

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ANEOROBİK MEMBRAN BİOREAKTÖRDE MEZBAHA ATIK
SULARININ ARITILABİLİRLİĞİ**

Hakan YILDIZ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

**ŞANLIURFA
2013**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Anaerobik Arıtma ve Esasları	3
2.2. Anaerobik Arıtma Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları	3
2.3. Anaerobik Arıtma Sistemleri	3
2.4. Membran Bioreaktörler	7
2.4.1. Membran teknolojilerine giriş	7
2.4.2. Membranların yapısı	10
2.4.2.1. Ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırma	10
2.4.2.2. Morfolojilerine göre sınıflandırma	10
2.4.2.3. Geometrilerine göre sınıflandırma	11
2.4.2.4. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma	11
2.4.3. Membranların yapısı	11
2.4.3.1. Sıcaklığa dayanıklılık	12
2.4.3.2. Kimyasal uygunluk	12
2.4.3.3. Basınca dayanıklılık	12
2.4.3.4. pH' ya dayanıklılık	12
2.4.3.5. Mekanik kararlılık	13
2.4.3.6. Ekonomik özellikler	13
2.4.4. Membran prosesler	13
2.4.5. MBR konfigürasyonları	14
2.4.6. MBR'ların konvansiyonel sistemlere göre avantajları	16
2.4.7. MBR'ların genel dezavantajları	18
2.4.8. MBR'larda çıkış suyu kalitesi	18
2.4.9. Membran kirlenmesi/tıkanması	19
2.4.10. Membranların temizliği	21
3. MATERYAL ve YÖNTEM	24
3.1. Materyal	24
3.1.1. Anaerobik membran biyoreaktör sisteminin kurulması	25
3.1.2. Membran modülünün oluşturulması	25
3.2. Yöntem	27
3.2.1. Sistemin kurulması	27
3.2.2. Atıksu ve aşı	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	29
4.1. Yapılan Çalışmalar	29
4.1.1. Kimyasal analizler	29
4.1.1.1. Toplam AKM, TKM, TUKM zamanla değişimi	29
4.1.1.2. KOI zamanla değişimi	30
4.1.1.3. Alkalinite ve VFA zamanla değişimi	31
4.1.1.4. Yağ - Gres zamanla değişimi	32
4.1.1.5. Toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) zamanla değişimi	32
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	34
KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ	38
ÖZET	39
SUMMARY	40

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

**ANEOROBİK MEMBRAN BİOREAKTÖRDE MEZBAHA ATIK SULARININ
ARITILABİLİRLİĞİ
Hakan YILDIZ**

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Bölümü**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakkı GÜLŞEN
Yıl: 2013, Sayfa: 40**

Son yıllarda endüstrileşmenin ve nüfus artışının büyük hız kazanmasıyla yaşadığımız ortamlarda oluşan kirliliklerin artması, çevrenin korunmasına yönelik getirilen yasal düzenlemeler ve teknolojilerin iyileştirilmesi ile ortaya çıkan olumlu gelişmelerle çevreyi kirleten her türlü kirletici minimize edilerek yaşanabilir şehirler oluşturulmaya çalışılmaktadır. Çevre kirliliğini oluşturan en büyük potansiyel endüstrilerdir. Endüstriyel üretim esnasında ve sonrasında çevre kirliliğine neden olan değişik özellikte atıklar oluşmaktadır. Endüstriyel gelişme ve üretime paralel olarak, oluşacak atıkların en aza indirilmesi için yeni teknolojilere ve ileri arıtım tekniklerine başvurulması gerekmektedir. Bu nedenle bizde çalışmamızda mezbaha endüstrilerinden kaynaklanan atıksuların arıtılmasının araştırılması için çalışmalar yaptık, bu çalışmalarda aneorobik batık membran (AnMBR) bioreaktörlerin araştırılması ve arıtım verimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda alınan sonuçlar göstermiştir ki aneorobik membran bioreaktörlerin arıtım kapasitesinin iyi olduğu ve diğer arıtım sistemlerine göre çok fazla avantajlarının olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Aneorobik Membran Bioreaktör, Membran Modülü

ABSTRACT

MSc Thesis

THE TREATMENT OF WASTEWATER THROUGH ANAEROBIC MEMBRANE BIOREACTOR

Hakan YILDIZ

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakkı GÜLŞEN
Year: 2013, Page: 40**

Rapid industrialization and high population growth in recent years have caused increase of pollution in the environment in which we live. It is attempted to build livable cities by minimizing the pollution in the environment through development of technologies and legal regulations for environmental protection. Industrialization is the main cause of environmental pollution. During and after the industrial activities various wastes are produced which cause environmental pollution. In line with industrial development and production, new technologies and advanced treatment techniques are to be applied in order to minimize the waste. Therefore, in our study we have investigated the treatment of wastewater discharged by slaughterhouse industry. In this study anaerobic submerged membrane (AnMBR) bioreactors and their treatment efficiency are examined. The results of the study showed that anaerobic membrane bioreactors have a good treatment capacity and that, in comparison with other treatment systems, they have much more advantages.

KEY WORDS: Anaerobic membrane bioreactor, membrane module

TEŞEKKÜR

Bu konu hakkında çalışmamı sağlayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakkı GÜLŞEN hocama, Anne ve Babama yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mustafa ASLAN hocama, tez yazım süresi boyunca dualarını esirgemeyen sevgili nişanlım Elif KESER' e teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Askıda çoğalan anaerobik sistemler	5
Şekil 2.2. Biyofilm anaerobik sistemler	6
Şekil 2.3. Hibrid anaerobik sistemler	6
Şekil 2.4. Membran akımlarının şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.5. Bir Membran Kaseti ve Bu Kasetin Tank İçine Yerleştirilmesi	11
Şekil 2.6. Tipik bir MBR sistemi akım şeması.....	13
Şekil 2.7. MBR konfigürasyonları.	14
Şekil 3.1. Anaerobik Batık Membran Bioreaktör Sisteminin Şematik Görünümü	24
Şekil 3.2. Anaerobik reaktör, gaz metre, ısıtma tertibatı ve pompa görüntüsü.....	25
Şekil 3.3. U Şeklindeki Membran Modülü Görüntüsü	26
Şekil 4.1. AKM, TKM, TUKM zamanla değişim grafiği.....	30
Şekil 4.2. KOI giderim verimi grafiği.....	30
Şekil 4.3. Alkalinite zamanla değişim grafiği	31
Şekil 4.4. VFA zamanla değişim grafiği	31
Şekil 4.5. Yağ-Gres zamanla değişim grafiği.....	32
Şekil 4.6. Toplam Azaot (TN) ve Toplam Fosfor (TP) Zamanla değişimi	32

ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. Aerobik ve anaerobik arıtma sistemlerinin avantaj ve dezavantajlar	4
Çizelge 2.2. İki Membran Modülünün Karşılaştırılması	15
Çizelge 2.3. Evsel atıksuları arıtan MBR’larda tipik çıkış suyu kaliteleri	19
Çizelge 3.1. Membran Özellikleri	25
Çizelge 3.2. Hazırlanan membran modülü özellikleri	26
Çizelge 3.3. Aşı Çamurunun Özellikleri	27
Çizelge 3.4. Mezbaha Atıksuyu Bileşimi	28

SİMGELER DİZİNİ

Cb	Besleme suyu konsantrasyonu
Cm	Membran yüzeyindeki yoğunlaşma
Cs	Süzüntü akımı konsantrasyonu
J	Akı
Qb	Besleme suyu debisi
Qk	Konsantre kısmın debisi
Qs	Süzüntü kısmın debisi
Rg	Gerçek giderme verimi
Rm	Membrandaki hidrolik direnci
Ro	Gözlenen giderme verimi
Y	Membranda geri kazanım
ΔP	Membrandaki basınç farkı
μ	Akışkanın vizkozitesi

Kısaltmalar

AnMBR	Anaerobik Membran Bioreaktör
AA YR	Anaerobik Akışkan Yataklı Reaktör
AKM	Askıda Katı Madde
APHA	American Public Health Association
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	Membran Bioreaktör
NTU	Bulanıklık
SRT	Katı Alınma Süresi
TKM	Toplam Katı Madde
TMP	Transmembran Basıncı
TOK	Toplam Organik Karbon
TUKM	Toplam Uçucu Katı Madde
VFA	Uçucu Yağ Asitleri

1.GİRİŞ

Son yıllarda endüstrileşmenin ve nüfus artışının büyük hız kazanmasıyla su kaynakları giderek azalmakta ve kirlenmektedir. Çevrenin korunmasına yönelik getirilen yasal düzenlemeler ve işletmelerde su ihtiyacının giderek artmasından dolayı teknolojilerin iyileştirilmesi ve işletme içi madde çevrimleri öne çıkmakta, atıksu oluşumunun en aza indirilmesi, değerli maddelerin kazanılması ve suların tekrar kullanımı gündeme gelmektedir. Çevre kirliliğini oluşturan en büyük potansiyel endüstrilerdir. Endüstriyel üretim esnasında ve sonrasında çevre kirliliğine neden olan değişik özellikte atıklar oluşmaktadır. Endüstriyel gelişme ve üretime paralel olarak, oluşacak atıkların en aza indirilmesi için yeni teknolojilere ve ileri arıtım tekniklerine başvurulması gerekmektedir. Ülkemizde endüstrilerden oluşan atıksuların deşarj limitlerinin değişimi ve daha düşük değerlerde olması için Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği değiştirilmiş bulunmaktadır. Ayrıca pek çok işletme son 10 yılda dünya gündeminde olan “sürdürülebilir kalkınma”, “atıkların kaynağında önlenmesi”, “ISO 14000” ve son olarak da “IPPC-Direktifi” kavramlarının etkisiyle atık oluşturmamaya, en aza indirmeye, oluşanı da ileri derecede arıtarak tekrar kullanmaya çalışmaktadırlar (Barlas, 2003).

Son yıllarda bir membran ünitesi ile birleştirilmiş bir anaerobik reaktör olan Anaerobik membran biyoreaktörleri (AnMBRs) üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. AnMBRs ile yapılan uygulamalarda, membranlar reaktör dışına (harici) ve reaktör içerisine (batık) yerleştirilebilmektedir. Batık anaerobik membran biyoreaktör (SAnMBR); düşük alan ihtiyacı, yüksek kalitede çıkış suyu ve biyokütle yıkanmaksızın kararlı performans sağlayan membran modülünün içerisinde alıkonmasını sağlayabildikleri için, anaerobik biyo teknolojinin uygulanmasında önemli bir alternatif teşkil etmektedir (Saddoud ve diğ., 2007; Ho ve Sung, 2010).

Batık anaerobik membran biyoreaktörler (SAnMBRs) ile yapılan çalışmalarda, hücre dışı polimerik maddeler (EPS),çözünmüş mikrobiyal ürünler (SMP), biyopolimerik kümeleşmeler (BPC) ve partikül boyutunu içeren farklı çamur özellikleri belirlenmiş ve böylece farklı membran kirlenme davranışı oluştuğu

saptanmıştır. SAnMBRs' defiltrasyon karakteristikleri, çamur özellikleri (partikül boyutu, EPS, SMP ve BPC gibi) ve çamur kek özellikleri (partikül boyutu, EPS, kirlenici kompozisyonu ve sıkışma durumu) belirlenmiş ve SAnMBR sisteminde membran kirlenmesini etkileyen baskın faktörler tanımlanmıştır (Meng, 2009; Lew, 2009).

Rapor edilen AnMBR çalışmaları arasında harici membran modülleri ve konsantre atıksular üzerinde odaklanmıştır. Tipik olarak çok yüksek KOİ giderimi sağlayan son derece yüksek biomas konsantrasyonları elde edilmiştir. Harici AnMBRs kıyasla, batık anaerobik membran biyoreaktörler son yıllarda cazip hale gelmektedir. Temel işletme sorunu olan membran kirlenmesi hidrodinamik ve çamur özelliği, işletme basıncı ve sıcaklık, membran gözenek boyutu ve malzemesi ve membran akısı ile alakalıdır (Liao, 2006). Aerobik batık MBRs belli temel prensiplerde SAnMBR ile benzer olmasına rağmen, işletme koşullarının optimizasyonu, membran kirlenme mekanizması ve kirlenme kontrol stratejileri ile ilgili SAnMBR'in daha detaylı araştırmalar gerekmektedir (Meng, 2009).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Anaerobik Arıtma ve Esasları

Anaerobik (havasız) arıtma, kompleks organik atıkların, oksijensiz ortamda çeşitli tür ve özellikte mikroorganizma gruplarının faaliyetleri sonucunda biyolojik süreçlerle parçalanmak suretiyle, CH₄, CO₂, NH₃ ve H₂S gibi son ürünlere dönüştürülmesi şeklinde ifade edilir. Anaerobik arıtma; hidroliz, asit oluşumu ve metan oluşumu olmak üzere üç kademe meydana gelir. Hidroliz kademesinde, çözünemeyen, yüksek moleküllü organik maddeler (polisakkaridler, lipidler, proteinler) çözünebilir, enerji ve karbon hücresi kaynağı organik maddelere (monosakkaritler, şekerler, amino asitler ve serbest yağ asitleri) dönüştürülür. Asit üretimi kademesinde; hidroliz kademesi ürünleri düşük moleküllü ara ürünlere, asetik aside, CO₂ ve H₂'e dönüşür. Metan üretimi kademesinde ise asit oluşumu safhasında oluşan ürünler CH₄ ve CO₂'e dönüştürülür. Artan enerji maliyetleri, mevcut arıtma sistemlerinin yatırım ve işletme giderleri bakımından yeniden incelenmesini gündeme getirmiş ve bunun sonucu olarak, gerek çok değişik karakterli atıksulara uygulanabilirliği, gerekse enerji tasarrufu sağlaması gibi avantajları nedeniyle anaerobik arıtma teknolojilerine son yıllarda giderek artan bir ilgi gösterilmektedir. Anaerobik arıtma teknolojisinde, özellikle 1970'ten başlayarak günümüze kadar gelen süreçte, anaerobik mikrobiyoloji, biyokimya, proses mühendisliği ve genetikteki araştırmalar sonucu önemli gelişmeler yaşanmıştır (Ketchum ve Earley, 1998). Yakın geçmişte sadece biyolojik arıtma çamurlarının çürütülmesinde kullanılan anaerobik arıtma sistemleri günümüzde özellikle yüksek organik kirletici içeren gıda, içki, ilaç ve organik kimya endüstrileri atık sularının arıtımında geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

2.2. Anaerobik Arıtma Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Anaerobik arıtma sistemlerinin, aerobik (havalı) arıtma sistemlerine göre daha fazla avantaja sahip olması nedeniyle son yıllarda popülerliğini giderek arttırmıştır. Anaerobik arıtma sistemlerinin havalı sistemlere göre avantaj ve kısıtları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Aerobik ve anaerobik arıtma sistemlerinin avantaj ve dezavantajlar (Kettunen,1997).

AEROBİK	ANAEROBİK
Avantajları	Avantajları
<ul style="list-style-type: none">▪ Geniş bir sıcaklık aralığında uygulanabilir	<ul style="list-style-type: none">▪ Yüksek atıksu debisi ve 5000 mg/l KOİ konsantrasyonundan daha büyük kirlilik yükleri için daha fizibil▪ Havalandırma olmaması nedeniyle enerji ihtiyacı

<ul style="list-style-type: none"> ▪ İyi amonyum giderme verimine sahip ▪ Metal giderimi yapılabilirliği 	<p>düşüktür.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Çamur üretiminin az olması ▪ Proses esnasında oluşan metan sebebiyle 1000 kg KOİ giderimine karşılık 2700 kW-saat eşdeğeri net enerji üretimi ▪ Aerobik arıtmanın 5-10 katı organik yüklere müsait olması ▪ Düşük biyokütle üretimi sebebiyle azot ve fosfor gibi inorganik nütrient ihtiyacı, aerobik arıtma sistemlerinin nütrient ihtiyacının %5-20'sidir. ▪ Yüksek aktif biyokütle konsantrasyonu sayesinde reaktör hacmi azaltılabilir, şok yüklere ve toksik maddelere karşı sistemin direnci artırılabilir. ▪ Organik yükteki salınımlar tolere edilebilir ▪ Biyokütleyi sürekli besleme zorunluluğu yok ▪ Kötü koku problemi daha az
Dezavantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1000 kg KOİ giderimine karşılık 500-2000 kW-sa havalandırma enerjisi gereklidir ▪ Çamur üretimi fazla ▪ Fosfor ilave etme gereği 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prosesin ısıtılması için enerji gerekli ▪ Anaerobik proseslerde birim mikroorganizma başına substrat giderimi, benzer atıklarda aerobik proseslerdekinin 1/4-1/10'u kadar (Ketchum ve Earley, 1998) ▪ Aerobik olarak ayrıştırılabilen doymuş bazı hidrokarbonlar ve aromatikler anaerobik olarak arıtılamaz ▪ Biyokütle üretimi ve substrat giderme hızının düşük olması nedeniyle devreye alma süresi ve işletme problemlerinden sonra normal yüklemeye ulaşma süresi uzayabilir.

2.3. Anaerobik Arıtma Sistemleri

Anaerobik proste görev yapan bakterilerin reaktörde bulunma şekline göre reaktörler iki ana sınıfa ayrılır.

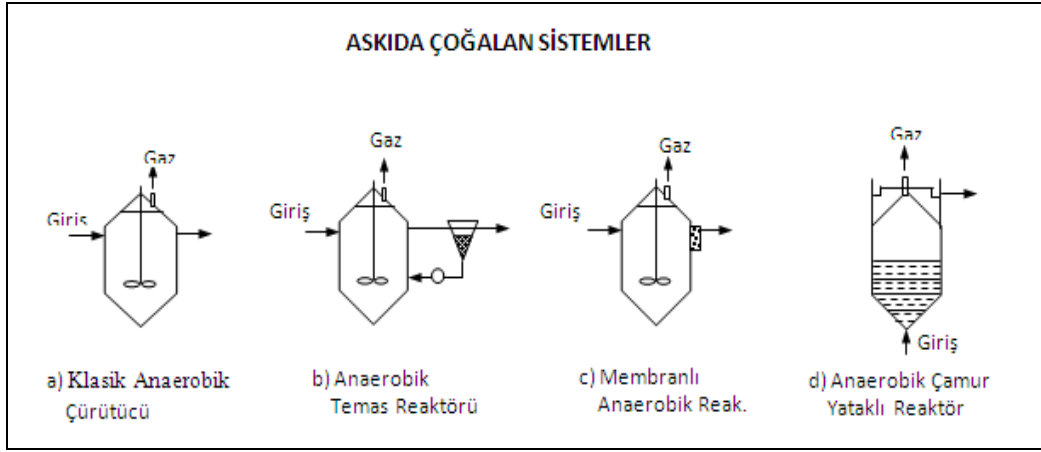
- a) Askıda Büyüyen Sistemler
- b) Biyofilm Sistemler

En çok bilinen başlıca sistemler şunlardır;

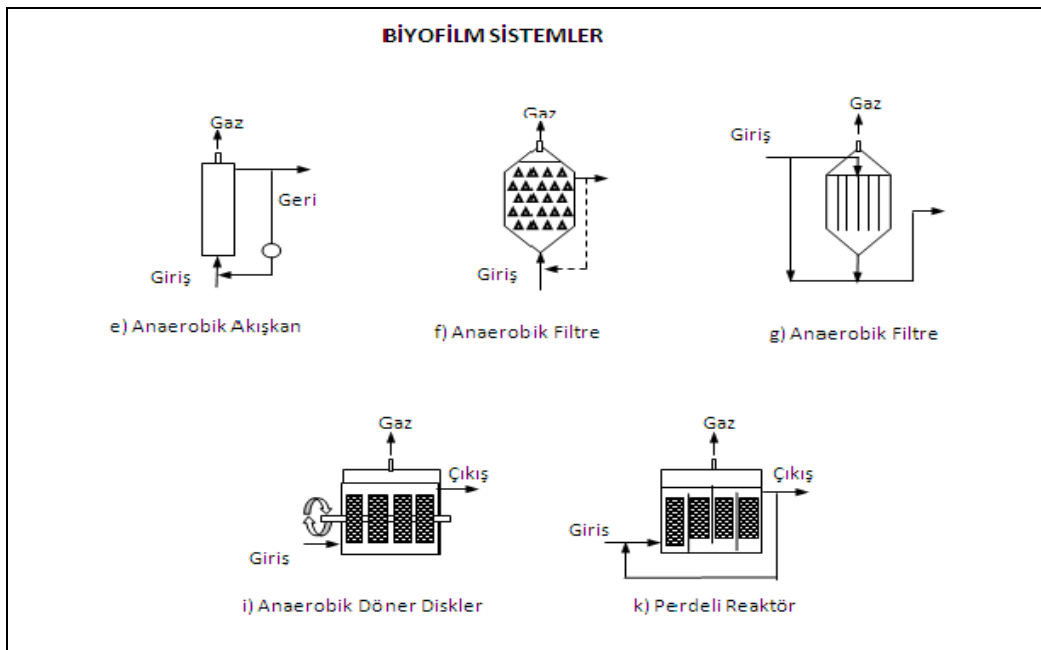
1. Klasik Anaerobik Çamur Çürütücü
2. Anaerobik Temas Reaktörü

3. Anaerobik Filtre
4. Anaerobik Çamur Yataklı Reaktör
5. Anaerobik Akışkan Yataklı Reaktör (AAYR)
6. Anaerobik Döner Diskler
7. Anaerobik Çamur Yataklı Filtre
8. Membranlı Anaerobik Reaktör
9. Anaerobik Ardışık Kesikli Reaktör
10. İki Kademeli Anaerobik Arıtma Sistemleri

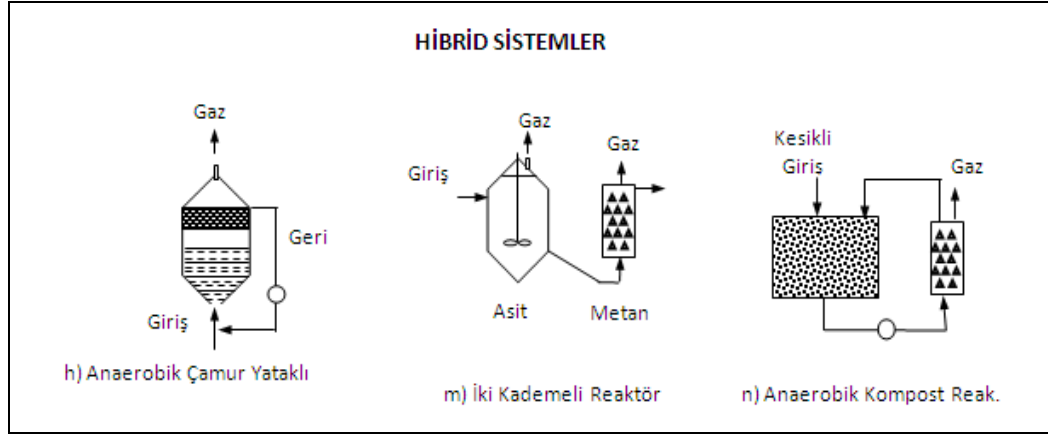
Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3’de anaerobik sistemler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Askıda çoğalan anaerobik sistemler



Şekil 2.2. Biyofilm anaerobik sistemler



Şekil 2.3. Hibrid anaerobik sistemler

2.4. Membran Bioreaktörler

2.4.1. Membran teknolojilerine giriş

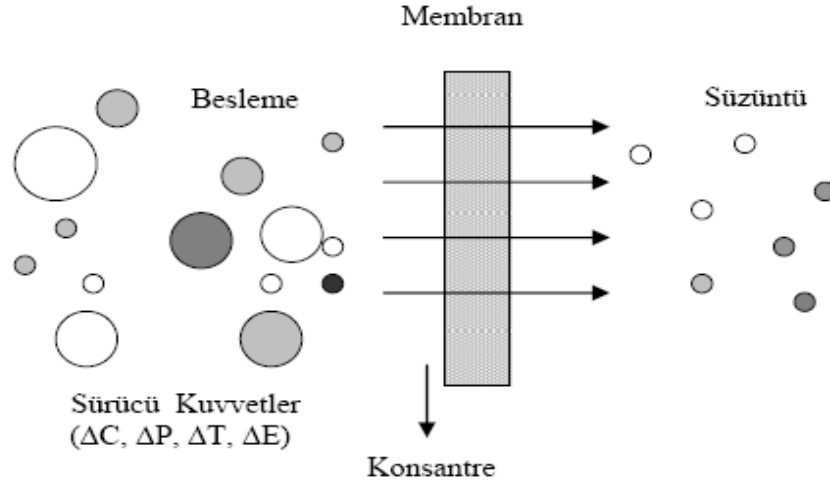
1960' lı yıllarda uygulanmaya başlanan membran prosesleri, ilk olarak deniz suyunun demineralizasyonu için kullanılmıştır. Son 30 yılda membran teknolojilerinin gelişmesiyle membran prosesleri deniz suyu arıtımı, içme suyu eldesi ve atıksu arıtımı gibi alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Membran teknolojisindeki gelişmeyi üç ayrı kısma ayırmak mümkündür. 1950' li yıllar membran sistemlerinin ilk olarak ortaya çıktığı, 1960' lı yıllar araştırmaların yoğunlaştığı dönemdir. 1980 sonrası ise membran proseslerinin endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlandığı dönemdir (Koyuncu, 2001).

Son yıllarda polimer ve dolayısıyla membran teknolojisindeki çok hızlı gelişmeler ve üretim maliyetinin azaltılması sebebiyle gerek içme suyu gerekse de atıksu arıtma alanlarında membran prosesleri (özellikle mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon) konvansiyonel sistemlerle maliyet açısından rekabet edebilir hale gelmiş ve geniş çapta uygulanmaya başlanmıştır. Dolayısıyla, atıksu arıtmada uygulanan MBR'lar gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde son on yılda eksponansiyel bir artışla arıtma tesislerinde devreye alınmıştır. Önümüzdeki yıllarda birçok konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinin teknolojilerini MBR'lara dönüştüreceği ve özellikle de son çökeltim havuzlarının ortadan kalkacağı uzmanlar tarafından tahmin edilmektedir.

Membran belirli türlerin hareketini kısıtlayan, metal, anorganik veya organik polimerlerden yapılan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzemedir ve gaz ayırımı, katı/sıvı, ve sıvı/sıvı ayırımı gibi amaçlar için kullanılır. Membran filtrasyonda, doğada bir yarı geçirgen membrandan basınç farkı nedeniyle molekül taşınımında gerçekleşip duran fiziksel prensipten yararlanır. Burada moleküller veya partiküller; büyüklükleri, ağırlıkları ya da yapıları nedeniyle membranda tutulurlar. Membran; por büyüklüğü, porların yüzeyde dağılımı, membran yüzeyinde m² başına porların sayısı, membran yükü ve kimyasal yapısı ile tanımlanır. Bu faktörler ve filtrasyonda oluşan örtü tabakası (kek), membran filtrasyon sırasındaki madde taşınımını ve verim, kapasite, geri kazanım oranını etkileyerek, aynı zamanda membran filtrasyonunun ekonomikliğini de belirler. Membranlar, karışım halindeki pek çok maddenin ayrılması amacı ile kullanılır. Ayırma işlemi iki ana grupta toplanır. Birincisi, çözünmüş maddelerin ayırımı, ikincisi ise tutulmak istenen partiküler maddelerin ayrılmasıdır (Yalçın, 1998). Membranlar genel olarak;

1. Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partikül filtrasyonu,
2. Sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayırımı,
3. Sadece iyonik türlerin ayırımı,
4. Sulardan veya diğer sıvılardan bütün askıda katı veya çözünmüş maddeleri ayırımı,
5. Konsantre çözelti elde etmek gibi amaçlar için kullanılır (Kural, 2000).

Membranlarda ayırma işleminde, sürücü kuvvetlerin etkisiyle besleme akımı iki ayrı akıma ayrılır. Membrandan geçen akım “süzüntü”, geçemeyen akım ise “konsantre” olarak adlandırılır. Şekil 2.1’ de bu akımların şematik gösterimi verilmiştir. Membranlar sürücü kuvvetlerine göre basınç, konsantrasyon, elektriksel potansiyel ve sıcaklık farklılığı olarak dört grupta toplanmaktadır (Koyuncu, 2001).



Şekil.2.4. Membran akımlarının şematik gösterimi

Membranların performansı, akı, alıkoyma veya seçicilik terimleriyle ifade edilmektedir. Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır. Akı, m³/m².gün veya L/m².saat birimleriyle ifade edilir. İdeal bir membranda, yüksek seçicilik (alıkoyma) ile yüksek akı istenir (Mulder, 1996).

Membrandan geçen akım, membrana uygulanan basınç (ΔP) ile doğru orantılıdır. Akı miktarı Darcy kanununa göre aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Koyuncu, 2001).

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_m} \quad (2.1)$$

J : Akı

ΔP : Membrandaki basınç farkı

μ : Akışkanın vizkositesi

R_m : Membrandaki hidrolik direnci göstermektedir.

Giderme verimi, membran tarafından alıkoyulan kısmın ölçüsüdür. Membranın giderme verimi “R” ile ifade edilmektedir. R birimsiz bir büyüklüktür ve 0-1 arasında değişir. “0” değeri, bütün çözünmüş maddelerin membrandan geçtiğini, “1” değeri ise membranın hiçbir madde geçişine izin vermediğini gösterir.

Membran sisteminde, gözlenen giderme verimi (R_o) ve gerçek giderme verimi (R_g) olmak üzere iki çeşit giderme verimi vardır. Gözlenen giderme verimi, süzüntü akımı konsantrasyonunun besleme akımı konsantrasyonuna oranını ifade eder (Denklem 2.2). Gerçek giderme verimi ise süzüntü akımı konsantrasyonu ile çözeltinin membran yüzeyindeki konsantrasyonundan yola çıkılarak hesaplanan giderim verimini ifade etmektedir (Denklem 2.3).

$$R_o(\%) = \frac{C_b - C_s}{C_b} = 1 - \frac{C_s}{C_b} \quad (2.2)$$

$$R_g(\%) = \frac{C_b - C_s}{C_b} = 1 - \frac{C_s}{C_m} \quad (2.3)$$

C_s : Süzüntü akımı konsantrasyonu

C_b : Besleme suyu konsantrasyonu

C_m : Membran yüzeyindeki konsantrasyon

Membranda geri kazanım (y), süzüntü akımının, besleme akımına oranıdır. Geri kazanım değeri aşağıdaki ifade ile gösterilir:

$$y = \frac{Q_b - Q_k}{Q_b} = \frac{Q_s}{Q_b} \quad (2.4)$$

Q_b : Besleme suyu debisi

Q_k : Konsantre kısmın debisi

Q_s : Süzüntü kısmın debisi

2.4.2. Membranların yapısı

Membran proseslerde kullanılan membranlar ayırma mekanizmalarına, morfolojilerine, geometrilerine ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılırlar. Kullanılan membran tipine göre, membran proseslerin gösterecekleri performanslar önemli ölçüde değişmektedir (Barlas, 2002).

2.4.2.1. Ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırma

Membranlar ayırma mekanizmalarına göre porlu, porsuz ve iyon değiştirici membranlar olarak sınıflandırılırlar. Porludembranlardakonvektif madde taşınımı, porsuzmembranlarda çözünme-difüzyon modeli, iyon değiştirici membranlarda ise elektrokimyasal etkiler söz konusudur.

2.4.2.2. Morfolojilerine göre sınıflandırma

Membranlar morfolojilerine göre simetrik, asimetrik ve ince filmlilikompozitmembranlar olarak üçe ayrılmaktadır. Simetrik membranların (boşluklu ve boşluksuz) kalınlıkları 10 – 200 µm arasında değişmektedir. Asimetrik membranlar, üniform olmayan bir yapıya sahiptirler ve kalınlığı 10 – 200 µm arasındadır. İnce filmlilikompozitmembranlar ise asimetrik membranların en üst kısmına, ince bir tabakanın yerleştirilmesiyle oluşturulur. İnce tabaka, toplam membran kalınlığının % 1' i kadardır.

2.4.2.3. Geometrilerine göre sınıflandırma

Membranlar, geometrilerine göre tabaka ve silindirik tarzlı olmak üzere sınıflandırılırlar. Tabaka membranlar, spiral sarım ve plaka-çerçeve, silindirik membranlar ise tüp (tubular) ve boşluklu elyaf (hollow fiber) şeklinde bulunmaktadır. Tüp şeklindeki membranların iç çapı 3 mm'den büyük ve boşluklu elyaf membranların ise 3 mm'den küçüktür. Şekil 2.5. ' de bazı membran görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 2.5. Bir Membran Kaseti ve Bu Kasetin Tank İçine Yerleştirilmesi

2.4.2.4. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma

Membranlar kimyasal yapılarına göre organik veya anorganik olarak sınıflandırılabilirler. Organik membranların ana maddesi polimerlerdir. Yaklaşık 130 adet polimer membran üretimi için kullanılabilir. Ancak membran ömrü ve proses ihtiyaçları düşünüldüğünde belli sayıda polimer membran üretimi için kullanılmaktadır.

2.4.3. Membran karakteristikleri

Membran performansına, çalışma şartlarının, kullanılan membran tipinin ve sistem tasarımının çok büyük etkisi vardır. Kullanılacak membran tipi belirlenirken göz önünde bulundurulması gereken bir çok değişken vardır.

2.4.3.1. Sıcaklığa dayanıklılık

Sıcaklık, plastik malzemenin performansını etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Ters ozmoz sistemi, ultrafiltrasyona göre daha hassastır ve ters ozmoz prosesinde sistem verimliliği açısından 25 °C sıcaklıkta çalışılır. En çok kullanılan membran türü olan ve maliyeti diğerlerine göre daha düşük olan selüloz asetat membranlarının 35 – 40 °C' ye kadar dayanıklılığı vardır. Diğer bir membran türü olan seramik membranlara uygulanan sıcaklık, 800 °C' ye kadar çıkabilmektedir (Barlas, 2002).

2.4.3.2. Kimyasal uygunluk

Membran polimerleri kimyasal olarak çözeltiliye uygun ve dayanıklı olmalıdır. Çözelti içindeki kimyasal maddelere göre, membranda performans düşüklüğü meydana gelir. Selüloz asetat özellikle kloro karşı dayanıksızdır. Bu sebepten bu tip membranların besleme suyunda klor olmamalıdır.

2.4.3.3. Basınca dayanıklılık

Her bir membran türü için ayrı basınçlar uygulanmaktadır. Düşük basınçtan yüksek basınca doğru membran prosesler; mikrofiltrasyon (< 2 bar), ultrafiltrasyon (1 - 8 bar), nanofiltrasyon (10 - 30 bar), ters ozmoz (10 - 100 bar) olarak sınıflandırılır. Normalden yüksek basınç uygulamaları, membranların yapılarını bozmaktadır.

2.4.3.4. pH' ya dayanıklılık

Asitlik ve bazikliğin bir belirtisi olan pH, membranın ömrü ve performansı açısından önemlidir. Genelde kullanılan pH aralığı 2 - 8' dir. Selüloz asetat membranları pH' ya çok hassastırlar ve kullanılan pH aralığı 4 - 6' dir. Yüksek pH' larda membran kullanımı sınırlıdır (Barlas, 2002).

2.4.3.5. Mekanik kararlılık

Kırılgan membran yüzeyinin yüksek basınçlardan minimum şekilde etkilenmesi için, yüksek basınçların kullanıldığı membranların mekanik dayanıklılığının da yüksek olması gerekir.

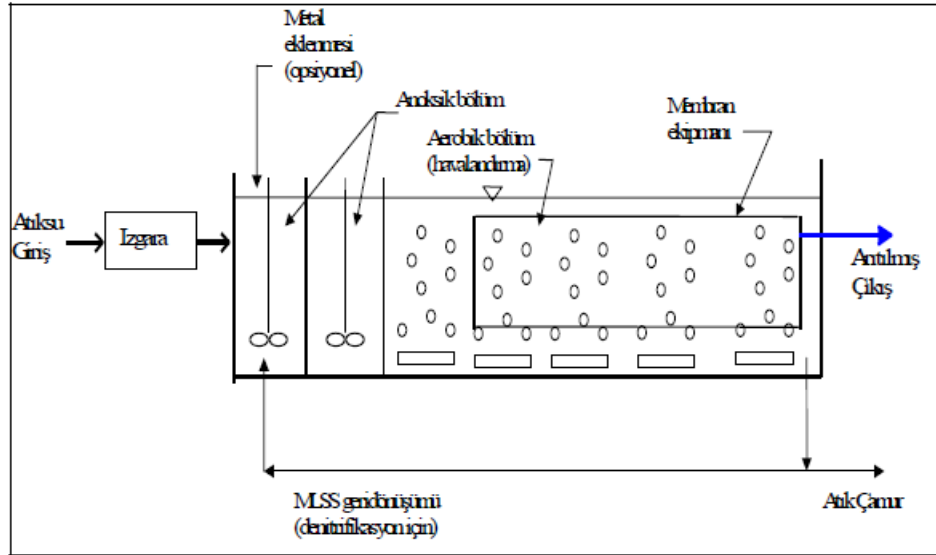
2.4.3.6. Ekonomik özellikler

Genel olarak membranlar yüksek geçirgenlik, iyi seçicilik, kararlı işletme özelliğine sahip olmalı ve düşük maliyet gerektirmelidir. Ekonomik özellikler membran seçiminde önemlidir.

2.4.4. Membran prosesler

Membran prosesler önceleri deniz ve kuyu suyu arıtımı için kullanılırken, endüstrinin gelişmesine paralel olarak farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Kullanım alanına ve amacına uygun olarak yüksek akıllı, yüksek sıcaklık ve kimyasallara dayanıklı ve geniş pH aralıklarında çalışabilen membranlar geliştirilmiştir. İlk kullanıma başlandığı zamanlar pahalı olan membran teknolojisi, yeni gelişmeler ile diğer fiziksel ayırma yöntemleri ile (adsorbsiyon, solvent ayırımı, distilasyon, kristalizasyon, gaz ayırımı, vb.) karşılaştırılabilir hale gelmiştir. Membran prosesler, deniz ve kuyu suyu arıtımının yanısıra, atıksu arıtımı, saf su ve yumuşak su üretimi, gıda ve ilaç sanayinde üretimde ayırma işlemleri, petrokimya endüstrilerinde gaz ayırımında kullanılmaktadır (Kural, 2000).

Membran proseslerinin en büyük avantajları; enerji tüketiminin düşük olması, ek kimyasal kullanımını gerektirmemesi, kullanılan ekipmanların basitliği ve işletim kolaylığıdır. Şekil 2.6’de tipik bir membran akış şeması görülmektedir.



Membran proseslerinin temel kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Bılstad, 1997).

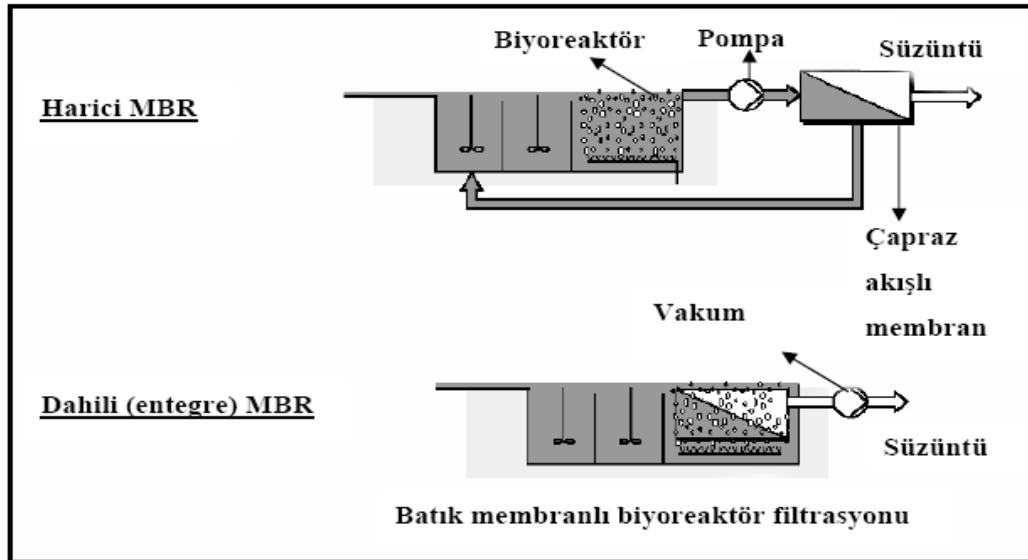
1. Katı partiküllerin ayrılması

- 2.Çözeltinin konsantre edilmesi
- 3.Atıksudan değerli maddelerin geri kazanılması
- 4.Çok kirli suların arıtılması

Membranlarla arıtma işlemi sürücü kuvvetlerin etkisiyle gerçekleşir. Sürücü kuvvetler akımın membranın bir tarafından diğer tarafına geçişini sağlar. Bu sürücü kuvvetler iki faz arasındaki basınç, sıcaklık, konsantrasyon ve elektriksel potansiyel farklarıdır (Mulder, 1996).

2.4.5. MBR konfigürasyonları

Uygulanmakta olan MBR sistemleri harici (sıvı/biyokütle ayrımının çapraz akışlı membran filtrasyonu ile ayrı bir ünite gerçekleştirildiği) ve dahili-entegre (sıvı/biyokütle ayrımının biyoreaktör içinde batık membranlar ile gerçekleştirildiği) olmak üzere 2 ana konfigürasyondadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. MBR konfigürasyonları

Dahili MBR'larda farklı amaçlar için genellikle iki tür havalandırma uygulanır. Reaktör tabanındaki difüzörlerden verilen kaba hava kabarcıklı havalandırma ile biyokütlenin oksijen ihtiyacı hedeflenir. Öte yandan membran yüzeyine uygulanan ince hava kabarcıklı havalandırma ile membran yüzeyine maddelerin birikip akışı azaltması engellenmeye çalışılır. Yükselen hava kabarcıkları membran yüzeyinde

türbülanslı karşı akım yaratıp (yaklaşık 1 m/s), membran yüzeyinde materyallerin birikmesini azaltır, böylece sistem daha etkin çalışır. Reaktördeki türbülanslı karışım ve reaktör hidroliğinden dolayı iki havalandırma türü de pratikte hem temizleme hem de oksijen ihtiyacı taleplerini karşılayabilir. Diğer bir deyimle uygulamada iki havalandırmanın da sonuçlarını ayırt etmesi zordur. Konfigürasyon seçeneğine karar vermek spesifik uygulamaya bağlı olsa da genellikle dahili MBRlar daha sık uygulanmaktadır. İki konfigürasyonun karşılaştırılması Çizelge 2.2’de sunulmuştur.

Çizelge 2.2. İki Membran Modülünün Karşılaştırılması

Dahili / Entegre MBR	Harici MBR
Yüksek havalandırma masrafı	Düşük havalandırma masrafı
Düşük pompaj masrafı	Yüksek pompaj masrafı
Düşük akı (Büyük alan gereksinimi)	Yüksek akı (Küçük alan gereksinimi)
Daha nadir temizleme ihtiyacı	Daha sık temizleme ihtiyacı
Düşük işletme maliyeti	Yüksek işletme maliyeti
Yüksek ilk yatırım maliyeti	Düşük ilk yatırım maliyeti

Dahili batık MBR’lar daha düşük işletme akılarında çalıştırıldıkları için daha fazla geçirimsizliğe (permeabiliteye) dolayısıyla da daha fazla hidrolik verimsizliğe sahiptirler. Düşük akı ile çalışmak batık MBR’larda önemlidir çünkü bu uygulama membran kirlenmesini veya tıkanmasını minimize eder. İleriki bölümlerde tartışılacağı gibi membran tıkanması MBR’ların en önemli dezavantajlarından birisi olup, maliyeti artırıcı ve işletmeyi zorlaştırıcı temizleme mekanizmalarını gerektirir. Dahili batık MBR’lar harici MBR’lara göre daha düşük pompaj masrafları gerektirir de daha yoğun havalandırma ihtiyacı arz ederler. Bunun nedeni havalandırmanın membran tıkanmasını engelleyici ana yöntem olmasıdır. Ayrıca, batık MBR’larda düşük akı ile çalışılması sabit süzüntü suyu debisi üretimi baz alındığında daha fazla membran yüzey alanı (dolayısıyla daha fazla ilk yatırım maliyeti) gerektirir. Ancak bu dezavantajlara rağmen, orta ve büyük ölçekli kentsel atıksu arıtımları için genellikle seçilen ve uygulanan konfigürasyon dahili batık MBR’lardır (Judd, 2002).

2.4.6. MBR’ların konvansiyonel sistemlere göre avantajları

MBR’larda biyolojik askıda katı madde (mixed liquor suspended solids, MLSS) konsantrasyonları 12000–15000 mg/L değerlerine kadar ulaştırılabildiği için(konvansiyonel aktif çamurda MLSS yaklaşık 2000–4000 mg/L) arıtma için gerekli hidrolik bekleme süresi (HRT) konvansiyonel sistemlere göre azdır. Havalandırma havuzlarının hacim dizaynında HRT temel parametre olduğu için düşük HRT gereksinimi gerekli havuz hacmini düşürüp, ilk yatırım maliyetini azaltıp, işletme kolaylığı da sağlar (Judd, 2001). Buna ek olarak arazi gereksinimi de azalır.

Yine konvansiyonel aktif çamur sistemlerine göre MBR’larda son çökeltme tankına ihtiyaç olmadığı için bu da ilk yatırım ve işletme maliyetini azaltıcı bir etmendir.MBR’larda yüksek MLSS konsantrasyonlarından dolayı fazla çamur yaşı (solids retention time, SRT) ile işletim yapılabilir. Yirmi günden fazla SRT ile çalışıldığında çeşitli avantajlar ortaya çıkar. Bunlardan birincisi artırılmış iç solunumdan dolayı oluşan yeni biyokütle (yield) azalır ve bertaraf edilmesi gereken atık biyokütle miktarının azalması maliyeti düşürür. İkinci olarak, yüksek SRT değerlerinde nitrifikasyon daha verimli gerçekleşir ve nitrifikasyonun çeşitli ortam şartlarından olumsuz etkilenme şansı azalır. Üçüncü avantaj sentetik toksik organik maddelerin biyolojik ayrışmasını sağlayan özel mikroorganizmaların yüksek SRT değerlerinde daha etkin çalışmalarıdır. Yine yüksek MLSS konsantrasyonlarında çalışıldığında sisteme fazla organik yükleme de yapılabilir. Bu yüksek biyokütle konsantrasyonu aynı zamanda şok toksik yüklemelere karşı da daha dayanıklıdır. MBR’ların en önemli avantajlarından birisi biyokütle/su ayrımı biyokütlenin çökelebilmeye özelliğinden bağımsızdır. Bunun nedeni bu ayırım prosesinin çökeltim prensibi ile değil fiziksel filtrasyon ile yapılmasıdır. Dolayısıyla, konvansiyonel sistemlerin son çökeltme havuzu işletiminde çok problem arz eden çökelemeyen biyokütle (filamentli flokların veya Nocardia türü mikroorganizmaların oluşmasından dolayı) durumu MBR’larda yoktur. Aynı zamanda, MBR’larda mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon ile çok küçük gözeneklerle ayırma yapıldığı için biyokütlenin tamamı tutulur (Ortiz, 2007). Buna bağlı olarak deşarj standartlarından birisi olan toplam askıda katı madde (AKM) MBR’larda genelde çok düşük olur (yaklaşık 1-3 mg/L). İyi işletilen konvansiyonel sistemlerde ise burakam 10–30 mg/L

arasıdır. Filtrasyon sonucu bulanıklık da MBR’larda düşük değerlere düşer (<0,5 NTU) ve çıkış suyu çok berrak bir görünüm alır. Bu kaliteli su üretiminden dolayı özellikle A.B.D.’de bu proses ile arıtılan atıksular geri kazanılmakta ve sulamada (tarımsal, rekreasyon, inşaat alanları, vs), endüstriyel ve diğer alanlarda (proses suları, yangın söndürme, tuvalet pisuarları, vs) kullanılmaktadır. Böylece hem içme suyu kaynakları az kullanılıp korunmuş, hem de arıtılmış atıksular değerlendirilmiş olur.

MBR’larda işletim sırasında SRT konvansiyonel sistemlere göre çok daha rahat kontrol edilir. Çünkü son çökeltim tanklarında biyokütlenin bazı durumlarda iyi çökmemesinden dolayı savaklardan AKM kaçma durumu MBR’da yoktur. MBR’da biyokütlenin sistemden tek çıkma noktası nihai bertaraf için atılan atık çamurdur.

MBR’larda fiziksel biyokütle ayrımı yanında aynı zamanda da çok kaliteli bir fiziksel dezenfeksiyon sağlanmış olur. A.B.D.’de gerek pilot gerekse de gerçek tesislerde MBR’ların yaklaşık tüm protozoaları giderdiği, 5–6 log (logaritmik, yada %99,999-%99,9999) bakteri, ve 1–2 log virüs giderimi sağladığı gözlenmiştir. Klorla dezenfeksiyona dayanıklı olan patojenik protozoalardan Cryptosporidium ve Giardia da MBR’da rahatlıkla tutulur. Bu rakamlar yaklaşık membrandaki 0,1 µm gözenek büyüklüğü dikkate alındığında beklenen rakamlardır. Bu bağlamda düşük bulanıklık yanında çok düşük patojen içerikli arıtılmış su rahatlıkla zirai sulama amaçlı kullanılabilir. Konvansiyonel sistemlere göre MBR’la arıtılmış atıksu çevre sağlığı ve mikrobiyal içerik yönünden çok daha güvenlidir. A.B.D.’deki standartlara göre MBR’la arıtılmış atıksular son bir dezenfeksiyon yapmak koşuluyla (geri kalan virüsleri bertaraf etmek ve sonradan oluşabilecek mikrobiyal büyümeyi engellemek için) direk tarımsal sulamada kullanılabilir. Bu standartlar değişik tarım ürünleri ve kullanım alanları için farklı olarak hazırlanmıştır (Anonim II, 1992, Anonim III, 2000).

2.4.7. MBR’ların genel dezavantajları

MBR’da arıtma prosesi tek bir havuzda gerçekleştiği için sistem mekanik ve kontrol açısından konvansiyonel sistemlere göre daha komplekstir. Ancak %100

otomasyon sayesinde işletim kolaylaşır. İşletim sırasında zamanla membran gözenekleri tıkanır ve arıtılmış su çekimi (akı) azalır, bunu engellemek için belirli aralıklarda basınçlı hava/su (backpulse) ve kimyasallarla (sitrik asit, sodyum hipoklorit, gibi) gözenekler temizlenir (Judd, 2002). Tüm bu temizlik işlemi otomatik yapılır. Ancak bu kimyasallar için az hacimlerde de olsa biriktirme amacıyla depolama tankları gerekir. Membranların tıkanması ve temizleme metotları ileride ayrı bir kısımda tartışılmıştır.

2.4.8. MBR’larda çıkış suyu kalitesi

Çizelge 2.3’de evsel atıksular için tipik MBR çıkış suyu kaliteleri verilmiştir. Görüleceği üzere çıkış suyu kalitesi konvansiyonel biyolojik arıtım sistemlerinden çok daha üstündür. Elde edilen bulanıklık değerlerinin 0,5 NTU’dan düşük olduğu düşünüldüğünde üretilen suyun ne kadar berrak olduğu ortadadır. Yine konvansiyonel sistemlerde 20–30 mg/L’den az elde edilemeyen BOİ ve AKM, MBR çıkış sularında 2,0 mg/L’den düşüktür. Bu da üretilen suyun organik stabilite ve partiküller açısından ne kadar kaliteli olduğunu gösterir. Önceden bahsedildiği gibi MBR’larda fiziksel biyokütle ayrımı yanında aynı zamanda da çok kaliteli bir fiziksel dezenfeksiyon sağlanmış olur. A.B.D.’de gerek pilot gerekse de gerçek tesislerde MBR’ların yaklaşık tüm protozoaları giderdiği, 5–6 log bakteri ve 1–2 log virüs giderimi sağladığı gözlenmiştir. Klorla dezenfeksiyona dayanıklı olan patojenik protozoalardan *Cryptosporidium* ve *Giardiada* MBR’da rahatlıkla tutulur. Bu rakamlar yaklaşık membrandaki 0,1 µm gözenek büyüklüğü dikkate alındığında beklenen rakamlardır.

Çizelge 2.3. Evsel atıksuları arıtan MBR’larda tipik çıkış suyu kaliteleri (Adham ve Gagliardo, 1998; Adham vd., 2000)

Parametre	Tipik Değerler
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ5)	< 2,0 mg/L
Toplam askıda katı madde (AKM)	< 2,0 mg/L
NH ₃ -N	< 1,0 mg/L (nitrifiye eden tesislerde)
Toplam fosfor (TP)	< 0,1 mg/L (biyolojik olarak ya da kimyasal olarak alum katkısıyla)
Toplam azot (TN)	< 10 mg/L (orta sıcaklıktaki iklimlerde)
Toplam azot (TN)	< 3,0 mg/L (sıcak iklimlerde)
Silt yoğunluk indeksi (SDI)	< 3,0
Bulanıklık	< 0,5 NTU

Mikrobiyolojik:	
Bakteriler	5–6 log giderim
Virüsler	1–2 log giderim
Protozoalar (Cryptosporidium ve Giardia)	Tam giderim

2.4.9. Membran kirlenmesi / tıkanması

MBR’larda membranların işletim sırasında tıkanması MBR’ların hem kentsel hem de endüstriyel atıksu arıtımında daha yaygın uygulanmalarındaki en önemli engellerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Membranlardaki tıkanma membran permeabilitesini sınırlandırır. Diğer bir deyimle, birim transmembran basıncına karşılık membrandan geçen akının, dolayısıyla da, birim membran alanı başına artırılmış temiz su üretiminin azalmasına neden olur (Stephenson vd., 2000; Chang vd., 2001; Judd, 2001; Water Environment Federation, 2001; Cho ve Fane, 2002; Hong vd., 2002; Le Clech vd., 2006; Yang vd., 2006; Yun vd., 2006). Membran tıkanmaları mekanik anlamda kabaca ikiye ayrılır: geri dönüşümlü (yüzeyde oluşan jel ve kek tabakasının havalandırma veya fiziksel geri yıkama ile giderilmesi) ve geri dönüşümsüz (çözünmüş veya koloidal maddelerin adsorbsiyon sonucu gözenek içinde birikimi ve gözeneği tıkanmasının kimyasal temizleme ile giderilmesi). Geri dönüşümsüz tıkanmalarda, azalan süzüntü suyu akısı tekrar orjinal miktarlara yükseltilemez (Zenon, 2002).

MBR’lardaki membran tıkanmaları fiziksel, inorganik, organik veya biyolojik kökenli olabilir. Fiziksel tıkanma membran porlarının koloidal taneciklerle tıkanması ile ilgilidir. Böylece membran yüzeyinin belli bir kısmı kaplanıp etkisiz hale gelir. İnorganik ve organik tıkanma genellikle sırasıyla tortu oluşturuculara (scalants) ve makro moleküllere bağlıdır. Literatürde tortu oluşturucular yüzünden meydana gelen inorganik tıkanma üzerine birkaç bilimsel çalışma olsa da, genelde, MBR’larda tortu oluşumunun ancak bazı endüstriyel atıksuların arıtımında önemli olabileceği düşünülebilir (Judd, 2001). MBR’lardaki inorganik tıkanmanın daha çok anaerobik sistemlerde (sütrivitten dolayı) söz konusu olduğu tespit edilmiştir (Choo ve Lee, 1996; Cicek vd., 1999b; Yoon vd., 1999; Judd, 2001; Chua vd., 2002; Le Clech vd., 2006; Yang vd., 2006). Konvansiyonel aerobik proseslerde

mikrofiltrasyon membranlarının kalsiyum karbonat tortusu ile tıkanması, hem düz tabakalı hem de gözenekli fiber MBR'larda gözlenmiştir. Bu tür tortuların kontrolü ve giderimi oldukça zordur. Tortu kontrolü için asit dozlama çok tercih edilmeyebilir, çünkü pH ayarlaması sistem mikrobiyolojisine zarar verip, hücre dışı polimerik makro moleküllerin oluşmasını artırabilir.

Presipitasyon yöntemi de problemlidir çünkü atıksu karakteristiğindeki varyasyonlar, kimyasal heterojenlik ve kalsiyum karbonat tortusunun kompleks kimyasal doğası hepsi birden kimyasal dozlama kontrolünü ve optimizasyonunu zorlaştırır. Aslında tortu tıkanmaları için kabul edilmiş stratejiler henüz yoktur. Pratik çözümler membranların sistemden çıkartılıp harici olarak asitle temizlenmesi, ya da giriş suyundaki tortu oluşturma potansiyelini tespit edip önceki arıtma prosesleriyle bu problemin çözülmesidir. MBR'lardaki organik ve biyolojik tıkanma inorganik tıkanmanın aksine daha fazla çalışılıp karakterize edilmiştir. Membran sistemlerinde gerçekleşen tıkanmaların hemen hemen yarısının biyofilmlerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Aslında biyofilmlerin canlı kalabilmeleri için çok az miktarlarda nütriye ihtiyacı duymaları sonucu bunlar ultra saf su sistemlerinde bile varlıklarını sürdürebilirler. Biyofilmler membranların 8–18 g/L'lik biyokütle konsantrasyonları ile temas halinde olduğu yüzeylerinde kolayca oluşabilirler (Chang vd., 2001; Judd, 2001). Diğer taraftan ise membran yüzeylerinde oluşan biyofilmler özellikle batık proseslerde membranları koruyabilirler. Bunun nedeni biyofilmler membranın kendisine göre daha çok seçici olup daha geniş bir spektrumdaki kirleticilerin membrandan geçişini engellerler.

Tıkanma üzerine etkili olan dört ana faktör vardır (Chang vd., 2001, 2002; Judd, 2001; Le-Clech vd., 2006):

- proses konfigürasyonu
- membran materyali ve konfigürasyonu (geometrisi)
- proses işletimi (sistem hidrodinamiği)
- biyokütle konsantrasyonu ve kompozisyonu

Membran tıkanmalarına direk etki eden 3 ana faktör; biyokütle özellikleri, işletim şartları ve membran fizikokimyasal karakterleridir. Şekil 2.6.'da MBR'larda tıkanmayı etkileyen faktörler şematik olarak gösterilmiştir (Chang vd., 2002; Le Clech vd., 2003). Genel olarak proses performansı ana kirleticilerin giderimi ve enerji talebi ile belirlenir. Tıkanma, membranın hidrolik performansını (permeabilite) düşürerek enerji masraflarını direk olarak etkiler. Ana kirleticilerin gideriminde ise fazla etkisi yoktur.

2.4.10. Membranların temizliği

Batık MBR'larda tıkanmayı önleyici birçok metot kullanılmaktadır. Bazı sistemlerde membranlar otomatik düzende, üretilen süzüntü suyu kullanılarak her 10-15 dakikada bir düzenli olarak geri yıkanılır ("backpulse" veya "backwash"). Bu işlemle tıkanan membran gözenekleri temizlenmeye çalışılır. Esas amaç, membran yüzeylerine gevşek olarak tutunmuş materyallerin uzaklaştırılmasıdır. Geri yıkama prosesinde önce yıkanacak modüldeki arıtım durdurulur sonra basınçla bu sefer dıştan içe doğru membranlara içten dışa doğru saniyeler mertebesinde (yaklaşık 10-20 sn) kademeli olarak su basılır. Burada kullanılan su ayrı tanklarda bu amaç için biriktirilen sistem süzüntü suyudur (Zenon, 2002). Dolayısıyla, birinci temizleme metodu olan bu geri yıkamada her 10-15 dakikada bir üretim durdurulup, toplam yaklaşık 1 dakikalık bir geri yıkama ile zaman kaybı olur. Her üretici firmanın kendine özgü geri yıkama metodu olsa da ana hatlarıyla metotlar birbirine benzerdir.

Birinci temizleme metodunun yanı sıra, tıkanma derecesinin artıp sabit akı üretimi için gereken TMP'nin yükseldiği durumlarda, ikinci temizleme metodu olarak (genellikle yaklaşık 15 günde bir) kimyasalların eklendiği süzüntü suyu ile geri yıkama yapılır. Sitrik asit (pH düşürüp tortuları çözmek için) ve sodyum hipoklorit (organik veya mikrobiyolojik filmleri parçalamak için) bu amaç için kullanılmaktadır. Bu temizlik yine otomatik olarak gerçekleştirilip, birinci tur geri yıkamaya göre daha uzun sürede uygulanmaktadır. Geri yıkama, yaklaşık 30 saniyelik, 5-10 periyot uygulanır ve membranlar bu periyotlar arasında 1-2 dakika dinlendirilir. Kullanılan dozlar yaklaşık 250 mg/l klor ve 2,000 mg/l sitrik asit şeklindedir. Bu temizleme periyodu boyunca temizlenen membran modülü 30-45

dakika servis dışı kalır (Zenon, 2002). İkinci temizleme metodu da yetersiz kalıp sabit akı süzüntü suyu üretimi için gerekli TMP artmaya devam ederse üçüncü tür temizleme metodu uygulanır. Bu uygulamada membran tankı servis dışına alınıp tank boşaltılır, membranlar ikinci temizlemede uygulanan kimyasal dozlardan daha yüksek dozlar içeren sitrik asitli ve sodyum hipokloritli basınçlı süzüntü suyu ile yıkanır, daha sonra tank bu yüksek dozlu kimyasalları içeren süzüntü suyu ile doldurulup membranlar batık halde 5 saat civarı bekletilir.

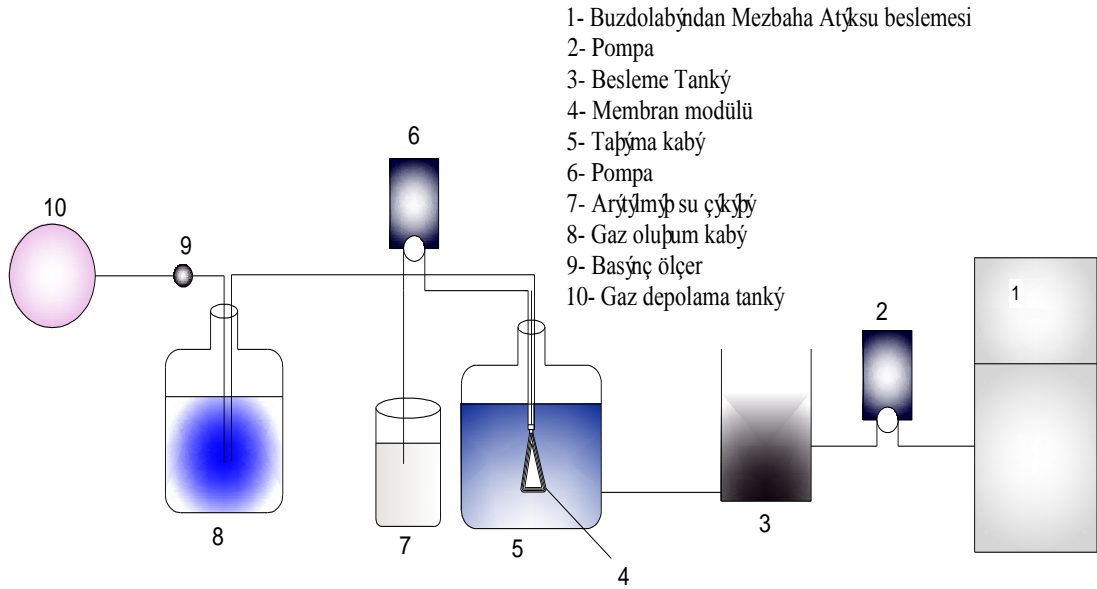
Bekleme sonunda düşük pH'lı bu temizleme suyunu nötralize etmek için sodyum hidroksit tanka basılır, tank boşaltılır ve bu su nihai bertaraf için atılır, veya tesis girişine geri gönderilir. Bu en yoğun temizleme metodudur ve prosese ve atıksu karakterine bağlı olarak yılda birkaç kez tekrarlanabilir. Küçük tesislerde, membranları kendi tankında bu kimyasallara batırmak yerine, membran kasetleri tankın üzerindeki hareketli vinç ile kaldırılıp, ayrı bir küçük bir tanka konulup, burada bu kimyasallara temizleme yapılabilir (Zenon, 2002). Ancak büyük tesislerde bu işlem işletme ve personel açısından pratik olmayıp orijinal tankda temizleme işleminin gerçekleştirilmesi daha uygundur.

Büyük tesislerde bakım ve temizleme yapılsa bile tesis sürekli devrede kalabilmelidir. Bu gereksinimi sağlamak için tanklar konvansiyonel hızlı kum filtre yapılarına benzer biçimde bir dizi hücreye bölünebilir. Her tankı hücrelere bölmekle membranları tanktan çıkarmadan yerlerinde temizlemek ve tüm tankı servis dışına çıkarmadan temizlik işlemini yapmak mümkün olmaktadır. Böyle bir düzenleme yararlı olabilirken, sistem tasarımı karmaşıklaşır. Örneğin, boru ve ekipman tesisatları tanklardaki farklı hücrelerin kontrolüne ve işletimine uygun olmalıdır. Ayrıca, hücrelerin izolasyonu, boşaltımı ve tekrar doldurulması için gerekli mekanik tasarımların yapılması gerekmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan Sistemde mezbaha atıksu beslemesi için buzdolabı, besleme tankı, proses tankı, süzüntü suyunu deşarj eden peristaltik pompa, 2000 ml süzüntü suyu depolama tankı, membran modülü (hallow fiber), sıcaklık göstergesi, manometre, vanalar, PVC ve silikon bağlantı boruları bulunmaktadır (Şekil 3.1). Peristaltik pompanın düz ve ters çalışma esnasındaki hızı kontrol edilebilmektedir (Masterflex C/L marka). Reaktör ve taşıma kabı şeffaf fleksi glas malzemedden imal edilmiştir. Reaktörün üst kısmında gaz toplama balonu ve nümüne alma girişi bulunmaktadır. Reaktör toplam sıvı hacmi 1,5 litredir. Sistemde Manometre bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Anaerobik Batık Membran Bioreaktör Sisteminin Şematik Görünümü

3.1.1. Anaerobik membran biyoreaktör sisteminin kurulması

Proje kapsamında yaptırılan laboratuvar ölçekli anaerobik batık AnMBR sistemi Şekil 3.2.'de görülmektedir. Sistemde silindir şekilli anaerobik tank yer almaktadır.

Reaktöre ayrıca numune alma vanaları ve proses besleme tankı bağlanmıştır. Proses besleme tankı içerisine mini dalgıç pompa yerleştirilmiştir. U borusu sistemine göre taşıma sistemine göre çalışan bir düzenek vasıtasıyla sistemdeki suyun akı şartlarında aynı seviyede kalması sağlanmıştır. Reaktöre musluk suyu doldurulup, sızdırmazlık ve sistem ısısının kontrolü yapılmıştır.



Şekil 3.2. Anaerobik reaktör, gaz metre, ısıtma tertibatı ve pompa görüntüsü

3.1.2. Membran modülünün oluşturulması

Alınan 60 cm boyundaki bir hallow fiber membran modülü kesilerek fiberleri alınmıştır. Kullanılan membran özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir. 19 cm etkili fiber uzunluğuna sahip U şekilli membran modülü hazırlanmıştır (Şekil 3.3).

Çizelge 3.1. Membran Özellikleri

Membran tipi	Hollow fiber – P5
Por çapı	0.1 μm

Membran materyali	Polipropilen
Tipik akı	150 l/m ² h, 1bar 15°C *
ID/OD	210/280 µm
pH direnci	2-11
Fiber parçalanma basıncı	>5.5 bar
Fiber yıkım basıncı	>3.5 bar



Şekil 3.3. U Şeklindeki Membran Modülü Görüntüsü

Modülün yapıştırılmasında iki karışımli özel bir yapıştırıcı kullanıldı (3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive 3501). Modül karakteristikleri Çizelge 3.2.'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Hazırlanan membran modülü özellikleri

Üretici Firma	ZenaMembranes
Materyal	Polipropilen
Tipi	Hidrofobik
Gözenek Boyutu (µm)	0,1
Etkili Fiber Uzunluğu (cm)	19
Fiber çapı (µm)	280
Modüldeki Fiber Adedi	30

Etkili Modül Alanları (m2)	0,005
----------------------------	-------

3.2. Yöntem

3.2.1. Sistemin kurulması

Reaktör bağlantıları yapıldıktan sonra, sisteme saf su doldurularak ve pompa, basınç ve akı ile bağlantıları kontrol edilmiştir. Anaerobik membranbioreaktörlerin Mezbaaha atıksularının arıtılmasında verimleri incelenmiş ve optimizasyon sağlanmıştır. Sistemde kullanılacak aşı çamuru Amasya pakmaya anaerobik çamur çürütücüsünden alınmıştır. sistemde kullanılan mezbaaha atıksuyu Harran ova tesisinden alınmıştır. Alıştırma devresi süresince çamurda AKM ve TAKM ile çıkış suyunda KOİ analizleri yapılmıştır. Gaz oluşumu ve KOİ verimi izlenmiş ve işletmeye alınmıştır. Biyoreaktörden alınan numunelerde KOİ, TOK, tam karışımli sıvıda askıda katı madde (MLSS), tam karışımli sıvıda uçucu askıda katı madde (MLVSS) ve benzeri analizler yapılmıştır.

3.2.2. Atıksu ve aşı

Amasya pakmaya atıksu anaerobik çamur çürütücüsünden alınan çamur karakterize edilerek, sistemde aşı çamuru olarak kullanılmıştır. Aşı çamuru özellikleri Çizelge 3.3.'de görülmektedir.

Çizelge 3.3. Aşı Çamurunun Özellikleri

Parametre	Birim Konsantrasyon
KOİ mg/	16000
AKM mg/l	7280
TKM mg/l	8100
TUKM mg/	16800
TN mg/l	270
TP mg/l	52
Sülfat mg/l	36

Klorür mg/l	101
pH -	7.6
Alkalinite mg CaCO ₃ /l	2450

Reaktör 1/3 oranında aşı/sentetik atıksu karışımıyla doldurulup, mezbaha atıksuyu ile beslenmiştir. Sistemde kullanılan mezbaha atıksuyu Harran ova tesisi atıksuyundan alınmış ve bu atıksu ile sistem beslemesi yapılmıştır. Mezbaha atıksuyunun bileşimi Çizelge3.4.' de verilmiştir.

Çizelge3.4. Mezbaha Atıksuyu Bileşimi

KOI (mg/L)	4000–5000
PH	7–8,5
AKM (mg/L)	1500–2200
TKM (mg/L)	1600–3000
TUKM (mg/L)	1000–1300
TN (mg/L)	150
TP (mg/L)	5
ALKALİNİTE (mgCaCO ₃ /L)	1500–1800
VFA (mgCaCO ₃ /L)	200-500

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Yapılan Çalışmalar

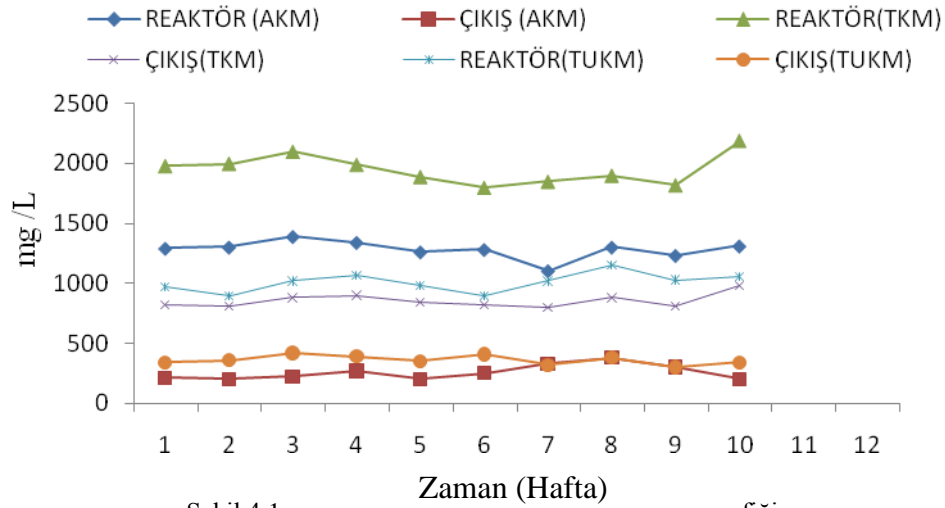
4.1.1. Kimyasal analizler

Çalışma süresince toplam azot, sülfat, toplam fosfor Nova 60 Spectraquant (Merck) test kitleri kullanılarak spektrofotometre ile belirlenmiştir. Çalışmadaki pH değerleri, iletkenlik ve NH₄-N konsantrasyonları multi parametre cihazı (MettlerToledo –Seven Multi) ile ölçülmüştür. Akıların vizkoziteleri, AND Vibro-viskozimetre ile ölçüldü. TOK ve katıda toplam azot tayini için TOC-VCPN ve TNM-1 (Shimadzu) ile oto örnekleyici (ASI-V, Shimadzu) kullanılmış. Alkalinite, KOİ, TKM TUKM ve AKM Standart Metotlar'a göre periyodik olarak izlenmiştir. (AWWA, APHA, 1992).

Bu çalışmada reaktörde pH, alkalinite, KOİ, TKM TUKM ve AKM Standart Metotlara göre periyodik olarak izlenmiştir. (AWWA, APHA, 1992). Bu süreç zarfında reaktör çamurunda pH 7,6 - 8,6 aralığında, KOİ 500-800 g/l, toplam alkalinite ise 700-1500 mgCaCO₃/l aralığında değişim göstermiştir.

4.1.1.1. Toplam AKM, TKM, TUKM zamanla değişimi

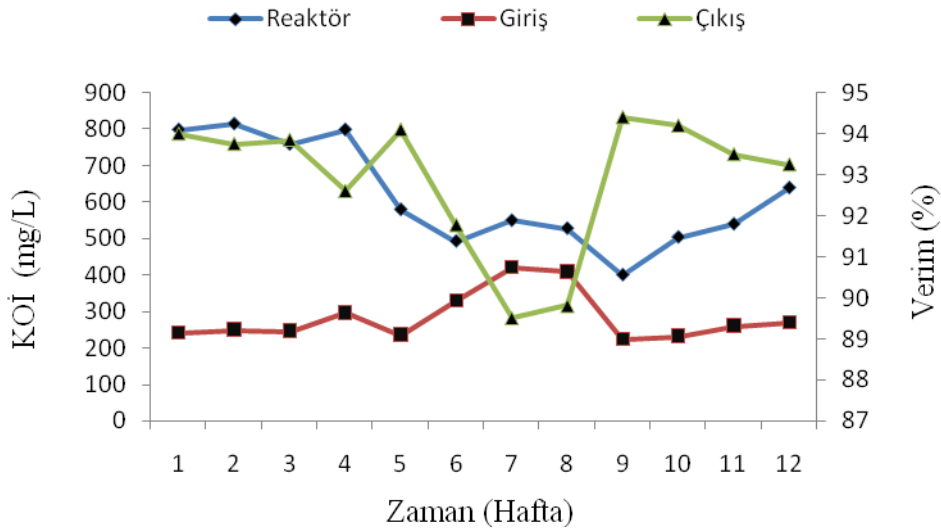
Yapılan deneyler sonucunda AKM değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.1.'de görüldüğü gibidir. Reaktör içerisinde ölçülen AKM değerlerinin 1000-1400 mg/L olarak ölçülmüş ve çıkış suyunda ölçülen AKM değerleri ise yaklaşık 200-400 mg/L civarına inmiştir. Aynı şekilde ölçümler sonucunda TKM değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi 2000-2200 mg/L arasında iken çıkış suyunda TKM değerleri 700-900 mg/L civarına inmiştir. TUKM değerleri ise zamanla değişimi Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi 1000-1200 mg/L olan TUKM değerleri ise çıkış suyunda 350-450 mg/L civarına inmiştir.



Şekil 4.1. AKM, TKM, TUKM zamanla değişim grafiği

4.1.1.2.KOI zamanla değişimi

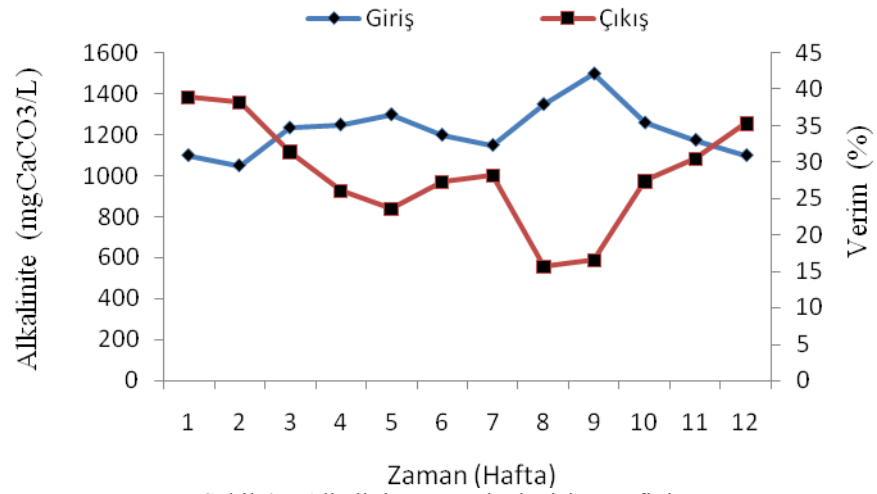
KOI değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.2.'de görüldüğü gibidir. Reaktör sistemi (SAnMBR) başlangıç KOI değeri 4000-4600 mg/L olan mezbaşa sanayi atıksuyu ile beslenmiştir.. Reaktör içerisinde KOI değerleri 500-800 mg/L aralığında değişim göstermiştir. Süzüntü çıkış suyunun KOI değerleri 250-400 mg/L aralığında bulunmuştur. KOI giderim verimi % 90-95 Aralığında gerçekleşmiştir.



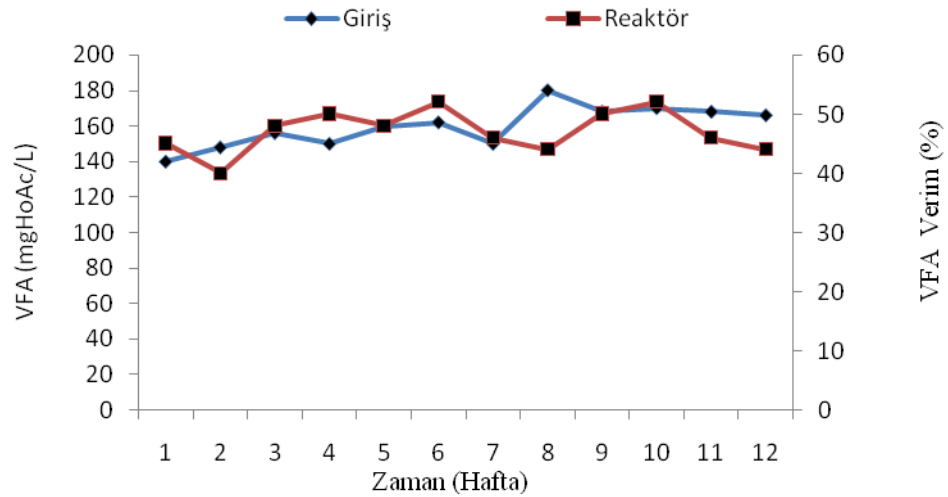
Şekil 4.2. KOI giderim verimi grafiği

4.1.1.3.Alkalinite ve VFA zamanla değişimi

Alkalinite değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.3.'de görüldüğü gibidir. Mezbaaha atık suyunda alkalinite giriş değerleri 1600-1800 (mgCaCO₃ /L) arasında ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde çıkış suyunda alkalinite değerleri yaklaşık % 40-45'lik giderim verimi ile 1000-1200 (mgCaCO₃ /L) arasında ölçülmüştür. Diğer bir parametre olan VFA değerleri ise mezbaaha atık suyunda ölçülen değerlerde yaklaşık olarak girişte 200-300 mg HoAc/L arasında değişen değerler bulunmuştur çıkış suyunda ise yaklaşık %35-45'lik bir giderimle 120-160 mg HoAc/L arasında bulunmuştur (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Alkalinite zamanla değişim grafiği

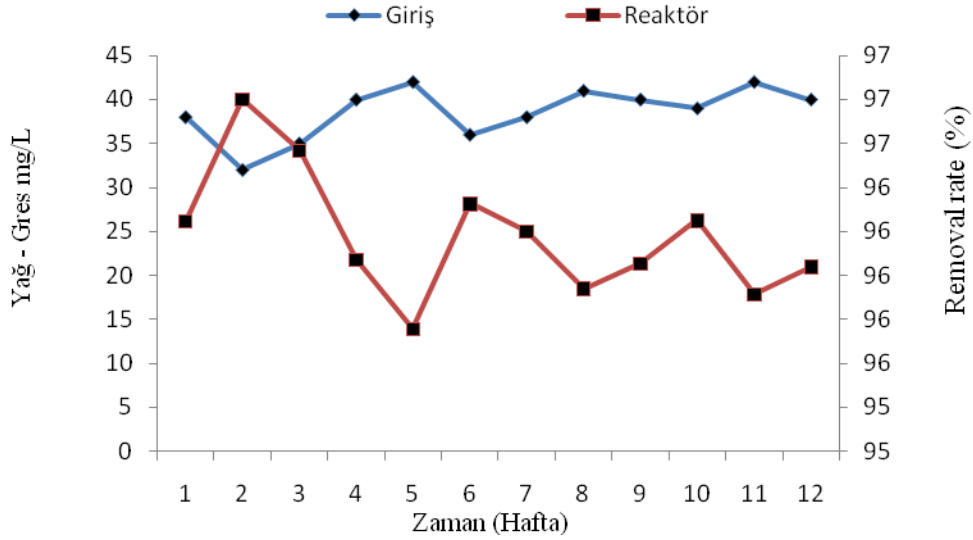


Şekil 4.4. VFA Zamanla Değişim Grafiği

4.1.1.4. Yağ ve gres zamanla değişimi

Yağ-Gres değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.5.'de görüldüğü gibidir. Giriş suyunda 1000 mg/L'lerde seyreden yağ – gres değerleri yaklaşık olarak %97'lik bir

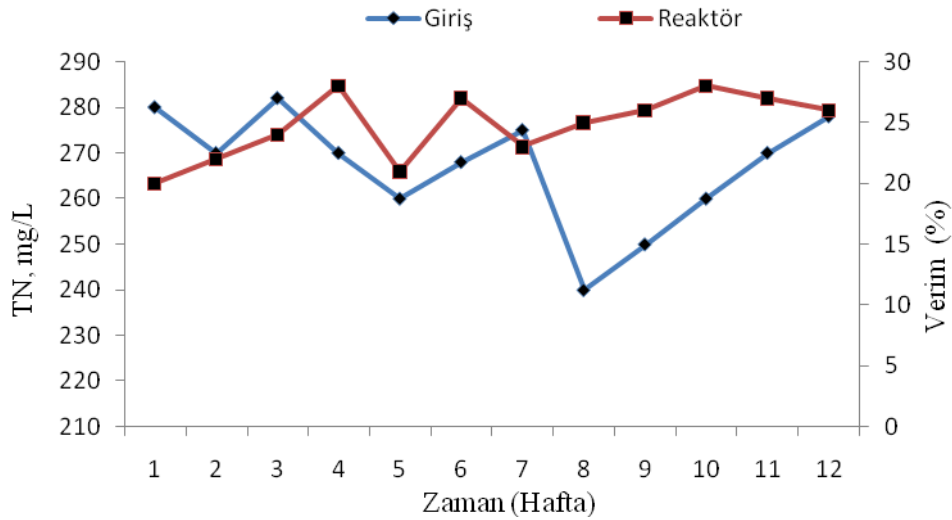
giderimle 40 mg/L'lere düşmüştür. Bu değerlerden anlaşılıyor ki membran sistemlerinde yağ- gres giderim verimi yüksektir.

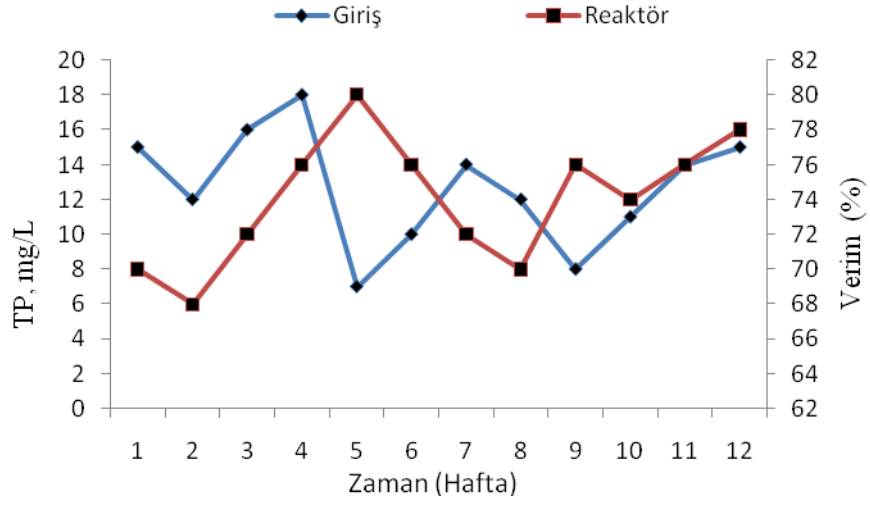


Şekil 4.5. Yağ-Gres zamanla değişim grafiği

4.1.1.5. Toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) zamanla değişimi

Mezbaha atıksuyunda TN değerleri başlangıçta 300-350 mg/l değerlerinde bulunmuştur. Kurulan batık membran sisteminde yaklaşık olarak %30'luk bir giderim verimi ile 240-280 mg/L değerlerinde ölçülmüştür (Şekil 4.6). Aynı mezbaha suyunda TP değerleri ise başlangıçta 40-45 mg/L olarak bulunmuş ve yaklaşık %80'lik bir verimle bu değer 7-15 mg/L'ye düşmüştür (Şekil 4.6).





Şekil 4.6. Toplam Azaot (TN) ve Toplam Fosfor (TP) Zamanla değişimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada batık membran yöntemi ile aneorobik şartlarda arıtılan mezbaha atıksularının sistemde yüksek verimlerde arıtıldığı görülmüştür. Çıkış suyu analiz değerlerinde KOI giderim veriminin % 90' lar da olması, ve diğer analiz sonuçlarında da yüksek verimler görülmesi batık membran yöntemi ile mezbaha atık sularının arıtmanın iyi olduğu ve sistem işleyişinin kolay ve ucuz olduğu görülmüştür.

Son zamanlarda, membran üretiminin artması ve otomatik sistemlerin gelişmesinden dolayı, geçmiş birkaç yılda membran sistemlerinin maliyetlerinde önemli bir düşüş sağlamaktadır. Aynı zamanda, arıtılmış suyun yeniden kullanımına ilginin artması ve araştırmalardaki gelişmelerle ilgili daha çok yoğun sistemlere ihtiyaç olması, MBR süreçlerinin daha yaygın uygulamalarına yol açacağı beklenmektedir. Bu süreçler arasında, batık konfigürasyonlar muhtemelen en yaygın uygulama alanı bulacağı görünmektedir (Mccann, 1998).

Bu alandaki gelişme ve değerlendirmeler, genellikle membran maliyetlerini azaltmaktadır. MBR teknolojisinin klasik süreçlerle daha çok ekonomik olarak rekabet edeceği ve atıksu arıtımında artan bir şekilde daha yaygın uygulama alanları bulacağı beklenmektedir.

SAnMBR teknolojisi partiküler organik maddelerin arıtımını artıran toplam katı madde alıkonma imkanı sağlar. Ayrıca askıda katıların yüksek bir organik kısmı ile atıksuların anaerobik arıtımı, daha yüksek reaksiyon ve dolayısıyla daha yüksek organik yükleme potansiyelleri sağlar. Kek oluşumu ulaşılabilir akıyı sınırlayan başlıca olay olduğu gözlenmiştir. Ancak, yüksek çamur konsantrasyonunda, batık AnMBR'lerde hallow fiber modülleri kullanıldığında, bir enerji kaynağı olarak biyogazın kullanımı, AnMBR'lerde membran filtrasyon uygulamasına bağlı olarak maliyetleri azaltabilir.

AnMBR gelişen bir teknolojiyi simgelemektedir. AnMBRs konusunda yapılacak çalışmalar, kirlenme konusunu çözmek, kek tabakası oluşumunu kontrol etmek, membran performansını artırmak ve membran alan gereksinimlerini azaltmak için optimum işletme koşulları bulmak ve uygun membranları geliştirme olacaktır.

Aerobik MBR üzerinde yapılan çalışmanın birçoğu ile kıyaslandıklarında, membran fouling, işletme parametreleri, biokatıların hidrodinamik davranışları,

temizleme olayı ve sistem performansı üzerinde membran özelliklerinin etkileri hakkında AnMBR'leri daha iyi anlamada hala eksiklikler vardır.

KAYNAKLAR

- ADAMS, C.E., ECKENFELDER, W.W. and HOVIOUS, J.C., 1975. A Kinetic Model for Design of Completely-Mixed Activated Sludge Treating Variable Strength Industrial Wastewaters. *Water Research*, 9(1): 37-42.
- APHA, AWWA, 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- BARLAS, H., 2002. Suların arıtımında ileri teknolojiler ders notları. İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul, 213s.
- BILSTAD, T., 1997. Membrane operations. *WaterScience Technology*, 36 (2-3):17-24.
- GAO, D-W., ZHANG, T., TANG, C-Y.Y. and WU, W-M., 2010. Membrane fouling in an anaerobic membrane bioreactor: Differences in relative abundance of bacterial species in the membrane foulant layer and in suspension. *Journal of Membrane Science*, 364: 331-338.
- HO, J. and SUNG, S., 2010. *Bioresource Technology*, 101(7): 2191–2196.
- LIN, H., LIAO, B-Q., CHEN, J. and GAO, W., 2011. New insights into membrane fouling in a submerged anaerobic membrane bioreactor based on characterization of cake sludge and bulk sludge. *Bioresour. Technol.* 102: 2373–2379.
- JEISON, D. and VAN LIER, J.B., 2006. Cake layer formation in anaerobic submerged membrane bioreactors (AnSMBR) for wastewater treatment. *Journal of Membrane Science*, 284: 227–236.
- KHAN, S.J., VISVANATHAN, C. and JEGATHEESAN, V., 2009. Prediction of membrane fouling in MBR systems using empirically estimated specific cake resistance. *Bioresour. Technol.* 100 (23): 6133–6136.
- KETCHUM, L.H. and EARLEY, J.P., 1998. The Development of the Anaerobic Sequencing Batch Reactor. in *Bioremediation, Principles and Practice*, 2: 663-673.
- KETTUNEN, R.H., 1997. Treatment of Landfill Leachates by Low-Temperature Anaerobic and Sequential Anaerobic-Aerobic Processes. PhD Thesis, Tampere University of Technology, Publications 206.
- KOYUNCU, İ., 2001. Nanofiltrasyon membranları ile tuz gideriminde organik iyon etkisi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, İstanbul, 127.
- KURAL, E., 2000. Tekstil boyahane atıksularının nanofiltrasyon membranları ile geri kazanımı ve renk giderimi. İTÜ, Fen Bilimleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 105s.
- LEW, B., TARRE, S., BEĬAVSKĬ, M., DOSORETZ, C. and GREN, M., 2009. Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for domestic wastewater treatment. *Desalination*, 243: 251–257.
- LİN, H.J., XİE, K., MAHENDRAN, B., BAGLEY, D.M., LEUNG, K.T., LISS, S.N. and LĬAO, B.Q., 2009. Sludge properties and their effects on membrane

- fouling in submerged anaerobic membrane bioreactors (SAnMBRs). *Water Res*, 43: 3827–3837.
- MENG, F., CHAE, S.-R., DREWS, A., KRAUME, M., SHIN, H.-S. and YANG, F., 2009. Recent advances in membrane bioreactors (MBRs) membrane fouling and membrane material. *Water Res*, 43 (6): 1489–1512.
- MENNİTİ, A., KANG, S., ELİMELECH, M. and MORGENROTH, E., 2009. Influence of shear on the production of extracellular polymeric substances in membrane bioreactors. *Water Research*, 43 (17): 4305-4315.
- MULDER, M., 1996. Basic principles of membranetechnology. KluweAcademic Publisher, 92(3): 42-48.
- ÖZTÜRK, İ., ALTINBAŞ, M., ARIKAN, O., TÜYLÜOĞLU, B.S. and BAŞTÜRK, A., 1999. Anaerobicand Chemical Treatability of Young Land fill Leachate in 7th International Waste Management and Land fill Symposium.
- SADDOUD, A., HASSAİRİ I. and SAYADI, S., 2007. Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey. *Bioresource Technol*. 98: 2102– 2108.
- WANG, X.-M., Lİ, X.-Y., HUANG, X., 2007. Membrane fouling in a submerged membrane bioreactor (SMBR): characterisation of the sludge cake and its high filtration resistance. *Sep. Purif. Technol*. 52 (3): 439–445.
- YALÇIN, F., 1998. Membran proseslerle endüstriyel atıksularda renk giderimi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 136s.
- ZHİ, H., SAY, L. and HOW, Y., 2011. Submerged anaerobic membrane bioreactor for low-strength wastewater treatment, Effect of HRT and SRT on treatment performance and membrane fouling. *Water Research*, 45: 705-713.

ÖZGEÇMİŞ

Hakan YILDIZ, 1985 yılında Ankara'da dünyaya geldi. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara tamamladı. 2004 yılında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2011 yılında Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitime başladı ve halen öğrenimine devam etmektedir.

ÖZET

Yapılan Anaerobik Membran Bioreaktörle yapılan çalışma sonucunda membran proseslerinin diğer sistemlere karşı göstermiş olduğu avantajlar yapılan deneyler ve sonuçlarında açıkça görülmüştür, yüksek KOI içeren mezbaha atıksularının membran bioreaktör kullanılarak arıtılması ve sonucunda da % 90'lık bir giderim veriminin olması, AKM, TUA KM, TKM, yağ-gres, Alkalinite, TN ve TP gibi parametrelerinde giderim verimlerinin yüksek olması gösterdi ki Anaerobik batık membran ile yapılan arıtma verimi yüksek oranda giderim verimi sağlamaktadır.

SUMMARY

In result of the work done through Anaerobic Membrane Bioreactor, the advantages of membrane processes against other systems have clearly been identified in the results of the experiments. Treatment of slaughterhouse wastewater with high COD using membrane bioreactor and having 90% removal efficiency in the end (high removal efficiency in the parameters such as TS, MLSS, MLVSS, oil -grease, alkalinity, TN and TP) have shown that the treatment made with anaerobic submerged membrane provides high removal efficiency.