

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

**EVSEL ATIKSULARIN ARITILMASINDA MEMBRAN
BİYOREAKTÖRLERİN TÜRKİYE'YE UYGULANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Esra HELVACI

UZMANLIK TEZİ

NİSAN 2017



İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

**EVSEL ATIKSULARIN ARITILMASINDA MEMBRAN
BİYOREAKTÖRLERİN TÜRKİYE'YE UYGULANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Esra HELVACI

UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı (Kurum)

Esra ACU

Tez Danışmanı (Üniversite)

Doç. Dr. Beril SALMAN AKIN

ETİK BEYAN

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Esra HELVACI
03.04.2017

Evsel Atıksuların Arıtılmasında Membran Biyoreaktörlerin Türkiye'ye
Uygulanabilirliğinin Araştırılması

(Uzmanlık Tezi)

Esra HELVACI

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

NİSAN 2017

ÖZET

Membran, kelime anlamı olarak iki ortam arasında, partikül boyutuna göre geçirgenlik sağlayan bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda, membran malzemelerindeki ve teknolojilerindeki ilerlemeler, membran biyoreaktör sistemlerin atıksu ve içmesuyu arıtımında kullanılmasına olanak sağlamıştır. Membran teknolojisinde, biyolojik arıtım ile fiziksel olarak süzme işlemi aynı anda gerçekleşmektedir. Bu tez çalışmasının amacı; membran biyoreaktör sistemlerinin anlatılması, ülkemizde yapılan ve İlbank A.Ş. tarafından finansmanı sağlanan membran biyoreaktör teknoloji atıksu arıtma sistemlerinde uygulanan membran biyoreaktör sistemlerini incelemek, maliyet ve işlevsellik açısından ülkemize uygulanabilirliğini araştırmaktır. Bu kapsamda, İlbank A.Ş. tarafından finansmanı sağlanan 4 adet atıksu arıtma tesisinin ilk yatırım maliyetleri ve arıtma verimleri karşılaştırılmıştır. Membran biyoreaktör teknolojilerinin ilk yatırım maliyetleri, ülkemizde en çok seçilen proses tipi olan uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri ile karşılaştırıldığında genel olarak yüksek çıkmıştır. Fakat atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularının geri kazanımı (park, bahçe sulama) ve alıcı ortam kirliliği düşünüldüğünde işlevsellik bakımından uygulanabilir olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Çünkü; membran biyoreaktör teknolojisinde arıtma performansı çok yüksektir. Bu çalışmada membran biyoreaktör teknolojisinin seçildiği atıksu arıtma tesislerinin çıkış suyu limitleri ve yatırım maliyetleri araştırılmış ve uygulanabilirlik açısından karşılaştırma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Membran biyoreaktörler, MBR Uygulamaları, İleri Atıksu Arıtımı

Sayfa Adedi : 79

Tez Danışmanı : Esra ACU (Kurum)
Doç. Dr. Beril Salman AKIN (Üniversite)

Investigation of Feasibility on Membrane Bioreactor Technology for Municipal
Wastewater Treatment in Turkey

(Expertise Thesis)

Esra HELVACI

İLBANK A.Ş.

APRIL 2017

ABSTRACT

Membrane is defined as a material that provides permeability between two media according to the particle size. In recent years, advances in membrane materials and technology have enabled membrane bioreactor systems to be used in wastewater and drinking water treatment. In membrane technology, biological filtration and physical filtration take place at the same time. The aim of this thesis is; to explain membrane bioreactor systems, to investigate wastewater treatment plants with membrane bioreactor systems in Turkey funded by İlbank A.Ş., and to examine its applicability for the country in terms of cost and functionality. Within this scope, initial investment costs and treatment efficiency of 4 İlbank A.Ş funded wastewater treatment plants are compared. The initial investment costs of membrane bioreactor technologies are generally high compared to extended aeration activated sludge systems, which are the most preferred process type in our country. However, in terms of functionality, it has come to the conclusion that membrane systems can be applied when reuse of the effluent of wastewater treatment plants (park, garden irrigation) and receiving environment pollution are considered. Because treatment efficiency of membrane bioreactor technology is very high. In this study, effluent water limits and investment costs of wastewater treatment plants where membrane bioreactor technology are used are investigated and compared in terms of applicability.

Key Words : Membrane bioreactor, MBR applications, advanced wastewater treatment

Page Number : 79

Supervisors : Esra ACU (Corporate)
Assoc. Prof. Beril Salman AKIN (University)

TEŞEKKÜR

Tez yazım aşamasında bana yol gosteren “İlbank A.Ő. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığında” görev yapmakta olan kurum danıŐmanım Sayın Çevre Yüksek Mühendisi Esra ACU’ ya ve “Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde” öğretim üyesi olarak görev yapmakta olan akademik danıŐmanım Sayın Doç. Dr. Beril Salman AKIN’a,

Benden desteğini esirgemeyen ve bugünlere gelmemi sağlayan aileme, tez yazım sürecime destek olan sevgili eŐime ve tez çalışmam için yardımlarını esirgemeyen “İlbank A.Ő. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığında” görev yapmakta olan Sayın Emre AYTAÇ’ a ve çok değerli mesai arkadaşlarıma teşekkür ediyor ve Őükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	viii
RESİMLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
GİRİŞ.....	1
1. EVSEL ATIKSU ÖZELLİKLERİ VE ATIKSU ARITMA YÖNTEMLERİ GENEL BİLGİLER	 5
1.1. Fiziksel Arıtım	7
1.2. İkincil Arıtım.....	8
1.2.1. Kimyasal arıtım.....	8
1.2.2. Biyolojik arıtım	8
1.3. İleri Arıtım	10
1.3.1. Azot giderme	10
1.3.2. Fosfor giderme	11
1.3.3. Adsorpsiyon	11
1.3.4. Dezenfeksiyon.....	11
1.3.5. İyon değişimi.....	11
2. MEMBRAN BİYOREAKTÖR SİSTEMLERİ	13
2.1. Membran Biyoreaktörlerin Tarihsel Gelişimi	14
2.2. Membran Biyosistemlerin Çalışma Prensipleri	16
2.3. Membran Prosesleri	17
2.3.1. Mikrofiltrasyon	18
2.3.2. Ultrafiltrasyon	18
2.3.3. Nanofiltrasyon.....	19
2.3.4. Ters ozmoz.....	19
2.4. MBR Konfigürasyonları.....	21
2.4.1. Aerobik prosesler	21
2.4.2. Anaerobik prosesler	23
2.5. Membran Hidroliği.....	28
2.6. Membran Biyoreaktörlerin Avantajları	30
2.7. Membran Biyoreaktörlerin Dezavantajları	31
2.8. MBR Atıksu Arıtma Tesislerinin Performans Değerlendirmesi	31
2.8.1. MBR teknoloji tesislerin proses karşılaştırması	31
2.8.2. MBR teknoloji tesislerin maliyet karşılaştırması.....	34
2.9. Membran Malzemeleri	35
2.10. Membran Kirlenmesi/Tıkanması Problemi.....	35
2.11. Ülkemizde MBR Uygulaması Yapılan Pilot Uygulamalar	39
3. MATERYAL VE METOD	41
3.1. Materyal	41

3.2. Metod	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
4.1. Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi.....	43
4.2. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	48
4.3. Finike (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	55
4.4. Gazipaşa MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	58
5. MEMBRAN BİYOREAKTÖR TEKNOLOJİLİ ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN YATIRIM MALİYETİ DEĞERLENDİRMESİ.....	61
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	76
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Ham evsel atıksuyun karakteristiği.....	6
Çizelge 1.2. Arıtma kademelerine göre arıtma verimleri	10
Çizelge 2.1. Ülkemizde atıksu arıtma tesisi sayılarının zamana göre artışı.....	15
Çizelge 2.2. Tasarım kriterlerine göre MBR'lerin gelişimleri.....	16
Çizelge 2.3. Membran proseslerinin başlıca özellikleri.....	17
Çizelge 2.4. Membran konfigürasyonlarının karşılaştırılması.....	23
Çizelge 2.5. Arıtma proseslerine göre organik yükleme hızları	33
Çizelge 2.6. Arıtma proseslerine göre çamur üretim miktarları	34
Çizelge 2.7. MBR ve aktif çamur sistemlerinin ekonomik karşılaştırması	34
Çizelge 2.8. Ataköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisi giriş- çıkış su analizleri	39
Çizelge 4.1. Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi giriş atıksu tasarım verileri	44
Çizelge 4.2. Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi çıkış arıtılmış su verileri.....	44
Çizelge 4.3. Konacık (MUĞLA) Atıksu Arıtma Tesisi giriş suyu analiz sonuçları	45
Çizelge 4.4. Konacık (MUĞLA) Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu analiz sonuçları.....	46
Çizelge 4.5. Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği ileri arıtma deşarj limitleri	47
Çizelge 4.6. Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları.....	48
Çizelge 4.7. SKKY nüfusu 10 000-100 000 kişi arası yerleşim yerleri için evsel nitelikli atıksu alıcı ortam deşarj limitleri.....	48
Çizelge 4.8. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi nüfus ve atıksu debi hesabı	49
Çizelge 4.9. 2027 yılına göre hesaplanan kirlilik yükleri	49
Çizelge 4.10. 2047 yılına göre hesaplanan kirlilik yükleri	50
Çizelge 4.11. 2027 yılına göre hesaplanan kirlilik yükleri	50
Çizelge 4.12. 2047 yılına göre hesaplanan kirlilik yükleri	50
Çizelge 4.13. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları.....	52
Çizelge 4.14. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları.....	52

Çizelge 4.15. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları	52
Çizelge 4.16. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları	54
Çizelge 4.17. Toplam nüfus (Finike+Sahilkent+Turunçova+Hasyurt+Yeşilyurt)	56
Çizelge 4.18. Toplam debi (Finike+Sahilkent+Turunçova+Hasyurt+Yeşilyurt)	56
Çizelge 4.19. Toplam nüfus	58
Çizelge 4.20. Toplam debi	58
Çizelge 4.21. Gazipaşa (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları.....	59
Çizelge 5.1. Ülkemizdeki MBR arıtma tesislerinin kişi başı yatırım maliyetleri	61
Çizelge 5.2. Arıtma tesisleri yatırım maliyeti karşılaştırılması	62
Çizelge 5.3. Kişi başına gereken arıtma alanı	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Özelliklerine göre Türkiye’deki arıtma tesisi sayılarının yıllara göre değişimi.....	13
Şekil 2.2. Atıksu arıtma sistemlerinin yıllara göre gelişimi.....	14
Şekil 2.3. Membran biyoreaktör prosesi	17
Şekil 2.4. Osmoz ve ters osmozun şematik anlatımı	20
Şekil 2.5. Su ve atıksu arıtımında kullanılan membranların seçiciliklerine göre sınıflandırılması	21
Şekil 2.6. Harici membran sisteminin şematik gösterilişi	22
Şekil 2.7. Papukchiev (2009)’in çalışmasına göre anaerobik MBR’lerde akış düzenlemeleri: a) basınçlı harici çapraz akış b) batık vakum sürücülü c) yan akışlı vakum sürücülü.....	24
Şekil 2.8. Membran filtrasyonun temel prensipleri	29
Şekil 2.9. Klasik aktif çamur prosesi ile membran prosesinin şematik gösterilişi	32
Şekil 2.10. Zamana karşı akı azalmasında derişim polarizasyonu ve kirliliğin ayırımı	36
Şekil 2.11. Lin ve diğerleri (2013) ile Meng ve diğerlerinin (2009) oluşturmuş olduğu membran tıkanmasının sınıflandırılması.....	37
Şekil 2.12. Membran tıkanmasının şematik gösterimi.....	38
Şekil 4.1. Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi’nin şematik gösterimi.....	43
Şekil 4.2. Konacık Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) debi ve giriş-çıkış AKM grafiği	47
Şekil 4.3. Tesis ana akım	51
Şekil 4.4. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi’nin ortalama giderim verimleri	55
Şekil 4.5. Tesis akım şeması	57
Şekil 4.6. Gazipaşa (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi’nde giderim verimleri	60
Şekil 5.1. Membran teknoloji atıksu arıtma tesislerinin kişi başı yatırım maliyetlerinin gösterilişi.....	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Havalandırmalı kum ve yağ tutucu görünümleri	7
Resim 2.1. Abu Dubai ters ozmoz tuzsuzlaştırma tesisi	20
Resim 2.2. Batık tipli membran görünüşü	22
Resim 2.3. MBR membran kaseti	26
Resim 2.4. Hollow fiber (HF) membran modül	27
Resim 2.5. Spiral sarmal membran ve kurulumu	27
Resim 2.6. Tabaka ve çerçeve/düz levha modüller.....	28

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

Bu çalışmada kullanılmış simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Angstrom
Al	Alüminyum
As	Arsenik
B	Bor
Be	Berilyum
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
F	Florür
Fe	Demir
g	Gram
l	Litre
Kw	Kilowatt
Li	Lityum
m²	Metrekare
m³	Metreküp
mg	Miligram
mm	Milimetre
Mn	Mangan
Mo	Molibden
MPN	En muhtemel sayı
NH₃	Amonyak
Ni	Nikel
NTU	Bulanıklık birimi (nephelometric turbidity unit)
NO₂	Nitrit

NO₃	Nitrat
P	Fosfor
Pb	Kurşun
psi	Basınç Birimi (pounds per inch square)
Se	Selenyum
V	Vanadyum
Zn	Çinko
\$	Dolar
µm	Mikrometre

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar

Açıklamalar

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AÇ	Aktif Çamur
AKM	Askıda Katı Madde
ASP	Aktif Çamur Prosesi
BAF	Biyolojik Havalandırmalı Filtre
BOİ₅	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
CA	Selüloz Asetat
CT	Kapiler Tüp
DBR	Döner Biyolojik Reaktörler
ED	Elektrodiyaliz
EKAP	Elektronik Kamu Alımları Platformu
FC	Katlanmış Kartuş Filtre
FS	Tabaka/Düz Levha
HF	Hollow Fiber
HRT	Hidrolik Alıkonma Zamanı
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KDV	Katma Değer Vergisi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	Membran Biyoreaktör

MBBR	Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktörler
MEM-TEK	Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi
MF	Mikrofiltrasyon
MLSS	Karışık Sıvıdaki Katı Madde Muhtevası
MLVSS	Karışık Sıvıdaki Uçucu Katı Madde Muhtevası
MT	Çoklu Tübüler Membran
NF	Nanofiltrasyon
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
PES	Polietersülfon
PP	Polipropilen
PS	Polisitren
PV	Pervaporasyon
PVDF	Polivinilidin diflorür
RO	Ters Ozmoz
SBR	Seri Bağlı Kesikli Reaktörler
SKKY	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
SRT	Çamur Alıkonma Zamanı/Yaşı
SW	Spiral Sarmal
TF	Damlatmalı Filtre
TL	Türk Lirası
TMP	Trans Membran Basıncı
UASB	Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Anaerobik Reaktörler
YS	Yapay Sulak Alanlar

GİRİŞ

Sanayi devriminden bu yana hızla endüstrileşen dünyada hızlı nüfus artışı, kentleşme gibi faktörler çevre kirliliğini artırmıştır. Doğal kaynakların azalması ve çevre kirliliğinin artması çevre korumaya karşı yeni yaklaşımların oluşmasına ve yeni teknolojilerin geliştirilmesine sebep olmuştur.

Günümüzün en önemli çevre sorunlarından birisi su kıtlığıdır. Su krizi, gereken yatırımlar yapılmadığı, çeşitli yaptırımlar uygulanmadığı ve hassasiyet gösterilmediği sürece çözümlenemez bir hal alacaktır. Yapılan son çalışmalar dünyada bir milyara yakın insanın temiz içmesuyuna ulaşamadığı yönünde olup 2030 yılında bu rakamın dünya nüfusunun yarısına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde de temiz ve kaliteli içmesuyu kaynakları giderek artan ihtiyaç ve diğer antropojenik etkiler sebebiyle azalmaktadır. Buzul kütlelerinde ve kar örtüsünde küresel ısınmadan kaynaklı azalmalar olduğu artık herkesçe bilinen bir gerçektir. Deniz seviyesinde görülen yükselmeler birçok kıyı bölgesinde olumsuz etkiler yaratacaktır. Kıyı ekosistemlerinin bozulması, buharlaşmanın artması sebebiyle hava neminin artması ve şiddetli yağmurların ve kasırgaların oluşması, taşkın ve sellerin oluşması, yeraltı suyu seviyesinin düşmesi, toprağın kuruması bu olumsuz etkilerden bazılarıdır.

Temiz içmesuyunun azalması, salgın hastalıkların ortaya çıkması, insan ve çevre sağlığının olumsuz etkilenmesiyle birlikte atıksu arıtımı teknolojilerinde önemli gelişmeler olmuştur. Ayrıca alıcı ortam deşarj limitlerinin düşürülmesi ve arıtılan suyun tekrar kullanılması gerekliliği ileri arıtım tekniklerinin kullanılmasını mecburiyet haline getirmiştir.

Kentlerimizdeki atıksu problemlerinin en uygun sistemler seçilerek arıtılması, en ekonomik çözümlerin uygulanması ve arge çalışmalarına gerekli yatırımın yapılması bir zorunluluktur. Ülkemizde evsel atıksu arıtma tesisi sayısı 2014 yılında 604'e ulaşmıştır (TÜİK, 2014). 2013 yılından bugüne İlbank A.Ş. tarafından ihale işlemi tamamlanan ve inşaatına başlanan 86 adet evsel atıksu arıtma tesisinin birçoğu faaliyete geçmiştir (EKAP, 2016).

Günümüzde artan nüfusla birlikte temiz suya gereksinim fazlalaşmış su iletimi ve arıtımı ile ilgili olarak yeni teknolojilerin araştırılması ihtiyaç olmuştur. İhtiyacımız olan standartlar artmış fakat temiz su miktarı azalmıştır. Bu sebeple içmesuyu ve atıksu arıtımı konusunda arıtım teknolojileri üzerine geniş çalışmalar yapılmaktadır (Muslu, 2000: 4).

Ülkemizde genel olarak evsel atıksuların arıtımında biyolojik arıtma sistemlerinden ön çöktürme, uzun havalandırmalı aktif çamur ve çamur susuzlaştırma işlemleri uygulanmaktadır. Biyolojik arıtmanın temel prensibi mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu besinleri atıksuda bulunan organik maddelerden sağlayarak ayrıştırmak ve uygun çıkış suyu kriterlerini sağlamaktır. Aerobik arıtmalarda mikroorganizma hücrelerinin solunumunu sağlamak için atıksuda bulunan oksijen yeterli olmaz ve dışarıdan oksijen verilmesi gerekli olur. Dışarıdan verilen oksijen ile hem mikroorganizmalar yaşamsal faaliyetlerini sürdürürler hem de reaktör içerisinde homojen bir karışım sağlanmaya çalışılmış olur.

Avrupa'da kentsel atıksu arıtımı için membran biyoreaktörlerin (MBR) ilk serilerine 1998 yılında başlanmıştır. Membran biyoreaktörler büyük çaplı projeler için yavaş ilerlemiştir. Bu yavaş ilerlemenin sebebi membran ömrünün belirli olmaması, yüksek maliyetli membranlar, membranların büyük ölçekli tesisler için denenmemiş olması ve işletim sisteminin bilinmemesi gibi durumlardır. Ancak son zamanlarda membran malzemelerinin maliyetindeki düşüşler, pilot ve küçük ölçekli çalışmalarda deneyimler, membran performansındaki artışlar ve deşarj standartlarının yükselmesi bu alandaki yatırımların artmasını sağlamıştır (Melin ve diğerleri, 2005: 276). Ülkemizde de bu alanda yatırımlar, pilot ve gerçek ölçekli uygulamalar yapılmaya başlanmış olup membran teknolojileri alanındaki çalışmalar devam etmektedir.

Bu çalışmanın amacı Türkiye'de evsel atıksu arıtımı için yeni yeni uygulanmaya başlanan ve İlbank A.Ş. tarafından finanse edilen membran biyoreaktör sistemli atıksu arıtma tesislerinin maliyet ve işlevsellik açısından uygulanabilirliği ile ilgili literatür taraması yapmak, avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymak, hali hazırda mevcut olan membran biyoreaktör teknoloji tesislerine ait verilerle karşılaştırma yapmaya çalışmaktır.

İleri arıtma yöntemlerinden membran proseslerin seçilme nedenlerinden bazıları; “membran proseslerinin diğer ayırma teknikleriyle karşılaştırıldığında düşük enerji ihtiyacı gerektirmeleri, kesikli ve sürekli işletilebilmeleri, yüksek saflıkta ürün elde edilebilmesi, sıcaklık değişimlerinden fazla etkilenmemeleri, modüler olarak tasarımlarının yapılabilmesi, fazla yer kaplamaması ve kimyasal katkı ihtiyacının olmamasıdır” (Konuk, 2014: 1).

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde evsel atıksu özellikleri ve arıtma yöntemleri anlatılarak ülkemizdeki mevcut arıtma tesislerinin özelliklerinden genel olarak bahsedilmiştir.

İkinci bölümde Membran Biyoreaktörlerin tarihsel gelişiminden, teknolojisi ve çalışma prensiplerinden, konfigürasyonlarından, avantajları ve dezavantajlarından ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiş ve ülkemizde yapılan pilot ölçekli uygulamalardan bazı örnekler verilmiştir.

Üçüncü bölümde ülkemizde inşaatı yapılan ve İlbank A.Ş.’nin finansmanını sağladığı gerçek boyuttaki membran biyoreaktör sistemli arıtma tesislerinin inşaa maliyetleri ve faaliyete geçen arıtma tesislerinin atıksu analiz sonuçlarından bulgular verilmiştir.

Dördüncü bölümde ise işletmeye alınan membran biyoreaktörlerin performans değerlendirmesi yapılmış, diğer evsel atıksu arıtma tesisleri ile karşılaştırılmış ve ülkemiz açısından uygulanabilirliği ele alınmıştır.

Sonuç bölümünde ise tez çalışması kapsamında literatüre dayalı ulaşılan bilgiler özetlenmiş, membran biyoreaktörlü atıksu arıtma tesisi uygulamalarının incelenen verileri ile varılan sonuçlar anlatılmış, uygulamaların hedef ve sonuçları üzerinde durulmuş ve membran teknolojisi ile ilgili ülkemize ve kurumumuza faydalı olabilecek öneriler belirtilmiştir.

1. EVSEL ATIKSU ÖZELLİKLERİ VE ATIKSU ARITMA YÖNTEMLERİ GENEL BİLGİLER

Evsel atıksuların içeriğinde genel olarak askıda, dibe çökelmiş, koloidal ve çözünmüş organik ve inorganik kirleticiler bulunur. Atıksuların özellikleri hem kullanılan su kaynağına bağlı, hem de iklimsel, bölgesel, mevsimsel ve kültürel olarak değişkenlikler gösterir. Ayrıca kanalizasyon şebeke sistemine karışan yağmursuyu ve içmesuyu atıksuyun seyrelmesine sebep olurken, sanayi kaynaklı atıksuların direkt arıtılmadan şebekeye verilmesi de kirlilik yükünü ve atıksu karakteristiğini değiştirmektedir (Arceivala, 1998/2002: 14-15).

Arıtılmamış atıksu özellikleri Çizelge 1.1' de gösterilmiştir. Çizelgeye göre taze atıksular bol miktarda C, N, P gibi organik maddelerden oluşmakta olup biyolojik olarak bozulmaya daha şebeke sisteminden başlarlar. Çizelgedeki değerlerin g/kişi-gün olarak verilmesinin sebebi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki farklılıklardan dolayı mg/l'nin bazı karışıklıklara neden olabilmesidir. Gelişmekte olan ülkelerde çizelgedeki aralıkların düşük olanına denk gelmektedir (Arceivala, 1998/2002: 14-15).

Çizelge 1.1. Ham evsel atıksuyun karakteristiği (Arceivala, 1998/2002: 16)

Madde	Atıklarda Bulunma Değeri (g/kişi-gün)
BOI, 5 günlük, 20 °C	45-54
KOI	1,6-1,9 x BOI ₅
Toplam organik karbon	0,6-1,0 x BOI ₅
Toplam katı maddeler	170-220
Askıda katı maddeler	70-145
Grit (inorganik, 0,2 mm ve yukarısı)	5-15
Makine yağı	10-30
Alkalinite (kalsiyum karbonat olarak, CaCO ₃)	20-30
Kloridler	4-8
Toplam azot, N	6-12
Organik azot	~ 0,4 x toplam N
Serbest azot	~ 0,6 x toplam N
Nitrit	-
Nitrat	~ 0,0-0,5 x toplam N
Toplam fosfor, P	0,6-4,5
Organik fosfor	~ 0,3 x toplam P
Inorganik (ortho- ve polifosfatlar)	~ 0,7 x toplam P
Potasyum (potasyum oksit olarak, K ₂ O)	2,0-6,0
<i>Atıksuda bulunan mikroorganizmalar (100 ml. Atıksu içinde)</i>	
Toplam bakteri	10 ⁹ -10 ¹⁰
Koliformlar	10 ⁹ -10 ¹⁰
Feecal Streptococci	10 ² -10 ⁶
Salmonella typhosa	10 ¹ -10 ⁴
Protozoa kistleri	10 ³ miktarına kadar
Helminth yumurtaları	10 ³ miktarına kadar
Virüsler (plak oluşturan birimler)	10 ² -10 ⁴

Atıksu arıtma yöntemleri birincil (ön arıtma), ikincil ve ileri arıtma yöntemleri olmak üzere 3'e ayrılır. Birincil arıtımda yüzebilen ve çökebilen atıkların uzaklaştırılmasını kapsar. İkincil arıtım organik maddelerin giderimini kapsayan biyolojik ve/veya kimyasal işlemlerdir. İleri arıtımda ise ön arıtma ve ikincil arıtımla giderilemeyen maddelerin arıtılması amaçlanır.

1.1. Fiziksel Arıtım

Fiziksel arıtımın amacı ham atıksularda bulunan çeşitli boyutlardaki yüzebilir, çökelebilen maddelerin atıksudan uzaklaştırılarak, pompa, vana, borular ve diğer arıtma ekipmanlarının tıkanmasını ve aşınmasını engellemektir. Fiziksel arıtımın ilk aşamasında kaba ve ince ızgaralar kullanılır. Izgaraların olası tıkanma durumları için ön arıtım sistemlerinde By-Pass hattı bulundurulur. Daha sonra atıksuyun karakteristiğine ve arıtım ihtiyacına bağlı olarak aşağıdaki işlemlerden hepsi veya bazıları uygulanabilir.

Kum Giderimi: Atıksudaki kum, çakıl gibi maddelerin atıksudan ayrılmasını sağlamak amacıyla yapılan işlemlerdir.

Yağ giderimi: Atıksuda bulunan yağın, yüzdürme işlemi yapılarak uzaklaştırılması işlemidir. Örnek bir havalandırılmalı kum ve yağ tutucu Resim 1.1’de gösterilmiştir.

Öğütme: İri hacimli atıkların küçük parçalara ayrılması işlemidir.

Dengeleme: Debi ve karakteristikteki salınımları önlemek amacıyla yapılan işlemidir.

Çökeltim: Atıksudan çökelebilir maddelerin yer çekimi etkisiyle uzaklaştırılması işlemidir.



Resim 1.1. Havalandırılmalı kum ve yağ tutucu görünümü (Damla Çevre, 2016)

1.2. İkincil Arıtım

1.2.1. Kimyasal arıtım

Atıksu arıtımında kimyasal arıtmanın amacı; fiziksel arıtımla giderilemeyen çözünmüş, askıdaki ve kolloidal maddelerin, bazı kimyasal tepkimeler oluşturularak giderimini sağlamaktır. Genel olarak kullanılan metodlar:

Kimyasal oksidasyon: Kimyasal oksidasyon atıksuda bulunan toksik maddelerin uzaklaştırılması amacıyla zararsız hale dönüştürülmesi işlemidir.

Koagülasyon: Atıksuda bulunan çözünmüş ve/veya askıdaki katı maddelerin yer çekimi kuvvetiyle çökelmelerini sağlamak amacıyla yapılan işlemlerdir.

Dezenfeksiyon: Suyun içerdiği patojenlerin giderilmesidir (Yıldırım, 2006: 5).

1.2.2. Biyolojik arıtım

Biyolojik arıtma yöntemleri genel olarak aerobik ve anaerobik arıtım olmak üzere ikiye ayrılır.

Aerobik arıtım:

Bu arıtma tipinde organik atıklar sentez ve oksidasyon sayesinde bertaraf edilirler. Yani bakterilerin bir kısmından yeni bakteriler sentezlenirken bir kısmından da enerji üretilir. Ortamda bulunan organik maddeler azalırken hücreler kendi kendini oksitleyerek içsel solunum fazına geçerler (Yıldırım, 2006: 6).

Aktif çamur:

Aktif çamur sistemi, atıksuyun mikroorganizmalarca oksijen kullanılarak bertaraf edildiği bir prosestir. Bu proseste sürekli olarak hava(oksijen) verilerek arıtılan su çökeltme tankına iletilerek arıtma sağlanır. Çökeltme tankından alınan fazla çamurun bir kısmı havalandırma tankına gönderilir, kalanı da bertaraf edilir. Aerobik ortam blowerlar veya mekanik havalandırıcılar sayesinde oluşturulur (Yıldırım, 2006: 6). Aktif çamur sisteminden daha iyi verim alabilmek için birçok modifikasyon geliştirilmiştir: (Yıldırım, 2006: 7)

- “Lineer Şekilde Değişen Havalandırma Tatbik Edilen Sistemler
- Tadil Edilmiş Havalandırma Uzun Havalandırılmalı Sistemler

- Kontak Stabilizasyon
- Tam Karıştırma Sistemler
- Piston Akımlı Sistemler
- Kademeli Havalandırma
- Uzun Havalandırma Sistemler
- Yüksek Hızlı Havalandırma
- Saf Oksijenli Sistemler
- Oksidasyon Hendekleri”

Ülkemizde, evsel atıksu arıtma tesislerinde genel olarak uzun havalandırma sistemler tercih edilmektedir. Bu proseste atıksuyun havalandırma süresi diğer sistemlere kıyasla daha uzun olduğundan bu isim verilmiştir. Organik yük düşük olduğu zaman tercih edildiklerinden kapasitesi küçük olan tesislerde tasarlanırlar. Uzun havalandırma sistemde yatırım, işletme ve bakım maliyetleri daha düşüktür. Karbon ve azot giderimi aynı tankta gerçekleştirilmektedir (Boduroğlu, 2008: 19). Uzun havalandırma sistemlerin genel bir görünüşü Resim 1.2’de gösterilmiştir.



Resim 1.2. Uzun havalandırma atıksu arıtma sistemi (Su Yapı, 2016)

Anaerobik arıtım:

Anaerobik arıtım oksijen yokluğunda anaerobik mikroorganizmalar ile organik maddelerin arıtıldığı proses tipidir. Ortamda oksijen bulunmadığı için septik şartlar hakimdir. Anaerobik arıtımda organik maddeler, organik asit ve alkole, daha sonra bunlar da asetik asit, karbondioksit ve hidrojene ve de en son ürün olan metana dönüştürülür. Aerobik arıtıma göre işletme koşulları daha hassastır (Yıldırım, 2006: 18-19). Ayrıca arıtım sonucu oluşan metan gazı enerjiye dönüştürülebilmektedir.

1.3. İleri Arıtım

Arıtma tesislerinde konvansiyonel sistemlerle arıtımı yapılamayan dayanıklı maddelerin giderilebilmesi için geliştirilen yöntemlere ileri arıtım denir. Alıcı ortam deşarj limitlerinin düşürülmesi ve atıksuyun geri kazanılabilirliği gereksiniminin oluşması ileri arıtma yöntemlerinin kullanılması sonucunu ortaya çıkarmıştır. İleri arıtım öncesinde Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅) değerleri yüksek oranda düşürülebilmektedir. Ancak askıda katı madde (AKM) muhtevası ve çözünmüş maddelerin oranı yüksek olabilmektedir (Kaleli, 2006: 3). Barlas, H. (2002) tarafından derlenen kademelere göre arıtma verimleri Çizelge 1.2’de verilmiştir (Aktaran Kaleli, 2006: 3).

Çizelge 1.2. Arıtma kademelerine göre arıtma verimleri (Aktaran Kaleli, 2006: 3)

Parametre	1.Kademe (% azalma)	2. Kademe (% azalma)	3.Kademe	
			Koagülasyon Sedimentasyon (% azalma)	Aktif Karbon (% azalma)
Biyolojik Oksijen İhtiyacı	35	90	93	95
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	30	80		
Organik Maddeler	20	60		
Askıda Katı Madde	60	90		
Toplam Azot	20	50		55
Toplam Fosfor	10	30	95	95
Tuzlar	-	5	10	15

1.3.1. Azot giderme

Atıksuda bulunan amonyum, *Nitrosomonas* ve *Nitrosococcus* bakterilerinin faaliyeti sonucunda NO₂’ye (nitrit) ve *Nitrobakter* faaliyeti sonucunda da NO₃’e (nitrat)

dönüştürülür. Daha sonra da anoksik ortama alınan atıksuda bulunan nitrat Azot gazı halinde atmosfere geçer (Azman, 2005: 40).

1.3.2. Fosfor giderme

Fosforun en önemli kaynağı tarımda kullanılan fosfatlı gübrelerdir. Bu gübreler yüzey akışıyla kanalizasyon şebeke sistemine ulaşır ve atıksu arıtma tesislerinde giderilmesi problemi ortaya çıkar.

Atıksu arıtma tesislerinde fosfor giderimi için kimyasal ve/veya biyolojik arıtma yöntemleri kullanılır. Kimyasal gidermede demir veya alüminyum tuzları, kireç sütü ile çökeltilir. Biyolojik arıtımda ise fosfor mikroorganizmaların bünyesine alınması sayesinde gerçekleştirilir (Azman, 2005: 41).

1.3.3. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon kısaca geleneksel arıtma yöntemleri ile giderilemeyen toksiklik, bulanıklık ve koku kirliliğine sebep olan kimyasalların bir adsorban yüzeye tutunması işlemidir. Adsorban madde olarak aktif karbon kullanımı en yaygın olanıdır. Toz veya granül halinde kullanılabilir. Adsorbanmanın iyi olması için temasın düzgün ayarlanması gereklidir. Aktif karbon teması yukarıdan aşağı sabit yataklı veya aşağıdan yukarı akışkan ya da sabit yataklı olabilir. Tıkanıklık problemi yoktur (Azman, 2005: 42).

1.3.4. Dezenfeksiyon

Patojenlerin giderilmesi için kullanılan yöntemdir. Temas süresi patojenlerin tamamen giderimi için çok önemlidir. Klor, ozon, ultraviyole ışınları, alkoller, fenol bileşikleri, hidrojen peroksit vb dezenfektan maddeler kullanılır. En çok tercih edileni klor ve bileşikleridir (Azman, 2005: 43).

1.3.5. İyon değişimi

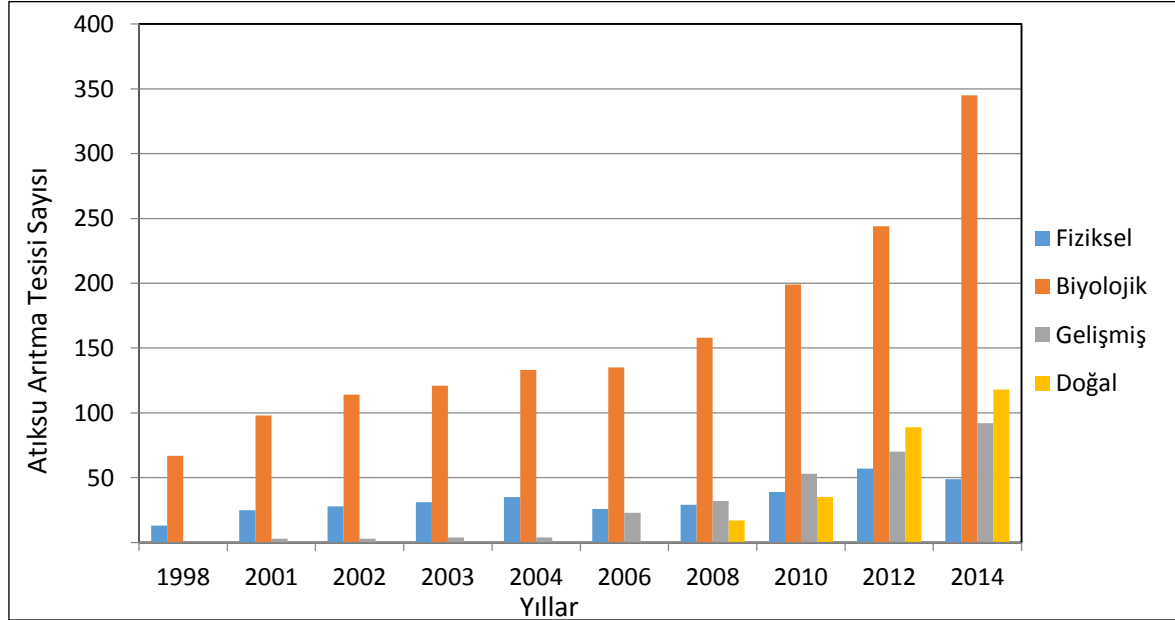
İyon değişimi özellikle endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan bir yöntemdir. “Sistemin prensibi, su veya atıksu bünyesindeki istenmeyen anyon veya katyonların uygun bir anyon veya katyon tipi iyon değiştirici kolonda tutulmasıdır. İyon değişimi sağlayan

maddeler: alüminyum silikatlar, zeolit, sentetik reçineler ve sülfolanmış karbonlu maddelerdir” (Azman, 2005: 43).

İleri arıtım yöntemlerinden bu tezin konusunu oluşturan membran sistemler ikinci bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2. MEMBRAN BİYOREAKTÖR SİSTEMLERİ

Ülkemizde evsel atıksu arıtımında genel olarak aktif çamur prosesi kullanılmaktadır. Arıtma özelliklerine göre tesis sayılarının yıllara göre değişimi Şekil 2.1’de verilmiştir. 2014 yılında kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 4,3 milyar m³ atıksuyun 3,5 milyar m³’ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmıştır. Arıtılan atıksuyun %41,6’sına gelişmiş, %33,2’sine biyolojik, %25’ine fiziksel ve %0,2’sine doğal arıtma uygulanmıştır. Arıtılan atıksuyun %50,5’i denize, %40,5’i akarsuya, %1,8’i baraja, %1,4’ü göl-gölete, %0,2’si araziye ve %5,6’sı diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir (TÜİK, 2015).

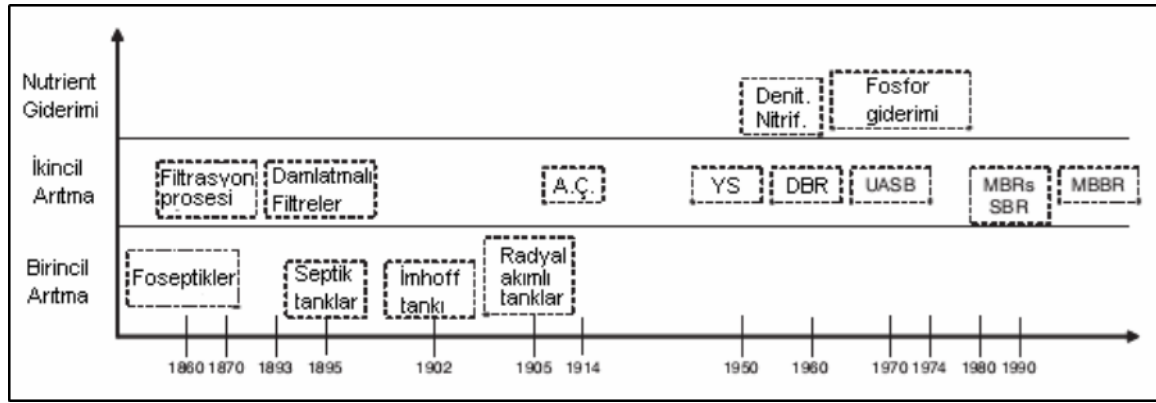


Şekil 2.1. Özelliklerine göre Türkiye’deki arıtma tesisi sayılarının yıllara göre değişimi

Aktif çamur prosesinin, çamur şişmesi ve çıkış suyuna karışması, oluşan aşırı çamur bertaraf maliyeti, havalandırma süresinin yetersiz olması nedeniyle kötü çökelme özelliği, aşırı havalandırma sonucu topaklaşmanın önlenmesi vb. gibi sorunları yeni arıtma yöntemlerinin araştırılmasına neden olmuştur. Bu çalışma kapsamında ileri arıtma yöntemlerinden membran biyoreaktör sistemler araştırılmış, uygulanmış örnekler ele alınmış ve ülkemiz için son durum değerlendirilmiştir.

2.1. Membran Biyoreaktörlerin Tarihsel Gelişimi

Son dönemlerde ileri atıksu arıtma yöntemlerinin en çok tercih edileni membran sistemlerdir. “İlk belgeli membran-difüzyon deneyi 1748 yılında Fransız Abbe Nollet tarafından gerçekleştirilmiştir. Nollet bir şarap fiçisinin ağzına bir hayvan derisi germiş; fiçiyi bu haliyle suya batırmış ve suyun fiçiyi girdiğini, buna karşılık şarabın deriden geçip dışarı çıkamadığını görmüştür...” (Özkan, 2007: 4).



Şekil 2.2. Atıksu arıtma sistemlerinin yıllara göre gelişimi¹ (Lofrano ve Brown, 2010: 5261)

Şekil 2.2’de atıksu arıtma sistemlerinin yıllara göre gelişimi gösterilmiştir. “... Membranlar, 18. Yüzyılın sonlarına doğru osmoz kavramının tanımlanmasıyla ortaya çıkmıştır. 19. ve 20. yüzyılın başlarında, membran sistemler ile sadece laboratuvar ölçekli çalışmalar gerçekleştirilmiş olup 1960’lı yıllardan itibaren laboratuvar ölçekli sistemlerden büyük ölçekli sistemlere geçiş olmuştur” (Taşyıcı, 2009: 5).

1970 yılında Hard ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada ultrafiltrasyon membran bir ayırma metodu olarak kullanılmıştır. 25 g/l gibi yüksek bir değerde MLSS (Mikroorganizma Konsantrasyonu) konsantrasyonunda olan atıksu başarıyla arıtılmıştır. Buna karşın çalışmada gözlenen akış oranı 6 - 11 L/m².h olarak çok düşük gerçekleşmiştir (Aktaran: Çağlar, 2013: 6).

¹ A.Ç: Aktif çamur; YS: Yapay sulak alanlar; DBR: Döner biyolojik reaktörler (ya da döner biyodiskler); UASB: Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörler; MBRs: Membranbiyoreaktörler; MBBR: Hareketli yataklı biyofilm reaktörler, SBR: Seri bağlı kesikli reaktörler.

Membran biyoreaktörler ile ilgili en önemli gelişme 1989 yılının sonlarında Yamamoto ve diğerleri tarafından batık membran sistemin icat edilmesi olmuştur. Aynı zamanda 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 µm por çaplı bir batık membran kullanılmış ve akış hızı 10 L/m².h 'de sabit tutularak geniş aralıklı MLSS konsantrasyonunda çalışılmıştır. Sonuç olarak 40 g/L MLSS konsantrasyonunun üzerine çıkıldığında oksijen transfer veriminin düştüğü görüldüğünden sabit şartlar için 30 g/L MLSS konsantrasyonunun altında çalışılması tavsiye edilmiştir (Aktaran: Çağlar, 2013: 6).

Ülkemizdeki arıtma tiplerine göre tesis sayısı Çizelge 2.1'de gösterilmiş olup gelişmiş arıtma sistemlerindeki artış hızı dikkat çekmektedir.

Çizelge 2.1. 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

Crawford, Thompson, Lozier, Daigger ve Fleischer'in, (2000) çalışmalarına göre, 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 sistemlerin 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 2.2’de MBR teknolojilerinin tasarım kriterlerine göre gelişimi karşılaştırılmıştır (Aktaran Arianfar, 2015: 12).

Çizelge 2.2. Tasarım kriterlerine göre MBR’lerin gelişimleri (Aktaran: Arianfar, 2015: 12)

Parametre	1. Nesil	2. Nesil	3. Nesil
SRT (gün)	50+	20+	<10 - 15
MLSS (mg/L)	20000+	20000	10000
NH ₃ giderimi	Var	Var	Var
Toplam azot giderimi	Yok	Var	Var
Fosfor giderimi	Yok	Var	Var

2.2. Membran Biyosistemlerin Çalışma Prensipleri

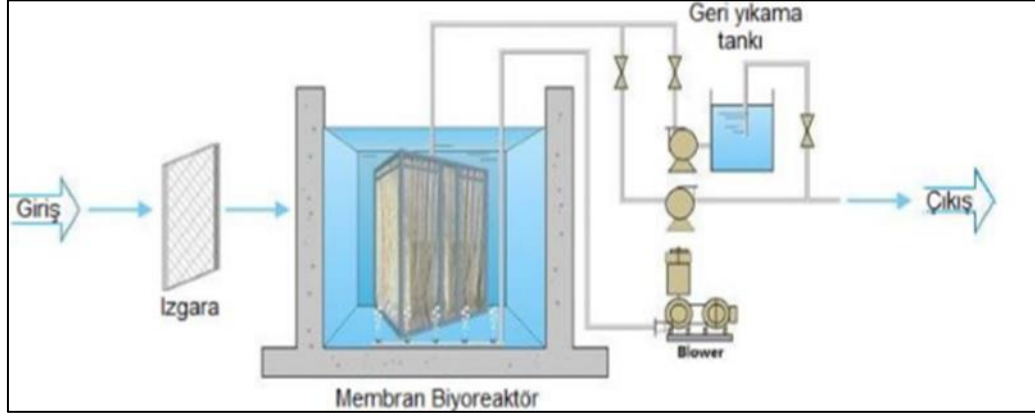
Membran kelime anlamı olarak; iki ortam arasında partiküllerin boyutuna göre geçişini sağlayan seçici-geçirgen bir malzemedir.

Şekil 2.3’te membran sistemlerin çalışma prensibi gösterilmiştir. Membran sistemler gözenekli veya gözeneksiz yapılardan oluşmuş olup iki ortam arasında ayrılma ve geçiş işlemine dayalı engellerdir. Bu işlemler sadece fiziksel değil aynı zamanda kimyasal olaylar ile de gerçekleşmektedir. Singh (1998)’e göre performansı belirleyen kriterler ise akı ve seçiciliktir (Aktaran: Salt ve Dinçer, 2006: 1).

Adham ve Gagliardo, (1998); Buisson ve diğerleri, (1998); Çicek, (1998); Crawford ve diğerleri, (2000); Liu, Huang, Wang, Chen ve Qian, (2000); Stephenson, Brindle, Judd ve Jefferson, (2000) göre Membran biyoreaktörler, membranlar vasıtasıyla atıksudan biyokütlenin fiziksel olarak arındırıldığı aktif çamur prosesleridir (Aktaran: Yiğit, 2007: 10).

Klasik aktif çamur sistemlerinde havalandırma reaktöründe oluşturulan biyokütle ayrımının gerçekleştiği ekstra bir çökeltme reaktörü bulunurken MBR sistemlerinde ekstra reaktöre ihtiyaç bulunmamaktadır. MBR’de aktif çamur oluşumu sağlandıktan sonra arıtılmış su alınmakta ve aktif çamur flokları kalmaktadır. Aktif çamur kütlelerine genel

olarak mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon uygulanmaktadır. Membranlarda oluşan kirlilik tabakası gözenekleri küçülterek arıtma verimini artırmaktadır (Judd, 2006: 99-100).



Şekil 2.3. Membran biyoreaktör prosesi (Şahinkaya, 2014: 5)

2.3. Membran Prosesleri

MBR sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar sayesinde birçok membran prosesi bulunmaktadır. En çok kullanılanları; MF (Mikrofiltrasyon), NF (Nanofiltrasyon), RO (Ters Ozmoz) ve ED (Elektrodiyaliz)'dir. PV (Pervaporasyon), gazların ayrıştırılması vb. teknolojilerin geliştirilmesine ise devam edilmektedir. En çok kullanılan membran proseslerinin başlıca özellikleri Çizelge 2.3' te gösterilmiştir. MF, UF ve NF'de ayırma işlemleri hemen hemen aynıdır ve partiküllerin membrandan geçişi şeklinde gerçekleşmektedir (Salt ve Dinçer, 2006: 8).

Çizelge 2.3. Membran proseslerinin başlıca özellikleri (Aydiner, 2006: 11)

Membran Proses	Ayırma Büyüklüğü (μm)	Ayırma Mekanizması	Tipik Membran Geçiş Basıncı, ΔP (MPa)	Süzüntü Akısı
MF	> 0.05	Eleme	0.03-0.3	Yüksek
UF	0.003-0.1	Eleme	0.05-0.5	Yüksek
NF	0.001-0.008	Difüzyon+Ayırma	0.5-1.5	Orta
RO	< 0.001	Difüzyon+Ayırma	5-8	Düşük

2.3.1. Mikrofiltrasyon

“Uzaklaştırılan partiküller yaklaşık 0.1-1 mikron aralığındadır. Genelde askıda katı maddeler ve büyük kolloidler atılırken makro moleküller ve çözünmüş maddeler membrandan geçer. Mikrofiltrasyon uygulamaları arasında bakterilerin, flok maddelerin veya askıda katı maddelerin uzaklaştırılması sayılabilir. Transmembran basıncı 0,7 bardır (10 psi)” (Kitiş, Yiğit, Köseoğlu ve Bekaroğlu, 2011: 6).

“Bu membranlar seçici geçirgen özellikte olup, büyük molekülle organik maddelerin yüksek konstrasyonlarda saflaştırmasına izin veren dinamik bir mekanik filtrasyon işlemi sunarlar....Seçici geçirgenlik için gerekli basıncın düşük olması (0,2-0,5 bar), ayırma için gerekli enerji miktarını da düşürür” (Aslan, 2016: 69).

Ripperger ve Altmann, (2002) mikrofiltrasyon uygulaması için şunları söylemiştir: “...Teknolojinin genel kullanım amaçları ise saf sıvı üretimi, değerli ürünlerin geri kazanımı için süspansiyonların konsantre edilmesi ve proses sıvılarının rejenere edilmesidir. MF bilinen en eski membran teknolojisi olup, uygulanabilirliği ilk olarak 1906 yılında Bechold tarafından ortaya konmuştur” (Aktaran: Aydın, 2006: 15).

2.3.2. Ultrafiltrasyon

“10-1000A⁰¹ aralığındaki partiküllerde makromoleküler ayırma gerçekleştirilir. Bütün çözünmüş tuzlar ve küçük moleküller membrandan geçer. Uzaklaştırılan maddeler arasında kolloidler, proteinler, mikrobiyolojik kontaminantlar ve büyük organik moleküller vardır. Transmembran basıncı 1-7 bardır” (Kitiş ve diğerleri, 2011: 7).

Weber (1972) 'e göre “Ekonomik ayırmayı sağlamak için ultrafiltrasyon membranı dar bir molekül ağırlığına ve düşük basınç farklarında yüksek çözücü akısına sahip olmalıdır” (Aktaran: Konuk, 2014: 69).

“Ultrafiltrasyonda 10 barın üstündeki yüksek basınçlarda özellikle mükemmel kimyasal ve ısıl kararlılıkları nedeniyle polivinilklorür ve politetrafloroetilenden yapılmış hidrofilik polimer asimetric membranlar kullanılır”(Konuk, 2014: 69).

¹ 1 A = 0,1 nanometre

“UF membranlar, su ve atıksu arıtımı uygulamalarının yanı sıra, ilaç, otomobil, kimya, gıda ve meşrubat endüstrilerinde kullanılmakta; aşuların, fermentasyon ürünlerinin, enzimlerin ve diğer proteinlerin ayrıştırılmasında kullanılmaktadır” (Aydiner, 2006: 11).

2.3.3. Nanofiltrasyon

“Yaklaşık 1 nm (10 Å) büyüklüğündeki partikülleri uzaklaştırır. Tipik uygulamalar arasında yüzey sularından renk ve toplam organik karbonun uzaklaştırılması, kuyu suyundan sertlik ve radyumun uzaklaştırılması, gıda ve atıksu uygulamalarında organik maddelerin anorganik kısımdan ayrılması sayılabilir” (Kitiş ve diğerleri, 2011: 7).

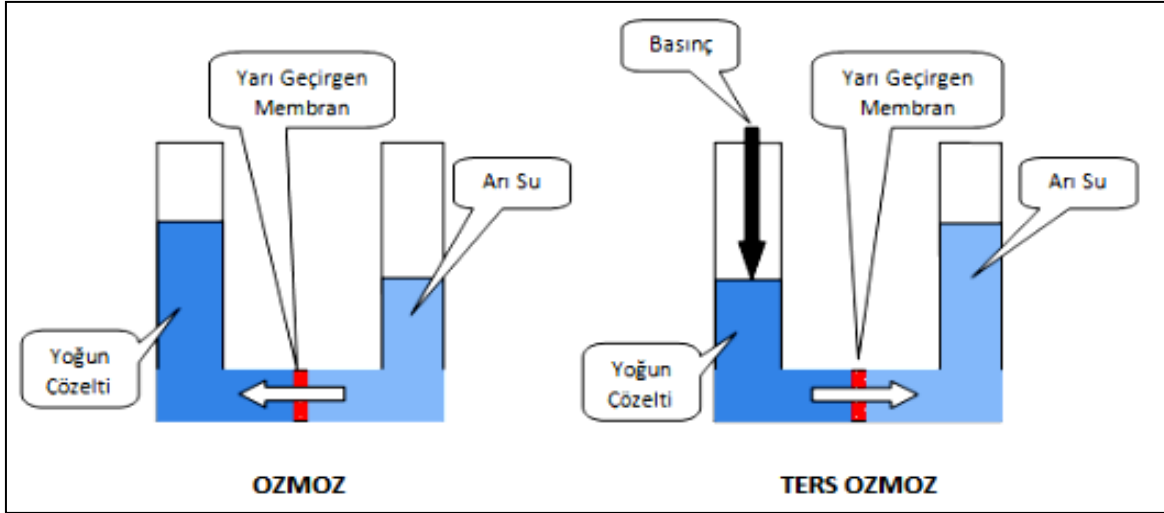
“Tipik bir Nanofiltrasyon prosesinin işletilmesinde basınç farkı ters ozmoz prosesine kıyasla 5 bar gibi çok daha düşük değerlerde olmasına karşılık, proseste daha fazla süzöntü akısı elde edilebilmektedir” (Aydiner, 2006: 11).

2.3.4. Ters ozmoz

Ters ozmoz ileri filtrasyon yönteminin kullanıldığı en yüksek düzeyde süzme yöntemidir. Adından da anlaşılacağı üzere ozmotik dengeyi ters çevirmek üzere uygulanan bir sistemdir. Bunun için ozmotik basınçtan daha çok basınç gereklidir.

“Basınçla çalışan bu proseste, su geçerken hemen hemen bütün iyonlar tutulmaktadır. Ters ozmozda, yarı geçirgen membrana uygulanan basınç, tuzlu solüsyonun osmotik basıncını aşmakta ve suyun içindeki çözülmüş tuzu bırakarak membrandan çıkmasını sağlamaktadır”(Konuk, 2014: 69). Şekil 2.4’te ozmoz ve ters ozmozun çalışma prensipleri gösterilmiştir.

“Ters ozmoz molekül ağırlığı 100’den büyük olan organik moleküllere bir engel-bariyer görevi yapar. Öte yandan su molekülleri membrandan serbestçe geçerek ürünü oluştururlar. Çözülmüş tuzların atılımı % 95-99 arasındadır” (Kitiş ve diğerleri, 2011: 7).



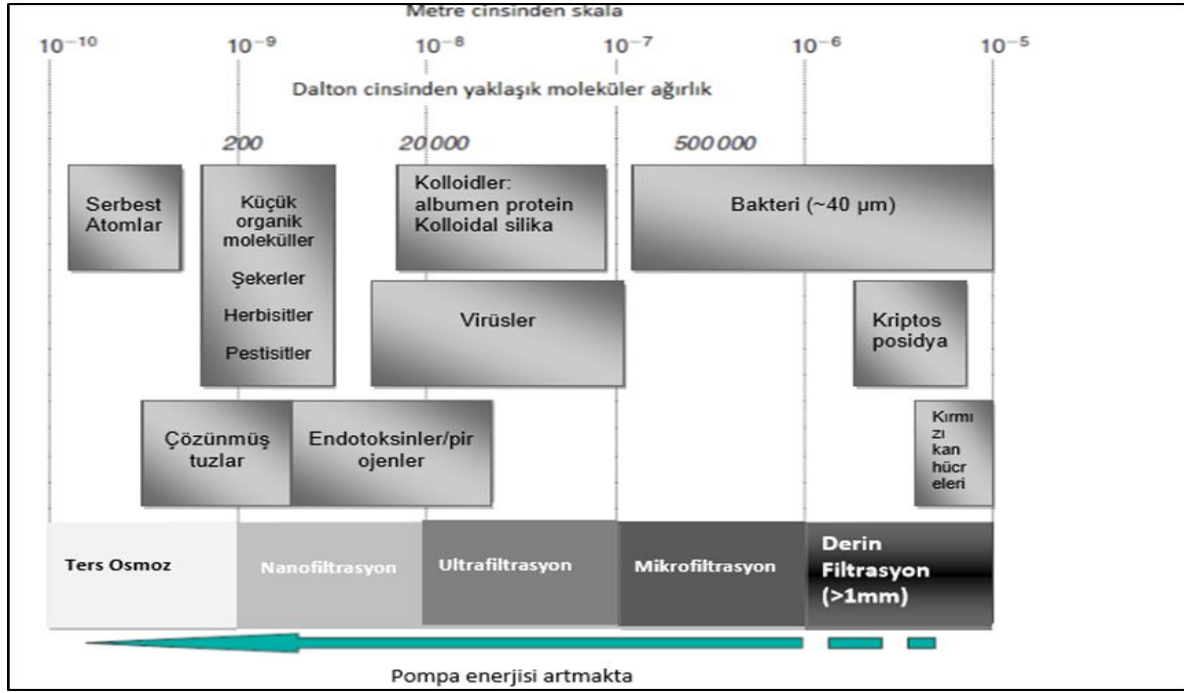
Şekil 2.4. Osmoz ve ters osmozun şematik anlatımı (Erkmen, 2013: 68)

Ters osmoz, su iyileştirme ve atıksuları arıtmak amacıyla kullanılmaktadır. İçme suyunun kısıtlı olduğu yerlerde tatlı su eldesinde ve sudaki sertliği giderilmesinde ters osmoz sistemi kullanılmaktadır. Resim 2.1’de Birleşik Arap Emirlikleri’nde bulunan dünyanın en büyük deniz suyundan içmesuyu elde etme tesisi gösterilmiştir. Tesisteki ana amaç tuzsuzlaştırmadır.



Resim 2.1. Abu Dhabi ters osmoz tuzsuzlaştırma tesisi (Aslan, 2016: 92)

Judd ve Jefferson (2003)'ün yapısı ve fonksiyonlarına göre yukarıda anlatılan membran ayırma yöntemlerini oluşturmuş olduğu bir çizelge halinde Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Membranların seçiciliği gözeneklerin çapına bağlı olarak değişmektedir. Gözenek çapı ile seçicilik ters orantılıdır. Çap en büyük olduğunda seçicilik en azdır. Ters ozmozda seçicilik en fazla, mikrofiltrasyonda ise en azdır (Aktaran: Şahinkaya, 2014: 9).



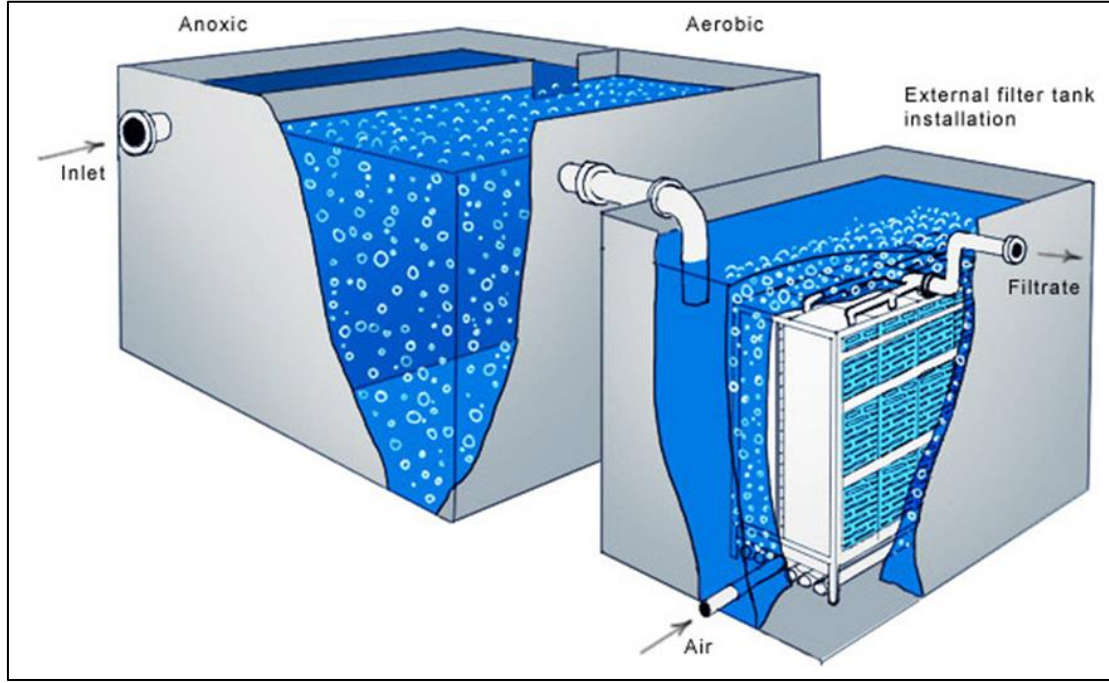
Şekil 2.5. Su ve atıksu arıtımında kullanılan membranların seçiciliklerine göre sınıflandırılması (Aktaran: Şahinkaya, 2014: 9)

2.4. MBR Konfigürasyonları

2.4.1. Aerobik prosesler

MBR proseslerinde genel olarak iki tip membran konfigürasyonu kullanılmaktadır. Bunlar harici membran ve batık membrandır. Hidrolik işletme şekli olarak da pompalı veya hava kaldırmalı olmak üzere iki kısımdır. Harici membranlar, membran üretiminin ilk yıllarında kullanılmaya başlanmış olup şu an ticari olarak daha çok batık membranlar kullanılmaktadır. Batık membranlar yüksek basınç ve debiden kaynaklı enerji kaybına sebep olmadıklarından harici membranlara göre tercih sebebidirler (Judd ve Claire, 2006/2015: 96). Harici membran sisteminde membran modülü tankın dışına konumlandırılarak havalandırma tankından alınan karışık sıvı membrana ulaştırılır. Şekil 2.6'da harici membran sistem şematik olarak gösterilmiştir. Batık membranlarda, membran

atıksuyun içine daldırılır ve ayırma işlemi burada gerçekleşir. Batık membrana ait örnek bir resim Resim 2.2.'de gösterilmiştir. Membranların tıkanma problemi olacağından kirlilik kontrolü gerektirir.



Şekil 2.6. Harici membran sisteminin şematik gösterilişi (Atac Solitions Store, 2016)



Resim 2.2. Batık tipli membran görünüşü (The Mcilvaine Company, 2016)

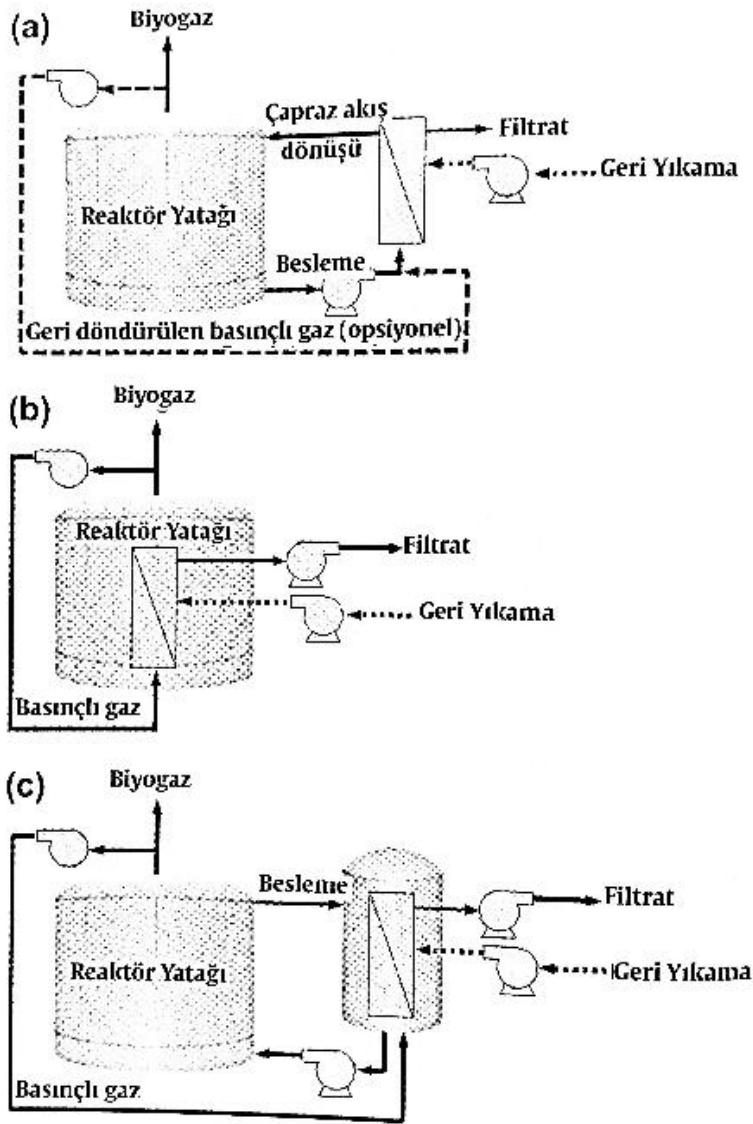
Konfigürasyon seçeneklerinden hangisinin uygulanacağına karar vermek uygulamaya bağlı olarak değişse de genellikle dahili membranlar daha çok kullanılmaktadır. Dahili membranlar yüksek basınç ve debi ile alakalı enerji kaybı bulunmadığından işletme maliyetleri göreceli olarak küçüktür. Buna karşın havalandırma masrafı ve temizleme periyodu daha azdır. Harici membranların ayrı bir tankta bulunması pompaj maliyetini artırır fakat ilk yatırım maliyetini düşürür. İki konfigürasyonun karşılaştırılması Çizelge 2.4'te sunulmuştur (Kitiş, Köseoğlu, Gül ve Ekinci, 2003: 469).

Çizelge 2.4. Membran konfigürasyonlarının karşılaştırılması (Kitiş ve diğerleri, 2003: 470)

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

2.4.2. Anaerobik prosesler

Anaerobik membranlar oksijensiz ortamda membran proseslerinden uygun olanının kullanılarak biyolojik arıtım ile birlikte katı / sıvı ayrımının gerçekleştiği atıksu arıtma sistemleridir. Proses konfigürasyonları temelde aerobik olan ile aynıdır (Şekil 2.7). Membran temizleme hava ile yapılmamaktadır. Sıvı pompalanması veya oluşan biyogaz ile temizleme yapılmaktadır (Judd ve Claire, 2006/2015: 99).



Şekil 2.7. Papukchiev (2009)'in çalışmasına göre anaerobik MBR'lerde akış düzenlemeleri: a) basınçlı harici çapraz akış b) batık vakum sürücülü c) yan akışlı vakum sürücülü (Aktaran : Judd ve Claire, 2006/2015: 100)

“Anaerobik membran biyoreaktörler, yüksek KOİ giderimi ve sistemde biyokütle tutulması gibi avantajları olmasına karşın, membran tıkanmasından kaynaklanan problemlerle karşı karşıyadır” (Yıldız, 2013: 6).

Anaerobik membran biyoreaktörler ile arıtma sistemleri aerobik olanlarda olduğu gibi batık ve yan akışlı/ayrık sistemler olarak tasarlanabilirler. Ancak işletme koşulları dikkate alınarak yapılan çalışmalarda ayrık sistemlerin işletilmesinin ve kontrolünün daha kolay olduğu ortaya konulmuştur. Membran temizleme ve membran modüllerinin değişmesi aşamalarında ayrık sistemler reaktörün içerisinde bulunmadığından işletim sürecini etkileyen bir durum oluşmamaktadır (Yıldız, 2013: 8).

Biyolojik arıtma yöntemlerinden aktif çamur sürecinin membran ayırma sistemiyle birleştirilmesinden membran biyoreaktör arıtma sistemleri oluşur (DeCarolis ve Adham, 2007: 2536-2538). Resim 2.3’de membran ayırmayı gerçekleştiren bir membran kaseti gösterilmektedir.

Batık membran sistemlerinde arıtma işlemlerinden havalandırma ve su/biyokütle ayrımı tek tankta gerçekleştiğinden bu sistemlerin şu anda mevcut durumdaki konvansiyonel atıksu arıtma tesislerine uygulanması kolaydır. Batık mebranlar bu sistemlere konumlandırılarak membran proses aktif hale getirilebilecektir (Yiğit, 2007: 13-14).



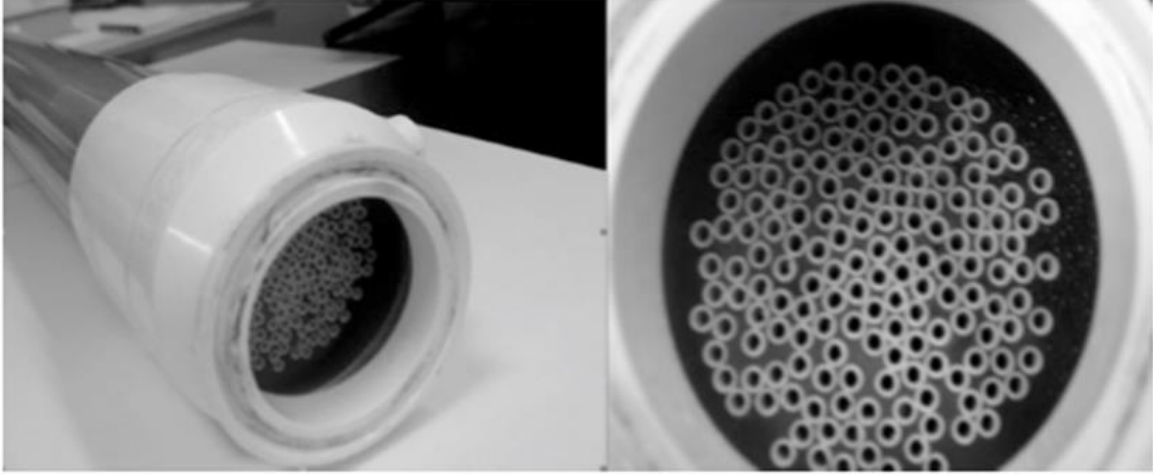
Resim 2.3. MBR membran kaseti (AlppMakina, 2016)

İyi bir membran yapılandırılırken model membran yüzeyinin ana modül hacmine oranının yüksekliği, besleme kısmında kütle transfer artırımı için türbülans, birim hacim su için düşük enerji tüketimi, membran için düşük maliyet, kolay temizlenmesi ve modüler yapıya izin vermesi gibi özelliklere dikkat edilmelidir (Judd ve Claire, 2006/2015: 63).

Membran konfigürasyonları düz ya da silindirik geometrik şekilli olmasına dayalıdır. Şu anda pratikte uygulanan 6 temel membran konfigürasyonu bulunmaktadır:

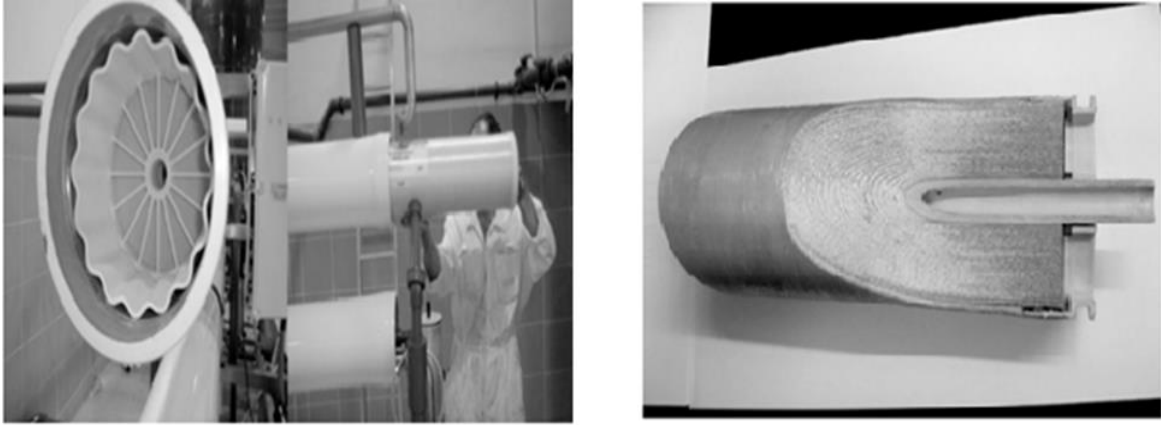
- “1. Boşluklu lif (HF)
2. Spiral sarmal (SW)
3. Tabaka ve çerçeve /düz levha (FS)
4. Katlanmış kartuş filtre (FC)
5. Çoklu (tübüler) (MT)
6. Kapiler Tüp (CT)” (Judd ve Claire, 2006/2015: 63)

HF modülünde, akış dıştan içe ve ayrıca içten dışa sağlanabilir (Resim 2.4).



Resim 2.4. Hollow fiber (HF) membran modül (Radjenovic, Matosic, Mijatovic, Petrovic ve Barceló, 2007: 43)

Spiral sarmal konfigürasyon çoğunlukla nanofiltrasyon ve ters ozmoz prosesleri için kullanılır. Membranlar süzütünün geçebileceği delikli tüpler üzerine sarılıdır. Spiral sarmal tüpler kurulumu kolaylaştırmak ve üretim maliyetlerini düşürmek için çoğu üretici tarafından genel olarak standart ölçülerde üretilirler. Çoğu membran modüller tesislerde seri veya bağlı olarak birlikte kurulabilirler (Resim 2.5).



Resim 2.5. Spiral sarmal membran ve kurulumu (Radjenovic ve diğerleri, 2007: 44-45)

Tabaka ve çerçeve/düz levha membran modüller ayırıcı ve/veya destekleyici FS membranları içerirler. Levhaların parçaları düz bir tabaka üzerine kenetlenirler. Su membrandan geçer ve süzüntü membran modülün içindeki vakumlu borular vasıtasıyla toplanır (Resim 2.6).

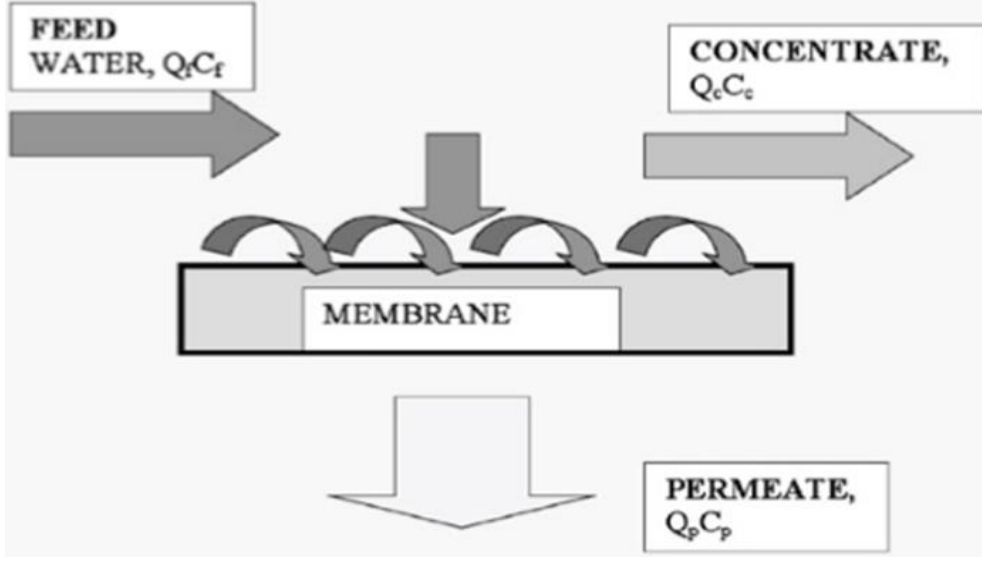


Resim 2.6. Tabaka ve çerçeve/düz levha modüller (Radjenovic ve diğerleri, 2007: 45)

Ayrıca Kapiler Tüp, tübüler ve katlanmış kartuş filtre tipleri de bulunmakta olup diğer üç modül kadar çok kullanılmamaktadır. Tübüler membranlar basınçlı borularda kapalıdır ve karışık su modüle pompalanır. Çoğunlukla yan akım konfigürasyonlarda kullanılırlar. HF ve FS modüller, süzüntü suyu için vakum sistemi kullanan karışık sıvı içerisinde gömülü olarak bulunurlar. HF membran modüllerinde, saç ve diğer tel gibi ince materyallerin membranları tıkayarak aşırı temizleme sıklıklarına sebep olmamaları için 0,8 mm-1,5 mm'lik ince elekler kullanılması önerilir. FS membran modülleri için ise genellikle 2-3 mm' lik ince elekler kullanılır (Radjenovic ve diğerleri, 2007: 43-44).

2.5. Membran Hidroliği

Membran bioreaktörlü arıtma süresince katı ve sıvı ayrımı MF ve UF membranlar tarafından gerçekleştirilir. Temel prensip Şekil 2.8'de gösterildiği üzere besleme suyunun membrandan geçerek ürün olarak süzüntü suyunu oluşturması ve geçemeyen kısmın konsantrasyon yada filtre edilemeyen kısım olarak oluşmasıdır. Sadece belirli bileşiklerin geçişine izin veren membran kapasitesi kısmi geçirgenlik olarak tanımlanır. Bu ayrılmış bileşiklerin kimyasal olarak değişmediği fiziksel bir procestir (Radjenovic ve diğerleri, 2007: 45-46).



Şekil 2.8. Membran filtrasyonun temel prensipleri (Radjenovic ve diğerleri, 2007: 46)

Prosesteki kütle dengesi eşitliği aşağıda gösterilmiştir.

$$Q_f C_f = Q_p C_p + Q_c C_c \quad (1.1)$$

Q_f = Besleme akışı

Q_p = Süzüntü

Q_c = Konsantre akışı

C_f = Besleme akışındaki çözülmüş konsantrasyon

C_c = Konsantredeki çözülmüş konsantrasyon

C_p = Süzüntüdeki çözülmüş konsantrasyon (Radjenovic ve diğerleri 2007: 46)

Membran reddetmesi¹ (rejection of solutes) ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$R = (C_f - C_p) / C_f \quad (1.2)$$

Cheryan (1998); Yıldız, Nuhoğlu, Keskinler, Akay ve Farizoğlu'na (2003) göre R değeri 1'e eşit olduğu zaman çözülmüş madde membranda tamamıyla tutulmuş olur, 0'a eşit olduğu zaman ise çözünen ve çözücünün hepsinin membrandan geçtiği anlaşılır (Aktaran: Aydiner, 2006: 14).

¹ Reddetme; "bir karışımdaki maddelere karşı membranın seçiciliği, membranın karışımdaki bir veya daha fazla maddeyi geçirmeyi reddetmesi veya süzüntü oranı (R) olarak tanımlanır" (Aydiner, 2006: 14)

Besleme akışındaki fraksiyonlar ürün yada geri kazanım denilen süzünüye dönüşürler. Membran proseslerde suyun geri kazanımı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$Y = Q_p / Q_f \quad (1.3)$$

$$Y = \text{Ürün} / \text{Geri Kazanım}$$

2.6. Membran Biyoreaktörlerin Avantajları

Membran Biyoreaktörler üzerine çalışmalar devam etmekte olup pilot ölçekli çalışmalar dışında gerçek boyutlarda birçok tesiste arıtma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu tesislerde gözlenen avantajlar aşağıda sıralanmıştır:

- Membran biyoreaktörlü sistemlerde düşük hidrolik bekleme süresi (HRT) arıtma verimini düşürmez. 12 000 - 15 000 mg/l gibi yüksek biyolojik askıda katı madde (MLSS) miktarlarında çalışılabilir. Bu da arıtma sistemi için gereken yatırım maliyetini düşürecektir. Ayrıca gereken alan ihtiyacı daha az olacaktır. Arazi fiyatlarının pahalı olduğu ve alan sıkıntısı yaşanan yerlerde önemli bir avantajdır.
- Membran biyoreaktörlü sistemlerde biyolojik askıda katı maddeler süzme yöntemiyle ayrıştırıldıkları için son çökeltim tankına gerek duyulmamaktadır. Bu sayede arıtma tesisi alan gereksinimi az olmakta ve mikrobiyal kütlelerin çökelememesinden kaynaklı işletme güçlükleri yaşanmamaktadır.
- Yüksek MLSS değerlerinde çalışılabildiği için çamur bekleme süresi (SRT) klasik aktif çamur sistemlerine göre daha fazla olabilmektedir.
- Yukarıda belirtilen çamur bekletme yaşının (SRT) fazla olabilmesi avantajı neticesinde; atıksuda bulunan mikroorganizmalar endojen respirasyon fazında çalışacaklar ve daha az çamur miktarı oluşacaktır.
- Nitrifikasyon bakterilerinin büyüme hızları düşüktür. MBR sistemlerinde çamur bekletme yaşının fazla olması dolayısıyla sistemde daha fazla tutulabilirler ve nitrifikasyon performansı yüksek olur.
- MBR sistemlerinde çamur yaşının yüksek olması ve membran ile süzme işlemi gerçekleşmesi sebebiyle büyüme hızı düşük olan bakteriler sistemde tutulmuş olacaktır. Bu sebeple toksik maddelerin giderilmesi diğer arıtma sistemlerine kıyasla daha yüksek olabilmektedir.

- Ülkemizde arıtma sistemlerinde genellikle uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemi kullanılmakta olup düşük besin-mikroorganizma oranı nedeniyle filamentli bakteriler baskın durumdadır. Çamur çökmesi probleminin olduğu işletmelerde çıkış suyunda bakteri kaçıışı olmakta ve çıkış suyu kalitesi bozulmakta ayrıca biyolojik askıda katı madde oranı azalarak arıtma verimi düşmektedir. MBR sistemlerinde MLSS filtrasyon yöntemiyle arıtıldığından çökme problemleri olmamaktadır.
- MBR sistemlerinde çıkış suyu AKM konsantrasyonları diğer klasik sistemlere oranla çok daha düşüktür.(1-3 mg/l)
- MBR sistemlerinin çıkış suyu BOİ ve KOİ konsantrasyonları çok düşüktür. Ayrıca yüksek seviyede filtrasyon sayesinde AKM ve partikül madde miktarları da düşük olduğundan MBR sistemlerinin çıkış suları park, bahçe sulama, tarımsal sulama, yangın söndürme gibi birçok alanda geri kazanılabilmektedir.
- MBR sistemlerinde yüksek miktarda fiziksel dezenfeksiyon gerçekleşir. Bazı bakteriler kloro karşı dayanıklıdır. Ancak MBR sistemleri fiziksel ayırım gerçekleştirdikleri için özellikle ultrafiltrasyon yöntemiyle kolaylıkla tutulurlar ve çıkış suları geri kazanıma uygundur (Şahinkaya, 2014: 9-10).

2.7. Membran Biyoreaktörlerin Dezavantajları

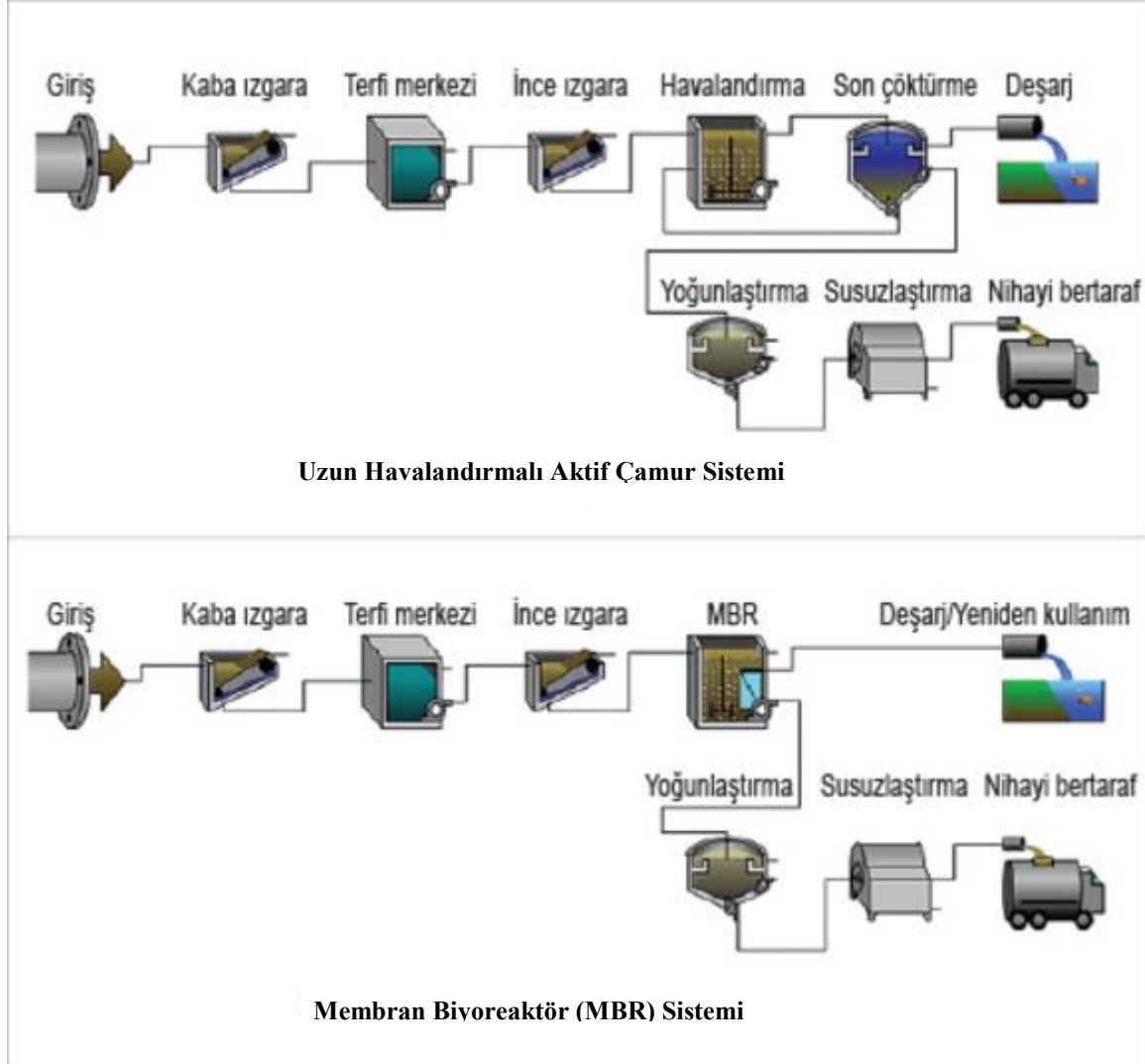
MBR'lerin yukarıda sayılan birçok avantajının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Membran biyoreaktörlerin ilk yatırım maliyeti yüksektir. Ancak gelişen teknoloji sayesinde membran maliyetlerinin gelecekte daha düşük olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca membranların ömrünü tamamladıktan sonra değiştirilmesi ihtiyacı ve yüksek enerji gereksinimleri sebebiyle de işletme maliyetleri de yüksek olabilmektedir. Membran kirlenme problemleri de bir başka dezavantajı olarak sıralanabilir.

2.8. MBR Atıksu Arıtma Tesislerinin Performans Değerlendirmesi

2.8.1. MBR teknolojlili tesislerin proses karşılaştırması

Genel olarak, membran sistemlerin klasik aktif çamur sistemiyle akış diyagramı olarak gösterilişi Şekil 2.9'daki gibidir. Ön arıtmadan geçen atıksuya, havalandırma havuzlarında biyolojik arıtım uygulanır. Membran olan sistemlerde biyolojik arıtım ve

fiziksel olarak süzme işlemi gerçekleştirilir. Arıtma verimi yüksek olduğundan yeniden kullanım imkânı bulunmaktadır.



Şekil 2.9. Klasik aktif çamur prosesi ile membran prosesinin şematik gösterilişi (Su ve Çevre Dergisi, 2016)

Gander, Jefferson ve Judd (2000)'nin, membran biyoreaktörler ile konvansiyonel sistemleri organik yükleme hızları ve giderim verimleri açısından karşılaştırması Çizelge 2.5 'da gösterilmiştir (Aktaran: Yiğit, 2007: 25).

Çizelge 2.5. Arıtma proseslerine göre organik yükleme hızları¹ (Aktaran: Yiğit, 2007: 25)

Reaktör	Organik Yükleme Hızı (kg BOİ ₅ /m ³ -gün)	HRT (saat)	Giderim Yüzdesi
BAF:			
Aşağı akışlı	1,5 (KOİ)	1,3	93
Aşağı akışlı	7,5	-	75
Yukarı akımlı	4	-	>93
TF:			
Düşük hızlı	0,08–0,40	-	80–90
Orta hızlı	0,24–0,48	-	50–70
Yüksek hızlı	0,48–0,96	-	65–85
ASP:			
Kademeli kesikli	0,08–0,24	12–50	85–95
Konvansiyonel	0,32–0,64	4–8	85–95
Tam karışımli	0,80–1,92	3–5	85–95
Yüksek hızlı havalandırmalı	1,6–16	2–4	75–90
MBR:			
Batık: Düz tabakalı (Kubota)	0,39–0,70 0,03–0,06	7,6 1	99 98–99
Gözenekli fiber (Tech Sep)	0,005–0,110 1,5 (KOİ)	8 0,5	98 87–95
Düz tabakalı	0,18	24–95	-
Gözenekli fiber	0,45–1,50 (KOİ)	8	88–95

“MBR’larda organik yükleme hızları genellikle damlatmalı filtrelerden, kademeli kesikli ve konvansiyonel aktif çamurdan düşük HRT’lerden dolayı daha fazladır. Diğer yandan MBR’larda organik yükleme hızları biyolojik havalandırmalı filtrelerden, tam karışımli ve yüksek hızlı havalandırmalı aktif çamur proseslerinden daha azdır” (Yiğit, 2007: 25).

Membran sistemlerin en önemli avantajlarından birisi de çamur üretiminin az olmasıdır. Mayhew ve Stephenson (1997)’ın çalışmalarına göre Çizelge 2.6’da farklı arıtma sistemlerinden oluşan çamur miktarları verilmiştir Kg BOİ₅ başına düşen çamur miktarı konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde 0,6 kg iken batık tip membranda bu miktar yarıya düşebilmektedir (Aktaran: Yiğit, 2007: 26).

¹ BAF: Biyolojik havalandırmalı filtre, TF: Damlatmalı filtre, ASP: Aktif Çamur Prosesi

Çizelge 2.6. Arıtma proseslerine göre çamur üretim miktarları (Aktaran: Yiğit, 2007: 26)

Arıtma prosesi	Çamur üretimi (kg/kg BOİ ₅)
Batık tip MBR	0,0–0,3
Düzenli medya biyolojik havalandırılmalı filtre	0,15–0,25
Damlatılmalı filtre	0,3–0,5
Konvansiyonel aktif çamur	0,6
Granüler medya biyolojik havalandırılmalı filtre	0,63–1,06

2.8.2. MBR teknoloji tesislerin maliyet karşılaştırması

Zenon Environmental Inc. ve O'brien & Gere Engineers Inc. (2004) firmaları tarafından hazırlanan bir raporda, Suffolk şehri için, membran sistemlerin maliyet analizi yapılmış ve aktif çamur sistemleriyle karşılaştırılmıştır. Analizde kullanılan arıtma tesisinin kapasitesi 300 000 Galon/gün (1136,62 m³/gün)'dür. Yatırım ve işletme maliyetlerinin karşılaştırması Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. MBR ve aktif çamur sistemlerinin ekonomik karşılaştırması (Zenon Environmental Inc. ve O'brien & Gere Engineers Inc., 2004: 51-52)

		MBR Sistemler (\$)	Aktif Çamur Sistemleri (\$)
Yatırım Maliyetleri	Kurulum ve Mühendislik	15 000	70 000
	Proses Ekipmanları	1 180 000	360 000
	Proses Ekipmanları (Filtreler)	-----	260 000
	Proses Tankları	130 000	445 000
	Proses boru, valf ve tesisatları	35 000	85 000
	Elektrik, cihaz ve kontroller	135 000	120 000
	Ara Toplam	1 495 000	1 340 000
	Mühendislik, Yasal İşlemler vb.	374 000	335 000
	Toplam	1 869 000	1 675 000
İşletme ve Bakım Maliyetleri	Enerji ¹	39 300 \$/yıl	29 500 \$/yıl
	Parça ve Tamir	15 000 \$/yıl	9300 \$/yıl
	Kimyasallar	2000 \$/yıl	-----
	Üretici Servisi (Yıllık ve Rutin)	12 000 \$/yıl	-----
	İşletme	37 400 \$/yıl	37 400 \$/yıl
	Toplam	105 700 \$/yıl	76 200 \$/yıl

¹ Kw-saati 0,12 \$ 'dan MBR Sistemler için yıllık 327 500 Kw, Aktif Çamur sistemleri için 246 000 Kw olarak hesaplanmıştır.

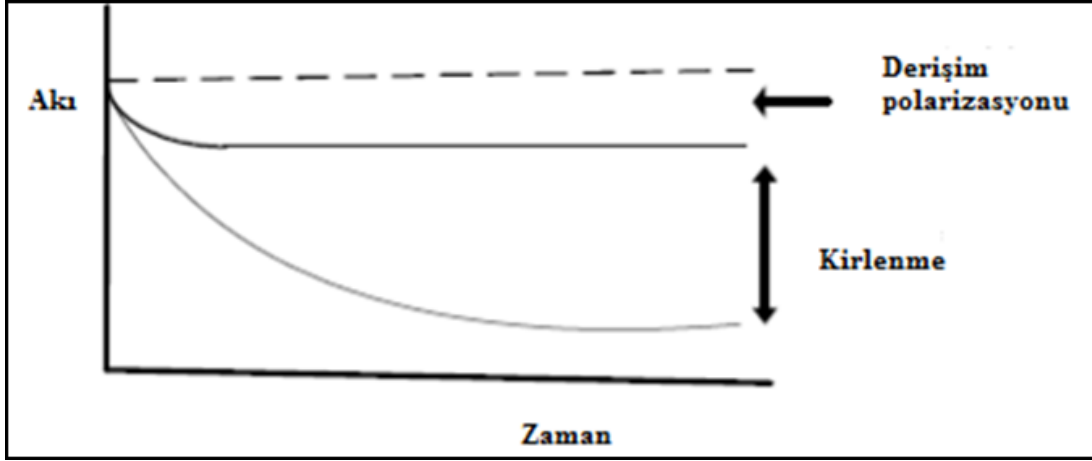
Çizelge 2.7'den de görüldüğü üzere ilk yatırım ve işletme maliyetleri her iki kalemde de aktif çamur sistemlere göre daha yüksektir.

2.9. Membran Malzemeleri

Membran malzemeleri genel olarak polimerik ve seramik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Spesifik durumlar için kullanılan metalik membran malzemeler ise MBR teknolojisi ile ilgili değildir. Başlangıçta ticari olarak üretilen membran malzemelerinin ham maddesi PS (Polisülfon), CA (Selüloz Asetat) ve PP (Polipropilen) iken günümüzde genel olarak membran pazarında PES (Polietersülfon), PVDF (Polivinilidin diflorür) veya PE(Polietilen) malzemeler kullanılmaktadır. Membran malzemelerinde kimyasal direnç çok önemlidir. PS ve PES membranlar 1,5-13 pH arasında çalışabilir ve kimyasal temizleme için çok yüksek olmamakla birlikte orta klor seviyelerinde çalışabilir. PVDF membranlar ise pH 11'in üzerine çıkarsa kullanılamazlar. CA'ların kimyasal direnci sınırlı olup biyolojik olarak parçalanabilir olmasından dolayı MBR'ler için uygun değildir(Judd ve Claire, 2006/2015: 58-62).

2.10. Membran Kirlenmesi/Tıkanması Problemi

Membran tıkanması kentsel ve endüstriyel atıksu arıtmada MBR prosesini işletmede karşımıza çıkan, işletme maliyetlerini arttıran en önemli problemlerden biridir. Tıkanma membran gözeneklerinde biriken partiküllerin giderek artması sonucu oluşur. "Yatışkın durum koşullarına ulaşıldığında akı gözlenmez, akı artık zamanın bir fonksiyonu olan bir sabit olacaktır. Polarizasyon olayları tersinir süreçlerdir, fakat uygulamalarda, akıda sürekli bir azalma sıklıkla gözlemlenebilir" (Erkmen, 2013: 56). Zamana karşı akı azalması Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

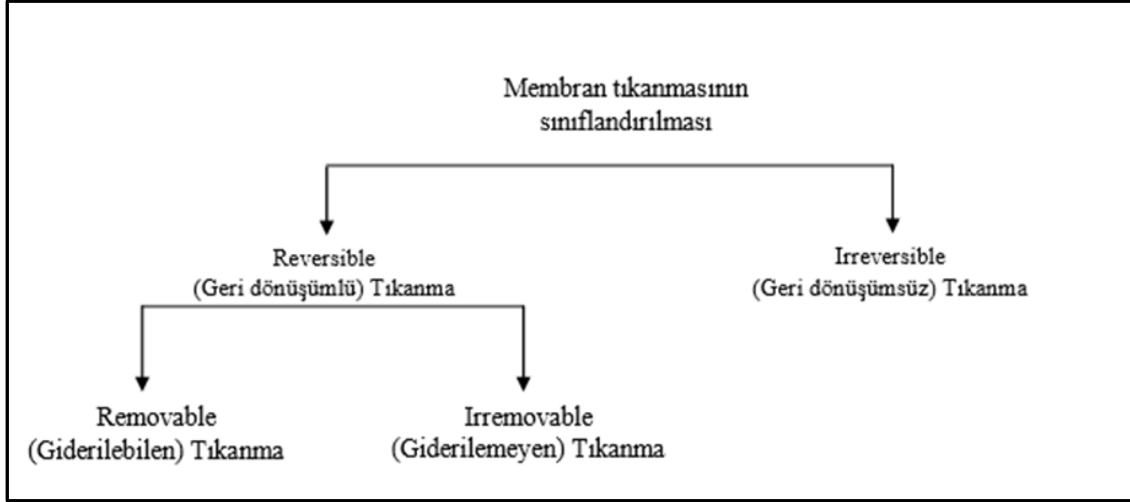


Şekil 2.10. Zamana karşı akı azalmasında derişim polarizasyonu ve kirliliğin ayırımı (Mulder, 1997: 447)

Akı azalmasında etkili olan beş farklı durum vardır: (Aydiner, 2006: 22)

- “konsantrasyon polarizasyonu
- kek tabakası oluşumu
- inorganik çökme
- organik adsorpsiyon ve
- biyolojik kirlenme”

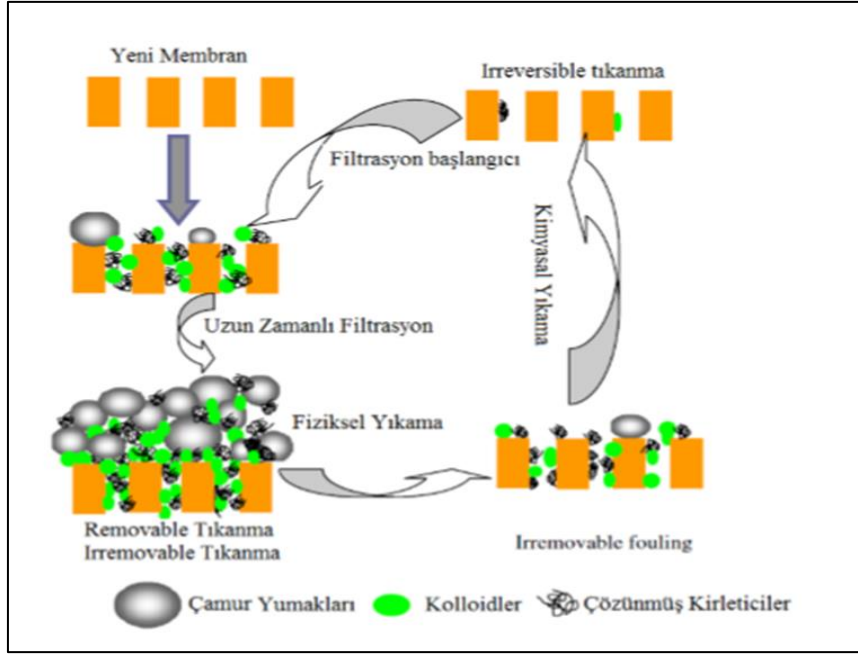
Lin ve diğeri (2013) ile Meng ve diğeri (2009) yapmış olduğu çalışmalara göre kirlenmelerin boyutları tıkanma durumunu etkilemektedir. Kirlenmeler membran çapına yakın veya daha küçük boyuttaysa tıkanma durumu ortaya çıkacaktır. Eğer tam tersi durum var ise yani çap daha küçük ise yüzey kek tabakası kirlenmesi olmaktadır. Membran tabakasının sınıflandırılması Şekil 2.11’de gösterilmiştir (Aktaran: Şahinkaya, 2014: 33).



Şekil 2.11. Lin ve diğerleri (2013) ile Meng ve diğerlerinin (2009) oluşturmuş olduğu membran tıkanmasının sınıflandırılması (Aktaran: Şahinkaya, 2014: 34)

Geri dönüşümlü tıkanmalarda membrandan geçen süzüntü akısının azalmasına müdahale edilerek akı eski optimum şartlarına getirilebilir. Geri dönüşümsüz tıkanmalarda ise akı tekrar normal çalışma şartlarına yükseltilemez.

Geri dönüşümlü tıkanmalar genellikle yüzeyde kek tabakası oluşması sebebiyle olur ve fiziksel yöntemlerle giderilebilir. Küçük partiküllerin membran porlarının içine girmesi ve sıkı bağlanan organik maddeler nedeniyle tersinemez olan ve yalnızca kimyasal yöntemlerle giderilebilen iç kirlenmeye sebep olur (Razbonyalı, 2013: 12). Özetle söylemek gerekirse giderilebilen tıkanmalar kek tabakasından, giderilemeyen tıkanmalar ise gözenek tabakasından oluşur. Meng ve diğerlerinin (2009) çalışmaları sonucu oluşturmuş oldukları tıkanma süreci Şekil 2.12’de gösterilmiştir (Aktaran: Şahinkaya, 2014: 34).



Şekil 2.12. Membran tıkanmasının şematik gösterimi (Aktaran: Şahinkaya, 2014: 34)

Meng ve diğerleri, (2009)' nin yapmış olduğu çalışmalara göre; Yüzeyde oluşan kek tabakasındaki tıkanmanın giderilmesinde aerobik proseslerde havalandırma, anaerobik proseslerde ise oluşan biyogaz kullanılır. Ancak hücre dışı biyopolimerler sebebiyle kek tabakasında tıkanıklığın giderilmesi zorlaşmaktadır. Çözünmüş maddeler, bakterilerin bir kısmı zamanla adsorblanarak, inorganik maddeler çökerek kirlenmeyi artırır. Kritik akının artması kimyasal kullanımını artırır ve membran ömrünü kısaltır (Aktaran: Şahinkaya, 2014: 35).

“Tıkanma problemlerinin genel olarak organik maddelerden olduğu vurgulanmış olsa da bazı çalışmalarda inorganik maddelerin çökmesinin de tıkanmaya katkıda bulunacağı belirtilmiştir. Anaerobik MBR’lerde struvit ($MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$) çökmesi vurgulanmıştır. Ayrıca, aerobik reaktörlerde $CaCO_3$ çökmesinin membran tıkanmasını arttıracığı da yine vurgulanmıştır” (Şahinkaya, 2014: 35).

Chang ve diğerleri (2001, 2002); Judd (2001); Le-Clech ve diğerlerine (2006) göre tıkanmaya etki eden dört ana faktör aşağıdaki gibidir: (Aktaran: Yiğit, 2007: 30)

- Proses konfigürasyonu
- Membran materyali ve konfigürasyonu (geometrisi)
- Proses işletimi (sistem hidrodinamiği)

- Biyokütle konsantrasyonu ve kompozisyonu

2.11. Ülkemizde MBR Uygulaması Yapılan Pilot Uygulamalar

Türkiye’de ilk büyük ölçekli membran biyoreaktör sistemi, ODTÜ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi) yerleşkesinde araştırma amaçlı olarak çıkış sularının çim sulamada kullanılması için kurulmuştur. Arıtılmış suyun sulama sistemine bağlanmasıyla kapasitesi 200 m³/g olan arıtma tesisinin gerçekleştirdiği tasarruf yaklaşık 240 bin TL/yıl olmuştur (ODTÜ, 2013).

Bir diğer uygulama ise İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi)’ye ait Ataköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisi’nde pilot ölçekli olarak batık seramik membran uygulamasıdır. Tesisin kapasitesi maksimum 45 m³/gün dür. Pilot uygulama 2013 yılında devreye alınmış olup tesisin laboratuvar analiz sonuçları Çizelge 2.8’deki gibidir. Arıtma sonucu tesisin ortalama arıtma verimi BOİ ve AKM parametrelerinde %99 gibi yüksek oranlarda olmuştur. Bu durum çıkış suyu kalitesinin ne kadar iyi olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2.8. Ataköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisi giriş- çıkış su analizleri (Teknik Debi Mühendislik, 2016)

Parametreler	GİRİŞ			ÇIKIŞ			VERİM
	Min.	Max.	Ortalama	Min.	Max.	Ortalama	Ortalama Giderim
pH	7,14	8,28	7,75	7,21	8,12	7,68	-
AKM (mg/l)	92	1730	477	1	11	4	%99
KOİ (mg/l)	492	908	652	6	45	30	%95
BOİ (mg/l)	200	500	362	1	7	4	%99
TN (mg/l)	43	104	72	11	62	19	%73
NH4-N (mg/l)	20	68	49	0,12	46	9	%82
Fekal Koliform (mpn/ 100 ml)	-	-	-	0	11	5,5	-

Ülkemizde pilot ölçekli membran uygulamaları özel sektör ve Üniversiteler tarafından yapılmaya devam etmektedir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Tez çalışması kapsamında İlbank A.Ş. tarafından finanse edilen dört adet membran biyoreaktörlü arıtma tesisine ait veriler incelenmiştir. Bu tesislere ait bilgiler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Arıtma tesislerinin konum ve nüfusları

	Tesis Adı	Konumu	Nüfusu
1	İzmit MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	İzmit (BURSA)	89 500
2	Finike MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Finike (ANTALYA)	86 000
3	Gazipaşa MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Gazipaşa (ANTALYA)	100 000
4	Konacık MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Konacık (MUĞLA)	30 000

3.2. Metod

Bu çalışmada yukarıda belirtilen arıtma tesislerinin ilk yatırım maliyetleri, arıtma performansları, analiz sonuçları değerlendirilerek şekillerle anlatılmıştır. Yatırım maliyetleri güncellenirken ortalama %10 fiyat farkı eklenmiş ve Yapı Tesis ve Onarım İhalelerine Katılma Yönetmeliği gereğince 2016 yılı katsayıları ile çarpılmış olup KDV (Katma Değer Vergisi) dahil edilmemiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez kapsamında araştırılan ve İlbank A.Ş. tarafından yerel yönetimlere finansman sağlamak üzere yatırımlarına katkıda bulunduğu membran sistem içeren evsel atıksu arıtma tesisleri ile ilgili bilgiler aşağıda sunulmuştur.

4.1. Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi

İlbank A.Ş. tarafından finansmanı sağlanan Konacık (MUĞLA) Evsel Atıksu Arıtma Tesisi'ne membran biyoreaktör uygulaması yapılmıştır. İlbank A.Ş.'nin finanse ettiği ilk membran biyoreaktör teknoloji atıksu arıtma tesisidir. Arıtma tesisinin akım şeması Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Tesiste bulunan tanklar betonarmedir. Giriş suyu 3 mm 'lik ızgaralardan geçmekte dengeleme tankına ulaştıktan sonra havalandırma tankına gelmektedir. Tesiste iki adet membran tankı bulunmaktadır. Izgara ve giriş bölümünde koku kontrolü yapılmaktadır.



Şekil 4.1. Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi'nin şematik gösterimi (Mbr Atıksu Arıtma Sistemleri Ltd., 2016)

Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi' nin tasarım verileri Çizelge 4.1'de ve tesis çıkış suyu değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmiş olup elde edilen çıkış suyu kalitesi en sıkı yönetmelikleri karşılamaktadır. İki etap halinde yapılan arıtma tesisinin birinci etabı 10 000 kişilik, ikinci etabı tamamlanınca da toplam 20 000 kişilik nüfusa hizmet verecek şekilde 3600 m² alan üzerinde projelendirilmiştir. Toplamda 30 000 kişi, 3000 m³/gün kapasiteye ulaşacak olan Arıtma Tesisi'nin maliyeti birinci etap 5 710

197,03 TL (EKAP, 2007) ve ikinci etap 3 286 493,69 TL (EKAP, 2011) olmak üzere toplam 8 996 690,72 TL'ye inşa edilmiştir.

Çizelge 4.1. Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi giriş atıksu tasarım verileri (MBR Atıksu Arıtma Sistemleri Ltd., 2016)

Giriş suyu ortalama yükü:		Çıkış suyu standardı:		
BOİ:	375 mg/l	TDS: 5 000 mg/l	BOİ:	5 mg/l
KOİ:	800 mg/l		Toplam N:	10 mg/l
TKN:	45 mg/l		Toplam P:	1 mg/l
NH3 – N:	40 mg/l		NH3 – N:	2 mg/l
AKM:	300 mg/l		AKM:	5 mg/l

Çizelge 4.2. Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi çıkış arıtılmış su verileri (Mbr Atıksu Arıtma Sistemleri Ltd., 2016)

BOİ	<5 mg/l
Amonyak	<1 mg/l
TKN	<7 mg/l
KOİ	<60 mg/l
Parazit	sıfır

Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisinden çıkan arıtılmış sular yüzme suyu kalitesindedir. Konacık'ta arıtılmış sular için ayrı bir şebeke yapılmıştır ve bu şebekeyle arıtılıp geri kazanılan sular park bahçe sulamada kullanılmaktadır.

Atıksu analizlerine göre; askıda katı madde oranı ortalama 2720 mg/l civarı olmakta, azot parametresinde ise 40 mg/l ile 120 mg/l arası değişkenlik görülmüş olup ortalama 84 mg/l toplam azot girişi saptanmıştır. 2009 ile 2010 yılları arası sonuçlara göre toplam fosfor miktarı 3,59 mg/l'dir. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de 2009 ve 2010 yıllarına ait atıksu analiz sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Konacık (MUĞLA) Atıksu Arıtma Tesisi giriş suyu analiz sonuçları
(Karaduman, 2011: 101)

	<i>GİRİŞ DEBİ</i>	<i>AKM</i>	<i>TN</i>	<i>TP</i>
	<i>m³/gün</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>
Şub-09	450	212	-	-
Mar-09	500	250	65	3.2
Nis-09	630	235	100	3.1
May-09	700	300	120	2.8
Haz-09	730	280	85	2.5
Tem-09	800	250	120	3.8
Ağu-09	900	300	61	3.5
Eyl-09	1060	290	80	3.4
Eki-09	1050	270	90	4.5
Kas-09	1070	260	95	2.8
Ara-09	1090	240	80	2.9
Oca-10	1090	290	80	2.8
Şub-10	1100	290	104	2.7
Mar-10	1100	280	120	2.7
Nis-10	1100	300	94	2.7
May-10	1100	250	70	2.9
Haz-10	1100	260	63	3
Tem-10	1200	300	102	3.8
Ağu-10	1200	310	90	4.5
Eyl-10	1200	290	80	5
Eki-10	1200	280	55	6
Kas-10	1200	300	55	5
Ara-10	1200	220	40	5.5
Min	450	212	40	2.5
Max	1200	310	120	6
Mean	990	272.0435	84.04545	3.595455
Std Dev	235.2175	28.03647	22.22285	1.031632

Çizelge 4.4. Konacık (MUĞLA) Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu analiz sonuçları
(Karaduman, 2011: 102)

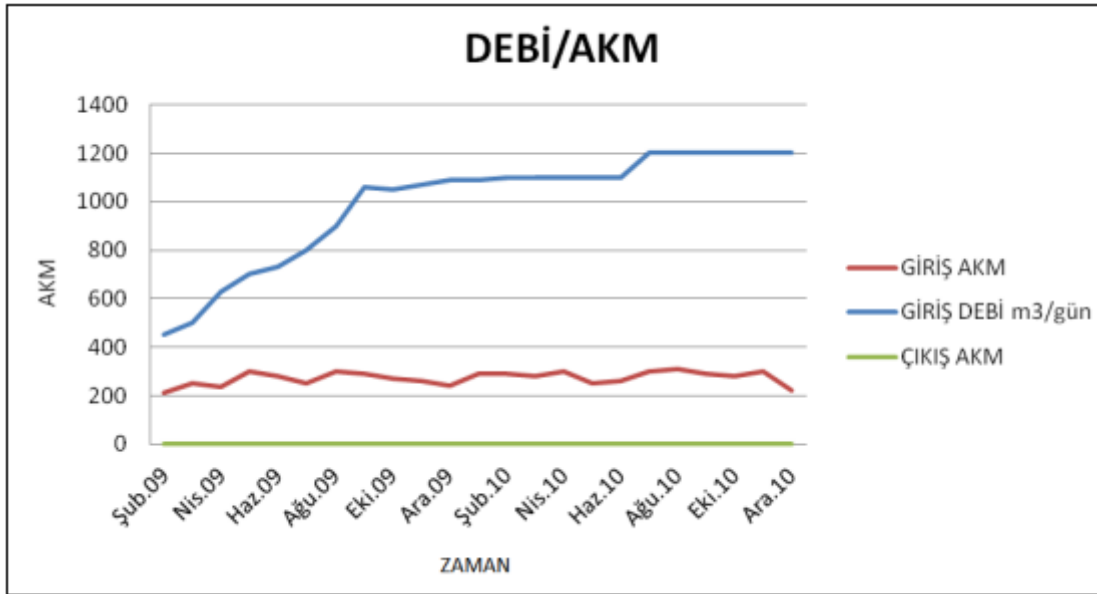
	AKM	TN	TP
	mg/L	mg/L	mg/L
Şub-09	0	-	-
Mar-09	0	45	0.5
Nis-09	0	50	1
May-09	0	70	0.6
Haz-09	0	56	0.7
Tem-09	0	75	2
Ağu-09	0	37	1.2
Eyl-09	0	50	1.1
Eki-09	0	40	1.5
Kas-09	0	50	1
Ara-09	0	35	0.9
Oca-10	0	45	0.5
Şub-10	0	40	0.7
Mar-10	0	50	0.7
Nis-10	0	7	0.7
May-10	0	11	1
Haz-10	0	8	1.5
Tem-10	0	6	0.9
Ağu-10	0	9	0.7
Eyl-10	0	7	2.7
Eki-10	0	6	3
Kas-10	0	6	2.5
Ara-10	0	6	2.3
Min	0	6	0.5
Max	0	75	3
Mean	0	32.22727	1.259091
Std Dev	0	23.05672	0.756973

Arıtılmış atıksu analiz değerleri incelendiğinde askıda katı madde miktarı hep sıfır olmuştur. Toplam azot miktarı Mart 2010'a kadar Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliğinde belirtilen sınır değer (Çizelge 4.5) üzerine çıkmış ancak daha sonra düzelmiştir. Toplam fosfor ise aynı yönetmeliğin standartlarına göre sınır değer altında seyretmiştir.

Çizelge 4.5. Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği ileri arıtma deşarj limitleri (Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği, 2006)

Parametreler	Konsantrasyon	Minimum arıtma verimi (%)	Referans Ölçüm Metodu
Toplam fosfor	2 mg/l P (10000-100000 E.N.) 1 mg/l P (100 000 E.N.'den fazla)	80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre
Toplam azot	15 mg/l N (10000-100000 E.N.) 10 mg/l N (100 000 E.N.'den fazla)	70-80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre

Şekil 4.2'de 2009 ve 2010 yıllarına ait atıksu debisine göre AKM giriş ve çıkış değerleri gösterilmiştir. Debi miktarları yaz aylarına doğru artmasına rağmen debi miktarı sabit kalmış ve arıtma çıkış suyunda AKM değerleri membran teknolojisinden de beklenildiği gibi hep sıfır olmuştur.



Şekil 4.2. Konacık Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) debi ve giriş-çıkış AKM grafiği (Karaduman, 2011: 103)

2016 yılında elde edilen arıtma tesisi çıkış suyu verileri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Analiz sonuçları Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde (SKKY) belirtilen deşarj standartlarının (Çizelge 4.7) çok çok altında çıkmıştır (SKKY, 2004). Askıda katı madde içeriğinin sıfır değerinden 10-20 mg/l değerlerine artması dikkat çekmektedir.

Çizelge 4.6. Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları¹

Çıkış suyu	Mayıs 2016	Haziran 2016	Temmuz 2016
BOİ	24 mg/l	<10 mg/l	<10 mg/l
KOİ	51,7 mg/l	15,4 mg/l	18,8 mg/l
AKM	20 mg/l	<10 mg/l	<10 mg/l
pH	7	7,59	7,48

Çizelge 4.7. SKKY nüfusu 10 000-100 000 kişi arası yerleşim yerleri için evsel nitelikli atıksu alıcı ortam deşarj limitleri (SKKY, 2004)

Parametreler	Birim	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
BOİ₅	mg/l	50	45
KOİ	mg/l	140	100
AKM	mg/l	45	30
pH	-	6-9	6-9

4.2. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi

29.08.2013 tarihinde ihale edilmiş İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi yapım işinin yaklaşık maliyeti 13 540 543,16 TL ve arıtma tesisi yüklenici teklifi 9 227 761,50 TL 'dir. Arıtma tesisinin inşa edildiği arazi 7045 m²'dir.

İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi, kanalizasyon ve atıksu arıtma tesisi ile birlikte ihale edilmiş olup arıtma tesisinin inşa maliyeti 12 799 827,98 TL'dir.

Kullanılan suyun % 80'inin kanalizasyona geri döneceği kabul edilerek İlbank A.Ş. onaylı kanalizasyon projesinde ve AAT Projesinde hesaplanan günlük evsel su kullanım debileri aşağıda Çizelge 4.8'de verilmiştir.

¹ Atıksu analiz sonuçları Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi tesis yetkilisinin değerli izinleriyle alınmıştır.

Çizelge 4.8. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi nüfus ve atıksu debi hesabı (İlbank A.Ş. Onaylı Kanalizasyon Projesi, 2012; İlbank A.Ş. Onaylı AAT Projesi, 2014)

Yıllar	Yaz Nüfusu	Q (l/sn) ¹	Evsel Atıksu (Q*0,80)	
			m ³ /gün	l/sn
2027	59 000	86,04	5947,2	68,83
2047	89 500	130,52	9021,6	104,42

Projedeki kirlilik konsantrasyon değerleri aşağıda gösterilmiştir.

Kirlilik Yükleri:

BOİ ₅	=	264,3 mg/l
AKM	=	319,3 mg/l
KOİ	=	593,0 mg/l
Azot (N)	=	46,7 mg/l
Fosfor (P)	=	11,6 mg/l

Yukarıda kabul edilen kirlilik yüklerine göre 2027 ve 2047 yılları için projelendirmede hesaplanan kirlilik yükleri Çizelge 4.9, Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'da gösterilmiştir.

Yaz Debileri:

Çizelge 4.9. 2027 yılına göre hesaplanan kirlilik yükleri (İlbank A.Ş. Onaylı AAT Projesi, 2014)

BOİ ₅ Yükü	$264,3 \text{ gr/m}^3 \times 8790,72 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	2323,39 kg/gün
AKM Yükü	$319,3 \text{ gr/m}^3 \times 8790,72 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	2806,88 kg/gün
KOİ Yükü	$593,0 \text{ gr/m}^3 \times 8790,72 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	5212,90 kg/gün
Azot (N) Yükü	$46,7 \text{ gr/m}^3 \times 8790,72 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	410,53 kg/gün
Fosfor (P) Yükü	$11,6 \text{ gr/m}^3 \times 8790,72 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	101,97 kg/gün

Kış Debileri:

¹ Günlük kişi başına düşen içme suyu ihtiyacı projede 126 l/gün olarak alınmıştır.

Çizelge 4.10. 2047 yılına göre hesaplanan kirlilik yükleri (İlbank A.Ş. Onaylı AAT Projesi, 2014)

BOİ ₅ Yükü	$264,3 \text{ gr/m}^3 \times 12787,44 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	3379,72 kg/gün
AKM Yükü	$319,3 \text{ gr/m}^3 \times 12787,44 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	4083,03 kg/gün
KOİ Yükü	$593 \text{ gr/m}^3 \times 12787,44 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	7582,95 kg/gün
Azot (N) Yükü	$46,7 \text{ gr/m}^3 \times 12787,44 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	597,17 kg/gün
Fosfor (P) Yükü	$11,6 \text{ gr/m}^3 \times 12787,44 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	148,33 kg/gün

Çizelge 4.11. 2027 yılına göre hesaplanan kirlilik yükleri (İlbank A.Ş. Onaylı AAT Projesi, 2014)

BOİ ₅ Yükü	$264,3 \text{ gr/m}^3 \times 6169,92 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	1630,71 kg/gün
AKM Yükü	$319,3 \text{ gr/m}^3 \times 6169,92 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	1970,06 kg/gün
KOİ Yükü	$593,0 \text{ gr/m}^3 \times 6169,92 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	3658,76 kg/gün
Azot (N) Yükü	$46,7 \text{ gr/m}^3 \times 6169,92 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	288,14 kg/gün
Fosfor (P) Yükü	$11,6 \text{ gr/m}^3 \times 6169,92 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	71,57 kg/gün

Çizelge 4.12. 2047 yılına göre hesaplanan kirlilik yükleri (İlbank A.Ş. Onaylı AAT Projesi, 2014)

BOİ ₅ Yükü	$264,3 \text{ gr/m}^3 \times 8856,24 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	2340,70 kg/gün
AKM Yükü	$319,3 \text{ gr/m}^3 \times 8856,24 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	2827,80 kg/gün
KOİ Yükü	$593,0 \text{ gr/m}^3 \times 8856,24 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	5251,75 kg/gün
Azot (N) Yükü	$46,7 \text{ gr/m}^3 \times 8856,24 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	413,59 kg/gün
Fosfor (P) Yükü	$11,6 \text{ gr/m}^3 \times 8856,24 \text{ m}^3/\text{gün} * 10^{-3}$	102,73 kg/gün

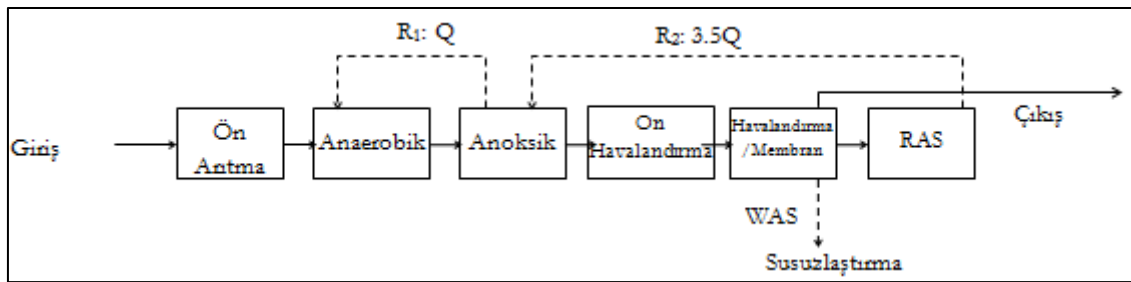
İzmit (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisinde aşağıdaki üniteler bulunmaktadır.

Ön Arıtma Üniteleri:

- Kaba – İnce Izgara Yapısı
- Havalandırılmalı Kum Tutucu
- **Proses Üniteleri**
- Dengeleme Tankı

- Tambur elek
- Anaerobik Havuzlar
- Anoxic (denitrifikasyon) Havuzları
- Ön Havalandırma Havuzları
- Membran Havuzları
- Arıtılmış Su Deposu
- **Çamur Susuzlaştırma Ünitesi**
- Çamur Tankı
- Blower
- **Genel Birimler**
- Trafo Binası
- Jeneratör Binası
- İdare Binası
- Tesis Giriş – Güvenlik Binası

Tesis giriş suyu 2 mm'lik ince ızgaralardan geçirilerek dengeleme tankında ön arıtma yapıldıktan sonra sırasıyla anaerobik, anoksik ön havalandırma havuzlarından geçerek membranların bulunduğu tanka ulaşır. Burada membran ayırma gerçekleştirildikten sonra çıkış suyu alıcı ortama deşarj edilir. Tesis akım şeması Şekil 4.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tesis ana akım (İlbank A.Ş. AAT Projesi, 2014)

İzmit (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisinde arıtılan sular İzmit Gölü'ne deşarj edilmektedir. Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından farklı günlerde anlık numunelerden yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.13, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16 'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları (BUSKİ, 2016a)

Alüminyum (Al)		Arsenik (As)		Bor (B)		Kadmiyum (Cd)		Top. Krom (Cr)		Bakır (Cu)	
mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l	
Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
13,64	0,430	<0,10	<0,10	0,341	0,133	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	0,323	<0,100
13,56	0,358	<0,10	<0,10	0,162	0,147	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	0,760	<0,100
	0,201		<0,05		0,164		<0,050		<0,050		<0,050
<0,05	<0,05	0,075	<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050

Çizelge 4.14. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları (BUSKİ, 2016a)

Top. Demir (Fe)		Mangan (Mn)		Nikel (Ni)		Kurşun (Pb)		Çinko (Zn)	
mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l	
Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
12,94	0,36	0,456	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	1,054	<0,100
9,380	0,204	0,425	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	2,267	<0,100
	0,370		<0,050		<0,050		<0,050		0,062
<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050

Çizelge 4.15. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları (BUSKİ, 2016a)

Yağ-Gres (mg/l)		MLSS (g/l)	MLVSS (g/l)
Giriş	Çıkış	Havalandırma Havuzu	Havalandırma Havuzu
	<10	9,28	5,32
10	<10	10,21	5,75
19	<10	9,54	5,48
30	<10	9,40	5,30
184	<10	7,90	4,60

Çizelge 4.15. (devam) İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları (BUSKİ, 2016a)

Yağ-Gres (mg/l)		MLSS (g/l)	MLVSS (g/l)
Giriş	Çıkış	Havalandırma Havuzu	Havalandırma Havuzu
75	<10	13,7	7,7
23	<10	15,6	8,6
24	<10	13,6	7,6
<10	<10	14,15	8
281	<10	11,4	6,4
24	<10	10,9	6,2
44	<10	13,25	7,7
<10	<10	15	8,6
32	<10	12,4	6,64
<10		12,79	7,18
	<10	14,43	7,98
		2,8	1,53
67		18,1	9,95
99		13,4	7,2
13		18,4	9,7
<10		19,7	10,6
720		19,5	10,1
102		21,7	11,3
84		20,5	10,7

Evsel atıksuların deşarj standartlarında İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi için yukarıda verilen analiz sonuçları Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde belirlenen geri kazanılmış atıksu ağır metal ve sulama sularında izin verilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin deşarj standartlarını karşılamaktadır (EK-1).

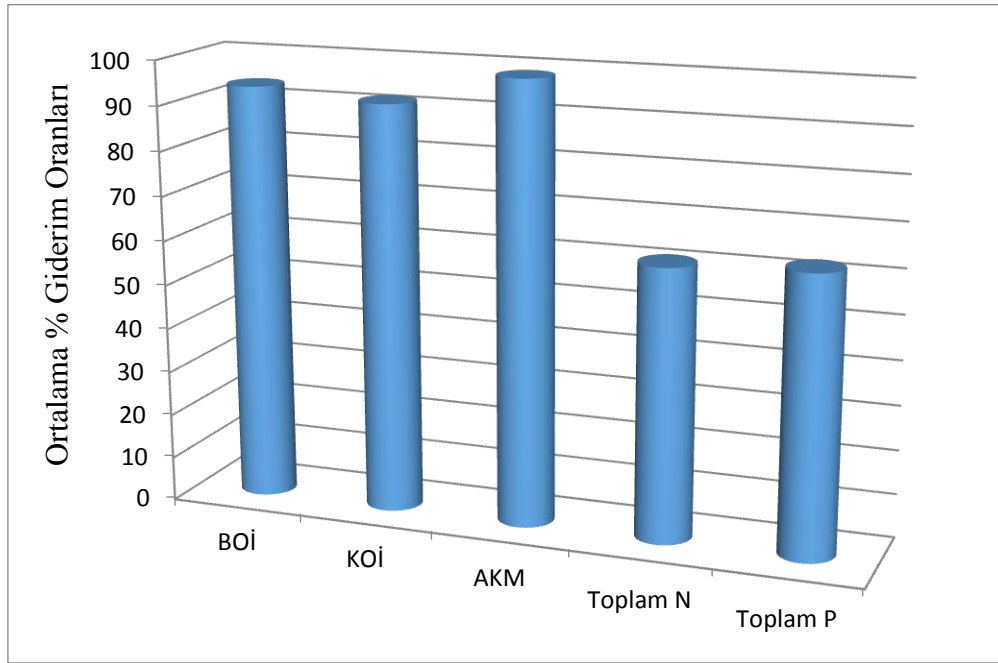
Çizelge 4.16. İznik (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları (BUSKİ, 2016a)

Günler	Su Sıcaklığı (°C)		pH		İletkenlik (µs/cm)		BOİ ₅ (mg/l)		KOİ (mg/l)		AKM (mg/l)		Top. N (mg/l)		Top. P (mg/l)	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
1		12,8		8,16		865		<2,3		<16		<2,1		11,3		1,9
2	15,7	14,4	7,57	8,27	1155	1133	27	<2,3	119	<16	5,0	<2,1	11	12,6	1,7	1,4
3	15,5	13,7	7,62	8,22	1209	1227			241	17	141	<2,1	29	4,5	3,1	1,7
4	10,8	10,0	7,76	8,39	1228	1154			271	<16	166	2,5	26	15,6	2,9	0,7
5	12,7	13,4	7,66	8,12	1530	1129	806	<2,3	2196	<16	1496	<2,1	82	17	13,5	1,6
6	14,2	14,7	7,43	8,09	1353	1148			980	<16	848,0	<2,1	14	10	3,9	1,0
7	12,9	15,1	7,66	8,07	1185	1190			122	<16	106,5	<2,1	10	12	1,9	1,1
8	10,0	14,5	7,64	8,25	1307	1073			1202	<16	1122	<2,1	18	8,8	5,4	0,4
9	16,1	14,6	7,38	7,93	1186	1138	22	<2,3	76	<16	84,5	<2,1	14	4,6	1,6	0,9
10	12,3	12,0	7,80	8,32	1207	1126			4860	<16	2840	<2,1	68	10	22,0	0,5
11	15,1	16,2	7,48	7,88	1078	1116	14	<2,3	89	<16	86,5	<2,1	7,0	5,7	1,4	0,7
12	15,9	17,2	7,76	8,13	1368	1116			1925	<16	854	<2,1	56	1,9	13,8	0,1
13	16,3	16,6	7,86	8,12	1143	1129	62	<2,3	177	<16	95,5	<2,1	12	4,1	1,5	0,9
14	17,5	18,2	7,79	8,10	1153	1121			608	<16	379,0	<2,1	13	9,5	4,6	0,2
15	8,1	6,2	7,81	8,35	1054	1081	36	<2,3	170	<16	217,5	<2,1	11	7,0	1,0	0,7
16	7,6	6,1	7,93	8,38	1257	1137			1390	<16	385	<2,1	19	8,3	9,0	1,0
17	7,4	5,8	7,84	8,10	1532	1265	480	3	1910	16	992	24,0	20	6,6	9,2	1,9
18	7,7	6,0	7,47	8,34	1075	1086			1133	<16	1434	<2,1	27	6,8	8,7	0,5
19	7,2	5,3	7,74	8,32	1154	1126	755	<2,3	2666	<16	2655	<2,1	53	6,2	14,5	1,0
20	8,2	7,5	7,89	8,21	1168	1071	57	<2,3	149	<16	162	<2,1	9,0	3,3	2,2	1,0
21	7,9	5,9	7,86	8,32	1198	1176	32	<2,3	105	<16	2460	2,3	6,0	7,3	1,8	1,1
22		22,6		7,97		1222			707	<16	644	<2,1	35	5,2	6,3	1,2
23	21,5	22,2	7,70	8,05	1385	1180			1979	<16	1480	<2,1	58	8,4	4,5	1,2
24	23,9	24,4	7,74	7,91	1474	1123			2898	17	2010	<2,1	106	6,9	9,2	1,3

Arıtma tesisi projesinde arıtma sonucu çıkış suyu değerlerinin; BOİ₅ için 5 mg/l, KOİ için 15 mg/l, AKM için 10 mg/l, Toplam Azot için 10 mg/l ve Toplam Fosfor için de 2 mg/l' den az olması hedeflenmiştir. Toplam azot miktarında bazı günler çıkış suyu

miktardaki hedeflenen değer aşılsa da genel olarak istenilen çıkış suyu kalitesi sağlanmıştır (Bkz. Çizelge 4.7)

İzmit (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi'nde BUSKİ'ye ait atıksu analiz sonuçlarından oluşturulan ortalama giderim oranları Şekil 4.4'de gösterilmiştir. membran sistemlerden beklenildiği gibi askıda katı madde giderim oranı çok yüksek olup azot ve fosfor giderim verimindeki düşüklük dikkat çekmektedir.



Şekil 4.4. İzmit (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi'nin ortalama giderim verimleri

4.3. Finike (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi

İş, Finike (Antalya) Membran Biyoreaktör Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi ve Sahilkent – Turunçova – Hasyurt – Yeşilyurt (Antalya) Grup Kanalizasyon İnşaatı Yapım İşleri olarak ihale edilmiş olup, arıtma tesisi projesi Finike Belediyesi'nin imar planı içinde bulunan alanda ve Finike, Sahilkent, Turunçova, Hasyurt, Yeşilyurt (Antalya) Grup yerleşimlerinin atıksularının arıtılması için gerekli proje ve mühendislik çalışmalarının yapımını kapsamaktadır. Tesisin ilk kademesi 2027 yılına kadar ve ikinci kademesi 2047 yılına kadar projelendirilmiştir. 2009 ve 2011 yıllarında onaylanan kanalizasyon projelerinde yer alan toplam nüfus hesabı Çizelge 4.17'de gösterilmiştir

Çizelge 4.17. Toplam nüfus (Finike+Sahilkent+Turunçova+Hasyurt+Yeşilyurt) (İlbank A.Ş. Onaylı Kanalizasyon Kesin Proje Raporu, 2009, 2011)

	YERLEŞİK	TURİSTİK	TOPLAM
N₂₀₂₇	51 440 kişi	8150 kişi	59 590 kişi
N₂₀₄₇	77 000 kişi	9000 kişi	86 000 kişi

Projedeki nüfus baz alınarak hesaplanmış olan tesis debileri Çizelge 4.18'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. Toplam debi (Finike+Sahilkent+Turunçova+Hasyurt+Yeşilyurt) (İlbank A.Ş. Onaylı AAT Kanalizasyon Proje Raporu, 2009, 2011a)

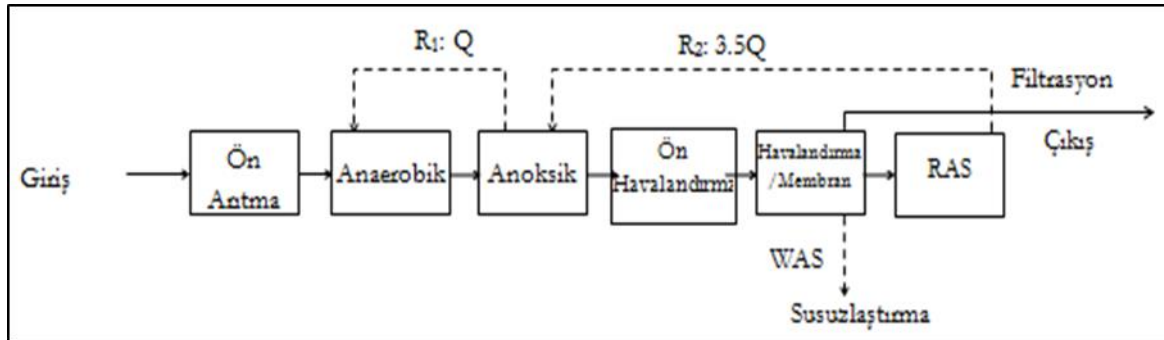
YIL		m ³ /gün	m ³ /sa	m ³ /sn
2027	Q_{max}	17 928,00	747,00	0,208
	Q_{prj}	14 640,00	610,00	0,169
	Q_{ort}	8544,00	356,00	0,099
	Q_{min}	5544,00	231,00	0,064
2047	Q_{max}	25 704,00	1071,00	0,2975
	Q_{prj}	20 976,00	874,00	0,243
	Q_{ort}	12 240,00	510,00	0,142
	Q_{min}	7944,00	331,00	0,092

Tesis giriş suyu 2 mm'lik ince ızgaralardan geçirilerek dengeleme tankında ön arıtma yapıldıktan sonra sırasıyla anaerobik, anoksik ön havalandırma havuzlarından geçerek membranların bulunduğu tanka ulaşır. Burada membran ayırma gerçekleştikten sonra çıkış suyu alıcı ortama deşarj edilir. Arıtma Tesisinin akım şeması Şekil 4.5'te gösterilmiş olup kanalizasyon inşa aşaması tamamlanmadığından geçici kabulü henüz yapılmamıştır. Tesis 7725 m² alan üzerine kurulmuştur. Kanalizasyon inşaatı tamamlandıktan sonra atıksu arıtma tesisine bağlantıları yapılacak ve arıtılmış su dereye deşarj edilecektir.

Finike (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisinde aşağıdaki üniteler bulunmaktadır.

- **Ön Arıtma Üniteleri**

- Kaba – İnce Izgara Yapısı
- Havalandırmalı Kum Tutucu
- **Proses Üniteleri**
- Dengeleme Tankı
- Tambur elek
- Anaerobik Havuzlar
- Anoxic (denitrifikasyon) Havuzları
- Ön Havalandırma Havuzları
- Membran Havuzları
- Arıtılmış Su Deposu
- **Çamur Susuzlaştırma Ünitesi**
- Çamur Tankı
- Blower
- **Genel Birimler**
- Trafo Binası
- Jeneratör Binası
- İdare Binası
- Tesis Giriş – Güvenlik Binası



Şekil 4.5. Tesis akım şeması (İlbank A.Ş. Onaylı AAT Kesin Proje Raporu, 2011)

Arıtma Tesisinin inşaat maliyeti fiyat farkı ile beraber 14 731 234,44 TL'dir.

4.4. Gazipaşa MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi

Gazipaşa MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi yüklenici ihale bedeli 7 799 568,44 TL olup Arıtma Tesisinin proje ve inşa maliyeti fiyat farkı ile beraber 10 818 780,77 TL'dir. Arıtılmış atıksu dereye deşarj edilmektedir.

Bu proje kapsamında yapılan atıksu arıtma tesisinin başlıca üniteleri;

- Ön Arıtma Sistemi (Kaba Izgara, Önce Izgara, Giriş Terfi Merkezi, Kum ve Yağ Tutucu, Dengeleme Tankı, Tambur Elek, Debi Metre),
- Biyolojik Arıtma Sistemi (Anaerobik Havuz, Anoksik Havuz, Aerobik Havuz, Membran Biyoreaktör Sistemi),
- Çamur susuzlaştırma Ünitesi (Çamur Yoğunlaştırma Sistemi, Dekantör),
- Koku Giderim Ünitesi, Arıtılmış (Temiz) Su Deposu,
- İşletme Binası,
- Bekçi Binası,
- Trafo ve Jeneratör binalarıdır.

Tesis projelendirmede kullanılan nüfus ve toplam debi Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Toplam nüfus (İlbank A.Ş. Onaylı AAT Kesin Proje Raporu, 2011)

YIL	YERLEŞİK	TURİSTİK	TOPLAM
2025	38 000 kişi	12 000 kişi	50 000 kişi
2045	68 000 kişi	32 000 kişi	100 000 kişi

Tesise ait 24 000 m² arazi bulunmasına rağmen membran sistem arazinin yarısında inşa edilmiş olup şu andaki günlük ortalama debisi 13 650 m³ /gün 'dür.

Çizelge 4.20. Toplam debi (İlbank A.Ş. Onaylı AAT Kesin Proje Raporu, 2011)

YIL		m ³ /sa	l/sn
2025	Q _{max}	678,0	188,3
	Q _{prj}	568,7	158,0
	Q _{ort}	366,3	188,3
	Q _{min}	248,6	69,1

Çizelge 4.20. (devam) Toplam debi (İlbank A.Ş. Onaylı AAT Kesin Proje Raporu, 2011)

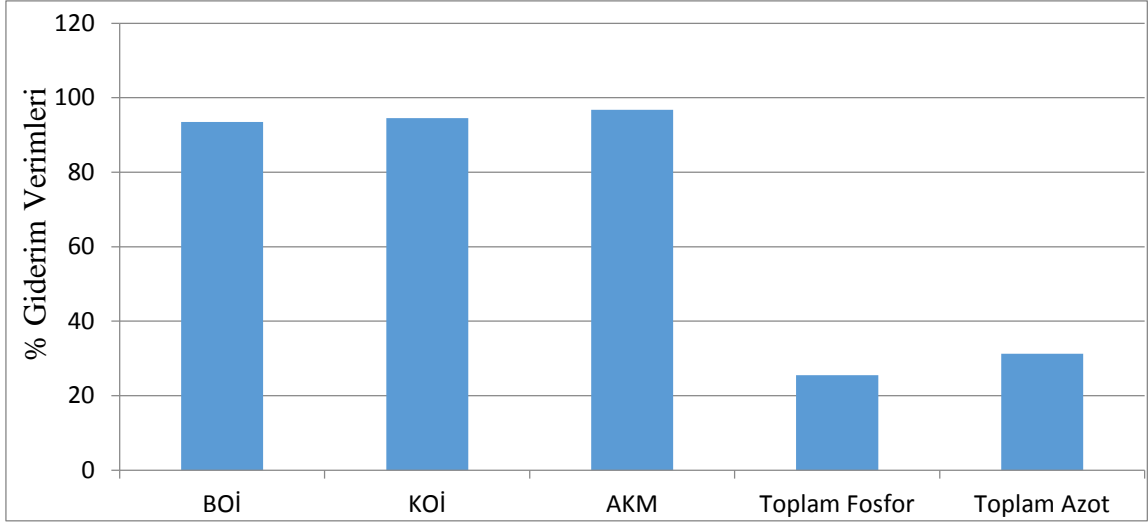
YIL		m ³ /sa	l/sn
2045	Q _{max}	1 291,2	358,7
	Q _{prj}	1 072,6	298
	Q _{ort}	667,9	185,5
	Q _{min}	432,4	120,1

Atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtılmış sular dereye deşarj edilerek Akdeniz'e ulaşmaktadır. Akredite bir laboratuvar tarafından farklı günlerde yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.21'de gösterilmiştir. Analiz sonuçları Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre limit değerlerin çok çok altında çıkmıştır.

Çizelge 4.21. Gazipaşa (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi atıksu analiz sonuçları (A.Çev.Lab., 2013, 2014)

Günler	BOI ₅ (mg/l)		KOI (mg/l)		AKM (mg/l)		pH		Toplam Fosfor (mg/l)		Toplam Azot (mg/l)		Bulanıklık (NTU)	Toplam Koliform (Kob/100ml)
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Çıkış	Çıkış
1	30	1<5	78,3	2,9<25	35	1<11	7,6	8	1,11	1,02	25,04	8,73	0,18	0
2	16	3<5	56,35	7,23<25	49	2<11	7,45	7,73	1,83	0,88	10,43	9,6	0,19	0
3	45	1<5	116,03	1,23<25	54	3<11	7,42	7,37	1,99	1,98	9,31	9,08	0,17	0
4	170	3<5	253,7	11,0<25	242	1<11	7,25	7,48	3,7	2,16	24,06	12,12	0,4	0

Arıtma tesisi projesinde arıtma sonucu çıkış suyu değerlerinin; BOI₅ için 12 mg/l, KOI için 25 mg/l, AKM için 10 mg/l, Toplam Azot için 10 mg/l ve Toplam Fosfor için de 2 mg /l, bulanıklığın 0,2 NTU'dan az olması ve koliform bulunmaması hedeflenmiştir. Bazı günler çıkış suyu miktarındaki hedeflenen değer aşılsa da genel olarak istenilen çıkış suyu kalitesi sağlanmıştır. Arıtma tesisinin % olarak giderim verimleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Toplam azot ve toplam fosfor giderimindeki verim düşük olmasına rağmen sonuçlar genel olarak limit değerlerin altında çıkmıştır.



Şekil 4.6. Gazipaşa (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi'nde giderim verimleri

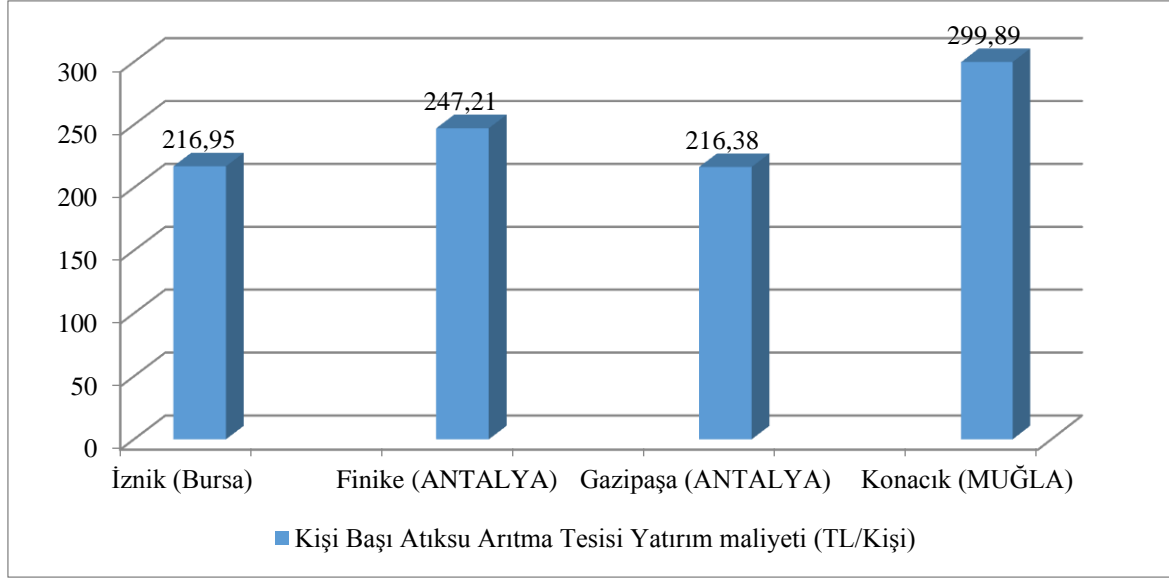
5. MEMBRAN BİYOREAKTÖR TEKNOLOJİLİ ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN YATIRIM MALİYETİ DEĞERLENDİRMESİ

Ülkemizde yapılan Membran Biyoreaktör Teknolojili Atıksu Arıtma tesisleri için çalışmanın dördüncü bölümünde elde edilen bulgulara göre kişi başı yatırım maliyeti Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Ülkemizdeki MBR arıtma tesislerinin kişi başı yatırım maliyetleri

	Proje Nüfusu	Toplam Yatırım Maliyeti (TL) (2016 Yılı Güncellenmiş Fiyat)	Kişi Başı Atıksu Arıtma Tesisi Yatırım maliyeti (TL/Kişi)
İzmit (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	59 000	12 799 827,77	216,95
Finike (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	59 590	14 731 234,441	247,21
Gazipaşa (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	50 000	10 818 780,77	216,38
Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	30 000	8 996 690,72	299,89

Şekil 5.1 ‘de gösterildiği üzere Ülkemizdeki arıtma tesisleri için birim membran teknolojisi maliyeti en yüksek Konacık (MUĞLA)’da, en düşük ise Gazipaşa (ANTALYA)’da olmuştur.



Şekil 5.1. Membran teknolojili atıksu arıtma tesislerinin kişi başı yatırım maliyetlerinin gösterilişi

Membran teknolojileri yatırımlarını karşılaştırmak için Bankamızca ve yerel yönetimlerce yapılmış olan bazı atıksu arıtma tesislerine ait yatırım maliyeti bilgileri Çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Maliyetlerin çok değişken olduğu görülmekte olup genel olarak membran teknoloji kullanılan tesislerdeki kişi başına düşen yatırım maliyetinin yüksekliği dikkat çekmektedir.

Çizelge 5.2. Arıtma tesisleri yatırım maliyeti karşılaştırılması (BUSKİ, 2016b, ASKİ, 2016, EKAP, 2016, İlbank A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Proje Dokümanları, 2013)

Arıtma Tesisi	Proses	Nüfus	Yatırım Maliyeti TL (2016 Yılı Güncellenmiş)	Kişi Başı Yatırım TL
Eskil (AKSARAY) Atıksu Arıtma Tesisi	Oksidasyon Hendeği	10 000	1 224 505,80	122,45
Biga (ÇANAKKALE) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	61 500	8 276 371,664	134,58
Manisa (MERKEZ) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	474 321	49 192 992,69	103,71
Turgutlu (MANİSA) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	165 000	43 706 987,35	264,89
Sudurağı (KARAMAN) Atıksu Arıtma Tesisi	Oksidasyon Hendeği	5000	1 003 345,338	200,67

Çizelge 5.2. (devam) Arıtma tesisleri yatırım maliyeti karşılaştırılması (BUSKİ, 2016b, ASKİ, 2016, EKAP, 2016, İlbank A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Proje Dokümanları, 2013)

Orhangazi (BURSA) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	80 000	11 242 442,73	140,53
Çubuk (ANKARA) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	110 000	15 422 000	140,2
İzmit (BURSA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Membran Teknolojisi	59 000	14 079 810,77	216,95
Finike (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Membran Teknolojisi	59 590	16 215 037,68	247,21
Gazipaşa (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Membran Teknolojisi	50 000	10 818 781,38	216,38
Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Membran Teknolojisi	30 000	7 292 923,25	299,89

Ülkemizdeki bazı uzun havalandırmalı aktif çamur tesislerine ait arıtma alanları ile membran biyoreaktörlü tesislerinin alan karşılaştırması Çizelge 5.3'te verilmiştir. Membran biyoreaktörlerin önemli avantajlarından biri de alan tasarrufu sağlamasıdır. Arıtma alanları genel olarak membran biyoreaktör kullanılan tesislerde daha düşüktür. Ancak arıtma alanı yerel yönetimlerin inisiyatifinde bulunduğundan imkânlar müsait olduğu sürece fazla alanda da arıtma tesisi inşa edilebilir. Ancak en güzel örnek Konacık (MUĞLA) 'da arazinin çok kısıtlı olması ve membran uygulaması sayesinde az alan kullanılarak ileri arıtım sağlanmasıdır.

Çizelge 5.3. Kişi başına gereken arıtma alanı (İlbank A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Proje Dokümanları, 2013; İZSU, 2016)

Tesis Adı	Proses	Nüfus	Arıtma Alanı	Kişi Başına Düşen Arıtma Alanı
İzmit (Bursa) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Membran Biyoreaktör	59 000	7045	0,12
Finike (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Membran Biyoreaktör	59 590	7725	0,13
Gazipaşa (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Membran Biyoreaktör	50 000	12 000	0,24
Konacık(MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi	Membran Biyoreaktör	30 000	3600	0,12
Torbalı (İZMİR) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	100 000	11 382	0,11
Menemen (İZMİR) Atıksu Arıtma Tesisi (İZSU, 2016)	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	100 000	60 000	0,6
Ayrancılar (İZMİR) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	40 000	53 000	1,33
Bayındır (İZMİR) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	40 000	15 000	0,38
Güneybatı (İZMİR) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	100 000	15 000	0,15
Bilecik(MERKEZ) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	80 000	20 099	0,25
Göhlisar (BURDUR) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	34 108	14 704	0,43
Çaycuma (ZONGULDAK) Atıksu Arıtma Tesisi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	19 304	19 072,45	0,98

Çizelge 5.3'e göre ortalama uzun havalandırmalı aktif çamur arıtma tesisi için gerekli kişi başına arıtma alanı ortalama 0,57 m², membran biyoreaktör teknolojili atıksu arıtma tesisi için ise 0,15 m² olarak bulunmuştur.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında membran teknolojiler ile ilgili olarak, literatür taraması ve ülkemizdeki uygulamaların incelenmesi sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Son yıllarda membran malzemelerindeki ve proseslerdeki teknolojik gelişme içmesuyu ve atıksu arıtımında membran biyoreaktör sistemlerinin kullanılmasına uygun ortam sağlamıştır. Üretim maliyetleri giderek düşmekte ve konvansiyonel sistemler gibi tercih edilmeye başlanmıştır. Özellikle gelişmiş ülkelerde endüstriyel ve evsel atıksu arıtımında çok tercih edilir bir hale ulaşmıştır. Membran sistemler bir filtrasyon prosesi ile biyokütlenin fiziksel ayrımının ve aktif çamur prosesinin birleştirildiği sistemler olarak tanımlanabilir. Konvansiyonel sistemlerde iki ayrı tankta gerçekleşen bu işlemler MBR'lerde tek tankta gerçekleşerek alan tasarrufu sağlarlar.
- Atıksu arıtımında biyolojik olarak parçalanan maddelerin giderilmesiyle ortaya çıkan biyokütlenin çöktürülmesi arıtma tesisleri işletmesi için büyük problem oluşturan bir aşamadır. Kontrol edilebilmesi çok zordur ve çıkış suyu kalitesi ile doğrudan ilgilidir. Çıkış suyu deşarj limitlerini sağlayabilmek için atıksuyun oldukça geniş tanklarda uzun sürelerde bekletilmesi gerekmektedir. MBR sistemlerinin düşük hidrolik bekleme süresi, yüksek MLSS değerlerinde işletme, daha az çamur oluşumu, son çökeltme tankına ihtiyaç duyulmaması gibi pek çok avantajı bulunmaktadır. En çok dikkat çeken özelliği ise biyokütle oluşumunun ve ayrımının aynı anda gerçekleşmesidir. Bu özellik hem alan tasarrufu sağlar hem de son çökeltim tankında oluşan çökeltme problemlerinden kaynaklı işletme sorunlarını önlemek anlamına gelir.
- Bu tez çalışmasında membran biyoreaktör sistemlerin İlbank A.Ş. tarafından finanse edilmiş Türkiye'de uygulanan örnekleri üzerinde çalışılmıştır. Membran teknolojisinin hızla gelişmesi arıtma tesislerinde membran sisteme geçişi hızlandırmaktadır. Bu konuda ülkemizde de akademik çalışmalar ve uygulamalar başlamıştır. Ancak membran teknolojisi tez çalışmasında da görüldüğü üzere ülkemiz için halen pahalı bir teknolojidir. Bu teknolojinin seçimindeki en önemli kriterlerden biri çıkış suyunun ne yapılacağıdır. Örneğin su kıtlığı çekilen bir bölgede arıtma tesisi çıkış sularının tarımda veya park, bahçe sulamada tekrar kullanılması gerekiyorsa membran sistem uygulanabilir. Ancak çıkış sularının derin

deniz deşarjı ile deşarj edilmesi durumunda fayda maliyet açısından membran teknolojilerin seçimi ekonomik olmayacaktır. Bu doğrultuda, Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi'nin arıtılmış atıksularının tekrar kullanılması için bir sulama şebekesi inşa edilmiş olup park bahçe sulaması sağlanırken İznik Belediyesi'nde arıtılmış sular İznik Gölü'ne deşarj edilmektedir. Ancak İznik çevresindeki endüstriyel tesislerden çıkan atıksuların da göle deşarj edilmesi sebebiyle gölde artan kirlilik seviyesinden dolayı, balıkların sayısı DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından salınan gümüş balıkları ve İsrail sazanlarına rağmen gün geçtikçe azalmaktadır. Bu bağlamda düşünüldüğünde MBR teknolojisinin sadece geri kazanım değil alıcı ortam kirliliği kontrolü açısından da değerlendirildiğinde uygulanabilir olması sonucu elde edilmektedir. Ayrıca Konacık (MUĞLA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisinin bulunduğu bölge deniz kenarında bulunduğu, arıtma tesisinin kurulacağı yer kısıtlı ve arazi fiyatları çok pahalı olduğu için membran teknolojisinin seçilmesi uygun olmuştur.

- Membran sistemi seçilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da membran ömrüdür. Örneğin Gazipaşa (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi için üretici firma 7 sene membran garantisi vermiştir. 7 sene sonra membranların değiştirilmesi gerekecek ve ekstra bir maliyet oluşacaktır. Ayrıca membran ömrü tamamlandıktan sonra membran atıkları ağır metal içeren tehlikeli atıklar olarak tanımlanacak ve bertaraf edilmesi problemi gibi bir problem daha ortaya çıkacaktır. Gazipaşa tarım ve turizm bölgesi olduğundan ve arıtma tesisi çıkış suyu dereye deşarj edildiğinden arıtılmış su kalitesine çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu durumda membran sistemler uygulanabilir olmaktadır.
- Finike (ANTALYA) MBR Teknolojili Atıksu Arıtma Tesisi, kanalizasyon şebeke sistemi henüz tamamlanmadığından faaliyete geçmemiştir. Ancak arıtma tesisinin inşa aşaması tamamlanmıştır. Finike de Gazipaşa gibi, tarım ve nispeten turizm bölgesi olduğundan dereye deşarj edilen arıtılmış suların kalitesine çok dikkat edilmelidir.
- Arıtma tesislerinin yatırımı ile ilgili en önemli kalem yatırım maliyeti olduğundan, membran yatırımı yapılmadan önce çok iyi bir fizibilite çalışması yapılmalıdır. Özellikle alıcı ortamın gerektirdiği standartlar konusunda fikir sahibi olunması gerekmektedir.

- Membran biyoreaktör içeren arıtma tesislerini işletmede en önemli sorun membran tıkanması problemidir. Tıkanmayı azaltma ve giderme konusunda çok sayıda çalışma yapılmış olup en iyi sonucu bulmak için çalışmalar hala devam etmektedir. Bu konuda ülkemizde de teorik ve uygulamalı çalışmalar yapılmalı ve halihazırda faaliyette olan membran teknolojili atıksu arıtma tesisleri için oluşmuş/oluşabilecek tıkanıklıktan kaynaklı işletme problemlerinin önüne geçilmelidir.
- Ülkemizde membran teknolojilerinin uygulamaları konusunda yeterince Türkçe kaynak bulunmamaktadır. Bu bağlamda akademik çalışmaların artırılması, mevcut tesisler üzerinde arıtma verimlerinin takip edilmesi gerekmektedir.
- Membran teknolojileri ile ilgili, T.C. Kalkınma Bakanlığı destekli Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi (MEM-TEK) kurulmuştur ve bu konuda çalışmalara devam etmektedirler. Membran teknolojisi seçilmiş atıksu arıtma tesisleri için işletme giderleri, meydana gelen problemler için Bankamızca da envanter tutulmalı ve diğer teknolojilerle karşılaştırmasının ayrıntılı bir biçimde yapılması gereklidir.
- Ülkemizde membran malzemelerinin geliştirilmesi konusunda da yeterli çalışma (MEM-TEK'in ürettiği pilot ölçekli membran malzemeler dışında) bulunmamaktadır. Özellikle, membran maliyetleri atıksu arıtma tesisinin yatırımı düşünüldüğünde en fazla maliyet bileşenini oluşturduğundan, membran maliyetlerinin düşürülmesi konusunda çalışmalar yapılmalıdır.
- Bu çalışmanın, membran teknolojisinin geliştirilmesi, yatırım maliyetlerinin azaltılması işletme problemlerinin önlenmesi ve kaliteli atıksu arıtımı adına, ülkemizin çevre konusunda altyapı yatırımlarının hemen hemen tamamını finanse eden İlbank A.Ş. için faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- A.Çev.Lab. (2013,2014). Alanya Çevre Laboratuvarı Atıksu Analiz Sonuçları Raporları, Antalya.
- Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. (2010a) Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Ek.7. Tablo E7.7 *T.C. Resmi Gazete*, 27527, 20.03.2010.
- Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. (2010b) Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Ek.7. Tablo E7.8 *T.C. Resmi Gazete*, 27527, 20.03.2010.
- Arceivala, S.J., (2002). *Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı*, (Çev. A.H. Balman ve V. Balman). Ankara: Atılım Ofset. (Eserin orijinali 1998’de yayımlandı), 14-16.
- 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, 12.
- Aslan, M. (2016). Membran Teknolojileri, Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Ankara, 69, 92.
- Aydiner, C. (2006). *Hibrit Mikrofiltrasyon Teknolojisi ile Sulu Ortamdan Nikel Giderimi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 11, 14, 22.
- Azman, H.E. (2005). *Evsel Atıksuların Arıtılmasında Arıtma Verimi – Enerji İlişkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 40-43.
- Boduroğlu, B.H. (2008). *Evsel Atıksuların Arıtılması ve Havalandırma Parametrelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 19.
- BUSKİ. (2016a). Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Atıksu Analiz Sonuçları, Bursa.
- Çağlar, F. (2013). *Modelling Of Membrane Bioreactor Systems*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 6.
- DeCarolis, Jr., J.F. and Adham, S. (Eds.). (2007). Performance investigation of membrane bioreactor systems during municipal wastewater reclamation, *Water Environment Research*, 79(13), 2536-2538.
- EKAP (2007). Elektronik Kamu Alımları Platformu, ihale arama menüsü sonuçları.
- EKAP (2011). Elektronik Kamu Alımları Platformu, ihale arama menüsü sonuçları.
- EKAP (2016). Elektronik Kamu Alımları Platformu, ihale arama menüsü sonuçları.

Erkmen, J. (2013). *Boraksın Bipolar Membranlı Bir Hücrede Elektrodializi ile Borik Asit ve Sodyum Hidroksit Üretimi*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 56, 68.

İlbank A.Ş. Onaylı AAT Kesin Proje Raporu. (2011). Haysel İnş. Mak. San. ve Tic. Ltd. Şti. ve Esen İnş. Taah. San. ve Tic. Ltd. Şti. İş Ortaklığı tarafından hazırlanan Gazipaşa (ANTALYA) MBR Teknolojili AAT projesi.

İlbank A.Ş. Onaylı AAT Projesi. (2014). Özge Proje Mühendislik İnşaat ve Sanayi Ticaret Limited şirketi tarafından hazırlanan İznik (Bursa) MBR Teknolojili AAT projesi.

İlbank A.Ş. Onaylı Kanalizasyon Kesin Proje Raporu. (2009). Arısu Mühendislik, Mimarlık ve Müşavirlik Ltd. Şti tarafından hazırlanan Finike (ANTALYA) kanalizasyon projesi.

İlbank A.Ş. Onaylı Kanalizasyon Kesin Proje Raporu. (2011). Özbek Müh. Ltd. Şti. tarafından hazırlanan Sahilkent, Turunçova, Hasyurt, Yeşilyurt kanalizasyon projesi.

İlbank A.Ş. Onaylı Kanalizasyon Projesi. (2012). Arısu Mühendislik, Mimarlık ve Müşavirlik Ltd. Şti tarafından hazırlanan İznik (Bursa) kanalizasyon projesi.

İlbank A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Proje Dokümanları. (2013). Membran teknoloji atıksu arıtma tesislerinin ihalesi için hazırlanan ihale dokümanları, Ankara.

İnternet: ASKİ. (2016). URL:

<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.aski.gov.tr%2Ftr%2F817-atiksu-aritma-icerik.html&date=2016-11-11>, Son Erişim Tarihi: 11.11.2016

İnternet: Atac Solitions Store. (2016). URL:

<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fatacsolutions.com%2Fprocess-solutions%2Fmembrane-bioreactors.html&date=2016-10-25>, Son Erişim Tarihi: 25.10.2016.

İnternet: BUSKİ. (2016b). URL:

<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.buski.gov.tr%2Ftr%2Fhaber%2Forhangazi-ileri-biyolojik-atiksu-aritma-tesisi-hizmete-acildi-906&date=2016-11-10>, Son Erişim Tarihi: 10.11.2016

İnternet: Damla Çevre. (2016). URL:

<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.damlacevre.com.tr%2Fen%2Fhavalandirma-kum-yag-tutucu%2F&date=2016-10-26>, Son Erişim Tarihi: 26.10.2016.

İnternet: İZSU. (2016). URL:

<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.izsu.gov.tr%2FPages%2FstandartPage.aspx%3Fid%3D162&date=2016-11-10>, Son Erişim Tarihi: 10.11.2016

- İnternet: MBR Atıksu Arıtma Sistemleri Ltd. (2016). URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mbraritma.com.tr%2Ffiles%2FMugla.pdf&date=2016-10-25>, Son Erişim Tarihi: 25.10.2016.
- İnternet: ODTÜ. (2013). URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.metu.edu.tr%2Ftr%2Fduyuru%2Fodtuodtu-teknokent-membran-aritma-tesisi-rio-20de-turkiyeyi-temsil-edecek&date=2016-10-26>, Son Erişim Tarihi: 26.10.2016.
- İnternet: Su Ve Çevre Dergisi. (2016). *Atıksu Arıtımında Giderek Önem Kazanan Membran Teknolojisi Konusu ve Üç Araştırma*, URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.suvecevre.com%2F%3Fpid%3D35347%23.V_pSPuCLTIU&date=2016-10-25, Son Erişim Tarihi: 25.10.2016.
- İnternet: Su Yapı. (2016). Yalova. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.suyapi.com.tr%2Ftr%2F18222%2FYalova-Cinarcik-Tesvikiye-Kocadere-ve-Esenkoy-Yerlesimleri-Atıksu-Aritma-Tesisleri&date=2016-11-17>, Son Erişim Tarihi: 17.11.2016
- İnternet: The Mcilvaine Company. (2016). URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mcilvainecompany.com%2FWEFTEC_2008%2FWEFTEC58.jpg&date=2016-11-17, Son Erişim Tarihi: 17.11.2016.
- İnternet: Teknik Debi Mühendislik. (2016). MBR ve MBBR Proses'lerinde Seramik Membran Uygulamaları. URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.teknikdebi.com%2Fpdf%2F131209_SuveCevre_Article_TR.pdf&date=2016-11-17, Son Erişim Tarihi: 17.11.2016
- İnternet: TÜİK. (2014). URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tuik.gov.tr%2FPreTablo.do%3Falt_id%3D1019&date=2016-11-17, Son Erişim Tarihi: 17.11.2016
- İnternet: TÜİK. (2016). URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fbiruni.tuik.gov.tr%2Fmedias%2F%3Fkn%3D120%26locale%3Dtr&date=2016-10-26>, Son Erişim Tarihi: 17.11.2016
- Judd S. and Claire S. (Eds.). (2006). *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*, Elsevier, Oxford, UK. 99-100.
- Judd S. and Claire S. (Eds.). (2015). *The MBR Book: Su ve Atıksu Arıtımında Membran Biyoreaktörlerin Esasları ve Uygulamaları* (Çeviri Editörü Keskinler B.). Nobel Yayınevi. (Eserin orijinali 2006'da yayımlandı), 58-63, 96, 99, 100.

- Kaleli, B. (2006). *Atıksuların İleri Arıtımında Membran Proseslerinin Kullanımının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 3.
- Karaduman, Ö. (2011). *Konacık Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinin Modellenmesi ve Mevcut Problemlerinin Bilgisayar Simülasyonu İle Çözülmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Gebze, 101-103.
- Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği. (2006). *T.C. Resmi Gazete*, 26047, 08.01.2016.
- Kitiş, M., Köseoğlu, H., Gül N. ve İkinci F.Y. (2003). *Atıksu Arıtımı Ve Geri Kazanımında Membran Bioreaktörleri*, V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongre Yayını, Ankara, 469, 470.
- Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H. ve Bekaroğlu, Ş. (2011). *İleri Atıksu Arıtma Ve Atıksuların Tekrar Kullanılması*, Ders notu, T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı, 6, 7.
- Konuk, M. (2014). *Kimyasal Arıtma İşlemi Görmüş Evsel Atıksuların Membran Proseslerle Arıtmaya Uygunluğunun İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1, 69.
- Lofrano, G. and Brown, J. (Eds.). (2010). Wastewater management through the ages: a history of mankind, *Elsevier*, 408(22), 5261.
- Melin, T., Jefferson, B., Bixio D., Thoeye, C., De Wilde, W., De Koning, J., Van der Graaf, J. and Wintgens, T. (2005). Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reus, *Elsevier*, 187(1-3), 276.
- Mulder, M. (1997). *Basic Principles of Membrane Technology* (Second edition), London: Kluwer Academic Publishers, 447.
- Muslu, Y. (2000). *Su ve Atıksu Teknolojisi*, Üçüncü Baskı, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul, 4.
- Özkan, Ü. (2007). *Tekstil Endüstrisi Proses Suyu Hazırlanmasında Membran Proseslerin Uygulanması*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 4.
- Radjenovic j., Matosic M., Mijatovic I., Petrovic M. and Barceló D. (Eds.). (2008) *Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste (Fifth Edition)*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 43-46.
- Razbonyalı, C. (2013). *Determination Of The Process Performance Of High Rate Membrane Bioreactors Treating Domestic Wastewater*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, 12.
- Salt, Y., Dinçer, S. (2006). An option for special separation operations: membrane processes, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 24(4), 1, 8-9.

SKKY. (2004). Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, *T.C. Resmi Gazete*, 25687, 31.12.2004.

Şahinkaya, E. (2014). *Membran Biyoreaktörler: Uygulama Alanları, Son Gelişmeler ve Araştırma Gereken Alanlar*, Ders Notu, İstanbul Medeniyet Üniversitesi Biyomühendislik Bölümü, 5, 9, 10, 33-35.

Taşıyıcı, S. (2009). *Batık Membran Sistemleri ile İçme Suyu Arıtımı: Membran Tıkanıklığını Azaltmak İçin Farklı Yöntemlerin Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5.

TÜİK. (2015). Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, 18778, 22.12.2015.

Yıldırım, K.A. (2006). *Eysel Atıksu Arıtma Tesislerinde Debi-maliyet İlişkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 5, 6, 7, 18, 19.

Yıldız, H. (2013). *Maya Proses Atıksuyundan Anaerobik Membran Biyoreaktör ile Uçucu Yağ Asiti Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 6, 8.

Yiğit, N.Ö. (2007). *Membran Biyoreaktörü ile (Mbr) Eysel Atıksu Arıtımı*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 27, 30.

Zenon Environmental Inc. ve O'Brien & Gere Engineers Inc. (2004). *Immeresed Membrane Bioreactor Performance Evaluation Twelve Pines Sewage Treatment Plant Suffolk County, New York*, Rapor, Nyserda, 51, 52.

EKLER

EK-1

Çizelge 1.1. Sulama sularında verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 2010a)

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler mg/l	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/l
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	-	2.0
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li)	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

EK-1 (devam)

Çizelge 1.2. Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları (mg/l) (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 2010b)

Elementler, mg/L	İkinci arıtma		Üçüncül arıtma	Ters osmoz	Tavsiye edilen değer*	
	Aralık	Ortalama			Kısa süreli	Uzun süreli
Arsenik (As)	<0,005-0,023	<0,005	<0,001	0,00045	0,10	10,0
Bor (B)	<0,1-2,5	0,7	0,3	0,17	0,75	2,0
Kadmium (Cd)	<0,005-0,15	<0,005	<0,0004	0,0001	0,01	0,05
Krom (Cr)	<0,005-1,2	0,02	<0,01	0,0003	0,10	20,0
Bakır (Cu)	<0,005-1,3	0,04	<0,01	0,015	0,20	5,0
Civa (Hg)	<0,002-0,001	0,0005	0,0001	-	-	-
Molibden (Mo)	0,001-0,018	0,007	-	-	0,01	0,05
Nikel (Ni)	0,003-0,6	0,004	<0,02	0,002	0,2	2,0
Kurşun (Pb)	0,003-0,35	0,008	<0,002	0,002	5,0	20,0
Selenyum (Se)	<0,005-0,02	<0,005	<0,001	0,0007	0,02	0,05
Çinko (Zn)	0,004-1,2	0,04	0,05	0,05	2,0	10,0

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : HELVACI, Esra
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 04.08.1987 Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0312 508 78 62
Faks : -
e-mail : ezengin@ilbank.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi, Çevre Bilimleri	-
Lisans	Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği	2009
Lise	Antalya Akseki Şahinler Y.D.A.L.	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013 -	İlbank A.Ş.	Teknik Uzman Yardımcısı
2012 - 2013	Çevrekent Müh. Danış. Ltd. Şti.	Çevre Görevlisi
2009 - 2011	Dönüşüm San. Tic. Ltd. Şti.	Çevre Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce



İL BANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ