Filtrasyon hattı ile modül arasındaki borulama da epoksi ile doldurulur.

Hazırlanan modüller filtrasyon hattına pnömatik elemanlarla bağlanarak sistem başlatılır.



Şekil 16. Membran modülünün hazırlanışı

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. SRT'nin Arıtma Verimine Etkisi

MF membran modülü hazırlandıktan sonra farklı SRT değerleri ve işletme koşulları ile işletmeye alınmış olup standart sapma değerleri verilmiştir. Tablo 8'de gösterildiği şekilde uzun süre işletilmiştir. Tablo 9'da gerçek çamur yaşı (SRT) ile hesaplanan çamur yaşı verilmiştir. Gerçek çamur yaşı hesabı Tablo 10'da ise bu modüllerin işletme boyunca temel parametrelerdeki ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Tablo 8. MBR işletme koşulları

SRT(Gün)	MLSS (mg/L)	HRT (saat)	Alan (cm^2)	Filtrasyon modu
40	8000 ± 700	27,7	690	5:1
20	9000 ± 1200	18,6	1100	10:1

Literatür çalışmalarında da bahsedildiği üzere SRT ve HRT membran tıkanması konusunda çok önemli iki parametredir [15, 17, 19]. Tez çalışması kapsamında da farklı HRT ve SRT değerleriyle çalışılarak bu iki parametrenin tıkanmaya etkisi değerlendirilmiştir. Literatür bilgileriyle yapılan çalışmadaki değerler karşılaştırıldığında elde edilen bulgular paralellik göstermiş olup artan SRT veya azalan HRT değerleriyle MLSS konsantrasyonları yükselmiştir [44]. Çalışma kapsamında ilk 60 günde daha yüksek SRT ile çalışılmış olup (Tablo 9) tıkanmanın hızlı oluşunun sebebinin literatür çalışmalarında da belirtildiği gibi artan kirletici konsantrasyonlarıyla ve viskozitenin artmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir [15]. MBR sistemlerinde Tablo 8'de görülen filtrasyon modları tıkanma açısından önemli bir parametredir. Literatürdeki farklı filtrasyon modları [39-41] dinlenme süresinin arttıkça membran

tıkanmasının azaldığını göstermiştir. Çalışma sonucunda ortalama filtrasyon modu olarak kabul edilen 5:1 ve yüksek çalışma düşük rahatlama modu olarak kabul edilen 10:1 filtrsayon modlarında çalışılmıştır [45].

Tablo 9. MBR'de İşletilen Modüllerin SRT Değerleri

	MF	
İşletilen Gün	Gerçek SRT	SRT
1-60	39,3	40
60-90	18,9	20

10:1 filtrasyon modunun 5:1 filtrasyon moduna göre daha düşük HRT ve daha yüksek MLSS konsantrasyonuna sebep olacağı için tıkanmayı arttırdığı söylenebilir. Ayrıca membran daha az dinleneceği için literatürde belirtildiği gibi tıkanma probleminin artacağı düşünülmüştür [46]. Ancak çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar (Şekil 17) literatür bilgileriyle örtüşmemektedir. Tıkanmanın yüksek filtrasyon moduna rağmen (10:1) artmamasının sebebinin membran alanının artırılması ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 10. MBR giriş ve çıkış atıksuyu analiz sonuçları

Parametre	**MF Membran Modülü**	
	Tek Modül	**Çift Modül**
pH	7,5 ± 0,3	7,3 ± 0,2
İletkenlik giriş (ms/cm)	5,0 ± 0,8	4,3± 0,2
İletkenlik çıkış (ms/cm)	5,1 ± 0,5	3,8 ± 0,2
Giriş KOİ	534 ± 129	383 ± 144
Çıkış KOİ	42 ± 21	31 ± 18
Çıkış TP	2,7 ± 1,8	1,3 ± 0.6
Çıkış NO_2-N	0	0
Çıkış NO_3-N	2,5 ± 1,9	1,5 ± 1,1
Çıkış Renk (Pt-Co)	69 ± 23	67 ± 17
Ortalama Akı(LMH)	11,6 ± 2,7	11,4 ± 1,8

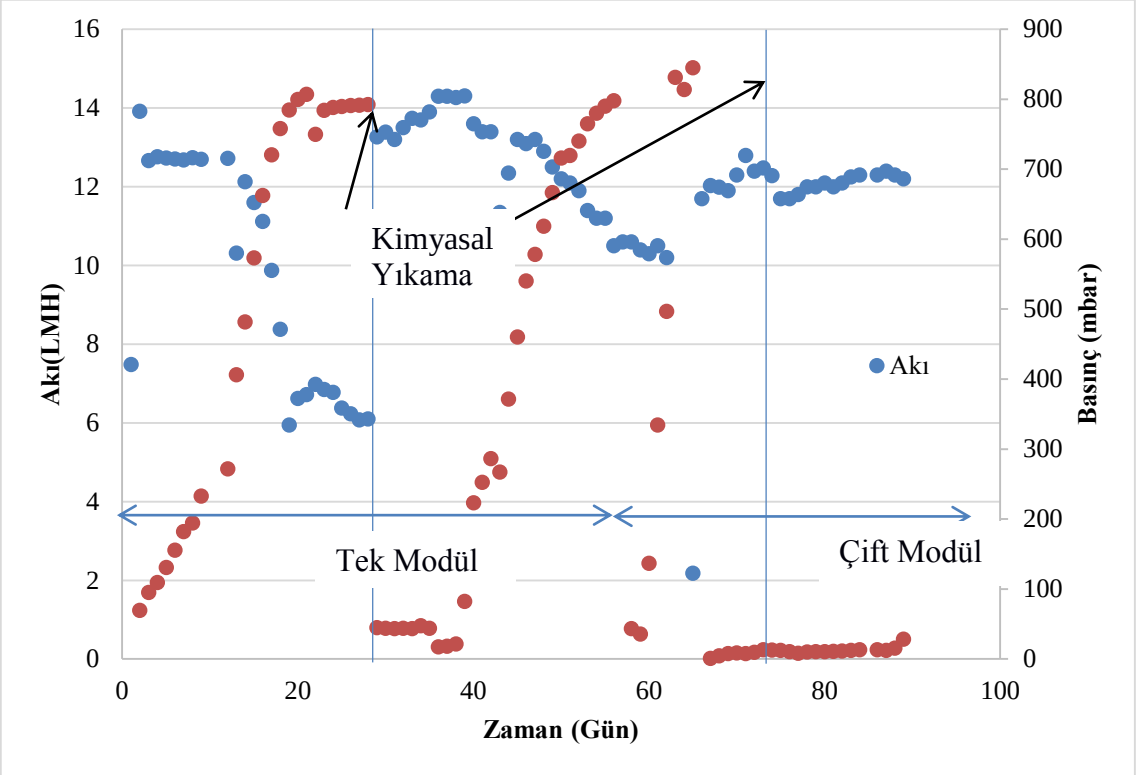
Tablo 10'da da görüldüğü üzere farklı membran alanlarına sahip modüllerde benzer giderim verimleri elde edilmiş olup her iki membran modülünde de %92'nin üzerinde KOİ giderimi elde edilmiştir. Farklı membran alanları ve farklı filtrasyon modları ile işletim sonucunda elde edilen farklı HRT değerlerinin KOİ giderimine etkisinin çok az olduğunu göstermiştir. Bu sonuç Babatsouli ve arkadaşlarının 2013 yılında yapmış

oldukları endüstriyel atıksuların MBR sistemi ile arıtımında farklı HRT değerlerinin KOİ giderimine olan etkisinin oldukça az olduğu bulgusuyla örtüşmektedir [38].
Gao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada HRT değeri 8 ile 2,5 saat arasında tutulmuş ve yine değişen HRT değerlerinin KOİ giderimine etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır [47].

3.2. Membran Alanının Arıtma Verimine Etkisi

MF modülü 2. Bölümde anlatıldığı şekilde hazırlandıktan sonra yüzey alanı 690 cm^2 olan modül 9 Mayıs 2016 tarihinde işletmeye alınmıştır. Yaklaşık 52 gün işletilen bu modül, işletme döneminin tam ortasında (45. Gün) bir kez kimyasal olarak yıkanarak işletilmiştir (Şekil 17).
MBR sisteminde MF membran modülünün işletimi sırasında literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında, reaktör hacmi ile membran alanı arasındaki oranın bu çalışmada daha düşük olduğu görülmüştür [48-50]. Yapılan literatür araştırılmalarından sonra membran alanını arttırmaya karar verilip 56. gün itibariyle eş iki modül ile membran alanı yaklaşık iki katına çıkarılmıştır. Membran alanının 2 kat artırılarak değiştirilmesi HRT'yi aynı oranda düşürmüştür. Membran alanı arttıktan sonra hızlı tıkanma ve basıncın çok hızlı yükselmesi gibi problemler ortadan kalkmış olup membranın tıkanma süreci uzamıştır. Sonuç olarak bu modül, istenen işletme koşullarını (akı, MLSS, çamur yaşı vb.) sağlayamadığı ve hızlı tıkanma eğilimi (Şekil 17) gösterdiği için 1 Temmuz tarihinde (56. Gün) toplam alanı 1100 cm^2 olan 2 yeni MF modülü işletmeye alınmıştır.
Farklı alanlara sahip iki modül ile MBR'yi işletme sürecinde sistem 33 gün boyunca işletilmiş olup işletme şartları izlenmiştir. Bu modüllerin işletilmesi sırasında ilk 9 günde beklenmeyen bazı problemler sebebiyle (köpürme, çamur kaybı, basıncın hızlı yükselmesi) membran modülleri kimyasal olarak yıkanmış ve aktif çamur değişimi yapılmıştır. Daha sonra bu modül sorunsuz olarak 23 gün daha işletilerek izlenmiştir.
Yapılan ilk denemelerden de gözlemlendiği üzere fiziksel temizlik yapılan modüllerde kısa sürede basınç artmış ve akı düşmüştür. Bu yüzden 21. Günde yapılan fiziksel temizlemenin yeterli olmaması üzerine bir kimyasal temizleme prosedürü oluşturularak 28. gün sistem durdurulup kimyasal temizleme yapılmıştır. Kimyasal temizlik öncesi ve sonrasında akının ve basıncın davranışı Şekil 17'de verilmiştir.

Şekil 18'de MBR'den çıkarılan modüllerin temizlenmeden önce, fiziksel temizleme yapıldıktan sonra ve kimyasal temizleme yapıldıktan sonraki görüntüleri verilmiştir.



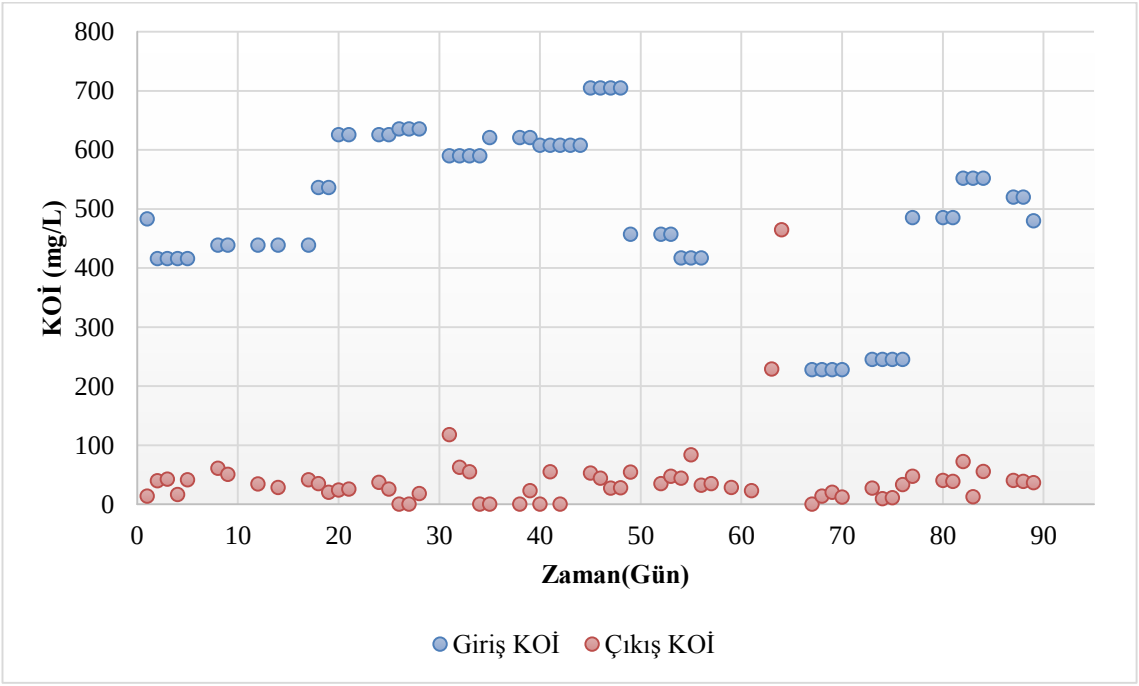
Şekil 17. MF modülü akı-basınç değişimi

Şekil 17'de de görüldüğü üzere tek modül ile işletim esnasında akı hızlı düşüşler göstermiş ve basınç ani yükselmiştir. Çift modül ile çalışıldığında ise akıda meydana gelen ani akı düşüşleri ortadan kalkmış ve basınç değişimi yok denecek kadar az olmuştur. 61. günden itibaren basıncın aniden artması ise atıksu arıtma tesisinden gelen köpüklü sudan kaynaklanmıştır. Reaktör besleme atıksuyu reaktörün köpürmesine ve taşmasına sebep olmuştur.



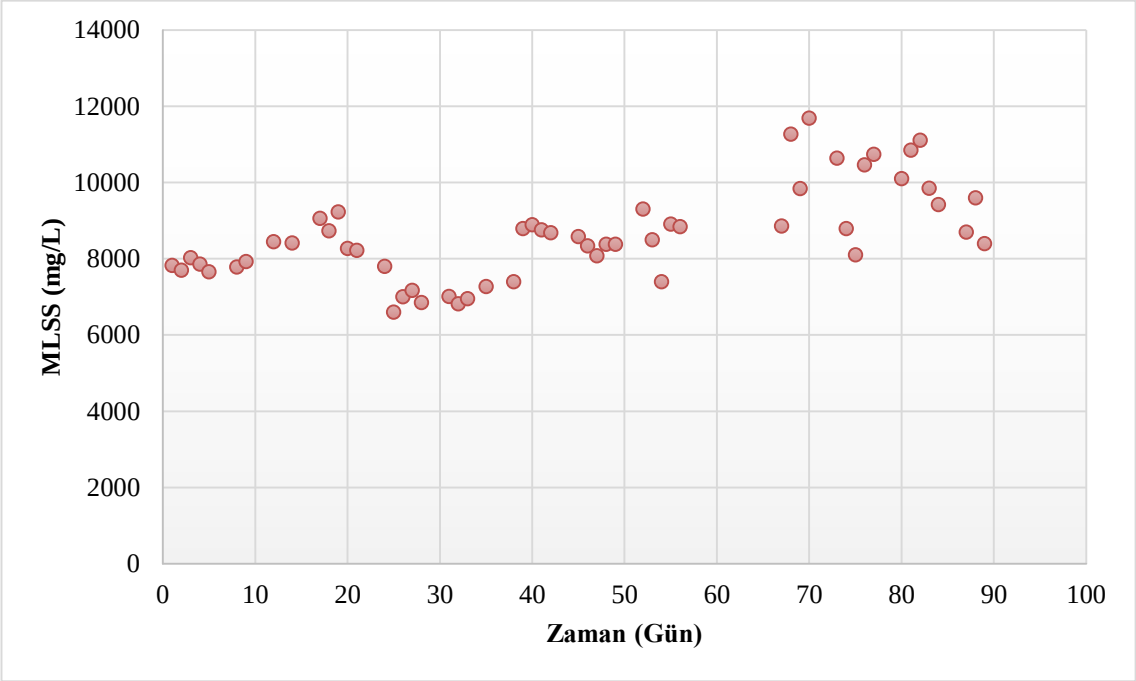
Şekil 18. MF modüllerinin temizlik öncesi ve sonrası durumları

MF modülünün işletilmesi sırasında giriş KOİ değerleri 200-700 mg/L civarlarında seyrederken çıkışta sadece 1 kez 1000 mg/L'nin üzerinde gerçekleşmiştir. Reaktörde çamur kaybı ve anaerobik durumun oluştuğu dönemde ise yüksek KOİ değerleri oluşmuştur (62-65.günler). Ancak sistem yıkama ve çamur değişimi sonrası hızla kararlı hale gelmiştir (Şekil 19). MLSS ise tek modülün işletilmesi sırasında 8000 mg/L civarında seyrederken, iki modülün işletilmesi sırasında kararlı halde artış eğilimine girmiştir (Şekil 20).



Şekil 19. MF modülü KOİ değişimleri

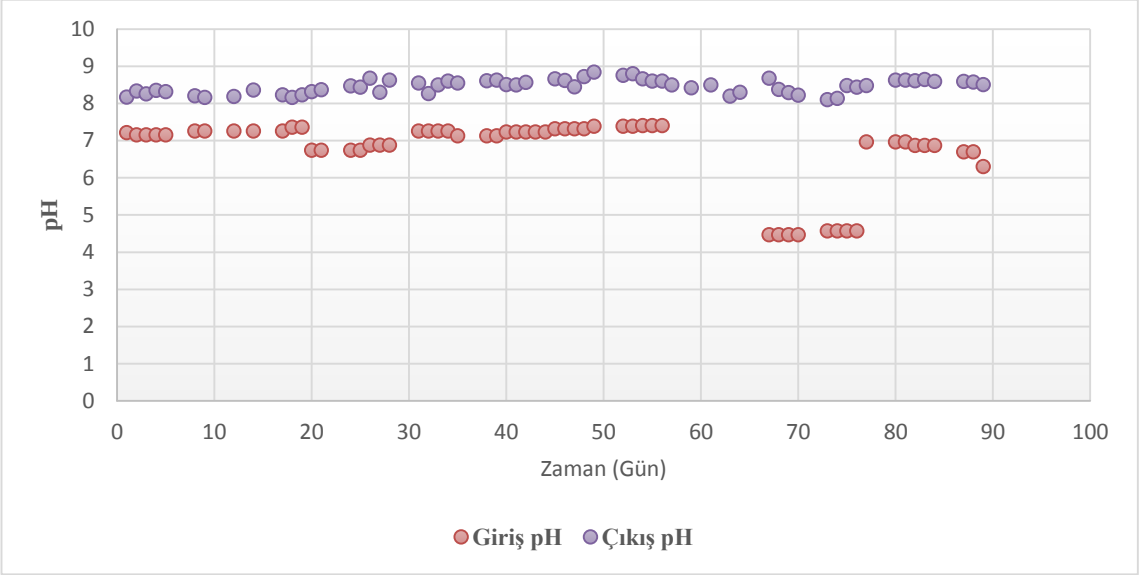
MF membran modülü ile işletim esnasında KOİ değişimi ile MLSS oranı paralellik göstermiştir. KOİ değerlerinin yükseldiği dönemde MLSS konsantrasyonu da artmıştır. Yine HRT'nin düşürülmesiyle birlikte yüksek organik yükleme sonucunda MLSS konsantrasyonu artmıştır (Şekil 20).



Şekil 20. MF modülü MLSS değişimi

pH değerlerinde ise reaktör işletimi sırasında giriş değerleri 7 civarlarında iken, çıkış pH değerleri her zaman daha yüksek tespit edilmiştir. Ancak çıkış pH değerleri her zaman 9'dan düşüktür (Şekil 21).

MBR'de MF modülü düşük alanla işletildiğinde tıkanma probleminin daha büyük alanlı modüle göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. 690 cm^2 alana sahip olan MF modülünde geri döndürülebilir tıkanma gözlemlenmiştir. Yani, MF membranının fiziksel yıkama ile yıkandığında tekrar eski haline döndürülemediği ancak kimyasal yıkama ile geri döndürülebildiği söylenebilir [7].



Şekil 21. MF modülü pH değişimi

3.3. MBR Sistemi İle Ağır Metal ve Mineral Giderimi

MBR'de MF modülünün işletilmesi sırasında ICP-MS cihazında metal ve mineral analizleri de yaptırılmıştır. Tablo 11'de AAT için iki farklı tarihte yapılan metal giriş ve çıkış değerleri verilmiştir. Tablo 12'de ise MBR'deki metal ve mineral giderim verimleri verilmiş olup AAT ile MBR'nin giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Tablo 12'de verilen sonuçlar mg/L biriminde olup hem MF modülü hem de AAT için giderim verimleri verilmiştir. Metal giderimi sonuçları değerlendirildiğinde metallerin %95 oranında AAT ön çöktürme tankında giderildiği bilinmektedir. MBR'de giriş suyu olarak kullanılan AAT ön çöktürme çıkış suyunun sonuçları MBR çıkış suyunun sonuçlarına göre bazı durumlarda daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeninin AAT'de çöktürülemeyen ve partikül içeren atıksuyun biyolojik arıtma sırasında suda çözünebilir forma dönüşmesi yüzünden olduğu düşünülmektedir. KOSB AAT'de ön çöktürme tankında metallerin birçoğu %95 oranında giderilmektedir. Çünkü metal analizi için ICP'ye verilen numunelerin 0,45 µ'luk filtre ile süzüldüğü bilinmektedir. MBR'de Ca, Al, ve Cr metallerinin kompleksler oluşturarak biyokütlede ya da aktif çamurda biriktiği düşünülmektedir [51].

Ayrıca, AAT'de klasik aktif çamur sisteminde metal gideriminin MBR'ye göre sadece bazı kirleticilerde (Fe, Mg, Cu) daha iyi olduğu söylenebilir. MBR'de ise Ca, Mn, Al, Ag, Cr^{+3} giderimlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 12).

Tablo 11. KOSB AAT metal giriş çıkış değerleri

Parametre	AAT Giriş (mg/L) (11.03.2016)	AAT Giriş (mg/L) (08.02.2016)	AAT Çıkış (mg/L) (11.03.2016)	AAT Çıkış (mg/L) (08.02.2016)
Co	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cu	0,128	0,127	0,134	0,134
B	3,158	2,769	2,753	2,739
Zn	<0,01	<0,01	<0,01	0,016
Mn	0,018	0,01	<0,01	<0,01
Al	0,456	0,372	0,303	0,292
Ag	0,099	0,099	0,098	0,099
Cr^{+3}	0,22	0,204	0,04	0,073
Ni	0,124	0,12	0,424	0,454
Mg	214,2	181,5	158,3	200,2
Fe	0,279	0,218	0.185	0,197
Na	553,8	538,1	507,4	527,1
Cd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ca	191,2	151,5	130,4	168,1

Tablo 11'de KOSB'nin metal giderim verimleri verilmiştir. Tablo 12'de ise MBR'deki metal ve mineral giderim verimleri verilmiş olup AAT ile MBR'nin giderim verimleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 12. MBR-MF modülü için metal-mineral giderimleri

Parametre Birim (mg/L)	MBR Giriş (mg/L)	MBR Çıkış (mg/L)	MBR-Giderim (%)	AAT Giderim (%)
Ca	145	114,9	21	14
Mg	97	100		9,0
Fe	0,216	0,202	6,5	21
Mn	0,212	< 0,01	99	62
Ag	0,258	0,255	1,2	0.5
Zn	0,014	0,041		
Ni	0,083	0,124		
B	2,679	2,614	2	10
Cu	0,191	0,212		2
Na	364,6	372,3		
Al	0,224	0,114	49	43
Sr	0,818	0,743	9	14
Cr^{+3}	0,334	0,212	36	36
Cd	< 0,01	< 0,01		

Tablo 12'de görüldüğü üzere Mangan (Mn) MBR sisteminde tamamen giderilmiştir. MBR sisteminde ağır metal giderim performansının incelendiği bir çalışmada da MF

membran türünde Mn % 99 oranında giderilmiş olup çalışma kapsamında elde edilen sonuçla örtüşmektedir [52].

OSB atıksuları farklı sektörlerden kaynaklı atıksulardan oluştuğundan dolayı genel bir karakterizasyon oluşturulamamaktadır [31]. Ancak Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)'nde OSB atıksuları için Tablo 19'da bazı limitler getirmiştir. Arıtılmış suların yeniden kullanımı için ise Atıksu Arıtma Tesisi Teknik Usuller Tebliği Ek 7'de sulama suyu kriterleri belirlenmiştir.

Tablo 13. Sulama sularının olabilecek maksimum ağır metal konsantrasyonları [25].

Elementler	**İzin verilen maksimum konsantrasyonlar**	
	Sürekli Sulamada (tüm zeminlerde) (mg/L)	**25 yıllık sulamada (killi zeminde) (mg/L)**
Alüminyum (Al)	5,0	20,0
Arsenik (As)	0,1	2,0
Berilyum(Be)	0,1	0,5
Bor (B)	0,3	2,0
Kadmiyum (Cd)	0,01	0,05
Krom (Cr)	0,1	1,0
Kobalt (Co)	0,05	5,0
Bakır (Cu)	0,2	5,0
Florür (F)	1,0	15,0
Demir (Fe)	5,0	20,0
Kurşun (Pb)	5,0	10,0
Lityum (Li)[1]	2,5	2,5
Manganez (Mn)	0,2	10,0
Molibden (Mo)	0,01	0,05
Nikel (Ni)	0,2	2,0
Selenyum (Se)	0,02	0,02
Vanadyum (V)	0,1	1,0
Çinko (Zn)	2,0	10,0

MF modülünde farklı HRT ve SRT değerleri altında işletilen MBR sisteminin çıkış sularının yeniden kullanım açısından değerlendirildiğinde tarımsal sulamada kullanımı için ölçümü yapılan metal giderim verimleri ile EK 7'deki değerler Tablo 14'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 14. Metal konsantrasyonlarının sulama değerleri ile karşılaştırılması

Parametre Birim (mg/L)	**MBR Çıkış (mg/L)**	**Sürekli Sulamada (mg/L)**	**25 yıllık sulamada (killi zeminde) (mg/L)**
Fe	0,202	5,0	20,0
Mn	< 0,01	0,2	10,0
Zn	0,041	2,0	10,0
Ni	0,124	0,2	2,0
B	2,614	0,3	2,0
Cu	0,212	0,2	5,0
Al	0,114	5,0	20,0
Cr^{+3}	0,212	0,1	1,0
Cd	< 0,01	0,01	0,05

Tablo 14'te de görüldüğü üzere ölçümü yapılan birçok metal türünün sulama suyu kriterlerini yerine getirmektedir. Ölçümü yapılan metal analizlerinden yalnızca krom (Cr^{+3}) ve bor (B)'nin tarımsal sulama kriterine uymadığı görülmektedir. Ancak çıkış suyundaki Cr^{+3} değeri 25 yıllık sulama süresince veya killi topraklarda kullanılabilir ve belirtilen şartlarda tarımsal sulama kriterlerine uygundur.

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç

Karışık endüstriyel atıksuların farklı işletme koşullarıyla batık MBR sisteminde arıtıldığı bu çalışmada, MBR sistemi 0,24µ gözenek çapına sahip PVDF materyalli MF membranı ile 90 gün boyunca işletilmiştir.

İşletme boyunca giriş atıksuyu KOSB arıtma tesisi ön çöktürme tankından alınmış olup KOİ değerleri 200-700 mg/L arasında seyretmiş ve yalnızca 1 kez 1000 mg/L'nin üzerine çıkmıştır.

MBR'de farklı alanlara sahip iki membran modülü denenmiştir. İlk membran modolü 690 cm^2 alana sahip olup 52 gün boyunca işletilmiş ve arıtma performansı izlenmiştir. Bu membran modülünde hızlı tıkanma eğilimi ve basınç artışı gözlemlenmiştir. Ayrıca istenen işletme koşulları da (akı, MLSS vb.) sağlanamamıştır. Literatür değerleriyle karşılaştırıldığında bu modülün membran alanının reaktör hacmine göre düşük olduğu görülmüş ve 1100 cm^2 membran alanına sahip 2. Modül işletmeye alınmıştır. Daha yüksek alana sahip 2. Modül 33 gün boyunca işletilmiş ve düşük alanlı modülde gözüken işletim problemleri ortadan kalkmıştır. Farklı alanlara sahip modüllerin arıtma performansı karşılaştırıldığında ise her iki membran modülünde benzer giderim verimleri elde edilmiş olup % 92 oranında KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Temel atıksu parametreleri ile birlikte metal ve mineral giderim verimleri karşılaştırıldığında MBR sistemi ile konvansiyonel arıtma sisteminin benzer giderim verimlerine sahip oldukları görülmüştür. Çoğunlukla 50 mg/L'den daha düşük KOİ

değerleri, 4 mS/cm civarlarında iletkenlik değerleri ve düşük renk değerleri (60-70 Pt-Co) elde edilmiştir.

İşletme şartları açısından da her iki membranda da aynı işletme şartları denenmiştir. SRT'de 40 ve 20 günlük çamur yaşları, 8 g/L'den 13 g/L'ye kadar MLSS değerleri ve ortalama 11,5 LMH akı değeri ile çalışılmıştır. MBR'de işletilen MF membranının tıkanma eğilimine bakıldığında ise fiziksel temizlemenin her iki modülde de yeterli olmayıp kimyasal temizlemenin gerekli olduğu görülmüştür. Dolayısıyla MF modülünün giderilemeyen tıkanma eğiliminde olduğu söylenebilir.

4.2. Öneriler

Tez çalışması sonucunda elde edilen sonuçlara göre MBR sisteminin en önemli problemi olan tıkanma problemlerini gidermek için öncelikle reaktör hacmi/membran alanına dikkat edilmelidir. Membran alanı reaktör hacmine göre çok düşükse membran alanı artırılarak tıkanma derecesi azaltılabilir. MLSS düştüğünde veya mikroorganizmalar içsel solunuma uğradığında MLSS konsantrasyonunu yükseltmek için HRT yükseltilerek organik yük artırılabilir. Ayrıca MBR sistemi çalışma kapsamında belirlenen membran türünün haricinde farklı membran tipleri ve farklı işletim koşullarıyla veya pilot ölçekli çalışmalar yapılarak pratiğe uygulanabilir.

MBR sisteminde işletilen MF membranının çıkış değerlerine bakıldığında ölçümü yapılan metal analizleri sonucunda krom (Cr) ve bor (B) hariç tüm metal türlerinin sulama suyu kriterlerini sağladığı söylenebilir. Çıkış suyunun Cr ve B hariç tarımsal sulamaya uygun olmasından ötürü bu metal türlerini deşarj eden endüstri türlerine deşarj standardı konularak bu iki parametrenin de uygun değerlere gelmesi sağlanabilir. Ancak yapılan analizlerin daha da detaylandırılması ve SKKY Tablo 19 ve AAT Teknik Usuller Tebliği Ek 7'de yer alan tüm parametrelerin analizleri yapılması gerekmektedir. Bu analizlerin tümü yapılmadan çalışmada kullanılan MBR sisteminin çıkış sularının tarımsal sulamada kullanılma durumu hakkında kesin bir sonuç söylenmesi güçtür.

Ayrıca çıkış suyu kalitesi bakımından bu çalışmada belirlenen membran tipi haricinde daha fazla membran tipi ve daha uygun membran konfigrasyonları başka çalışmalarda denenebilir. MBR sistemi KOSB Atıksu Arıtma Tesisine ve ülkemizde yer alan

OSB’lerde benzer atıksu karekterizasyonuna sahip olan konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinde alternatif bir sistem olarak işletilebilir

KAYNAKLAR

1. Adham S., Gagliardo P., Boulos L., Oppenheimer J., Trussell R., (2001). Feasibility ofthe membrane bioreactor process for water reclamation. **Water Science and Technology,43**(10), 203-209
2. Aslan, (2016). Membran Teknolojileri Türkiye Çevre Koruma Vakfı S.155-158
3. Buer, T., Cumin.J., (2010). MBR module design and operation. **Desalination, 250**(3), 1073-1077.
4. Baker, R. W. (2004). Overview of membrane science and technology. Membrane Technology and Applications, Second Edition, 1-14.
5. Judd S.J., (2006). The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment. Elsevier, Oxford, UK.
6. Le-Clech P., Chen V., Fane T.A.G., (2006). Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment. **Journal of environmental engineering, 284,** 17-53.
7. Yiğit N.Ö., (2007). Membran biyoreaktörü ile (MBR) evsel atıksu arıtımı, Doktora Tezi, S.D.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
8. Judd, S. J., (2002). The Development of the Membrane Bioreactor Technology for Sewage Treatment in the UK. School of Water Sciences, Cranfield University, UK.
8. Meng, F., Chae, S. R., Drews, A., Kraume, M., Shin, H. S., Yang, F., (2009). Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material. **Water research, 43**(6), 1489-1512
9. Ternes, T. A., Meisenheimer, M., McDowell, D., Sacher, F., Brauch, H. J., Haist-Gulde, B., Zulei-Seibert, N., (2002). Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment. **Environmental science & technology, 36**(17), 3855-3863.
10. Sipma, J., Osuna, B., Collado, N., Monclús, H., Ferrero, G., Comas, J., Rodriguez-Roda, I., (2010). Comparison of removal of pharmaceuticals in MBR and activated sludge systems. **Desalination, 250**(2), 653-659.

11. Tadkaew, N., Hai, F. I., McDonald, J. A., Khan, S. J., Nghiem, L. D. (2011). Removal of trace organics by MBR treatment: the role of molecular properties. **Water research, 45**(8), 2439-2451.

12. Görenoğlu, E., (2013). İki Farklı Saf Kültür Ve Aktif Çamur Üzerinde Triklosan Toksisitesinin Belirlenmesi, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

13. Hasar H., (2001) Batık Membran-Aktif Çamur Sistemlerinin Arıtma Kapasitesinin Geliştirilmesi ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elazığ.

14. Stephenson, T., Brindle, K., Judd, S., Jefferson, B. (2000). Membrane bioreactors for wastewater treatment. IWA publishing.

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

16. Chang, I. S., Le Clech, P., Jefferson, B., Judd, S., (2002). Membrane fouling in membrane bioreactors for wastewater treatment. **Journal of environmental engineering, 128**(11), 1018-1029.

17. Lee, W., Kang S. ve Shin H., (2003). "Sludge Characteristics and Their Contribution to Microfiltration in Submerged Membrane Bioreactors", Journal of Membrane Science, 216: 217-227

18. Kim, M. J., Sankararao, B., Yoo, C. K., (2011). Determination of MBR fouling and chemical cleaning interval using statistical methods applied on dynamic index data. **Journal of membrane science,** 375(1), 345-353

19. Arabi, S. ve Nakhla, G., (2009). Impact of Magnesium on Membrane Fouling in Membrane Bioreactors, Separation and Purification Technology, 67 319-325.

20. Luo, G., Liang, W., Tan, H., Yao, C., Zhang, N. ve Lu, L., (2013). "Effects of Calcium and Magnesium Addition on The Start-Up of Sequencing Batch Reactor Using Biofloc Technology Treating Solid Aquaculture Waste", Aquacultural Engineering, 57: 32-37.

21. Faust, L., Temmink, H., Zwijnenburg, A., Kemperman, A. J., Rijnaarts, H. H. M. (2014). Effect of dissolved oxygen concentration on the bioflocculation process in high loaded MBRs. **Water research, 66,** 199-207.

22. Koyuncu, I., Sengur, R., Turken, T., Guclu, S., Pasaoglu, M. E., (2015). 3-Advances in water treatment by microfiltration, ultrafiltration, and nanofiltration. Advances in Membrane Technologies for Water Treatment, 83-128.

23. Santos, A., Ma, W., Judd, S. J. (2011). Membrane bioreactors: two decades of research and implementation. **Desalination, 273**(1), 148-154.

24. Meng F., Chae S., Drewsc A., Kraume M., Shin H., Yang F., (2009). Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. **Water Reseach, 43,** 1489-1512.

25. Lim, A. L., Bai, R. (2003). Membrane fouling and cleaning in microfiltration of activated sludge wastewater. **Journal of membrane science, 216**(1), 279-290.

26. Koç, S., Bulmuş, C., (2014). Organize Sanayi Bölgelerinin Bölge Ekonomilerindeki Etkinliklerinin Karşılaştırılması: Kayseri Ve Sivas Örneği. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 4(1)

27. Kayseri OSB tanıtımı, **http://kayseriosb.org/tr** **(**Erişim tarihi: 26.07.2017)

28. Organize Sanayi Bölgeleri tanıtımı, **http://osbuk.org** (Erişim tarihi: 24.07.2017)

29. Özkan O., Uyanik I., Rençber M.M. , Oğuz M., Şahin U., Koyuncu İ. , Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Membran Biyoreaktörlerle Arıtılması: İlk Sonuçlar, Uluslararası Kentsel Su Ve Atık Su Yönetimi Sempozyumu , Malatya, 26-28 Ekim 2016, pp.1-7

30. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Yayımlandığı Resmi Gazete Tarihi: 31 Aralık Cuma 2004. Sayı: 25687

31. Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., Zahoor, A. (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. Agricultural Water Management, 130, 1-13.

32. Eckenfelder, W., Musterman, J. (1998). Activated sludge: treatment of industrial wastewater. CRC Press.

33. Seif, H., Malak, M. (2001). Textile wastewater treatment. In Sixth International Water Technology Conference, IWTC (pp. 608-614).

34. Çay, Ş. (2013). Bir metal son işlemleri endüstrisi atıksularında en uygun arıtma teknolojilerinin ve atıksu geri kazanmanın değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi).

35. Giacobbo, A., Feron, G. L., Rodrigues, M. A. S., Ferreira, J. Z., Meneguzzi, A., Bernardes, A. M. (2015). Integration of membrane bioreactor and advanced oxidation processes for water recovery in leather industry. **Desalination and water treatment, 56**(7), 1712-1721.

36. Cicek, N., (2002). Membrane bioreactors in the treatment of wastewater generated from agricultural ındustries and activities. Proceedings of the AIC Meeting, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

37. Friha, I., Bradai, M., Johnson, D., Hilal, N., Loukil, S., Amor, F. B., Sayadi, S. (2015). Treatment of textile wastewater by submerged membrane bioreactor: In vitro bioassays for the assessment of stress response elicite by raw and reclaimed wastewater. **Journal of environmental management, 160,** 184-192.

38. Babatsouli, P., Palogos, I., Michalodimitraki, E., Costa, C., Kalogerakis, N. (2015). Evaluation of a MBR pilot treating industrial wastewater with a high COD/N ratio. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 90**(1), 26-33.

39. Bienati, B., Bottino, A., Capannelli, G., Comite, A. (2008). Characterization and performance of different types of hollow fibre membranes in a laboratory-scale MBR for the treatment of industrial wastewater. **Desalination, 231**(1-3), 133-140.

40. Du, X., Qiu, X., Zhang, Y., Ni, J. (2015). Treatment and recycling of garment washing wastewater. IDA **Journal of Desalination and Water Reuse, 7**(1-4), 25-29.

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

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

43. Henze, M., Harremoes, P., la Cour Jansen, J., Arvin, E. (2001). Wastewater treatment: biological and chemical processes. **Springer Science & Business Media.**

44. Huang, Z., Ong, S. L., Ng, H. Y. (2011). Submerged anaerobic membrane bioreactor for low-strength wastewater treatment: effect of HRT and SRT on treatment performance and membrane fouling. **Water research, 45**(2), 705-713.

45. Wu, J., Le-Clech, P., Stuetz, R. M., Fane, A. G., Chen, V. (2008). Effects of relaxation and backwashing conditions on fouling in membrane bioreactor**. Journal of Membrane Science, 324**(1), 26-32.

46. Zsirai, T., Buzatu, P., Aerts, P., 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.

47. Gao, D. W., Tao, Y., An, R. (2012). Digested sewage treatment using membrane-based process at different hydraulic retention times. **Desalination, 286,** 187-192.

48. Ahmed, Z., Cho, J., Lim, B. R., Song, K. G., Ahn, K. H., (2007). Effects of sludge retention time on membrane fouling and microbial community structure in a membrane bioreactor. **Journal of Membrane Science, 287**(2), 211-218.

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

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

51. Qdais, H. A., Moussa, H., (2004). Removal of heavy metals from wastewater by membrane processes: a comparative study. **Desalination, 164**(2), 105-110.

52. Arévalo, J., Ruiz, L. M., Pérez, J., Moreno, B.,Gómez, M. Á. (2013). Removal performance of heavy metals in MBR systems and their influence in water reuse. **Water Science and Technology, 67**(4), 894-900.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Mehmet Mükerrem RENÇBER
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 5 Ağustos 1991, Kayseri
Medeni Durumu: Bekâr
Tel: +90 541 344 54 50
email: mukerremrencber@hotmail.com
Yazışma Adresi: Mevlana Mah. Elçibey Cad. Turkuaz Apt. 32/1 Talas-KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2014-2017
Lisans	EÜ Çevre Mühendisliği	2014
Lise	Kayseri Anadolu Lisesi, Kayseri	2009

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Özkan O., Uyanik I., Rençber M.M., Özcan Ö. , Ekrikaya H. , Olgunharputlu M. , et al., "Reusing Approaches for an Organized Industrial Zone Wastewater by Membrane Processes", International Conference on Civil and Environmental Engineering, NEVŞEHİR, TÜRKIYE, 8-10 Mayıs 2017, pp.1-2

2. Özkan O., Uyanik I., Özcan Ö., Rençber M.M., Usta E., Şimşek S.E., et al., "Operational Problems at a Laboratory Scale Membrane Bioreactor for the Treatment of Organized Industrial Zone Wastewater ", ECOLOGY 2017 INTERNATIONAL SYMPOSIUM, KAYSERİ, TÜRKIYE, 11-13 Mayıs 2017, pp.1-2

3. Özkan O., Uyanik I., Rençber M.M. , Oğuz M., Şahin U., Koyuncu İ. , "Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Membran Biyoreaktörlerle Arıtılması: İlk Sonuçlar", ULUSLARARASI KENTSEL SU VE ATIK SU YÖNETİMİ SEMPOZYUMU , MALATYA, TÜRKIYE, 26-28 Ekim 2016, pp.1-7

4. Özkan O., Uyanik I., Rençber M.M., "ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ATIKSULARININ YENİDEN KULLANIM SEÇENEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ", 3. Uluslararası Su Kongresi, İZMİR, TÜRKIYE, 8-10 Ekim 2015, pp.103-103

5. Uyanik I., Özkan O., Rençber M.M. , Sağıroğlu N. , "Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Yeniden Kullanımı için Membranlı Sistemlerlerin Belirlenmesi", 4. Ulusal Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, ISPARTA, TÜRKIYE, 7-8 Ekim 2015, ss.147-150