



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ PAKET  
MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) İLE  
EVSEL ATIKSULARINDAN ORGANİK  
MADDE, AZOT VE FOSFOR GİDERİMİ**

**Yusuf Can HATİPOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mayıs-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Yusuf Can HATİPOĞLU tarafından hazırlanan “Güneş Enerjisi Destekli Paket Membran Biyoreaktör (MBR) ile Evsel Atıksularından Organik Madde, Azot ve Fosfor Giderimi” adlı tez çalışması 03/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Ali BERKTAY

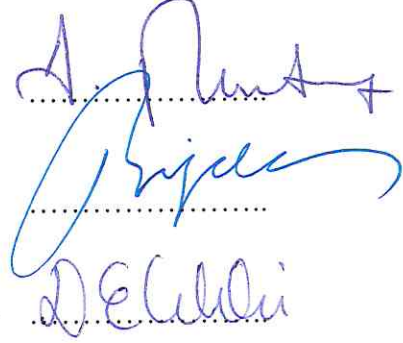
#### Danışman

Prof. Dr. Bilgehan NAS

#### Üye

Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK-KOBİ ARGE 1507 tarafından 7141267 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Yusuf Can HATİPOĞLU

Tarih: 03/05/2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

# GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ PAKET MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) İLE EVSEL ATIKSULARINDAN ORGANİK MADDE, AZOT VE FOSFOR GİDERİMİ

**Yusuf Can HATİPOĞLU**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Bilgehan NAS**

**2019, 77 Sayfa**

**Jüri**

**Prof.Dr. Ali BERKTAY  
Prof.Dr. Bilgehan NAS  
Prof.Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ**

Dünya’da evsel/kentsel atıksuların arıtılmasında membran teknolojilerinin kullanılması her geçen gün artmaktadır. Bunun yanında ülkemizde de son yıllarda evsel/kentsel atıksu arıtımında uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Membran prosesler, yaygın kullanılan diğer biyolojik arıtma yöntemlerine kıyasla daha uzun çamur yaşlarında, karışık sıvı askıda katı madde (MLSS) değerlerinde ve düşük bekleme sürelerinde işletilebildiğinden daha düşük alan ihtiyacı, daha az çamur üretimi ve daha iyi çıkış suyu kalitesi ile avantaj sağlayabilmektedir.

Ülkemizde evsel atıksu amacı ile inşa edilen MBR proseslerinde sadece karbon giderimi hedeflenmiştir. Bu tez kapsamında yapılan araştırmada; sistem tasarımı olarak biyolojik karbon (C), azot (N) ve fosfor (P) giderimi yapabilecek membran biyoreaktör (MBR) arıtma sistemi tasarlanmış olup, üretilen paket MBR arıtma ünitesinin işletilmek üzere Konya kentsel atıksu arıtma tesisine kurulumu gerçekleştirilmiştir. 80 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli paket MBR sistemi kaba ızgaradan geçmiş olan atıksu ile beslenmiş ve geliştirilen sistemin C, N, P giderim verimleri araştırılmıştır. Ayrıca paket MBR sistemine entegre edilmiş olan güneş panelleri vasıtasıyla üretilen enerjinin tesisin enerjisini karşılama oranları da incelenmiştir. Böylece yenilenebilir enerji kaynakları destekli arıtma tesislerinin uygulanması ile gelecekte enerji nötr ve enerji pozitif atıksu arıtma tesislerine yönelecek olan sektör için değerlendirme yapılmıştır.

C, N ve P giderimi yapabilecek şekilde tasarlanan ve işletilen MBR tesisi ile Konya kentsel atıksularının arıtıldığı araştırmada, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM), toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) parametrelerinde sırasıyla %93.8, %97.8, %53 ve %83 giderim verimleri elde edilmiştir. Özellikle küçük yerleşim yerlerinde hassas alanlara deşarj yapabilecek için N ve P giderimi yapabilen arıtma prosesi alternatifleri olarak MBR prosesinin yüksek arıtma verimleri ile aynı zamanda arıtılmış suyun farklı yeniden kullanım alternatifleri sağlayabilmesi açısından da önemli bir alternatif olabileceği değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** atıksu arıtımı, evsel atıksu, güneş enerjisi, ileri arıtma, MBR, yeniden kullanım

## ABSTRACT

### MS THESIS

# ORGANIC MATERIAL, NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL IN DOMESTIC WASTEWATER WITH SOLAR ENERGY SUPPORTED PACKAGE MEMBRANE BIOREACTOR (MBR)

**Yusuf Can HATİPOĞLU**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Environmental Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Bilgehan NAS**

**2019, 77 Pages**

**Jury**

**Prof.Dr. Ali BERKTAY**

**Prof.Dr. Bilgehan NAS**

**Prof.Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ**

The use of membrane technologies in the treatment of domestic / urban wastewater is increasing day by day. In addition, in recent years in Turkey, membrane technologies have started to find application area. Since membrane processes can be operated at longer sludge ages, mixed liquid suspended solids (MLSS) and lower hydraulic retention time compared to other commonly used biological treatment methods, they can provide advantages with lower space requirements, less sludge production and better effluent water quality.

In Turkey, only carbon removal is aimed in MBR processes built for domestic wastewater. In this research; As the system design, membrane bioreactor (MBR) treatment system designed to remove the biological carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) was designed and the packet MBR treatment unit was installed in Konya urban wastewater treatment plant for operation. The 80 m<sup>3</sup>/day package MBR system was fed by wastewater passing through the coarse screen and the efficiency of the developed system C, N, P was investigated. In addition, the energy produced by the solar panels integrated in the package MBR system was also examined. Thus, with the implementation of renewable energy assisted treatment facilities, has been evaluated for the sector which will be directed to energy neutral and energy positive wastewater treatment plants in the future.

C, N and P are designed and operated in order to perform the removal of the wastewaters of Konya with the MBR plant designed and operated, chemical oxygen demand (COD), suspended solids (SS), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) parameters in the removal efficiency of %93.8, %97.8, %53 and %83 were obtained. It is considered that the MBR process can be an alternative to the treatment process which can remove N and P to be able to discharge to sensitive areas especially in small settlements and also it can be an important alternative in terms of high processing efficiencies as well as providing different water reuse alternatives.

**Keywords:** advanced treatment, domestic wastewater, MBR, solar energy, wastewater treatment, water reuse

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında güneş enerjisi sistemi entegre edilmiş paket membran biyoreaktör arıtma sisteminin konvansiyonel arıtma sistemlerine karşı avantajları, dezavantajları ve arıtma verimi değerlendirilmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde paket arıtma sisteminin yenilenebilir enerji konusunu ön plana çıkarması ve enerji kaynaklarının doğru kullanımındaki bilinci de artırması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması, Artış Endüstriyel Tesisler Taahhüt ve Ticaret Anonim Şirketi tarafından hazırlanan, TÜBİTAK KOBİ Ar-Ge Başlangıç Destek Programı kapsamında 7141267 Proje Numarası ile desteklenen “Evsel Atık Sulardan Azot ve Fosfor Giderimi Sağlayacak Yenilenebilir Enerji Destekli Paket Arıtma Sisteminin Geliştirilmesi” projesi verilerinden hazırlanmıştır.

Projeyi destekleyen TÜBİTAK’a, proje önerisini hazırlayan, bu projede tesisin işletilmesinde beni görevlendiren, paket MBR prosesinin tasarımı ve montajını yapan Artış End. Tes. Taah. ve Tic. A.Ş.’ye, tesisin Konya atıksu arıtma tesisine kurulumuna izin veren KOSKİ Genel Müdürlüğü’ne, proje danışmanlığını yürüten ve tez çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanma sürecinin her aşamasında bilgisini, tecrübesini ve değerli zamanını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Bilgehan NAS’a, eğitim hayatım boyunca maddi manevi bana her an destek olan aileme ve gerek tecrübesiyle gerek sevgisiyle daima yanımda olan sevgili eşim Cansel HATİPOĞLU’na teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yusuf Can HATİPOĞLU  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>V</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>VI</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>VII</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Membran Teknolojisi.....	3
2.1.1. Membran .....	3
2.1.2. Membran filtrasyonu.....	3
2.1.3. Membran biyoreaktör (MBR) tanımı.....	7
2.1.4. MBR konfigürasyonları .....	8
2.1.5. Membran performansı.....	10
2.1.6. Biyolojik aktivite .....	13
2.1.7. Enerji tüketimi .....	16
2.1.8. Membran biyoreaktörlerin (MBR) gelişimi.....	18
2.1.9. MBR’ın konvansiyonel sistemlerle kıyaslanması.....	19
2.1.10. MBR öncesi azot ve fosforun biyolojik olarak giderilmesi .....	21
2.2. Güneş Enerjisi.....	26
2.2.1. Güneş enerjisi ve teknolojileri .....	27
2.2.2. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli.....	28
2.2.3. Türkiye’de güneş enerjisinin kullanımı .....	30
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>33</b>
3.1. Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi .....	33
3.2. Paket MBR Sistemi.....	33
3.2.1. Paket MBR sisteminin tasarım esasları .....	33
3.2.2. Paket MBR sistemi boyutları ve ekipman özellikleri .....	34
3.2.3. Paket MBR sistemi batık tip membran özellikleri.....	37
3.3. Paket MBR Sistemi İşletme Prensipleri.....	38
3.4. MBR Sisteminde Kullanılan Güneş Panelleri .....	44
3.5. Deneysel Yöntemler .....	44
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>46</b>
4.1. Paket MBR Sistemi İşletme Değerleri.....	46
4.2. Paket MBR Sistemi Organik Madde Giderimi .....	49
4.3. Paket MBR Sistemi Askıda Katı Madde Giderimi.....	51
4.4. Paket MBR Sistemi Azot Giderimi .....	52
4.5. Paket MBR Sistemi Fosfor Giderimi.....	54

<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>57</b>
5.1 Sonuçlar .....	57
5.2 Öneriler .....	61
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>63</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>66</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>67</b>





## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

C	:	Karbon
C	:	Seramik
Ca	:	Kalsiyum
Cu	:	Bakır
CaCl <sub>2</sub>	:	Kalsiyum Klorür
CO <sub>2</sub>	:	Karbondioksit
Ec	:	Enerji Harcaması
F/M	:	Besin/Mikroorganizma
FeCl <sub>3</sub>	:	Demir 3 Klorür
HF	:	Boşluklu Fiber
HRT	:	Hidrolik Bekletme Zamanı
IMP	:	Maksimum Güç Akımı
ISC	:	Kısa Devre Akımı
J	:	Joule
kW	:	Kilo Watt
LMH	:	Akım
Mg	:	Magnezyum
Mo	:	Molibden
MLSS	:	Karışık Sıvıdaki Askıda Katı Konsantrasyonu
MW	:	Mega Watt
MWCO	:	Molekül Ağırlığı Azalması
Mbar	:	Milibar
N	:	Azot
N <sub>2</sub> -N	:	Azot gazı
NaOCl	:	Sodyum Hipoklorit
NaCl	:	Sodyum Klorür
ND	:	Tanımlanamamış
NH <sub>4</sub>	:	Amonyum
NH <sub>4</sub> -N	:	Amonyum Azotu
NO <sub>2</sub> -N	:	Nitrit Azotu
NO <sub>3</sub> -N	:	Nitrat Azotu
θ	:	Hidrolik Bekleme Süresi
OLR	:	Organik Yükleme Oranı
P	:	Fosfor
P+F	:	Plak ve Çerçeve
P <sub>C</sub>	:	Geri Devir Pompasının Harcadığı Güç
Q <sub>P</sub>	:	Süzüntü Debisi
Q <sub>R</sub>	:	Geri Devir Debisi
SRT	:	Çamur Yaşı
SS	:	Yan Taraf Akımlı
SUB	:	Daldırılmış
T	:	Tüp
TF	:	Damlatmalı Filtre
TMP	:	Trans-Membran Basıncı
TN	:	Toplam Azot

TP	:	Toplam Fosfor
X	:	Askıda Katı Madde Konsantrasyonu
VMP	:	Maksimum Güç Gerilimi
VOC	:	Açık Devre Gerilimi
°C	:	Derece Santigrat
°K	:	Derece Kelvin
µm	:	Mikrometre
Δp	:	Havalandırma Tankı Yük Kaybı
η	:	Pompa Verimi

### Kısaltmalar

AAT	:	Atıksu Arıtma Tesisi
AB	:	Avrupa Birliği
AKM	:	Askıda Katı Madde
ASP	:	Aktif Çamur Prosesi
BAF	:	Biyolojik Havalandırılmış Filtre
BOİ <sub>5</sub>	:	5 Günlük Biyolojik Oksijen İhtiyacı
ÇO	:	Çözünmüş Oksijen
DD	:	Donnan Diyalizi
DMİ	:	Devlet Meteoroloji İstasyonu
EİE	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EMBR	:	Harici Membran Biyoreaktör
EPDM	:	Etilen Propilen Dien Monomer
İBAAT	:	İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi
KOİ	:	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KOSKİ	:	Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi
MBR	:	Membran Biyoreaktör
MF	:	Mikrofiltrasyon
MSS	:	Metre Su Sütunu
NF	:	Nanofiltrasyon
PE	:	Polietilen
PLC	:	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
PP	:	Polipropilen
PS	:	Polisülfon
PVC	:	Polivinil Klorür
PVF	:	Polivinil Florür
RO	:	Ters Osmoz
SKKY	:	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SMBR	:	Daldırılmış Membran Biyoreaktör
SOTE	:	Standart Oksijen Transfer Verimi
TEP	:	Ton Eşdeğer Petrol
UAKM	:	Uçucu Askıda Katı Madde
UF	:	Ultrafiltrasyon
UV	:	Ultraviyole

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde yerleşim yerlerinden kaynaklanan atıksuların arıtılması için evsel/kentsel atıksu arıtma tesisleri çok hızlı bir şekilde yapılmaya devam etmektedir. Nüfusu 10 bin kişiden fazla olan yerleşim yerlerinde atıksu arıtma tesisleri büyük oranda tamamlanmıştır. Ancak, küçük yerleşim yerlerinde yapılması gereken çok sayıda arıtma tesisi ihtiyacı bulunmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılan Atıksu Arıtımı Eylem Planına (2015 - 2023) göre 2023 yılına kadar 1,501 adet yeni atıksu arıtma tesisi (AAT) yapılması planlanmaktadır.

Bu nedenle başta özellikle belediyeler olmak üzere, birçok kamu ve özel kuruluş arıtma tesislerini iş temin planlarına uygun olarak tamamlamak durumundadır. Nüfusu 2,000 kişinin üzerinde olan yerleşim birimleri için arıtma tesisi yapma yükümlülüğü bulunmaktadır. Küçük yerleşim birimlerinde ise atıksu konusu ile ilgili yeterince bilgi birikimi oluşmaması ve uzman personel bulunmayışı nedeni ile arıtma tesisi sistem seçiminde büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Atıksu karakteristiği, işletme maliyeti ve işletme sorunları yanında nitelikli personel ihtiyacı gibi pek çok faktör çoğunlukla dikkate alınmadığı için tesisler yeterli verimde çalıştırılmamaktadırlar.

Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından 23.12.2016 tarihinde yayınlanan **“Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik”** ile de ülkemizdeki hassas alanlar belirlenmiştir. Yönetmelik gereği de hassas su kütlelerine yapılacak deşarjlarda organik madde giderimi yanında Azot (N) ve Fosfor (P) giderimi de yapılması gerekmektedir.

Bu yüzden ülkemizde özellikle küçük yerleşim yerlerinde evsel atıksuların arıtımında C, N, P giderimi yapabilecek ileri arıtma sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması önemlidir.

Bu tez çalışmasında; sistem tasarımı olarak biyolojik olarak karbon (C), azot (N) ve fosfor (P) giderimi yapabilecek membran biyoreaktör (MBR) arıtma sistemi seçilmiş olup, 80 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli MBR tesisinin imalatı gerçekleştirilerek paket arıtma ünitesi işletilmek üzere Konya Atıksu Arıtma Tesisine (AAT) kurulmuştur. Konya ilinden kaynaklanan atıksuların arıtımı için paket arıtma ünitesinin uygulanabilirliği araştırılarak, çalışma performansı ve giderim verimliliği ortaya konulacaktır. Tez çalışması ile paket arıtma sisteminin konvansiyonel arıtma sistemlerine karşı avantajları, dezavantajları ve arıtma verimi değerlendirilecektir. Paket arıtma ünitesine entegre edilmiş olan güneş panelleri yardımıyla güneş enerjisi sistemi sayesinde kendi

enerji ihtiyacını karşılayabilecek ve mümkün olursa da fazlasını da şebekeye satabilecek bu sistemin, yenilenebilir enerji konusunu ön plana çıkarması ve enerji kaynaklarının doğru kullanımındaki bilinci de arttıracığı amaçlanmaktadır.



## **2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Membran Teknolojisi**

#### **2.1.1. Membran**

Membran, iki faz arasında seçici yarı geçirgen bir malzemedir (Merz ve ark., 2007). Atıksu arıtımında, artan yükümlülükler için membran ayırma sistemlerinin seçiminde veya tasarımında en önemli parametre, arıtılacak suyun özelliğine göre uygun membran seçimidir. Birçok proses için membran askıda veya çözünmüş halde olabilen kirleticileri tutarak suyun büyük ölçüde arıtımını sağlar (Hasar, 2001).

Membran kullanımının genel olarak 3 farklı amacı vardır. Bunlar; saflaştırma, derişikleştirme ve fraksiyonlara ayırmadır. Bu amaçlar doğrultusunda sanayinin çeşitli alanlarında geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Bir membran ayırma sistemi, giriş akısını permeat ve retentat akım olarak iki farklı şekilde karşımıza çıkarmaktadır. Permeat akım yarı geçirgen membrandan geçen akışkan kısımdır. Retentat akım ise membrandan geçemeyen kısmı ifade etmektedir. Kullanılan membranların kalınlıkları mikron seviyelerinden birkaç milimetre seviyelerine kadar değişkenlik gösterebilir (Mayhew ve Stephenson, 1997).

#### **2.1.2. Membran filtrasyonu**

Membran filtrasyon prosesleri ile partiküllerden moleküllere kadar çok sayıda maddenin sıvı ortamdan ayrıştırılmasında karşılaşılan problemlere etkili çözümler getirebilmektedir. Membran filtrasyonu, basit bir mekanik ayırma prosesidir. Basınç, derişim (kimyasal potansiyel), elektriksel potansiyel ve sıcaklık farklarının birinden ya da çeşitli kombinasyonları neticesinde oluşturulan itici kuvvetlerle ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayırma işlemi membran cinsine göre farklılık göstermektedir. Gözenekli yapıya sahip membranlar bu işlemi şekil, boyut ve yük ayırımına göre, gözeneksiz yapıya sahip membranlar ise difüzyon ve sorpsiyon modeline göre kontrol edebilmektedirler. Membran performansı iki parametreye göre belirlenmektedir. Bunlar seçicilik ve akıdır. Membran prosesleri genelde düşük enerji gerektiren ve geleneksel

proseslerle yarışan ya da bu proseslerle birlikte kullanılan ayırma prosesleri olarak ifade edilebilmektedirler.

Son zamanlarda oldukça fazla miktarda kullanılmaya başlanılan membran proseslerinin; meyve suyu berraklaştırma ve derişiklendirme (Ters Osmoz), deniz suyundan içme suyu elde edilmesi (Ters Osmoz), fermantasyon besiyerlerinin derişiklendirilmesi (Nanofiltrasyon), su arıtma işlemleri (Ultrafiltrasyon ve Mikrofiltrasyon), değerli metallerin sulu çözeltilerden geri kazanılması (Donnan Diyalizi) gibi çeşitli endüstriyel uygulama alanı bulunmaktadır (Cassano ve ark., 2006); (Kalogirou, 2005); (Morão ve ark., 2006); (Nosenzo ve ark., 2005); (Durmaz ve ark., 2005).

### **2.1.2.1. Mikrofiltrasyon (MF)**

Mikrofiltrasyon (MF) ultrafiltrasyonla (UF) prosesleri benzer proseslerdir ve temelleri aynıdır. Her iki proseste sürücü güç basınçtır. Bu iki proses arasındaki tek fark ayrıştırılan materyallerin boyut aralığıdır (Aptel, 1996); (Stephenson ve ark., 2000).

Bu yöntemde ayrılabilen partiküllerin boyutu 0.1 - 1 mikron aralığında değişir. Askıdaki katı maddelerin ve büyük moleküllerin sistemden uzaklaştırılması gerçekleşirken daha küçük boyuttaki moleküller ve çözünmüş maddeler membrandan geçmektedirler. Bakterilerin, flok maddelerin veya askıda katı maddelerin sistemden uzaklaştırılması mikrofiltrasyonların uygulama alanları arasında sayılabilir. Trans-membran basıncı (TMP) 0.7 bardır (10 psi) (Köseoğlu, 2006).

### **2.1.2.2. Ultrafiltrasyon (UF)**

UF yüksek molekül ağırlıklı bileşenleri ısı uygulaması ve faz değişimine uğramadan konsantre etme imkânı sunar (Aptel, 1996); (Stephenson ve ark., 2000). UF uygulamasında çözeltideki bileşenleri ayırmak için seçici moleküler ağırlık ve yapısal özelliklere göre ayırım yapan yarı geçirgen membranlar kullanılır. 10 – 1,000 Å (0.1 mikron) aralığındaki partiküllerde makro moleküller ayırım gerçekleştirir (Aptel, 1996); (Stephenson ve ark., 2000). Kolloidler, mikrobiyolojik kontaminantlar, proteinler ve büyük organik moleküller dışındaki bütün çözünmüş tuzlar ve küçük moleküller membrandan geçer. Diğer maddeler ise membrandan geçemeyecek kadar

büyük yapıdadırlar. Moleküler ağırlık ayırma değerleri 1,000 – 100,000 dalton arasındadır. TMP 1 - 7 bardır (15 - 100 psi) (Köseoğlu, 2006).

### **2.1.2.3. Nanofiltrasyon (NF)**

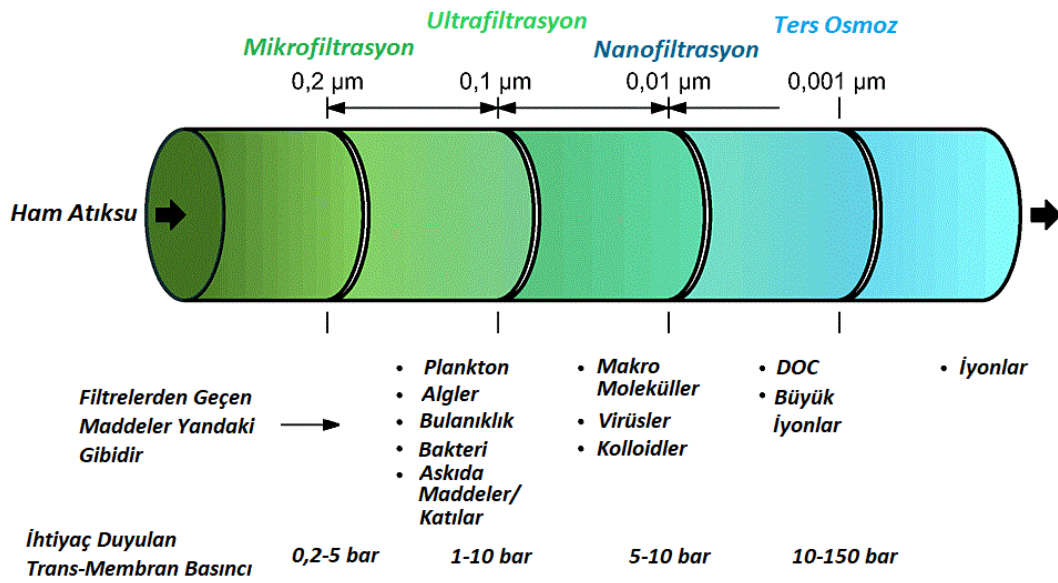
Nanofiltrasyon (NF) son zamanlarda kullanılmaya başlamış ve moleküler ağırlık sınırı UF ile ters osmoz (RO) arasında olan bir membran ayırma yöntemidir. Genellikle bakterilerin, virüslerin, organik kalıntıların ve sertliğin uzaklaştırılmasında kullanılır.

Ayrılma işlemi organik bir yarı geçirgen membrandan oluşan seçici geçirgen bir tabaka üzerinde gerçekleşir (Aptel, 1996); (Stephenson ve ark., 2000). Bu tabaka 1 nm (10 Å) büyüklüğündeki partikülleri uzaklaştırmaktadır ve bu sebeple “nanofiltrasyon” adını almaktadır. Nanofiltrasyon, mikrofiltrasyon ve ters osmoz arasında çalışmaktadır. Molekül ağırlığı 200 – 400’den büyük olan organik moleküller sistemden uzaklaştırılır. Aynı zamanda çözülmüş tuzların %20 – 98’i de sistemden uzaklaştırılmaktadır. Tek değerlikli anyonları olan (monovalent) tuzlar (Sodyum klorür - NaCl, Kalsiyum klorür CaCl<sub>2</sub>) %20 – 80 oranında uzaklaştırılırken çift değerlikli anyonları olan (divalent) tuzlar ise %90 – 98 oranında sistemden uzaklaştırılmaktadır. Uygulamaları arasında yüzeysel sulardan renk ve toplam organik karbon uzaklaştırma, kuyu suyunda sertlik ve radyum giderimi, gıda ve atıksu uygulamalarında organik maddenin organik olmayan kısımdan ayrılması gibi uygulamalar yer almaktadır. TMP 3.5 – 16 bardır (50 – 225 psi) (Köseoğlu, 2006).

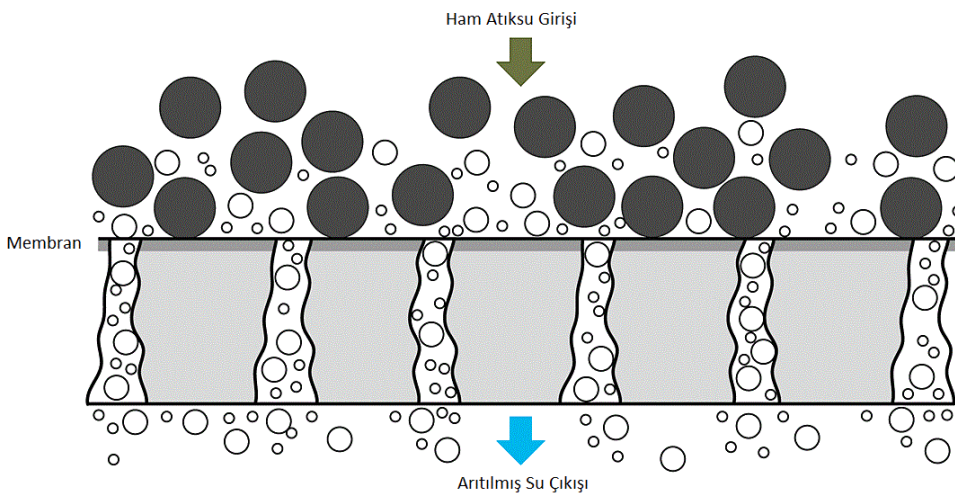
### **2.1.2.4. Ters osmoz (RO)**

RO membran, basınçlı bir süzme işlemidir. RO membran, molekül ağırlığı 100’den büyük olan organik molekülleri, anorganik molekülleri ve bütün çözülmüş tuzları tutarak filtrasyon işlemini gerçekleştirir. Bu sistem tuzların ve düşük molekül ağırlıklı maddelerin yarı geçirgen bir ortamdan geçirilmesi prensibine dayanır. Bu işlem sonucunda arıtılmış su molekülleri membrandan diğer tarafa rahatça geçerek ürün suyunu oluşturmuş olurlar. Bu işlem esnasında ekonomik olarak uygun akıllar elde etmek için en az iki kat osmotik basınç uygulanmalıdır (Aptel, 1996); (Stephenson ve ark., 2000). Çözülmüş tuzların sistemden uzaklaştırılması %95 – 99 arasındadır. RO’nun çeşitli uygulama alanları mevcuttur. Bunlar, deniz suyu veya kireçli suların

içme suyu elde edilmesi amacıyla desalinasyon işlemi, atıksuların geri kazanımı prosesi, gıdaların ve meyve sularının işlenmesi, biyomedikal ayırma işlemleri, evsel içme suyu ve endüstriyel kullanım suyunun saflaştırılması gibi proseslerdir. Öte yandan ters osmoz, yarı iletken sektörü, enerji üretim santralleri (kazan besisi suyu hazırlama) ve laboratuvar/medikal uygulamalarda kullanılmak üzere ultra saf su üretimi için de yaygın olarak kullanılmaktadır. TMP 14 – 69 bardır (200 – 1,000 psi) (Köseoğlu, 2006). Partikül büyüklüğüne göre farklılık gösteren membran proseslerinin tipleri Şekil 2.1’de, arıtılmış suyun membran boşluklarından geçişi ise Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Partikül büyüklüğüne göre membran prosesleri (Anonymous, 2017)



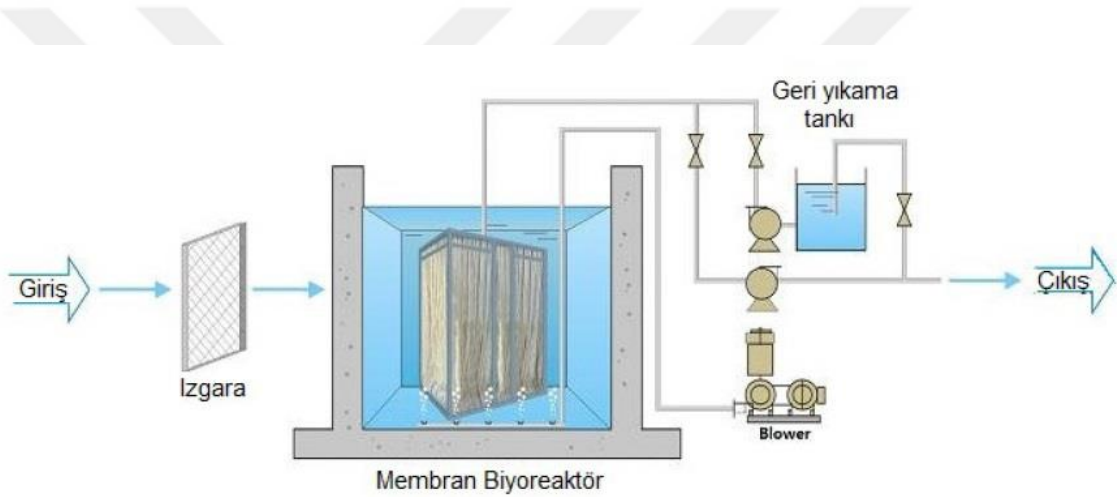
Şekil 2.2. Arıtılan suyun membran boşluklarından geçişi (Anonymous, 2017)



### 2.1.3. Membran biyoreaktör (MBR) tanımı

Membran biyoreaktörler (MBR), biyolojik arıtmayla birleşik olan membran filtrasyonundan teşekkül etmektedir. Bir MBR sisteminde, katı/sıvı membran filtrasyonu biyoreaktörün içinde (daldırılmış konfigürasyon - SUB) veya dış taraftan pompa ile geri devir yaptırılarak (yan taraf - akımlı konfigürasyon - SS) sağlanır.

UF veya MF membran tutulan maddeleri ayırır; esas olarak su ve diğer çözücü türler membrandan geçerken katı maddeler ve mikroorganizmalar tutulur. MBR sistemi, BOİ<sub>5</sub>, AKM, N, P ve bakteri için yüksek giderme verimleri sağlayacak geliştirilmiş yeni bir arıtma prosesidir. Şekil 2.3'te membran biyoreaktör prosesi görülmektedir.



Şekil 2.3. Membran Biyoreaktör Prosesi (Şahinkaya, 2014)

MBR, klasik aktif çamur prosesine göre daha düşük çamur üretimine sahiptir. Atıksu arıtma sistemleri için çamur üretimi MBR sistemi klasik aktif çamur prosesinin yarısı kadar yer kaplar ve çamur üretimi de benzer olarak yarıya düşer (Tübitak, 2008b); (Gander ve ark., 2000). Çamur uzaklaştırma işletme maliyeti içinde önemli bir yer tuttuğundan, onun üretimindeki azalma potansiyel bir kazanç sağlayacaktır. Çizelge 2.1' de farklı arıtma proseslerinden oluşan çamur üretim miktarları verilmiştir.

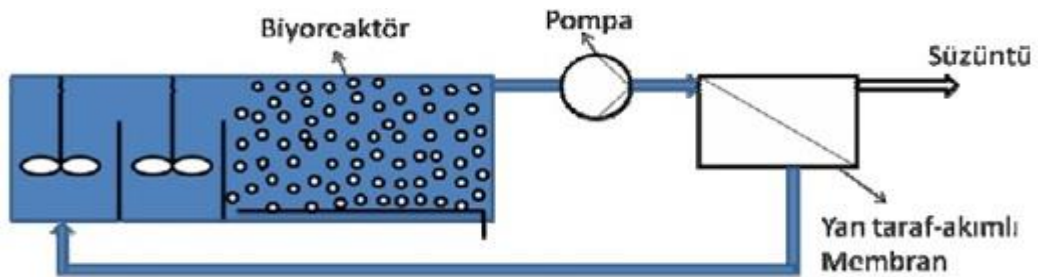
**Çizelge 2.1.** Değişik atıksu arıtma sistemleri için çamur üretimi (Gander ve ark., 2000)

Arıtma Prosesi	Çamur Üretimi (kg/kgKÖİ)
Daldırılmış membran biyoreaktör (SMBR)	0 – 0.3
Tasarım ortamlı biyolojik havalandırılmış filtre (BAF)	0.15 – 0.25
Damlatmalı filtre (TF)	0.3 – 0.5
Klasik aktif çamur (ASP)	0.6
Granüler ortamlı BAF	0.63 – 1.06

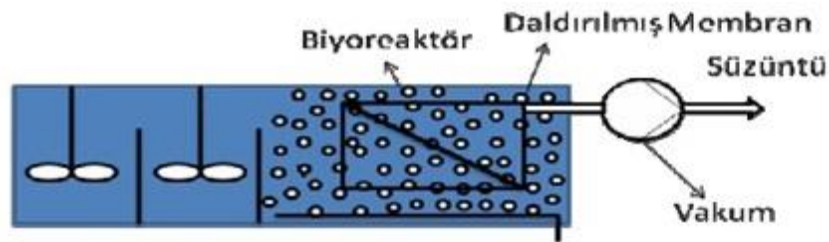
Membran sistemlerin hangi uygulamasının seçileceğine etki eden ana parametreler atıksuyun karakterizasyonu ve arıtılması istenen parametrelerdir. MBR sistemleri biyolojik arıtmayla birleşik olan membran filtrasyonundan teşekkül etmektedir.

#### 2.1.4. MBR konfigürasyonları

Uygulanmakta olan MBR sistemlerin harici (Şekil 2.4.a) ve dahili-entegre (Şekil 2.4.b) olmak üzere 2 ana konfigürasyonu vardır (Stephenson ve ark., 2000); (Gander ve ark., 2000); (Yiğit, 2007). Harici MBR’de sıvı ve biyokütle ayrımı yan taraf-akımlı membran filtrasyon işlemi farklı bir ünite de gerçekleşir. Dahili MBR’de ise sıvı ve biyokütle ayrımı aynı biyoreaktörün içinde SMBR ile gerçekleşir.



(a)



(b)

**Şekil 2.4.** Harici MBR (a), dahili MBR (b) konfigürasyonları (Gander ve ark., 2000); (Yiğit, 2007)

Harici MBR'da atıksu biyoreaktöre gelerek biyokütle ile etkileşime girer. Karışım bir pompa ile harici MBR içeren resürkülasyon döngüsüne girer ve burada süzüntü deşarj edilirken kalıntılar biyoreaktöre geri gönderilir. Membran operasyonu olarak tanımlanan TMP ve akış hızı bir pompa sayesinde oluşturulur. SMBR'da membran üzerindeki su basıncı TMP oluşturmaktadır, bazı durumlarda basıncın artırılması için emme pompası kullanılabilir (Gander ve ark., 2000); (Yiğit, 2007).

SMBR'larda değişik amaçlar için kullanılmak üzere genellikle iki farklı tür havalandırma uygulanmaktadır. Bunların ilki, biyoreaktör tabanındaki difüzörlerden kaba hava kabarcıkları verilerek biyokütlenin oksijen ihtiyacı karşılanır. Diğer bir havalandırma amacı ise batık membranların yüzey kısmına uygulanan diğer havalandırmaya nispeten daha ince hava kabarcıklı sistemdir. Bu havalandırmayla membranların yüzey kısımlarında oluşabilecek madde birikiminin azaltılması ve bu sayede tıkanmadan kaynaklı arıtılan atıksu akısının azalmasının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Yükselen hava kabarcıkları sayesinde membranların yüzey kısmında türbülanslı karşı akım yaratılarak membranların yüzeyinde materyal birikmesi azaltılır ve bu sayede membran ayırım işleminin daha etkin çalışması sağlanır (Gander ve ark., 2000); (Yiğit, 2007).

MBR konfigürasyonuna karar vermek özel durumlara bağlı olsa da genelde arıtım sistemi olarak SMBR'lar daha sık uygulanmaktadır.

Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'te harici ve dahili MBR sistemlerinin proje ve işletme bazında karşılaştırılması verilmiştir. Membran maliyetleri, sistem bütünlüğü, işlerliği, tıkanma kontrolü ve temizleme mekanizmasıdır. Membranların tıkanması pompaj ve havalandırma gereksinimlerini direk etkileyip dolayısıyla da sistem maliyetini önemli ölçüde etkiler. Daha az tıkanan veya ucuz maliyetle daha kolay temizlenebilen membranların geliştirilmesi için yoğun araştırma geliştirme çalışmaları yapılmaktadır (Yiğit, 2007).

**Çizelge 2.2.** Harici ve dahili MBR sistemlerinin proje bazında karşılaştırılması (Yiğit, 2007)

<b>Dahili MBR</b>	<b>Harici MBR</b>
Havalandırma maliyeti yüksektir	Havalandırma masrafı düşüktür
Pompa masrafı düşüktür	Pompa masrafı yüksektir
Akı düşüktür	Akı yüksektir
Alan gereksinimi fazladır	Alan gereksinimi azdır
Temizleme ihtiyacı azdır	Temizleme ihtiyacı fazladır
İşletme maliyeti düşüktür	İşletme maliyeti yüksektir
İlk yatırım maliyeti yüksektir	İlk yatırım maliyeti düşüktür

**Çizelge 2.3.** Harici ve dahili MBR sistemlerinin işletme bazında karşılaştırılması (Yoon, 2015)

Parametre	Birim	Batık MBR	Harici MBR
Membran Tertip Tarzı	---	İçi boşluklu fiber düz plaka	Tübüler
İşletme Modu	---	Çapraz akış	Çapraz akış
İşletme Basıncı	bar	0.05 – 0.3 (vakum)	3 – 6
Uzun Dönem Ortalama Akı	m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> gün	0.36 – 0.72	1.2 – 2.4
Geri Devir Oranı	m <sup>3</sup> giriş / m <sup>3</sup> süzüntü	---	25 – 75
Hava Miktarı	m / sn	0.2 – 0.3	2 – 6
	m <sup>3</sup> hava / m <sup>3</sup> süzüntü	7 – 30	---
Spesifik Enerji İhtiyacı <sup>1</sup>	kWh / m <sup>3</sup> süzüntü	0.1 – 0.5	4 – 12

1) Biyolojik havalandırma hariç membran süzüntüsü için gerekli olan enerjiyi içeren spesifik enerji ihtiyacı

### 2.1.5. Membran performansı

Bir membranın performansı, tutma (membran tarafından tutulan kirletici konsantrasyonunun membrana giren atıksudaki kirletici konsantrasyonuna oranıdır) ve özgül süzüntü akısı (birim basınç başına akıdır) veya permeabilite ile gösterilir (Hasbülbül, 2010).

#### 2.1.5.1. Tutma

Tutma, biyolojik ve biyolojik olmayan kolloidlerin ve makromoleküllerin süzülerek veya adsorpsiyonla giderilmesidir. MBR teknolojisinin önemli özelliklerinden birisi de çıkış suyunda patojenik mikroorganizma kalmayacak şekilde atıksuyu dezenfekte etme kabiliyetidir. Bu durum, suyun yıkanma suyu veya geri kazanma amaçlı kullanılmasında önem kazanmaktadır. Bakteri ve virüslerin, UF ve MF membranlarının her ikisi tarafından tutulması ise önemli bir özellik olarak bilinmektedir (Tübitak, 2008b); (Gander ve ark., 2000).

#### 2.1.5.2. Süzüntü akısı

Süzüntü akısı azalması, besleme suyu (kompozisyonu), membran (membran elemanının geometrisi/konfigürasyonu (biçimi), alan ve materyalin kompozisyonu) ve operasyona (hidrodinamik) bağlı birçok faktöre göre değişmektedir. Membranın besleme atıksuyundaki kirletici bileşenler tarafından tıkanması, membranın iç ve dış yapısında bu maddelerin birikmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır (Tübitak, 2008b);

(Gander ve ark., 2000); (Ishida, 1993). Bu durum membranın arıtma filtrasyonuna olan direncini arttırmakta, artan direnç ile enerji maliyeti de yükselmektedir. Artan bu kirlilik sonucunda temizleme maliyeti de toplam işletme maliyetine ilave edilmektedir. Çizelge 2.4'te özgül akının azalma hızının zamanla azaldığı görülmektedir. Ancak özgül akının veya basıncın artması ile arttığı da gösterilmektedir.

**Çizelge 2.4.** MBR'lerde özgül akı azalma hızı (Gander ve ark., 2000)

<b>Membran Konfigürasyonu</b>	<b>Akı/Akı Değişimi (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> gün )</b>	<b>Basınc/Basınç Değişimi (bar)</b>	<b>Zaman (gün)</b>	<b>Özgül Akı Hızı (m/gün<sup>2</sup> bar)</b>
Daldırılmış (SUB), P+F, PS 0.4 mm	0.5	0.06	0.04	208
Daldırılmış (SUB), P+F, PS 0.4 mm	0.1	0.7	0.2	0.79
Yan taraf-akımlı, (SS) T, C, 0.1 mm	2.9	1.8	22	0.73
Daldırılmış (SUB), P+F, PS 0.4 mm	0.9	0.06	39	0.38
Daldırılmış (SUB), HF, PE, 0.1 mm	0.2	0.7	70	0.004
Yan taraf-akımlı, (SS) P+F, PS, 2,000 kDa	0.5	3.9	165	0.0008

P+F, plak ve çerçeve; HF, boşluklu fiber; T, tüp; PS, polisülfon; PE, polietilen; C, seramik

Özgül akı hemen daima TMP azalması ile artar. Mesela, bir düşük basınçlı daldırılmış P+F sistemi için başlangıç özgül akısı 733 L/m<sup>2</sup> h olarak kaydedilmiş iken bunun eşdeğeri bir yan taraflı HF sistemi için 300 L/m<sup>2</sup> h olmaktadır (Gander ve ark., 2000). Bu, iki konfigürasyonun karşılaştırılması ölçülerinden birini gösterir. Yalnız sızımın pompalanmasında işletme verimi göz önüne alındığında daldırılmış MBR, yan taraflı-akımlı (SS) konfigürasyondan daha fazla verimlidir. Membranların kirlenmesi (fouling), filtrasyon işleminin başlangıcında veya basınçtaki değişimlerde veya akı çok hızlı iken kritik değerlere çıkmaktadır (Tübitak, 2008b); (Gander ve ark., 2000); (Yiğit, 2007); (Ishida, 1993); (Wu ve ark., 2007).

### 2.1.5.3. Kirlenmenin önlenmesi

Atıksuyunun kompozisyonu membran ile etkileşim yaparak süzüntü akısını etkileyebilir. Mesela, protein ve bakterilerin hidrofobik polimerik yüzeylere bağlanması araştırılmış ve permeabilite üzerinde olumsuz etkisi görülmüştür. pH ayarlaması yapılarak, elektrostatik ve kısa aralıklı kuvvetlerin proteinle kirlenmeye katkısı gösterilmiştir (Wu ve ark., 2007); (Hillis, 2000).

Mevcut membran malzemeleri seramik/metalik (inorganik) veya polimerik (organik) malzemelerden oluşur. Seramik membranlar (zirkonyum ve titanyum oksit kompozitleri), yüksek hidrolik, termal ve kimyasal direnç gösterir, ancak sınırlı bir membran geometrisine sahiptir ve polimerik malzemelerden daha pahalıdır (Wu ve ark., 2007); (Hillis, 2000); (Schippers, 2004). Doğal olarak, polietilen (PE), polipropilen (PP), polyvinilydene florür (PVF) ve polisülfon (PS) gibi hidrofobik membranlar hidrofilik polimerler ile karışım yapılabilir veya yüzeyleri hidrofilikler ile iyileştirilebilir. Birçok araştırmada, UF ve MF membran malzemelerinde hidrofobisitinin önemi belirtilmiş ve hidrofilik membranların akı azalmasından hidrofobiklere göre daha az zorlandığı gösterilmiştir. Aynı çalışma şartlarında hidrofilik membranlar hidrofobiklere göre daha düşük basınçlarda çalışırlar ve geri kazanmaları da daha yüksektir (Hillis, 2000); (Schippers, 2004); (Porter, 1989).

Klasik membran sistemlerinde kirlenme türbülanslı halde işletme ile düşürülür. MBR sisteminde türbülanslı havalandırma şartları, membranın yüzeyinin temizlenmesine yardım ederek kirlenme tabakası oluşumunu ve böylece akı azalmasını bastırır (Wu ve ark., 2007); (Hillis, 2000). Daldırılmış HF ve PE membranı ile yapılan bir çalışmada, hava akışı hızının membran yüzeyindeki kek tabakası oluşumunu etkilediği ve bir optimum değer (700 L/m) üstünde kek tabakasının çok az gelişme gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca hava akışı hızının azalması ile daha fazla TMP gerek duyulmuş ve membran yüzeyinde birikme olduğu gözlenmiştir (Hillis, 2000); (Schippers, 2004); (Porter, 1989).

#### **2.1.5.4. Membranın temizlenmesi**

Çizelge 2.5'te iki tip MBR konfigürasyonu için temizlenme şekilleri gösterilmiştir. SMBR'larda, süzüntü akısı nispeten düşüktür ve herhangi bir kirlenme olmaksızın uzun çalışma periyotlarında sağlanabilir. Mesela, SUB P+F konfigürasyonunda yılda iki defa %0.1 sodyum hipoklorit (NaOCl) çözeltisi ile membran temizlenir (Gander ve ark., 2000); (Porter, 1989); (Scott, 1996); (Jefferson, 1998). SS, akı ve beraberinde gelen kirlenme oranı daha yüksektir. SS sistemlerin, geri yıkama (süzüntü akısının filtrasyon basınçlarında kısa bir süre için geri döndürülmesidir) veya kimyasal temizleme ile ekseriya daha sık ve daha agresif olarak temizlenmesi gerekmektedir. Seramik (C) membranlı böyle bir sistemde ise %5.25 NaOCl 60 – 80 °C ısıtılarak konsantre nitrik asitle birlikte kullanılır ve temizleme işlemi

2 saat kadar sürer (Gander ve ark., 2000); (Porter, 1989); (Scott, 1996); (Jefferson, 1998).

**Çizelge 2.5.** MBR sistemlerinde temizleme rejimleri (Gander ve ark., 2000)

Membran	Konfigürasyonu	Temizleme	Temizleme Rejimi	Kimyasal
Sub	P+F	Hayır	---	---
Sub	P+F	Hayır	---	---
Sub	HF	Hayır	---	---
Sub	HF	Evet	225 gün sonunda	su + surfaktan
SS	T	Evet	220 gün sonunda	---
SS	T	Evet	haftada 1 kez	su+klor beyazlatıcı + nitrik asit
SS	HF	Evet	15 gün sonunda	---
SS	HF	Evet	İlk 15 - 70 günden sonra haftada 2 kez	---

SUB, Daldırılmış; SS, Yan taraf-akımlı; P+F, plak ve çerçeve; HF, boşluklu fiber; T, tüp

### 2.1.6. Biyolojik aktivite

MBR sistemleri konvansiyonel sistemler ile benzer şekilde C, N, P giderimi sağlar, bu giderim çeşitli bakteri gruplarının oluşturduğu aktif biyokütle tarafından gerçekleştirilir. Sistemin biyolojik aktivitesini destekleyen fiziksel uygulama; sistemden aktif biyokütle çıkışını minimum miktara düşüren membran kısmıdır (Hasbülbul, 2010).

#### 2.1.6.1. Karbon giderimi

MBR içindeki membran yaklaşık %30 organik madde giderimi sağlar, bu da kabaca çözünmeyen kısma karşılık gelir, çözünür kısım ise aktif biyokütle tarafından giderilir (Gander ve ark., 2000); (Kishino ve ark., 1996); (Hanaki ve ark., 1990). Optimum şartlar altında bu biyokütle çevredeki besi limiti nispetinde içsel solunuma kadar etkinliğini devam ettirir. MBR'lar hidrolik bekletme süresi (HRT) ve çamur yaşı (SRT) birbirinden bağımsız olması avantajına sahiptir. Bu reaktörlerde, büyük makromoleküller klasik aktif çamur proseslerine göre havalandırma tankında daha uzun süre biyokütle ile temas halinde kalmaktadır. Bu da özel bakterinin büyümesini ve organik maddenin bozunmasını ve sonuç olarak simülasyonunu/mineralizasyonunu sağlar. Çizelge 2.6'da görüldüğü gibi organik giderme 4 – 7.5 saatlik kısa HRT' lerde bile %95'in üzerindedir (Gander ve ark., 2000); (Kishino ve ark., 1996); (Hanaki ve

ark., 1990). MBR' ların organik yükleme oranı (OLR) damlatmalı filtre, ardışık kesikli reaktör ve klasik aktif çamur prosesinden daha yüksektir; ancak yüksek hızlı havalandırılmalı ve tam karışımli aktif çamur prosesleri ve biyolojik havalandırılmış filtre (BAF)'lerden daha düşüktür. MBR'larda organik yükleme süzüntü hızı ile sınırlandırılmıştır. Biyolojik arıtma proseslerinin organik yükleme oranları Çizelge 2.6' da gösterilmiştir.

Bir aktif çamur prosesinde organik yük artışı heterotrofik aktiviteyi artırır ve organik giderme birinci merteye kinetiğine göre olmaktadır. Bu durum MBR'lar için de geçerlidir (Kishino ve ark., 1996); (Hanaki ve ark., 1990). MBR larda organik madde giderimi her ne kadar aktivitede azalma olsa da düşük sıcaklıktan (5 ve 20 °C arasında) önemli derecede etkilenmemektedir (Gander ve ark., 2000); (Kishino ve ark., 1996); (Hanaki ve ark., 1990); (Chiemchaisri ve Yamamoto, 1994).

**Çizelge 2.6.** Değişik biyolojik arıtma proseslerinin organik yükleme oranları (Gander ve ark., 2000) (Kishino ve ark., 1996)

Reaktör	Organik Yükleme (kg BOİs/m <sup>3</sup> gün)	HRT (sa)
<b>BAF</b>		
Aşağı akışlı	1.5 (KOİ)	1.3
Yukarı akışlı	4	-
Aşağı akışlı	7.5	-
<b>TF</b>		
Düşük hızlı	0.08 – 0.4	-
Orta	0.24 – 0.48	-
Yüksek hızlı	0.48 – 0.96	-
<b>ASP</b>		
Ardışık kesikli	0.08 – 0.24	12 – 50
Klasik	0.32 – 0.64	4 – 8
Tam karışımli	0.8 – 1.92	3 – 5
Yüksek hızlı hav.	1.6 – 16	2 – 4
<b>MBR</b>		
Sub. P+F (Kubota)	0.39 – 0.7	7.6
Sub. HF (Tech-Sep)	0.03 – 0.06	1
Sub. P+F	0.005 – 0.11	8
Sub. HF	1.5 (KOİ)	0.5
SS C	0.18	24
SS P+F	0.45 – 1.5 (KOİ)	8

SUB, Daldırılmış; SS, Yan taraf-akımlı; P+F, plak ve çerçeve; HF, boşluklu fiber; C, seramik. BAF, biyolojik havalandırılmış filtre; TF, damlatmalı fitreler; ASP, aktif çamur prosesi; MBR, membran biyoreaktör



### 2.1.6.2. Azot giderimi

MBR'da nitrifikasyonun klasik aktif çamur proseslerindeki gibi daha büyük olduğu görülmüştür (Hanaki ve ark., 1990). MBR'larda nitrifiye bakteri için uzun bekletme süresi (yüksek çamur yaşı, düşük besi maddesi/m.organizma oranı) ve flok içine büyük besi maddesi ve oksijen taşınımına izin veren küçük floklar mevcuttur. MBR'larda hemen hemen tam denitrifikasyon olduğu Çizelge 2.7'de gösterilmiştir (Gander ve ark., 2000); (Jefferson, 1998); (Suwa ve ark., 1992); (Winnen ve ark., 1996). N yükleri 0.1 ve 3.3 kg NH<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> gün arasında iken, amonyak giderimi %90'dan fazladır (Gander ve ark., 2000); (Suwa ve ark., 1992); (Winnen ve ark., 1996). Klasik proseslerdeki gibi, nitrifikasyon besleme suyu kalitesi ve işletme parametrelerine (çözünmüş oksijen (ÇO), sıcaklık, organik yükleme, inorganik ve organik bileşenler, pH ve besi maddesi seviyeleri (Ca, Mg, Cu ve Mo) duyarlıdır. Giriş TN 20 ve 50 mg/L, ÇO 1 mg/L ile sürekli besleme tam nitrifikasyon sağlar. Düşük sıcaklıklarda yetersiz oksijen transferi aerobik bakterinin aktivitesini düşürür, nitrit (NO<sub>2</sub>) ve NH<sub>4</sub>-N okside eden bakterilerde bir azalma olur. ÇO artışı ise bu etkiyi tersine döndürmektedir (Chiemchaisri ve Yamamoto, 1994). Denitrifikasyon, nitrifikasyonun yanında devam edebilir. Eğer havalandırma kesikli ise prosesin hidrodinamiği anoksik bölgelerin oluşmasına yol açıyor veya flokların gelişmesinde küçük anoksik bölgelerin oluşmasına izin veren yüksek organik yükleme yapıyorsa bu durum görülebilir (Suwa ve ark., 1992); (Ueda ve ark., 1996). Aerobik MBR'larda denitrifikasyon süreci, klasik geri devirli aerobik tanktan önce bir anoksik tankın eklenmesi ile elde edilmektedir.

**Çizelge 2.7.** Evsel atıksu arıtılan MBR'larda KOİ ve NH<sub>3</sub> giderimi (Gander ve ark., 2000)

Membran Konfigürasyonu ve Gözenek Boyutu (mm)	KOİ Giriş (mg/L)	NH <sub>3</sub> Giriş (mg/L)	KOİ Giderimi (%)	NH <sub>3</sub> Giderimi (%)
SUB, PE, HF, 0.3-0.1	150 – 450	---	86 – 97	---
SUB, PS, P+F, 0.4	79	---	92	---
SS, C, T, 0.1	71	35	98.7	97.1
SUB, PS, P+F, 0.4	---	25.7	---	91.1
SS, PS, P+F, 50,000 Da	488	---	88 – 94.5	---
SS, C, 300,000 Da	---	19.7	---	>99

SUB, Daldırılmış; SS, Yan taraf-akımlı; P+F, plak ve çerçeve; HF, boşluklu fiber; C, seramik; PS, polisülfon; PE, polietilen; T, tüp

### 2.1.7. Enerji tüketimi

Enerji harcanması besleme suyunun pompalanması, konsantrenin geri devri, süzütünün emilmesi (bazı hallerde) ve havalandırmaya bağlı olarak artar (Gander ve ark., 2000); (Owen ve ark., 1995). Çizelge 2.8’de iki membran konfigürasyonu için bu alternatiflerin bazısını veya hepsinin kullanıldığı gösterilmektedir. Konsantrenin geri devrinde enerji kullanımı, yük kaybı ve debi ile orantılıdır. Geri devir pompasının harcadığı güç ( $P_C$ ) aşağıdaki şekilde verilir:

$$P_C = \Delta p Q_R / \eta \quad 2.1$$

burada,  $Q_R$ = geri devir debisi ( $m^3 s^{-1}$ ) ve  $\eta$ = pompanın verimidir. Pompanın verimi %60 alınırsa (Owen ve ark., 1995) ve santrifüj pompanın sürtünmesiz olduğu kabul edilirse, enerji harcanması= $E_C$  ( $kW h m^{-3}$ ) aşağıdaki bağıntı ile elde edilir:

$$E_C = (P_C / Q_P) \times 3.6 \quad 2.2$$

Burada,  $Q_P$  = süzüntü debisi ( $m^3 s^{-1}$ ), yani süzüntü akısı ve membran alanını çarpımıdır. Havalandırma maliyeti havalandırma tankının yük kaybından ( $\Delta p$ ) hesaplanabilir. İki MBR konfigürasyonu da değişik şekilde önemli derecede kullanılır. SS sistemde, havalandırma biyoreaktöre ince kabarcıklı havalandırıcılar tarafından sağlanır. Bu havalandırıcılar, biyokütleyle yüksek bir verimle oksijen transferi yaparlar (5 m derinlikte standart oksijen-transfer verimi (SOTE) %25 – 40 civarındadır) (Metcalf ve ark., 2003). SMBR’larda, türbülanslı havalandırma yapılarak hem 1 m/s civarında bir çapraz akış sağlanır (SS sistemde bu değer 2 – 4 m/s dir), hem de membranın yüzeyi temizlenip kirlenme önlenir ve biyokütleyle oksijen temin edilir. Biyokütleyle oksijen temininde, kaba kabarcıklı havalandırıcıların verimi ince kabarcıklılardan daha düşüktür (5 m derinlikte SOTE %19 – 37) ancak maliyeti daha azdır. Bazı operasyonlarda (kuvvetli atıksuların arıtılması gibi) kaba ve ince kabarcıklı havalandırıcılar birlikte kullanılır (Owen ve ark., 1995); (Metcalf ve ark., 2003).

SS sistemlerde enerji harcanması, daldırılmış sistemlerden genellikle daha yüksek olduğu Çizelge 2.8’de gösterilmiştir. Havalandırma, daldırılmış sistemlerde esas maliyetin  $>90\%$ ’ını, bu değer yan taraf-akımlı sistemde toplam maliyetin yaklaşık %20’sini teşkil etmektedir. SUB MF membran sisteminde yüksek havalandırma ile toplam maliyet artarken, membranın temizlenme maliyeti azalmaktadır

(Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.8); (Gander ve ark., 2000); (Ueda ve ark., 1996). Ayrıca Çizelge 2.8’de, yan taraf-akımlı PS HF sisteminde görülen düşük süzüntü debisi, yüksek miktarda biyokütle konsantrasyonu ile oluşan aşırı membran kirlenmesi yüzündendir (Suwa ve ark., 1992).

Daldırılmış sistemlerde, süzüntünün emme (vakum) ile çekilmesi hesaba katılmazsa, sıvının pompalama maliyeti yoktur. Süzüntünün vakum ile çekilmesi ise maliyete %28 nispetinde katkıda bulunabilir. Maliyetin büyük kısmı havalandırmadan ortaya çıkar ve toplam enerji harcanması düşük olur. Ancak, bu sistem düşük akıllı olup membran gereksinimlerini ve böylece sermaye giderlerini artırır. Bu tip sistemlerin pratik efektif boyutları 5,000 kişilik nüfus eşdeğeri ile sınırlandırılmıştır. SS sistemlerde, konsantrinin geri devir akımı ile pompalanması toplam maliyetin %60 – 80 ile en büyük kısmını teşkil eder (Hasbülbül, 2010).

**Çizelge 2.8.** MBR sistemlerinde membran konfigürasyonu, işletme parametreleri ve enerji harcanması (Gander ve ark., 2000) (Owen ve ark., 1995)

Proses	Sub	Sub	Sub	Sub	SS	SS	SS	SS	SS
Membran	P+F	P+F	HF	HF	T	T	HF	HF	T
Materyal	PS	PE	PE	PE	PS	C	C	PS	Al(OH) <sub>3</sub>
Por boyutu (µm)	0.4	0.4	0.1	0.1	---	---	0.1	0.1	~0.5
MWCO (kDa)	---	---	---	---	50	300	---	---	---
Yüzey alanı (m <sup>2</sup> )	0.24	0.96	2	4	2.6	0.08	1,1	0.39	---
TMP (bar)	0.1	0.3	0.13	0.15	5	2	2	2.75	2.25
Süzüntü akısı (L/m <sup>2</sup> h)	7.9	20.8	8	12	170	175	77	8.3	20
Çapraz akış hızı (m/s)	0.5	0.3-0.5	ND	ND	1-2	3	1.5-3.5	ND	2.2-3.6
Enerji harc., süz. (kWh/m <sup>3</sup> üretim)	---	0.013	0.0055	0.23	0.17	9.9	32	0.045	140
Enerji harc., hav. (kWh/m <sup>3</sup> üretim)	4	0.0091	0.14	70	0.52	2.8	9.1	10	10
Top. enerji harc. (kWh/ m <sup>3</sup> üretim)	4	0.022×10 <sup>-2</sup>	0.14	70	0.69	13	41	10	50

SUB, daldırılmış; SS, yan taraf -akım; P+F, plak ve çerçeve; HF, boşluklu fiber; T, tüp; PS, polisülfon; PE, polietilen; C, seramik.; MWCO, moleküler ağırlığının azalması; ND, tanımlanamamış

Çizelge 2.8’de daldırılmış sistemlerde, P+F veya HF membranlarda yüzey alanları çok benzerdir ve benzer süzüntü akıları ürettiği gösterilmektedir. SS tüp membranlarda ise seramik membranların daha küçük yüzey alanı ve daha küçük TMP değerleri ile kirlenmeye yüksek direnç gösteren polimerik membranlar ile benzer süzüntü akısı ürettiği gözlenmiştir. HF sistemi yüksek kirlenme eğilimi sebebiyle tüp membranlardan daha düşük süzüntü akısı üretir (Hasbülbül, 2010).

### 2.1.8. Membran biyoreaktörlerin (MBR) gelişimi

Gemilerdeki atıksuların giderilmesi amacıyla Dorr-Oliver tarafından 1960'da geliştirilen MBR ticari olarak piyasaya sürülen ilk MBR'dir. İlk zamanlarda gelişmekte olan MBR'ler daha çok harici membran teknolojisine sahip olmasına rağmen şimdilerde ise batık membran teknolojisi önemli hale gelmektedir. Geliştirilen bu ilk MBR düz tabaka (Flat-sheet) (FS) ultrafiltrasyon (UF) membran sistemine sahip olup, günümüz teknolojisine göre yüksek kabul edilebilen bir basınç (3.5 bar) ve düşük kabul edilebilen bir akı da ( $17 \text{ L/m}^2\cdot\text{sa}$ ) işletilmiş, geçirgenliği  $10 \text{ L/m}^2\cdot\text{sa}\cdot\text{bar}$  gibi düşük bir değerde kalmıştır. Bu değerler bugüne göre kabul edilebilir olmasa da, geliştirilen bu ilk membran sistemi aktif çamuru sudan ayırabilmiş ve istenilen kalitede çıkış suyu elde edilebilmiştir. Dorr-Oliver dışında 1980'lerde kurulan Zenon Environmental firması tarafından farklı bir teknolojiye sahip olan ilk batık membran uygulaması olan ZenoGem® piyasaya sürülmüştür (Judd, 2010).

Batık membran sisteminin 1989 senesinde Yamamoto ve arkadaşları tarafından icat edilmesi MBR'larla ilgili en önemli gelişmedir. Aktif çamur prosesinde yan akışlı membran biyoreaktör sistemleri dizayn edilip çalışmaya başlanılmıştır. Bu tür sistemlerin verimi yüksek trans-membran basıncına (TMP) bağlı olarak değişmekteydi. Batık membran sistemlerin geliştirilmesiyle, bu sistemler özellikle kentsel atıksu arıtma tesisleri için yan akışlı membran sistemlere göre tercih edilmişlerdir. Ayrıca homojen bir karışım sağlamak ve membran yüzeyinde tıkanmayı önlemek için havalandırma işlemi uygulanmıştır. Yamamoto'nun yaptığı bu çalışmada  $0.1 \mu\text{m}$  por çaplı bir batık membran kullanılmış ve akış hızı  $10 \text{ L/m}^2\cdot\text{sa}$ 'de sabit tutularak geniş aralıklı MLSS konsantrasyonunda çalışılmıştır. Sonuç olarak  $40 \text{ g/L}$  MLSS konsantrasyonunun üzerine çıkıldığında oksijen transfer veriminin düştüğü görüldüğünden sabit şartlar için  $30 \text{ g/L}$  MLSS konsantrasyonunun altında çalışılması tavsiye edilmiştir (Çağlar, 2013).

Ülkemizdeki arıtma tiplerine göre tesis sayısı Çizelge 2.9'da gösterilmiş olup gelişmiş arıtma sistemlerindeki artış hızı dikkat çekmektedir.

**Çizelge 2.9.** Ülkemizde atıksu arıtma tesisi sayılarının zamana göre artışı (TÜİK, 2016)

Arıtma Tipi	2004	2006	2008	2010	2012	2014
Biyolojik Arıtma	133	135	158	199	244	345
Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alan)	---	---	17	35	89	118
Fiziksel Arıtma	35	26	29	39	57	49
Gelişmiş Arıtma	4	23	32	53	70	92

Tasarım kriterleri açısından MBR'ler günümüze kadar üç nesil olarak ortaya çıkmıştır. Dördüncü nesil ise gelişme aşamasındadır. Birinci nesil membran sistemleri genellikle küçük debiler için uygulanmış olup bu tesisler işletme kolaylığı ve sabit olmayan debilerin problemsiz olarak arıtılabildiği tesislerdir. İkinci nesil membran sistemlerinin en önemli gelişmesi karbon giderimine ek olarak azot ve fosfor gideriminin eklenmesidir. Azot giderimi aerobik tanklarda oluşan nitratın anoksik bölüme geçerek denitrifikasyon ile azot gazına indirgenmesi ile olur. Üçüncü nesil membran sistemlerinin gelişmesinde asıl amaç membran akışını artırmak, çamur miktarını azaltmak ve toplam maliyeti düşürebilmek olmuştur. Günümüzde uygulanan membranlar artık daha gelişmiş sistemlerdir. Daha büyük debiler için de membran uygulamaları artmıştır. Buna bağlı olarak üretici firma sayısı ve satış pazarı artmış olup rekabet açısından yatırım maliyetlerinin düşeceği öngörülmektedir. Çizelge 2.10'da MBR teknolojilerinin tasarım kriterlerine göre gelişimi karşılaştırılmıştır. (Arianfar, 2015)

**Çizelge 2.10.** Tasarım kriterlerine göre MBR lerin gelişimleri (Arianfar, 2015)

Parametre	1.Nesil	2.Nesil	3.Nesil
SRT (gün)	50+	20+	<10 - 15
MLSS (mg/L)	20,000+	20,000	20,000
NH <sub>3</sub> giderimi	Var	Var	Var
Toplam azot giderimi	Yok	Var	Var
Fosfor giderimi	Yok	Var	Var

### 2.1.9. MBR'ın konvansiyonel sistemlerle kıyaslanması

Evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan MBR'lar oldukça yüksek kalitede çıkış suyu verebilmekle birlikte konvansiyonel arıtma prosesleri üzerinde de birçok avantajlara sahiptirler.

#### **Avantajlar**

- Yüksek hijyen standartları ile birlikte ideal çıkış suyu kalitesi: Konvansiyonel sistemlerine göre özellikle KOİ, BOİ ve AKM konsantrasyonunda belirgin ölçüde arıtım sağlanmaktadır.
- Yüksek olası biyokütle konsantrasyonu (10 – 25 g/L MLSS): Yüksek MLSS

konsantrasyonu sebebiyle hidrolik bekleme süresi (HRT) daha düşük olacaktır. Bu nedenle MBR sistemi için hem ilk yatırım maliyeti hem de arazi ihtiyacı daha da azalacaktır.

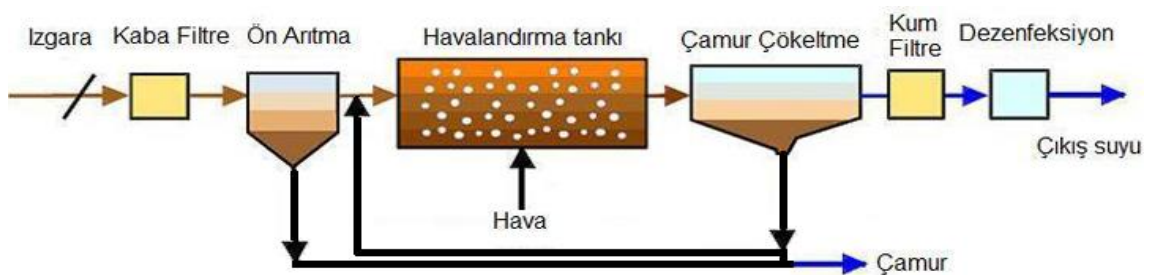
- Tesis performansı çamurun çökme özelliğinden bağımsız çalışmaktadır: MLSS atıksudan membranlar vasıtasıyla ayrıldığından dolayı bakteri çökme özelliğinden bağımsızdırlar.
- Net çamur üretiminin azaltılmış olması: MBR sistemi genelde yüksek SRT değerinde işletilmekte bundan dolayı bakteriler içsel solunum fazında çalışacaktır. İçsel solunum fazında çalışan bakteriler çok daha az çamur üretecekleri için atık çamur miktarı da azalacaktır.
- Yüksek performansta dezenfeksiyon sağlaması (Judd, 2010) (Yiğit, 2007).

### **Dezavantajlar**

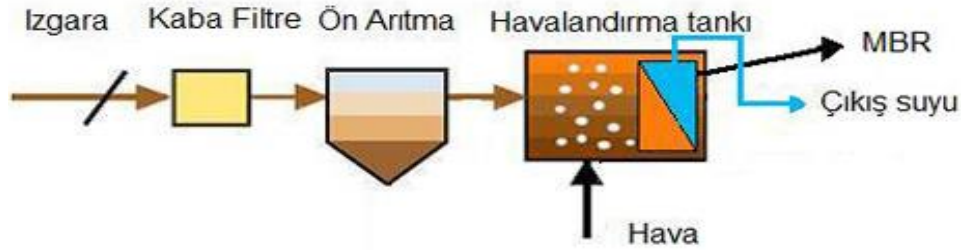
- Membran modüllerinin sıklıkla tıkanması
- Membran modüllerinin yüksek yatırım maliyetleri
- Membran bütünlüğü (hata tespit, yaşam süresi)
- Yüksek işletme maliyetleri (enerji sarfiyatı)

Yukarıda sayılan maddeler içerisinde en önemli olarak ise MBR'ın konvansiyonel arıtma proseslerine nazaran daha az yer kaplaması, çamur uzaklaştırma işletme maliyeti düşük olması, istenilen ya da gerekli olan değişikliklerin daha önce üretilmiş bir ürüne teknolojik uyarlanması olarak sayılabilir. Yenilenen teknolojik gelişmelerin evsel ve endüstriyel atıksuların yeniden kullanımına imkân vermeleri MBR'ın konvansiyonel atıksu arıtma sistemleri içerisinde etkin bir duruma geldiğini göstermektedir (Tübitak, 2008a); (Tübitak, 2008b); (Gander ve ark., 2000).

Şekil 2.5. ve Şekil 2.6'da sırası ile konvansiyonel aktif çamur prosesi ve MBR uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.5. Konvansiyonel aktif çamur prosesi (Gander ve ark., 2000)



Şekil 2.6. MBR entegre edilmiş aktif çamur prosesi (Gander ve ark., 2000)

Çizelge 2.11. MBR ve konvansiyonel sistemlerin giderim verimlerinin karşılaştırılması (Gander ve ark., 2000)

Reaktör	KOİ Giderme Verimi (%)
<b>BAF</b>	
Yukarı akışlı	> 93
Aşağı akışlı	75
<b>TF</b>	
Düşük hızlı	80 – 90
Orta	50 – 70
Yüksek hızlı	65 – 85
<b>ASP</b>	
Ardışık kesikli	85 – 95
Klasik	85 – 95
Tam karışımlı	85 – 95
Yüksek hızlı hav.	75 – 90
<b>MBR</b>	
Sub. P+F (Kubota)	99
Sub. HF (Tech-Sep)	98 – 99
Sub. P+F	98
Sub. HF	87 – 95
SS C	> 95
SS P+F	88 – 95

SUB, Daldırılmış; SS, Yan taraf-akımlı; P+F, plak ve çerçeve; HF, boşluklu fiber; C, seramik; BAF, biyolojik havalandırılmış filtre; TF, damlatmalı fitreler; ASP, aktif çamur prosesi; MBR, membran biyoreaktör

### 2.1.10. MBR öncesi azot ve fosforun biyolojik olarak giderilmesi

Azot ve fosfor giderimi için geliştirilmiş birçok biyolojik proses vardır. Geliştirilmiş proseslerin çoğu modifiye edilen havalı, havasız ve anoksik bölümleri bulunan biyolojik sistemlerdir. Bu proseslerin bazıları fosfor giderme amacıyla geliştirilmiş ve daha sonra azot ve fosforun birlikte artırılacağı sistemler olarak modifiye edilmiştir.

Yaygın uygulamaları bulunan prosesler:

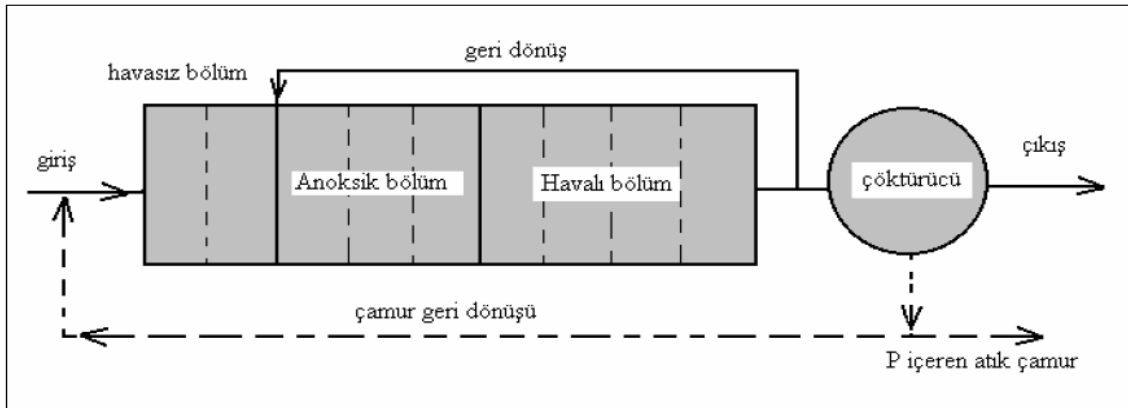
- A<sup>2</sup>/O prosesi,

- Beş basamaklı bardenpho prosesi,
- UCT prosesi,
- VIP prosesi

Şekil 2.7, Şekil 2.8, Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da proseslerin şematik halleri sunulmuştur.

### 2.1.10.1. A<sup>2</sup>/O prosesi

Şekil 2.7'de, A<sup>2</sup>/O prosenin denitrifikasyon gerçekleşmesi için anoksik bölüm içermekte olduğu gösterilmiştir. Anoksik bölümün bekleme süresi yaklaşık olarak bir saattir. Anoksik bölümde çözülmüş oksijen düşüktür, ancak nitrit ve nitrat formundaki kimyasal bağlı oksijen havalı bölümden geri devirle sisteme verilmektedir. Çıkışta filtrasyon olmaksızın, 2 mg/L'den daha az fosfor konsantrasyonu olabilmektedir. Çıkış suyuna uygulanan filtrasyon işlemi ile fosfor konsantrasyonu 1.5 mg/L'nin altına düşürülebilir (Öztürk ve ark., 2005).



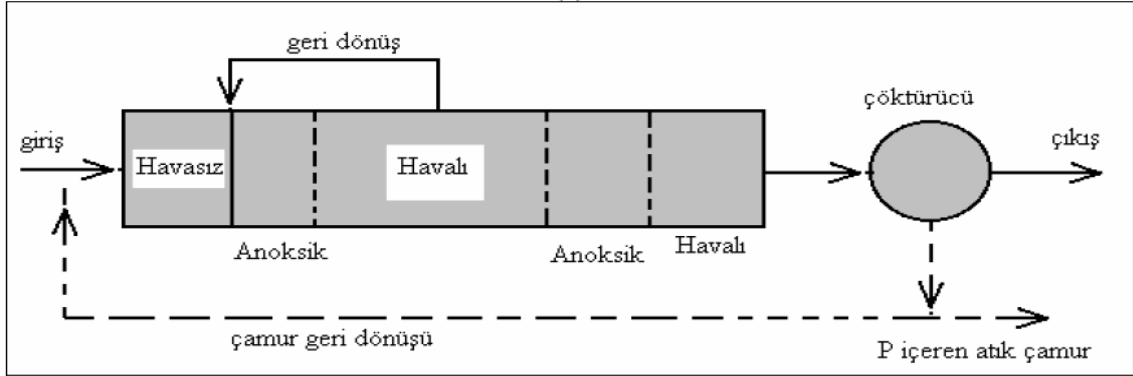
Şekil 2.7. A<sup>2</sup>/O prosesi (Öztürk ve ark., 2005)

### 2.1.10.2. Bardenpho prosesi (beş basamaklı)

Sadece azot giderimi sağlayan dört basamaklı Bardenpho prosenin, ek olarak fosfor giderimi yapması için modifiye edilmiş şeklidir. Fosfor giderimi gerçekleştirmek için sisteme beşinci aşama (havasız bölge) konulmuştur. Beş basamaklı sistemde havalı, havasız ve anoksik bölümler fosfor, azot ve karbon gideriminde rol oynarlar. İkinci anoksik bölümde, havalı bölümde oluşan nitrat elektron alıcı, içsel organik karbonu ise elektron verici olarak kullanılıp ilave denitrifikasyonu sağlar. Son havalı bölüm kalıntı



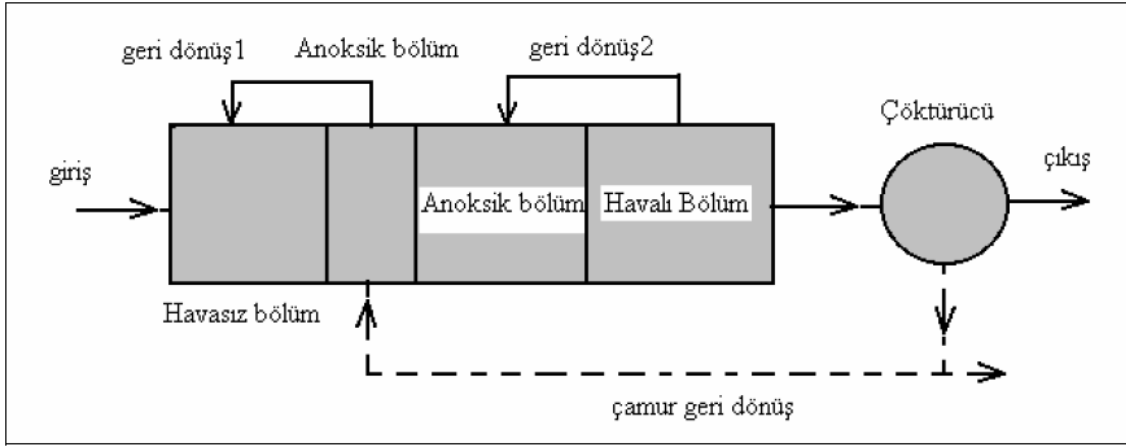
azot gazını çözültiden ayrılması ve son çöktürücüde fosfor açığa çıkmasını en aza indirmek amacıyla yapılandırılmıştır. Sıvı karışımı birinci havalı bölümden anoksik bölüme geri beslenir (Öztürk ve ark., 2005); (Metcalf ve ark., 2003). Uzun çamur kalma yaşında çalıştırıldığından dolayı (10 – 40 gün) karbon oksidasyon kapasitesi de yüksektir (Öztürk ve ark., 2005). Şekil 2.8’de beş basamaklı bardenpho prosesi gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Beş basamaklı bardenpho prosesi (Öztürk ve ark., 2005)

### 2.1.10.3. UCT prosesi

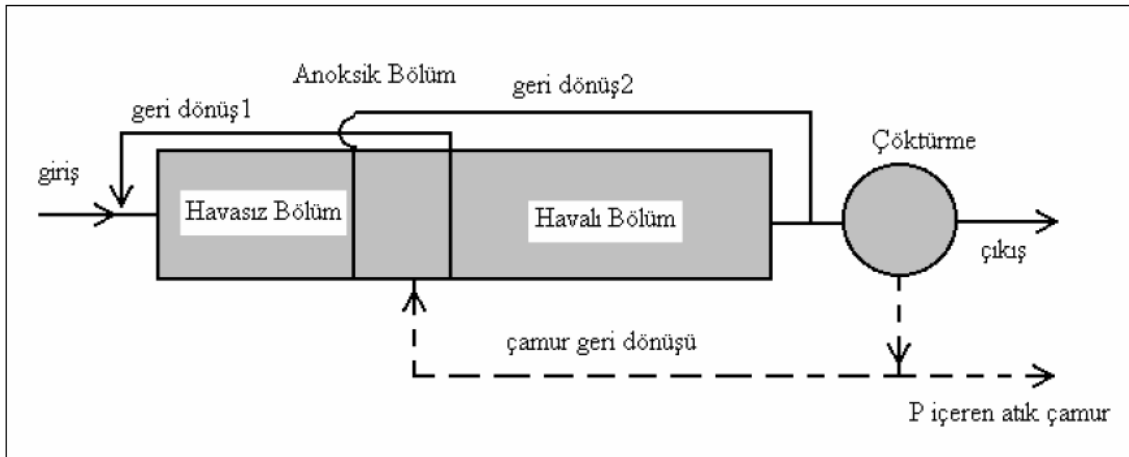
Şekil 2.9’deki Cape Town üniversitesi tarafından geliştirilen UCT prosesi, iki durum ile  $A^2/O$  prosesinden ayrılmaktadır. Aktif çamur dönüşü havalı bölüm yerine, anoksik bölüme yapılır ve iç döngü ise anoksik bölümden havasız bölümedir. Anoksik bölüme çamur geri devri ile nitrat havasız bölüme girişimde bulunmaz, nitratin havasız bölümde bulunmaması fosforun daha iyi açığa çıkması ile sonuçlanır. İç döngü ise havasız bölümde organik kullanımı artışını sağlar. Anoksik bölümdeki karışım, içeriği büyük ölçüde çözülmüş  $BOI$  ve az miktarda nitrat içerir. Anoksik karışımın geri dönüşü, havasız bölümde fermentasyon hızı için optimum şartları sağlar (Öztürk ve ark., 2005).



Şekil 2.9. UCT prosesi (Öztürk ve ark., 2005)

#### 2.1.10.4. VIP prosesi

Şekil 2.10'da VIP prosesi gösterilmiştir. A<sup>2</sup>/O ve UCT proseslerine benzer olmasına rağmen geri döngüleri yönünden bunlardan ayrılır. Aktif çamur geri dönüşü, havali bölüm geri dönüşü ile birlikte anoksik bölüme verilir. Anoksik bölümün karışımı havasız bölüme geri beslenir. Deneysel verilere dayanarak, atıksudaki organik maddenin bir kısmı havasız mekanizma tarafından stabilize edilmesi prosesin oksijen ihtiyacını azalmasını sağlar (Öztürk ve ark., 2005).



Şekil 2.10. VIP prosesi (Öztürk ve ark., 2005)

**Çizelge 2.12.** Birleşik azot ve fosfor gideriminde biyolojik proseslerin tipik tasarım bilgileri (Metcalf ve ark., 2003)

Tasarım Parametreleri	Prosesler			
	A <sup>2</sup> /O	Bardenpho (5 basamak)	UCT	VIP
F/M (mgBOI/mgUAKM gün)	0.15 – 0.25	0.1 – 0.2	0.1 – 0.2	0.1 – 0.2
Θc (gün)	4 – 27	10 – 40	10 – 30	5 – 10
X (mgAKM/L)	3,000 – 5,000	2,000 – 4,000	2,000 – 4,000	1,500 – 3,000
Hidrolik Kalma Zamanı, Θ(sa)				
Havasız Bölüm	0.5 – 1.5	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Anoksik Bölüm-1	0.5 – 1	2 – 4	2 – 4	1 – 2
Havalı Bölüm-1	3.5 – 6	4 – 12	4 – 12	2.5 – 4
Anoksik Bölüm-2	---	2 – 4	2 – 4	---
Havalı Bölüm-2	---	0.5 – 1	---	---
Aktif Çamur Geri Dönüşü Besleme Debisi %'si	20 – 50	50 – 100	50 – 100	50 – 100
İç Döngü Besleme Debisi %'si	100 – 300	400	100 – 600	200 – 400

F/M, Besi/Mikroorganizma; UAKM, uçucu askıda katı madde; X, askıda katı madde konsantrasyonu

**Çizelge 2.13.** Çin'de kentsel atıksu arıtımı amacıyla kurulan 10 büyük ölçekli biyoreaktöre ait bilgiler ve proses tanıtımı (Shen ve ark., 2012)

AAT	Proses	Membran Üreticisi	Membran Özellikleri (µm)	Kapasite (m <sup>3</sup> /gün)	Arıtma Çeşidi	İşletmeye Alma Tarihi
B1		Siemens, Mencor, Almanya	Hydrophilic PVDF, 0.04	60,000	Evsel	2007.11
B2		Asahi Kasei, Microza MUNC-620A, Japonya	Hydrophilic PVDF, 0.1	35,000	%80 evsel + %20 endüstriyel	2007.11
B3		Mitsubishi Rayon, Sterapore SADF, Japonya	Hydrophilic PVDF, 0.4	40,000	%80 evsel + %20 endüstriyel	2010.05
B4		Mitsubishi Rayon, Sterapore SADF, Japonya	Hydrophilic PVDF, 0.4	30,000	Evsel	2009.11
W1		GE/Zenon, ZeeWeed 500d, USA	Hydrophilic PVDF, 0.04	30,000	%40 evsel + %60 endüstriyel	2009.05
W2		Siemens, Memcor, Almanya	Hydrophilic PVDF, 0.04	20,000	%40 evsel + %60 endüstriyel	2009.09
W3		Mitsubishi Rayon, Sterapore SADF, Japonya	Hydrophilic PVDF, 0.4/0.1	20,000	%40 evsel + %60 endüstriyel	2009.11
W4		OriginWater, China	Hydrophilic PVDF, 0.1	50,000	%60 evsel + %40 endüstriyel	2010.01
S1		OriginWater, China	Hydrophilic PVDF, 0.1	110,000	Evsel	2009.11
K1		OriginWater, China	Hydrophilic PVDF, 0.1	60,000	Evsel	2010.08

A<sub>1</sub>: Anaerobik, A<sub>2</sub>: Anoksik, O: Oksik, MBR: Membran biyoreaktör

**Çizelge 2.14.** Çizelge 2.13'de verilen atıksu arıtma tesislerine ait performans verileri (Shen ve ark., 2012)

AA T	Giriş Konsantrasyonları (mg/L)							Çıkış Konsantrasyonları (mg/L)			
	HRT (sa)	SRT (gün)	MLSS (g/L)	KOİ	NH <sub>4</sub> -N	TN	TP	KOİ	NH <sub>4</sub> -N	TN	TP
B1	17.3	20	7-8.5	550-700	40-60	60-80	7-9	15-20	<1	15-25	0.3-0.5
B2	40.6	25-30	3.45-12.1	260-1,100	30-120	40-130	3.5-15	11-56	0.01-5.1	6.7-11.2	0.03-2.65
B3	30.2	30	2.6-7.8	70-556	10-26	35-78	1.2-7.8	<15-45	0.11-5.6	12-48	0.04-0.7
B4	16-17	24-28	3.58-4.21	137-1,400	17-42	---	---	12-58	0.2-2.4	---	---
W1	10.9	20-30	5.65-16.56	86-867	12-40	23-162	1-34.1	2-61	0-2.39	3.64-24.76	0.04-0.4
W2	10-14	14	3.24-12	165-1,404	16-60	30-81	2.5-22.4	8-91	0.15-4.44	3.42-18.66	0.05-0.89
W3	33-38	27-37	7.07-11.59	159-781	20-51	22-67	1.4-5.4	3-36	0.17-8.27	3.02-13.1	0.03-0.67
W4	12-13	25-32	5.65-10.44	140-1,250	11-108	15-165	1.6-48	8-53	0.21-6.91	4.2-22.7	0.03-1.45
S1	16.4	24	1.92-3.02	178-268	17-29	---	1.1-2.6	6-30	0.18-5.5	---	0.03-1.87
K1	16.8-17.4	24-25	5.6-9.63	98-393	18-34	21-38	2-6.1	<15-24.9	0.14-2.61	8.89-14.6	0.08-0.23

A<sub>1</sub>: Anaerobik, A<sub>2</sub>: Anoksik, O: Oksik, MBR: Membran biyoreaktör

## 2.2. Güneş Enerjisi

Dünyanın enerji kaynağı sıralamasında ilk sırada güneş yer almaktadır. Güneşten gelen ışımaya enerji, yeryüzünde ve atmosferdeki fiziksel değişimleri etkileyen en önemli enerji kaynağıdır. Dünyamızdaki madde ve enerji değişimleri güneşten gelen enerji sayesinde mümkündür. Okyanus dalgaları, rüzgar, sıcaklık farkları ve biyokütle enerjisi, güneşten gelen enerjinin dönüşüm geçirmiş halleridir. Doğada meydana gelen su döngüsünün gerçekleşmesinde de rol oynayan güneş enerjisi, akarsuya gücünü de vermektedir. Güneş enerjisi doğadaki enerji kaynaklarının çoğunun kökeni olduğundan dolayı ısıtma ve elektrik elde etme gibi amaçlar için de kullanılmaktadır.

Çevreyi kirletmediği ve temiz bir enerji kaynağı olma özelliği taşıdığından dolayı güneş enerjisi, fosil yakıtlar için de uygun bir alternatif olma özelliği taşımaktadır. Her yıl yeryüzüne düşen güneş enerjisi, şimdiye kadar kayda alınmış olan fosil yakıtların neredeyse 160 katı seviyelerindedir. Ayrıca nükleer, hidroelektrik ve fosil yakıt tesislerinin bir yılda üretebildiğinden 15,000 kat daha fazladır. (Ültanır, 1996); (Şen, 2002).

Güneş enerjisi bol miktarda olan, sürekliliği ve yenilenebilirliği olan ve en önemlisi ücretsiz bir enerji kaynağıdır. Tüm bu özelliklerinin yanında fosil yakıtlı enerji kaynaklarının kullanılması sonucu ortaya çıkan çevresel sorunların çoğu güneş enerjisinde bulunmamaktadır. Bu da güneş enerjisini temiz ve çevre dostu bir enerji

kaynağına dönüştürmektedir. Fosil yakıt kullanımı esnasında ortaya çıkan karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) yayılımı sonucunda, atmosferdeki karbondioksit miktarı, geçtiğimiz yüzyıl içinde yaklaşık 1.3 kat arttığı görülmüştür. Önümüzdeki 50 yılda ise, bu karbondioksit miktarının, şimdiki oranla 1.4 kat daha artacağı tahmin edilmektedir. Atmosferdeki karbondioksit miktarının artması sonucu meydana gelen sera etkisi sonucu kutuplarda bulunan buzullar erimekte, deniz suyu seviyesi yükselmekte ve tarımsal kuraklık yaşanabilmektedir. O halde, bu durumda enerji kullanımından vazgeçilemeyeceğine göre, güneş gibi doğal ve alternatif olabilecek kaynaklara yönelmesi gerekecektir (Ültanır, 1996); (Varınca ve Varank, 2005).

Yakıt derdinin bulunmaması, kolay işletme şartları, kolay monte edilmesi, devreye alma süresinin kısa olması, yıllar boyu sıkıntısız çalışabilecek olması ve çevre dostu bir enerji kaynağı olması gibi sebepler nedeniyle dünyada güneş enerjisi kullanımı günden güne artmaktadır (DPT, 2001).

### 2.2.1. Güneş enerjisi ve teknolojileri

Güneş 1.4 milyon km çapında ve dünyanın yaklaşık 110 katı büyüklüğündedir. Dünyadan  $1.5 \times 10^{11}$  m uzaklıkta olan Güneş, yüksek basınç ve sıcaklığa sahip bir yıldızdır. Merkez bölgesindeki sıcaklığın  $8 \times 10^6$  °K ile  $40 \times 10^6$  °K arasında olduğu tahmin edilen güneşin yüzey sıcaklığı ise yaklaşık 6,000 °K civarındadır (Varınca ve Varank, 2005); (YTÜ, 2007); (EİE, 2006).

Devamlı bir füzyon tepkimesi olan güneşin, enerji kaynağının temeli 4 hidrojen atomunun 1 helyum atomuna dönüşmesi prensibine dayanmaktadır. Güneşin merkezindeki yüksek sıcaklık her saniye 564 milyon ton hidrojeni, 560 milyon ton helyuma dönüştürmektedir. Bu dönüşüm sırasında kaybolan 4 milyon ton kütlenin karşılığında  $3.86 \times 10^{26}$  J enerji açığa çıkar ve bu enerji ise ışınım şeklinde uzaya yayılır. Güneşin toplam enerji rezervi  $1.785 \times 10^{47}$  J'dür. Bu toplam enerji rezervi sebebiyle güneşteki füzyon reaksiyonu milyonlarca yıl daha süreceğinden dolayı dünya için de çok uzun bir süre daha enerji kaynağı olmaya devam edecektir. Dünyanın çapındaki dairesel bir alan üzerine gelen güneş enerjisini gücü 178 trilyon kW seviyesindedir. Güneşten dünya atmosferine yayılan bu enerji ise Dünya'nın bir senede ihtiyaç duyduğu toplam enerji miktarının 20 bin katı kadardır (Varınca ve Varank, 2005); (YTÜ, 2007); (EİE, 2006).

Güneş enerjisi günümüzde genel anlamda konutların ve iş yerlerinin ısıtılma veya soğutulmasında, mutfak işlerinde, sıcak su temininde, seraların ısıtılmasında, güneş panellerinden enerji eldesi gibi pek çok alanda yaygınlıkla kullanılmaktadır (Varınca ve Varank, 2005); (Tsoutsos ve ark., 2005).

Güneş enerjisi teknolojileri genel anlamda iki ana gruba ayrılır:

#### **a) Isıl Güneş Teknolojileri**

Güneş enerjisinden ısı elde edilen bu sistemlerde ısı ya doğrudan ya da elektrik üretiminde kullanılır.

#### **b) Güneş Pilleri**

Yarı iletken malzemeden yapılmış fotovoltaik pillerdir ve güneş ışığını direkt olarak elektriğe çevirebilmektedirler.

### **2.2.2. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli**

Türkiye, coğrafi konum itibarıyla birçok ülkenin sahip olmadığı güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu sebeple güneş enerjisi açısından oldukça şanslı bir ülke konumundadır. Güneşten yaklaşık olarak saniyede 170 milyon MW enerji dünyaya gelmektedir. Enerji üretim miktarının yılda yaklaşık 100 milyon MW olduğu Türkiye düşünülecek olursa güneşten bir saniyede dünyaya gelen bu güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretim miktarının 1.7 katına eşdeğerdir.

Türkiye, yıllık toplam güneşlenme süresi ortalama olarak 2,640 saat, yıllık toplam ışınım şiddeti ise ortalama olarak 1,311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl gibi yüksek güneşlenme değerlerine sahiptir. Yılda yaklaşık olarak 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olmasının yanında bu enerji sektörüne gerekli yatırımların yapılması neticesinde Türkiye yılda birim metre kareden ortalama 1,100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilecek potansiyele de sahiptir (EİE, 2006); (Şen, 2004); (TÇV, 2003).



Şekil 2.11. Türkiye güneş radyasyonu haritası (EİE, 2006)

Çizelge 2.15' te Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli ve aylara göre güneşlenme süresi değerlerinin dağılımı görülmektedir.

Çizelge 2.15. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı (EİE, 2006); (Şen, 2004)

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	Aylık Toplam	Güneşlenme Süresi
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	122.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmuz	15.08	175.38	365.0
Ağustos	13.62	158.4	343.0
Eylül	10.6	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0

Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli bakımından ilk sırada gelen bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Güneydoğu Anadolu'yu Akdeniz Bölgesi takip etmektedir.

Çizelge 2.16'da Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

**Çizelge 2.16.** Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (EİE, 2006); (Şen, 2004)

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	En çok güneş enerjisi (haziran)	En az güneş enerjisi (aralık)	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (haziran)	En az güneşlenme süresi (aralık)
	kWh/m <sup>2</sup> -yıl	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	saat/yıl	saat	saat
G.Doğu Anadolu	1,460	1,980	729	2,993	407	126
Akdeniz	1,390	1,869	476	2,956	360	101
Doğu Anadolu	1,365	1,863	431	2,664	371	96
İç Anadolu	1,314	1,855	412	2,628	381	98
Ege	1,304	1,723	420	2,738	373	165
Marmara	1,168	1,529	345	2,409	351	87
Karadeniz	1,120	1,315	409	1,971	273	82

Çizelgeye bakılacak olursa genel itibariyle Türkiye'de en çok güneş enerjisi üretilebilecek ayın haziran, en az güneş enerjisi üretilebilecek ayın ise aralık olduğu görülmektedir. Güneş enerjisi üretiminde bölgeler bazında bakılacak olursa ilk sırayı Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesinin sahil kesimlerinin aldığı görülmektedir. Karadeniz bölgesinde ise güneş enerjisi üretimi bulutlu gün sayısının fazlalığı sebebiyle yok denecek kadar azdır. Karadeniz Bölgesi ortalama dışında tutulacak olursa Türkiye'de toplam güneşli saat miktarı 2,640 saat olmakla birlikte bir yılda birim metre kareden yaklaşık olarak 1,100 kWh'lik elektrik enerjisi üretilmektedir. Yıllık üretilen enerji ise yaklaşık olarak  $10^{15}$  kW saat civarındadır (Şen, 2004).

Ancak, oluşturulan tüm bu değerlerin sonradan yapılan incelemeler ve araştırmalar neticesinde Türkiye'deki gerçek güneş enerjisi potansiyelinin çok daha azını yansıttığı görülmüştür (EİE, 2006).

### 2.2.3. Türkiye'de güneş enerjisinin kullanımı

#### 2.2.3.1. Güneş kolektörleri

Türkiye'de güneş enerjisinin en yaygın kullanımını sıcak su ısıtma sistemleridir. Halen ülkemizde kurulu olan güneş kolektörü miktarı 2007 yılı için 12 milyon m<sup>2</sup> civarındadır ve bu kurulu kolektör alanı ile Türkiye, güneş kolektörleri konusunda dünyanın önde gelen ülkeleri arasındadır. Ancak bu kurulu alan miktarlarını, nüfus ile orantılamakta fayda vardır. Bu açıdan bakılacak olursa; kişi başına düşen güneş kolektörü alanı olarak dünyada en çok kullanım 0.85 m<sup>2</sup>/kişi ile Kıbrıs, bunu 0.55



m<sup>2</sup>/kişi ile İsrail ve 0.2 m<sup>2</sup>/kişi ile Yunanistan izlemektedir. Ülkemizdeki durum ise 0.1 m<sup>2</sup>/kişi ile bunların gerisindedir. Mevcut olan sistemlerin iki katı kadar daha kullanım potansiyeli vardır.

Güneş enerjisi teknik potansiyelimiz 76 milyon Ton Eşdeğer Petrol (TEP) büyüklüğündedir. Bu potansiyelin ısı enerjisi olarak kullanımı kapsamında, 12 milyon m<sup>2</sup> alanlı güneş kolektörleri ile 420 bin TEP lik bölümünü değerlendiriyoruz. Diğer ülkelerde ulaşılan en büyük kolektör kullanım değerinin kişi başına 0.5 m<sup>2</sup> olduğu düşünüldüğünde, yaklaşık 850 bin TEP'lik potansiyeli de kullanabilmemiz söz konusudur.

Sektörde 100'den fazla üretici firmanın bulunduğu ve 2,000 kişinin istihdam edildiği tahmin edilmektedir. Yıllık üretim hacmi 750 bin m<sup>2</sup> olup bu üretimin bir miktarı da ihraç edilmektedir. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş kolektörü üreticisi ve kullanıcısı durumundadır (EİE, 2006); (TÇV, 2003). Güneş kolektörlerinin ürettiği ısı enerjinin birincil enerji tüketimimize katkısı yıllara göre Çizelge 2.17'de verilmistir.

**Çizelge 2.17.** Türkiye'nin yıllara göre güneş enerjisi üretimi (EİE, 2006)

Yıllar	Güneş enerjisi üretimi (bin TEP)
1998	210
1999	236
2000	262
2001	290
2004	375
2007	420

### 2.2.3.2. Güneş pilleri

Güneş pilleri, hali hazırda yerleşim yerinden uzakta, elektriğin olmadığı yerler için ekonomik olarak uygun bir alternatif olarak kullanılabilir. Elektriğin olmadığı bu gibi yerlere iyi bir çözüm alternatifi olması ve istenilen güçte kurulabilmesi gibi nedenlerden ötürü kırsal yerleşim yerlerindeki elektrik ihtiyacının karşılanması vb. gibi uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Ülkemizde halen telekom istasyonları, Orman Genel Müdürlüğü yangın gözetleme istasyonları, otoyol aydınlatmaları ve deniz fenerlerinde kullanılan güneş pili kurulu gücü 300 kW civarındadır (EİE, 2006).

Ülkemizde güneş enerjisi kullanımında kaynak anlamında bir sorun olmamakla beraber elektrik üretiminde uygulanacak yöntem açısından bazı bölgesel farklılıklar bulunmaktadır.

Fotovoltaik sistemler ile bulutlu veya açık her türlü hava şartlarında elektrik üretilebilirken, yoğunlaştırıcı sistemlerde (termik ve mekanik dönüşüm) direk ışınım yani açık hava gerekli olmaktadır. Bu nedenle, termik ve mekanik dönüşümlü üreteçler için Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinin tercih edilmesi gerekirken, Doğu Karadeniz Bölgesi dışındaki bölgelerin tümü fotovoltaik üreteçler için uygundur (EİE, 2006).



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi

200,000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Konya kentsel ileri biyolojik AAT 4 kademeli bardenpho prosesi olarak tasarlanmış ve 2010 yılında işletmeye alınmıştır. Tesis organik madde yanında kısmi azot giderimi de gerçekleştirmektedir.

Tez kapsamında araştırılan paket MBR sisteminin işletmesi Konya AAT'de gerçekleştirilmiştir. Tesisin kaba ızgarası sonrası yer alan terfi istasyonundan alınan atıksular ile paket MBR sistemi beslenmiştir.

Paket MBR sistemi 15.02.2017 - 15.05.2017 tarihleri arasında işletilmiştir.

#### 3.2. Paket MBR Sistemi

##### 3.2.1. Paket MBR sisteminin tasarım esasları

Paket MBR sisteminin tasarımında ortalama bir atıksu karakterizasyonunun biraz üzerinde olacak şekilde kirletici değerleri esas alınmıştır. Tesis ortalama 60 m<sup>3</sup>/gün ve maksimum 80 m<sup>3</sup>/gün atıksuyu arıtabilecek kapasitede Çizelge 3.1.'de verilen konsantrasyonlara göre dizayn edilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Paket MBR sistemi tasarımında kabul edilen atıksu karakterizasyonu

Parametre	Birim	MBR giriş
KOİ	mg/L	600
BOİ <sub>5</sub>	mg/L	350
BOİ <sub>5</sub> /KOİ	---	0.58
TN	mg/L	45
TP	mg/L	10
AKM	mg/L	300
pH	---	6 – 8

Paket tesis, özellikle hassas alanlara atıksu deşarj yapacak olan ve bu yüzden azot ve fosfor giderimi yapılması gereken küçük yerleşim yerlerinde çözüm alternatifi olarak geliştirilmiştir. Bu yüzden paket MBR sistemi N ve P giderimine yönelik olarak A<sup>2</sup>/O prosesi olarak tasarlanmıştır.

Birleşik azot ve fosfor proseslerinden A<sup>2</sup>/O prosesi diğer proseslerin tasarım değerlerine göre yüksek AKM (3,000 – 5,000 mg/L) değerlerinde çalışmaktadır. Yüksek AKM yüksek yoğunlukta mikrobiyal varlık içermekte, bu durum sonucunda arıtım için gerekli temas süresinin ve havuz hacminin düşmesine sebep olmaktadır.

### 3.2.2. Paket MBR sistemi boyutları ve ekipman özellikleri

KOSKİ AAT'ne kurulan ve Konya evsel atıksuları ile beslenen paket MBR sisteminin ünite boyutları Çizelge 3.2'de, kullanılan ekipmanlar ise Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Paket MBR sistemi, terfi merkezinden beslendiğinden burası bir dengeleme havuzu olarak kullanılmış ve azot ve fosfor giderimi amaçlanarak anaerobik, anoksik ve oksik bölmelerden oluşturulmuştur.

Paket MBR sisteminde ise anaerobik ve anoksik bölüm için 2.9 m<sup>3</sup>'lük eşit bölmeler bulunmaktadır. Membran filtrasyonunun gerçekleştirildiği havalandırma tankı ise paket MBR sistemi içerisinde geri kalan 14.6 m<sup>3</sup>'lük bölmede gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 3.2. Paket MBR sisteminin ünite boyutlandırması

Ünite	Adet	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	Hacim (m <sup>3</sup> )	Bekletme süresi (dakika)	Malzeme
Dengeleme Havuzu (harici)	1	---	---	---	---	---	Betonarme (mevcut)
Anaerobik Bölge	1	1.15	1.15	2.2	2.91	50	Epoksi boyalı ST37
Anoksik Bölge	1	1.15	1.15	2.2	2.91	50	Epoksi boyalı ST37
Oksik Bölge	1	2.3	3	2.2	15.2	270	Epoksi boyalı ST37
Arıtılmış Su Tankı	1	1	1	1	1	---	IBC Tank

**Çizelge 3.3.** Paket MBR sisteminde kullanılan ekipmanların özellikleri

Ünite	Adet	Tip	Kapasite	Basınç
Atıksu Besleme Pompası	1	Dalgıç Tipi	10 m <sup>3</sup> /sa	10 mss
Çamur Geri Devir Pompası	1	Dalgıç Tipi	13 m <sup>3</sup> /sa	10 mss
Membran Pompası	1	Loblu Tipi	13 m <sup>3</sup> /sa	10 mss
Sitrik Asit Pompası	1	Dozaj	500 L/sa	---
Fe <sub>3</sub> Cl Dozaj Pompası	1	Dozaj	500 L/sa	---
NaOCl Dozaj Pompası	1	Dozaj	500 L/sa	---
Anaerobik Bölge Mikseri	1	Dalgıç	---	---
Anoksik Bölge Mikseri	1	Dalgıç	---	---
Havalandırma Blowerı	1+1	Roots Tipi	470 m <sup>3</sup> /sa	350 mbar
Membran Kartuşu	2	Batık Kaset	40 m <sup>3</sup> /sa	---
Difüzör	15	Disk Tipi	5 Nm <sup>3</sup> /sa	---
Oksijenmetre	2	Daldırma	0 – 20 mg/L	---
ORP Sensörü	2	Daldırma	±1,000 Mv	---
pH Sensörü	2	Hat Tipi	0 – 14	---
Seviye Sensörü	1	Ultrasonik	0 – 5 metre	---
Atıksu Debimetresi	5	Elektromanyetik	0 – 40 m <sup>3</sup> /sa	---
Hava Debimetresi	2	Hat Tipi	0 – 40 m <sup>3</sup> /sa	---

Tasarımı ve imalatı tamamlanan paket MBR sisteminin nakliye, devreye alma ve işletme aşamalarının fotoğrafları Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmiştir.

**Şekil 3.1.** Paket MBR sisteminin Konya AAT'ne nakliyesi



Şekil 3.2. Paket MBR sisteminin boru bağlantılarının yapılması



Şekil 3.3. Paket MBR sisteminin devreye alınması

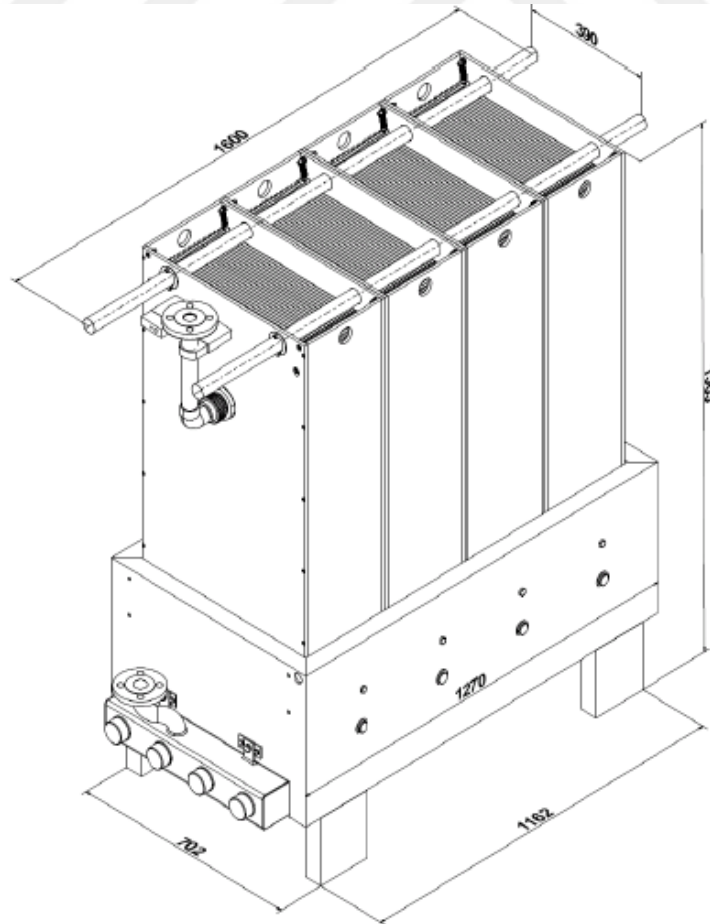


Şekil 3.4. Paket MBR sisteminin genel görünüşü

### 3.2.3. Paket MBR sistemi batık tip membran özellikleri

Reaktörde BIO-CEL BC100F-C25-UP150 modeli iki adet batık membran kullanılmıştır. Membran, alt hava dağıtım hattı ve arıtılmış su toplama hatları ile kompakt yapıda olup kaset şeklindedir. Bir adet batık membran kasetinde 100 adet membran bulunmaktadır. Kaset boyutu boy, en ve yükseklik olarak 1,600 x 702 x 1,563 mm'dir. Kuru ağırlığı 225 kg, ıslak ağırlığı 300 kg, maksimum yükleme ağırlığı ise 900 kg'dır. Membranın gözenek çapı 0.04 mikrondur. 1 adet batık membran kasetinin toplam arıtma yüzeyi 100 m<sup>2</sup>'dir. Membran iç borulaması PVC, dış bağlantıları paslanmaz çeliktir. Polieter sülfon membran yüzeylerin kullanıldığı sistemde EPDM difüzörler tercih edilmiştir.

Paket MBR sistemi membranları plaka-çerçeve tipi membran olup toplam yüzey alanı 200 m<sup>2</sup> (2 adet 100 m<sup>2</sup>)'dir. 2 membran kasedinde toplamda 200 adet membran plakası bulunmaktadır. Standart süzüntü debisi her bir membran kasedi için maksimum 40 m<sup>3</sup>/sa olarak belirtilmiştir.



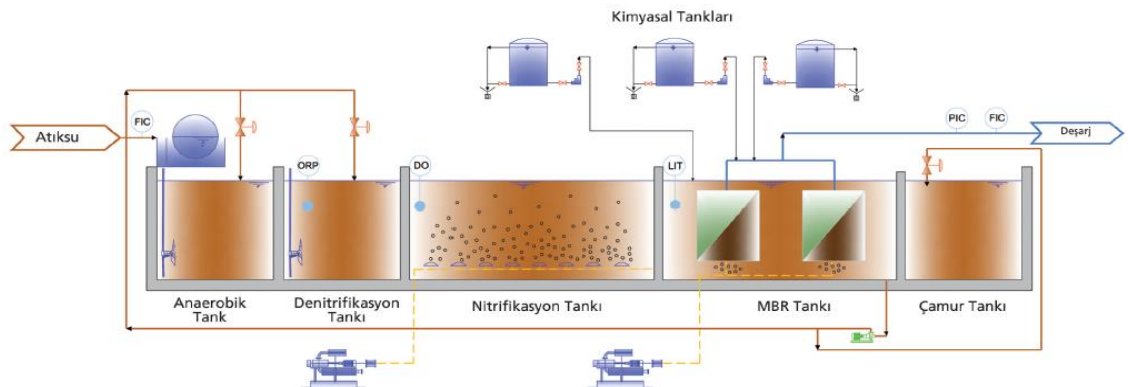
Şekil 3.5. Batık membran kasedi ve boyutları (MicroDyn-Nadir, 2018)



Şekil 3.6. BIO-CELL BC100F-C25-UP150 modeli batık membran (MicroDyn-Nadir, 2018)

### 3.3. Paket MBR Sistemi İşletme Prensibi

Bu tezde, öncelikli olarak Konya ilinden kaynaklanan atıksuların arıtımı için Konya Atıksu Arıtma Tesisine daldırılmış membran biyoreaktör (SMBR) paket arıtma sistemi kurulmuştur. Şekil 3.7 ve Ek.1'de paket MBR arıtma sisteminin şematik akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.7. Paket MBR sisteminin şematik akış diyagramı

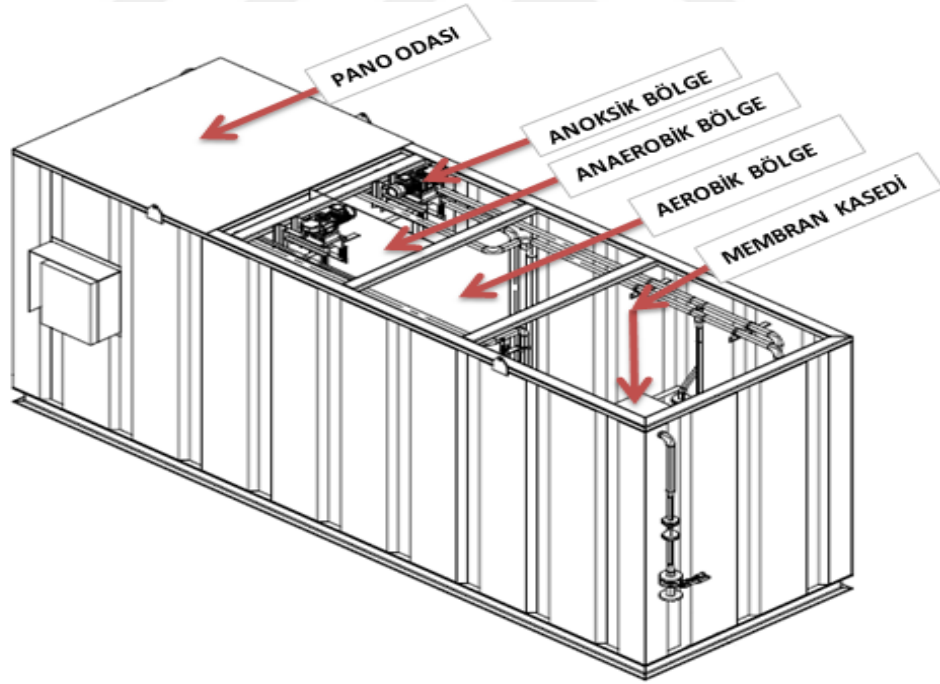
Paket MBR sistemi; Ökoteç Çevre Teknolojisi firmasından alınan Microdyn Nadir GmbH UF membranları vasıtasıyla arıtılmış suyun tesisten ayrıştırılması işleminin



birleşimi olan bir arıtma sistemidir. Bu sistem temel olarak dört kademededen oluşmaktadır:

1. Ön arıtma
2. Biyoreaktör
3. Membran Filtrasyon
4. Güneş Panelleri

Ön arıtmada katı maddelerin büyük çoğunluğu çöktürme ile atıksudan ayrılmaktadır. Tez çalışması esnasında paket MBR sistemi için ön arıtma olarak dengeleme havuzu tercih edilmiştir. Bu sebeple KOSKİ Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan terfi merkezi ön arıtma (dengeleme havuzu) olarak kullanılmıştır. Paket MBR sistemine yapılacak atıksu beslemesi öncesinde besleme pompası etrafına yerleştirilen ızgara kafes sistemi yardımıyla sisteme zarar verebilecek kaba malzemeler atıksudan uzaklaştırılmaktadır.



Şekil 3.8. Paket MBR sisteminin bölümleri



Şekil 3.9. Paket MBR sistemi genel görünüşü



Şekil 3.10. Aerobik bölge içerisindeki membran kasetleri



**Şekil 3.11.** Güneş enerji panelleri

Ön arıtmadan sonra kısmen arıtılmış atıksu anaerobik bölgeye iletilmektedir. Fosfor giderimi için büyük önem arz eden bu kısımda atıksu bir miktar bekletildikten sonra anoksik kısma iletilmektedir.

Azot giderimi için gerekli olan denitrifikasyon bu kısımda gerçekleştirilmektedir. Denitrifiye olmuş atıksu anoksik kısımdan aerobik kısma iletilmektedir. Membran kasetleri ve sisteme oksijen temin eden difüzörler bu kısımda yer almaktadır.

Biyolojik arıtmada, atıksu içindeki kirleticiler ve besi maddeleri mikroorganizmalar vasıtasıyla ayrıştır ve biyokütleyle dönüşür. Aynı zamanda membran filtrasyon, ultrafiltrasyon (UF) modül (0.04  $\mu\text{m}$  ayırma ölçekli) vasıtasıyla gerçekleştirilir ve arıtılacak olan atıksu aktif çamurdan süzülerek ayrılır. UF membran sistemi, bütün katı maddeleri ve bakterileri tutarak atıksudan ayırmaktadır. Arıtılarak geri kazanılan atıksu, membran geri yıkaması, sulama vs. amaçlı tekrar kullanılabilir. Arıtılarak geri kazanılan atıksu, membran geri yıkaması, sulama vs. amaçlı tekrar kullanılabilir.

Membran tıkanmasını önlemek için sistem 750 saniye filtrasyon, 30 saniye geri yıkama ve toplamda 60 saniye durma olarak programlanmış kesikli filtrasyonla çalıştırılmaktadır.

KOSKİ Atıksu Arıtma Tesisine yerleştirilen paket MBR sistemini oluşturan üniteler;

- 1- Dengeleme Havuzu
- 2- Anaerobik Bölge
- 3- Anoksik Bölge

- 4- Aerobik bölge
- 5- Membran Kartuşu
- 6- Arıtılmış Su Havuzu
- 7- Pano Odasından oluşmaktadır.

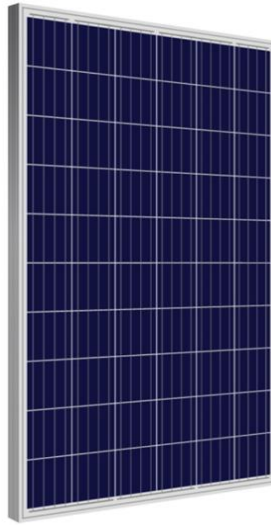
Yerleşim bölgesinden kaynaklanan evsel nitelikli atıksular ilk olarak mevcut arıtma tesisinin terfi merkezine alınmaktadır. Mevcut terfi merkezi salınımların dengelenmesi adına dengeleme havuzu görevi görmektedir. Buradan paket MBR sistemine entegre edilmiş olan terfi pompası vasıtasıyla sisteme atıksu beslemesi yapılmaktadır. Sisteme besleme yapılan atıksuyun miktarının hesaplanması adına hat üzerinde elektromanyetik debimetre bulunmaktadır. Atıksu ilk olarak fosfor gideriminin gerçekleştirilmesi için anaerobik bölgeye aktarılmaktadır. Anaerobik bölgeye aktarılan atıksuyun dibe çökmesini önlemek adına bölme içerisinde düşey milli bir karıştırıcı bulunmaktadır. Anaerobik bölgede yaklaşık 50 dakika bekletilen atıksu pencere vasıtasıyla yan bölmede yer alan anoksik bölgeye aktarılmaktadır. Anoksik bölgeye aktarılan atıksuyun dibe çökmesini önlemek adına bölme içerisinde düşey milli dalgıç karıştırıcı bulunmaktadır. Denitrifikasyon işleminin gerçekleştirildiği bu bölgede de yaklaşık 50 dakika bekletilen atıksu, biyolojik arıtmanın son aşamasının gerçekleştirilmesi için aerobik bölgeye aktarılmaktadır. Aerobik bölgedeki bekletme süresi ise yaklaşık 4,5 saattir.

Aerobik bölgede atıksuya hava üfleyici blower vasıtasıyla oksijen verilir ve havalı ortamda organik maddenin biyokütleyle dönüşmesi ile karbon giderimi sağlanmaktadır. Blowerlar aerobik bölge içerisinde yer alan oksijenmetredeki oksijen değerine göre operatörün belirleyeceği oksijen seviyesine bağlı kalarak frekanslı şekilde çalışmaktadır. Aerobik bölgedeki atıksuyun bir kısmı mikroorganizma konsantrasyonunun belli seviyede tutulması ve azot ve fosfor gideriminin etkin olarak sağlanması amacıyla anaerobik ve anoksik bölgelere geri devrettirilmektedir. Biyolojik prosese tabi tutulan atıksu son olarak sistemde yer alan loblu pompanın yardımıyla membran kasetlerinden geçirilerek filtrelenmesi sağlanmaktadır. Filtrelenme sonucunda organik maddeler ve bakteri kültüründen arındırılmış olan atıksu temiz su bölmesine aktarılmaktadır. Hat üzerinde yer alan debimetre ve pH metre yardımıyla arıtılan suyun miktarı ve pH'sı da gözlemlenebilmektedir. Arıtılan su membran geri yıkamasında kullanılacağı gibi istenildiği takdirde bahçe sulama amaçlı olarak da kullanılabilir.

Sistem içerisinde yer alan membran kasetleri membran pompasına bağlı olarak seviye ve süre kontrollü olarak çalışabilmektedir. Membran pompası, aerobik bölgedeki su seviyesine ve hat basıncına bağlı olarak frekansını ayarlamakta ve bu sayede filtrasyon debisi kontrol altına alınmış olmaktadır. Sistemdeki atıksu membrandan geçirildiği için içerisindeki bakteri ve virüslerden arındırıldığından dolayı arıtılmış suya klor dozajı veya UV ile sterilizasyon uygulaması yapılmasına gerek kalmamaktadır. Paket MBR ünitesi günlük çalışma koşullarında insani kontrolleri en aza indirecek şekilde dizayn edilmiştir. Tesis; seviye ve oksijen sensörleri, debimetreler ve programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC) yardımıyla otomatik olarak çalışmaktadır. Ünite içerisine atıksu beslemesi, oksijen takviyesi için hava üfleyici blowerların devreye girmesi, aerobik bölgeden çamurun geri devrettirilmesi, membran kasetlerinin ve dolayısıyla membran pompasının seviye ve süre kontrollü çalışması ve membran kasetlerinin geri yıkanması işlemlerinin tamamı ünite içerisinde yer alan programlamaya bağlı olarak değişmektedir.

PLC ünitesinde ultrasonik seviye sensörü ve seviye flatörü yardımıyla atıksuyun seviye takibi yapılmaktadır. Ultrasonik seviye sensörünün aralık değerine göre besleme pompası çalışmaktadır. Alt seviye sinyali ile atıksu beslemesi gerçekleştirilmekte, üst seviye sinyali ile ise besleme durdurulmaktadır. Dip flatörün sinyali ile de aerobik bölgede yer alan çamur geri devir pompasının kuruda çalıştırılması önlenmekte bu sayede pompa motorunun yanmasının önüne geçilmektedir. Ananerobik ve anoksik bölge karıştırıcıları ile çamur geri devir pompası 24 saat çalışmaktadır. Aerobik bölgeye havalandırma sağlayan iki adet hava üfleyici blower bulunmakta ve blowerlar yedekli olarak çalıştırılmaktadır. Blower hattı iki hat şeklinde ayrılmakta olup bunlardan bir tanesi aerobik bölgedeki çözünmüş oksijen değerini 2 – 4 mg/L arasında tutmak için direkt olarak blowera bağlı iken diğeri ise membran kasetlerinin altından havalandırma sağlayarak filtrasyon sırasında gözenek tıkanmasını önlemek için vana kontrollü olarak çalıştırılmaktadır. Çalışan blower 24 saat sonunda durmakta ve yedek blower devreye girmektedir. Membran çıkış hattında yer alan manometrelerdeki değerlere göre membranların kimyasal yıkama yapması gereken zaman belirlenmektedir. Manometrede okunan değerler arasındaki fark önceden set edilen değer üzerine çıktığı anda sistem filtrasyonu durdurmakta ve kimyasal yıkama işlemine başlanmaktadır.

### 3.4. MBR Sisteminde Kullanılan Güneş Panelleri



Şekil 3.12. Güneş enerji paneli

Paket MBR sisteminin yenilenebilir elektrik üretim kısmında 24 adet 250 wattlık solar güneş paneli kullanılmaktadır. Toplam kurulu gücün maksimum 6 kW olduğu güneş paneli ksmındaki panellerin teknik bilgileri aşağıdaki gibidir;

Çizelge 3.4. Güneş paneli teknik bilgileri

Parametre	Birim	Değer
Hücre Tipi	---	Polikristal
Çıkış Gücü	W	250
Maksimum Güç Gerilimi	vmp	30.5
Maksimum Güç Akımı	imp	8.20
Açık Devre Gerilimi	voc	37.1
Kısa Devre Akımı	isc	8.98
Boyutlar	mm	1.650 x 990 x 35
Ağırlık	kg	19.5

### 3.5. Deneysel Yöntemler

Konya Atıksu Arıtma Tesisi'nde kurulumu gerçekleştirilen paket MBR sistemi için aşu çamuru mevcut atıksu arıtma tesisinin geri devir hattından alınmıştır. Karbon (organik bileşikler), azot, fosfor ve atıksuda bulunan katı maddenin giderim veriminin belirlenmesi amacıyla paket MBR sistemine atıksu beslemesi yapılmaya başlandıktan sonra, 15.02.2017 - 15.05.2017 tarihleri arasında günlük olarak tesisin giriş ve çıkış

suyundaki toplam azot (TN), amonyum azotu ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), nitrat azotu ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), toplam fosfor (TP), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları standart metotlara göre tayin edilmiştir (Apha, 1989). Ayrıca tesis giriş debisi, tüketilen ve güneş panelleri vasıtasıyla üretilen elektrik enerjisi, pH değerleri, geri devir oranları, aerobik bölge ve membran hava debileri, çözünmüş oksijen ( $\text{ÇO}$ ) ve atıksu sıcaklık değerleri de çevrimiçi olarak sistem üzerinde bulunan bilgisayar yardımıyla rutin olarak takip edilmiştir.

**Çizelge 3.5.** İzleme parametrelerin analiz metotları

<b>Parametre</b>	<b>Analiz Metodu</b>
pH	Elektrokimyasal Metot SM 4,500 H <sup>+</sup> B
KOİ	Kapalı Reflüks Metodu SM 5,220 C
TN	Spektrofotometrik Metot (LCK 338 Hazır Deney Kiti)
TP	Spektrofotometrik Metot (LCK 350 Hazır Deney Kiti)
$\text{NH}_4\text{-N}$	Spektrofotometrik Metot (LCK 304 Hazır Deney Kiti)
$\text{NO}_3\text{-N}$	Spektrofotometrik Metot (LCK 339 Hazır Deney Kiti)
AKM	Gravimetrik Metot
Sıcaklık (°C)	SM 2,550 B
Atıksu Debisi	Elektromanyetik Debimetre

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Paket MBR tesisi 15.02.2017 - 15.05.2017 tarihleri arasında yaklaşık 90 günlük bir süre boyunca işletilmiştir. Bu işletme süresi boyunca hava sıcaklığı -11 ile 30 °C, ham atıksu sıcaklığı ise 11 ile 22 °C arasında değişmiştir. Bu bölümde paket MBR tesisi işletme döneminde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

##### 4.1. Paket MBR Sistemi İşletme Değerleri

Çizelge 4.1’de tipik evsel atıksuyun karakterizasyonu verilmiştir. Çizelge 4.2’de paket MBR sisteminin tasarımında esas alınan atıksu karakterizasyonu verilmiştir. Çizelge 4.3’te ise Konya AAT evsel atıksuyu ile beslenen paket MBR sisteminin giriş atıksu karakterizasyonu verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Tipik evsel atıksu karakterizasyonu (Metcalf ve ark., 2003)

Parametre	Birim	Düşük Kirlilik	Orta Kirlilik	Yüksek Kirlilik
KOİ	mg/L	250	430	800
BOİ	mg/L	110	190	350
AKM	mg/L	120	210	400
TN	mg/L	20	40	70
TP	mg/L	4	7	12

**Çizelge 4.2.** Paket MBR sisteminin tasarımına esas olan atıksu karakterizasyonu

Parametre	Birim	Seçilen Atıksu Karakterizasyonu
KOİ	mg/L	600
BOİ	mg/L	350
BOİ/KOİ	---	0.58
AKM	mg/L	300
TN	mg/L	45
TP	mg/L	10
pH	---	6 – 8

**Çizelge 4.3.** Paket MBR sisteminin giriş atıksu karakterizasyonu

Parametre	Birim	Ortalama <sup>1</sup>
KOİ	mg/L	883.3 ± 252.9
AKM	mg/L	431.7 ± 180.8
TN	mg/L	89.2 ± 29.4
TP	mg/L	12.6 ± 3.1

1) ortalama değer ± standart sapma



Çizelge 4.2’de verilen tasarıma esas atıksu karakterizasyonu ve çizelge 4.3’te verilen işletme dönemi giriş atıksu özellikleri incelendiğinde Konya AAT giriş suyunun organik madde, AKM ve besi maddesi açısından tasarımında ön görülen değerlerin çok üzerinde gerçekleştiği görülmektedir.

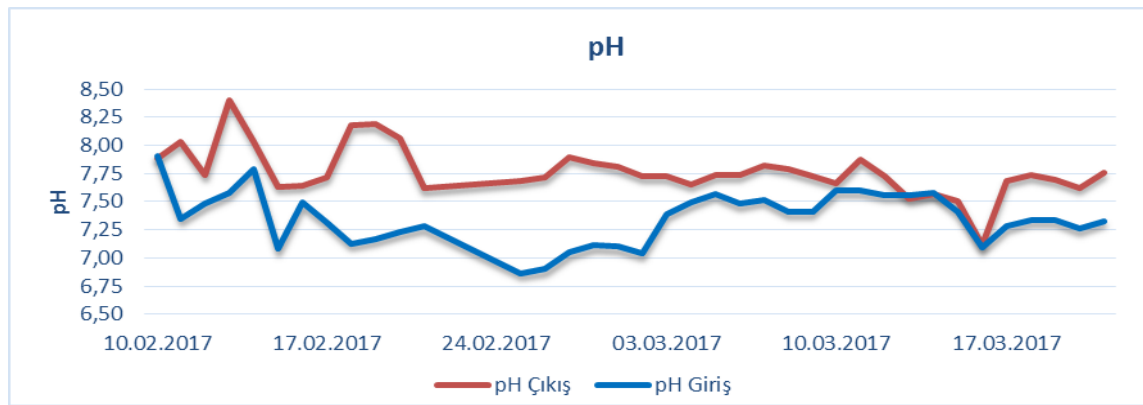
Paket MBR tesise beslenen atıksuyun, tasarıma göre KOİ’de %47.3’lük, AKM’de %44, TN’de %98 ve TP’de %26 daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu görülmektedir.

Tasarımı yapılan paket MBR tesisi orta-yüksek kirlilik olarak kabul edilen atıksu özelliklerine göre boyutlandırılmış olmasına rağmen Konya AAT giriş atıksuyu yüksek kirlilik değerinden de fazla kirletici içermektedir.

Paket MBR tesisi işletme verileri ve arıtma performansı değerlendirilirken bu önemli unsurun ve tesisin Şubat - Mayıs aylarında kış döneminde düşük atıksu sıcaklık şartlarında işletildiği göz önüne alınmalıdır.

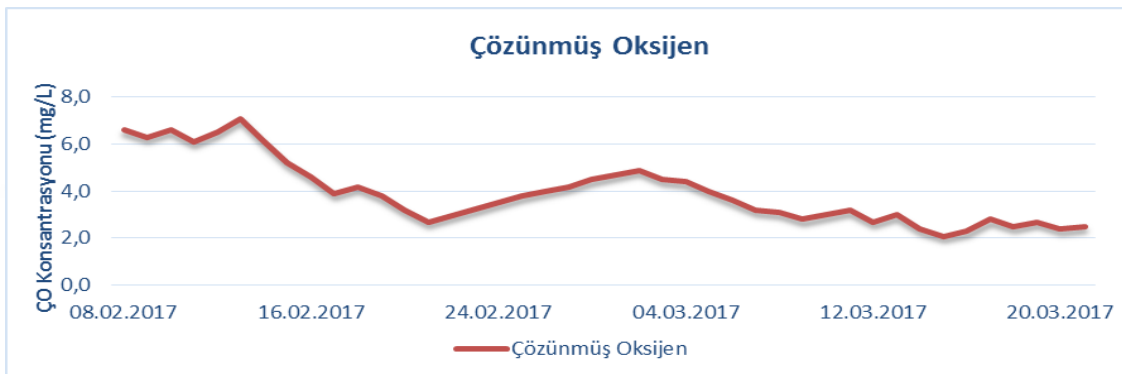
Konya AAT’ne kurulan paket MBR sisteminde günlük olarak giriş ve çıkış suyundan numuneler alınarak analizler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Paket MBR sisteminin giriş ve çıkış pH, çözünmüş oksijen, arıtım için tüketilen ve güneş enerji panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi, atıksu sıcaklığı ve aerobik bölge MLSS değerleri kayıt altına alınmıştır.

Şekil 4.1’de paket MBR sistemi giriş ve çıkış pH değerleri değişimi gösterilmektedir. Giriş pH değerleri 6.87 – 7.91, çıkış pH değeri 7.12 – 8.41 arasında değiştiği belirlenmiştir. Giriş ortalama pH değerinin 7.35, çıkış ortalama pH değerinin ise 7.77 olduğu gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu çıkış ortalama pH değeri, hedeflenen 6 – 9 değer aralığını sağladığı görülmüştür.



Şekil 4.1. Giriş-çıkış pH değişimi

Şekil 4.2’de paket MBR sistemi aerobik havuz çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonu değişimi gösterilmektedir. Paket sistemin aerobik havuz bölgesinde ÇO konsantrasyonunun 2.1 – 7.1 mg/L arasında değiştiği belirlenmiştir. ÇO ortalama değerinin ise 4 mg/L olduğu gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu ÇO ortalama değerinin aerobik bölgede sağlanması gereken yaklaşık 2 mg/L değerinin üzerinde kaldığı görülmüştür. Bunun sebebi ise sistemde bulunan hava üfleyici blowerların kapasitesinin ihtiyacın çok üzerinde seçilmiş olmasıdır.



Şekil 4.2. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu değişimi

Şekil 4.3’te paket MBR sistemi giriş atıksu sıcaklığı değişimi gösterilmektedir. Atıksu sıcaklığının 11 – 22 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Atıksu ortalama sıcaklığı ise 17 °C olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3. Atıksu sıcaklık değişimi

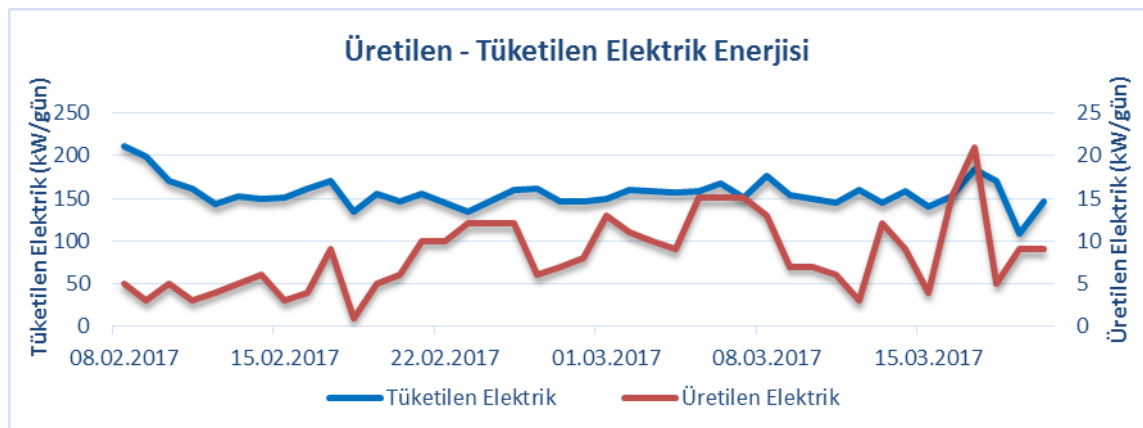
Şekil 4.4’te paket sistemi MBR havuzu MLSS konsantrasyonu değişimi gösterilmektedir. MLSS konsantrasyonunun MBR havuzunda 2,000 – 16,310 mg/L

arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Yüksek MLSS değeri, paket MBR tesisi için seçilen prosesin istenildiği gibi çalıştığını da göstermektedir. Paket MBR prosesinde çamur yaşı ise (SRT) sonsuz alınmıştır.



şekil 4.4. MLSS konsantrasyonu değişimi

şekil 4.5'te paket MBR sistemi için tüketilen ve güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi değişimi gösterilmektedir. Tüketilen elektrik enerjisinin 110 – 212 kW/gün, üretilen elektrik enerjisinin 1 – 21 kW/gün arasında değiştiği belirlenmektedir. Tüketilen ortalama elektrik enerjisi 156 kW/gün, üretilen ortalama elektrik enerjisi ise 8 kW/gün olarak gözlemlenmiştir.

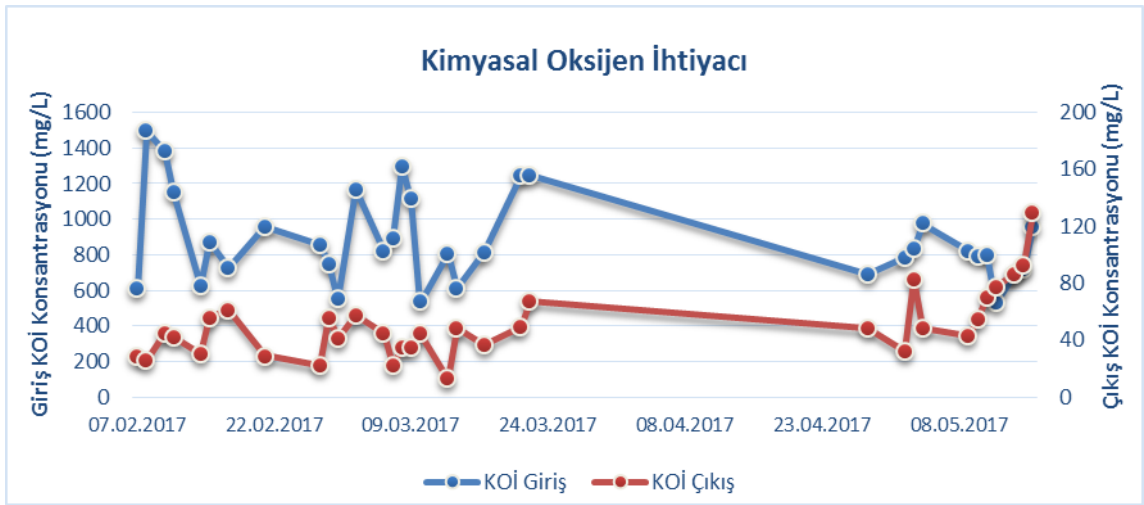


şekil 4.5. Elektrik enerjisi değişimi

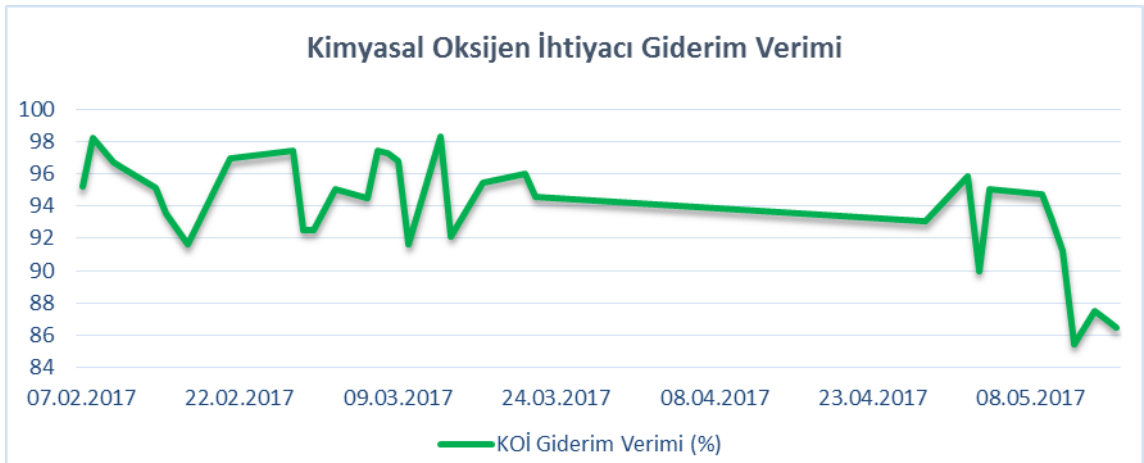
## 4.2. Paket MBR Sistemi Organik Madde Giderimi

Konya Atıksu Arıtma Tesisi'ne kurulan paket MBR sisteminin işletilme süresi boyunca giriş KOİ konsantrasyonunun 530 – 1,497 mg/L, çıkış KOİ konsantrasyonunun 13 – 130 mg/L arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun yanında %85.7 – 98.4 arasında

KOİ giderim verimi elde edilmiştir. KOİ ortalama giderim veriminin ise %94 olduğu gözlemlenmiştir. Paket MBR tesiste arıtılmış suda maksimum 125 mg/L KOİ bulunması ve minimum %75 KOİ giderimi elde edilmesi amaçlandığından analiz sonuçları göz önüne alındığında paket MBR tesisin istenilen verimde çalıştığı gözlemlenmiştir. 125 mg/L nin üzerinde çıkan değer ise ölçüm hatasından olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.6'da paket MBR sisteminin giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.7'de ise KOİ giderim verimi değişimi gösterilmektedir.



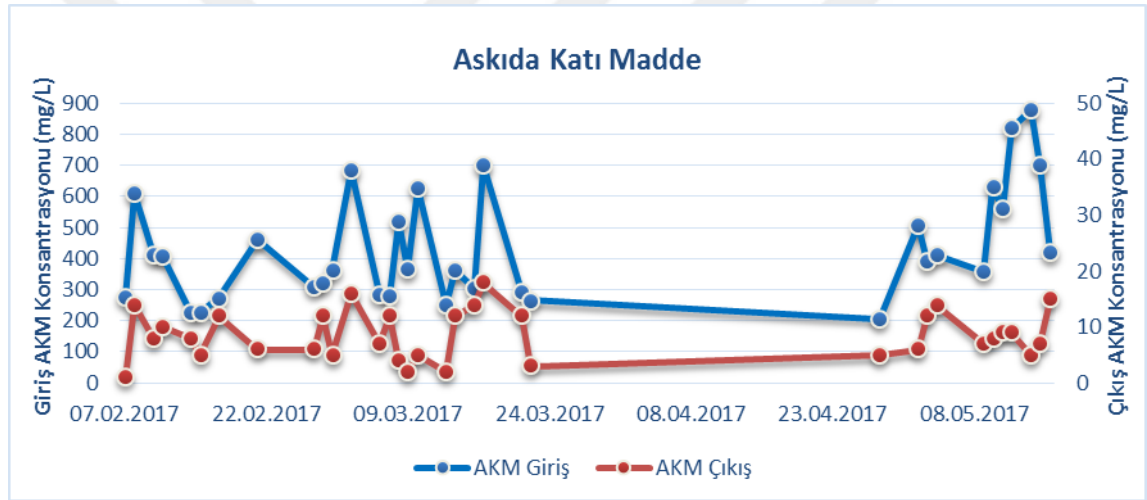
Şekil 4.6. Giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonu değişimi



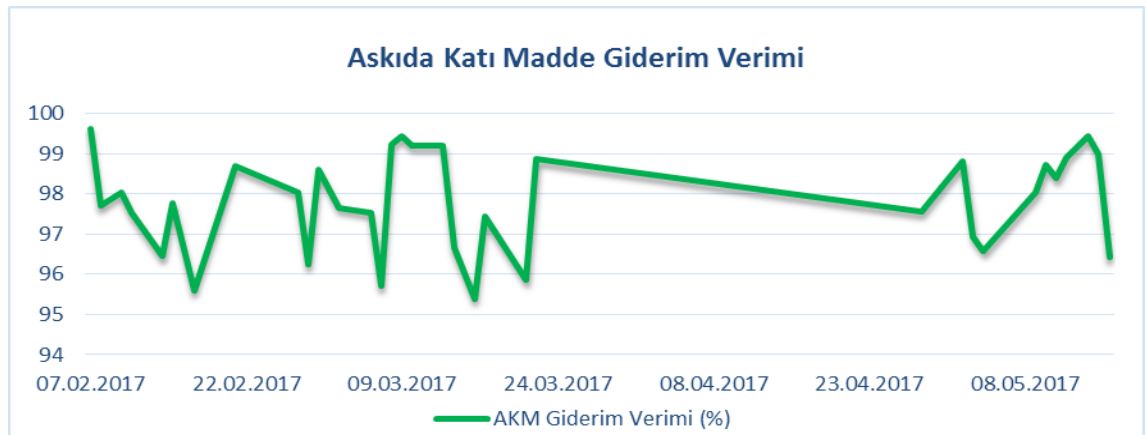
Şekil 4.7. Kimyasal oksijen ihtiyacı giderim verimi değişimi

#### 4.3. Paket MBR Sistemi Askıda Katı Madde Giderimi

İşletilme süresi boyunca giriş AKM konsantrasyonunun 205 – 880 mg/L, çıkış AKM konsantrasyonunun 1 – 18 mg/L arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun yanında %95.6 – 99.7 arasında AKM giderim verimi elde edilmiştir. AKM ortalama giderim veriminin ise %97.8 olduğu gözlemlenmiştir. Paket MBR tesiste artılmış suda maksimum 35 mg/L AKM bulunması ve minimum %90 AKM giderimi elde edilmesi amaçlandığından analiz sonuçları göz önüne alındığında paket MBR tesisin istenilen verimde çalıştığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.8’de paket MBR sisteminin AKM giriş ve çıkış konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.9’da ise AKM giderim verimi değişimi gösterilmektedir.



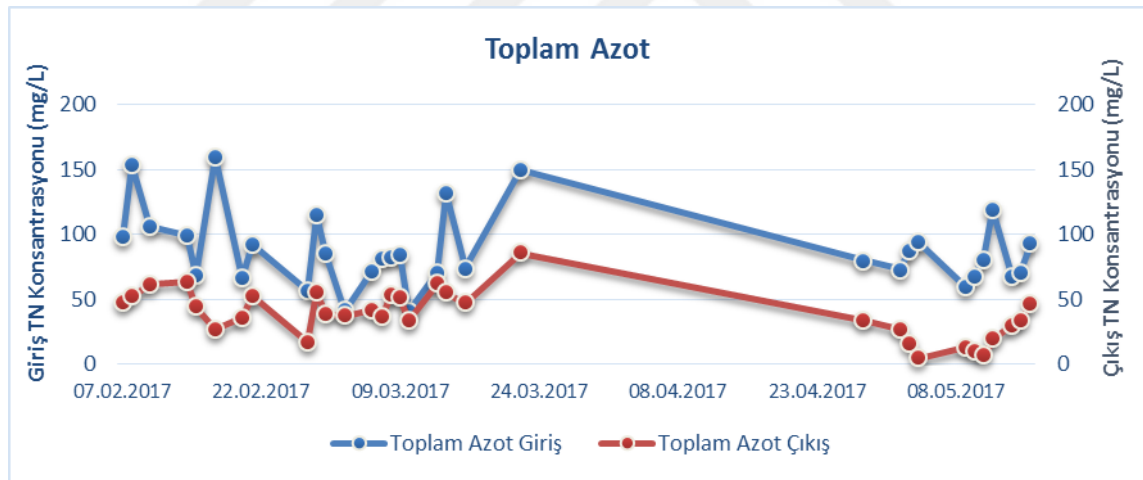
Şekil 4.8. Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonu değişimi



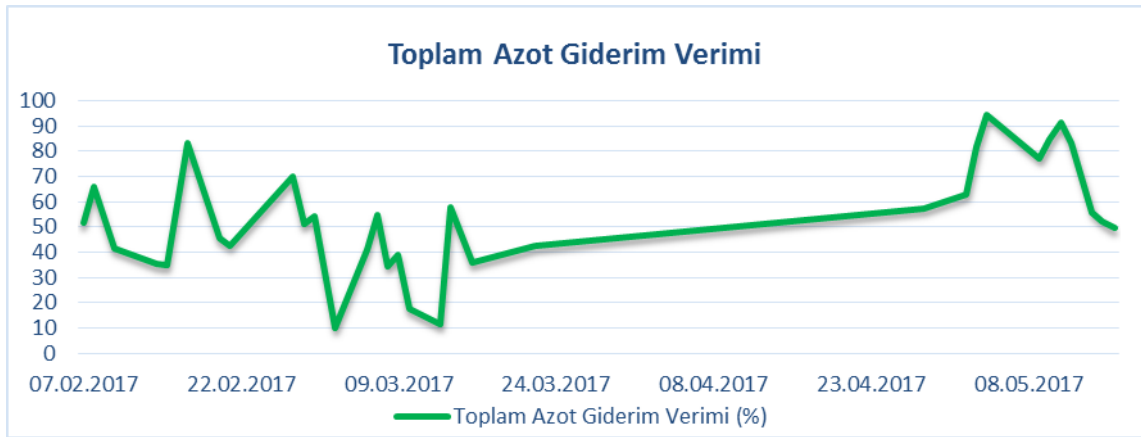
Şekil 4.9. Askıda katı madde giderim verimi değişimi

#### 4.4. Paket MBR Sistemi Azot Giderimi

İşletilme süresi boyunca giriş TN konsantrasyonunun 41.4 – 153.6 mg/L, çıkış TN konsantrasyonunun 5 – 86.3 mg/L arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun yanında %10.1 – 94.7 arasında TN giderim verimi elde edilmiştir. TN ortalama giderim veriminin ise %53.5 olduğu gözlemlenmiştir. Paket MBR tesiste artılmış suda maksimum 15 mg/L TN bulunması ve minimum %70 TN giderimi elde edilmesi amaçlandığından analiz sonuçları göz önüne alındığında paket MBR tesisin istenilen verimde çalışmadığı gözlemlenmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde 4 değer hedeflenen < 15 mg/L'nin üstünde kaldığı, 19 değer ise > %70 TN giderim veriminin altında kaldığı tespit edilmiştir. Giderim veriminde yaşanan bu düşüşün azot giderimi için gerekli olan denitrifikasyon fazının tam anlamıyla oluşturulmadığından ve elverişsiz hava koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.10'da paket MBR sisteminin TN giriş ve çıkış konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.11'de ise TN giderim verimi değişimi gösterilmektedir.

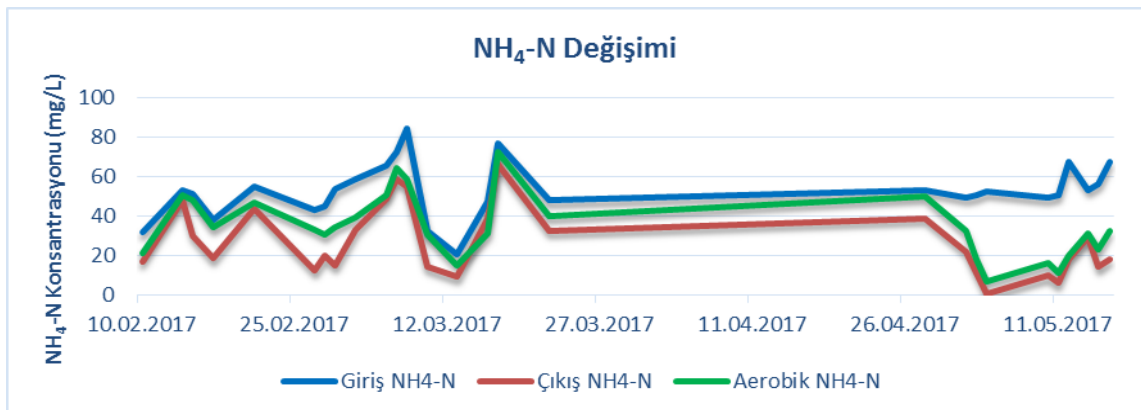


Şekil 4.10. Giriş ve çıkış TN konsantrasyonu değişimi

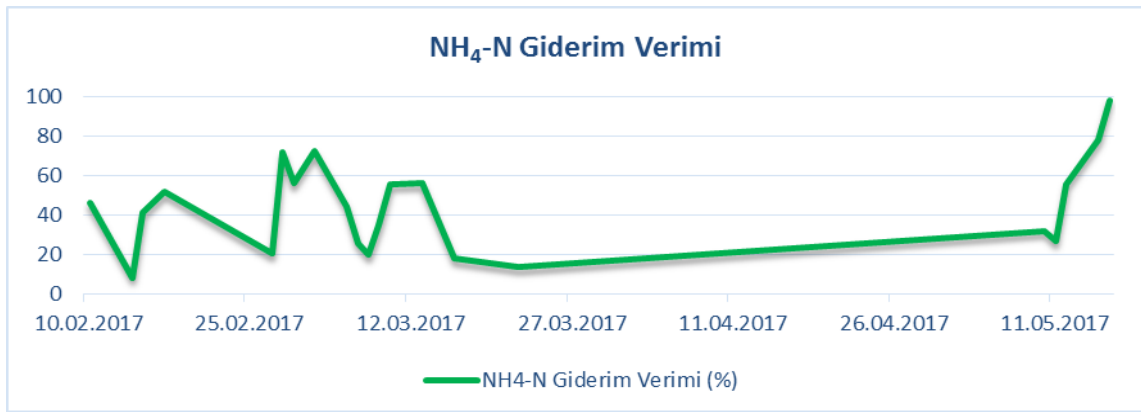


Şekil 4.11. Toplam azot giderim verimi değişimi

Şekil 4.12’de paket MBR sistemi giriş, çıkış ve aerobik bölgedeki  $\text{NH}_4\text{-N}$  konsantrasyonlarının değişimi gösterilmektedir. Giriş ortalama  $\text{NH}_4\text{-N}$  konsantrasyonunun  $52.53 \pm 13.8$  mg/L, çıkış ortalama  $\text{NH}_4\text{-N}$  konsantrasyonunun  $27.0 \pm 17.5$  mg/L ve aerobik bölge ortalama  $\text{NH}_4\text{-N}$  konsantrasyonunun  $34.78 \pm 16.32$  mg/L olduğu belirlenmiştir.  $\text{NH}_4\text{-N}$  konsantrasyonunun giderim veriminin %8.12 – 98.07 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama giderim veriminin ise %50.15 olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.12’de paket MBR sisteminin  $\text{NH}_4\text{-N}$  konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.13’de ise  $\text{NH}_4\text{-N}$  giderim verimi değişimi gösterilmektedir.

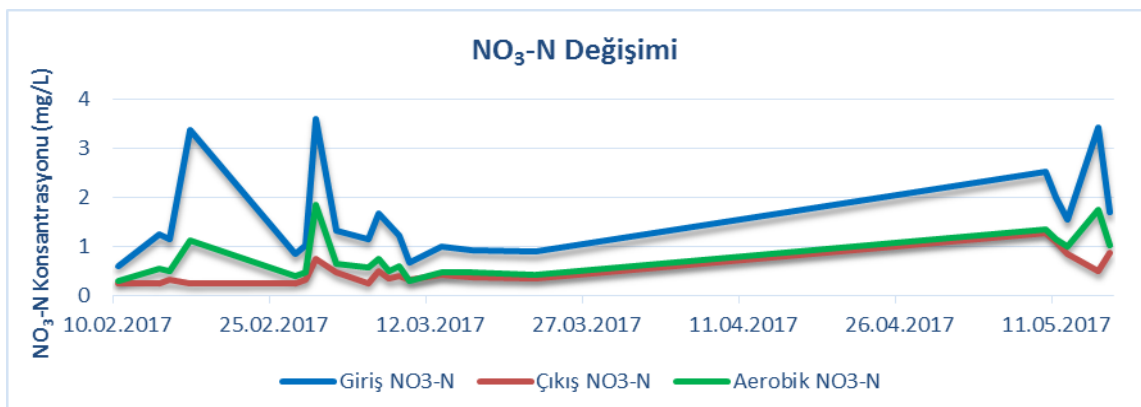


Şekil 4.12.  $\text{NH}_4\text{-N}$  konsantrasyonu değişimi



Şekil 4.13. NH<sub>4</sub>-N giderim verimi değişimi

Şekil 4.14'te paket MBR sistemi giriş, çıkış ve aerobik bölgedeki NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonlarının değişimi gösterilmektedir. Giriş ortalama NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonunun  $1.58 \pm 0.9$  mg/L, çıkış ortalama NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonunun  $0.5 \pm 0.29$  mg/L ve aerobik bölge ortalama NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonunun  $0.77 \pm 0.44$  mg/L olduğu belirlenmiştir. Aerobik bölge NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonuna bakıldığında aerobik bölgedeki NH<sub>4</sub>-N'nun bakteriler tarafından NO<sub>3</sub>-N'na hedeflenen seviyede dönüştürülemediği görülmektedir. Bunun sonucu olarak da paket MBR tesisi çıkış TN konsantrasyonu olumsuz olarak etkilenmektedir. Şekil 4.14'te paket MBR sisteminin NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonu değişimi gösterilmektedir.



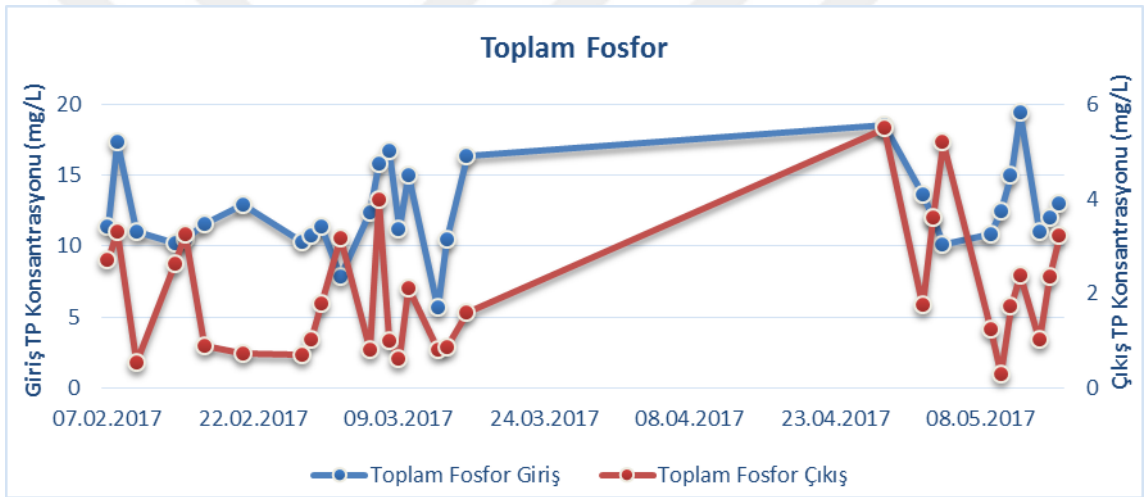
Şekil 4.14. NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonu değişimi

#### 4.5. Paket MBR Sistemi Fosfor Giderimi

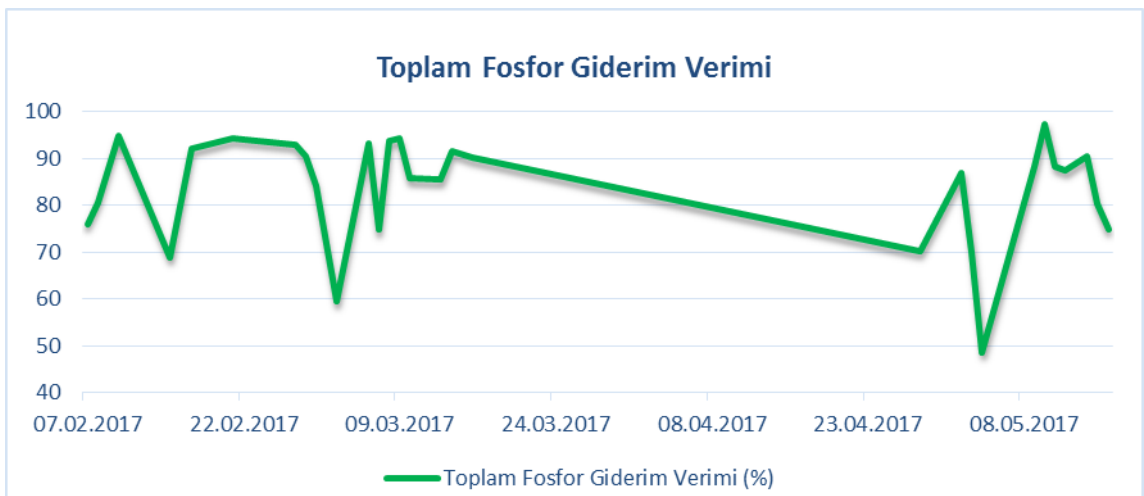
İşletilme süresi boyunca giriş TP konsantrasyonunun 5.7 – 17.4 mg/L, çıkış TP konsantrasyonunun 0.5 – 5.5 mg/L arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun yanında %48.9 – 97.6 arasında TP giderim verimi elde edilmiştir. TP ortalama giderim



veriminin ise %83.5 olduğu gözlemlenmiştir. Paket MBR tesiste arıtılmış suda maksimum 2 mg/L TP bulunması ve minimum %80 TP giderimi elde edilmesi amaçlandığından TP ortalama giderim verimi göz önüne alındığında paket MBR tesisin istenilen verimde çalıştığı gözlemlenmiştir. Ancak tüm giderim verimi değerleri göz önüne alındığında ise istenilen performansa nispeten ulaşamadığı gözlemlenmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde 9 değer hedeflenen < 2 mg/L'nin üstünde kaldığı, 6 değer ise > %80 TP giderim veriminin altında kaldığı tespit edilmiştir. Giderim veriminde yaşanan bu düşüşün fosfor giderimi için gerekli olan anaerobik fazın tam anlamıyla oluşturulmadığından ve elverişsiz hava koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.15'te paket MBR sisteminin TP giriş ve çıkış konsantrasyonu değişimi, Şekil 4.16'da ise TP giderim verimi değişimi gösterilmektedir.

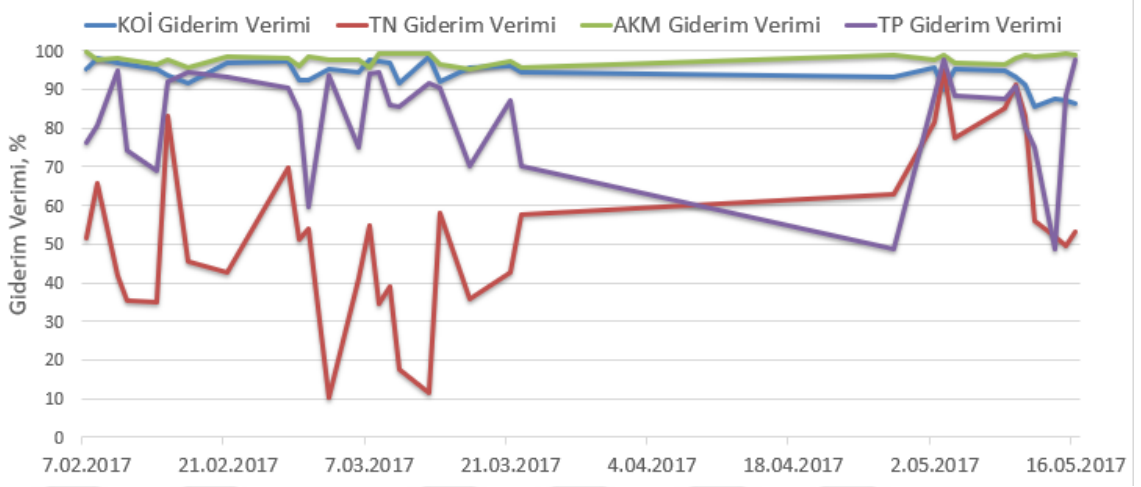


Şekil 4.15. Giriş ve çıkış TP konsantrasyonu değişimi



Şekil 4.16. Toplam fosfor giderim verimi değişimi

Paket MBR tesisi KOİ, AKM, TN ve TP parametreleri giderim verimlerinin zamana göre değişiminin tamamı Şekil 4.17’de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Paket MBR tesisi parametre giderim verimi değişimi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada güneş enerjisi destekli paket MBR sisteminin Konya’da oluşan evsel atıksuların arıtımındaki sistem verimliliği incelenmiştir. 15.02.2017 - 15.05.2017 süre ile işletilen MBR sisteminde elde edilen arıtma verimleri aşağıda özetlenmiştir. Tesisin işletmeye alındığı Şubat – Mayıs ayları arasında hava sıcaklığı kış aylarında ortalama -5 °C bahar aylarında ise ortalama 9 °C olduğundan ve ham atıksu sıcaklık ortalaması 17 °C olduğundan organik madde ve azot gideriminde yaz aylarına göre daha düşük verimlerin elde edileceği göz önüne alınmalıdır.

Konya AAT giriş atıksu ile beslenen paket MBR sisteminin ortalama çıkış suyu karakterizasyonu ve giderim verimleri Çizelge 5.1’de, giriş ve çıkış atıksu fotoğrafları ise Şekil 5.1’de gösterilmektedir.

**Çizelge 5.1.** Paket MBR sistemi ortalama çıkış suyu ve ortalama giderim verimleri

Parametre	Birim	Ortalama Çıkış Suyu <sup>1</sup>	Ortalama Giderim Verimi (%)
KOİ	mg/L	50.1 ± 23.9	93.8
AKM	mg/L	8.5 ± 4.3	97.8
TN	mg/L	39.6 ± 18.8	53.4
TP	mg/L	2.03 ± 1.3	83.6

1) ortalama değer ± standart sapma



**Şekil 5.1.** Paket MBR tesisine ait giriş ve çıkış atıksuları

Paket MBR sisteminin KOİ parametresinin giriş ve çıkış konsantrasyonları sırasıyla 530 – 1,497 mg/L ve 13 – 130 mg/L arasında değiştiği görülmektedir. KOİ parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 883.25 mg/L ve 50.18 mg/L olarak belirlenmiştir.

Paket MBR sisteminin AKM parametresinin giriş ve çıkış konsantrasyonları sırasıyla 205 – 880 mg/L ve 1 – 18 mg/L arasında değiştiği görülmektedir. AKM parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 431.7 mg/L ve 8.5 mg/L olarak belirlenmiştir.

Paket MBR sisteminin KOİ ve AKM giderim verimleri sırasıyla %93.81 ve %97.8 olarak bulunmuştur. Benzer sonuçlar %98 KOİ giderimi ve %100 AKM giderimi ile Chae, S. ve Shin, H'in yapmış olduğu benzer çalışmada da elde edilmiştir (Chae ve Shin, 2007).

Paket MBR sisteminin TN parametresinin giriş konsantrasyonları 41.4 – 153.6 mg/L, çıkış konsantrasyonları ise 5 – 86.3 mg/L arasında değiştiği görülmektedir. TN parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 89.22 mg/L ve 39.06 mg/L olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de yer alan tipik evsel atıksu karakterizasyonu çizelgesinde orta kirlilik değeri 40 mg/L, yüksek kirlilik değeri ise 70 mg/L olarak verilmektedir. Paket MBR giriş atıksu TN konsantrasyon değerlerine bakıldığında 41.4 mg/L konsantrasyon değeri Çizelge 4.1'e göre orta kirlilik sınıfına girmektedir. 153.6 mg/L giriş atıksu konsantrasyon değeri ise Çizelge 4.1'e göre 70 mg/L olan yüksek kirlilik sınıfının çok üzerinde kalmaktadır. 41.4 mg/L ile 153.6 mg/L arasındaki bu büyük konsantrasyon salınımı paket MBR tesisinin 40 mg/L olarak seçilen tasarım değerinin üzerinde kaldığından dolayı istenilen giderim veriminin tam olarak sağlanamadığı görülmüştür. Paket MBR tesisi analiz değerlerinde görülen giriş TN değerlerindeki büyük salınımların ise Konya kent merkezinde hayvancılık faaliyetleri ve süt endüstrileri gibi bazı gıda endüstrilerinin atıksularının kanalizasyon şebekesine bağlantısı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Paket MBR sisteminin TP parametresinin giriş konsantrasyonları 5.7 – 17.4 mg/L, çıkış konsantrasyonları ise 0.5 – 5.5 mg/L arasında değiştiği görülmektedir. TP parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 12.57 mg/L ve 2.03 mg/L olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de yer alan tipik evsel atıksu karakterizasyonu çizelgesinde düşük kirlilik değeri 4 mg/L, orta kirlilik değeri 7 mg/L, yüksek kirlilik değeri ise 12 mg/L olarak verilmektedir. Paket MBR giriş atıksu TP konsantrasyon değerlerine bakıldığında 5.7 mg/L konsantrasyon değeri Çizelge 4.1'e göre düşük ile

orta kirlilik sınıfı arasına girmektedir. 1.4 mg/L giriş atıksu TP konsantrasyon değeri ise Çizelge 4.1'e göre 12 mg/L olan yüksek kirlilik sınıfının çok üzerinde kalmaktadır. 5.7 mg/L ile 17.4 mg/L arasındaki bu büyük konsantrasyon salınımının da TN'da olduğu gibi endüstriyel faaliyetler ve havayancılık faaliyetleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Azot ve fosfor gideriminin de gerçekleştirilmesi amaçlanan ileri arıtım sistemi için paket MBR sisteminin tasarımında A<sup>2</sup>/O prosesi kullanılmıştır. Sistemde nitrifikasyon ve denitrifikasyon fazlarının gerçekleşebilmesi adına ayrı kısımlar bulunmasına rağmen TN giderim verimi %53.4 değeri ile sınırlı kalmıştır.

TN gideriminde yaşanan bu düşüşün; ilk olarak paket MBR sistemi içerisinde kullanılan hava üfleyici blowerların proses için gerekli hava ihtiyacından çok daha fazlasını sisteme verdiğinden dolayı yaşanıldığı düşünülmektedir. Aerobik bölgedeki yüksek çözünmüş oksijen çamur geri devri vasıtasıyla anaerobik ve anoksik bölgeye aktarılmakta, bunun sonucunda ise TN giderimindeki denitrifikasyon prosesi için gerekli olan anoksik ortamın kaybolmasına neden olmaktadır. Bu yüksek çözünmüş oksijen durumu 'Şekil 4.2. çözünmüş oksijen konsantrasyonu değişimi' grafiğinde de görülmektedir. Nitrifikasyon için uygun pH, ÇO, besin maddesi vs. gibi gerekli tüm şartlar sistemde mevcut olmasına rağmen aerobik bölgedeki NO<sub>3</sub>-N değerinin yükselmemesi de TN giderim verimindeki düşüşün bir nedeni olduğu düşünülmektedir. Paket MBR sisteminin devreye alma sürecindeki hava sıcaklığının aşırı soğuk olması sonucunda nitrifikasyon bakterilerinin üreme hızı azalmış ve ortamda yeteri kadar nitrifikasyon bakterisi oluşmadığı düşünülmektedir. Özetle amonyağı nitrite oksitleyen bakteri türleri nitrosomonos ve nitrosococcus ile ilk basamakta nitrite oksitlenen amonyum iyonlarını ikinci basamakta nitrata dönüştüren nitrobakter bakterilerinin çoğalması istenilen seviyede gerçekleşmemiştir. Bunun sonucunda ise TN giderim veriminin istenilen seviyeye ulaşamamasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu durum 'Şekil 4.12. NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonu değişimi' ve 'Şekil 4.14. NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonu değişimi' grafiklerinde de görülmektedir.

TP giderim verimi TN giderim verimine göre nispeten daha yüksek olsa da tüm değerler düşünüldüğünde istenilen seviyelerde olmadığı görülmüştür. Birleşik biyolojik azot ve fosfor giderimi ile %70 – 90 değerleri arasında fosfor giderimi gerçekleşebilmektedir. Tesisin işletme sürecinde elde edilen %83.6 TP giderim veriminin nispeten düşük olmasının nedeni, TN parametresinde olduğu gibi paket MBR sistemi içerisinde kullanılan hava üfleyici blowerların proses için gerekli hava

ihtiyacından çok daha fazlasını sisteme verdiği için dolayı yaşanıldığı düşünülmektedir. Aerobik bölgedeki yüksek çözünmüş oksijen çamur geri devir vasıtasıyla anaerobik bölgeye aktarılmaktadır. Bunun sonucunda TP giderimi için gerekli olan anaerobik ortamın oksijen seviyesinin yükseldiği ve anaerobik ortamın yok olması sonucunda TP giderim veriminin tam anlamıyla istenilen seviyeye ulaşamamasına neden olduğu düşünülmektedir. Paket MBR tesisin TP ortalama giderim veriminin %83.6 olduğu düşünüldüğünde kimi zamanlar tesise gelen atıksuyun yüksek TP içermesinin de bir miktar da olsa giderimi etkilediği düşünülmektedir.

Paket MBR sistemi için tüketilen ve güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi değişimi 'Şekil 4.5. elektrik enerjisi değişimi' grafiğinde gösterilmektedir. Tüketilen elektrik enerjisinin 110 - 212 kW/gün, üretilen elektrik enerjisinin 1 - 21 kW/gün arasında değiştiği belirlenmiştir. Tüketilen ortalama elektrik enerjisinin 156 kW/gün, üretilen ortalama elektrik enerjisinin ise 8 kW/gün olduğu gözlemlenmiştir. Paket MBR sisteminde tüketilen elektrik enerjisinin yüksek olmasının sebebinin hava üfleme blower motorlarının frekans konvertörünün olmaması ve bu nedenle sürekli en yüksek seviyede (7 – 9 kW arası) çalışması olduğu düşünülmektedir. Paket MBR sisteminde üretilen elektrik enerjisinin düşük olmasının sebebi olarak ise devreye alma ve işletme sürecinin kış aylarına denk gelmesi ve bu nedenle güneşli gün sayısının en düşük seviyede olması sebebiyle olduğu düşünülmektedir.

Paket MBR sisteminin pH, çözünmüş oksijen ve sıcaklık değeri sırasıyla 7.1 – 8.4; 2.1 – 7.1 mg/L ve 11 – 22 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Aerobik bölgedeki MLSS konsantrasyonu ise 2,000 – 16,310 mg/L arasında değiştiği belirlenmiştir. Aerobik bölgedeki MLSS artışı 'Şekil 4.4. MLSS konsantrasyonu değişimi' grafiğinde de görülmektedir. Ortam koşullarının (pH, besin maddesi, ÇO vs.) aynı kalmasına rağmen havaların ısınmaya başladığı bahar aylarına doğru MLSS değerinin yükselmesi soğuk havaların mikroorganizma hareketliliğini yavaşlattığı görüşünü de desteklemektedir.

Paket MBR sisteminin NH<sub>4</sub>-N parametresi giriş, çıkış ve aerobik bölge ortalama konsantrasyonları sırasıyla 52.53 mg/L, 26.98 mg/L ve 34.78 mg/L olarak belirlenmiştir. NH<sub>4</sub>-N parametresi ortalama giderim verimi ise %50.15 olarak belirlenmiştir.

Paket MBR sisteminin NO<sub>3</sub>-N giriş, çıkış ve aerobik bölge ortalama konsantrasyonları 1.58 ± 0.9 mg/L, 0.5 ± 0.29 mg/L ve 0.77 ± 0.44 mg/L olduğu

belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına ve Şekil 4.14'te yer alan  $\text{NO}_3\text{-N}$  konsantrasyonu değişimi grafiğine bakılacak olursa aerobik bölgede istenilen  $\text{NO}_3\text{-N}$  artışının meydana gelmediği ve bunun sonucunda istenilen TN giderim verimine ulaşamadığı görülmüştür.

$\text{NH}_4\text{-N}$  parametresi çıkış değerinin yüksek olması sisteme giren  $\text{NH}_4\text{-N}$ 'nin  $\text{NO}_3\text{-N}$ 'na yükseltgenememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Amonyacı nitrite oksitleyen bakteri türleri nitrosomonos ve nitrosococcus olarak bilinmektedir. İlk basamakta nitrite ( $\text{NO}_2$ ) oksitlenen amonyum iyonları, ikinci basamakta nitrobakter ile nitrata dönüştürülür (Öztürk ve ark., 2005) İşletme sürecindeki aşırı soğuk hava sistemde bulunan bu az sayıdaki mikroorganizmaların hareketliliğini yavaşlatmış ve istenilen hızda çoğalmalarını engellemiştir. Bunun sonucunda ise giderilemeyen  $\text{NH}_4\text{-N}$ 'nin membran gözeneklerinden geçerek sistemden ayrıldığı ve istenilen  $\text{NH}_4\text{-N}$  giderim verimine ulaşamamasına neden olduğu düşünülmektedir.

Evsel atıksularda biyolojik azot giderim verimi biyolojik arıtmaya giriş atıksuyundaki  $\text{KOİ/TKN}$  oranına bağlıdır (Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi, 2017). Tasarım olarak  $\text{A}^2\text{O}$  prosesi kullanılan paket MBR sistemindeki  $\text{KOİ/TKN}$  oranı 9.89 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç ile  $\text{KOİ/TKN} < 10$  olması durumunda ön denitrifikasyon sistemleri etkin olarak kullanılabilir görüşü de doğrulanmıştır.

Paket MBR sistemi çıkış suyu üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, atıksuda bulunan  $\text{KOİ}$ ,  $\text{AKM}$  ve  $\text{pH}$  parametreleri sonuçları sırasıyla 50.18 mg/L, 8.5 mg/L ve 7.7 olarak ölçülmüştür. Çıkış suyu numune sonuçlarının Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin 'Evsel Nitelikli Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları' başlığı altında nüfusu 84 – 2,000 kişi arasında olan yerleşim yerleri için deşarj standartlarını sağladığı belirlenmiştir.

## 5.2 Öneriler

Paket MBR sistemindeki TN giderim veriminin yükseltilmesi maksadıyla tesis işletilmesi hava sıcaklığının kış aylarına nispeten işletme için daha uygun olan yaz aylarında yapılmalı ve bu dönemdeki arıtma verimleri incelenmelidir. Diğer bir TN giderim verimi yükseltme önerisi olarak ise paket MBR tesisin anaerobik bölümünün de anoksik bölüm gibi çalıştırılarak hedeflenen TN giderim verimine ulaşılması düşünülmektedir.

Paket MBR sistemindeki TP giderim veriminin yükseltilmesi için tesiste mevcutta bulunan hava üfleyici blowerlara motor çalışma devirlerinin düzenlenebilmesi maksadıyla frekans konvertörü takılmalıdır. İlave edilecek olan frekans konvertörü ve sistemdeki O<sub>2</sub> sensörü vasıtasıyla aerobik bölgedeki O<sub>2</sub> seviyesine bağlı olarak çalışacaktır. Yapılacak bu revizyon çalışması sonucunda hava üfleyici blowerlar ile paket tesise fazladan O<sub>2</sub> verilmesinin önüne geçilecektir. Aerobik bölge için yalnızca ihtiyaç duyulan kadar O<sub>2</sub> sisteme verileceğinden dolayı çamur geri devir vasıtasıyla da anaerobik bölge bozulmamış olacaktır. Bunun sonucunda ise TP giderim veriminde istenilen giderim sonucuna ulaşılacağı düşünülmektedir. Diğer bir TP giderim verimi yükseltme önerisi olarak ise TN giderimini yükseltmek adına anoksik bölüm gibi çalıştırılacak anaerobik bölüm yerine atıksuya fosfor giderimini sağlayacak FeCl<sub>3</sub> kimyasalının ilave edilmesi düşünülmektedir.

Paket MBR sisteminin hassas alanlara deşarjlarda veya atıksu geri kazanımı planlanan, büyük ileri arıtım tesislerinin kurulamadığı köyler veya tatil köyleri gibi küçük yerleşim yerleri için atıksu arıtımında uygun bir arıtma teknolojisi olduğu söylenebilir.

Öte yandan hava üfleyici blowerlara yapılacak olan bu revizyon çalışması ile paket MBR sisteminin ihtiyaç duyduğu günlük elektrik enerjisi miktarında da büyük ölçüde düşeceği tahmin edilmektedir.



## KAYNAKLAR

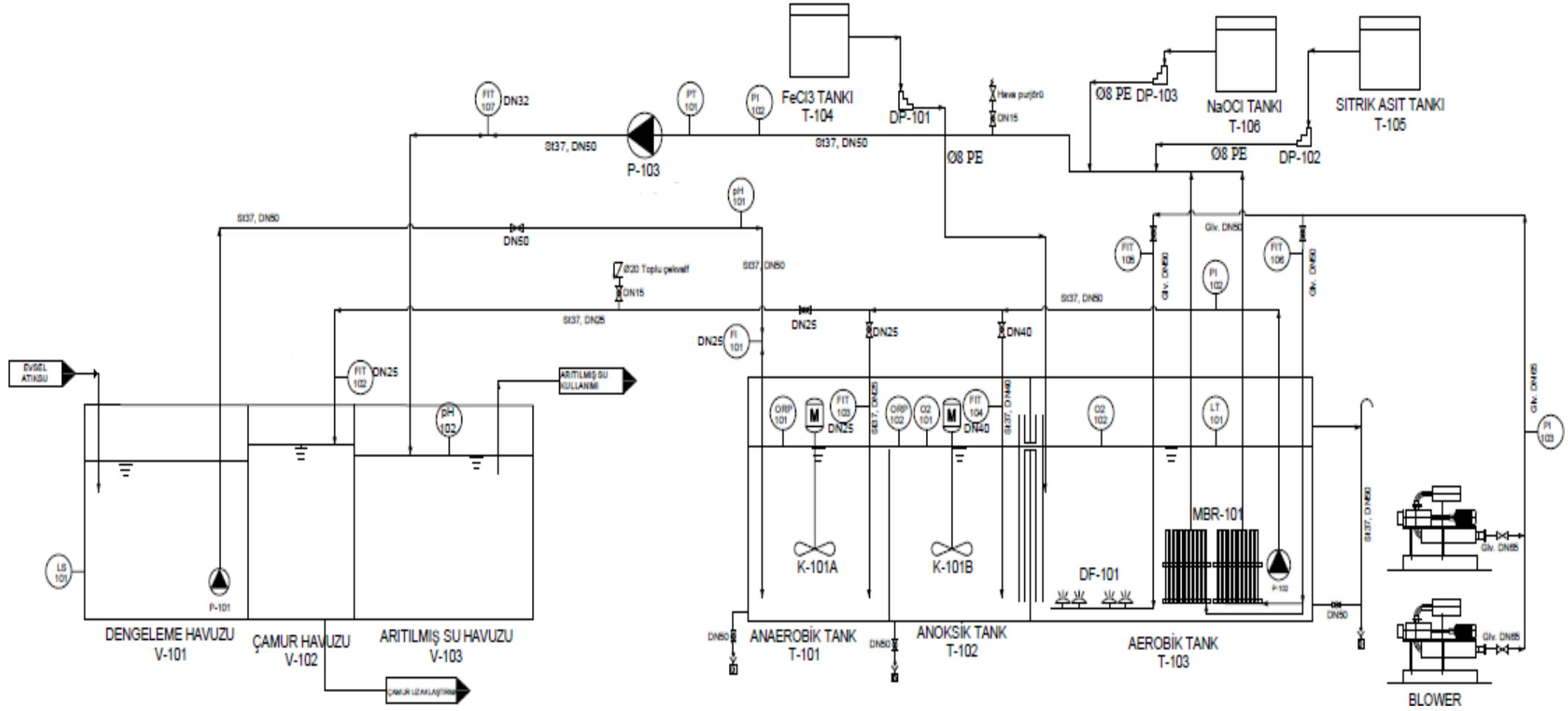
- Anonymous, 2017, Membranfiltrering, <https://www.hydrogroup.no/virksomhetsomraader/vannbehandling/membranfiltrering.html> [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2017].
- Apha, 1989, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 17<sup>th</sup> ed. Washington, DC. USA.
- Aptel, P., Buckley, A., C., 1996, Water Treatment Membran Processes, A Division of The Mc Graw- Hill, South Africa.
- Arianfar, A., 2015, Evsel ve Endüstriyel Atık Suların Arıtımında Membran Biyoreaktör (Mbr) Teknolojisinin Kullanılması ve Arıtılmış Ürün Su Kalitesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi, A., 2017, TC Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Altyapı Ve Çevre Çözümleri, Mühendislik, Müşavirlik Araştırma Ve Geliştirme Tic. Ltd. Şti 2012, Güncelleme 2017.
- Cassano, A., Figoli, A., Tagarelli, A., Sindona, G. ve Drioli, E., 2006, Integrated membrane process for the production of highly nutritional kiwifruit juice, *Desalination*, 189 (1-3), 21-30.
- Chae, S. ve Shin, H., 2007, Characteristics of simultaneous organic and nutrient removal in a pilot-scale vertical submerged membrane bioreactor (VSMBR) treating municipal wastewater at various temperatures, *Process Biochemistry*, 42 (2), 193-198.
- Chiemchaisri, C. ve Yamamoto, K., 1994, Performance of membrane separation bioreactor at various temperatures for domestic wastewater treatment, *Journal of membrane science*, 87 (1-2), 119-129.
- Çağlar, F., 2013, Modelling of membrane bioreactor systems, *DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- DPT, 2001, Devlet Planlama Teşkilatı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT: 2569 – ÖİK: 585.
- Durmaz, F., Kara, H., Cengeloglu, Y. ve Ersoz, M., 2005, Fluoride removal by Donnan dialysis with anion exchange membranes, *Desalination*, 177 (1-3), 51-57.
- EİE, 2006, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Resmi İnternet Sayfası, [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr) [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2017].
- Gander, M., Jefferson, B. ve Judd, S., 2000, Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations, *Separation and purification Technology*, 18 (2), 119-130.
- Hanaki, K., Wantawin, C. ve Ohgaki, S., 1990, Effects of the activity of heterotrophs on nitrification in a suspended-growth reactor, *Water Research*, 24 (3), 289-296.
- Hasar, H., 2001, Batık Membran–Aktif Çamur Sistemlerinin Arıtma Kapasitesinin Geliştirilmesi ve Modellenmesi, *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*.
- Hasbülbül, E., 2010, Evsel Atıksularda Membran Bioreaktörle Azot(N), Fosfor(P) ve Karbon(KOİ) Gideriminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri*.
- Hillis, P., 2000, Membrane technology in water and wastewater treatment, Royal Society of Chemistry, p.
- Ishida, H., Yamada, Y., Matsumura, S., 1993, Second International Conference on Advances in Water and Effluent Treatment, BHR Group.
- Jefferson, B., Laine, A., Brindle, K., Judd, S., Stephenson, T., 1998, Proceedings of Water Environment 98: Maintaining the Flow, The Institution of Civil Engineers, London.

- Judd, S., 2010, *The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment*, Elsevier, p.
- Kalogirou, S. A., 2005, Seawater desalination using renewable energy sources, *Progress in energy and combustion science*, 31 (3), 242-281.
- Kishino, H., Ishida, H., Iwabu, H. ve Nakano, I., 1996, Domestic wastewater reuse using a submerged membrane bioreactor, *Desalination*, 106 (1-3), 115-119.
- Köseoğlu, H., 2006, Hibrit siyanürleme ve yüksek basınçlı membran prosesiyle madencilik atıksularından gümüş geri kazanımı-sentetik su deneyleri, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi*.
- Mayhew, M. ve Stephenson, T., 1997, Low biomass yield activated sludge: a review, *Environmental technology*, 18 (9), 883-892.
- Merz, C., Scheumann, R., El Hamouri, B. ve Kraume, M., 2007, Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club, *Desalination*, 215 (1-3), 37-43.
- Metcalf, Eddy, Burton, F. L., Stensel, H. D. ve Tchobanoglous, G., 2003, *Wastewater engineering: treatment and reuse*, McGraw Hill, p.
- MicroDyn-Nadir, 2018, <https://www.microdyn-nadir.com/en/> [Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2018].
- Morão, A. I. C., Alves, A. M. B., Costa, M. C. ve Cardoso, J. P., 2006, Nanofiltration of a clarified fermentation broth, *Chemical engineering science*, 61 (8), 2418-2427.
- Nosenzo, G., Gualdi, A., Mignani, M. ve Bellini, G., 2005, Industrial removal of micropollutants from water of varying quality by FLAMEC flat sheet polymeric membranes cassettes, *Desalination*, 185 (1-3), 167-183.
- Owen, G., Bandi, M., Howell, J. ve Churchouse, S., 1995, Economic assessment of membrane processes for water and waste water treatment, *Journal of membrane science*, 102, 77-91.
- Öztürk, İ., Timur, H. ve Koşkan, U., 2005, *Atıksu Arıtımının Esasları*, TC Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Porter, M. C., 1989, *Handbook of industrial membrane technology*.
- Schippers, J., C., Kruithof J., Nederlof, M., Hofman, J., A., M., H., 2004, *Integrated Membrane Systems*, AWWA Research Foundation and American Water Works Association, U.S.A.
- Scott, K., Hughes, R., 1996, *Industrial Membrane Separation Technology*, Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall.
- Shen, Y.-x., Xiao, K., Liang, P., Sun, J.-y., Sai, S.-j. ve Huang, X., 2012, Characterization of soluble microbial products in 10 large-scale membrane bioreactors for municipal wastewater treatment in China, *Journal of membrane science*, 415, 336-345.
- Stephenson, T., Brindle, K., Judd, S. ve Jefferson, B., 2000, *Membrane bioreactors for wastewater treatment*, IWA publishing, p.
- Suwa, Y., Suzuki, T., Toyohara, H., Yamagishi, T. ve Urushigawa, Y., 1992, Single-stage, single-sludge nitrogen removal by an activated sludge process with cross-flow filtration, *Water Research*, 26 (9), 1149-1157.
- Şahinkaya, E., 2014, *Membran Biyoreaktörler: Uygulama Alanları, Son Gelişmeler ve Araştırma Gereken Alanlar*, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü, İstanbul, Recent Developments and the Areas Requiring Research, İstanbul Medeniyet University.
- Şen, Z., 2002, *Temiz Enerji ve Kaynakları*, Su Vakfı yayınları, p.
- Şen, Z., 2004, Türkiye'nin Temiz Enerji İmkanları, *Mimar ve Mühendis dergisi*, 33, 6-12.

- TÇV, 2003, Türkiye Çevre Vakfı Türkiye'nin Çevre Sorunları 2003, Ankara
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. ve Gekas, V., 2005, Environmental impacts from the solar energy technologies, *Energy Policy*, 33 (3), 289-296.
- Tübitak, 2008a, Kamag Proje Gelisme Raporu (KP-GR-01) Proje No: 106G135 "Küçük Yerleşim Birimleri İçin Uygun Atıksu Arıtma Alternatiflerinin Araştırılması: Yamula Baraj Havzasında Bir Örnek Çalışma Projesi", 15.03.2008-15.09.2008.
- Tübitak, 2008b, Kamag Proje Dosyası Proje No: 106G135 "Küçük Yerleşim Birimleri İçin Uygun Atıksu Arıtma Alternatiflerinin Araştırılması: Yamula Baraj Havzasında Bir Örnek Çalışma Projesi", 15.03.2008.
- TÜİK,2016,<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fbiruni.tuik.gov.tr%2Fmedas%2F%3Fkn%3D120%26locale%3Dtr&date=2016-10-26> [Ziyaret Tarihi: 17 Kasım 2016].
- Ueda, T., Hata, K. ve Kikuoka, Y., 1996, Treatment of domestic sewage from rural settlements by a membrane bioreactor, *Water Science and Technology*, 34 (9), 189-196.
- Ültanır, M. Ö., 1996, 21. Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi, *Bilim ve Teknik*, 340 (3), 50-55.
- Varınca, K. B. ve Varank, G., 2005, Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri, *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*.
- Winnen, H., Suidan, M., Scarpino, P., Wrenn, B., Cicek, N., Urbain, V. ve Manem, J., 1996, Effectiveness of the membrane bioreactor in the biodegradation of high molecular-weight compounds, *Water Science and Technology*, 34 (9), 197-203.
- Wu, Z., Wang, Z., Zhou, Z., Yu, G. ve Gu, G., 2007, Sludge rheological and physiological characteristics in a pilot-scale submerged membrane bioreactor, *Desalination*, 212 (1), 152-164.
- Yiğit, N. Ö., 2007, Membran biyoreaktörü ile (MBR) evsel atıksu arıtımı, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Yoon, S.-H., 2015, Membrane bioreactor processes: principles and applications, CRC press, p.
- YTÜ, 2007, Yıldız Teknik Üniversitesi Güneş Enerjili Sistemler Kulübü, Güneş Enerjisi

## EKLER

## EK-1 Paket MBR Arıtma Sisteminin Şematik Akış Diyagramı



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Yusuf Can HATİPOĞLU  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : TRABZON / 08.04.1989  
**e-mail** : [yusufcanhatipoglu@gmail.com](mailto:yusufcanhatipoglu@gmail.com)

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Trabzon Lisesi, Merkez, Trabzon	2006
Üniversite	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2013
Yüksek Lisans	Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2019

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-2017	Artaş Endüstriyel Tesisler Taah. ve Tic. A.Ş.	Proje Mühendisi
2018-Halen	Alfatek Bakım Yönetim Hizmetleri İnş. San. Ve Tic. A.Ş.	İşletme Mühendisi

### UZMANLIK ALANI

Atıksu Arıtımı, İçmesuyu Arıtımı, Biyogaz, Arıtma Tesisi Projelendirilmesi, MBR

### YABANCI DİLLER

İngilizce