

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

**EVSEL ATIKSULARDA MEMBRAN BİOREAKTÖRLE
AZOT(N), FOSFOR(P) VE KARBON (KÖİ) GİDERİMİNİN
İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Eren HASBÜLBÜL**

**Tezi Yöneten
Yrd. Doç. Dr. Oktay ÖZKAN**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ağustos 2010
KAYSERİ**

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

**EVSEL ATIKSULARDA MEMBRAN BİOREAKTÖRLE
AZOT(N), FOSFOR(P) VE KARBON (KOİ) GİDERİMİNİN
İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Eren HASBÜLBÜL**

**Tezi Yöneten
Yrd. Doç. Dr. Oktay ÖZKAN**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
FBY-10-3093 kodlu proje ile desteklenmiştir**

**Ağustos 2010
KAYSERİ**

KARUL VE ONAY

Yrd. Doç. Dr. Oktay ÖZKAN danışmanlığında Eren HASBÜLBÜL tarafından hazırlanan "Evsel Atıksularda Membrana Biyoreaktörle Azot(N), Fosfor(P) ve Karbon (KÖ) Gideriminde İncelenmesi" adlı bu çalışma, jüriimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

24.08.2010

Jüri:

Başkan: Prof. Dr. İbrahim PİRER

Çys : Yrd. Doç. Dr. Oktay ÖZKAN

Dys : Yrd. Doç. Dr. Merve OĞUZ

Onay:

Bu tezip kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 31/08/2010 tarih ve 2010/31-05 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

31/08/2010



Prof. Dr. Necmettin MERASLI

Kurum Başkanı

TEŞEKKÜR

“Evsel Atıksularda Membran Bioreaktörle Azot(N), Fosfor(P) ve Karbon (KOİ) Gideriminin İncelenmesi” konulu tez çalışmasının seçiminde ve yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Oktay ÖZKAN’a teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, göstermiş olduğu sabır ve anlayıştan dolayı nişanlım Emine AKÇAY’a teşekkür ederim.

Ayrıca Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi Başkan’lığına teşekkür ederim.

EVSEL ATIKSULARDA MEMBRAN BİOREAKTÖRLE AZOT(N), FOSFOR(P) VE KARBON (KOİ) GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

Eren HASBÜLBÜL
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2010
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Oktay ÖZKAN

ÖZET

Membran teknolojileri ile evsel atıksuların arıtımına yönelik uygulamaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Konvansiyonel ileri arıtma tesislerine kıyasla minimum düzeyde işletme problemi yaşanan bu sistemler, düşük hidrolik bekletme sürelerinde ve uzun çamur yaşlarında işletilebilmektedir. Ayrıca sistemden atılan çamur miktarının düşük olması, alan ve personel ihtiyacının az olması gibi avantajları, küçük yerleşim yerleri için uygulanabilir atıksu arıtma yöntemlerinden biri olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, Kayseri ilinin Buğdaylı köyünden kaynaklanan atıksuların arıtımı için öncelikle Kayseri atıksu arıtma tesisine (KAAT), pilot ölçekli daldırılmış membran biyoreaktör (SMBR) sistemi kurulmuştur. SMBR'ın sistem performansı ve verimi, pilot ölçekli sistemde belirlendikten sonra Buğdaylı mevkiine kurulan 140 m³/gün kapasiteli tam ölçekli SMBR tesisinde arıtma çalışmalarına başlanmıştır. Analizler yapılarak sistem verimleri değerlendirilmiştir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), 5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), askıda katı madde (AKM), toplam azot (TN), toplam fosfor (TP) ve amonyum azotu (NH₄-N) parametrelerinde sırasıyla %92.3, % 98.8, % 99.5, % 43.9, %50.1 ve %99.9 giderim verimi elde edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile tesis çıkış suyu değerlerinin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKKY) verilen standartları sağladığı ve sulama suyu olarak kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca ülkemizde küçük yerleşim birimleri için SMBR sistemlerinin uygulanabilirliği açısından örnek teşkil edebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: SMBR, evsel atıksu, atıksu arıtımı.

**INVESTIGATION OF NITROGEN(N), PHOSPHORUS(P) AND CARBON
(COD) REMOVAL FROM MUNICIPAL WASTEWATER WITH MEMBRANE
BIOREACTOR**

Eren HASBULBUL

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, August 2010

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Oktay OZKAN

ABSTRACT

The number of membran technology applications for municipal wastewater treatment increases day by day. Compared with conventional advanced treatment methods these methods have less operational problems. These technologies can be operated with low hydraulic retention times and high sludge retention times. Furthermore, because of advantages like low waste sludge generating, low area and personal demand, this is an applicable technology for small dwelling area's wastewater treatment.

In this study, for the treatment wastewater generated by Buğdaylı Kayseri city location, a pilot-scale submerged membran bioreactor (SMBR) was installed at Kayseri Wastewater Treatment Plant. After determination of the efficiency of the pilot-scale SMBR a treatment application with SMBR plant which has 140 m³/d capacity was established at Buğdaylı location. The commissioned plant was monitored and experiments were evaluated.

According to the experimental results the treatment efficiencies for COD, BOD₅, TSS, TN, TP and NH₄-N parameters were 92.3%, 98.8%, 99.5%, 43.9%, 50.1% and 99.9% respectively. Based on the experimental results, the effluent water values appropriate for Water Pollution Control Regulations discharging limits. Furthermore, it is expected that this study serve as an example study for small dwelling areas in terms of their applicability.

Keywords: SMBR, municipal wastewater, wastewater treatment.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
1.BÖLÜM	
GİRİŞ VE AMAÇ	1
2.BÖLÜM	
MEMBRAN TEKNOLOJİSİ.....	2
2.1. Membran	2
2.2. Membran Filtrasyonu	2
2.2.1. Mikrofiltrasyon (MF).....	3
2.2.2. Ultrafiltrasyon (UF)	3
2.2.3. Nanofiltrasyon (NF).....	4
2.2.4. Ters Osmoz (RO)	4
2.3. MBR Tanımı	5
2.4. MBR Konfigürasyonları	6
2.5. Membranın Performansı.....	9
2.5.1. Tutma (Rejection)	9
2.5.2. Süzüntü Akısı (Permeate flux).....	9
2.5.3. Kirlenmenin (fouling) Önlenmesi	10
2.5.4. Membranın Temizlenmesi	11
2.6. Biyolojik Aktivite	12
2.6.1. Karbon Giderimi	12
2.6.2. Azot Giderme	14
2.7. Enerji Tüketimi	15
2.8. Ticari MBR'lar.....	17
2.9. MBR Konvansiyonel Sistemlere Göre Avantajları ve Dezavantajları.....	18
2.10. MBR Arıtımından Önce Azot ve Fosforun Biyolojik Olarak Giderimi	20
2.10.1. A ² /O Prosesi	20
2.10.2. Bardenpho Prosesi (Beş basamaklı).....	21
2.10.3. UCT Prosesi	21
2.10.4. VIP Prosesi.....	22

3.BÖLÜM

MATERYAL ve METOT	24
3.1. SMBR Öncesi Biyolojik Arıtım Seçimi.....	24
3.2. KAAT Pilot Ölçekli SMBR Tesis Çalışma Prensibi	24
3.3. Tam ölçekli SMBR Sistemin Çalışma Prensibi	28
3.4. SMBR İşletim Şartları (Parametreleri).....	29
3.5. Buğdaylı Köyü' nün Tasarım Parametre Kabul Değerleri.....	30
3.6. SMBR Siteminin Boyutları ve Kullanılan Malzemeler Özellikleri	31
3.6.1. Tesiste Kullanılan SMBR Özellikleri	36
3.7. Deneysel Yöntemler	37

4.BÖLÜM

BULGULAR	38
4.1. KAAT SMBR Tesisi Giderim Verimi	38
4.2. Buğdaylı Köyü'nün SMBR İşletimi boyunca giderim verimi	42
4.2.1. SMBR'de azot ve fosfor giderimi	48

5.BÖLÜM

SONUÇLAR ve TARTIŞMA	54
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	62

KISALTMA ve SİMGELER

AB	:Avrupa Birliği
AKM	:Askıda Katı Madde
ASP	:Aktif Çamur Tesisi
BAF	:Biyolojik Havalandırılmış Filtre
BOİ ₅	:5 Günlük Biyolojik Oksijen İhtiyacı
C	:Karbon
C	:Seramik
CaCl ₂	:Kalsiyum Klorür
ÇO	:Çözünmüş Oksijen
DD	:Donan Diyaliz
DPAO	:Denitrifiye Fosfor Biriktiren Organizmalar
E _c	:Enerji Harcaması
EMBR	:Harici Membran Biyoreaktör
F/M	:Besi/Mikroorganizma
HF	:Boşluklu Fiber
HRT	:Hidrolik Bekletme Zamanı
KAAT	:Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi
KOİ	:Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LMH	:Akı
MBR	:Membran Biyoreaktör
MF	:Mikro Filtrasyon
MLSS	:Karışık Sıvıdaki Askıda Katı Konsantrasyonu
MWCO	:Molekül Ağırlığı Azalması
N	:Azot
NaOCl	:Sodyum Hipoklorit
NaCl ₂	:Sodyum Klorür
ND	:Tanımlanamamış
NF	:Nanofiltrasyon
NH ₄ -N	:Amonyum Azotu
NO ₂	:Nitrit

NO ₃ -N	:Nitrat Azotu
Θ	:Hidrolik Bekleme Süresi
OLR	:Organik Yükleme Oranı
P	:Fosfor
P+F	:Plak ve Çerçeve
PAO	:Fosfor Biriktiren Organizmalar
P _C	:Geri Devir Pompasının Harcadığı Güç
PE	:Polietilen
PP	:Polipropilen
PS	:Polisülfon
PVF	:Polyvinilydene Florür
Q _P	:Süzüntü Debisi
Q _R	:Geri Devir Debisi
RO	:Ters Osmoz
SKKY	:Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SMBR	:Daldırılmış Membran Biyoreaktör
SOTE	:Standart Oksijen-Transfer Verimi
SRT	:Çamur Yaşı
SS	:Yan Taraf Akımlı
SUB	:Daldırılış
T	:Tüp
TF	:Damlatmalı Filtre
TMP	:Trans-Membran Basıncı
TN	:Toplam Azot
TP	:Toplam Fosfor
UAKM	:Uçucu Askıda Katı Madde
UF	:Ultrafiltrasyon
X	:Askıda Katı Madde Konsantrasyonu
Δp	:Havalandırma Maliyeti
η	:Pompa Verimi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Değişik atıksu arıtma sistemleri için çamur üretimi	6
Tablo 2.2.	Dahili ve harici MBR'ların karşılaştırılması.....	8
Tablo 2.3.	MBR sistemi üreticilerinin teknik özellikleri.....	8
Tablo 2.4.	MBR'lerde özgül akı azalma hızı	10
Tablo 2.5.	MBR sistemlerinde temizleme rejimleri	12
Tablo 2.6.	Değişik biyolojik arıtma proseslerinin organik yükleme oranları.....	13
Tablo 2.7.	Evsel atıksu arıtılan MBR'larda KOİ ve NH ₃ giderimi	14
Tablo 2.8.	MBR sistemlerinde membran konfigürasyonu, işletme parametreleri ve enerji harcanması	16
Tablo 2.9.	Evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan mevcut ticari MBR' lar.....	17
Tablo 2.10.	MBR ve konvansiyonel sistemlerin giderim verimlerinin karşılaştırılması	19
Tablo 2.11.	Birleşik azot ve fosfor gideriminde biyolojik proseslerin tipik tasarım bilgileri	23
Tablo 3.1.	SMBR tasarım parametre kabulleri.....	31
Tablo 3.2.	SMBR sisteminin reaktör boyutlandırması	31
Tablo 3.3.	SMBR sisteminde kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	32
Tablo 4.1.	KAAT'deki pilot ölçekli SMBR sisteminin ham atıksuyun ortalama karakteristik değerleri.....	38
Tablo 4.2.	Tam ölçekli SMBR'da arıtılmış suyun ortalama karakteristik değerleri	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Membran Proses Tipleri.....	5
Şekil 2.2. (a) Harici MBR, (b) Dahili(Entegre) MBR konfigürasyonları	7
Şekil 2.3. Klasik aktif çamur prosesi.....	18
Şekil 2.4. MBR prosesi.	19
Şekil 2.5. A ² /O prosesi	20
Şekil 2.6. Beş-Basamaklı Bardenpho prosesi.....	21
Şekil 2.7. UCT prosesi	22
Şekil 2.8. VIP prosesi	22
Şekil 3.1. SMBR'nin şematik akış diyagramı	25
Şekil 3.2. Pilot ölçekli MBR sisteminin çalışma prensibi.....	26
Şekil 3.3. (a) SMBR sisteminin genel görünüşü, (b) SBR kasetinin havalandırma tankı içinde görünüşü, (c) SMBR kaseti ve şamandıra sisteminin görünüşü.....	27
Şekil 3.4. Buğdaylı Köyü için SMBR tesisinin inşaatı aşamalarının fotoğrafları (a)Tabliye beton sonrası, (b)Sisteme Yağ tutucu montajı, (c)PLC sistemi, (d)Süzüntü suyu çıkış depo tankı, (e)Yağ tutucu, (f)Nitrifikasyon havuzu, (g)Genel görünüşü.....	36
Şekil 3.5. Toray TMR 140-100S modelli batık membran.....	37
Şekil 4.1. Reaktörde giriş ve çıkış KOİ değerlerinin değişimi.....	39
Şekil 4.2. Reaktörde giriş ve çıkış BOİ değerlerinin değişimi.....	39
Şekil 4.3. Reaktörde giriş ve çıkış AKM değerlerinin değişimi	40
Şekil 4.4. Reaktörde giriş ve çıkış TN değerlerinin değişimi	41
Şekil 4.5. Reaktörde giriş ve çıkış TP değerlerinin değişimi	42
Şekil 4.6. SMBR' de (a)pH, (b)Çözünmüş oksijen konsantrasyonu, (c)İletkenlik, (d)Sıcaklık değerleri.....	44
Şekil 4.7. (a)SMBR'de giriş ve çıkış KOİ'nin değişimi ve (b)KOİ giderimi.	45
Şekil 4.8. (a)SMBR'de giriş ve çıkış BOİ ₅ 'nin değişimi ve (b)BOİ ₅ giderimi.	46
Şekil 4.9. (a)Toplam AKM'nin SMBR giriş ve çıkış değerleri ve (b)AKM giderimi. .	47
Şekil 4.10. (a)SMBR'da giriş ve çıkış TN konsantrasyonları ve (b)TN giderimi.	49
Şekil 4.11. (a)SMBR'da NO ₃ ⁻ N konsantrasyonlarının değişimi ve (b)NH ₄ ⁺ -N konsantrasyonlarının değişimi.	50
Şekil 4.12. (a)SMBR'da giriş ve çıkış TP konsantrasyonları ve (b)TP giderimi.....	51
Şekil 4.13. (a)Havalandırma havuzundaki AKM ve (b)SMBR havuzundaki AKM değişimi	52

1. BÖLÜM

GİRİŞ VE AMAÇ

TÜBİTAK KAMAG tarafından desteklenen 107 G 253 nolu “Küçük Yerleşim Birimleri İçin Uygun Atıksu Arıtma Alternatiflerinin Araştırılması: Yamula Baraj Havzasında Bir Örnek Çalışma” isimli proje kapsamında yapılan Kayseri ilinin Buğdaylı köyündeki SMBR sistemi kurulmuştur.

Türkiye, Avrupa Birliği (AB)’ne üyelik sürecinde kentsel atıksularını yönetmelik ve standartlara uygun bir şekilde arıtma zorunluluğuna girmiştir. Bu nedenle başta özellikle belediyeler olmak üzere, birçok kamu ve özel kuruluş arıtma tesislerini iş temin planlarına uygun olarak tamamlamak durumundadır. Nüfusu 2000 kişinin üzerinde olan yerleşim birimleri için arıtma tesisi yapma yükümlülüğü bulunmaktadır. Küçük yerleşim birimlerinde atıksu konusu ile ilgili yeterince bilgi birikimi oluşmaması ve uzman personel bulunmayışı nedeni ile arıtma tesisi sistem seçiminde büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Deşarj yeri özellikleri, atıksu karakteristiği, standartlar gibi pek çok faktör çoğunlukla dikkate alınmadığı için tesisler yeterli verimde çalıştırılmamaktadırlar.

Bu tezde, Kayseri ilinin Buğdaylı köyünden kaynaklanan atıksuların arıtımı için, SMBR uygulanabilirliği araştırılarak, SMBR performansı, giderim verimliliği ortaya konulmuştur. SMBR’ dan önce biyolojik olarak karbon (C), azot (N) ve fosfor (P) giderimleri için biyolojik arıtma sistemi seçimi yapılarak tasarlanmıştır. Konvansiyonel arıtma sistemleri ile gerek avantaj ve dezavantajları gerekse giderim verim açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. BÖLÜM

MEMBRAN TEKNOLOJİSİ

2.1. Membran

Membran, iki faz arasında seçici yarı geçirgen bir malzemedir [1] ve seçici bir şekilde ayırmanın ile taşınımın gerçekleştirildiği engeller olarak tanımlanabilir. Atıksu arıtımında, artan yükümlülükler için membran ayırma sistemlerinin seçiminde veya tasarımında en önemli parametre, arıtılacak suyun özelliğine göre uygun membran seçimidir. Birçok proses için membran askıda veya çözünmüş halde olabilen kirleticileri tutarak suyun büyük ölçüde arıtımını sağlar [2].

Membran kullanımının genel olarak saflaştırma, derişikleştirme ve fraksiyonlara ayırma gibi 3 farklı amacı vardır ve sanayinin birçok kolunda genişleyen bir kullanım alanına sahiptir. Bir membran ayırma sistemi girdi akımını permeat ve retentat olarak adlandırılan iki akıma ayırır. Permeat yarı geçirgen membrandan geçen akışkan kısımdır. Retentat akımı ise membrandan geçemeyen kısmı oluşturur. Kullanılan membranın kalınlığı mikron seviyesinden birkaç milimetreye kadar değişebilir [3].

2.2. Membran Filtrasyonu

Membran filtrasyon prosesleri ile partiküllerden moleküllere kadar çok sayıda maddenin sıvı ortamdan ayrıştırılmasında karşılaşılan problemlere etkili çözümler getirebilmektedir. Membran filtrasyonu, basit bir mekanik ayırma prosesidir. Basınç farkı, derişim (kimyasal potansiyel) farkı, elektriksel potansiyel

farkı ve sıcaklık farkının biri veya kombinasyonlarıyla oluşturulan itici kuvvetle gerçekleşmektedir. Ayırma işlemini gözenekli membranlar boyut, şekil ve yük ayırımına göre, gözeneksiz membranlar ise sorpsiyon ve difüzyon modeline göre kontrol ederler. Membran performansı seçicilik ve akı parametreleriyle belirlenir. Membran prosesleri destilasyon gibi geleneksel ayırma prosesleriyle yarışabilen veya onlarla birlikte hibrid olarak kullanılabilen, genellikle düşük enerji gerektiren ayırma prosesleridir.

Son zamanlarda oldukça fazla uygulaması bulunan membran prosesleriyle; meyve suyunun berraklaştırılması ve derişiklendirilmesi (Ters Osmoz-RO), deniz suyundan içme suyu eldesi (RO), fermantasyon besiyerlerinin derişiklendirilmesi (Nanofiltrasyon-NF), su ve atık su işlemleri (Ultrafiltrasyon-UF ve Mikrofiltrasyon-MF), sulu çözeltilerden iyonik yapıdaki değerli metallerin geri kazanımı ya da derişiklendirilmesi (Donnan Diyalizi-DD) gibi çok sayıda endüstriyel uygulama gerçekleştirilebilir [4, 5, 6, 7, 8].

2.2.1. Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon (MF) ultrafiltrasyonla (UF) prosesleri benzer proseslerdir ve temelleri aynıdır. Her iki proste sürücü güç basınçtır. Bu iki proses arasındaki tek fark ayrıştırılan materyallerin boyut aralığıdır [9,10].

Bu yöntemde ayrılabilen partiküllerin boyutu 0,1-1 mikron aralığında değişir. Askıda katı maddeler ve büyük moleküllerin uzaklaştırılması gerçekleşirken makro moleküller ve çözülmüş maddeler membrandan geçerler. MF uygulamaları arasında bakterilerin, flok maddelerin veya askıda katı maddelerin uzaklaştırılması sayılabilir. Trans-membran basıncı (TMP) 0,7 bardır (10 psi) [11].

2.2.2. Ultrafiltrasyon (UF)

UF yüksek moleköl ağırlıklı bileşenleri isi uygulaması ve faz değişimine uğramadan konsantre etme imkânı sunar [9,10]. UF uygulamasında çözeltideki bileşenleri ayırmak için seçici moleköl ağırlık ve yapısal özelliklere göre ayırım yapan yarı geçirgen membranlar kullanılır. 10-1000 Å° (0,1 mikron) aralığındaki partiküllerde makro moleküller ayırım gerçekleştirir [9,10]. Bütün çözülmüş tuzlar ve küçük moleküller

membrandan geçer. Uzaklaştırılan maddeler arasında kolloidler, proteinler, mikrobiyolojik kontaminantlar ve büyük organik moleküller vardır. Moleküler ağırlık ayırma değerleri 1000-100.000 Dalton arasındadır. TMP 1-7 bardır (15-100 psi) [11].

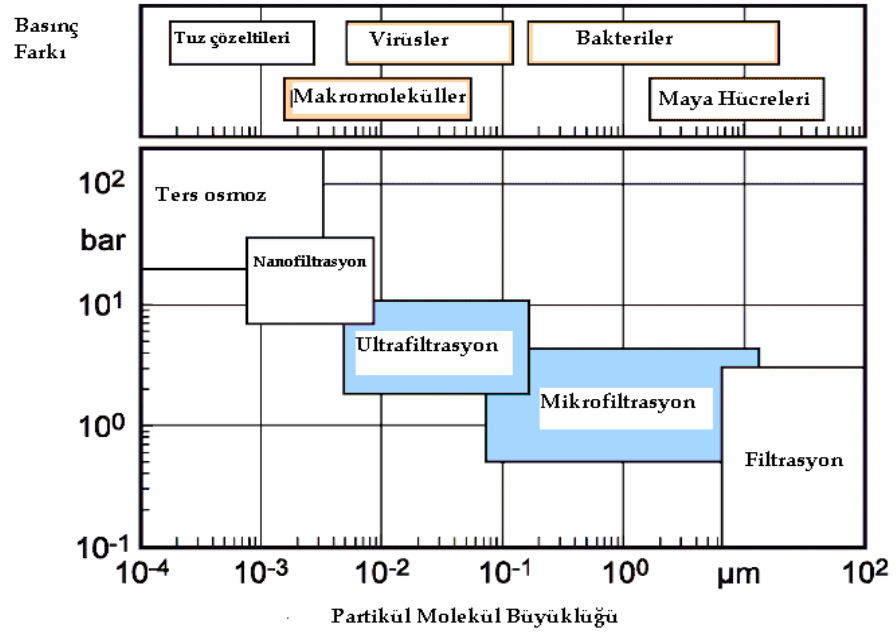
2.2.3. Nanofiltrasyon (NF)

Nanofiltrasyon (NF) son zamanlarda kullanılmaya başlamış ve moleküler ağırlık sınırı UF ile ters osmoz (RO) arasında olan bir membran ayırma yöntemidir. Genellikle bakterilerin, virüslerin, organik kalıntıların ve sertliğin uzaklaştırılmasında kullanılır. Ayrılma işlemi organik bir yarı geçirgen membrandan oluşan seçici geçirgen bir tabaka üzerinde gerçekleşir [9,10]. Yaklaşık 1 nm (10^{-9} m) büyüklüğündeki partikülleri uzaklaştırır. Bu yüzden “nanofiltrasyon” olarak adlandırılır. NF, MF ve RO arasında çalışır. Molekül ağırlığı 200-400’den büyük organik moleküller atılır. Aynı zamanda çözünmüş tuzların % 20-98’i uzaklaştırılır. Tek değerlikli anyonları olan (monovalent) tuzlar (Sodyum klorür-NaCl, Kalsiyum klorür CaCl_2) %20-80 oranında uzaklaştırılırken çift değerlikli anyonları olan (divalent) tuzlar %90-98 oranında atılır. 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. TMP 3,5-16 bardır (50-225 psi) [11].

2.2.4. Ters Osmoz (RO)

RO membran, basınçlı bir süzme işlemidir. RO membran, çözünmüş bütün tuzlara ve anorganik molekülleri ve molekül ağırlığı 100’den büyük olan organik moleküllere bir engel-bariyer görevi yapar. Bu sistem tuzların ve düşük molekül ağırlıklı maddelerin yarı geçirgen bir ortamdan geçirilmesi prensibine dayanır. Öte yandan su molekülleri membrandan serbestçe geçerek ürünü oluştururlar. Bu işlem esnasında ekonomik olarak uygun akıllar elde etmek için en az iki kat osmotik basınç uygulanmalıdır [9,10]. Çözünmüş tuzların atılımı % 95-99 arasındadır. RO’nun çeşitli uygulamaları şunlardır: deniz suyunun veya kireçli suların içme suyu eldesi amacıyla desalinasyonu, atıksu geri kazanımı, gıda ve meyve suyu işleme, biyomedikal ayırmalar, evlerdeki içme suyunun ve endüstriyel proses suyunun saflaştırılması. Ayrıca ters osmoz, yarı iletken sektörü,

güç üretimi (kazan besisi suyu hazırlanması) endüstrisi ve laboratuvar/medikal uygulamaları için ultra saf su üretiminde yaygın olarak kullanılır. TMP 14-69 bardır (200-1000 psi) [11]. Partikül büyüklüğüne göre farklılık gösteren membran proseslerinin tipleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Membran Proses Tipleri [12].

2.3. MBR Tanımı

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

UF veya MF membran tutulan maddeleri ayırır; esas olarak su ve diğer çözücü türler membrandan geçerken katı maddeler ve mikroorganizmalar tutulur. MBR sistemi, BOİ₅, AKM, N, P ve bakteri için yüksek giderme verimleri sağlayacak geliştirilmiş yeni bir arıtma prosesidir.

MBR, klasik aktif çamur prosesine (ASP) göre daha düşük çamur üretimine sahiptir. Atıksu arıtma sistemleri için çamur üretimi SMBR sistemi ASP’nin yarısı kadar yer kaplar ve çamur üretimi de benzer olarak yarıya düşer [13,14]. Çamur uzaklaştırma

işletme maliyeti içinde önemli bir yer tuttuğundan, onun üretimindeki azalma potansiyel bir kazanç sağlayacaktır. Tablo 2.1’ de farklı arıtma proseslerinden oluşan çamur üretim miktarları verilmiştir.

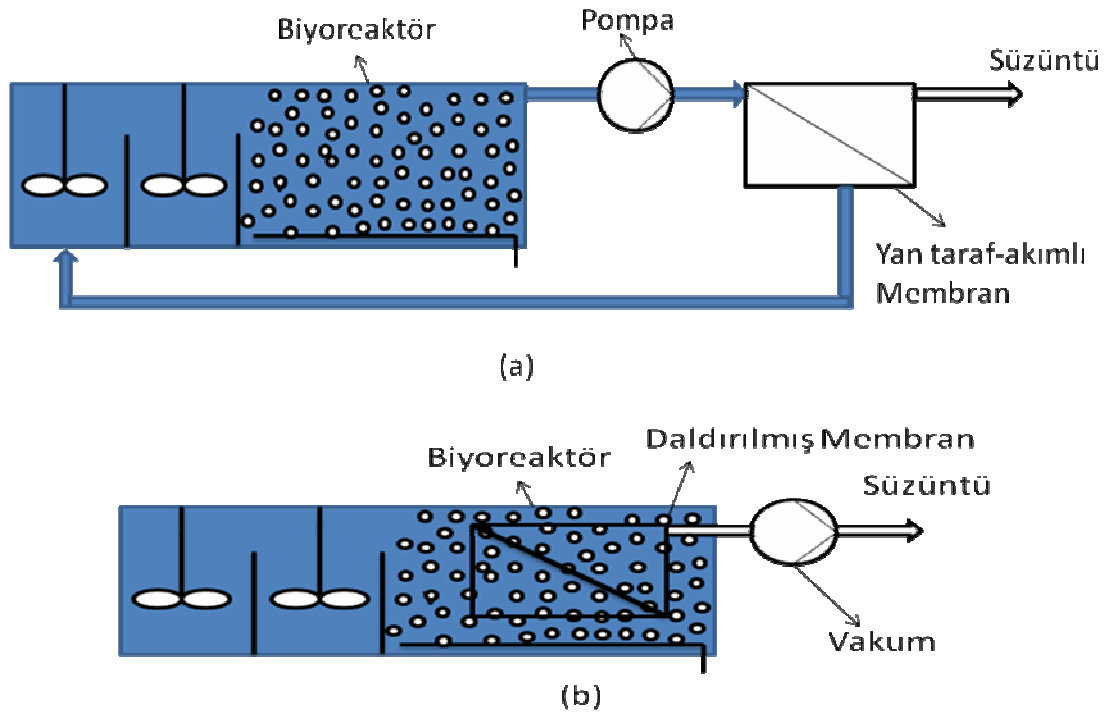
Tablo 2.1. Değişik atıksu arıtma sistemleri için çamur üretimi [14]

Arıtma Prosesi	Çamur üretimi (kg/kgKOİ)
Daldırılmış membran biyoreaktör (SMBR)	0,0–0,3
Tasarım ortamlı biyolojik havalandırılmış filtre (BAF)	0,15–0,25
Damlatmalı filtre (TF)	0,3–0,5
Klasik aktif çamur (ASP)	0,6
Granüler ortamlı BAF	0,63–1,06

Membran sistemlerin hangi uygulamasının seçileceğine etki eden ana parametreler atıksuyun karakterizasyonu ve arıtılması istenen parametrelerdir. MBR sistemleri biyolojik arıtmayla birleşik olan membran filtrasyonundan teşekkül etmektedir. Biyolojik arıtma ile membran filtrasyonun kombine edilmesinden teşekkül eder.

2.4. MBR Konfigürasyonları

Uygulanmakta olan MBR sistemlerin harici (Şekil 2.2.a) ve dahili-entegre (Şekil 2.2.b) olmak üzere 2 ana konfigürasyon vardır [10,14,15]. Harici MBR’da sıvı/biyokütle ayrımının yan taraf-akımlı membran filtrasyonu ile ayrı bir ünite de gerçekleşir. Dâhili MBR’da sıvı/biyokütle ayrımının biyoreaktör içinde SMBR ile gerçekleşir.



Şekil 2.2. (a) Harici MBR, (b) Dahili(Entegre) MBR konfigürasyonları [14,15].

Harici MBR'da atıksu biyoreaktöre gelerek biyokütle ile etkileşime girer. Karışım bir pompa ile harici MBR içeren resürkülasyon döngüsüne girer ve burada süzüntü deşarj edilirken kalıntılar biyoreaktöre geri gönderilir. Membran operasyonu olarak tanımlanan TMP ve akış hızı bir pompa sayesinde oluşturulur. SMBR'da membran üzerindeki su basıncı TMP oluşturmaktadır, bazı durumlarda basıncın artırılması için emme pompası kullanılabilir [14,15].

SMBR'larda farklı amaçlar için genellikle iki tür havalandırma uygulanır. Reaktör tabanındaki difüzörlerden verilen kaba hava kabarcıklı havalandırma ile biyokütlenin oksijen ihtiyacı hedeflenir. Öte yandan membran yüzeyine uygulanan ince hava kabarcıklı havalandırma ile membran yüzeyine maddelerin birikip akıyı azaltması engellenmeye çalışılır. Yükselen hava kabarcıkları membran yüzeyinde türbülanslı karşı akım yaratıp, membran yüzeyinde materyallerin birikmesini azaltır, böylece sistem daha etkin çalışır [14,15].

Konfigürasyon seçeneğine karar vermek spesifik uygulamaya bağlı olsa da genellikle SMBR'lar daha sık uygulanmaktadır. İki konfigürasyonun karşılaştırılması Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Dahili ve harici MBR'ların karşılaştırılması [15]

Dahili/Entegre MBR	Harici MBR
Yüksek havalandırma masrafı	Düşük havalandırma masrafı
Düşük pompa masrafı	Yüksek pompa masrafı
Düşük akı	Yüksek akı
Büyük alan gereksinimi	Küçük alan gereksinimi
Daha az temizleme ihtiyacı	Daha fazla temizleme ihtiyacı
Düşük işletme maliyeti	Yüksek işletme maliyeti
Yüksek ilk yatırım maliyeti	Düşük ilk yatırım maliyeti

Tablo 2.3'de değişik MBR sistemi üreticilerinin teknik özellikleri verilmiştir. Membran maliyetleri, sistem bütünlüğü, işlerliği, tıkanma kontrolü ve temizleme mekanizmasıdır. Membranların tıkanması pompaj ve havalandırma gereksinimlerini direk etkileyip dolayısıyla da sistem maliyetini önemli ölçüde etkiler. Daha az tıkanan veya ucuz maliyetle daha kolay temizlenebilen membranların geliştirilmesi için yoğun araştırma-geliştirme çalışmaları yapılmaktadır [15].

Tablo 2.3. MBR sistemi üreticilerinin teknik özellikleri [14]

Parametre	KUBATO	MİTUBUSHİ RAYON	ZENON	ORELİS veya WEHRLE
Membran Geometrisi	Düz Tabakalı	Gözenekli Fiber	Gözenekli Fiber	Tübiller
Proses Konfigürasyonu	Dahili (Batık)	Dahili (Batık)	Dahili (Batık)	Harici
Ortalama Hava Hızı (m/s)	0,05	0,03	0,1	---
Ortalama Sıvı Hızı (m/s)	0,5*	---	---	1-3
TMP (bar)	0,05-0,15	0,1-0,5	0,1-0,5	2-5
Akı (LMH)	15-35	20-50	40-70	70-130
Pemabilite(LMH/bar)	250-500	100-200	150-400	25-35

*Üretici tarafından önerilen

2.5. Membranın Performansı

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

2.5.1. Tutma (Rejection)

Tutma, biyolojik ve biyolojik olmayan kolloidlerin ve makromoleküllerin süzülerek veya adsorpsiyonla giderilmesidir. MBR teknolojisinin önemli özelliklerinden birisi de çıkış suyunda patojenik mikroorganizma kalmayacak şekilde atıksuyu dezenfekte etme kabiliyetidir. Bu durum, suyun yıkanma suyu veya geri kazanma amaçlı kullanılmasında önem kazanmaktadır. Bakteri ve virüslerin, UF ve MF membranlarının her ikisi tarafından tutulması ise önemli bir özellik olarak bilinmektedir [13,14]. Bu membranların por büyüklükleri 0,05-1,5 µm mertebesinde değişmektedir.

2.5.2. Süzüntü Akısı (Permeate flux)

Süzüntü akısı azalması, besleme suyu (kompozisyonu), membran (membran elemanının geometrisi/konfigürasyonu (biçimi), alan ve materyalin kompozisyonu) ve operasyona (hidrodinamik) bağlı birçok faktöre göre değişmektedir. Membranın besleme atıksuyundaki kirletici bileşenler tarafından tıkanması, membranın iç ve dış yapısında bu maddelerin birikmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır [13,14,16]. Bu da, membranın filtrasyona direncini ve dolayısıyla enerji harcamalarını artırır. Ayrıca membranın temizlenmesi de toplam maliyete eklenir. Tıkanma genellikle membranın dışında membran yüzeyinde dinamik bir tabaka formunda yer almaktadır. Tablo 2.4' de akının azalma hızı genellikle zamanla azalır, ancak akının veya basıncın artması ile arttığı gösterilmiştir.

Tablo 2.4. MBR’lerde özgül akı azalma hızı [14]

Membran Konfigürasyonu	Akı/Akı Değişimi (m ³ /m ² gün)	Basınç/Basınç Değişimi (m ³ /m ² gün)	Zaman (gün)	Özgül Akı Hızı (m/gün ² bar)
Daldırılmış (SUB), P+F, PS 0,4 mm	0,5	0,06	0,04	208
Daldırılmış (SUB), P+F, PS 0,4 mm	0,1	0,7	0,2	0,79
Yan taraf-akımlı (SS), T, C, 0,1 mm	2,9	1,8	22	0,73
Daldırılmış (SUB), P+F, PS 0,4 mm	0,9	0,06	39	0,38
Daldırılmış (SUB), HF, PE, 0,1 mm	0,2	0,7	70	0,004
Yan taraf-akımlı (SS), P+F, PS, 2000 kDa	0,5	3,9	165	0,0008

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

Özgül akı hemen daima TMP azalması ile artar. Mesela, bir düşük basınçlı daldırılmış P+F sistemi için başlangıç özgül akısı 733 L/ m² h bar olarak kaydedilmiş iken bunun eşdeğeri bir yan taraflı HF sistemi için 300 L/ m² h bar olmaktadır [14]. Bu, iki konfigürasyonun karşılaştırılması ölçülerinden birini gösterir. Yalnız sıvının pompalanmasında işletme verimi göz önüne alındığında daldırılmış MBR, yan taraflı-akımlı(SS) konfigürasyondan daha fazla verimlidir. Membranların kirlenmesi (fouling), filtrasyon işleminin başlangıcında veya basınçtaki değişimlerde veya akı çok hızlı iken kritik değerlere çıkmaktadır [13, 14, 15, 16, 17].

2.5.3. Kirlenmenin (fouling) Önlenmesi

Atıksuyunun kompozisyonu membran ile etkileşim yaparak süzüntü akısını etkileyebilir. Mesela, protein ve bakterilerin hidrofobik polimerik yüzeylere bağlanması araştırılmış ve permeabilite üzerinde olumsuz etkisi görülmüştür. pH ayarlaması yapılarak, elektrostatik ve kısa aralıklı kuvvetlerin proteinle kirlenmeye katkısı gösterilmiştir [17, 18].

Mevcut membran malzemeleri seramik/metalik (inorganik) veya polimerik (organik) malzemelerden oluşur. Seramik membranlar (zirkonyum ve titanyum oksit

kompozitleri), yüksek hidrolik, termal ve kimyasal direnç gösterir, ancak sınırlı bir membran geometrisine sahiptir ve polimerik malzemelerden daha pahalıdır [17, 18, 19]. Doğal olarak, polietilen (PE), polipropilen (PP), polyvinilydene florür (PVF) ve polisülfon (PS) gibi hidrofobik membranlar hidrofilik polimerler ile karışım yapılabilir veya yüzeyleri hidrofilikler ile iyileştirilebilir. Birçok araştırmada, UF ve MF membran malzemelerde hidrofobisitenin önemi belirtilmiş ve hidrofilik membranların akı azalmasından hidrofobiklere göre daha az zorlandığı gösterilmiştir. Aynı çalışma şartlarında hidrofilik membranlar hidrofobiklere göre daha düşük basınçlarda çalışırlar ve geri kazanmaları da daha yüksektir [18, 19, 20].

Klasik membran sistemlerinde kirlenme türbülanslı halde işletme ile düşürülür. MBR sisteminde türbülanslı havalandırma şartları, membranın yüzeyinin temizlenmesine yardım ederek kirlenme tabakası oluşumunu ve böylece akı azalmasını bastırır [17,18]. Daldırılmış HF ve PE membranı ile yapılan bir çalışmada, hava akışı hızının membran yüzeyindeki kek tabakası oluşumunu etkilediği ve bir optimum değer (700 L/m) üstünde kek tabakasının çok az gelişme gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca hava akışı hızının azalması ile daha fazla TMP gerek duyulmuş ve membran yüzeyinde birikme olduğu gözlenmiştir [18, 19, 20].

2.5.4. Membranın Temizlenmesi

Tablo 2.5' de iki tip MBR konfigürasyonu için temizlenme şekilleri gösterilmiştir. SMBR'larda, süzüntü akısı nispeten düşüktür ve herhangi bir kirlenme olmaksızın uzun çalışma periyotlarında sağlanabilir. Mesela, SUB P+F konfigürasyonunda yılda iki defa % 0,1 sodyum hipoklorit (NaOCl) çözeltisi ile membran temizlenir [14, 20, 21, 22]. SS, akı ve beraberinde gelen kirlenme oranı daha yüksektir. SS sistemlerin, geri yıkama (süzüntü akısının filtrasyon basınçlarında kısa bir süre için geri döndürülmesidir) veya kimyasal temizleme ile ekseriya daha sık ve daha agresif olarak temizlenmesi gerekmektedir. Seramik (C) membranlı böyle bir sistemde ise % 5,25 NaOCl 60–80°C ısıtılarak konsantre nitrik asitle birlikte kullanılır ve temizleme işlemi 2 saat kadar sürer [14, 20, 21, 22].

Tablo 2.5. MBR sistemlerinde temizleme rejimleri [14]

Membrane	Konfigürasyonu	Temizleme	Temizleme rejimi	Kimyasal
Sub	P+F	Hayır		
Sub	P+F	Hayır	İlk Temizleme Yok	Su+ surfaktan
Sub	HF	Hayır		
Sub	HF	Evet	225 gün	
SS	T	Evet	220 gün	Su+klor,
SS	T	Evet	Haftalık	beyazlat+nitrik
SS	HF	Evet	İlk 15 gün	asit
SS	HF	Evet	İlk 15-70 gün	

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

2.6. Biyolojik Aktivite

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

2.6.1. Karbon Giderimi

MBR içindeki membran yaklaşık %30 organik madde giderimi sağlar, bu da kabaca çözünmeyen kısma karşılık gelir, çözünür kısım ise aktif biyokütle tarafından giderilir[14, 23, 24]. Optimum şartlar altında bu biyokütle çevredeki besi limiti nispetinde içsel solunuma kadar etkinliğini devam ettirir. MBR'lar hidrolik bekletme süresi (HRT) ve çamur yaşı (SRT) birbirinden bağımsız olması avantajına sahiptir. Bu reaktörlerde, büyük makromoleküller klasik ASP'lere göre havalandırma tankında daha uzun süre biyokütle ile temas halinde kalmaktadır. Bu da özel bakterinin büyümesini ve organik maddenin bozunmasını ve sonuç olarak similasyonunu/mineralizasyonunu sağlar. Tablo 2.6'dan görüldüğü gibi organik giderme 4-7,5 saatlik kısa HRT' lerde bile %95 in üzerindedir [14, 23, 24]. MBR' ların organik yükleme oranı (OLR) damlatmalı filtre, ardışık kesikli reaktör ve klasik ASP'den daha yüksektir; ancak yüksek hızlı havalandırılmalı ve tam karışımli ASP' ler ve biyolojik havalandırılmış filtre (BAF)' lerden daha düşüktür. MBR' larda organik yükleme süzüntü hızı ile sınırlandırılmıştır. Biyolojik arıtma proseslerinin organik yükleme oranları Tablo 2.6' da gösterilmiştir.

Bir ASP siteminde organik yük artışı heterotrofik aktiviteyi arttırır ve organik giderme birinci mertebe kinetiğine göre olmaktadır. Bu durum MBR'lar için de geçerlidir [23, 24]. MBR larda organik madde giderimi her ne kadar aktivitede azalma olsa da düşük sıcaklıktan (5 ve 20°C arasında) önemli derecede etkilenmemektedir [14, 23, 24, 25].

Tablo 2.6. Değişik biyolojik arıtma proseslerinin organik yükleme oranları [14, 23]

Reaktör	Organik yükleme (kgBOİ ₅ /m ³ gün)	HRT (h)
BAF		
Aşağı akışlı	1,5 (KOİ)	1,3
Yukarı akışlı	4	—
Aşağı akışlı	7,5	—
TF		
Düşük hızlı	0,08-0,4	—
Orta	0,24-0,48	—
Yüksek hızlı	0,48-0,96	—
ASP		
Ardışık kesikli	0,08–0,24	12–50
Klasik	0,32–0,64	4–8
Tam karışımli	0,8–1,92	3–5
Yüksek hızlı Hav.	1,6–16	2–4
MRB		
Sub. P+F (Kubota)	0,39–0,7	7,6
Sub.HF (Tech-Sep)	0,03–0,06	1
Sub. P+F	0,005–0,11	8
Sub HF	1,5 (KOİ)	0,5
SS C	0,18	24
SS P+F	0,45–1,5 (KOİ)	8

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

2.6.2. Azot Giderme

MBR' da nitrifikasyonun klasik ASP' lerdekinden daha büyük olduğu görülmüştür [24]. MBR' larda nitrifiye bakteri için uzun bekletme süresi (yüksek çamur yaşı, düşük besi maddesi/m.organizma oranı) ve flok içine büyük nütrient ve oksijen taşınımına izin veren küçük floklar mevcuttur. MBR' larda hemen hemen tam denitrifikasyon olduğu Tablo 2.7' de gösterilmiştir [14, 22, 27, 28]. N yükleri 0,1 ve 3,3 kgNH₃ /m³ gün arasında iken, amonyak giderimi %90'dan fazladır [14, 27, 28]. Klasik proseslerdeki gibi, nitrifikasyon besleme suyu kalitesi ve işletme parametrelerine (çözünmüş oksijen (ÇO), sıcaklık, organik yükleme, inorganik ve organik bileşenler, pH ve nutrient seviyeleri (Ca, Mg, Cu ve Mo)) duyarlıdır [26]. Giriş TN 20 and 50 mg /L N, ÇO 1 mg/L ile sürekli besleme tam nitrifikasyon sağlar. Düşük sıcaklıklarda yetersiz oksijen transferi aerobik bakterinin aktivitesini düşürür, nitrit (NO₂) ve NH₄-N okside eden bakterilerde bir azalma olur [26]. ÇO artışı ise bu etkiyi tersine döndürmektedir [26]. Denitrifikasyon, nitrifikasyonun yanında devam edebilir, eğer havalandırma kesikli ise, prosesin hidrodinamiği anoksik bölgelerin oluşmasına yol açıyor veya flokların gelişmesinde küçük anoksik bölgelerin oluşmasına izin veren yüksek organik yükleme yapılıyorsa bu durum görülebilir [27, 29]. Aerobik MBR'larda denitrifikasyon, klasik geri devirli aerobik tanktan önce bir anaerobik tankın eklenmesi ile elde edilebilir.

Tablo 2.7. Evsel atıksu arıtılan MBR'larda KOİ ve NH₃ giderimi [14, 27, 28]

Membran Konfigürasyonu ve Gözenek Boyutu (mm)	KOİ Giriş (mg/L)	NH₃ Giriş (mg/L)	KOİ giderimi (%)	NH₃ giderimi (%)
SUB, PE, HF, 0,3-0,1	150-450	—	86-97	—
SUB, PS, P+F, 0.4	79	—	92	—
SS, C, T, 0,1	71	35	98,7	97,1
SUB, PS, P+F, 0.4	—	25,7	—	91,1
SS, PS, P+F, 50 000 Da	488	—	88-94,5	—
SS, C, 300 000 Da	—	19,7	—	>99

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

2.7. Enerji Tüketimi

Enerji harcanması besleme suyunun pompalanması, konsantrenin geri devri, süzüntünün emilmesi (bazı hallerde) ve havalandırmaya bağlı olarak artar [14,30]. Tablo 2.8’ de sözü geçen iki membran konfigürasyonu bu alternatiflerin bazısını veya hepsini kullanıldığı gösterilmiştir. Mesela, daldırılmış sistemlerde konsantrenin geri devri gerekmemektedir ve bazılarında da süzüntünün emilmesi de gerekmez. Konsantrenin geri devrinde enerji kullanımı, yük kaybı ve debi ile orantılıdır. Geri devir pompasının harcadığı güç (P_c) aşağıdaki şekilde verilir:

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

burada, Q_R = geri devir debisi ($m^3 s^{-1}$) ve η = pompanın verimidir. Pompanın verimi %60 alınırsa[30] ve santrifüj pompanın sürtünmesiz olduğu kabul edilirse, enerji harcanması= E_c ($kW h m^{-3}$) aşağıdaki bağıntı ile elde edilir:

$$E_c = (P_c / Q_P) \times 3.6 \quad 2.2$$

Burada, Q_P =süzüntü debisi ($m^3 s^{-1}$), yani süzüntü akısı ve membran alanını çarpımıdır. Havalandırma maliyeti havalandırma tankının yük kaybından (Δp) hesaplanabilir. İki MBR konfigürasyonu da değişik şekilde önemli derecede kullanır. SS sistemde, havalandırma biyoreaktöre ince kabarcıklı havalandırıcılar tarafından sağlanır. Bu havalandırıcılar, biyokütleyle yüksek bir verimle oksijen transferi yaparlar (5 m derinlikte standart oksijen-transfer verimi (SOTE) %25-40 civarındadır) [31]. SMBR’larda, türbülanslı havalandırma yapılarak hem 1 m/s civarında bir çapraz akış sağlanır (SS sistemde bu değer 2–4 m/s dir), hem de membranın yüzeyi temizlenip kirlenme önlenir ve biyokütleyle oksijen temin edilir. Biyokütleyle oksijen temininde, kaba kabarcıklı havalandırıcıların verimi ince kabarcıklılardan daha düşüktür (5 m derinlikte SOTE %19-37) ancak maliyeti daha azdır. Bazı operasyonlarda (kuvvetli atıksuların arıtılması gibi) kaba ve ince kabarcıklı havalandırıcılar birlikte kullanılır [30, 31].

SS sistemlerde enerji harcanması, daldırılmış sistemlerden genellikle daha yüksek olduğu Tablo 2.7’ de gösterilmiştir. Havalandırma, daldırılmış sistemlerde esas

maliyetin >%90' ını, bu değer yan taraf-akımlı sistemde toplam maliyetin yaklaşık %20'sini teşkil etmektedir. SUB MF membran sisteminde yüksek havalandırma ile toplam maliyet artarken, membranın temizlenme maliyeti azalmaktadır (Tablo 2.5. ve Tablo 2.7.) [14, 32]. Ayrıca Tablo 2.7'de, yan taraf-akımlı PS HF siteminde görülen düşük süzöntü debisi, yüksek miktarda biyokütle konsantrasyonu ile oluşan aşırı membran kirlenmesi yüzündendir [27]. Daldırılmış sistemlerde, süzöntünün emme (vakum) ile çekilmesi hesaba katılmazsa, sıvının pompalama maliyeti yoktur. Süzöntünün vakum ile çekilmesi ise maliyete %28 nispetinde katkıda bulunabilir. Maliyetin büyük kısmı havalandırmadan ortaya çıkar ve toplam enerji harcanması düşük olur. Ancak, bu sistem düşük akıllı olup membran gereksinimlerini ve böylece sermaye giderlerini arttırır. Bu tip sistemlerin pratik efektif boyutları 5000 kişilik nüfus eşdeğeri ile sınırlandırılmıştır. SS sistemlerde, konsantrenin geri devir akımı ile pompalanması toplam maliyetin % 60-80 ile en büyük kısmını teşkil eder.

Tablo 2.8. MBR sistemlerinde membran konfigürasyonu, işletme parametreleri ve enerji harcanması [14,30]

Proses	Sub	Sub	Sub	Sub	SS	SS	SS	SS	SS
Membrane	P+F	P+F	HF	HF	T	T	HF	HF	T
Materyal	PS	PE	PE	PE	PS	C	C	PS	Al(OH) ₃
Por boyutu (µm)	0,4	0,4	0,1	0,1	---	---	0,1	0,1	~0,5
MWCO (kDa)	---	---	---	---	50	300	---	---	---
Yüzey alanı (m ²)	0,24	0,96	2	4	2,6	0,08	1,1	0,39	---
TMP (bar)	0,1	0,3	0,13	0,15	5	2	2	2,75	2,25
Süzöntü akısı(L/ m ² h)	7,9	20,8	8	12	170	175	77	8,3	20
Çapraz akış hızı (m/s)	0,5	0,3-0,5	ND	ND	1-2	3	1,5-3,5	ND	2,2-3,6
Enerji harc., süz.(kWh/m ³ üretim)	---	0,013	0,0055	0,23	0,17	9,9	32	0,045	140
Enerji harc., hav.(kWh/m ³ üretim)	4	0,0091	0,14	70	0,52	2,8	9,1	10	10
Top.enerji harcan.(kWh/m ³ üretim)	4	0,022×10 ⁻²	0,14	70	0,69	13	41	10	50

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

Tablo 2.8' de daldırılmış sistemlerde, P+F veya HF membranlarda yüzey alanları çok benzerdir ve benzer süzöntü akıları ürettiği gösterilmektedir. SS tüp membranlarda ise seramik membranların daha küçük yüzey alanı ve daha küçük TMP değerleri ile kirlenmeye yüksek direnç gösteren polimerik membranlar ile benzer süzöntü akısı

ürettiği gözlenmiştir. HF sistemi yüksek kirlenme eğilimi sebebiyle tüp membranlardan daha düşük süzöntü akısı üretir.

2.8. Ticari MBR'lar

Tablo 2.9'da günümüzde evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan mevcut ticari MBR'lar verilmektedir. Bunlar SUB ve SS konfigürasyonlar arasında az çok eşit olarak dağılmaktadır. Çalıştırılan sistemlerin hepsinde biyokütle konsantrasyonu (MLSS) seviyesi 20.000 mg/L' ye kadar çıkmaktadır [12,13].

Tablo 2.9. Evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan mevcut ticari MBR' lar [12,13]

Şirket	MBR Proses	Membran Proses Şekli	Evsel atıksu arıtma tesis sayısı	End. atıksu arıtma tesis sayısı	Kapasite (m ³ /gün)	Atık Tipi
Rhodia/Orelis, Fransa	Pleiade	Daldırılmış/yan-akımlı; UF; P+F; Akrilonitril kopolimer; 40000 Dalton	56	14	<7–500	Urban, gri su, siyah su
Kubota, Japonya	Kubota	Daldırılmış; MF; P+F; PS; 0,4 mm	92	50	10–2000	Evsel, gri su,
Zenon, Kanada	Zeeweed ve ZenoGem	Daldırılmış; MF; HF; polimerik; 0,1 mm	150		340–5500	Evsel ve Endüstriyel
AquaTech, Kore	Biosurf	Yan taraf-akımlı; UF; T; PS; 40 000 Dalton	12	6	40–3000	Evsel
Degremont, Fransa	MBR	Yan taraf-akımlı	2	3		Evsel

UF, ultrafiltrasyon; MF, mikrofiltrasyon; P+F, plak ve çerçeve; HF, boşluklu fiber; T, tüp; PS, polisülfon.

2.9. MBR Konvansiyonel Sistemlere Göre Avantajları ve Dezavantajları

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

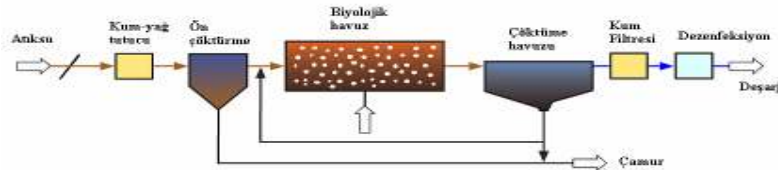
Avantajlar

- Yüksek hijyen standartları ile birlikte ideal çıkış suyu kalitesi
- Yüksek olası biokütle konsantrasyonu (10-25 g MLSS/L)
- Reaktör hacminin ve kapladığı alanın düşük olması
- Net çamur üretiminin azaltılmış olması

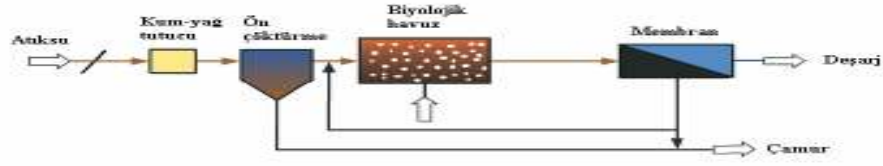
Dezavantajlar

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

Yukarda sayılan maddeler içerisinde en önemli olarak ise MBR'ın konvansiyonel arıtma proseslerine nazaran daha az yer kaplaması, çamur uzaklaştırma işletme maliyeti düşük olması, istenilen ya da gerekli olan değişikliklerin daha önce üretilmiş bir ürüne teknolojik uyarlanması olarak sayılabilir. Yenilenen Teknolojik gelişmeler, evsel ve endüstriyel atıksuların yeniden kullanımına imkân vermeleri Tablo 2.10' da MBR, konvansiyonel atıksu arıtma sistemleri içerisinde etkin bir duruma gediği gösterilmiştir [12, 13, 14]. Şekil 2.3. ve 2.4'da sırası ile konvansiyonel aktif çamur prosesi ve MBR uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.3. Klasik aktif çamur prosesi.



Şekil 2.4. MBR prosesi.

Tablo 2.10. MBR ve konvansiyonel sistemlerin giderim verimlerinin karşılaştırılması [14]

Reaktör	KOİ Giderme verimi (%)
BAF	
Yukarı akışlı	>93
Aşağı akışlı	75
TF	
Düşük hızlı	80-90
Orta	50-70
Yüksek hızlı	65-85
ASP	
Ardışık kesikli	85-95
Klasik	85-95
Tam karışımli	85-95
Yüksek hızlı Hav.	75-90
MBR	
Sub. P+F (Kubota)	99
Sub.HF (Tech-Sep)	98-99
Sub. P+F	98
Sub HF	87-95
SS seramik	>95
SS P+F	88-95

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

2.10. MBR Arıtımından Önce Azot ve Fosforun Biyolojik Olarak Giderimi

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

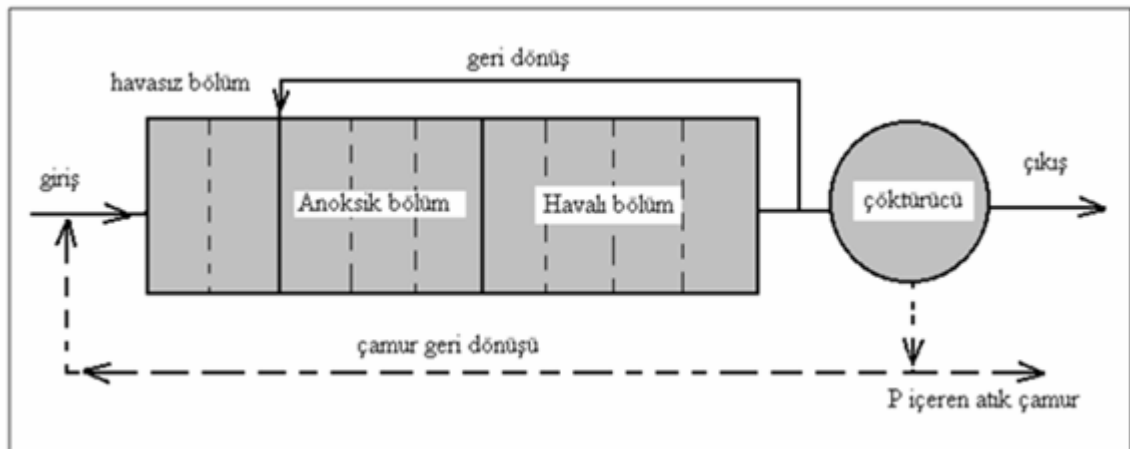
Yaygın uygulamaları bulunan prosesler:

- A^2/O prosesi,
- Beş basamaklı Bardenpho prosesi,
- UCT prosesi,
- VIP prosesidir.

Bu proseslerin Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de şematik halleri; verilen sistemlerin, tasarım kriterleri ise Tablo 2.10’da sunulmuştur.

2.10.1. A^2/O Prosesi

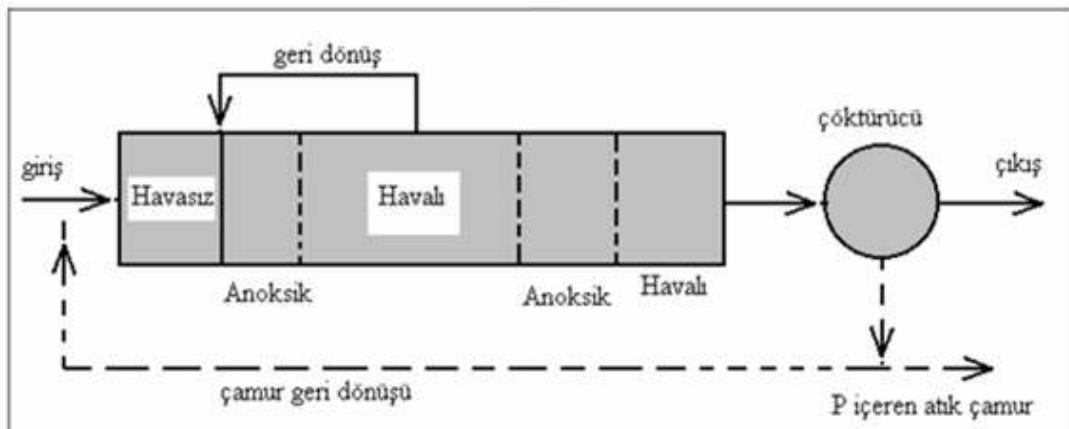
Şekil 2.5’ de, A^2/O prosesinin denitrifikasyon gerçekleşmesi için anoksik bölüm içermekte olduğu gösterilmiştir. Anoksik bölümün bekleme süresi yaklaşık olarak bir saattir. Anoksik bölümde çözünmüş oksijen düşüktür, ancak nitrit ve nitrat formundaki kimyasal bağlı oksijen havalı bölümden geri devirle sisteme verilmektedir. Çıkışta filtrasyon olmaksızın, 2 mg/l’den daha az fosfor konsantrasyonu olabilmektedir. Çıkış suyuna uygulanan filtrasyon işlemi ile fosfor konsantrasyonu 1,5 mg/L’nin altına düşürülebilir [33, 34].



Şekil 2.5. A^2/O prosesi [34].

2.10.2. Bardenpho Prosesi (Beş basamaklı)

Sadece azot giderimi sağlayan dört basamaklı Bardenpho prosesinin, ek olarak fosfor giderimi yapması için modifiye edilmiş şeklidir. Fosfor giderimi gerçekleştirmek için sisteme beşinci aşama (havasız bölge) konulmuştur. Beş basamaklı sistemde havalı, havasız ve anoksik bölümler fosfor, azot ve karbon gideriminde rol oynarlar. İkinci anoksik bölümde, havalı bölümde oluşan nitrat elektron alıcı, içsel organik karbonu ise elektron verici olarak kullanılıp ilave denitrifikasyonu sağlar. Son havalı bölüm kalıntı azot gazını çözültiden ayrılması ve son çöktürücüde fosfor açığa çıkmasını en aza indirmek amacıyla yapılandırılmıştır. Sıvı karışımı birinci havalı bölümden anoksik bölüme geri beslenir[33, 34]. Uzun çamur kalma yaşında çalıştırıldığından dolayı (10-40 gün) karbon oksidasyon kapasitesi de yüksektir [33, 34]. Şekil 2.6’ da Bardenpho Prosesi gösterilmektedir.

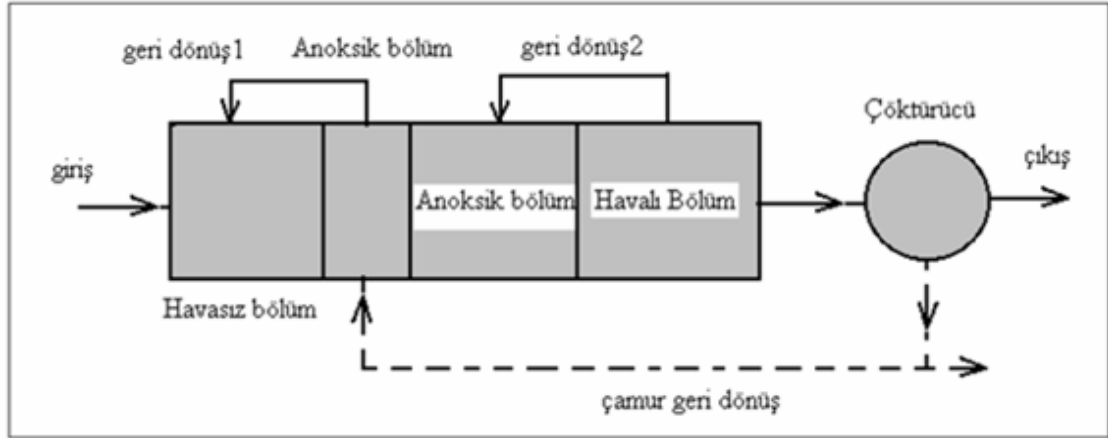


Şekil 2.6. Beş-Basamaklı Bardenpho prosesi [34].

2.10.3. UCT Prosesi

Şekil 2.7 'deki Cape Town üniversitesi tarafından geliştirilen UCT prosesi, iki durum ile A²/O prosesinden ayrılmaktadır. Aktif çamur dönüşü havalı bölüm yerine, anoksik bölüme yapılır ve iç döngü ise anoksik bölümden havasız bölümedir. Anoksik bölüme çamur geri devri ile nitrat havasız bölüme girişimde bulunmaz, nitratın havasız bölümde bulunmaması fosforun daha iyi açığa çıkması ile sonuçlanır. İç döngü ise havasız bölümde organik kullanımı artışını sağlar. Anoksik bölümdeki karışım, içeriği büyük

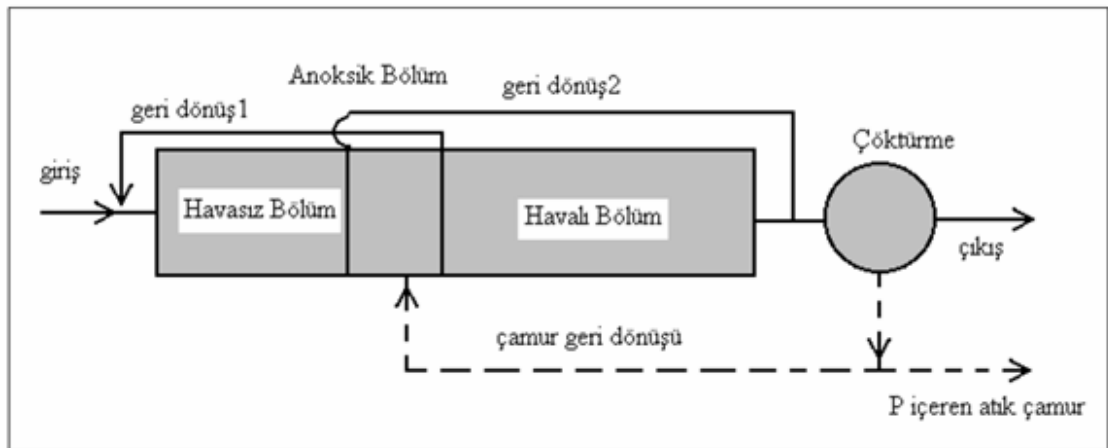
ölçüde çözünmüş BOİ ve az miktarda nitrat içerir. Anoksik karışımın geri dönüşü, havasız bölümde fermentasyon hızı için optimum şartları sağlar[33, 34].



Şekil 2.7. UCT prosesi [34].

2.10.4. VIP Prosesi

Şekil 2.8’ da VIP prosesi gösterilmiştir. A²/O ve UCT proseslerine benzer olmasına rağmen geri döngüleri yönünden bunlardan ayrılır. Aktif çamur geri dönüşü, havaslı bölüm geri dönüşü ile birlikte anoksik bölüme verilir. Anoksik bölümün karışımı havasız bölüme geri beslenir. Deneysel verilere dayanarak, atıksudaki organik maddenin bir kısmı havasız mekanizma tarafından stabilize edilmesi prosesin oksijen ihtiyacını azalmasını sağlar [33, 34].



Şekil 2.8. VIP prosesi [34].

Tablo 2.11. Birleşik azot ve fosfor gideriminde biyolojik proseslerin tipik tasarım bilgileri [31]

TASARIM PARAMETRELERİ	PROSESLER			
	A ² /O	BARDENPHO 5-Basamak	UCT	VIP
F/M (mgBOI/mgUAKM gün)	0,15-0,25	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2
Θ_c (gün)				
X (mgAKM/L)	3000-5000	2000-4000	2000-4000	1500-3000
Hidrolik Kalma zamanı, Θ (saat)				
Havasız Bölüm	0,5-1,5	1-2	1-2	1-2
Anoksik Bölüm-1	0,5-1	2-4	2-4	1-2
Havalı Bölüm-1	3,5-6	4-12	4-12	2,5-4
Anoksik Bölüm-2	---	2-4	2-4	---
Havalı Bölüm-2	---	0,5-1	---	---
Aktif Çamur Geri Dönüşü				
Besleme Debisi %'si	20-50	50-100	50-100	50-100
İç Döngü				
Besleme Debisi %'si	100-300	400	100-600	200-400
F/M, Besi/Mikroorganizma; UAKM, uçucu askıda katı madde; X, askıda katı madde konsantrasyonu.				

3. BÖLÜM

MATERYAL ve METOT

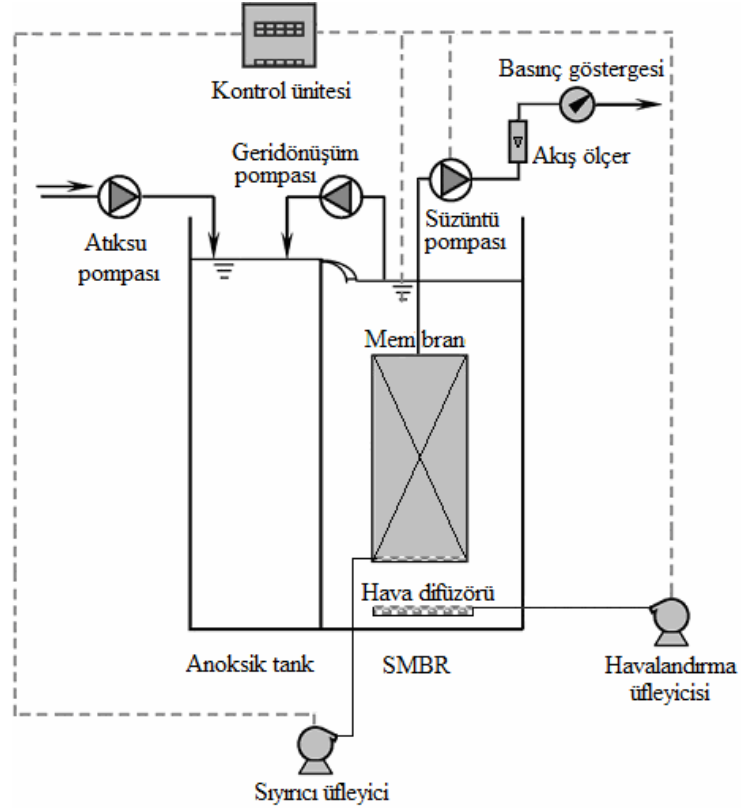
3.1. SBR Öncesi Biyolojik Arıtım Seçimi

Birleşik azot ve fosfor proseslerinden A^2/O prosesi diğer proseslerin dizayn değerlerine göre yüksek AKM (3000-5000 mg/L) miktarında çalışmaktadır. Yüksek AKM yüksek yoğunlukta mikrobiyal varlık bulundurmakta, arıtım için gerekli temas süresinin ve havuz hacminin düşmesine sebep olmaktadır. Yüksek AKM' nin sağlanabilmesi için sistemde oluşan aktif çamurun sistemden kaçmaması önemli rol oynamaktadır bu da düşük AKM çıkış değerleri gerektirir. Düşük AKM çıkış değerleri kullanılan membranlar ile sağlanmıştır.

A^2/O azot ve fosfor giderim prosesinin seçiminin nedeni tesisin alan ihtiyacını düşürmesi ve buna bağlı olarak bakım masraflarının düşmesidir.

3.2. KAAT Pilot Ölçekli SBR Tesis Çalışma Prensipleri

Bu tezde, Kayseri ilinin Buğdaylı köyünden kaynaklanan atıksuların arıtımı için öncelikle TÜBİTAK KAMAG 107 G 253 nolu proje kapsamında Kayseri atıksu arıtma tesisinde (KASKİ) yerleştirilen, pilot ölçekli daldırılmış membran biyoreaktör (SBR) sistemi kurulmuştur. Şekil 3.1.'de şematik akış diyagramı verilmiştir.

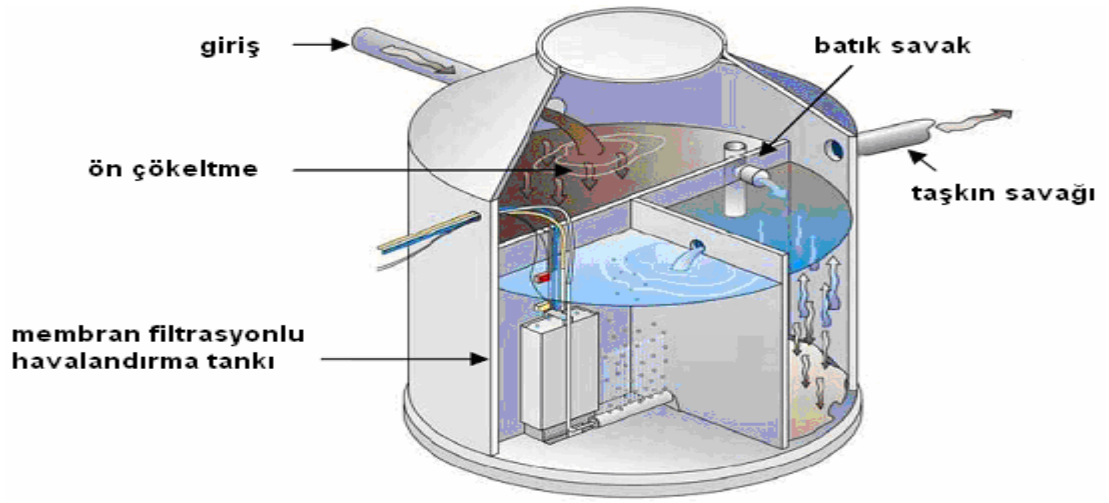


Şekil 3.1. SMBR'nin şematik akış diyagramı [35].

Hans Huber AG firmasından alınan MembraneClearBox® (MCB) adlı MBR, ASP ve SUB UF membranları vasıtasıyla arıtılmış suyun ayrılması işleminin birleşimi olan bir arıtma sistemidir. Bu sistem temel olarak üç kademedir oluşmaktadır:

1. Ön arıtma
2. Biyoreaktör
3. Membran filtrasyon

Ön arıtmada, katı maddelerin büyük çoğunluğu çökeltme ile atıksudan ayrılmaktadır. Şekil 3.2' deki çok bölmeli tankta gösterilmektedir.

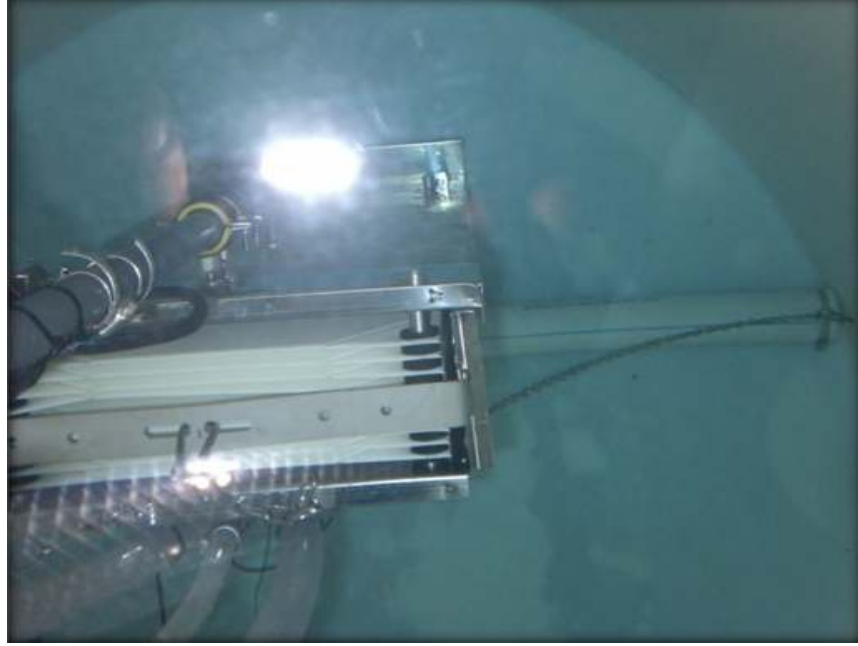


Şekil 3.2. Pilot ölçekli MBR sisteminin çalışma prensibi [35].

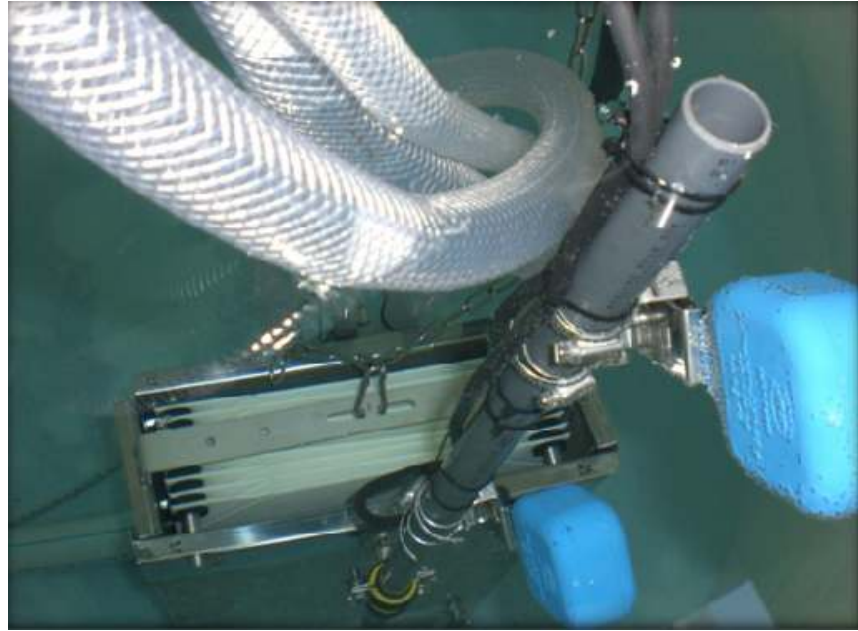
Şekil 3.3’de KAAT’de kurulan pilot ölçekli SMBR sisteminin genel görünüşü, kaseti ve şamandıra sistemi gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3. (a) SMBR sisteminin genel görünüşü, (b) SBR kasetinin havalandırma tankı içinde görünüşü, (c) SMBR kaseti ve şamandıra sisteminin görünüşü.

Ön arıtmadan sonra, ön arıtılmış atıksu savaklama yoluyla son bölmeye havalandırma tankına gelir. Membran filtre ve oksijen temin eden üfleyici (difüzör) son bölmede yerleştirilmiştir. Biyolojik arıtmada, atıksu içindeki kirleticiler ve nütrientler

mikroorganizmalar vasıtasıyla ayrıştır ve biyokütleyle dönüştür. Aynı zamanda membran filtrasyon, ultrafiltrasyon (UF) modül (38 nm ayırma ölçekli) vasıtasıyla gerçekleştirilir ve arıtılmış atıksu aktif çamurdan süzülerek ayrılır. UF membran sistemi, bütün katı maddeleri ve bakterileri tutarak atıksudan ayırmaktadır ve arıtılarak geri kazanılan su, sulama vs. amaçlı tekrar kullanılabilir. Laboratuvar Ölçekli MBR sistemi plaka-çerçeve tipi membran olup toplam yüzey alanı 3,5 m² dir. 9 adet membran plakası vardır. Standart süzöntü debisi 53-88 L/saat arasında değişmektedir.

KAAT’de pilot ölçekli SBR tesisi kurulmuştur. Ön çökeltme tankı ve membran filtrasyonun bulunduğu havalandırma tankı için, 2 adet 3000 L’ lik (Çap = 147 cm, yükseklik = 213 cm, ağırlık = 70 kg) polietilen tank kullanılmıştır. Havalandırma tankının efektif hacmi yaklaşık 2000 L’ dir (minimum su yüksekliği = 120 cm için). Membran tıkanmasını önlemek için sistem 8 dak. filtrasyon ve 2 dak. durma olarak kesikli filtrasyonla çalıştırılmıştır.

3.3. Tam ölçekli SBR Sistemin Çalışma Prensipleri

Kayseri ilinin Buğdaylı Köyüne inşa edilen biyolojik atıksu arıtma tesisini oluşturan üniteler, manuel temizlemeli kaba ızgara, yağ tutucu havuz, anaerobik havuz, denitrifikasyon havuzu, havalandırma havuzu, SBR havuzu, çamur geri devir ve fazla çamur havuzlarıdır.

Yerleşim bölgesinden kaynaklanan evsel nitelikli atıksular sistemin ilk giriş noktası olan ızgara kanalına alınmaktadır. Burada manuel temizlemeli kaba ızgaradan geçen atıksu biyolojik arıtmaya gönderilmeden önce salınımları dengelemek için dengeleme havuzuna alınmaktadır. Dengeleme havuzundan atıksu tambur eleğe basılarak içerisinde bulunan ufak boyutlu partiküllerin sudan ayrılması sağlanmaktadır. Buradan atıksu yağ tutucu havuzuna alınmaktadır. Atıksuda bulunan katı partiküller ve yağlar ızgara sistemi ve yağ tutucuda atıksudan ayrılmaktadır. Yağları giderilmiş olan atıksu daha sonra biyolojik arıtma ünitesine alınmaktadır.

Biyolojik arıtma ünitesi anaerobik havuz, denitrifikasyon havuzu ve havalandırma havuzlarından oluşmaktadır. Anaerobik havuzda havasız ortamda fosfor giderimi sağlanır. Havuz içerisinde çökelmeyi önlemek için mikser ile karışım sağlanmaktadır.

Daha sonra atıksu denitrifikasyon havuzuna alınmaktadır. Denitrifikasyon havuzunda da mikser ile karışım sağlanmaktadır. Denitrifikasyondan sonra atıksu havalandırma havuzuna alınmaktadır. Havalandırma havuzunda atıksuya blower vasıtasıyla oksijen verilir ve havalı ortamda organik maddenin biyokütleyle dönüşmesi ile karbon giderimi sağlanmaktadır. Blowerlar havuz içerisine monte edilmiş olan oksijenmetrenin okuduğu değere bağlı olarak çalışmaktadır. Havalandırma havuzundan atıksuyun bir kısmı mikroorganizma konsantrasyonunu belli seviyede tutmak ve azot giderimini etkin olarak sağlamak için denitrifikasyon havuzuna geri devrettirilmektedir. Daha sonra atıksu membran havuzuna alınmaktadır. Membran havuzunda atıksuyun membran kasetlerinin üzerindeki suyun basıncı ile ince gözenekli membranlardan geçirilerek filtrelenmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde organik maddelerin yanında bakterilerden de arındırılmış su elde edilmektedir. Membran ünitesinden geçen su bir toplama borusu ile alınarak temiz su havuzuna iletilmektedir. Temiz su havuzuna alınan su istendiği takdirde bahçe sulama amaçlı olarak kullanılabilir. Havuz içerisinde kalan biyokütlenin bir kısmı ise çamur geri devir havuzuna alınmaktadır. Geri devir havuzundan anaerobik havuza çamurun bir kısmı geri devrettirilir. Çamurun fazlası ise fazla çamur havuzuna alınmaktadır.

Sistem seviyeye bağlı olarak vana kumandası ile çalışmaktadır. SBR tankındaki su seviyesine bağlı olarak çıkış hattındaki otomatik vananın ayarı değişir ve suyun filtrasyon debisi ayarlanmaktadır. Sistemde suyun membrandan geçişi sırasında bakteri ve virüslerde filtrelendiği için arıtılmış suya klor dozajı veya UV ile sterilizasyon uygulaması yapılması gerekmemektedir.

Membran ünitesi çıkışında monte edilmiş olan enstrümanlarla filtre edilmiş olan çıkış suyunun iletkenlik, bulanıklık, pH, çözünmüş oksijen değerleri hat üzerinde okunarak hem yerinde hem de GSM hattı vasıtasıyla uzaktan izlenmektedir.

3.4. SBR İşletim Şartları (Parametreleri)

Biyolojik arıtma ünitesi normal çalışma şartlarında, insan ihtiyacı minimum seviyede tutulacak şekilde dizayn edilmiştir. Tesis, seviye şalterleri ve PLC yardımıyla otomatik olarak çalışmaktadır. Biyolojik arıtma ünitesinde reaktöre atıksu alma, havalandırma için blowerların devreye girmesi, nitrifiye çamurun geri devredilmesi, geri devir

havuzundan çamurun geri devredilmesi, membran havuzunun seviye kontrolü ve çıkış vanalarının açılma kapanma miktarları PLC de programlanan kontak durumuna göre değişmektedir.

PLC ünitesi seviye flatörleri ve ultrasonik seviye ölçer yardımıyla su seviye takibini yapar, pompaları ve çıkış vanalarını kontrol etmektedir. Atıksu terfi pompası dengeleme havuzu alt seviye flatöründen aldığı komuta bağlı olarak çalışmaya başlamaktadır. 2 adet terfi pompası yedekli olarak çalışmaktadır. Tambur elek terfi pompası çalıştığı zaman çalışmaktadır. Dengeleme havuzu seviyesine bağlı olarak terfi pompası ve döner elek devreye girmektedir. Denitrifikasyon ve anaerobik dip karıştırıcı mikserler, çamur geri devir pompaları 24 saat çalışmaktadır. Denitrifikasyon havuzunda su üst seviyeyi görünce terfi pompaları durmaktadır. Su alt seviyeye indiğinde temiz su çıkış vanası kapanmaktadır. Nitrifikasyon blowerı çözünmüş oksijen ölçere (2-4 mg/L) bağlı olarak çalışmaktadır. Nitrifikasyon havuzu blowerları ve membran havuzu blowerları 12 saat çalıştıktan sonra durmakta ve yedek blowerlar devreye girmektedir. Membran havuzunda bulunan difüzör temizleme vanası 12 saatte bir 5 dakika açılmakta ve hat üzerine biriken çamur bu hattan atılmaktadır. Membran havuzunda bulunan ultrasonik seviye ölçerin ilettiği sinyale göre yükseklik değişimini algılayan PLC ünitesi, oransal çıkış vanasının açılma yüzdesini ayarlar ve sistem kontrol vanasını açar veya kapatır. Havuz içerisindeki su seviyesi ve temiz su çıkış hattı üzerindeki basınçölçerin okuduğu değerlere bağlı olarak membranların kimyasal yıkama yapması gereken zaman belirlenmektedir. Bu değerler arasındaki fark TMP değerini oluşturur ve pano üzerinde set edilmiş değere ulaştığında sistem alarm vererek kimyasal yıkama işleminin yapılması gerektiğini bildirmektedir.

Sistemin temiz su çıkış hattı üzerinde monte edilmiş olan ölçüm sensörleri ile çıkış suyunun iletkenlik, pH, çözünmüş oksijen ve bulanıklık değerleri kontrol edilmektedir.

3.5. Buğdaylı Köyü' nün Tasarım Parametre Kabul Değerleri

Buğdaylı köyünden kaynaklanan atıksu arıtımı için, Tablo 3.1' deki SMBR tasarım parametre kabulleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1. SMBR tasarım parametre kabulleri

Ortalama Kapasite :	100 m ³ /Gün	
Maksimum Kapasite :	140 m ³ /Gün	
PARAMETRELER	BİRİM	SMBR Giriş
KOİ	mg/L	1000
BOİ₅	mg/L	500
TN	mg/L	190
TKN	mg/L	40
NH₃	mg/L	35
AKM	mg/L	250
Bulanıklık	NTU	-
Yağ ve gres	mg/L	30
TP	mg/L	18
Sıcaklık	°C	20
pH	-	8

Bu kabuller doğrultusunda ve KAAT'e kurulan pilot ölçekli SMBR'nin giderim verimlerinin sonuçları değerlendirilerek tasarım yapılmıştır.

3.6. SMBR Sisteminin Boyutları ve Kullanılan Malzemeler Özellikleri

Kayseri ilinin Buğdaylı köyünde kurulan SMBR sistemi ve SMBR öncesinde kurulacak biyolojik arıtma ünitelerinin boyutları Tablo 3.2' de ve kullanılan malzemeler Tablo 3.3' de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. SMBR sisteminin reaktör boyutlandırması

REAKTÖRLER	ADET	EN (m)	BOY (m)	YÜKSEKLİK (m)	MALZEME
Dengeleme Havuzu	1	3	3	3	Betonarme
Yağ Tutucu Havuz	1	0,8	1	2	Epoksi boyalı ST37
Denitrifikasyon Havuzu	1	1	1	3,5	Epoksi boyalı ST37
Anaerobik Havuz	1	1	1	3,5	Epoksi boyalı ST37
Nitrifikasyon Havuzu	1	2	8	3,5	Epoksi boyalı ST37
SMBR Havuzu	1	2	3	3,5	Epoksi boyalı ST37
Çamur Geri Devir Havuzu	1	1,3	1,5	3,5	Epoksi boyalı ST37
Fazla Çamur Havuzu	1	0,7	1,5	3,5	Epoksi boyalı ST37

Tablo 3.3. SBR sisteminde kullanılan malzemeler ve özellikleri

MALZEME	ADET	TİP	KAPASİTE	GÜÇ	BASINÇ	MARKA	OUTPUT
Fazla Çamur Pompası	1	Dalgıç	6 m ³ / saat	---	6 mss	WILO	---
Temiz Su Tahliye Hidroforu	1	---	4 m ³ / saat	---	3 bar	WILO	---
Çamur Geri Devir Pompası	1	Dalgıç	6 m ³ / saat	---	6 mss	WILO	---
Dengeleme Havuzu Terfi Pompası	1+1	Dalgıç	4,2 m ³ / saat	---	8 mss	WILO	---
SBR Blowerı	1+1	---	210 Nm ³ / saat	---	350 mbar	MAPRO	---
Nitrifikasyon Blowerı	1+1	---	198 Nm ³ / saat	---	350 mbar	MAPRO	---
Nitrifiye Çamur Geri Devir Pompası	1	Dalgıç	6 m ³ / saat	---	6 mss	MAPRO	---
Anaerobik Havuzu Mikseri	1	Propeller	---	0,75kW	---	GRUNDFOS	---
Denitrifikasyon Havuzu Mikseri	1	Propeller	---	0,75kW	---	GRUNDFOS	---
Difüzör	40	Membran tip	5 m ³ /h	---	---	IDE	---
NaOCl Transfer Pompası	1	---	100 lt/h	---	---	DOSEURO	---
Tambur Elek	1	İçten akışlı tambur elek	5 m ³ /h	---	---	---	---
Oksijenmetre	1	---	---	---	---	Hach Lange	4–20 mA
SBR Havuzu Su Hattı Basınçölçer	1	---	---	---	---	ENELSAN	4–20 mA
SBR Havuzu Ultrasonik Seviye Ölçer	1	---	---	---	---	PULSAR	4–20 mA
SBR Temiz Su Hattı Debimetre	1	---	---	---	---	KROHNE	4–20 mA

Ek-1’de akım şeması, Ek-2’de boyutları ve yerleşim düzeni, Ek-3’de tabliye betonu yer almaktadır [36]. Buğdaylı köyüne kurulan tam ölçekli SMBR tesisinin inşaat aşamasını Şekil 3.4’ de gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 3.4. Buğdaylı Köyü için SMBR tesisinin inşaatı aşamalarının fotoğrafları (a)Tabliye beton sonrası, (b)Sisteme Yağ tutucu montajı, (c)PLC sistemi, (d)Süzüntü suyu çıkış depo tankı, (e)Yağ tutucu, (f)Nitrifikasyon havuzu, (g)Genel görünüşü [36].

3.6.1. Tesiste Kullanılan SMBR Özellikleri

Reaktörde Toray TMR 140-100S modeli 2 adet batık membran kullanılmıştır. Membran, difüzör hattı ve toplama hatları ile kompakt yapıda olup kaset şeklindedir. 1 adet batık membran kasetinde 100 adet membran bulunmaktadır, kaset boyutu 81x162x210 cm ve ağırlığı 695 kg' dır. Membranın gözenek çapı 0,08 mikrondur. Batık membran kasetinde kullanılan difüzör, çerçevesi, su manifoldu paslanmaz çelik imalatıdır. Şekil 3.5'de reaktörde kullanılan Toray TMR 140-100S modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Toray TMR 140-100S modelli batık membran.

3.7. Deneysel Yöntemler

KAAT'nin geri devir hattından alınan çamur, aşı olarak kullanılmıştır. N, P, katı madde ve organik bileşenlerin giderim hızını değerlendirmek amacıyla reaktör beslenmeye başlandıktan sonra, giriş ve süzüntü suyunun TN, $\text{NH}_4\text{-N}$, nitrat azotu $\text{NO}_3\text{-N}$, toplam fosfor (TP), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), 5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ_5), askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları Standart Metotlara göre tayin edilmiştir [37]. Havalandırma ve SMBR havuzundaki askıda katı madde (MLSS), ÇO , iletkenlik, pH, sıcaklık izlenmiştir.

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. KAAT SMBR Tesisi Giderim Verimi

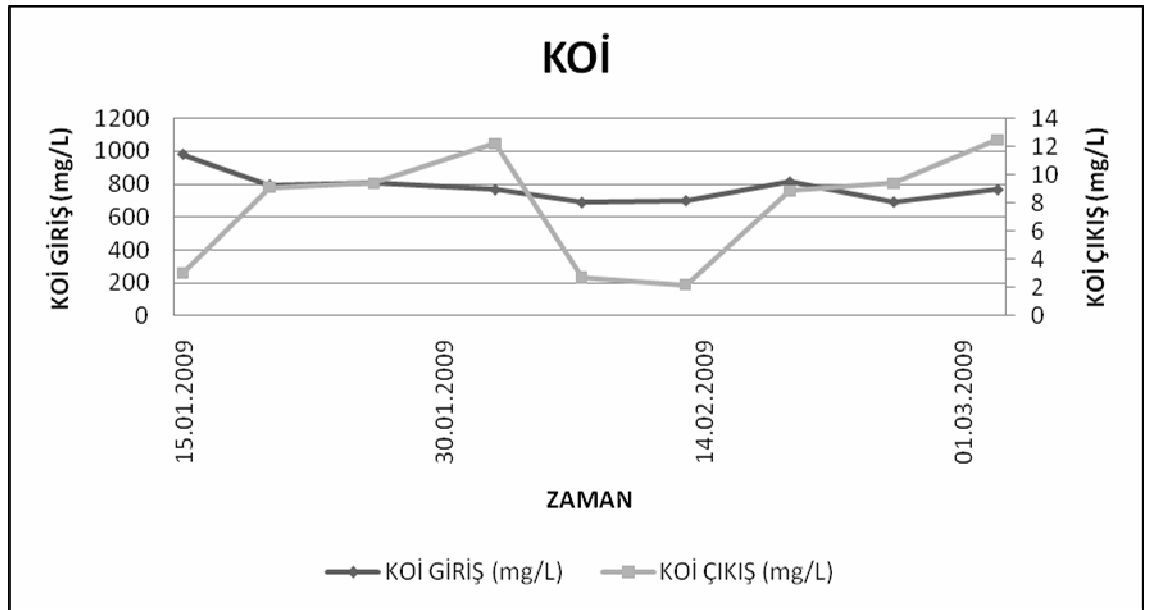
Tablo 4.1’ de tam ölçekli SMBR tesisinin proses seçimi ve inşa çalışmaları için kullanılan atıksuyun karakterizasyonu verilmiştir.

Tablo 4.1. KAAT’deki pilot ölçekli SMBR sisteminin ham atıksuyun ortalama karakteristik değerleri [35]

Parametreler	Birim	Ortalama Değer
KOİ	mg/L	780.6 ± 62.2
BOİ ₅	mg/L	371.1 ± 34.1
AKM	mg/L	445.3 ± 60.2
TN	mg/L	59.2 ± 2.6
TP	mg/L	8.5 ± 1.2

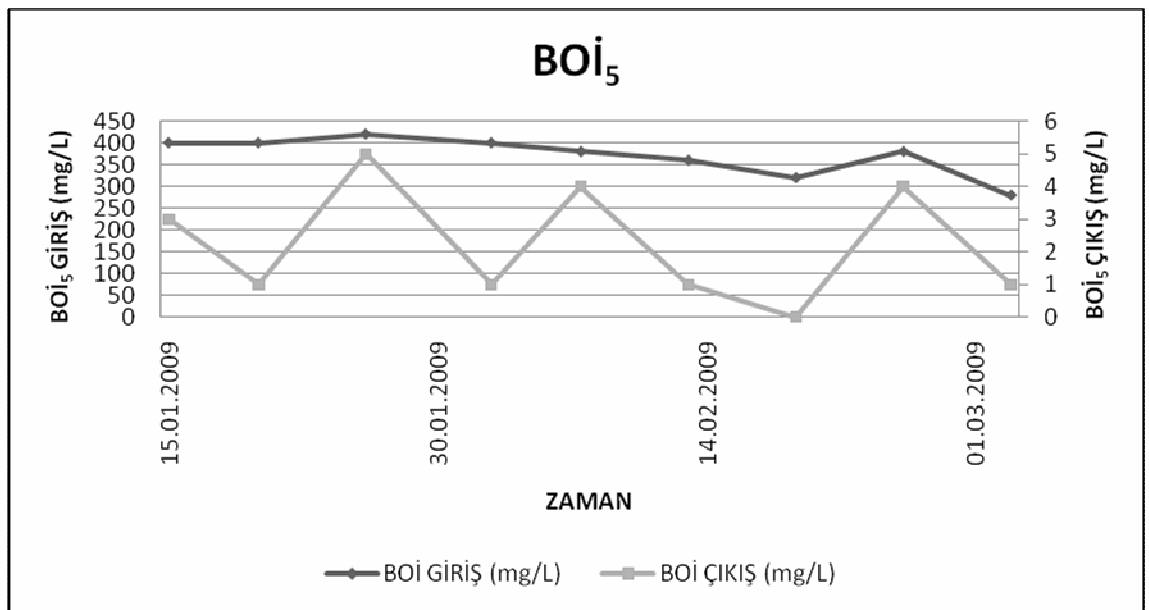
Verilen değerler ± standart sapma

KAAT’ de kurulan pilot ölçekli membran biyoreaktörünün işletimi boyunca giriş KOİ değeri 691-983 mg/L, çıkış KOİ değeri 2,2-12,5 mg/L arasında değişmiş ve KOİ giderim verimi %98,4-99,7 arasında elde edilmiştir. Ortalama KOİ giderim verimi %99 bulunmuştur. Şekil 4.1’de KOİ giriş ve çıkış değerlerinin değişimi gösterilmektedir [35].



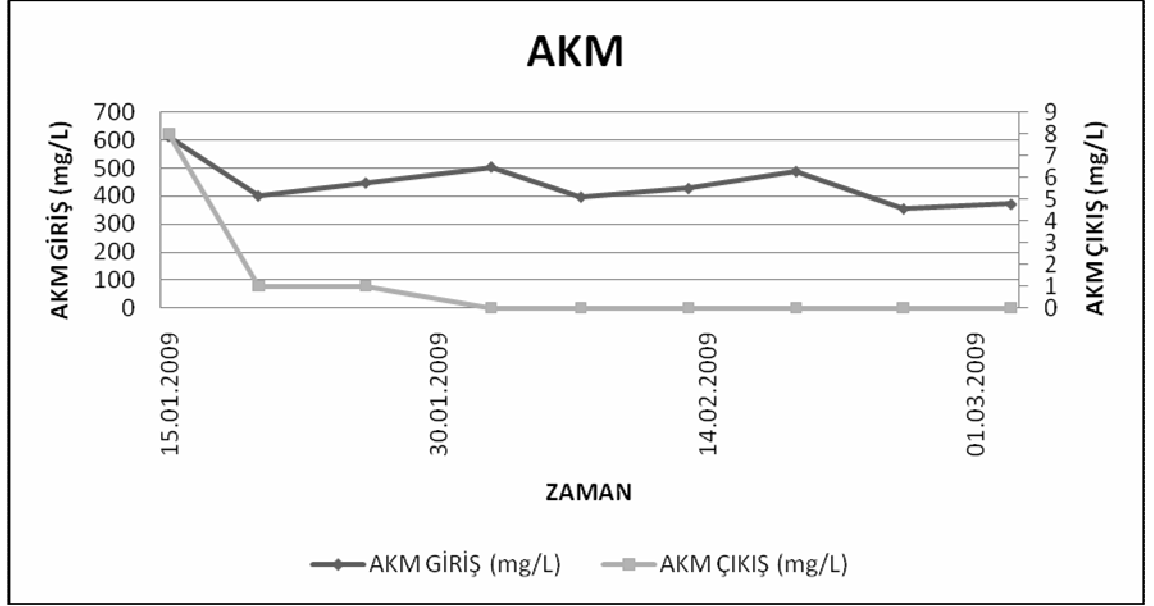
Şekil 4.1. Reaktörde giriş ve çıkış KOİ değerlerinin değişimi [35].

Giriş BOİ₅ değeri ise 280-420 mg/L, çıkış BOİ₅ değeri 0-5 mg/L arasında değişmiş ve BOİ giderim verimi % 98,8-100 arasında elde edilmiştir. Ortalama BOİ₅ giderim verimi %99,4 bulunmuştur. Şekil 4.2’de BOİ₅ giriş ve çıkış değerlerinin değişimi gösterilmektedir [35].



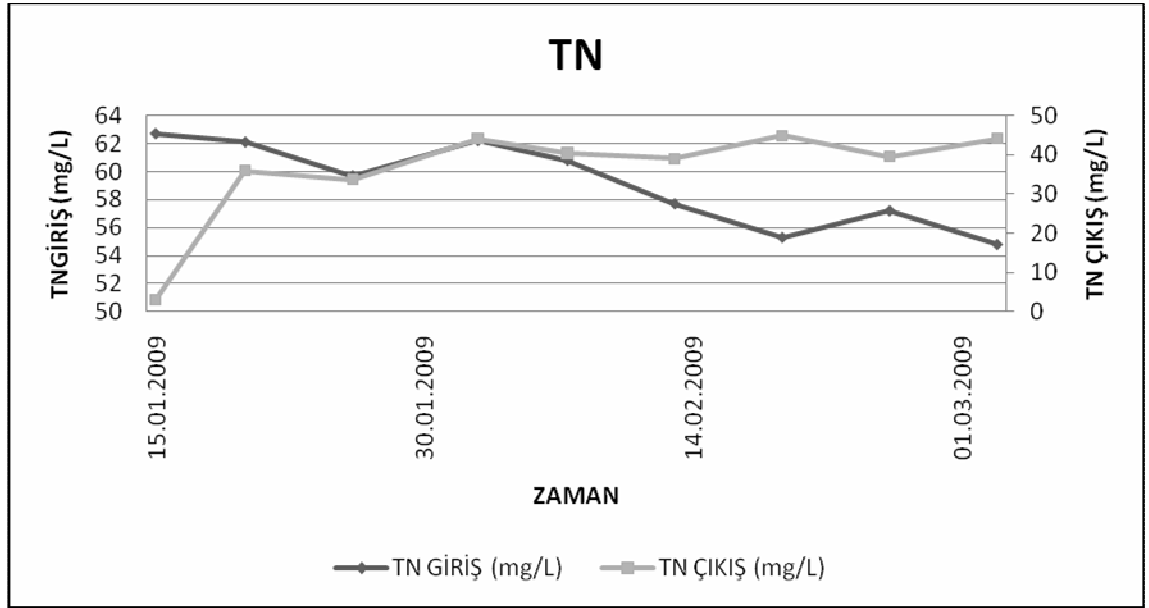
Şekil 4.2. Reaktörde giriş ve çıkış BOİ değerlerinin değişimi [35].

Sistemin giriş AKM değeri 356-612 mg/L, çıkış AKM değeri 0-8 mg/L arasında değişmiş ve AKM giderim verimi % 98,7-100 arasında elde edilmiştir. Ortalama AKM giderim verimi %99,8 olarak bulunmuştur. Şekil 4.3’de giriş ve çıkış değerlerinin değişimi gösterilmektedir [35].



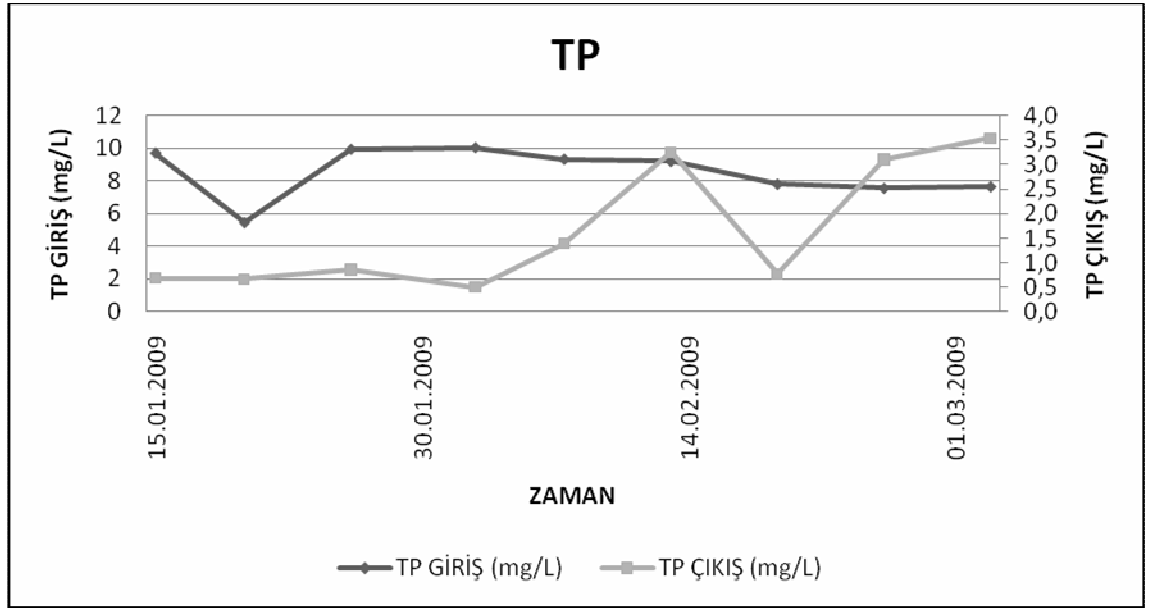
Şekil 4.3. Reaktörde giriş ve çıkış AKM değerlerinin değişimi [36].

Sistemin giriş TN değeri 54,8-62,7 mg/L ve çıkış TN değeri 3,1-44,9 mg/L arasında değişmiştir. Ortalama TN giderim verimi ise %39 elde edilmiştir. Şekil 4.4’de giriş ve çıkış değerlerinin değişimi gösterilmektedir [35].



Şekil 4.4. Reaktörde giriş ve çıkış TN değerlerinin değişimi [35].

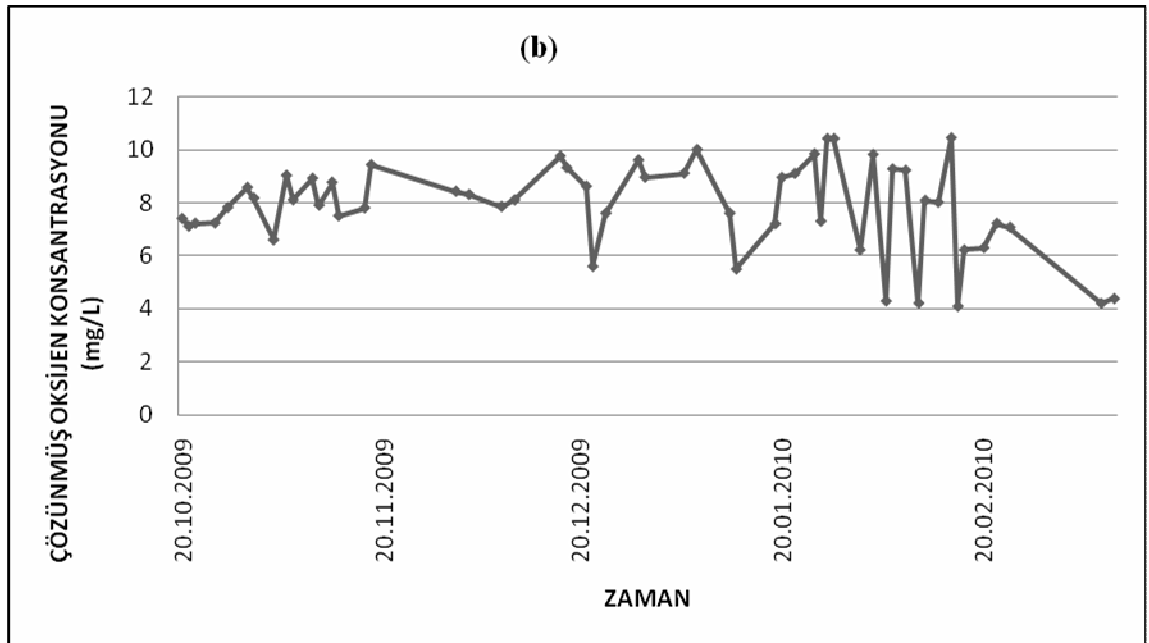
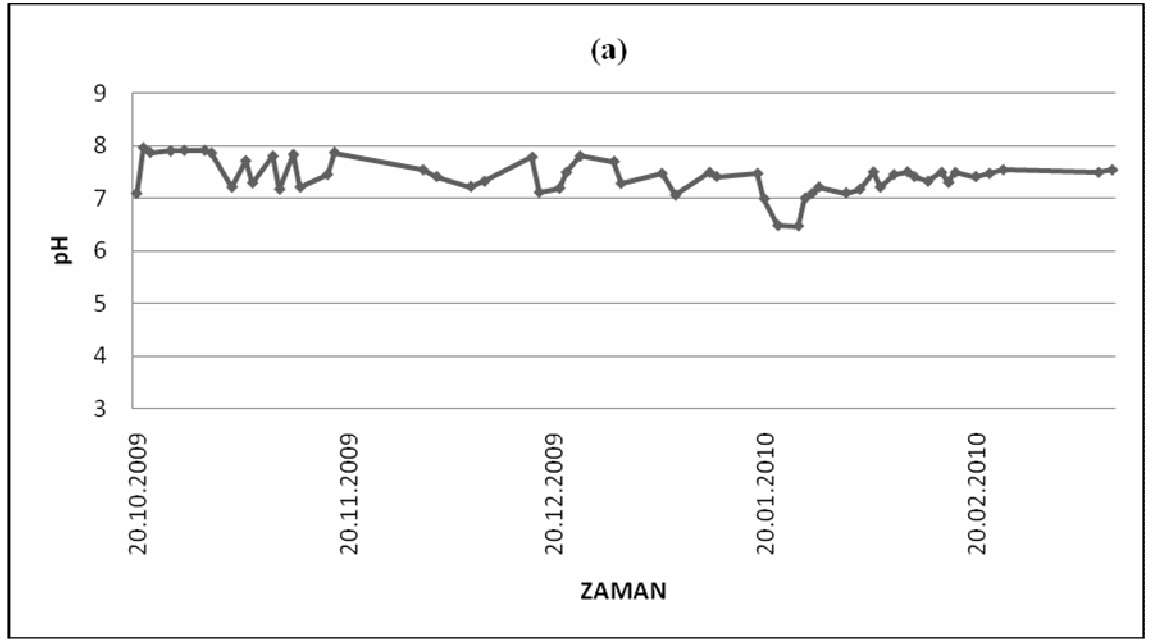
Sistemin Giriş TP değeri 5,5-10,1 mg/L ve çıkış TP değeri 0,5-3,5 mg/L arasında değişmiştir. Ortalama TP giderim verimi ise %81,2 elde edilmiştir. Şekil 4.5' de giriş ve çıkış değerlerinin değişimi gösterilmektedir [35].

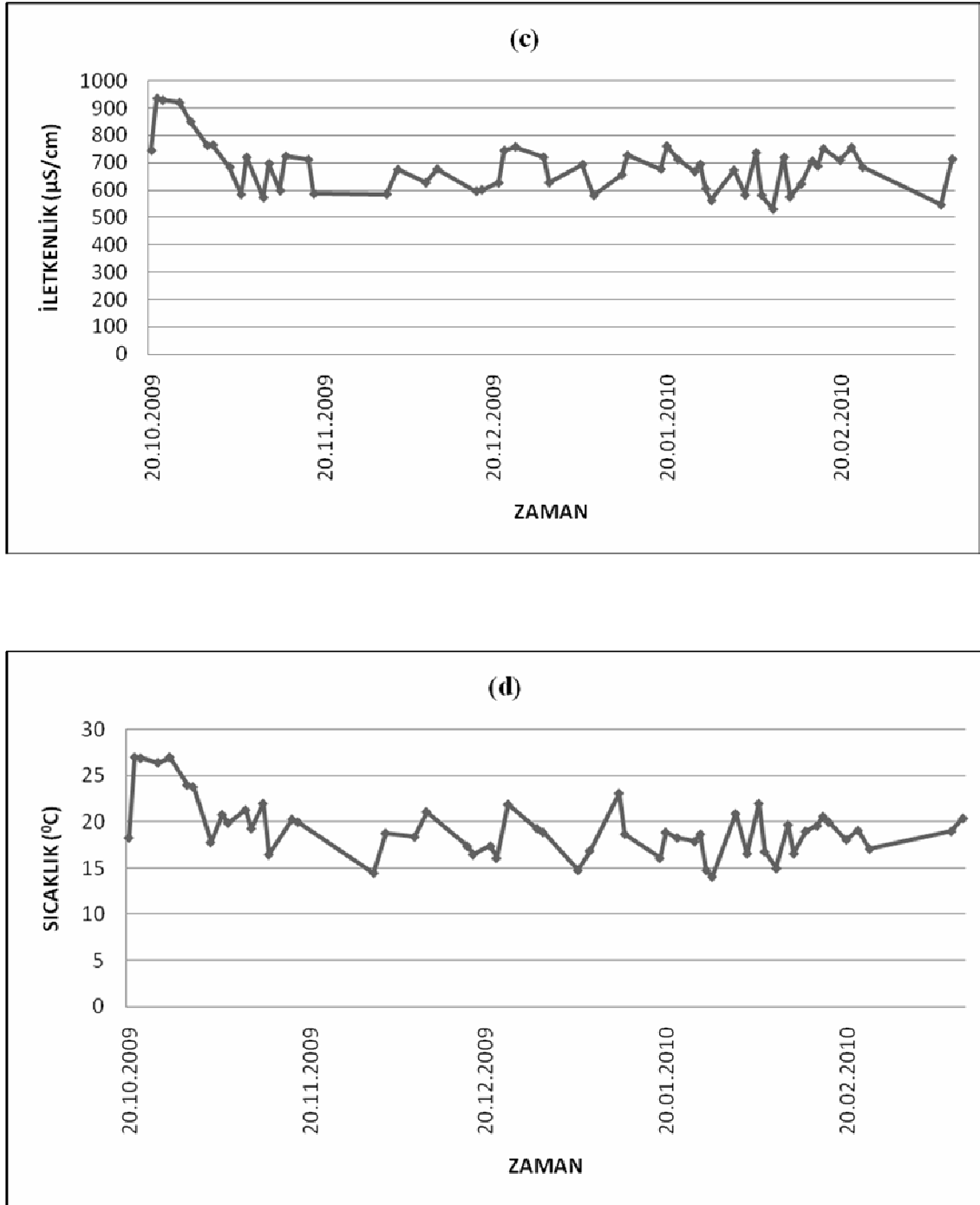


Şekil 4.5. Reaktörde giriş ve çıkış TP değerlerinin değişimi [35].

4.2. Buğdaylı Köyü'nün SBR İşletimi boyunca giderim verimi

Buğdaylı Köyüne kurulan tam ölçekli SBR sisteminde giriş ve çıkış suyundan analizler yapılmış ve değerlendirilmiştir. Tam ölçekli SBR sisteminin pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik ve sıcaklık değerleri sırasıyla 6,5-8 4,1-10,4 mg/L 531-936 μ S/cm 19-27 $^{\circ}$ C arasında elde edilmiştir. pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik ve sıcaklık değişimi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



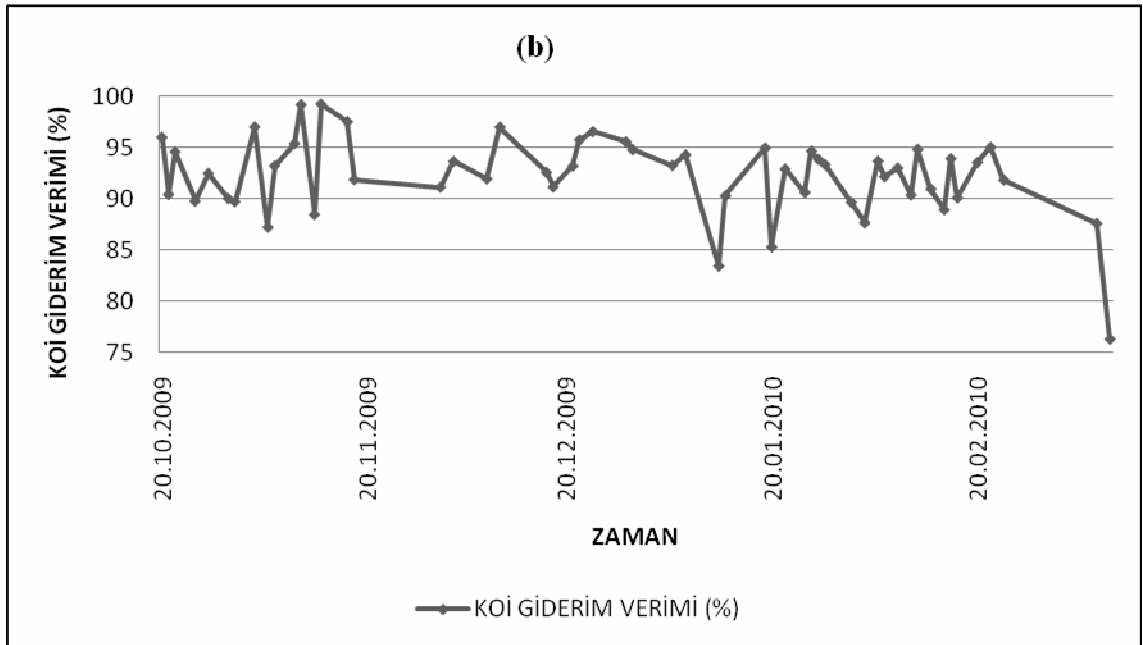
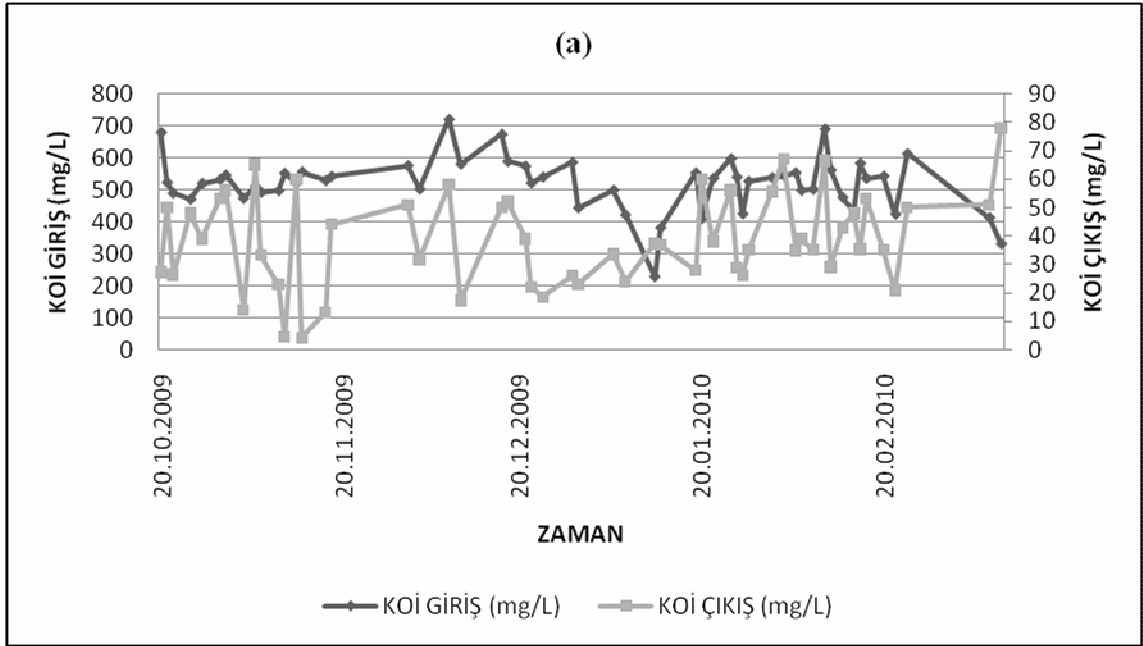


Şekil 4.6. SMBR’ de (a)pH, (b)Çözülmüş oksijen konsantrasyonu, (c)İletkenlik, (d)Sıcaklık değerleri.

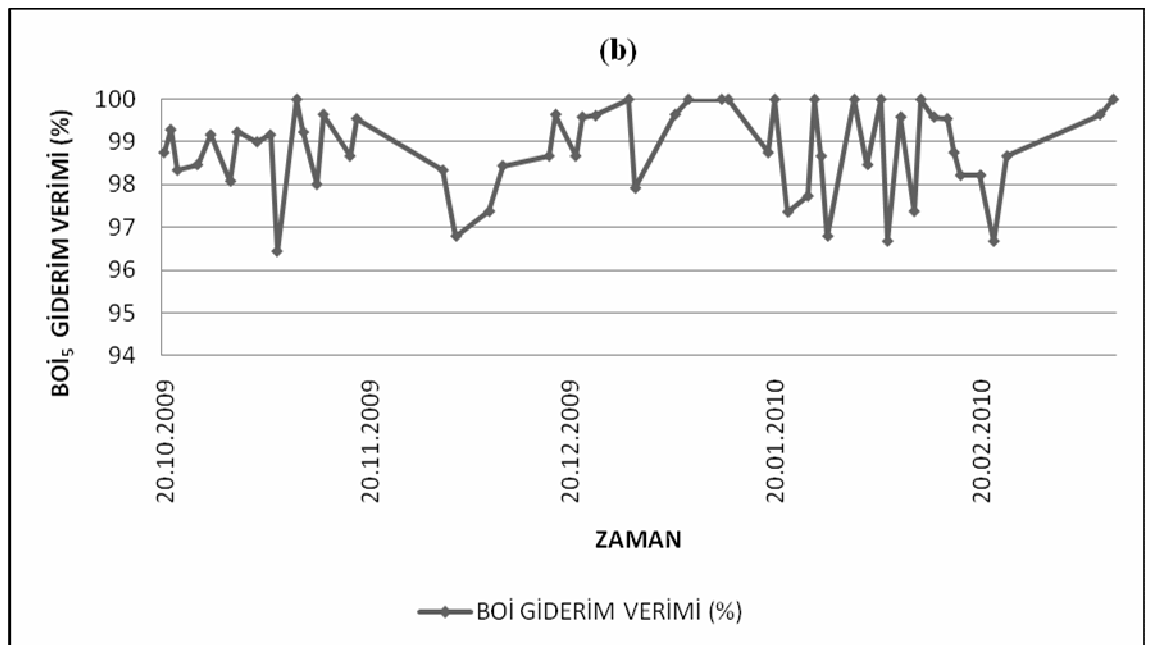
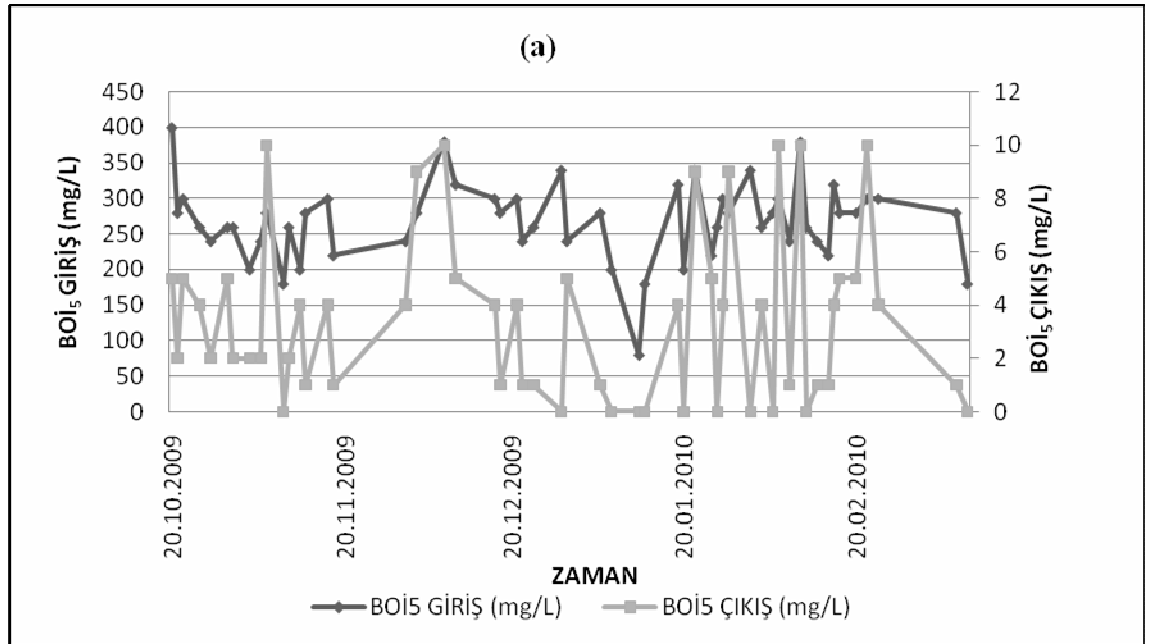
Çalışma süresince, giriş KOİ’si 227-721 mg/L ve çıkış KOİ’si 4,2-78 mg/L değerleri arasında değişim göstermiştir. Şekil 4.7’de giriş ve çıkış değerleri gösterilmiştir. Çıkış KOİ değeri işletme süresince genel olarak 35 mg/L’nin altında seyretmiştir. Şekil 4.8’de giriş ve çıkış BOİ₅ değerleri gösterilmiştir. Giriş ve çıkış BOİ₅ değerleri sırasıyla 80-

400 mg/L, 0-10 mg/L değerleri arasında değişim göstermiştir. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi giriş AKM'si 200-670 mg/L ve 0-7 mg/L değerleri arasındaki değişim göstermiştir.

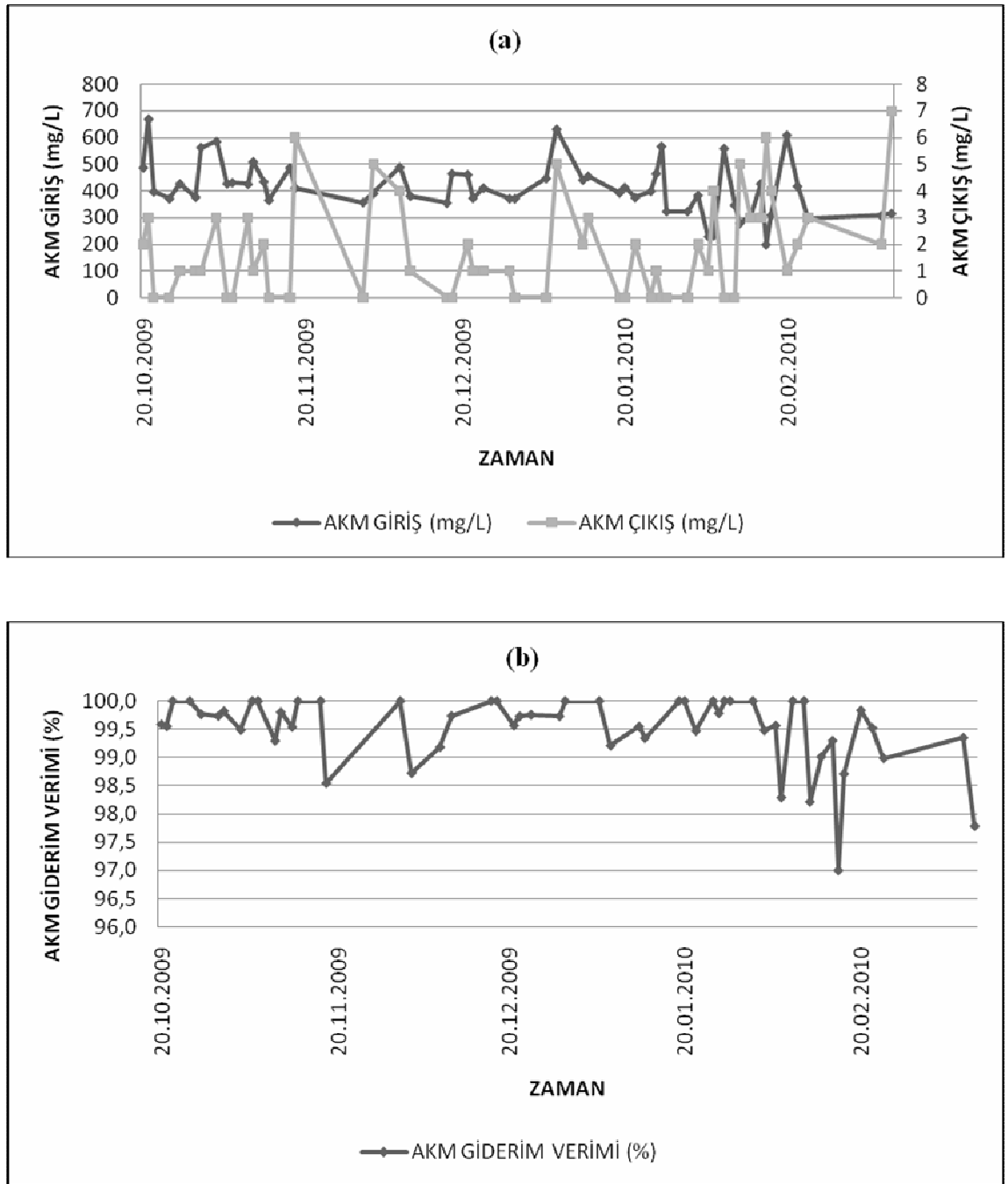
Tam ölçekli SBR sisteminin, KOİ, BOİ₅ ve toplam AKM'nin ortalama giderim verimleri sırasıyla %92,5, %98,7 ve %99,6 bulunmuştur.



Şekil 4.7. (a)SMBR'de giriş ve çıkış KOİ'nin değişimi ve (b)KOİ giderimi.



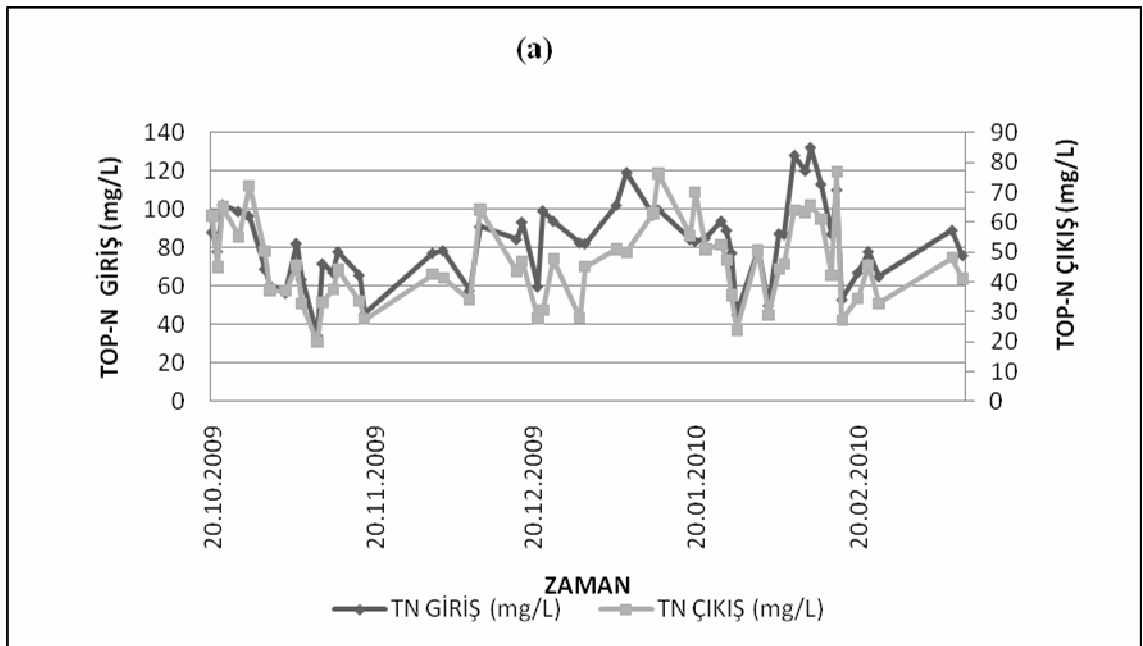
Şekil 4.8. (a)SMBR’de giriş ve çıkış BOI₅’nin değişimi ve (b)BOI₅ giderimi.

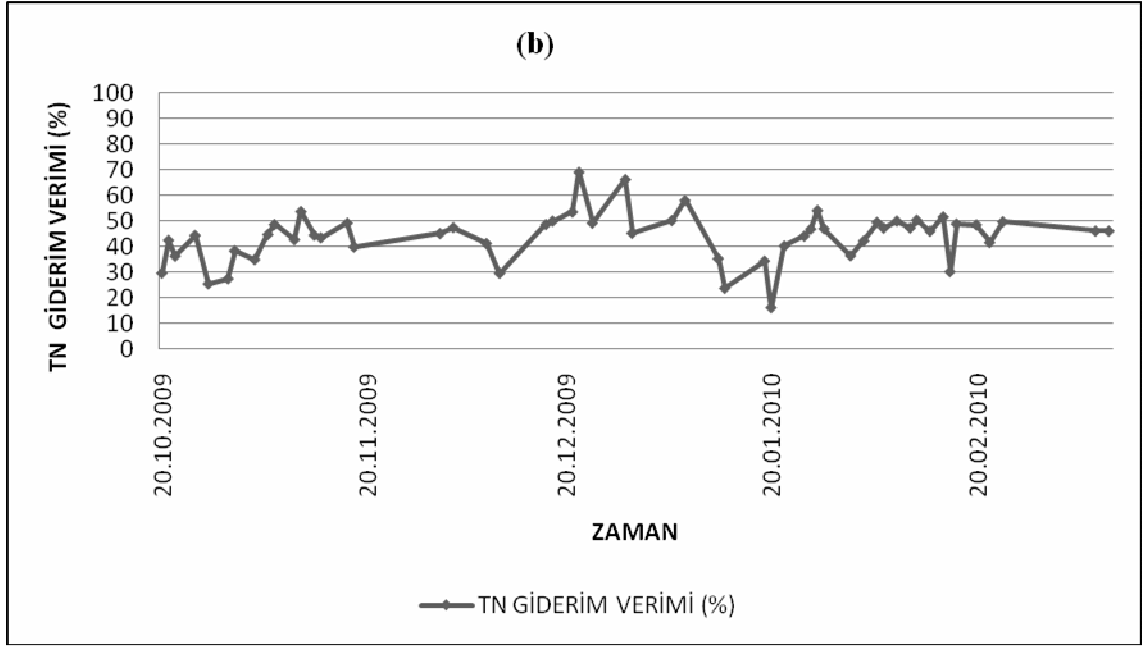


4.2.1. SMBR’de azot ve fosfor giderimi

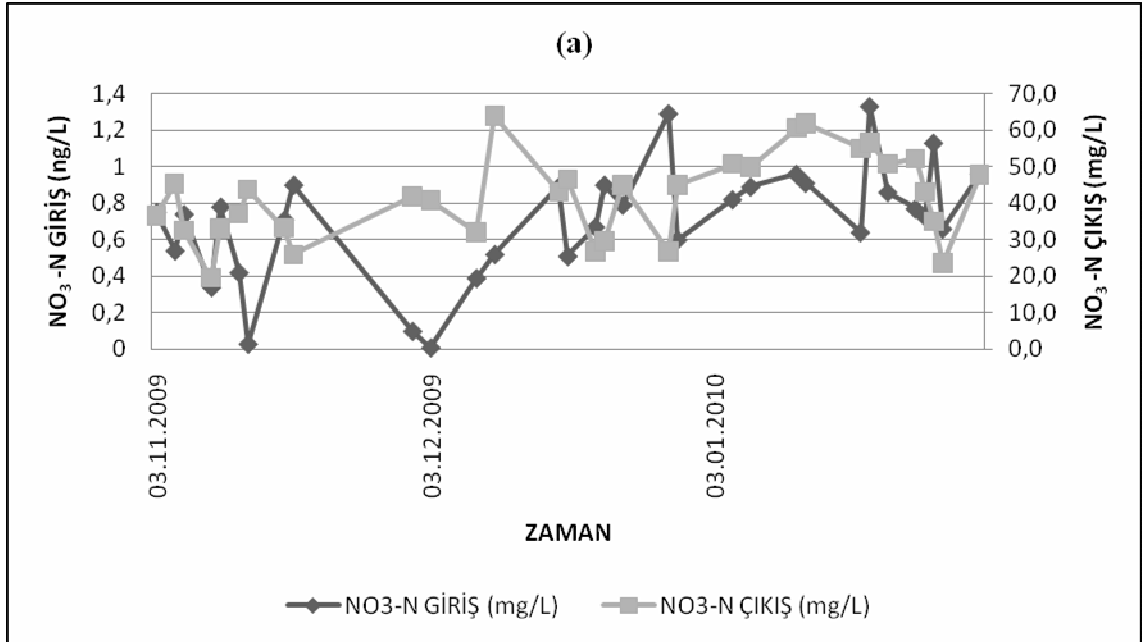
Şekil 4.10. ve Şekil 4.12’ de, giriş ve çıkış suyundaki TN ve TP konsantrasyonlarını gösterilmiştir. Buna göre, ortalama TN ve TP giderim verimleri sırasıyla %44 ve %49,8 olarak bulunmuştur.

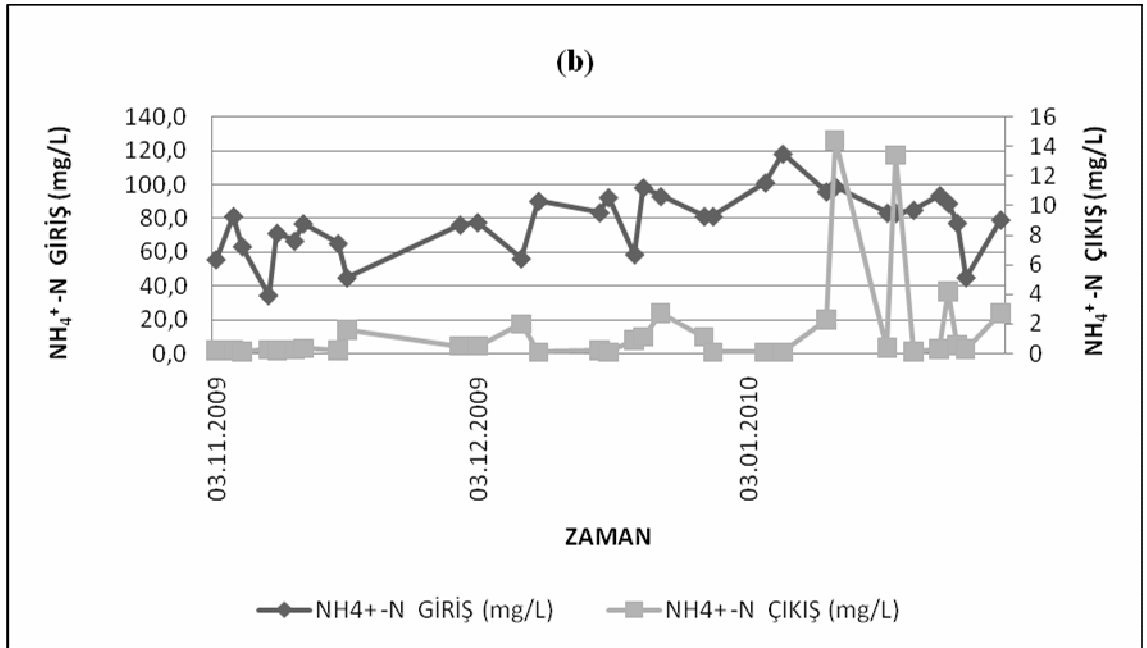
Şekil 4.11’ de giriş ve çıkış suyundaki NH_4^+ -N ve NO_3^- -N konsantrasyonlarının değişimi görülmektedir. Sisteme ortalama giriş NH_4^+ -N konsantrasyonu 78,1 mg/L iken ortalama çıkış NH_4^+ -N konsantrasyonu 1,6 mg/L olarak bulunmuştur. NH_4^+ -N konsantrasyonunun giderim verimi %83,9 - %99,9 arasında değişmiş ve ortalaması % 97,9 olarak bulunmuştur. Sisteme ortalama giriş NO_3^- -N konsantrasyonu $0,7 \pm 0,2$ mg/L iken ortalama çıkış NO_3^- -N konsantrasyonu $41,7 \pm 9,5$ mg/L olarak bulunmuştur.





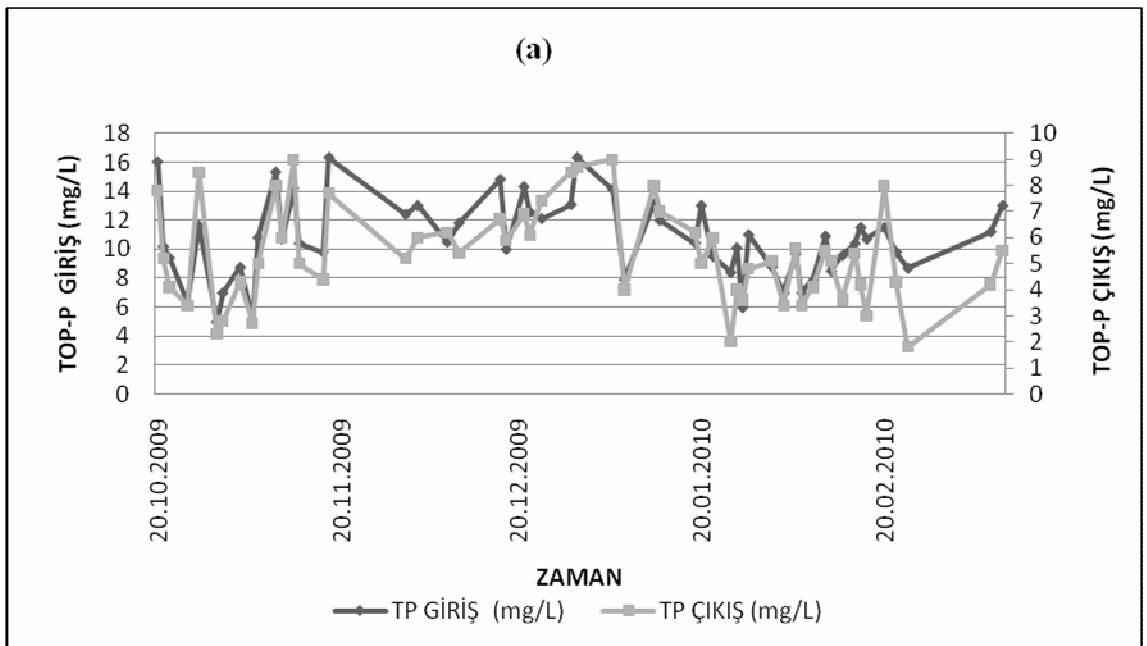
Şekil 4.10. (a)SMBR’da giriş ve çıkış TN konsantrasyonları ve (b)TN giderimi.

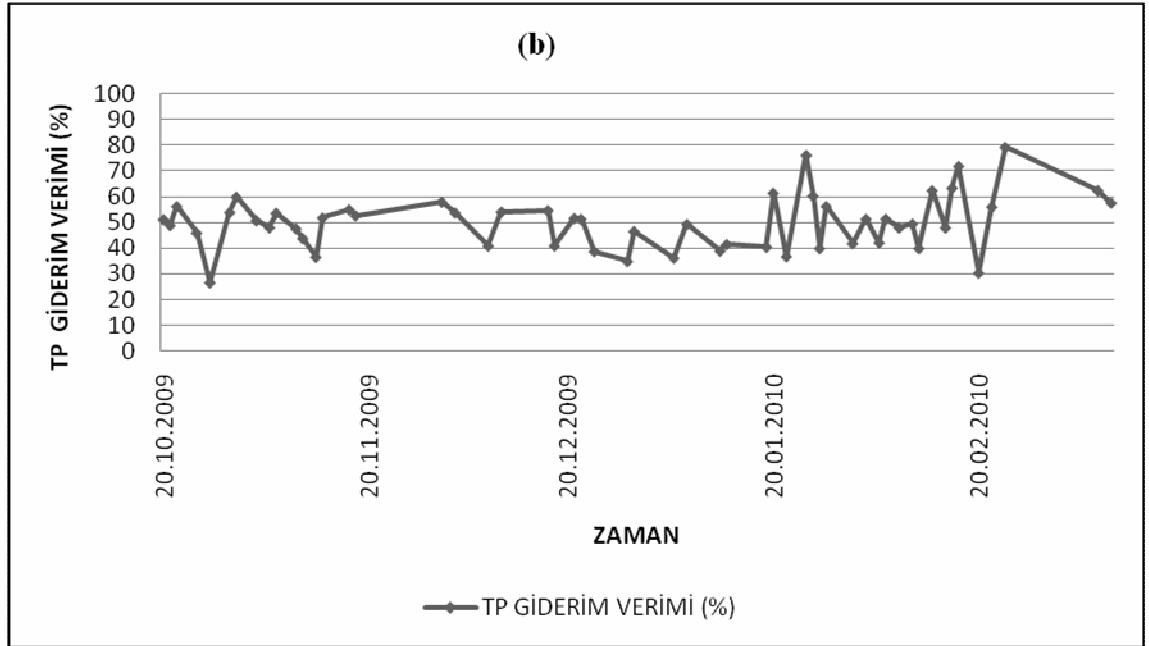




Şekil 4.11. (a)SMBR’da NO_3^- N konsantrasyonlarının değişimi ve (b) NH_4^+-N konsantrasyonlarının değişimi.

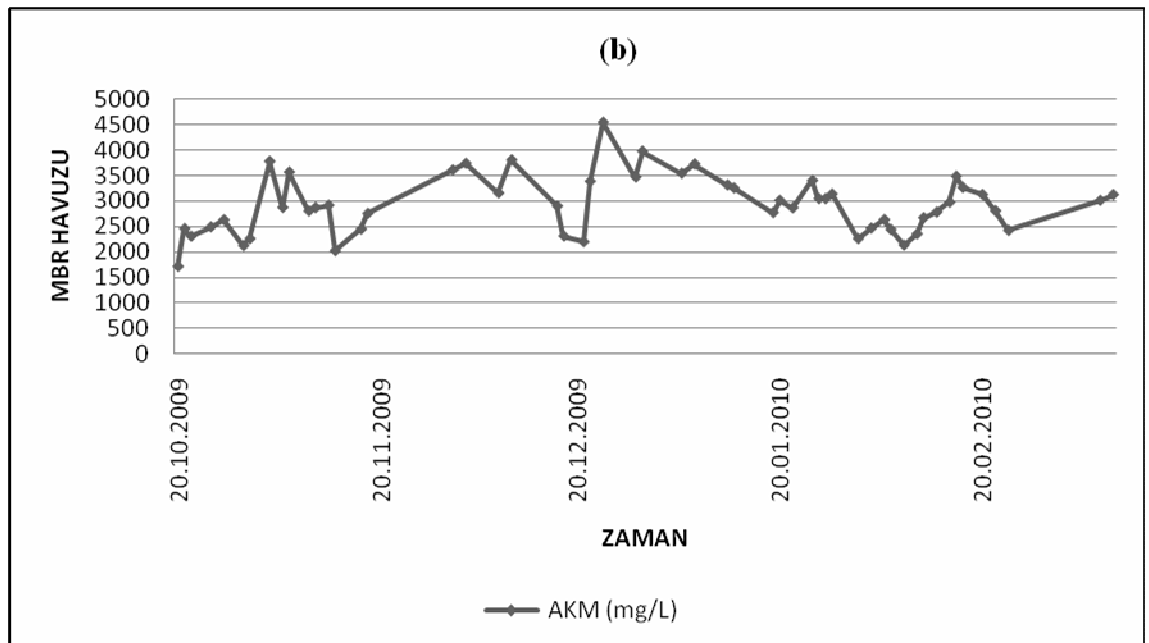
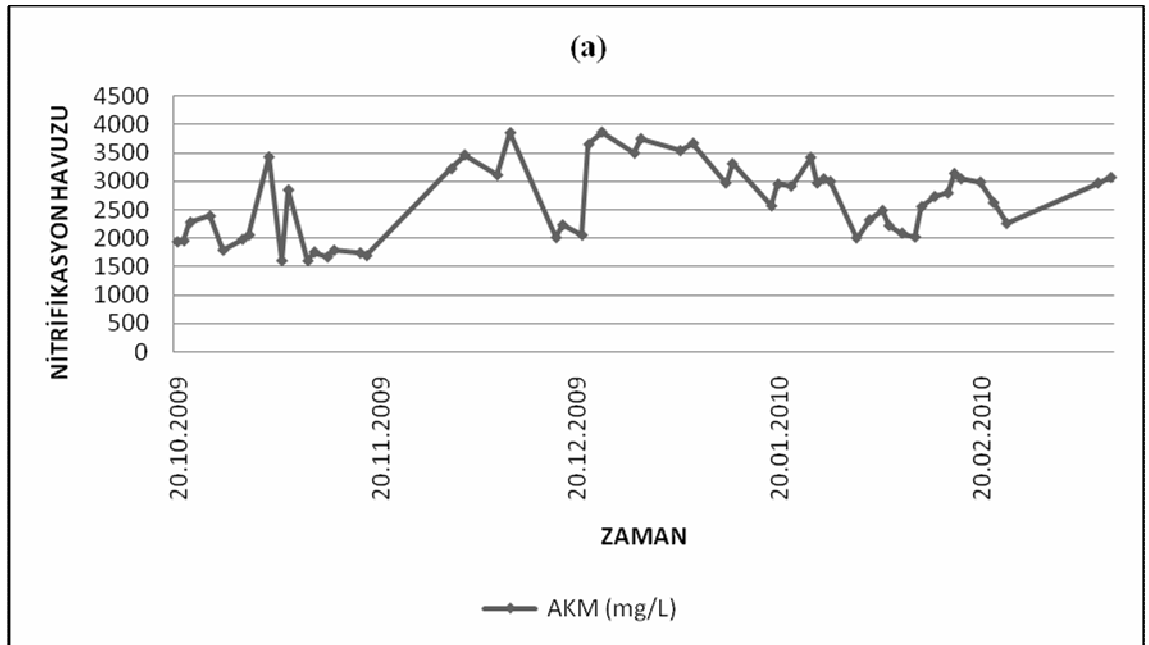
Şekil 4.12. SMBR sisteminin TP giderim verimi gösterilmektedir. Ortalama giriş ve çıkış TP değerleri sırasıyla $10,7 \pm 2,1$ ve $5,4 \pm 1,5$ mg/L olarak bulunmuştur. Ortalama TP giderim verimi %49,8 olarak bulunmuştur.





Şekil 4.12. (a)SMBR’da giriş ve çıkış TP konsantrasyonları ve (b)TP giderimi.

Şekil 4.13’ de havalandırma tankı ve SMBR havuzu AKM (MLSS) konsantrasyonu değişimi gösterilmiştir. AKM konsantrasyonları havalandırma tankı ve SMBR havuzu için sırasıyla 1600-3900 mg/L ve 1700-4500 mg/L arasında değişim göstermiştir. Çamur yaşı (SRT) sonsuz alınmıştır.



Şekil 4.13. (a)Havalandırma havuzundaki AKM ve (b)SMBR havuzundaki AKM değişimi

SMBR çıkış suyunun ortalama karakteristik değerleri Tablo 4.2’de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Tam ölçekli SMBR’da arıtılmış suyun ortalama karakteristik değerleri

Parametre	Birim	Ortalama Değer
KOİ	mg/L	38,8 ± 13,4
BOİ₅	mg/L	3,4 ± 2,6
AKM	mg/L	1,7 ± 1,5
TN	mg/L	46,2 ± 11,1
NH₄⁺-N	mg/L	1,6 ± 1,6
TP	mg/L	5,4 ± 1,5

Verilen değerler ± standard sapma

5. BÖLÜM

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, tam ölçekli SBR sistemi ile Kayseri ilinin Buğdaylı mevkiinde oluşan evsel atıksuların arıtımında sistem verimliliği incelenmiştir. Tam ölçekli SBR sisteminin işletimine geçmeden önce KAAT’de pilot ölçekli sisteminin ön çalışması gerçekleştirilmiştir.

KAAT’de yapılan pilot ölçekli SBR sisteminin arıtma çalışmaları takip edilmiştir. Pilot ölçekli SBR sisteminin analiz sonuçlarına göre KOİ, BOİ₅, AKM, TN ve TP giderim verimleri sırasıyla %99, %99,4, %99,8, %39 ve %81,2 olduğu gözlemlenmiştir. Pilot ölçekli SBR’ın analiz sonuçlarına göre AKM, KOİ, BOİ₅, TN ve TP parametrelerinin ortalama giriş ve çıkış değerleri sırasıyla 445,3-1,1 mg/L, 780,6-7,7 mg/L, 371,1-2,2 mg/L, 59,2 -36,1 mg/L ve 8,5- 1,6 mg/L değerleri aralığındadır.

Pilot ölçekli SBR çalışmalarında çökeltme tankına çamur geri devri yapılmamıştır. Ayrıca yine bu sistemde anaerobik ve denitrifikasyon üniteleri bulunmamaktadır. Bu nedenle TN ve TP giderim verimleri sırasıyla %39 ve %81,2 değerleri ile sınırlı kalmıştır. Kurulacak tam ölçekli SBR sisteminin tasarımında A²/O prosesine göre anaerobik, denitrifikasyon ve nitrifikasyon üniteleri tam ölçekli SBR tesisine ilave edilerek TN ve TP giderim verimi artırılması amaçlanmıştır.

Tam ölçekli SBR sisteminin çözünmüş oksijen, pH, iletkenlik ve sıcaklık değeri sırasıyla 4,1-10,4 mg/L, 7,4-7,9 ve 685-936 µS/cm, 19-27 °C arasında değişmiştir. Havalandırma tankı ve SBR havuzundaki AKM değerleri sırasıyla 1,6-3,9 g/L ve 1,7-4,6 g/L arasında değişmiştir. SRT sonsuz alınmıştır.

Tam ölçekli SBR sisteminin KOİ, BOİ₅ ve toplam AKM giderim verimleri, sırasıyla %92,5, %98,7 ve %99,6 olarak bulunmuştur. Benzer sonuçlar literatürdeki çalışmalarda da elde edilmiştir [38, 39].

Tam ölçekli SBR sisteminin giriş ve çıkış AKM değerleri sırasıyla 200-670, 0-7 mg/L arasında değişim göstermektedir. Ortalama giriş ve çıkış AKM değerleri sırasıyla 412,7 mg/L, 1,7 mg/L değerindedir.

SBR sisteminin KOİ ve BOİ₅ parametrelerinin giriş ve çıkış değerleri sırasıyla 227-721, 4,2-78 mg/L, 80-400, 0-10 mg/L arasında değişim göstermektedir. SBR sisteminin KOİ ve BOİ₅ parametrelerinin ortalama giriş ve çıkış değerleri sırasıyla 520,2, 38,8 mg/L, 267,8, 4,4 mg/L değerindedir. Atıksuyu karakterizasyonu KOİ/TN/TP=100/26/5,2 ve BOİ₅/COD = 0,5 değerleri ile evsel atıksu karakterinde olduğunu tespit etmişleridir[40]

NH₄⁺-N giriş ve çıkış değerlerinin ortalamaları sırasıyla 78,1 ve 1,6 mg/L olarak bulunmuştur. Ortalama NH₄⁺-N giderim verimi %97,9 elde edilmiştir. NO₃⁻ N giriş ve çıkış değerleri sırasıyla 0,7 ve 41,7 mg/L olarak bulunmuştur. Ortalama TN giderimi %44 elde edilmiştir. Sistemin KOİ/TN= 6,3 değeri elde edilmiştir. Klasik atıksu arıtımı için giderim prosesleri (A²/O, A/O, gibi) için, KOİ/TN oranı 7-9 değerinin altında olduğu zaman fosfor gideriminin hızla düştüğü belirtilmiştir [38].

Arıtılmış suda TN giderim verimliliğine düşüş, NO₃⁻ N konsantrasyonundaki artış ile açıklanabilir. Bu çalışmada, TN giderimi verimi %44 Kimura v.d.'nin [39] perdeli SBR' daki %46,9'luk azot giderim verimine yakındır.

SBR sisteminin TP ortalama giriş ve çıkış TP değerleri sırasıyla 10,7±2,1 ve 5,4±1,5 mg/L olarak bulunmuştur. Ortalama TP giderim verimi %49,8 olarak bulunmuştur. Benzer sonuç, Zhang v.d. [41] tarafından da rapor edilmiştir.

Denitrifiye fosfor biriktiren organizmaların ortamda (DPAO) bulunuşu, karbon kaynağı eksik atıksuların arıtımında büyük bir gelişme sağlamıştır. Fosfor biriktiren organizmalardan (PAO) farklı olarak, DPAO' lar, anoksik şartlar altında fosfat

gideriminde elektron akseptörü olarak oksijen yerine nitrit veya nitratı kullanabileceği ortaya konulmuştur[42, 43, 44].

MBR tesisi çıkış suyu üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, atıksu parametreleri sonuçları KOİ, BOİ₅, AKM ve pH için sırasıyla 38,8 mg/L, 3,4 mg/L, 1,7 mg/L ve 7,4 olarak ölçülmüştür. Çıkış suyu kompozit numunesi sonuçlarının Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin nüfusu 84-2000 kişi olan yerleşim yerleri için alıcı ortama deşarj standartlarını sağladığı görülmüştür[45].

SMBR çıkıştaki NO₃⁻N artışı sistemin denitrifikasyon ünitesinin temas süresi azlığı ile açıklanmaktadır. Sistemdeki N nitrifiye olarak indirgenmiş, fakat denitrifikasyon işlemi gerçekleşmediğinden NO₃⁻N miktarında artış olmuştur. Sistemdeki membran gözeneklerinden geçebilen NO₃⁻N sistemden ayrılmaktadır. Sistemin N gideriminin gerçekleşmesi için anoksik tanktaki bekleme süresinin artırılması düşünülmektedir.

Bu çalışma, SMBR sistemi küçük yerleşim yerleri için atıksu arıtımında uygun bir arıtma teknolojisi olduğunu göstermiştir. Yapılan bu çalışmanın, ülkemizde küçük yerleşim birimleri için SMBR sistemlerinin uygulanabilirliği açısından örnek teşkil edebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Merz, C., Scheumann, R., Hamouri, B. E., Kraume M., Membrane Bioreactor Technology for the Treatment and Recycling of Greywater from a Sport and Leisure Club, Desalination, 215 (1-3), 37-43, 2007.
2. Hasar, H., Batık Membran-Aktif Çamur Sistemlerinin Arıtma Kapasitesinin Geliştirilmesi ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2001.
3. Mayhew, M., Stephenson, T., Low Biomass Yield Activated Sludge: A Review Environmental Technology, 18 (9), 883-892, 1997.
4. Cassano, A., Figoli, A., Tagarelli, A., Sindona, G., Drioli, E., Integrated Embrane Process for the Production of Highly Nutritional Kiwifruit Juice, Desalination, 189, 21–30, 2006.
5. Kalogirou, S., A., Seawater Desalination using Renewable Energy Sources, Progress in Energy and Combustion Science, 31, 242–281, 2005.
6. Morão, A., I., C., Alves, A., M., B., Costa, M., C., Cardoso, J., P., Nanofiltration of a Clarified Fermentation Broth, Chemical Engineering Science, 61, 2418 – 2427, 2006.
7. Nosenzo, G., Gualdi, A., Mignani, M., Bellini, G., Industrial Removal of Micropollutants from Water of Varying Quality by FLAMEC Flat Sheet Polymeric Membranes Cassettes, Desalination 185, 167–18, 2005.
8. Durmaz, F., Kara, H., Cengelloglu, Y., Ersoz, M., Fluoride Removal by Donnan Dialysis with Anion Exchange Membranes, Desalination, 177, 51-57, 2005
9. Aptel, P., Buckley, A., C., Water Treatment Membran Processes, A Division of The Mc Graw- Hill, South Africa, 1996.
10. Stephenson, T., Judd, S., Jefferson, B., Brindle, K., Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, IWA publishing, London, 2000.

11. Köseoğlu, H., Hibrit Siyanürleme ve Yüksek Basınçlı Membran Prosesi ile Madencilik Atıksularından Gümüş Geri Kazanımı-Sentetik Su Deneyleri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2005.
12. Tübitak Kamag Proje Gelişme Raporu (KP-GR-01) Proje No: 106G135 , Küçük Yerleşim Birimleri İçin Uygun Atıksu Arıtma Alternatiflerinin Araştırılması: Yamula Baraj Havzasında Bir Örnek Çalışma Projesi, 15.03.2008-15.09.2008.
13. Tübitak Kamag Proje Dosyası Proje No: 106G135 ,Küçük Yerleşim Birimleri İçin Uygun Atıksu Arıtma Alternatiflerinin Araştırılması: Yamula Baraj Havzasında Bir Örnek Çalışma Projesi” 15.03.2008-
14. Gander, M., Jefferson, B., Judd, S., Aerobic MBRs for Domestic Wastewater Treatment: A Review with Cost Considerations Separation and Purification Technology, 18(2), 119-130, 2000.
15. Yiğit, N., Ö., Membran Biyoreaktörü İle (Mbr) Evsel Atıksu Arıtımı, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2007.
16. Ishida, H., Yamada, Y., Matsumura, S., Second International Conference on Advances in Water and Effluent Treatment, BHR Group, 1993.
17. Wu, Z., Wang, Z., Zhou, Z., Yu, G., Gu G., Sludge Rheological and Physiological Characteristics in a Pilot-Scale Submerged Membrane Bioreactor, Desalination, 212, (1-3), 152-164, 2007.
18. Hillis, P., Membrane Technology in Water and Wastewater Treatment, The Royal Society of Chemistry, Great Britain , 2000.
19. Schippers, J., C., Kruithof J., Nederlof, M., Hofman, J., A., M., H., Integrated Membrane Systems, AWWA Research Foundation and American Water Works Association, U.S.A., 2004.
20. Porter, M., C., Handbook of Industrial Membrane Technology, Noyes Publications, U.S.A., 1990.

21. Scott, K., Hughes, R., Industrial Membrane Separation Technology, Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, 1996.
22. Jefferson, B., Laine, A., Brindle, K., Judd, S., Stephenson, T., Proceedings of Water Environment 98: Maintaining the Flow, The Institution of Civil Engineers, London, 1998.
23. Kishino, H., Ishida, H., Iwabu, H., Nakano, I., Domestic Wastewater Reuse using a Submerged Membrane Bioreactor, *Desalination*, 106, (1-3), 115-119, 1996.
24. Hanaki, K., Wantawin, C., O., Shinichiro, Effects of the Activity of Heterotrophs on Nitrification in a Suspended-Growth Reactor, *Water Research*, 24(3), 289-296, 1990.
25. Chiemchaisri, C., Yamamoto, K., Performance of Membrane Separation Bioreactor at Various Temperatures for Domestic Wastewater Treatment, *Journal of Membrane Science*, 87(1-2), 119, 1994.
26. C. Chiemchaisri, Y.K. Wong, T. Urase, K. Yamamoto, Organic Stabilisation and Nitrogen Removal in a Membrane Separation Bioreactor for Domestic Wastewater Treatment, *Filtration & Separation*, 30(3), 247, 1993.
27. Suwa, Y., Suzuki, T., Toyohara, H., Yamagishi, T., Urushigawa, Y., Single-Stage, Single-Sludge Nitrogen Removal by an Activated Sludge Process with Cross-Flow Filtration, *Water Research*, 26 (9), 1149-1157, 1992.
28. Winnen, H., Suidan, M., T., Scarpino, P., V., Wrenn, B., Cicek, N., Urbain, V., Manem, J., Effectiveness of the Membrane Bioreactor in the Biodegradation of High Molecular-Weight Compounds, *Water Science and Technology*, 34 (9), 197-203, 1996.
29. Ueda, T., Hata, K., Kikuoka, Y., Treatment of Domestic Sewage from Rural Settlements by a Membrane Bioreactor, *Water Science and Technology*, 34 (9), 189-196, 1996.
30. Owen, G., Bandi M., Howell, J., A., Churchouse, S., J., Economic Assessment of Membrane Processes for Water and Waste Water Treatment, *Journal of Membrane Science*, 102, 77, 1995.

31. Gero, Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel, "Wastewater Engineering, Treatment Disposal and Reuse" McGraw-Hill fourth international Editions, Metcalf & Eddy, 1991.
32. Ueda, T., Hata, K., Kikuoka, Y., Seino, O., Effects of Aeration on Suction Pressure in a Submerged Membrane Bioreactor, Water Research, 31 (3), 489-494, 1997.
33. Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U., Atıksu Arıtımının Esasları, T.C. Çevre Orman Bakanlığı, 2005.
34. Samsunlu, A., "Atıksuların Arıtılması" Birsen Yayın Evi, İstanbul, 2006
35. Tübitak Kamag Proje Gelişme Raporu (KP-GR-02) Proje No: 106G135 "Küçük Yerleşim Birimleri İçin Uygun Atıksu Arıtma Alternatiflerinin Araştırılması: Yamula Baraj Havzasında Bir Örnek Çalışma Projesi" 15.09.2008-15.03.2009.
36. Tübitak Kamag Proje Gelişme Raporu (KP-GR-03) Proje No: 106G135 "Küçük Yerleşim Birimleri İçin Uygun Atıksu Arıtma Alternatiflerinin Araştırılması: Yamula Baraj Havzasında Bir Örnek Çalışma Projesi" 15.03.2009-15.09.2009.
37. APHA, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 17th ed. Washington, DC. USA. 1989.
38. Chae, S., R., Shin, H., S., Characteristics of Simultaneous Organic and Nutrient Removal in a Pilot-Scale Vertical Submerged Membrane Bioreactor (VSMBR) Treating Municipal Wastewater at Various Temperatures, Process Biochemistry, 42 (2), 193-198, 2007.
39. Kimura, K., Nishisako, R., Miyoshi, T., Shimada, R., Watanabe, Y., Baffled Membrane Bioreactor (BMBR) for Efficient Nutrient Removal from Municipal Wastewater, Water Research, 42 (3), 625-632, 2008.
40. Bracklow, U., Drews, A., Vocks, M., Kraume, M., Comparison of Nutrients Degradation in Small Scale Membrane Bioreactors Fed with Synthetic/Domestic Wastewater, Journal of Hazardous Materials, 144 (3), 620-626, 2007.

41. Zhang, H., Wang, X., Xiao, J., Yang, F., Zhang, J., Enhanced Biological Nutrient Removal Using Muct–Mbr System, *Bioresource Technology*, 100 (3), 1048-1054, 2009.
42. Turan, M., Ozdemir, O., Turan, A., Z., Ozkan, O., Bayhan, H., Aykar, E., Performance of a Flat-Sheet Submerget Membrane Bioreactor during Long-Term Treatment of Municipal Wastewater, *International Workshop on Urbanisation, Land Use, Land Degradation and Environment*, Denizli, 62-68, 28th September-01st October, 2009.
43. Hu, Z., Wentzel, M., C., Ekama, G., A., Anoxic Growth of Phosphate-Accumulating Organisms (PAOS) in Biological Nutrient Removal Activated Sludge Systems, *Water Research*, 36 (19), 4927-4937, 2002.
44. Carvalho, G., Lemos, P., C., Oehmen, A., Reis, M., A., M., Denitrifying Phosphorus Removal: Linking the Process Performance with the Microbial Community Structure, *Water Research*, 41 (19), 4383, 2007.
45. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayısı: 25687, Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eren HASBÜLBÜL
Baba Adı : Mustafa
Ana Adı : Sebahat
Doğum Yeri : Kayseri
Doğum Tarihi : 14.03.1985

İlk, orta ve lise öğrenimini 2003 yılında Kayseri’de tamamladı. 2003 yılında kazanmış olduğu Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nü 2007 yılında bitirdi. 2008 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

İletişim Bilgileri

Adres: Uzun Çarşı Bezciler Sokak No: 34 38010 Kocasinan/KAYSERİ
e-mail: eren_muh@hotmail.com