

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEMBRAN BİYOREAKTÖR İLE EVSEL NİTELİKLİ ATIKSULARIN
ARITILMASI VE GERİ KAZANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Saime YILMAZ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEMBRAN BİYOREAKTÖR İLE EVSEL NİTELİKLİ ATIKSULARIN
ARITILMASI VE GERİ KAZANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Saime YILMAZ
(501121729)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa TURAN

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121729 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Saime YILMAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MEMBRAN BİYOREAKTÖR İLE EVSEL NİTELİKLİ ATIKSULARIN ARITILMASI VE GERİ KAZANILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mustafa TURAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ayşe ÇEÇEN ERBİL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İlter TÜRKDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **2 Haziran 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Dünyada yaşanan su kıtlığı ve giderek artan su ihtiyacı nedeniyle daha yenilikçi ve ileri su arıtım teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle mevcut su kaynaklarının kirlenmesini önlemek ve arıtılmış atıksuları doğaya deşarj etmek yerine geri kazanmak ve yeniden kullanmak oldukça önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada evsel nitelikli atıksular membran biyoreaktör (MBR) ile arıtılmış ve geri kazanılmıştır. Elde edilen çıkış suyu kentsel ve tarımsal sulamada kullanılabilceğı gibi yangın söndürme, sifon suyu, araç yıkama gibi amaçlar için de kullanılabilmektedir.

Tez konusunun seçilmesinde ve çalışmalarında bana her zaman yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Mustafa TURAN'a teşekkür ederim.

Bu tez İTÜ-BAP Lisansüstü Tezlerini Destekleme Projeleri tarafından 38154 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Maddi destekleri için İTÜ-BAP birimine teşekkür ederim.

Yüksek lisans bursu ile beni destekleyen Türkiye Çevre Koruma Vakfı'na teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan ve bana destek olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2015

Saime Yılmaz
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Evsel Atıksular	3
2.1.1 Evsel atıksuların genel özellikleri	3
2.1.2 Evsel atıksuların tipik karakterizasyonu	3
2.1.3 Evsel atıksuları arıtma yöntemleri.....	4
2.1.3.1 Fiziksel arıtma	4
2.1.3.2 Kimyasal arıtma.....	4
2.1.3.3 Biyolojik arıtma.....	5
2.2 Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanılmasının Önemi	5
2.2.1 Su kıtlığı.....	5
2.2.2 Arıtılmış atıksuların kullanım alanları.....	8
2.2.2.1 Kentsel kullanım.....	8
2.2.2.2 Tarımsal kullanım.....	9
2.2.3 Arıtılmış atıksuların tekrar kullanılması.....	9
2.2.4 Arıtılmış atıksuların tekrar kullanılmasının örnekleri	10
2.2.5 Arıtılmış atıksuların tekrar kullanılma kriterleri.....	10
2.2.5.1 Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği	12
2.3 Aktif Çamur Prosesi	13
2.3.1 Aktif çamur	13
2.3.2 Aktif çamur prosesinin basamakları.....	13
2.3.2.1 Ön arıtma.....	14
2.3.2.2 Biyoreaktör.....	14
2.3.2.3 Çöktürme.....	14
2.3.2.4 Atık çamur.....	14
2.4 Membran Teknolojisi	15
2.4.1 Membran.....	15
2.4.2 Membran filtrasyonu	15
2.4.2.1 Mikrofiltrasyon.....	16
2.4.2.2 Ultrafiltrasyon.....	16
2.4.2.3 Nanofiltrasyon	16
2.4.2.4 Ters osmoz	16
2.4.3 Membran materyalleri	16
2.4.4 Membran modülleri.....	17

2.4.4.1 Plaka-çerçeve tipi membran modülü	17
2.4.4.2 Spiral sargılı membran modülü	17
2.4.4.3 Tübüler tip membran modülü	18
2.4.4.4 Kapiler tip membran modülü	18
2.4.4.5 Hollow-fiber tipi membran modülü	19
2.5 Membran Biyoreaktör	20
2.5.1 Membran biyoreaktör teknolojisi	20
2.5.2 MBR proses konfigürasyonları	21
2.5.2.1 Dahili batık membran biyoreaktör	21
2.5.2.2 Harici membran biyoreaktör	21
2.5.2.3 MBR proses konfigürasyonlarının kıyaslanması	21
2.5.3 MBR sistemlerinin klasik aktif çamur sistemleri ile karşılaştırılması	22
2.5.4 MBR sistemlerinde tıkanma mekanizması	23
2.5.5 Ticari MBR ürünleri	23
2.5.5.1 Kubota	23
2.5.5.2 Huber	23
2.5.5.3 Toray	24
2.5.5.4 Zenon	24
2.5.5.5 Mitsubishi rayon	25
2.6 Önceki Çalışmalar	26
3. MATERYAL VE METOD	29
3.1 Arıtma Düzenegi ve Sistemi	29
3.1.1 Membran biyoreaktör	29
3.1.2 Besleme tankı	32
3.1.3 Online ölçüm problemleri ve kontrol paneli	32
3.1.4 Peristaltik pompa	34
3.2 MBR Sisteminin Çalıştırılması	34
3.2.1 Arıtma sistemi paneli kontrol ünitesi	35
3.2.2 Permeat (süzüntü) pompası	36
3.2.3 Scouring blower	36
3.2.4 Blower	37
3.3 İşletme Modları	37
3.4 Sentetik Atıksu	37
3.4.1 Sentetik atıksuyun bileşimi	37
3.4.2 Sentetik atıksuyun karakterizasyonu	38
3.5 Deneysel Çalışmalar	38
3.5.1 Askıda katı madde	38
3.5.2 Bulanıklık	38
3.5.3 Kimyasal oksijen ihtiyacı	39
3.5.4 Biyolojik oksijen ihtiyacı	39
3.5.5 Toplam azot	39
3.5.6 Toplam fosfor	39
3.5.7 Toplam koliform	39
3.5.8 Kalsiyum	39
3.5.9 Magnezyum	39
3.5.10 Sodyum	39
3.5.11 Klorür	40
3.5.12 Sıcaklık	40
3.5.13 İletkenlik	40
3.5.14 pH	40

3.5.15 MLSS.....	40
3.5.16 Çözünmüş oksijen	40
3.6 MBR Sisteminin İşletilmesi.....	40
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	45
4.1 Reaktör İçerisindeki Parametreler	45
4.1.1 Sıcaklık	45
4.1.2 pH	46
4.1.3 Çözünmüş oksijen	47
4.1.4 İletkenlik	48
4.1.5 MLSS.....	50
4.2 Geri Devirsiz İşletme Süresince Arıtma	51
4.2.1 AKM.....	51
4.2.2 Bulanıklık.....	52
4.2.3 KOİ	53
4.2.4 BOİ	53
4.2.5 Toplam azot.....	54
4.2.6 Toplam fosfor.....	55
4.2.7 Kalsiyum.....	55
4.2.8 Magnezyum.....	57
4.2.9 Sodyum	58
4.2.10 Klorür.....	59
4.2.11 Toplam koliform.....	60
4.2.12 Sodyum adsorpsiyon oranı.....	60
4.3 Geri Devirli İşletme Süresince Arıtma	61
4.3.1 AKM.....	61
4.3.2 Bulanıklık.....	62
4.3.3 KOİ	63
4.3.4 BOİ	63
4.3.5 Toplam azot.....	64
4.3.6 Toplam fosfor.....	65
4.4 Bekletme Süresi, Akı ve Basınç Değişimleri.....	65
4.5 Tıkanma ve Kimyasal Geri Yıkama	67
4.6 F/M Oranı.....	67
4.7 Çamur Yaşı	68
5. SONUÇLAR.....	69
5.1 Elde Edilen Sonuçlar	69
5.2 Su Kalitesinin Değerlendirilmesi	70
5.2.1 Sulamada kullanılacak geri kazanılmış atıksuların sınıflandırılması.....	70
5.2.2 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin incelenmesi	72
5.2.3 SAR	73
5.2.4 Tuzluluk	74
5.2.5 Klorür.....	77
5.2.6 Nutrientler	77
5.2.7 Mikrobiyolojik kalite.....	78
5.2.8 Toksik elementler ve ağır metaller	79
5.3 Atıksu Geri Kazanımında Teknoloji Seçimi.....	80
5.4 Sulama Sistemi Seçimi	83
5.5 Arıtılmış Atıksular İle Sulanabilecek Bitkiler	87
6. YORUMLAR VE TARTIŞMA	91
KAYNAKLAR.....	95

ÖZGEÇMİŞ.....	99
----------------------	-----------

KISALTMALAR

TKM	: Toplam Katı Madde
TÇKM	: Toplam Çözünmüş Katı Madde
TUKM	: Toplam Uçucu Katı Madde
AKM	: Askıda Katı Madde
SAKM	: Sabit Askıda Katı Madde
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde
BOİ₅	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
TOK	: Toplam Organik Karbon
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
MBR	: Membran Biyoreaktör
SMBR	: Batık Membran Biyoreaktör
MF	: Mikrofiltrasyon
UF	: Ultrafiltrasyon
TO	: Ters Ozmos
ED	: Elektrodializ
ME	: Membran Elektrodializ
DD	: Difüzyon Diyaliz
PV	: Perveporasyon
NF	: Nanofiltrasyon
SAR	: Sodyum Adsorpsiyon Oranı
MLSS	: Reaktör İçerisindeki Biyokütle
MLVSS	: Reaktör İçerisindeki Uçucu Biyokütle
ÇO	: Çözünmüş Oksijen
F/M	: Besin/Mikroorganizma Oranı
TÇM	: Toplam Çözünmüş Madde
EC	: Elektriksel İletkenlik
BNR	: Biyolojik Nutrient Giderimi
AATTUT	: Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği
EPA	: Environmental Protection Agency
MCB	: Membrane Clear Box
AWWA	: American Water Works Association

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ham evsel atıksuyun tipik karakterizasyonu (Metcalf ve Eddy, 2004).	4
Çizelge 2.2 : Sulama suyu tehlike sınıflandırması (EPA, 2012).....	9
Çizelge 2.3 : Sulama suyunun tehlike sınıflandırması (Chhabra, 1996).	11
Çizelge 2.4 : FAO tarafından belirlenen sulama suyu kriterleri (Ayers, 1985).....	12
Çizelge 2.5 : MBR konfigürasyonlarının kıyaslanması (Till ve Malia, 2001).	22
Çizelge 2.6 : Elde edilen sonuçlar (Bunani, 2013).....	26
Çizelge 3.1 : Elektrik kontrol seti (Hans Huber User Manual, 2009).....	34
Çizelge 3.2 : Sentetik atıksuyun bileşimi (Yıldız ve diğ, 2005).	38
Çizelge 3.3 : Sentetik atıksuyun karakterizasyonu.....	38
Çizelge 5.1 : Geri devirsiz arıtma sonuçları.....	69
Çizelge 5.2 : Geri devirli arıtma sonuçları.....	69
Çizelge 5.3 : Sınıf A (AATTUT, 2010).....	71
Çizelge 5.4 : Sınıf B (AATTUT, 2010).....	71
Çizelge 5.5 : Sulama suyunun kimyasal sınıflandırılması (AATTUT, 2010).	72
Çizelge 5.6 : SAR toleransı (AATTUT, 2010).	74
Çizelge 5.7 : Bazı bitkilerin tuzluluğa hassaslıkları (AATTUT, 2010).	76
Çizelge (devam) 5.7 : Bazı bitkilerin tuzluluğa hassaslıkları (AATTUT, 2010).	77
Çizelge 5.8 : Bitki yapraklarına zararlı klorür konsantrasyonları (AATTUT, 2010).	77
Çizelge 5.9 : Geri kazanılmış atıksularda nütrient seviyeleri (AATTUT, 2010).....	78
Çizelge 5.10 : İzin verilen ağır metal ve toksik elementler (AATTUT, 2010).....	79
Çizelge 5.11 : Arıtılan evsel atıksularda tahmini eser maddeler (AATTUT, 2010). .	80
Çizelge 5.12 : Arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler (AATTUT, 2010).....	81
Çizelge 5.13 : Atıksu geri kazanımı sistemleri (AATTUT, 2010).....	82
Çizelge 5.14 : Atıksuların dezenfekte olmadan kullanılması (AATTUT, 2010).....	83
Çizelge 5.15 : Sulama metotları ve özellikleri (AATTUT, 2010).	84
Çizelge 5.16 : Sulama sistemlerinin değerlendirilmesi (AATTUT, 2010).....	85
Çizelge 5.17 : Damlatmalı sulamada tıkanma (AATTUT, 2010).....	86
Çizelge 5.18 : Sulama türü ve sınıfının seçimi (AATTUT, 2010).....	87
Çizelge 5.19 : Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler (AATTUT, 2010).....	88

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yeryüzündeki su kaynaklarının dağılımı (Shiklomanov ve Rodda, 2003).	6
Şekil 2.2 : Membranın çalışma prensibi (Mulder, 1996).....	15
Şekil 2.3 : Plaka-Çerçeve tipi modülün şematik gösterimi (Mulder, 1996).....	17
Şekil 2.4 : Spiral sargılı modülün şematik gösterimi (Mulder,1996).....	18
Şekil 2.5 : Tübüler tip membran modülün şematik gösterimi (Mulder, 1996).....	18
Şekil 2.6 : Kapiler tip modülün şematik gösterimi (Mulder, 1996).....	19
Şekil 2.7 : Kapiler tip modülde kullanım şekilleri (Mulder, 1996).....	19
Şekil 2.8 : Hollow-fiber tip modülün şematik gösterimi (Mulder, 1996).....	20
Şekil 2.9 : MBR proses konfigürasyonları (Judd, 2006).....	21
Şekil 2.10 : Huber firması tarafından üretilen MBR (Judd, 2006).....	24
Şekil 2.11 : Toray firmasına ait MBR (Judd, 2006).....	24
Şekil 2.12 : Zenon firmasına ait membran modelleri (Judd, 2006).....	25
Şekil 3.1 : Membran kaseti (Hans Huber User Manual, 2009).....	30
Şekil 3.2 : Membran kasetinin reaktör içerisinde görünümü.....	30
Şekil 3.3 : Membran kasetinin tank içerisinde görünümü.....	31
Şekil 3.4 : Reaktörün dış görünümü.....	31
Şekil 3.5 : Besleme tankının görünümü.....	32
Şekil 3.6 : Online ölçüm problemleri.....	33
Şekil 3.7 : İzleme paneli.....	33
Şekil 3.8 : Peristaltik pompa.....	34
Şekil 3.9 : Kontrol ünitesinin şematik görünümü (Hans Huber User Manual,2009).	35
Şekil 3.10 : Kontrol ekranı (Hans Huber User Manual, 2009).....	35
Şekil 3.11 : Membran biyoreaktörün şematik akış diyagramı.....	41
Şekil 4.1 : Reaktördeki sıcaklık değişimleri.....	45
Şekil 4.2 : Reaktördeki pH değişimleri.....	46
Şekil 4.3 : Düşük yük modunda çözülmüş oksijen değerleri.....	47
Şekil 4.4 : Normal işletme modunda çözülmüş oksijen değerleri.....	48
Şekil 4.5 : Reaktördeki iletkenlik değerlerinin değişimi.....	49
Şekil 4.6 : Reaktördeki MLSS değerlerinin değişimi.....	50
Şekil 4.7 : AKM giderim verimleri.....	51
Şekil 4.8 : Bulanıklık değerleri.....	52
Şekil 4.9 : KOİ giderme verimleri.....	53
Şekil 4.10 : BOİ giderme verimleri.....	54
Şekil 4.11 : Toplam azot giderimi.....	54
Şekil 4.12 : Toplam fosfor giderimi.....	55
Şekil 4.13 : Kalsiyum giderimi.....	56
Şekil 4.14 : Magnezyum giderme verimleri.....	57
Şekil 4.15 : Sodyum giderimleri.....	58
Şekil 4.16 : Klorür giderimleri.....	59
Şekil 4.17 : SAR değerlerinin zamana bağlı değişimi.....	61
Şekil 4.18 : AKM giderimi.....	62

Şekil 4.19 : Çıkış bulanıklık değerleri.....	62
Şekil 4.20 : KOİ giderimleri.....	63
Şekil 4.21 : BOİ giderimleri.....	64
Şekil 4.22 : Toplam azot giderimleri.....	64
Şekil 4.23 : Toplam fosfor giderimleri.....	65
Şekil 4.24 : Basınç, debi ve akının değişimi.....	66
Şekil 4.25 : Debi ile bekletme süresi arasındaki ilişki.....	66
Şekil 4.26 : F/M oranının değişimi.....	67
Şekil 5.1 : SAR-EC ilişkisi (AATTUT, 2010).....	73

MEMBRAN BİYOREAKTÖR İLE EVSEL NİTELİKLİ ATIKSULARIN ARITILMASI VE GERİ KAZANILMASI

ÖZET

Artan su ihtiyacı, tükenen ve kirlenen su kaynakları nedeniyle mevcut su kaynaklarının akıllıca kullanılması, kirlenmelerinin önlenmesi gerekmektedir. Ayrıca atıksuların klasik sistemlerle arıtılıp su kaynaklarına deşarj edilmesi yerine membran biyoreaktör gibi ileri atıksu arıtma teknolojileri ile arıtılıp geri kazanılarak tekrar kullanılmaları su kaynaklarının geleceği bakımından çok önemlidir.

İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nda pilot ölçekli batık membran biyoreaktör sistemi kurulmuştur. Hans Huber AG firmasından alınan MembraneClearBox® (MCB) adlı membran biyoreaktör sistemi, aktif çamur prosesi ve daldırılmış ultrafiltrasyon (UF) membranları vasıtasıyla arıtılmış suyun ayrılması işleminin birleşimi olan bir arıtma sistemidir. Membran modülü plaka-çerçeve tipli olup ultrafiltrasyon membranıdır, por büyüklüğü 38 nm olup 9 adet membran plakası bulunmaktadır ve toplam yüzey alanı 3.5 m²'dir.

Membran biyoreaktör sistemi kompakt bir sistem olup üzerinde bulunan ekipmanlar hava bloweri, scouring (sıyırma) bloweri, debi ölçer, numune alma vanası, basınç ölçer ve kontrol ekranıdır. Sistem ayarlamaları kontrol ekranı vasıtası ile yapılmaktadır. Sistemde normal işletme modu, ekonomi modu ve yüksek yük modu olmak üzere üç adet işletme modu bulunmaktadır. Sistem normal şartlarda normal modda işletilir, membran biyoreaktöre atıksu girişı olmadığı zamanlarda ise (tatil zamanları) mikroorganizmaların ölmemeleri için gereken minimum oksijen sağlanmaktadır. Yüksek yük modu ise sisteme aşırı yük geldiği durumlarda kullanılmaktadır.

Orta karakterli evsel atıksu niteliğinde sentetik atıksu ile çalışmalar yürütülmüştür. Ham atıksu giriş değerleri KOİ, BOİ, Toplam Azot (TN) ve Toplam Fosfor (TP) için sırasıyla 500 mg/L, 400 mg/L, 40 mg/L ve 8 mg/L'dir. Ham atıksuyun C:N:P oranı 100:8:1.6'dır ve bu değer ideal değer olan 100:5:1 değerine oldukça yakındır. Daha gerçekçi olması bakımından sentetik atıksu ideal değere uyacak şekilde hazırlanmamıştır.

Önce anaerobik besleme tankına (fosfor giderimi için gereklidir) gelen atıksu peristaltik pompa vasıtasıyla reaktöre girer. MBR içerisinde kesikli havalandırma sayesinde karbon giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemleri gerçekleşmektedir.

MBR sistemi geri devirli ve geri devirsiz olmak üzere iki farklı tipte işletilmiştir. Geri devirsiz işletme süresince elde edilen giderme verimleri sırasıyla AKM, KOİ, BOİ, TN, TP, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, Cl⁻ ve toplam koliform parametreleri için % 99.97, % 98, % 98, % 60, % 40, % 2.4, % 3.4, % 0.55, % 67 ve % 100'dür. Geri devirsiz arıtma için ise AKM, KOİ, BOİ, TN ve TP giderme verimleri sırasıyla % 99.98, % 99.28, % 98.3, % 66 ve % 60'dır. Elde edilen sonuçlara göre geri devirli arıtma

verimleri kısmen daha iyidir. MBR sistemindeki MLSS konsantrasyonu işletme süresince 7356 mg/L'ye kadar yükselmiştir. Reaktördeki ortalama iletkenlik, MLSS, sıcaklık, pH ve çözünmüş oksijen değerler sırasıyla 7121 μ S/cm, 4935 mg/L, 20.63 °C, 5.64, 1.07 mg/L'dir.

Elde edilen çıkış suyu sulama suyu olarak (tarımsal, yeşil alan, peyzaj, golf sahası) kullanılabilir. Ayrıca yangın söndürme, araç yıkama ve sifon suyu olarak da kullanılabilir. Sulama suyu olarak kullanımda sulanacak bitki türü ve toprak yapısı oldukça önemlidir ve dikkatle seçilmelidir.

TREATMENT AND RECLAMATION OF DOMESTIC WASTEWATER WITH MEMBRANE BIOREACTOR

SUMMARY

There is an increasing water demand in the world and water supplies keep getting polluted, so it is necessary to prevent further contamination and planned usage of available clean water resources. In addition, instead of classic wastewater treatment systems we should use advanced wastewater treatment systems like membrane bioreactor and reuse the treated wastewater.

Pilot scale submerged membrane bioreactor system (SMBR) was set up in the I.T.U. Environmental Engineering Department Laboratory. MembraneClearBox[®] (MCB) MBR system was bought from Hans Huber AG firm and it is a hybrid system combined with classical activated sludge processes and submerged UF membrane module. Type of the membrane module is plate-frame and pore size of the membrane is 0.38 μm (UF membrane). There are 9 plates and total membrane area is 3.5 m^2 . Volume of the feed tank was 200 L. Volume of the membrane bioreactor always was kept fixed at 500 L while operation time.

Experiments were conducted with synthetic wastewater which prepared as medium strength domestic wastewater. It assumed that the source of untreated wastewater was only domestic and there was no industrial discharge to that water, so it was not contain any toxic chemicals and heavy metals. COD, BOD, TN and TP values of the influent synthetic water was 500 mg/L, 400 mg/L, 40 mg/L and 8 mg/L respectively. C:N:P ratio of the wastewater was 100:8:1.6, that ratio was very close to the ideal C:N:P ratio of 100:5:1. The synthetic wastewater could be prepared like ideal ratios but that was not done because of being more realistic.

Operation of the system was all automatic and it could be customized by electrical control monitoring unit. In the operation system there were an air blower, scouring blower, flow meter, permeate pump, sampling valve, pressure meter. System worked with negative transmembrane pressure and the pressure value could be seen all the time while operating.

Scouring blower supplied air for preventing membrane fouling, scouring blower time could also be changed on the control unit. When permeate flow is too low (when fouling increased) the scouring blower started running automatically. If fouling is too much scouring blower could not be efficient sometimes. If the scouring blower worked 5 times in 1 minute, system stopped filtering the water. When that happened, the membrane needed chemical cleaning. Since it was a plate-frame membrane module, chemical backwash could not be done automatically. Chemical cleaning was done manually by giving the solution through permeate pipe backward. Sodium hydroxide (NaOH) and citric acid solutions were used as chemical cleaning agents. When permeate flow was too low, system stopped and chemical washing was done manually and after sometime system started to work again. When chemical washing was done wastewater did not filtered and enter into the membrane bioreactor system.

There were 3 mode option in the operation system. Economy mode, normal mode and high load mode. Economy mode especially could be used for the vacation times when there was no wastewater entrance in the membrane bioreactor, minimum oxygen demand was supplied, so microorganism did not die. Normal mode was used when there was entrance and effluence of the wastewater to the membrane bioreactor and it could be used for normal operation times. High load mode could be used when there was more wastewater entrance of the wastewater than usual.

MLSS concentration in the membrane bioreactor was very low initially, so experiments was not started until higher MLSS values. In treatment process, wastewater enters the anaerobic feed tank first (which required for the biological phosphorus removal) and pumped to the membrane bioreactor via peristaltic pump, feed tank also worked as a sedimentation tank and solid particles can settle in the bottom of the tank. Blower of the reactor turns on and off automatically so there can be carbon removal, nitrification and denitrification processes. On and off time, system modes could customized. Oxygen was not given continuously because denitrification process was necessary for the nitrogen removal, all processes happened in one tank (membrane bioreactor).

There were probes for measuring dissolved oxygen, MLSS, pH, electrical conductivity and temperature all the time in the membrane bioreactor. Water level of the reactor had always kept stable. The MBR system was operated in two different modes, one was with no recycle of the sludge and the other one was with recycle of the sludge to the feed tank. Sludge was never discharged from the system. Sludge age was infinity for both operating modes.

Mixed liquor suspended solids (MLSS) concentration in the membrane bioreactor increased to the level of 7356 mg/L (highest value) and changed between 800 mg/L and 7356 mg/L during the experimental work. Mean values of the conductivity (EC), temperature, pH, dissolved oxygen (DO) and MLSS were 7121 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 20.63 $^{\circ}\text{C}$, 5.64, 1.07 mg/L and 4935 mg/L respectively in the membrane bioreactor. When sludge was returned from the membrane bioreactor to the feed tank, MLSS concentration started to decrease because biomass was also returning to the feed tank too. Electrical conductivity (EC) value was high and there were some reasons for that. One of the reasons was addition of the sodium hydroxide (NaOH) to the membrane bioreactor for adjusting the pH value, because of the reactions in the membrane bioreactor tank pH value tended to get low and sodium hydroxide (NaOH) was added. The other reason was evaporation of the water from the membrane bioreactor. Diffusor in the membrane bioreactor could also contributed to that evaporation. Air pressure in the membrane bioreactor could also helped the homogeny mixing and there was no additional mixer in the membrane bioreactor tank.

Removal efficiency of the SS, COD, BOD, TN, TP, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , Cl^{-} and total coliform were 99.97%, 98%, 98%, 60%, 40%, 2.4%, 3.4%, 0.55%, 67% and 100% respectively for the no sludge returning mode. Removal efficiency of the SS, COD, BOD, TN and TP were 99.98%, 99.28%, 98.3%, 66% and 60% respectively for the sludge returning mode. Calcium (Ca^{+2}), magnesium (Mg^{+2}), sodium (Na^{+}) and chlorine (Cl^{-}) concentrations were not measured for the sludge returning mode because removal of them was not related with the operation mode. In addition, removal of them were so low that it could be neglected. According to the results there was better removal efficiency when sludge was returned to the feed tank. When

sludge was return to the feed tank, there was better phosphorus and nitrogen removal. There was no oxygen in the feed tank, so anoxic process could be more efficient that way. There was % 100 removal of the total coliform and that meant ultrafiltration membrane removed them very efficiently. Calcium (Ca^{+2}), magnesium (Mg^{+2}), sodium (Na^{+}) and chlorine (Cl^{-}) removals were so low that it could be negligible. Ultrafiltration membrane could not remove monovalent and multivalent ions efficiently. They also effected the electrical conductivity value of the effluent water which was important for irrigation water. Turbidity values also measured only in the effluent water for both operating modes. It was 0.66 FAU when sludge was not returned and 0.45 FAU when sludge was returned.

Effluent water from the membrane bioreactor can be used for the purposes of irrigation (parks, gardens, play grounds, golf courses). In addition they can be used for fire water, flushing water, fire reserve storages and car washing.

Irrigation water must be analysed carefully for the toxic compounds that can be found in the effluent water. Heavy metals and other toxic compounds can be found either in very low concentrations in the domestic wastewater or they can not be found at all. When there is a discharge of the industrial wastewaters to the domestic wastewater systems, toxic compounds can be exist in the wastewater, so if there was a plan to reuse the effluent water industrial wastewaters should not be discharged into the domestic wastewater canals.

Turkish Wastewater Treatment Plants Technical Aspects Bulletin (2010) has some criteria for wastewater reuse in irrigation. According to the bulletin there are two main class (A and B) for the irrigation. Class A is for landscape and non-commercial plant irrigation. BOD, pH, turbidity, fecal coliform and residual chlorine must be $< 20 \text{ mg/L}$, 6-9, $< 2 \text{ NTU}$, 0/100 ml and $> 1 \text{ mg/L}$ respectively. Class B is irrigation for commercially processed plants, restricted areas and non-eatable plants. Class B criteria were, BOD, pH, SS, fecal coliform and residual chlorine must be $< 30 \text{ mg/L}$, 6-9, $< 30 \text{ mg/L}$, $< 200/100 \text{ ml}$ and $> 1 \text{ mg/L}$. Fecal coliform criteria is lower for Class A because in landscapes people can contact with the bacteria and viruses that can be found in domestic wastewater. Most important criteria for reuse of treated domestic wastewater is microbiological criteria.

1. GİRİŞ

Hızla artan nüfus ve su kullanımı ihtiyacı tüm dünyada ve ülkemizde önemli bir sorun haline gelmiştir. Su kaynakları kısıtlı olmakla birlikte bu kaynakları verimli bir şekilde kullanabilmek son derece önemlidir. Mevsimsel değişimler, kuraklık, yağış miktarı gibi faktörler kullanılabilir su kaynaklarını da etkilemektedir. Bu nedenle, mevcut kullanılabilir su kaynaklarını verimli kullanabilmek ve bu kaynakların kirlenmesini önlemek muhtemel bir su kıtlığını önlemek için alınacak ilk önlemlerdir.

Su kaynaklarını verimli bir şekilde kullanırken aynı zamanda atıksuların ileri yöntemlerle arıtılıp tekrar kullanılması da sağlanmalıdır. Membran biyoreaktör ile atıksuların arıtılması sonucu iyi bir çıkış suyu kalitesi elde edilir ve bu çıkış suyu birçok amaç için yeniden kullanılabilir niteliktedir. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alanlarından bazıları; tarımsal sulama, peyzaj sulaması, endüstriyel amaçlı tekrar kullanım, yeraltı suyu beslemesi ve zenginleştirilmesi, kullanma suyu (araba yıkama, tuvalet rezervuar suyu, yangın söndürme) ve içme suyu eldesidir.

Bu tezin amacı, evsel nitelikli atıksuların membran biyoreaktör ile arıtılması ve arıtılmış atıksuyun sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

İ.T.Ü laboratuvarında kurulan pilot ölçekli batık membran biyoreaktör ile evsel nitelikli atıksuların arıtılması ve geri kazanılması konusunda deneysel çalışmalar ve araştırmalar yapılmıştır. Elde edilen çıkış suyu geri kazanım kriterlerine uygun ve oldukça kaliteli bir sudur. Kullanılan membran biyoreaktör sadece büyük kapsamlı tesisler için değil aynı zamanda bireysel kullanımlar için de oldukça uygundur. Huber firması tarafından özellikle evsel nitelikli atıksuların geri kazanılması için tasarlanmış olan sistem sayesinde, bireyler reaktörü evlerine kurabilir ve atıksu çıkışını kanalizasyon yerine reaktöre verebilir, çıkış suyunu da deşarj etmeden geri kazanabilir ve yeniden kullanabilmektedir. Yerleşim yeri şehir içinde ise, bahçe, çim sulamasına uygun yer yok ise elde edilen çıkış suyu ev içinde de kullanılabilir. Örneğin; sifon suyu, araba yıkama, evdeki bitkileri sulama amaçlı yeniden

kullanılabilir. Aynı zamanda yine şehir içinde ise sitelere kurulması oldukça uygundur. Arıtma sonrası elde edilen arıtılmış atıksuyun kullanım alanlarından bazıları yeşil alan, park, bahçe ve peyzaj sulamasıdır. Kentsel kullanıma örnek olarak ise yangın söndürme, araç yıkama ve sifon suyu olarak kullanma verilebilir.

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Evsel Atıksular

2.1.1 Evsel atıksuların genel özellikleri

Evsel atıksular genellikle evlerde yapılan faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıksulardır. Atıksu karakterizasyonunun bilinmesi uygun arıtma yönteminin seçilmesi açısından önemlidir. Arıtıldıktan sonra atıksuyun ne amaçla kullanılacağı ve nereye deşarj edileceğı de arıtma yönteminin belirlenmesinde etkilidir.

2.1.2 Evsel atıksuların tipik karakterizasyonu

Evsel atıksuların karakterizasyonu kuvvetli, orta ve sert olmak üzere üç gruba ayrılarak yapılmıştır. Kirleticilerin atıksuda az veya fazla bulunmasıyla kuvvetli, orta ve zayıf karakterli evsel atıksular tanımlanır. Evsel atıksularda dikkate alınması gereken temel kirletici parametreler askıda katı maddeler, boi, koi, toplam organik karbon, azot, fosfor, klorür, sülfat, yağ-gres ve toplam koliform olarak sıralanabilir. Bunların dışında çok sayıda ve eser miktarda atıksuda bulunan maddeler de vardır fakat bu maddelerin analizi ancak özel durumlarda yapılmaktadır. Özellikle evsel atıksulara endüstriyel atıksu deşarjlarının olduğu durumlarda atıksuyun karakterizasyonu değışim gösterebilmektedir. Bu durumlarda arıtılacak atıksuya toksik maddeler ve ağır metaller eklenmiş olabilir. Arıtılacak atıksuda toksik maddelerin bulunması durumunda son derece dikkatli olunmalıdır. Toksik maddeler hem biyolojik arıtmada bulunan mikroorganizmalara zarar verebilir hem de arıtma sonrası atıksuyun deşarj edileceğı ortamda problem yaratabilirler.

Atıksu karakterizasyonu aynı zamanda mevsimsel olarak da değışiklik gösterebilir. Çizelge 2.1'de ham evsel atıksuyun kuvvetli, orta ve zayıf olmak üzere tipik karakterizasyonu verilmektedir. Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi evsel atıksuların tipik karakterizasyonu genellikle üç gruba ayrılmaktadır. Bu değerler ayrıca kanalizasyon sistemi ile yağmur suyu toplama sisteminin ayrık veya birleşik olmasına göre de değışebilmektedir. Ayrık sistemlerde kirletici konsantrasyonları daha yüksek olmaktadır.

Çizelge 2.1 : Ham evsel atıksuyun tipik karakterizasyonu (Metcalf ve Eddy, 2004).

Kirleticiler	Birim	Kuvvetli	Orta	Zayıf
Toplam katı madde	mg/L	1200	720	350
Toplam çözülmüş katı madde	mg/L	850	500	250
Toplam uçucu olmayan katı madde	mg/L	525	300	145
Toplam uçucu katı madde	mg/L	325	200	105
Askıda katı madde	mg/L	350	220	100
Sabit askıda katı madde	mg/L	75	55	20
Uçucu askıda katı madde	mg/L	275	165	80
Çökebilen katılar	mg/L	20	10	5
BOİ ₅ (20 °C)	mg/L	400	220	110
Toplam organik karbon	mg/L	290	160	80
KOİ	mg/L	1000	500	250
Toplam azot	mg/L	85	40	20
Organik azot	mg/L	35	15	8
Serbest amonyum azotu	mg/L	50	25	12
Nitrit azotu	mg/L	0	0	0
Nitrat azotu	mg/L	0	0	0
Toplam fosfor	mg/L	15	8	4
Organik fosfor	mg/L	5	3	1
İnorganik fosfor	mg/L	10	5	3
Klorürler	mg/L	100	50	30
Sülfat	mg/L	50	30	20
Alkalinite (CaCO ₃)	mg/L	200	100	50
Yağ-Gres	mg/L	150	100	50
Toplam koliform	adet/100 ml	107-109	107-108	106-107
Uçucu organik bileşikler	µg/L	<400	100-400	<100

2.1.3 Evsel atıksuları arıtma yöntemleri

Evsel atıksuları arıtma yöntemleri temel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar; fiziksel arıtma, biyolojik arıtma ve kimyasal arıtma yöntemleridir. Arıtma yöntemi seçiminde maliyet ve istenen giderme veriminin sağlanması ön plandadır.

2.1.3.1 Fiziksel arıtma

Evsel atıksuların içerisinde arıtma tesisine zarar verebilecek maddeler bulunabilir bu nedenle atıksu biyolojik sisteme verilmeden önce bir ön arıtmadan geçirilmektedir. Bazı ön arıtma üniteleri, kaba ve ince ızgara, kum tutucu ve ön çöktürme havuzudur. Ön arıtma üniteleri genellikle mekanik olarak çalışan ve basit olarak atıksu içerisinde istenmeyen maddeleri gideren sistemlerdir.

2.1.3.2 Kimyasal arıtma

Biyolojik olarak kolayca parçalanabilen ve içerisinde önemli miktarda toksik madde olmayan tipik evsel atıksular genellikle kimyasal yöntemlerle arıtılmazlar çünkü biyolojik arıtmanın maliyeti daha düşüktür ve istenen giderme verimleri biyolojik

arıtma ile sağlanabilmektedir. Kimyasal arıtma yüksek işletme maliyetleri nedeniyle ancak biyolojik arıtmanın yetersiz kaldığı durumlarda düşünülmesi uygun olmaktadır.

2.1.3.3 Biyolojik arıtma

Biyolojik üniteler, gerekli koşullar sağlandığında atıksuyun mikroorganizmalar tarafından arıtıldığı ünitelerdir ve genellikle işletme ve kimyasal maliyeti daha düşük olduğu için tercih edilen sistemlerdir. Evsel atıksular için uygulanan biyolojik arıtma üniteleri genellikle anaerobik tank, aerobik tank ve anoksik tanktan oluşmaktadır. Evsel atıksuların arıtılmasında en çok tercih edilen arıtma tipi biyolojik arıtmadır.

2.2 Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanılmasının Önemi

Dünyada giderek artan nüfus ve su ihtiyacı nedeniyle su kaynakları hızla tükenmektedir. Bu nedenle mevcut temiz su kaynakları akıllıca kullanılmalı ve koruma altına alınarak kirlenmeleri önlenmelidir. Tüm gerekli tedbirler alındığında dahi mevcut su kaynakları sınırlıdır ve sonsuza kadar mevcut olamayacağı aşikârdır. Bu nedenle arıtılmış atıksuların deşarj edilmesi yerine daha ileri arıtma işlemleri uygulanarak yeniden kullanılması kaçınılmazdır.

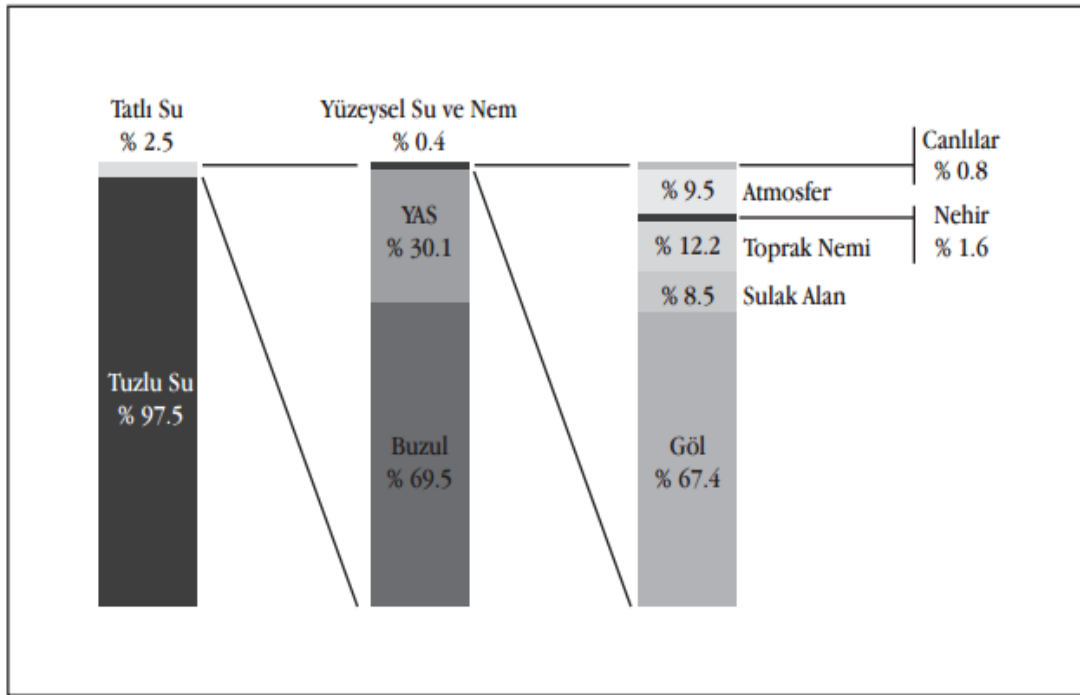
2.2.1 Su kıtlığı

Su olmadan dünyada yaşam olması imkânsızdır ve suyu yeniden üretmek de imkânsızdır. Dünyada her beş kişiden biri temiz su bulamamaktadır ve her yıl ortalama 6000 çocuk kirli sudan kaynaklanan enfeksiyonlar nedeniyle hayatını kaybetmektedir (Kelley, 2009).

Giderek büyüyen su kıtlığı problemi artık dünya çapında bir sorun olarak tanımlanmaktadır. İnsanlar tarafından hızla kullanılan su sadece gelecekteki endüstriyel ve tarımsal faaliyetleri etkilemeyecek aynı zamanda sucul yaşamı ve sucul canlıları da olumsuz etkileyecektir. Sucul yaşamın ihtiyaçlarının ve diğer kullanımların dengede tutulması açısından nehirler kritik rol oynamaktadır (Postel ve diğ, 1996; Vörösmarty ve diğ, 2000; Naiman ve diğ, 2002). Genellikle tam anlaşılamayan konu ise suyun direkt olarak insanlar tarafından kullanımı (tarımsal, endüstriyel, evsel vb.) ve dolaylı yoldan kullanımı (çevre planlaması) arasında dengenin sağlanmasıdır (Acreman, 1998).

Sucul ortamların insanlara tanıdığı balıkçılık, vahşi yaşam ve taşkınlardan koruma gibi olanakların değeri trilyon dolarlar olarak belirlenmiştir (Constanza ve diğ, 1997; Postel ve Carpenter, 1997). Yakın zamanlarda yapılan çalışmaya göre çevrenin bahsedilen özellikleri yerine getirme kabiliyeti önemli ölçüde azalmıştır ve birçok sucul canlı sayısında azalma vardır ve su ortamında kirlilik mevcuttur (Revenga, 2000).

Dünyanın yaklaşık olarak dörtte üçü su ile kaplıdır ve dünyada toplam yaklaşık 1 milyar 400 milyon km³ su bulunmaktadır ancak bu miktarın % 97.5'i denizlerde bulunur ve % 2.5' lik kısmı tatlı sudan oluşmaktadır (Shiklomanov ve Rodda, 2003). Tatlı sularında yaklaşık olarak % 69.5'lük kısmı kutuplarda buzul halinde veya toprak kısmında donmuş halde bulunmaktadır. Tatlı suların yaklaşık % 30.1'i yeraltı suyu ve kalan % 0.4' lük kısım ise göller, sulak alanlar gibi yüzey sularını oluşturmaktadır. Yüzey sularının yüzdesinin çok az olması nedeniyle kolaylıkla ulaşılabilecek ve kullanılabilir su miktarı da çok az demektir. Göl ve akarsularda bulunan su miktarının dünyadaki toplam su miktarına oranı yaklaşık on binde bir civarındadır. Yeraltı sularının miktarı yüzeysel sulara göre çok daha fazladır ancak birçoğu oldukça derinde olduğundan kolaylıkla çıkarılamaz ve kullanılamazlar (Tanik ve diğ, 2008). Yeryüzündeki su kaynaklarının dağılımı Şekil 2.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.1 : Yeryüzündeki su kaynaklarının dağılımı (Shiklomanov ve Rodda, 2003).

Ülkelerin su kıtlığı bakımından incelenmesinde bazı kriterler geliştirilmiştir, bunlardan birisi de kişi başına düşen su miktarına dayalı kategorize etme şeklindedir. Buna göre; yıllık kişi başına 1000 m³' den daha az su kullanan ülkeler su fakiri, 1000-3000 m³ arasında su kullanan ülkeler su stresi altında ve 10000 m³'den daha fazla su kullanan ülkeler su zengini kabul edilmektedir. Türkiye de ise kişi başına düşen yıllık su tüketimi 1500-1600 m³ arasında olup ülkemizin su zengini olmadığı görülmektedir. TÜİK' in tahminlerine göre 2030 yılında ülkemizin yaklaşık nüfusu 100 milyon kişi olacaktır ve bu durumda kişi başına düşen yaklaşık yıllık su tüketiminin 1000 m³ civarında olacağı tahmin edilmektedir. Bu sebepler nedeniyle Türkiye'nin yakın bir gelecekte su sıkıntısı çekmesi kaçınılmazdır ve mevcut temiz su kaynakları akılcı ve planlı bir şekilde kullanılmalıdır (Tanık ve diğ., 2008).

Yapılan tahminlere göre 2025 yılında gelişmekte olan ülkelerdeki insanların üçte biri ciddi su kıtlığı yaşayacaktır (Seckler ve diğ., 1998). Su kıtlığı yaşayan bazı ülkelere su kaynakları denizlere akmaktadır, böylelikle bir miktar tuzluluk ve diğer zararlı maddeler sistemden uzaklaştırılmış olur ve kıyılardaki ekolojik özellikler sürdürülmüş olur (Molden, 1997).

Mevcut su kaynaklarının kalitesi de miktarı kadar önemlidir. Ülkemizde bulunan su kaynaklarının bazıları düşük kalitede olduğundan kullanılamamaktadır, bazı temiz su kaynakları ise altyapı yetersizliği nedeniyle su iletimi sırasında kirlenmektedir ve bu nedenle halka temiz su ulaştırılamamaktadır. Dünya çapında yaklaşık olarak temiz suya erişimi olmayan 1.1 milyar kişi bulunmaktadır ve bu nedenle hastalık ve ölümler görülebilmektedir. Bunlara ek olarak kanalizasyon sistemlerindeki olumsuzluklar da halk sağlığını etkilemektedir. Su kaynaklarındaki kirliliğin sebeplerinden bazıları; arıtılmış veya arıtılmamış atıksuların temiz su kaynaklarına veya bu kaynakları besleyen akımlara deşarj edilmesi, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların yüzey veya yeraltı sularına karışması, endüstriyel atıksuların arıtılmadan veya yeterli arıtma sağlanmadan alıcı ortamlara deşarj edilmesi ve erozyon nedenleriyle kirlenmedir (Tanık ve diğ., 2008).

Tatlı veya tuzlu bütün su sistemlerinin içerisindeki canlılığı ve ekosistemi devam ettirebilmesi bakımından özel su ihtiyaçları vardır ve bu ihtiyaçlar çevresel ve akımlar olarak adlandırılırlar. Bu gereksinimler için dünya çapında kararlaştırılmış bir tanım bulunmamaktadır ancak suyun korunması şeklinde tanımlanabilirler (Knights, 2002).

2.2.2 Arıtılmış atıksuların kullanım alanları

Arıtılmış atıksuların birçok geri kullanım alanı olmasına rağmen hangi alanlarda kullanılabilecekleri geri kazanılmış atıksuyun kalitesine göre belirlenmelidir. Arıtılmış ve geri kazanılmış atıksuların başlıca kullanım alanları temel olarak içme ve kullanma, sanayi ve tarım amaçlıdır (Alpaslan ve diğ, 2002).

Tarımsal su kullanım yüzdesi dünyada ortalama olarak tüm su kullanımının % 70'ini oluşturmaktadır ancak gelişmekte olan ülkelerde bu oran yüzde % 82'lere kadar çıkmaktadır. Gelişmiş ülkelerde tarımsal faaliyetler az endüstriyel faaliyetler ise fazla olduğundan su kullanım oranı % 30 civarındadır. Endüstriyel faaliyetler bakımından ise dünya genelinde su ihtiyacı yaklaşık % 22 civarında olmakla beraber, az gelişmiş ülkelerde ise % 10 civarındadır. Gelişmiş ülkelerde ise endüstriyel su ihtiyacı % 60 civarındadır. Evsel su tüketimi yüzdesi ise dünya genelinde % 8 civarında, gelişmiş ülkelerde ise yaklaşık olarak % 11 civarındadır. Türkiye geneline bakıldığında ise toplam kullanılan suyun % 15'i evsel, % 11'i endüstriyel ve % 74'ü tarımsal amaçlar ile kullanılmaktadır (Tanık ve diğ, 2008).

2.2.2.1 Kentsel kullanım

Arıtılmış atıksuların birçok geri kullanım alanı olmasına rağmen kentsel amaçlı kullanımı en büyük miktarı oluşturmaktadır. Kentsel sulamaya örnek olarak golf sahaları, peyzaj, itfaiye, sifonlama suyu olarak kullanım verilebilir. Kentsel kullanım ikiye ayrılabilir, bunlar insan teması olan yerler ve kısıtlı alanlardır. İnsan temasının olduğu alanlarda kullanılması planlanan geri kazanılmış sulama sularının (okul bahçelerinin sulanması, golf sahaları, park ve bahçelerin sulanması gibi) mikrobiyolojik kalitesi çok önemlidir ve halk sağlığını tehdit edecek patojenleri içermemesi gerekir (EPA, 2012). American Water Works Association (AWWA)'ın yaptığı bir çalışmaya göre Eylül 2000 ile Aralık 2004 yılları arasında golf sahaları arıtılmış atıksu ile sulanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere göre sonuçlar genellikle olumlu olmakla birlikte bazı golf sahalarında alg oluşum problemleri görülmüştür (Grinnell ve Janga, 2004). Golf sahası çimlerinin arıtılmış atıksular ile sulanması konusunda yaklaşık 30 yıllık çalışmalar bulunmaktadır ve bu anlamda arıtılmış atıksular golf sahaları için oldukça uygun bulunmaktadır (Harivandi, 2011). Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasında tehlike sınıflandırması Çizelge 2.2'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 2.2 : Sulama suyu tehlike sınıflandırması (EPA, 2012).

Parametre	Birim	Zararsız	Orta	Zararlı
İletkenlik	dS/m	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0
TÇM	mg/L	< 450	450-2000	> 2000
İyon toksisitesi	SAR	< 3	3-9	> 9
Sodyum	meq/L	< 3	> 3	-
Kök adsorpsiyonu	mg/L	< 70	> 70	-
Yaprak adsorpsiyonu	meq/L	< 2	2-10	> 10
Klorür	mg/L	< 70	70-355	> 355
Kök adsorpsiyonu	meq/L	< 3	> 3	-
Yaprak adsorpsiyonu	mg/L	< 100	> 100	-
Bor	mg/L	< 1.0	1.0-2.0	> 2.0
pH	-	-	6.5-8.4	-

2.2.2.2 Tarımsal kullanım

Suya erişim tarımsal alanda yerel ve ulusal ölçekte başarının gereksinimlerindedir ve insan sağlığı, besinlerin güvenliği, ekonomi, sosyoloji, davranış bilimleri ve çevre bilimleri gibi birçok farklı disiplin ile ilişkilidir (O'Neill ve Dobrowolski, 2011). Tüm dünyadaki su kullanımının yaklaşık % 60'ı tarımsal amaçlı kullanımdır. Eğer yeterli su olmazsa çiftlikler de dünyadaki mevcut insan popülasyonu için yeterli besin sağlayamazlar (Kenny ve diğ., 2009). 2050 yılına kadar besin talebinin artan nüfusa göre 2009 yılına kıyasla % 70 artması beklenmektedir ve bu ihtiyaçların karşılanmasında sulama suyunun önemi de büyüktür (FAO, 2011).

Amerika'nın birçok bölgesinde artan nüfus ve dolayısıyla artan endüstriyel ve kentsel su kullanımı nedeniyle tarımsal faaliyetler için kullanılan suyun da bu alanlara kayması söz konusudur. Tarımsal alanda kullanılan su uzun vadede tarımsal ürünlerin de kalitesini etkilemektedir (Dobrowolski ve diğ., 2004; Dobrowolski ve diğ., 2008).

2.2.3 Arıtılmış atıksuların tekrar kullanılması

Artan su talepleri su kaynakları üzerinde gittikçe artan strese sebep olmaktadır. Bu nedenle taleplerin yönetimi önem kazanmaktadır. Sürdürülebilir bir çevre yönetimi için yağmur sularının toplanması, gri suların ayrıştırılması ve uygun yöntemler ile arıtılarak sifon suyu olarak tekrar kullanılması düşünülmektedir (Nolde, 2007). İngiltere'de 2000 yılında 7200 m³ el yıkamadan kaynaklanan lavabo suları toplanmış ve geri kazanılmış daha sonra da sifon suyu olarak kullanılmıştır. Geri kazanılan suyun miktarı günlük su tüketiminin yaklaşık olarak % 48'ini oluşturmaktadır (Hills ve English, 1999; Hills ve diğ., 2001).

Arıtılmış atıksuların geri kazanılarak tekrar kullanılmasında bazı belirleyici etkenler bulunmaktadır. Arıtılacak olan ham atıksuyun fiziksel ve kimyasal özellikleri hangi tür arıtmanın gerekli olduğunu belirler buna göre de atıksuyun geri kazanılmasının fizibilite açısından uygun olup olmadığı belirlenmelidir. Evsel nitelikli atıksuların geri kazanılması genellikle tercih edilmelidir çünkü içeriğinde toksik madde bulunmaz ve bu nedenle arıtma işlemi göreceli olarak daha az maliyetli olacak ve çıkış suyu kalitesi de çok daha iyi ve yeniden kullanıma uygun olacaktır. Buna karşın endüstriyel atıksuların karakterizasyonu çok çeşitli olabilmekle beraber ağır metal ve toksik maddeler içerebilirler ve arıtılmaları oldukça güç ve maliyetlidir. Çıkış suyunun kalitesi bir diğer belirleyici etkidir. Elde edilmek istenen çıkış suyu kalitesine göre arıtma teknolojisi seçilmelidir. Bunlara ek olarak arazi durumu ve bütçe gibi faktörler de arıtma teknolojisinin seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2.4 Arıtılmış atıksuların tekrar kullanılmasının örnekleri

Japonya'da şehir merkezlerinde gri suların toplanması ve arıtılarak tekrar kullanılması amacıyla binaların belirli boyutlarda yapılması sağlanmaktadır (Stephenson ve diğ., 2000). Gri sular lavabo, banyo ve çamaşır makinelerinden kaynaklanan atıksulardır. Gelişmiş ülkelerde gri suların miktarı toplam kullanılan suların % 30-60'ını oluşturmaktadır (Shouler ve diğ., 1998). Bazı yazarlar mutfak lavabolarından ve bulaşık makinelerinden kaynaklanan atıksuları da gri su olarak kabul etmektedir ki bu sular daha çok miktarda kirlilik içermektedir. Gri sular düşük miktarda nütrient içerirler; 5-20 mg/L arası toplam azot ve 0.2-3 mg/L arası toplam fosfor ihtiva etmektedirler (Fittschen ve Niemczynowicz, 1997; Jefferson ve diğ., 2001). Siyah sular, gri sulara kıyasla organik madde, % 90 azot, % 80 fosfor, % 90 potasyum ve fekal bakteri içerirler. Bu nedenle gri suların arıtılması çok daha kolaydır, membran sistemleri gri suların arıtılması için gelişmiş ülkelerde tercih edilmektedir (Stephenson ve diğ., 2000).

2.2.5 Arıtılmış atıksuların tekrar kullanılma kriterleri

Tekrar kullanım kriterleri kullanım amacına bağlı olarak değişim göstermektedir. Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amacı ile tekrar kullanılmasında dikkat edilmesi gerekenlerden bir tanesi de özellikle kurak iklimli bölgelerde nemin düşük olması ve buharlaşmanın fazla olması nedeniyle tuzluluğun toprakta birikmesi durumudur.

Toprağın partikül dağılımı, stabilizesi, yapısı ve geçirgenliği gibi fiziksel ve mekanik özellikleri sulama suyunda bulunan iyonlara karşı oldukça hassastır. Bu nedenlerde arıtılmış atıksular sulama amaçlı kullanılırken toprağın özellikleri de dikkate alınmalıdır (Pescod, 1992).

Sulama suyu kalitesinde dikkate alınması gereken en önemli parametrelerden bazıları tuzluluk, sodyum miktarı ve spesifik iyon etkileridir. Elektriksel iletkenlik değerinden de ayrıca suda bulunan tuzluluk hesaplanabilmektedir (Chhabra, 1996).

Sulama suyunun kullanımında elektriksel iletkenliğine göre tehlike sınıflandırılması Çizelge 2.3’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 2.3 : Sulama suyunun tehlike sınıflandırması (Chhabra, 1996).

İletkenlik ($\mu\text{S/m}$)	Tuzluluk	Tehlike
100-250	C1	Çok az
250-750	C2	Az
750-2250	C3	Orta
2250-5000	C4	Yüksek
>5000	C5	Çok Yüksek

Sulama sularında önemli parametrelerden bir diğeri de suda bulunan çözünmüş maddelerin bitki büyümesine etkisidir. Çözünmüş maddeler topraktaki suyun osmotik potansiyelini artırır ve osmotik basınç bitkinin topraktan su almasında gerekli olan enerjisini tüketir (Pescod, 1992).

Sulama suyunda bulunan sodyum miktarı da oldukça önemlidir ve toprağın fizikokimyasal özelliklerini etkilemektedir. Sodyumun zararını en iyi belirleyen parametre sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) olarak kabul edilmektedir (Chhabra, 1996).

Bitkiler sulama suyunda bulunan kalsiyum, potasyum, magnezyum, klorür, sülfat ve bor gibi bazı iyonlara karşı da hassas olabilmektedirler. Bu iyonlar spesifik toksisiteye ve hastalıklara sebep olabilirler (Chhabra, 1996).

Ülkemizde arıtılmış atıksuların tekrar kullanılmasında Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği dikkate alınmaktadır. Tebliğin yedinci bölümünde Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı kısmında atıksuların hangi şartlarda geri kazanılabileceği ve kullanımı hakkında gerekli bilgiler verilmektedir. Tebliğin Ek 7’inde ise Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri adı altında bir bölüm bulunmaktadır. Ek 7’de belirtilen parametrelere göre

arıtılmış atıksuların sulama amaçlı kullanılıp kullanılmayacağı, seçilmesi gereken uygun teknolojiler, gerekli parametreler ve bu parametrelere göre sulama sularının kalite sınıflandırmalarına dair geniş bilgiler verilmektedir. Ayrıca sulama sularının hangi alanlarda kullanılabilceği (park, bahçe, gıda sulaması gibi) de belirtilmiştir. Sulama sularının kalitesine göre hangi tür bitkilerin sulanabileceği ve bitkilerin hassasiyetlerine ilişkin bilgilerde tebliğde verilmiştir. Bunların yanında tercih edilecek sulama yöntemi de oldukça önemlidir. Damlatmalı sulama veya yüzey sulaması tercih edilebilir ve seçilen yöntemeye göre sağlanması gereken parametreler farklılık göstermektedir.

Arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanılmasında rehber olması bakımından FAO da bazı kriterler belirlemiştir. FAO'nun sulama suyu için belirlediği kriterler Çizelge 2.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 : FAO tarafından belirlenen sulama suyu kriterleri (Ayers, 1985).

Parametre	Kriter
pH	6.0-8.50
TÇM (mg/L)	0-2000
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0-3000
Tuzluluk (psi)	0-1.94
Na^+ (mg/L)	0-920
Ca^{+2} (mg/L)	0-400
K^+ (mg/L)	0-2.0
Mg^{+2} (mg/L)	0-60.0
HCO_3^- (mg/L)	0-610
Cl^- (mg/L)	0-1065
SO_4^{-2} (mg/L)	0-960
$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	0-2.0
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	0-10.0
SAR	3-9

2.2.5.1 Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği

Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 20 Mart 2010 Cumartesi tarihinde resmi gazetede 27527 sayılı olarak yayınlanmıştır. Bu tebliğde arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı, kullanım yerine göre uygulanması gereken sulama suyu kriterleri ve sulanabilecek bitki türleri hakkında bilgi verilmektedir.

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT) (2010)'ne göre, "Arıtılan atıksuların kullanımında; tarımsal, endüstriyel, yer altı suyunun beslenmesi,

dinlenme maksatlı kullanılan bölgelerin beslenmesi, dolaylı olarak yangın suyu, tuvaletlerde geri kazanım ve doğrudan içme suyu olarak geri kazanım alternatifleri vardır” (p. 9).

Sulama suyu olarak kullanım için tebliğin Ek 7’inde verilen tablolar dikkate alınmalıdır. Evsel atıksular için, Tablo E.7.1’de verilen tablodaki analiz sonuçlarına göre aynı tablonun A ve B bölümlerinde belirlenen alanların sulanmasına izin verilir. Kentsel atıksular için ise Tablo E.7.1’e ilave olarak Tablo E.7.2’de belirtilen parametrelerin analizine göre Tablo E.7.3, Tablo E.7.4, Tablo E.7.5 ve Tablo E.7.6’da belirtilen parametrelerin analizi de yapılmalıdır. Endüstriyel kaynaklı atıksuların sulamada kullanılmasında ise Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Ek 3’de belirtilen sektörler hariç olmak üzere ek olarak Tablo E.7.7’de belirtilen kriterlerin de sağlanması gerekmektedir (AATTUT, 2010).

2.3 Aktif Çamur Prosesi

2.3.1 Aktif çamur

Aktif çamur prosesi, ilk defa 1913 yılında Arden ve Locket tarafından İngiltere’ de uygulandığından beri tüm dünyada uygulanmaktadır. Aktif çamur prosesinde 50-200 µm arasında flok bulunmaktadır. Floklar bakteri içerirler ve yer çekimi etkisinde kendi ağırlıkları ile çöktürme yoluyla giderilebilirler. Çöktürmeden sonra geriye göreceli olarak temiz ve deşarj edilebilir bir su kalır çamur ise biyolojik ayrışmanın devam etmesi için geri devrettirilebilir. Aktif çamur flokları çok farklı türde bakteri ve protozoa bulundurur ve bu mikroorganizmalar organik maddelerin ve nütrientlerin çevriminden sorumludurlar. En önemli çevrimlerden biri aerobik oksidasyondur. Oksitlenme prosesi olan nitrifikasyon prosesinde amonyak önce nitrite daha sonra nitrate oksitlenir ve nihai olarak azot gazına dönüşme prosesi ise denitrifikasyon olarak tanımlanır. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri bakteriler tarafından gerçekleştirilir ve bu proseslerin gerçekleştirilmesi için karbon kaynağı, elektron alıcısı ve elektron vericisine ihtiyaç duyulur (Metcalf ve Eddy, 2004).

2.3.2 Aktif çamur prosesinin basamakları

Aktif çamur prosesi basit olarak seri halde üç adımdan oluşmaktadır. Birinci adım ön arıtma prosesidir, bu işlem genellikle çöktürme tankı kullanılarak yapılmaktadır. İkinci adım biyolojik arıtma prosesidir ve aerobik veya anoksik koşullarda

gerçekleştirilir. Üçüncü adım çöktürme prosesidir ve genellikle çöktürme tankı kullanılarak yapılmaktadır. Çöktürme tankında arıtılan su ile biyolojik çamur birbirinden ayrılmaktadır ve çöktürme tankında elde edilen çamurun bir kısmı biyolojik kısma geri devretilir bir kısmı ise atılır (Metcalf ve Eddy, 2004).

2.3.2.1 Ön arıtma

Ön arıtma işlemi atıksuların herhangi bir biyolojik veya kimyasal arıtmaya tabi tutulmadan önce arıtma işlemi için hazırlanması ve uygun hale getirilmesi olarak tanımlanabilir. Ön arıtma ünitesi olarak biyolojik arıtma öncesi genellikle ön çöktürme tankları kullanılır. Kendi ağırlığıyla çökebilen maddeler bu ünite tank tabanına çöktürülerek giderilir ve atıksu biyolojik arıtma için hazırlanmış olur (Metcalf ve Eddy, 2004).

2.3.2.2 Biyoreaktör

Biyoreaktör içerisinde biyolojik arıtmanın gerçekleştiği tank veya arıtma ünitesi olarak tanımlanabilir. Biyoreaktör içerisinde ham atıksu belli bir biyokütle konsantrasyonu sağlanacak şekilde son çöktürme tankından geri devretilen çamur ile karıştırılır. Aktif çamurun sistemde kalma süresi çamur yaşı olarak tanımlanır. Çamur yaşı oldukça önemli bir parametredir çünkü havalandırma havuzu hacmi, hava ihtiyacı gibi değerleri etkilemektedir (Metcalf ve Eddy, 2004).

2.3.2.3 Çöktürme

Klasik aktif çamur prosesinin son adımı atıksudan biyokütlenin ayrılmasıdır ve genellikle çöktürme tankı kullanılarak yapılır. Çökme karakteristiğinin belirlenmesinde çamur çökme indeksi (SVI) ve bölgesel çökme hızı dikkate alınmaktadır (Metcalf ve Eddy, 2004).

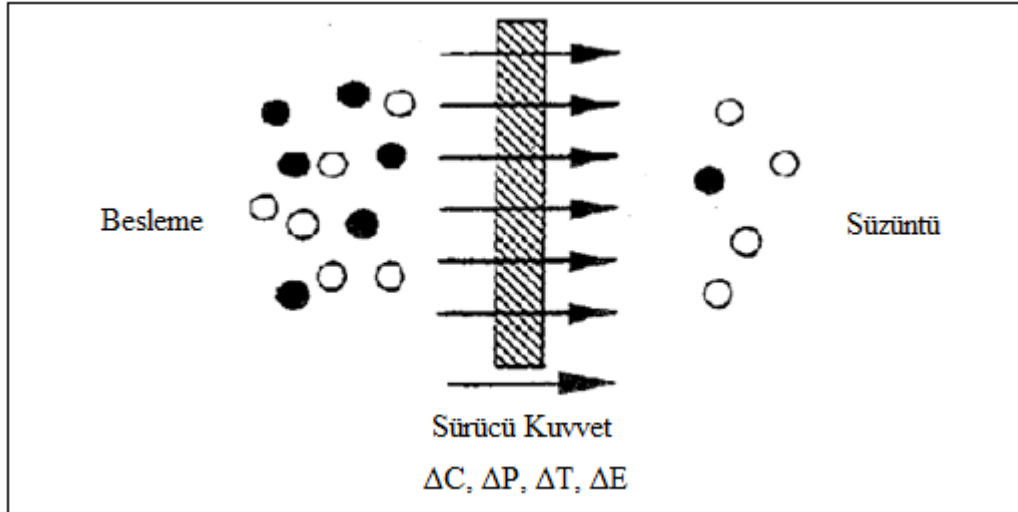
2.3.2.4 Atık çamur

Aktif çamur prosesi sonucunda son çöktürme tankında çöken maddeler çamuru oluştururlar. Çamurun bir kısmı geri devretilirken kalan kısmı ise sistemden atılır, sistemden atılan çamura atık çamur adı verilir. Atık çamurun hacmi mekanik çamur susuzlaştırma, santrifüj, filtre pres ve belt pres prosesleri ile azaltılabilir. Atık çamur son olarak çamur kurutma, kompostlaştırma ve yakma işlemleri ile bertaraf edilebilmektedir (Metcalf ve Eddy, 2004).

2.4 Membran Teknolojisi

2.4.1 Membran

Membran iki fazı birbirinden ayıran seçici bir bariyer olarak tanımlanabilir. Membran yüzeyinde bulunan boşluklar sayesinde giderilmek istenen maddeler tutulur ve ayrıştırılmış olur. Membranlar konsantre etme, ayırma ve konsantrasyonu arttırma amaçlarıyla kullanılabilirler. Membranlar bu özellikleriyle endüstri ve sağlık gibi sektörlerde kullanılırlar. Membranda ayırma işlemi konsantrasyon, basınç, sıcaklık ve enerji farkıyla yapılabilmektedir. Şekil 2.2’de membranın çalışma prensibi şematik bir biçimde gösterilmiştir. Şekil 2.2’de yer alan ΔC ifadesi konsantrasyon, ΔP basınç, ΔT sıcaklık ve ΔE enerji farkını ifade etmektedir (Mulder, 1996).



Şekil 2.2 : Membranın çalışma prensibi (Mulder, 1996).

2.4.2 Membran filtrasyonu

Membranlar kullanılarak yapılan filtrasyon işlemi basit bir mekanik ayırma işlemidir. Membran filtrasyonu ile büyük molekülü maddeler, küçük çaplı iyonlar, bakteri ve virüsler tutulabilmektedir. Tutulacak maddenin büyüklüğüne göre membran seçimi yapılması önemlidir. Filtrasyon işlemi iki ortam arasındaki basınç, konsantrasyon, elektriksel potansiyel ve sıcaklık farkından yararlanılarak yapılabilir. Birinci nesil membran prosesler, mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO), elektrodializ (ED), membran elektroliz (ME), difüzyon diyaliz (DD) ve diyalizdir. İkinci nesil membran prosesler ise, gaz ayırma, buhar işleme, pervaporasyon (PV) ve membran distilasyonudur (Mulder, 1996).

2.4.2.1 Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon, çapları 0.1-10 µm arasında olan partikülleri tutabilen filtrasyon prosesidir. Mikrofiltrasyon membranları ultrafiltrasyon ile klasik filtrasyon arasında yer almaktadır. Üretim maliyetlerinin düşük olması nedeniyle mikrofiltrasyon membranları ilaç ve elektronik sektöründe yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Baker, 2004).

2.4.2.2 Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon, suyu küçük çaplı membranlar ile makro moleküller ve kolloidlerden ayırmak amacıyla kullanılır. Ultrafiltrasyon membranlarının çapları ortalama olarak 10-1000 Å arasındadır. İlk sentetik ultrafiltrasyon membranı Bechhold tarafından nitro selüloz kullanılarak hazırlanmıştır (Baker, 2004).

2.4.2.3 Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon membranları, ultrafiltrasyon ile ters osmoz membranları arasında yer almaktadır ve çapları 10-13 Å arasındadır. Nanofiltrasyon membranları bakteri ve virüs gideriminde verimli bir şekilde kullanılmaktadır (Baker, 2004).

2.4.2.4 Ters osmoz

Ters osmoz tuz giderimi için kullanılan membran prosesidir. Membranların küçük boyutlu çözünmüş maddeleri sudan ayırabildiği uzun yıllardır bilinmektedir. Pfeffer, Traube ve diğerleri seramik membranlar ile 1850' li yıllarda çalışmışlardır (Baker, 2004).

Tuz giderme prosesi ve metodu olan 1931 yılında ters osmoz ismiyle patentlendirilmiştir (Cerini, 1929).

2.4.3 Membran materyalleri

Membranlar polimerik, seramik ve metalik malzemelerden üretilebilirler. Özellikle paladyum bazlı metalik membranlar uzun yıllardır hidrojen ayırma işlemi için kullanılmaktadır. 1950 ve 1960 yıllarda gaz rafinerilerinden hidrojen gazı ayırımı için paladyum membran tesisleri kurulmuştur (Baker ve diğ, 1989).

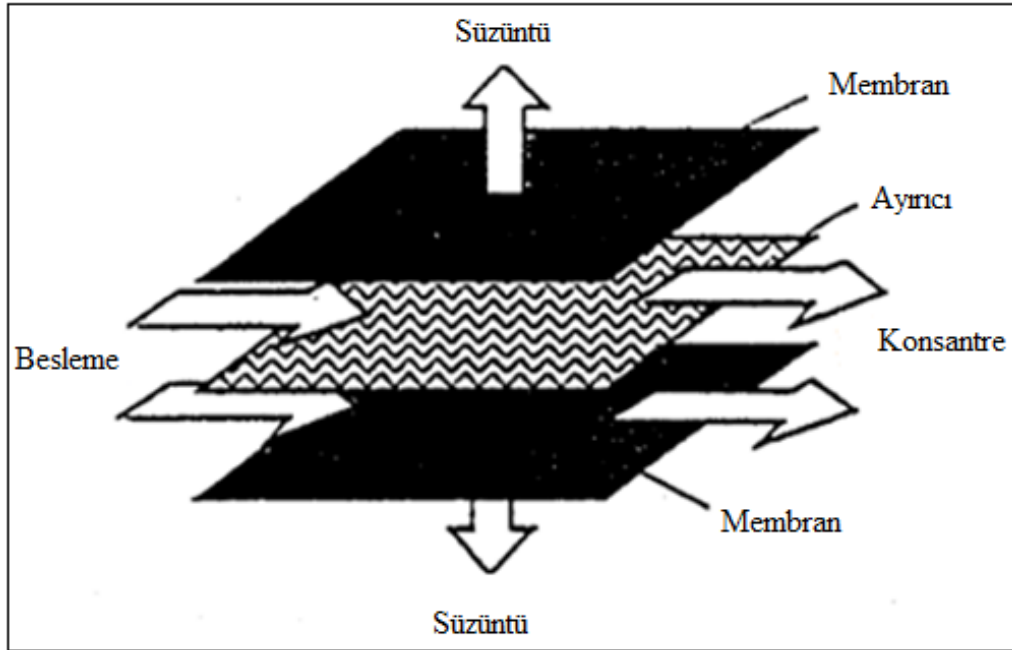
Seramik membranlar, bazı üreticiler tarafından ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membranı olarak inorganik seramikten geliştirilmiştir. Geliştirilen mikro gözenekli

membranlar alüminyum, titanyum veya silika oksitlerden yapılmıştır. Seramik membranların bazı avantajları, yüksek sıcaklığa dayanıklı olmaları ve kimyasal maddelere karşı inert olmalarıdır. Seramik mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranları bu özellikleri sayesinde gıda, ilaç ve biyoteknoloji gibi sektörlerde buharlı sterilizasyon ve agresif kimyasallarla temizlemeye karşı dayanıklıdır. Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon seramik membranlarının por çapları 0.01-10 µm arasında değişmektedir (Bhave, 1991).

2.4.4 Membran modülleri

2.4.4.1 Plaka-çerçeve tipi membran modülü

İki adet membranın besleme yüzeylerinin birbirine dönük olacak şekilde sandviç biçiminde yerleştirilmesiyle oluşturulan modül şeklindedir. Paket yoğunluğu (birim membran modülündeki membran alanı) 100-400 m²/m³ arasındadır. Şekil 2.3'de plaka-çerçeve tipi membran modülünün şematik gösterimi verilmiştir (Mulder, 1996).

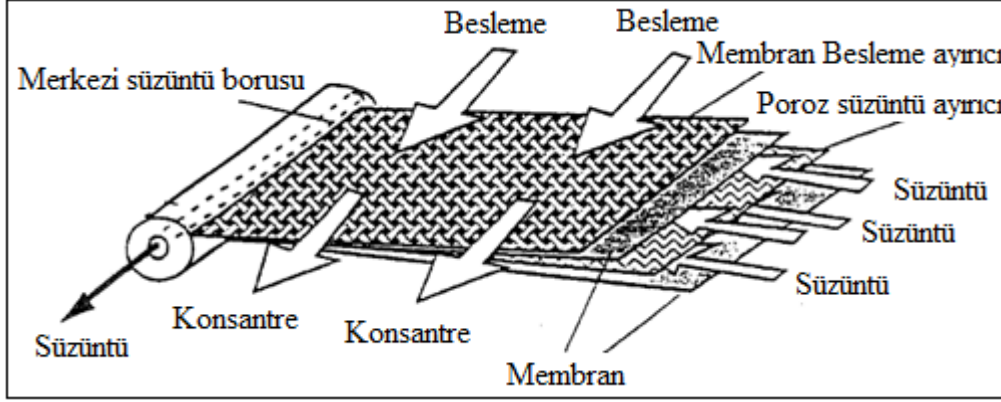


Şekil 2.3 : Plaka-Çerçeve tipi modülün şematik gösterimi (Mulder, 1996).

2.4.4.2 Spiral sargılı membran modülü

Spiral sargılı membran modülü, plaka-çerçeve tipi membranların bir boru etrafında sarılmasıyla elde edilen modüldür. Paket yoğunluğu 300-1000 m²/m³ arasındadır fakat bu değer kanal yüksekliğiyle ilişkili olarak değişmektedir. Spiral sargılı

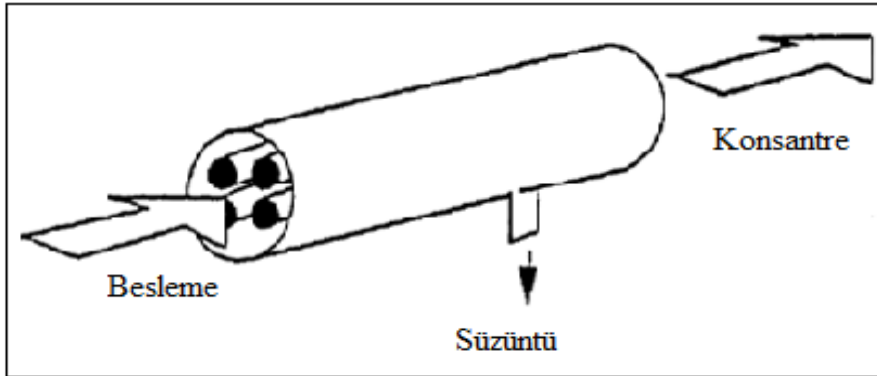
membran modülü, plaka-çerçeve tipi membran modülünün paket yoğunluğundan daha yüksek değere sahiptir. Spiral sargılı membran modülünün şematik gösterimi Şekil 2.4’de verilmiştir (Mulder, 1996).



Şekil 2.4 : Spiral sargılı modülün şematik gösterimi (Mulder,1996).

2.4.4.3 Tübüler tip membran modülü

Paslanmaz çelik, seramik veya plastik bir poroz tüpün içine yerleştirilen membranlar ile elde edilen membran modülüdür. Tüpün çapı genellikle 10 mm den fazladır. Modülü meydana getiren tüplerin sayısı 4-18 arasında değişiklik göstermekle birlikte bu rakamlarla sınırlı değildir. Tübüler tip membran modülünün şematik gösterimi Şekil 2.5’de verilmiştir (Mulder, 1996).



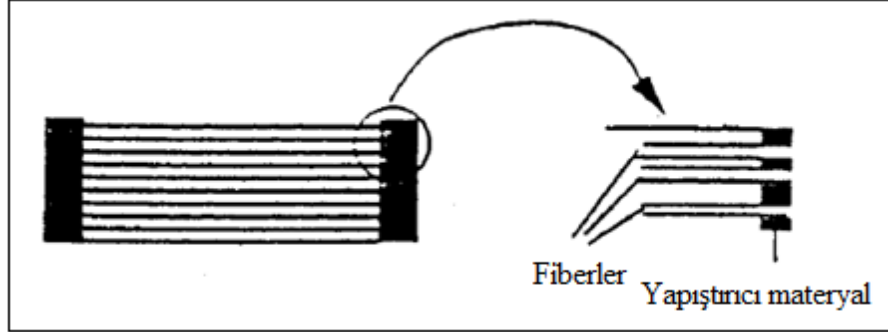
Şekil 2.5 : Tübüler tip membran modülün şematik gösterimi (Mulder, 1996).

Besleme akımı daime tüplerin merkezi yönünde, süzüntü akımı ise poroz destek tüpü yönünde akmaktadır. Paket yoğunluğu $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ den azdır (Mulder, 1996).

2.4.4.4 Kapiler tip membran modülü

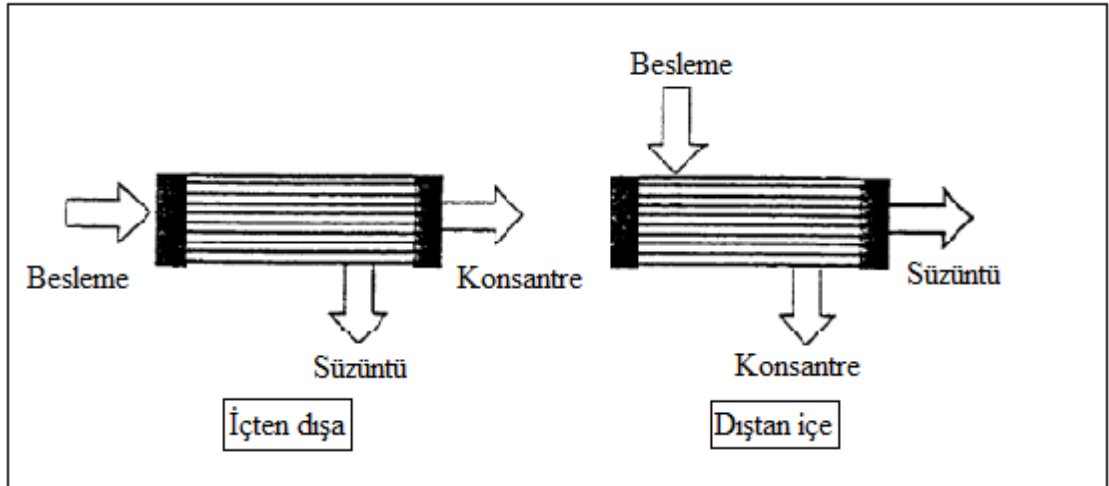
Kapiler tip membran modülleri çok sayıda kılcal membran tüpçüklerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan membran modülleridir. Membran fiberlerinin serbest uçları

silikon yapıştırıcı gibi yapıştırıcılarla yapıştırılarak birleştirilir ve membran modülleri oluşturulur. Kapiler tip membran modülünün şematik gösterimi Şekil 2.6'da verilmiştir (Mulder, 1996).



Şekil 2.6 : Kapiler tip modülün şematik gösterimi (Mulder, 1996).

Kapiler tip membran modülleri iki farklı şekilde kullanılabilir. Birinci tip kullanımda (içten dışa) besleme kapiler tüplerin içerisinden geçer ve süzüntü kapiler tüplerin dışından toplanır. İkinci tip kullanımda (dıştan içe) ise besleme kapiler tüplerin dışından geçer ve süzüntü kapiler tüplerin içinden toplanır. Kapiler tip modülde kullanım şekilleri Şekil 2.7'de şematik olarak gösterilmiştir. Kullanım tipinin seçiminde etkili faktörler basınç, basınç değişimi ve membran tipidir. Paket yoğunluğu 600-1200 m²/m³ arasında değişmektedir (Mulder, 1996).

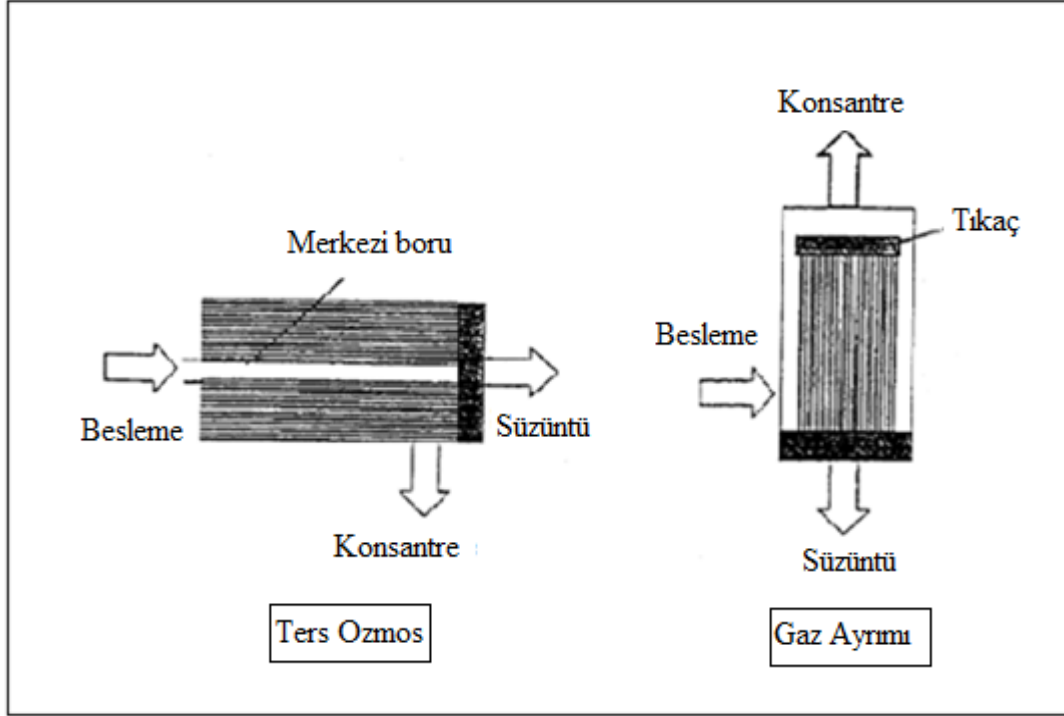


Şekil 2.7 : Kapiler tip modülde kullanım şekilleri (Mulder, 1996).

2.4.4.5 Hollow-fiber tipi membran modülü

Hollow-fiber tipi membran modülü ile kapiler tip membran modülünün arasındaki fark basit olarak boyutlarıdır. Her iki tip membranda da besleme akımı tüplerin içerisinden veya dışından geçebilir. Hollow-fiber tipi membran modülü 30.000

m^2/m^3 lere kadar çıkabilen paket yoğunluğuna sahiptir. Hollow-fiber tip modüller genellikle besleme akımı göreceli olarak daha temiz olduğunda kullanılmaktadır. Bu tip modüller genellikle ters ozmos veya gaz ayırımı için kullanılmaktadır. Gaz ayırımı için kullanılan modüllerde genellikle dıştan içe doğru besleme akımı söz konusudur. Hollow-fiber tipi modülün şematik gösterimi Şekil 2.8’de verilmiştir (Mulder, 1996).



Şekil 2.8 : Hollow-fiber tip modülün şematik gösterimi (Mulder, 1996).

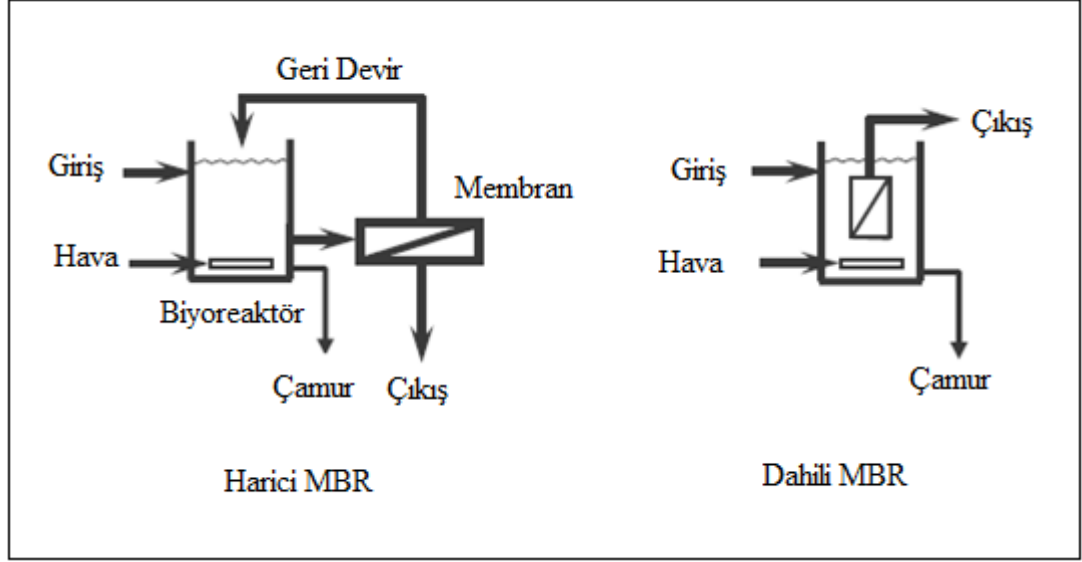
2.5 Membran Biyoreaktör

2.5.1 Membran biyoreaktör teknolojisi

Klasik membran biyoreaktör, aktif çamur ile membran ayırma proseslerinin birleşmesiyle oluşmaktadır. Etkin membran gözenek çapı $0.1 \mu m$ ’ den daha küçük olabildiği için MBR iyi kalitede ve dezenfekte bir çıkış suyu üretir. MBR içerisindeki biyokütle miktarı yüksek değerlerde olabildiği için gerekli tank hacmi klasik aktif çamur prosesine göre daha küçüktür. MBR yüksek saflıkta çıkış suyu üretir aynı zamanda organik madde ve amonyak giderimi de sağlar. MBR son çöktürme havuzu gereksinimini ortadan kaldırdığı gibi MBR tankına giren debi çıkış suyu kalitesini etkilemez fakat şok organik ve hidrolik yüklemeler MBR işletilmesini etkileyebilmektedir (Judd, 2006).

2.5.2 MBR proses konfigürasyonları

Dahili ve harici olmak üzere iki tip membran biyoreaktör (MBR) proses konfigürasyonu bulunmaktadır. Membran biyoreaktör (MBR) konfigürasyonlarının şematik gösterimi Şekil 2.9’da verilmiştir (Judd, 2006).



Şekil 2.9 : MBR proses konfigürasyonları (Judd, 2006).

2.5.2.1 Dahili batık membran biyoreaktör

Dahili batık membran biyoreaktör (MBR) tankında süzüntü membrandan bir pompa vasıtası ile vakumlanarak alınmaktadır. Membran biyoreaktör (MBR) tankındaki gerekli hava miktarını sağlamak amacıyla bir difüzör bulunmaktadır ve ayrıca tıkanmayı önlemek amacıyla membran yüzeylerine yerleştirilmiş bir ayrı bir difüzör yardımı ile hava verilmektedir (Judd, 2006).

2.5.2.2 Harici membran biyoreaktör

Harici membran biyoreaktör (MBR) proses konfigürasyonlarında, membran sistemi tankın dışında yer almaktadır ve konsantre reaktöre geri devir ettirilebilmektedir. Bazı durumlarda harici membran biyoreaktör (MBR) kullanımı tercih edilebilmektedir (Judd, 2006).

2.5.2.3 MBR proses konfigürasyonlarının kıyaslanması

Dahili ve harici membran biyoreaktör (MBR) proses konfigürasyonlarının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Membran biyoreaktör (MBR) konfigürasyonlarının kıyaslanması Çizelge 2.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 : MBR konfigürasyonlarının kıyaslanması (Till ve Malia, 2001).

Dahili MBR	Harici MBR
Havalandırma maliyeti yüksek	Havalandırma maliyeti düşük
Pompalama maliyeti çok düşük	Yüksek pompalama maliyeti
Düşük akı	Yüksek akı
Sık temizleme ihtiyacı	Seyrek temizleme ihtiyacı
Düşük işletme maliyeti	Yüksek işletme maliyeti
Yüksek ilk yatırım maliyeti	Düşük ilk yatırım maliyeti

2.5.3 MBR sistemlerinin klasik aktif çamur sistemleri ile karşılaştırılması

Membran biyoreaktörler (MBR) klasik aktif çamur sistemlerinin bir modifikasyonu olarak bugünkü halini almıştır ancak klasik arıtma sistemlerinden çok daha üstün özelliklere sahiptirler. Klasik aktif çamur sistemlerinde kullanılan çöktürme tankları yerine membran filtrasyonu ile ayırım yapılmaktadır ve bu sayede çok daha kaliteli çıkış suyu elde edilmektedir. Membran biyoreaktör (MBR) çıkış süzüntü suyu askıda katı madde, bakteri ve virüs içermemektedir ve bu nedenle arıtılan suyun geri kazanımı söz konusudur. Klasik sistemlere göre gereken hidrolik bekletme süresi çok daha az ve çamur üretimi daha azdır bu nedenle çamur atımı daha nadir yapılabilir ve yüksek MLSS konsantrasyonları ile membran biyoreaktör (MBR) işletilebilmektedir. Ayrıca gereken arazi alanı çok daha düşüktür bu nedenle özellikle arazi problemi olan küçük yerleşim yerleri için membran biyoreaktör (MBR) sistemleri oldukça uygun sistemlerdir (Çiçek ve diğ, 1998).

Klasik aktif çamur sistemleri ile membran biyoreaktör sistemlerinin işletme parametrelerinde de bazı farklılıklar bulunmaktadır. Çamur yaşı, bekletme süresi, F/M oranı ve MLSS değerleri farklılıklar göstermektedir.

F/M oranı reaktör içerisindeki besin miktarının (organik maddenin) mikroorganizma konsantrasyonuna oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. F/M oranı hesabında organik madde olarak KOİ veya BOİ konsantrasyonu dikkate alınır. F/M oranı ne kadar yüksek ise mikroorganizmalar da o kadar hızlı büyürler çünkü mikroorganizma başına düşen besin miktarı F/M oranı yükseldikçe artmaktadır. F/M oranı ayrıca sistemdeki çamurun çökme özelliği hakkında bilgi vermektedir.

Klasik aktif çamur sistemlerinde F/M oranı 0.05-1.5 gün⁻¹ değerlerinde iken membran biyoreaktör (MBR) sistemlerinde bu değer genellikle 0.1 gün⁻¹ değerinden daha düşüktür. Düşük F/M oranları membran biyoreaktördeki (MBR) yüksek MLSS konsantrasyonlarından kaynaklanmaktadır (Adham ve diğ, 1998).

2.5.4 MBR sistemlerinde tıkanma mekanizması

Membran biyoreaktör (MBR) sistemlerinin işletilmesindeki en önemli problemlerden biri membranların gözenek (por) tıkanmasıdır. Membran yüzeyinde meydana gelen tıkanma sonucu elde edilen akı azalır ve bu faktör de işletme verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Atıksuyun kompozisyonu ve biyokütle tıkanmayı etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Membrandan kaynaklanan membran materyali, por çapı, yüzey yükü gibi faktörler ve atıksu ile ilgili olan viskozite ve inorganik içerik de tıkanmayı etkilemektedir. Membran biyoreaktör (MBR) operasyon şekli ve hidrolik şartlar da oldukça önemlidir (Sombatsompop ve diğ, 2006).

Membranda meydana gelebilecek tıkanmaları önlemek amacıyla kritik akı değeri dikkate alınmalı ve bu değerden daha küçük şartlarda membran biyoreaktör (MBR) işletilmelidir (Judd, 2006).

2.5.5 Ticari MBR ürünleri

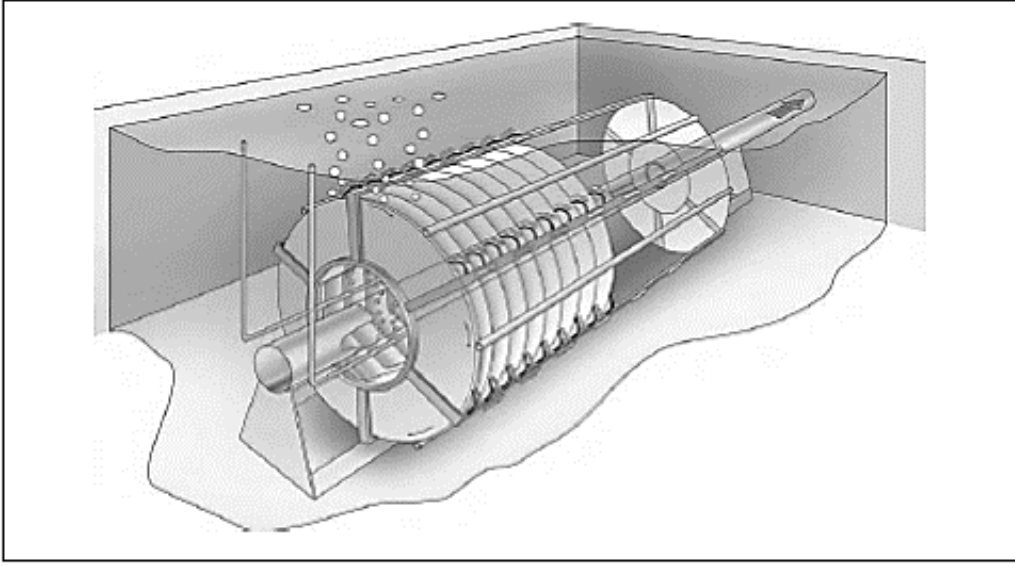
Bugüne kadar ticari şekilde çok çeşitli membran biyoreaktör (MBR) sistemleri firmalar tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen membran biyoreaktörlerdeki (MBR) membran modülü tiplerinden bazıları düz plaka, hollow fiber veya multitübüler şekildedir (Judd, 2006).

2.5.5.1 Kubota

Kubota membran modülleri ilk olarak 1980'li yılların sonuna doğru Japon bir mühendislik firması tarafından geliştirilmiştir. Üretim Japonya hükümetinin kompakt ve yüksek kalitede çıkış suyu sağlayabilen sistemler arayışına girmesiyle gerçekleşmiştir. Firma ilk pilot tesisini 1990 yılında kurmuş olup yaklaşık % 10'u Avrupa'da olmak üzere bugünlerde firmanın ürünlerini dünya çapında bulmak mümkündür (Judd, 2006).

2.5.5.2 Huber

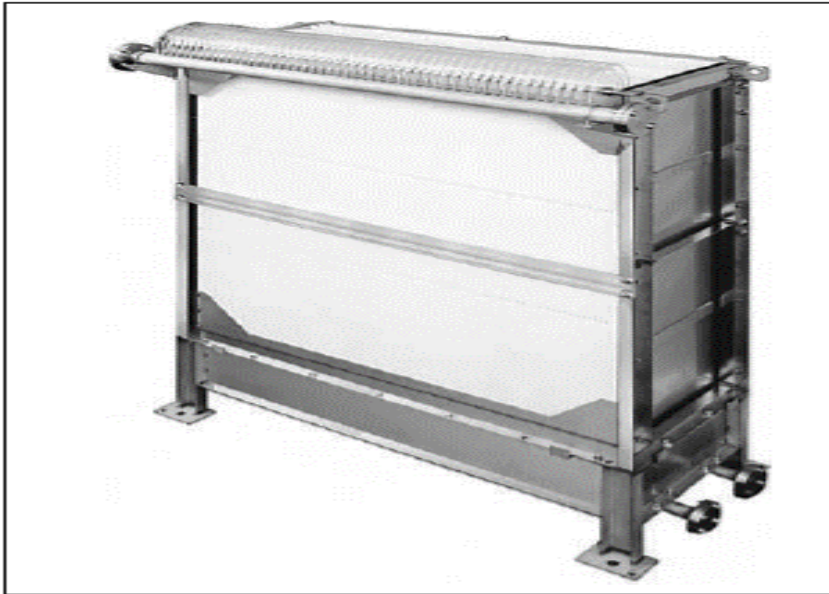
Huber firması ürettiği dönen tipte membran sistemi ile diğer firmalardan oldukça farklı bir sistemi ortaya çıkarmıştır. Ayrıca yüzeye hava veren blowerları mevcuttur ve böylece membran yüzeyindeki tıkanmayı temizlemeye yardımcı bir sisteme sahiptir. Huber firması tarafından üretilen membran biyoreaktör (MBR) sistemi Şekil 2.10'da görüldüğü gibidir (Judd, 2006).



Şekil 2.10 : Huber firması tarafından üretilen MBR (Judd, 2006).

2.5.5.3 Toray

Toray firması 25 yıldan uzun bir süredir içme suyu uygulamaları için ters osmoz membranları üretmektedir. Firma ilk MBR ürününü ise 2004 yılında üretmiştir. Geliştirilen membran 0.08 μm gözenek çaplı olup polivinidilin florür malzemeden üretilmiştir. Toray firmasına ait MBR Şekil 2.11’de görüldüğü gibidir (Judd, 2006).



Şekil 2.11 : Toray firmasına ait MBR (Judd, 2006).

2.5.5.4 Zenon

Zenon firması günümüzde en büyük membran biyoreaktör (MBR) firmasıdır ve dünya genelinde 45’den fazla ülkeye hizmet vermektedir. Firmanın ilk ürettiği

membran 0.1 µm gözenek çaplı ultrafiltrasyon membranı idi. İlerleyen yıllarda firma ZeeWed 500a, 500c ve 500d gibi birçok farklı özellikte membran modelleri üretmiştir. Firmaya ait 500a, 500c ve 500d membran modelleri soldan sağa sıralı olmak üzere Şekil 2.12’de görüldüğü gibidir (Judd, 2006).



Şekil 2.12 : Zenon firmasına ait membran modelleri (Judd, 2006).

2.5.5.5 Mitsubishi rayon

Mitsubishi rayon mühendislik firması Zenon ve Kubota’dan sonra dünya çapında en büyük üçüncü membran biyoreaktör üreticisidir. Firma polimerik malzemeden üretilen membranları ile hem evsel hemde endüstriyel atıksu arıtım sektörüne hizmet etmektedir. İlk membran biyoreaktör (MBR) ürününü 1995 yılında üreten firma 2005 yılına kadar 900 adedi Japonya’da olmak üzere toplamda 1500 adet membran biyoreaktör (MBR) sistemini dünya çapında kurmuştur (Judd, 2006).

2.6 Önceki Çalışmalar

Bunani (2013) tarafından yapılan çalışmaya göre; evsel nitelikli atıksu önce nanofiltrasyon membranı ile ardından da ters osmoz membranları ile arıtılmıştır. Çalışmada bir adet NF membranı ile iki farklı ters osmoz membranı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; ters osmoz 1 ve 2'den elde edilen süzüntü suları sulamada kullanım için uygundur. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular Çizelge 2.6'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 2.6 : Elde edilen sonuçlar (Bunani, 2013).

Parametre	NF Giriş	NF Çıkış	TO 1 Giriş	TO 1 Çıkış	TO 2 Giriş	TO 2 Çıkış
pH	8.34	7.59	8.00	7.25	8.11	7.12
TÇM (mg/L)	3150	342	3110	169	3364	56.4
İletkenlik (μ S/cm)	6303	684	6225	338	6726	113
Tuzluluk (psu)	3.51	0.34	3.49	0.17	3.74	0.06
Renk (Hazen)	22.3	1.85	21.9	1.90	22.1	2.98
KOİ (mg/L)	30.5	4.07	32.0	4.50	34.0	5.25
TOK (mg/L)	13.7	1.92	10.6	2.50	10.2	3.08
Na ⁺ (mg/L)	1091	134	1052	66.5	1076	18.4
Ca ⁺² (mg/L)	220	0.54	226	2.04	223	1.83
K ⁺ (mg/L)	96.8	14.5	110	4.99	111	2.55
Mg ⁺² (mg/L)	150	0.41	148	1.29	154	1.05
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	440	31.0	426	21.3	443	21.5
Cl ⁻ (mg/L)	1834	206	1983	101	2095	31.0
SO ₄ ⁻² (mg/L)	261	< 0.5	304	< 0.5	315	< 0.5
PO ₄ -P (mg/L)	2.28	< 0.05	2.28	< 0.05	2.34	< 0.05
NO ₃ -N (mg/L)	8.65	3.75	10.7	2.60	9.68	0.48
NO ₂ -N (mg/L)	0.21	0.06	0.26	0.04	0.26	0.01
NH ₄ -N(mg/L)	0.11	0.06	0.11	0.04	0.14	0.06
Bulanıklık (NTU)	0.39	0.02	0.22	0.05	0.19	0.03
Silikon (mg/L)	12.5	0.65	13.1	0.01	13.4	0.01

Sumino ve diğ. (2006) tarafından azot giderimi verimini inceleme amacıyla yapılan çalışmaya göre karbon ve azot giderimleri tek tank içerisinde gerçekleştirilmiş ve arıtma verimine C/N oranının ve atıksu içindeki karbon miktarının etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada azot giderimi % 80 ile % 94 arasında değişme göstermiştir.

Sommariva ve diğ. (1996) tarafından yapılan fosfor giderimi veriminin araştırıldığı bir çalışmada atıksu önce anaerobik tanka ardından da aerobik tanka alınmış ve arıtma verimleri incelenmiştir. Bu çalışmada fosfor giderimleri % 90'ın üzerinde bulunmuştur.

Turan ve diğ. (2011) tarafından batık membran biyoreaktör ile yapılan evsel atıksu arıtma çalışmasında giderim verimleri işletme parametrelerine bağlı olarak

incelenmiştir. İşletme sırasında çözülmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg/L'nin üzerinde tutulmuştur. Reaktördeki MLSS konsantrasyonu 5000 mg/L'ye MLVSS konsantrasyonu ise 3000 mg/L'ye kadar çıkarılmıştır. Maksimum çamur hacim indeksi (SVI) değeri 204 ml/gr değerine kadar yükselme göstermiştir. KOİ giderimi % 99.9'un üzerinde bulunmuştur.

Turan ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir başka çalışmada batık membran biyoreaktör ile pilot ölçekli evsel atıksu arıtılması araştırılmıştır. Çalışmada birbirinden ayrı olarak anoksik ve aerobik tanklar kullanılmıştır. İşletme süresince MLSS konsantrasyonu 5-7 gr/L arasında tutulmuştur. KOİ, BOİ, AKM, TN ve TP giderim verimleri sırasıyla % 99.1, % 99.3, % 43.4 ve % 68.2 olarak elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmanın amacı evsel nitelikli atıksuların membran biyoreaktör (MBR) ile arıtılarak elde edilen atıksuyun geri kazanılması ve yeniden kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

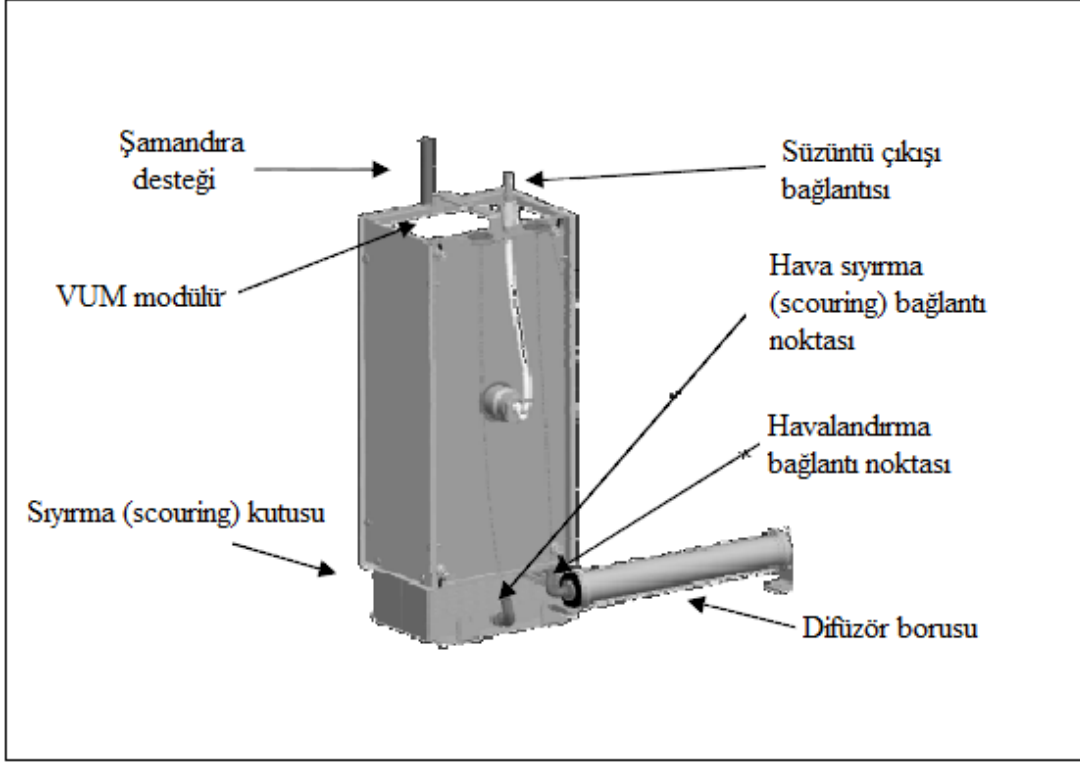
3.1 Arıtma Düzeni ve Sistemi

İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nda pilot ölçekli batık membran biyoreaktör sistemi kurulmuştur. Hans Huber AG firmasından alınan MembraneClearBox® (MCB) adlı membran biyoreaktör sistemi, aktif çamur prosesi ve daldırılmış ultrafiltrasyon (UF) membranları vasıtasıyla arıtılmış suyun ayrılması işleminin birleşimi olan bir arıtma sistemidir. Bu sistem, çökeltme (anaerobik besleme tankı) ve batık membran biyoreaktör (SMBR) tankından oluşmaktadır. Anaerobik besleme tankından sonra atıksu peristaltik pompa vasıtası yoluyla daldırılmış membran biyoreaktör (SMBR) tankına gelir. Membran filtre ve oksijen temin eden üfleyici (blower) bu bölmede yerleştirilmiştir. Biyolojik arıtmada, atıksu içindeki kirleticiler ve nütrientler mikroorganizmalar vasıtasıyla ayrışır ve biokütleyle dönüşür. Aynı zamanda membran filtrasyon, ultrafiltrasyon (UF) modül (por büyüklüğü 38 nm) vasıtasıyla gerçekleştirilir ve arıtılmış su aktif çamurdan süzülerek ayrılır. 9 adet membran plakası bulunmaktadır ve toplam yüzey alanı 3.5 m²'dir. UF membran sistemi, bütün katı maddeleri ve bakterileri, virüsleri tutarak atıksudan ayırmaktadır. Bu sayede elde edilen çıkış suyu sterildir ve kullanımında ek bir dezenfeksiyon işlemi (klorlama vs.) gerekli değildir. Arıtılarak geri kazanılan su sulama vs. amaçlı tekrar kullanılabilir.

3.1.1 Membran biyoreaktör

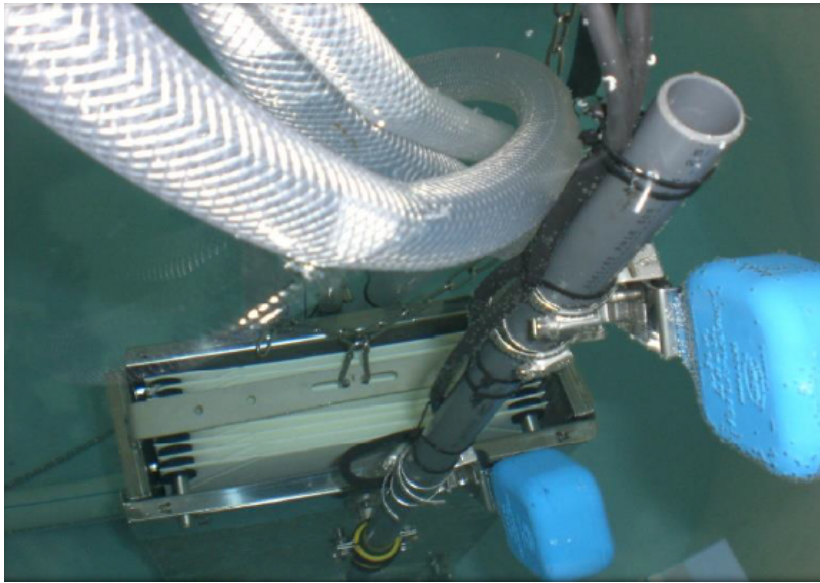
Plaka-çerçeve tipli ultrafiltrasyon (UF) membran kaseti ve blower yaklaşık hacmi 1000 L olan bir dairesel polietilen tank içerisine yerleştirilmiştir. Tankın çapı yaklaşık 90 cm, yüksekliği 170 cm ölçülerindedir. Membran kasetine ait süzüntü çıkışı bağlantısı ve tank içerisine gelen besleme suyu hattının bağlantıları yapılmıştır.

Ayrıca reaktör tankı tabanında bulunan bir vana ile besleme tankı arasında bağlantı sağlanmıştır. UF membran kasetinin şematik görünümü Şekil 3.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.1 : Membran kaseti (Hans Huber User Manual, 2009).

Membran kasetinin reaktör tankı içerisindeki görünümü Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de gösterildiği gibidir. Reaktörün dışarıdan görünümü ise Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Membran kasetinin reaktör içerisinde görünümü.



Şekil 3.3 : Membran kasetinin tank içinde görünümü.



Şekil 3.4 : Reaktörün dış görünümü.

3.1.2 Besleme tankı

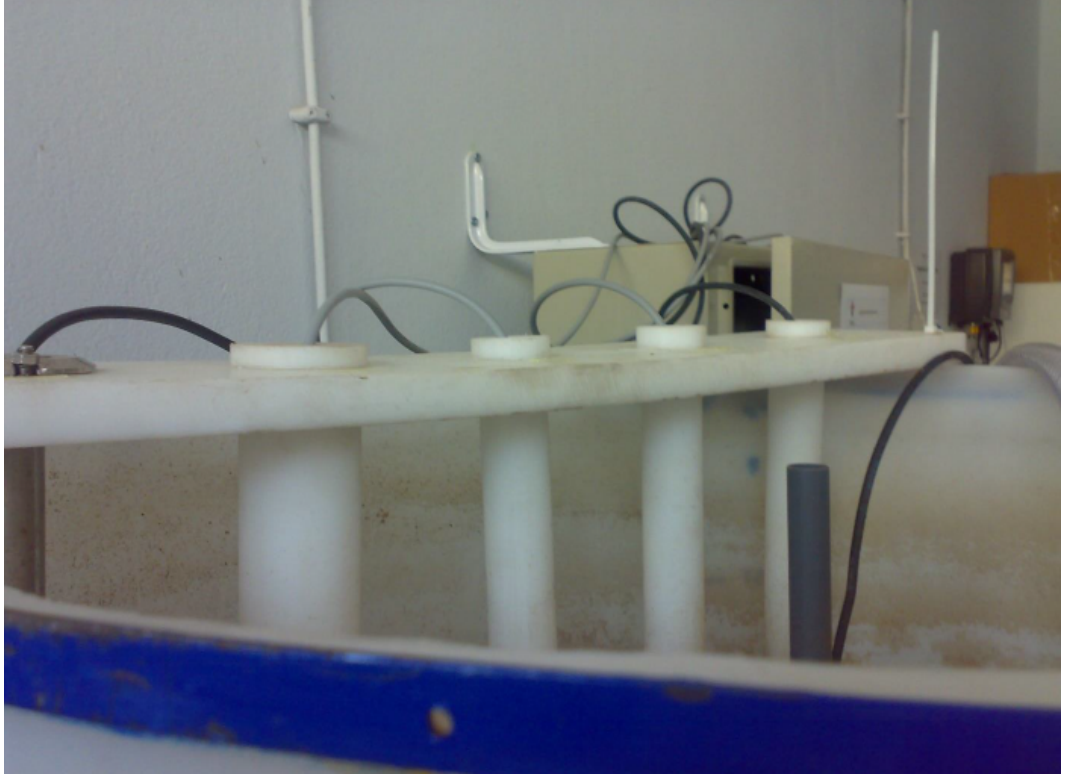
Yaklaşık hacmi 200 L olan polietilen besleme tankından peristaltik pompa vasıtasıyla reaktöre besleme yapılmaktadır. Besleme tankının görünümü Şekil 3.5’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.5 : Besleme tankının görünümü.

3.1.3 Online ölçüm problemleri ve kontrol paneli

Reaktör tankı içerisine daldırılmış online ölçüm problemleri sayesinde tank içerisindeki parametrelerin değişimi 24 saat izlenebilmektedir. Reaktör içerisine yerleştirilen problemler sayesinde MLSS, iletkenlik, sıcaklık, pH ve çözülmüş oksijen değerleri ölçülmekte ve Hach firmasından temin edilen izleme paneli sayesinde kayıt edilmektedir. Online ölçüm problemleri Şekil 3.6’da, problemlerin bağlı olduğu izleme paneli ise Şekil 3.7’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.6 : Online ölçüm probları.



Şekil 3.7 : İzleme paneli.

3.1.4 Peristaltik pompa

Besleme tankından reaktöre atıksu akışı peristaltik pompa vasıtası ile sağlanmaktadır. Hız ayarı sayesinde tanka basılmak istenen debi ayarlanabilmektedir. Peristaltik pompanın görünümü Şekil 3.8'deki gibidir.



Şekil 3.8 : Peristaltik pompa.

3.2 MBR Sisteminin Çalıştırılması

MBR sisteminde bulunan mekanik ekipmanların uygulanabilir operasyon süreleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

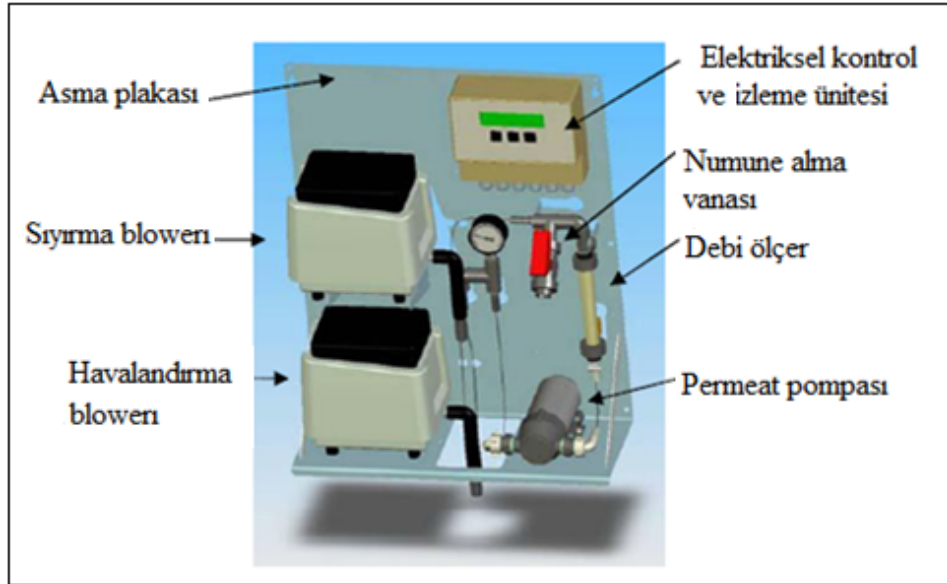
Çizelge 3.1 : Elektrik kontrol seti (Hans Huber User Manual, 2009).

Saniye (sn)	Düşük Mod		Normal Mod		Yüksek Yük Modu	
	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı
Çalıştırma Durumu	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı
Süzüntü Pompası		Kapalı	270	30	270	30
Scouring Blower	60	3600	Sürekli Çalışma		Sürekli Çalışma	
Havalandırma Blowerı	60	900	120	360	120	360
Çamur Deşarjı	Özel Yerel Şartlara Göre Ayarlanır					
Akış Yoksa Kapanma	180					
Sıyırma Süresi	300					
Hata Raporu	5 saat					

Çizelge 3.1’de belirtilen operasyon süreleri kontrol paneli üzerinden ayarlanıp değiştirilebilir veya mevcut işletme durumu ekranda görüntülenebilmektedir. Ayrıca atıksuyun durumuna göre düşük, normal veya yüksek modda işletme yapılabilir.

3.2.1 Arıtma sistemi paneli kontrol ünitesi

Arıtma sistemi paneli kontrol ünitesi sayesinde işletme modları ayarlanabilir, izlenebilir, sistemde olabilecek hatalara karşı uyarılar görülebilmektedir. Sistem; üzerinde ekipmanların bulunduğu bir asma plakası, manometre, havalandırma blowerı, sıyırıcı blower, debi ölçer, permeat pompası ve numune alma vanasından oluşmaktadır. Kontrol ünitesinin şematik görünümü Şekil 3.9’da görülmektedir. Kontrol ekranı ise Şekil 3.10’da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.9 : Kontrol ünitesinin şematik görünümü (Hans Huber User Manual, 2009).



Şekil 3.10 : Kontrol ekranı (Hans Huber User Manual, 2009).

3.2.2 Permeat (süzüntü) pompası

Permeat pompası iki fazlı bir işletme sistemine sahiptir. Pompa saat çevrimi şeklinde çalışmakta ve kontrol paneli üzerinden ayarları yapılabilmektedir. Bu sayede pompa çalışmadığı zamanlarda daha etkin bir şekilde scouring blowerı da filtre temizliğini gerçekleştirebilmektedir (Hans Huber User Manual, 2009).

Debi ölçer üzerinde bulunan anahtar sayesinde pompaya gelen minimum debi kontrol edilebilmektedir. Ayarlanan minimum debiden daha az miktarda debinin süzülmesi durumunda sistem otomatik olarak ek membran temizlemesi (scouring blowerı ile) yapar ve bu süre zarfında permeat pompası devre dışı kalır. Temizleme süresi de kontrol paneli üzerinden ayarlanabilmektedir. Akım kontrolü de sadece permeat pompası devrede iken sağlanabilmektedir. Sistemin otomatik olarak yaptığı bu ek membran temizleme işlemleri (extra scouring) sistem tarafından kaydedilir ve eğer 1 saat içerisinde 5 defadan fazla ek membran temizlemesi yapılmışsa filtrasyon işlemi otomatik olarak durur ve kontrol panelinde “hata: akım çok az” uyarı yazısı görülür. Bu durumda sistem aynı zamanda sesli uyarı verir ve ekranda kırmızı uyarı lambası yanar. Eğer 1 saat içerisinde 5 defadan daha az membran temizlemesi yapılırsa sistem 1 saatin sonunda tekrar sıfırdan başlayarak her saat için saymaya devam eder. Bu sayede membran üzerinde biriken kek tabakaları (muhtemelen aşırı yükten kaynaklanan) nedeniyle geçici olarak yavaşlayan akımdan sistem etkilenmeden yeniden normal işletme koşullarına dönebilmektedir. Filtrasyon süresi sistemde otomatik olarak kaydedilmektedir (Hans Huber User Manual, 2009).

Filtrasyon işlemi tanktaki su seviyesine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Tanktaki su seviyesi membran kasetinin bulunduğu seviyeden aşağıya düştüğünde bu durum hava ile temas eden membranın kurumasına ve zarar görmesine neden olabilir. Bu durumdan kaçınmak için tanktaki su seviyesi düştüğünde filtrasyon otomatik olarak devre dışı kalır ve sistem düşük yük moduna geçer. Düşük yük modu aynı zamanda tatil gibi zamanlarda tanka atıksu girişi olmadığında da kullanılır. Tankta tekrar su girişi başladığında sistem otomatik olarak normal işletme moduna geri döner (Hans Huber User Manual, 2009).

3.2.3 Scouring blower

Scouring blower daimi olarak membran kasetine dikey olarak hava üflemeindedir ve bu sayede membran üzerinde kek tabakalarının birikmesinin engellenmesine

yardımcı olmaktadır. Tanktaki su seviyesine bağılı olarak scouring blower iki farklı modda çalışmaktadır. Sistemde filtrasyon işlemi yapılırken scouring blower sürekli olarak çalışır, sisteme atıksu girişı olmadığı zamanlarda scouring blower da düşük yük moduna uygun şekilde çalışmaya başlar (Hans Huber User Manual, 2009).

3.2.4 Blower

Blower tanktaki biyolojik yaşam için gerekli olan oksijeni sağlamaktadır ve iki farklı modda çalışabilmektedir. Tanka atıksu girişı olduğunda blower normal çevriminde çalışır, atıksu girişı olmadığı zamanlarda ise düşük yük moduna uygun çalışmaktadır (Hans Huber User Manual, 2009).

3.3 İşletme Modları

Düşük yük modu; sistemde bulunan her iki şamandıra da devre dışıdır ve filtrasyon (süzme) işlemi yapılmamaktadır. Bu modda iken havalandırma ve scouring blowerları kısa süreli çalışmaktadır. Düşük yük işletme modu (ekonomi modu) örnek olarak tatile gidildiğinde reaktör içerisindeki mikroorganizmaların hayatta kalması için gerekli oksijenin sağlanmasında önemlidir. Herhangi bir atıksu girişı olmadığında sistem bu modda çalıştırılarak sistemin az bir enerji ile devam ettirilmesi sağlanabilmektedir. Normal yük modu; tanka atıksu girişı başladığında otomatik olarak sistem normal yük moduna geçer. Bu modda sistem ortalama yük ile normal işletme koşullarında çalışmaktadır. Yüksek yük modu; geçici bir süreliğine sisteme gelen akım normal işletme şartlarının kaldırabileceğinden daha fazla ise bu mod devreye girer. Yüksek modda permeat pompası kısa bir süreliğine tasarlandığından daha fazla filtrasyon (süzme) yapabilmektedir (Hans Huber User Manual, 2009).

3.4 Sentetik Atıksu

Deneyisel çalışmalarda orta kuvvette evsel nitelikli atıksu karakterinde olacak şekilde sentetik atıksu hazırlanmış ve çalışmalar yürütülmüştür.

3.4.1 Sentetik atıksuyun bileşimi

Deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanan sentetik atıksuyun bileşimi ve kullanılan kimyasallar ile miktarları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Sentetik atıksuyun bileşimi (Yıldız ve diğ., 2005).

Kimyasal	Miktarı (mg/L)
Glikoz ($C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$)	512
Üre ($(NH_2)_2$)	86
Magnezyum Sülfat ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	30
Kalsiyum Klorür ($CaCl_2$)	20
Potasyum Dihidrojen Fosfat (KH_2PO_4)	17.5
Dipotasyum Hidrojen Fosfat (K_2HPO_4)	22.5
Demir Klorür ($FeCl_2$)	0.5

3.4.2 Sentetik atıksuyun karakterizasyonu

Sentetik atıksu hazırlanırken belirtilen kimyasallar kullanılarak şebeke suyunda çözüldürülmüş ve 200 L besleme tankına alınmıştır. Sentetik atıksu evsel atıksuya benzer olması bakımından literatürde bulunan ortalama karakterdeki evsel eşdeğer olarak hazırlanmıştır. Sentetik atıksuyun C:N:P oranı 100:8:1.6'dır ve bu oran ideal olan 100:5:1 oranına oldukça yakındır. Hazırlanan sentetik atıksuyun MBR sistemine beslenen ham atıksuyun) karakterizasyonu Çizelge 3.3'de verildiği gibidir.

Çizelge 3.3 : Sentetik atıksuyun karakterizasyonu.

Parametre	Birim (mg/L)
KOİ	500
BOİ	400
Azot (N)	40
Fosfor (P)	8
Kalsiyum (Ca^{+2})	42
Magnezyum (Mg^{+2})	19
Sodyum (Na^{+})	54
Klorür (Cl^{-})	39

3.5 Deneysel Çalışmalar

3.5.1 Askıda katı madde

Askıda katı madde analizleri Hach (DR 890) marka kolorimetre kullanılarak fotometrik olarak tayin edilmiştir. Askıda katı madde konsantrasyonları mg/L cinsinden kolorimetrede okunmuştur.

3.5.2 Bulanıklık

Bulanıklık analizleri Hach (DR 890) marka kolorimetre kullanılarak fotometrik olarak tayin edilmiştir. Bulanıklık değerleri FAU cinsinden kolorimetre cihazı vasıtası ile okunmuştur.

3.5.3 Kimyasal oksijen ihtiyacı

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) parametresi Hach marka küvet testleri (Kit no: 21258-51) ile Hach (DR 890) marka kolorimetre kullanılarak fotometrik olarak tayin edilmiştir. KOİ konsantrasyonları mg/L cinsinden kolorimetrede okunmuştur.

3.5.4 Biyolojik oksijen ihtiyacı

Biyolojik oksijen ihtiyacı parametresi (BOİ₅) 5210-B standart metoduna uygun olarak tayin edilmiştir. BOİ konsantrasyonları mg/L cinsinden tayin edilmiştir.

3.5.5 Toplam azot

Toplam azot (TN) parametresi Hach marka küvet testleri (Kit no: 27141-00) ile Hach (DR 890) marka kolorimetre kullanılarak fotometrik olarak tayin edilmiştir. TN konsantrasyonları mg/L cinsinden kolorimetrede okunmuştur.

3.5.6 Toplam fosfor

Toplam fosfor (TP) parametresi Hach marka küvet testleri (Kit no: 27672-45) ile Hach (DR 890) marka kolorimetre kullanılarak fotometrik olarak tayin edilmiştir. TP konsantrasyonları mg/L cinsinden kolorimetrede okunmuştur.

3.5.7 Toplam koliform

Toplam koliform parametresi 9222-B standart metoduna uygun olarak tayin edilmiştir. Toplam koloni sayısı adet/ml numune cinsinden tayin edilmiştir.

3.5.8 Kalsiyum

Kalsiyum parametresi 3500 Ca-B standart metoduna uygun olarak tayin edilmiştir. Kalsiyum konsantrasyonları mg/L cinsinden tayin edilmiştir.

3.5.9 Magnezyum

Magnezyum parametresi 3500 Mg-B standart metoduna uygun olarak tayin edilmiştir. Magnezyum konsantrasyonları mg/L cinsinden tayin edilmiştir.

3.5.10 Sodyum

Sodyum parametresi 3500 Na-B standart metoduna uygun olarak tayin edilmiştir. Sodyum konsantrasyonları mg/L cinsinden tayin edilmiştir.

3.5.11 Klorür

Klorür parametresi 4110-B standart metoduna uygun olarak tayin edilmiştir. Klorür konsantrasyonları mg/L cinsinden tayin edilmiştir.

3.5.12 Sıcaklık

Sıcaklık parametresi MBR içerisinde bulunan Hach marka prob ile ölçülmektedir. Sıcaklık parametresi °C cinsinden ölçülmüştür.

3.5.13 İletkenlik

İletkenlik parametresi MBR içerisinde bulunan Hach marka prob ile ölçülmektedir. İletkenlik parametresi $\mu\text{S}/\text{cm}$ cinsinden ölçülmüştür.

3.5.14 pH

pH parametresi MBR içerisinde bulunan Hach marka prob ile ölçülmektedir. pH parametresi birimsiz olarak ölçülmüştür.

3.5.15 MLSS

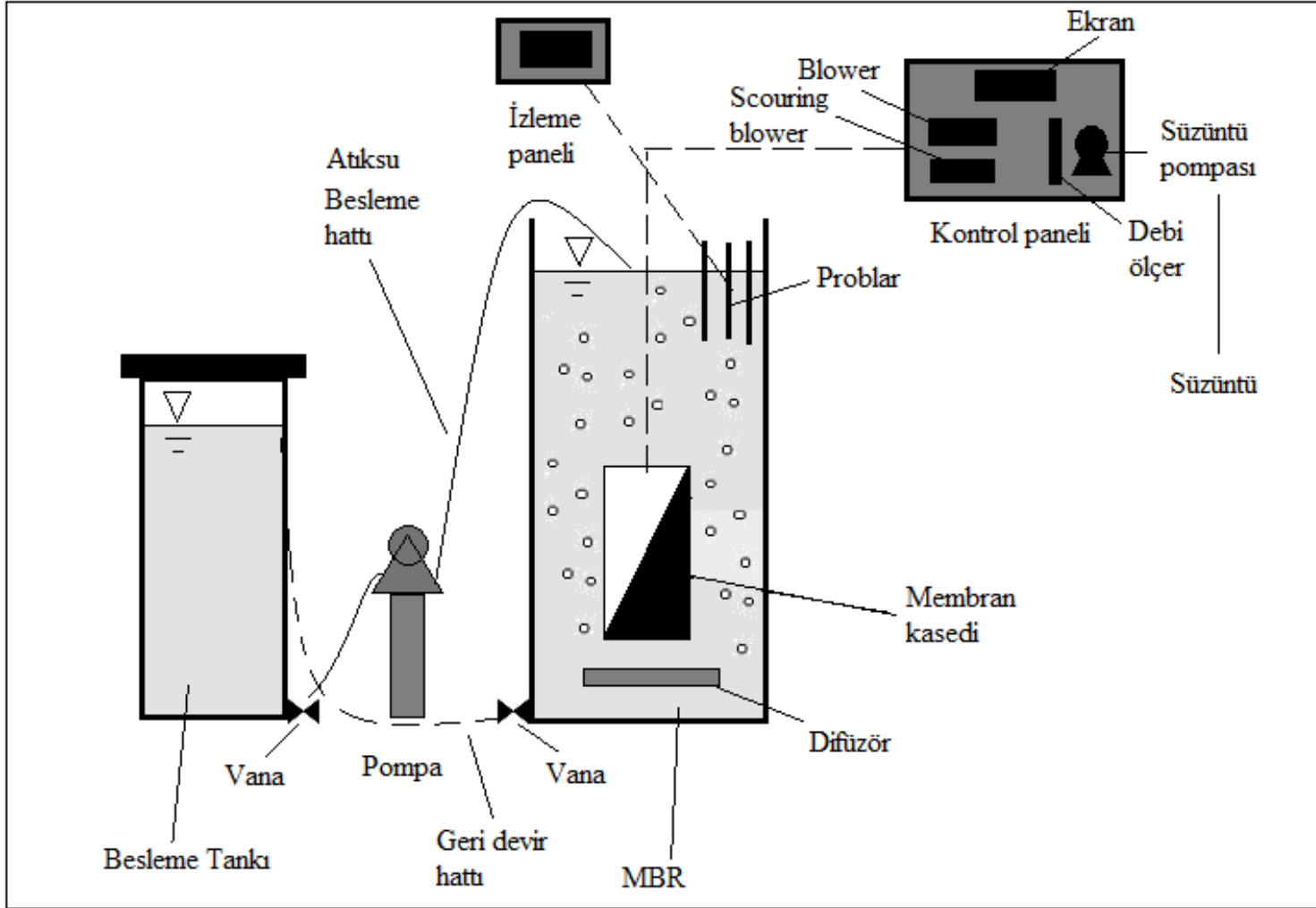
MLSS parametresi MBR içerisinde bulunan Hach marka prob ile ölçülmektedir. MLSS parametresi mg/L cinsinden ölçülmüştür.

3.5.16 Çözünmüş oksijen

Çözünmüş oksijen (ÇO) parametresi MBR içerisinde bulunan Hach marka prob ile ölçülmektedir. ÇO parametresi mg/L cinsinden ölçülmüştür.

3.6 MBR Sisteminin İşletilmesi

Membran biyoreaktör (MBR) sistemi ilk işletmeye alındığında evsel atıksu arıtma tesisinden aktif çamur örneği alınmış ve sisteme aşı olarak eklenmiştir. Sistemde mikroorganizma gelişimi ve biyolojik arıtma için eklenen aşı çamuru oldukça önemlidir. Pilot ölçekli çalışmalarda orta kuvvette evsel atıksuya eşdeğer olacak şekilde sentetik atıksu hazırlanmış ve kullanılmıştır. Membran biyoreaktör (MBR) adaptasyon evresinde hazırlanan sentetik atıksu ile beslenmiş ve deneysel çalışmalara başlanmadan önce reaktör içerisindeki MLSS konsantrasyonunun belli bir seviyeye kadar yükselmesi için beklenmiştir. Membran biyoreaktör (MBR) sisteminin çalışma prensibini gösteren şematik çizim Şekil 3.11'de verildiği gibidir.



Şekil 3.11 : Membran biyoreaktörün şematik akış diyagramı.

Membran biyoreaktör (MBR) sistemi tam karışımli reaktör şeklinde işletilmektedir ve sisteme sürekli olarak atıksu girişi yapılmaktadır. Reaktördeki su seviyesi işletme süresince sabit tutulmuş ve reaktörden filtrasyon (süzme) işlemi sürekli olarak yapılmaktadır. Reaktördeki yaklaşık atıksu hacmi (efektif hacim) 500 L'de sabit tutulmuştur.

Şemadan da görülebileceği gibi, reaktöre atıksu beslemesi peristaltik pompa ile reaktörün üstünden verilmektedir. Reaktörün tabanında bulunan bir vana sayesinde eğer istenirse reaktördeki çamur, besleme tankına cazibe ile geri devir ettirilebilmektedir.

Atıksu, besleme tankında anaerobik koşullar altında fosfor giderimi için uygun ortamda bulunmaktadır. Besleme tankı aynı zamanda katı maddeler için çökeltim görevini de yerine getirmektedir. Anaerobik besleme tankından batık membran biyoreaktöre gelen atıksu kesikli olarak verilen oksijen sayesinde hem nitrifikasyona hem de denitrifikasyona aynı tank içerisinde uğramaktadır. Reaktör tabanında bulunan havalandırma difüzörü hem oksijen sağlamaktadır hem de tank içerisinde karışımı sağlayarak bakterilerin reaktörün tabanına çökmesini engellemektedir. Membran biyoreaktör (MBR)'da tek tank içerisinde karbon, azot ve fosfor giderimi biyolojik olarak yapılmaktadır. Biyolojik arıtmanın ardından filtrasyon sayesinde askıda katı madde, bulanıklık, bakteri ve virüs giderimi yapılmaktadır.

Reaktör içerisinde bulunan problemler sayesinde iletkenlik, MLSS, sıcaklık, çözünmüş oksijen ve pH değerleri kontrol ekranından takip edilmektedir. Reaktörün pH ayarlaması zaman zaman NaOH (sodyum hidroksit) eklenerek ayarlanmaktadır. Sistemin stabilitesi, kontrol ekranı sayesinde sürekli takip edilmektedir ve gerekli müdahaleler yapılmaktadır.

Permeat pompasının sağlayacağı minimum süzüntü debisi, debi ölçer üzerinde bulunan anahtar ile ayarlanmaktadır ve tanktaki su seviyesi sabit tutulacak şekilde giriş debisi ayarlanmaktadır. Kontrol paneli üzerinden trans membran basıncı da takip edilmektedir.

Sistemde kullanılan membran modülü plaka-çerçeve tipi olduğundan sistemde tıkanma kontrolü için otomatik geri yıkama yapılamamaktadır. Bu nedenle zaman zaman sistemde normal mod devre dışı bırakılarak süzüntü borusundan manuel olarak kimyasal geri yıkama yapılmaktadır. Geri yıkama için sitrik asit ve sodyum

hidroksit çözeltileri kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalar yürütülürken önce reaktörden çamur atılmadan (sonsuz çamur yaşı) ve geri devir ettirilmeden işletme yapılmıştır, daha sonraki aşamalarda da reaktörden besleme tankına çamur geri devir ettirilmiştir

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

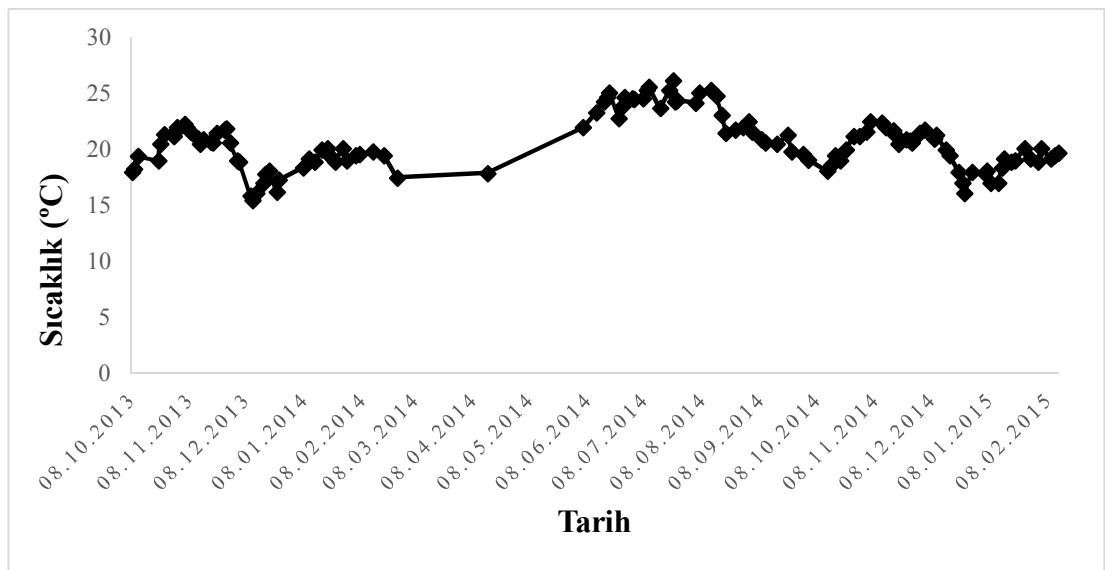
MBR sistemi devreye alınırken başlangıçta aşı çamuru kullanılmış ve sistem sentetik atıksu ile beslenerek reaktör içerisindeki biyokütle (MLSS) artması beklenmiştir. Adaptasyon sürecinden sonra sistem normal moda işletmeye alınmıştır. MBR sistemi tam karışım reaktör olarak işletilmiştir. İşletme süreci iki şekilde yürütülmüştür. İlk aşamada reaktör sonsuz çamur yaşında ve geri devir yapılmadan işletilmiş ve deneysel çalışmalar bu koşullarda yürütülmüştür. İkinci aşamada ise reaktörün tabanındaki vana açılarak bir miktar çamur besleme tankına geri devir ettirilmiştir ve deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

4.1 Reaktör İçerisindeki Parametreler

Reaktör içerisinde bulunan problemler ile sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, iletkenlik ve MLSS değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

4.1.1 Sıcaklık

Reaktör içerisindeki sıcaklık değerlerinin değişimi, grafiksel olarak Şekil 4.1’de gösterildiği gibidir.

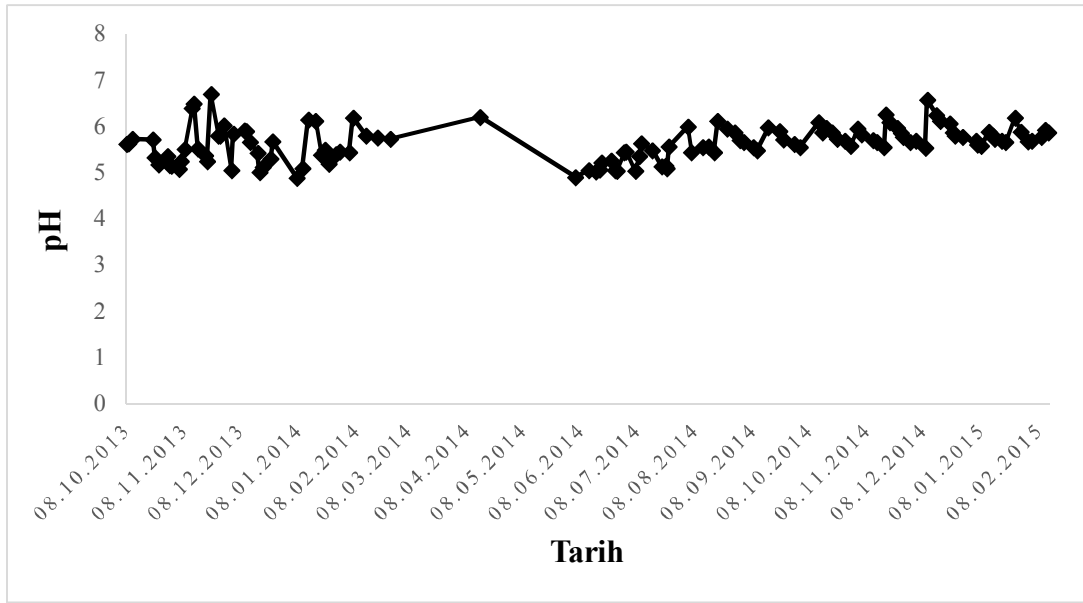


Şekil 4.1 : Reaktördeki sıcaklık değişimleri.

Şekil 4.1'den de görüleceği üzere reaktördeki sıcaklık değerleri mevsimsel olarak değişim göstermektedir. Reaktör iç ortamda olduğundan dışarıdaki sıcaklık değerlerinden tam olarak etkilenememektedir. Kış aylarındaki en düşük sıcaklık değeri 15.5 °C iken yaz aylarındaki en yüksek sıcaklık değeri 26.2 °C'dir. Ortalama sıcaklık değeri 20.63±2.4 °C'dir.

4.1.2 pH

Reaktör içerisindeki pH değerlerinin değişimi, grafiksel olarak Şekil 4.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.2 : Reaktördeki pH değişimleri.

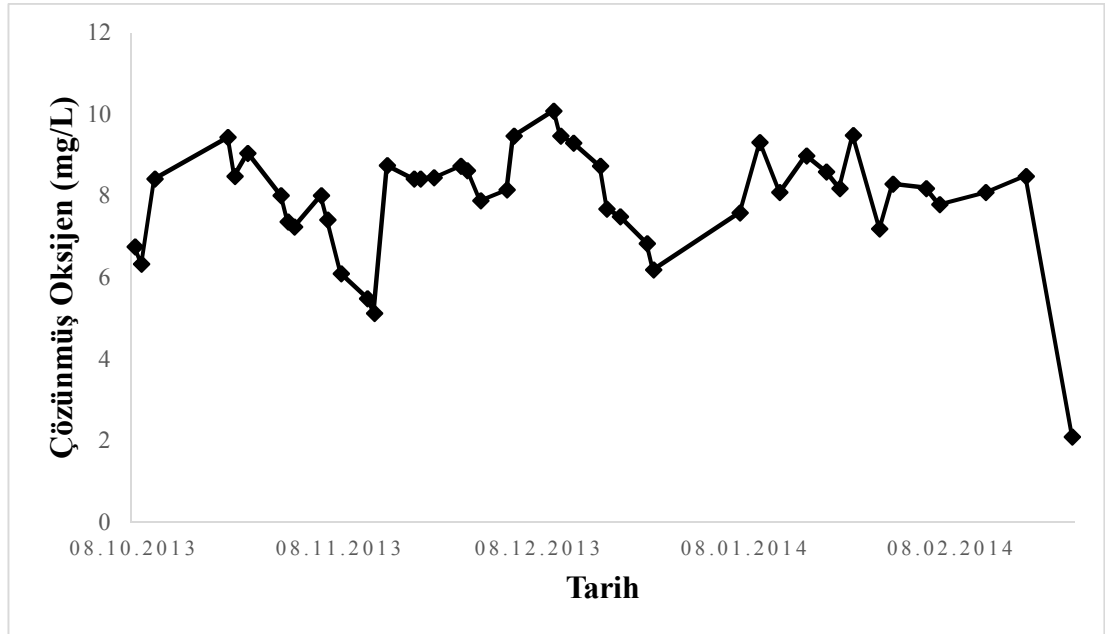
Şekil 4.2'de görüldüğü gibi reaktör içerisindeki pH değerleri oldukça değişmektedir. Reaktördeki pH değerleri 4.89 ile 6.26 arasında değişim göstermiştir, ortalama pH değeri ise 5.64±0.36 seviyelerindedir. pH değerlerindeki değişmelerin birçok nedeni bulunmaktadır. Reaktördeki blower kesikli olarak hava vermektedir, dolayısıyla tanktaki çözülmüş oksijen değerine bağlı olarak nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemleri gerçekleşmektedir. Nitrifikasyon işlemi gerçekleşirken nitrifikasyon bakterisi tarafından asit üretilmektedir, bu nedenle tanktaki pH değeri düşmektedir. Denitrifikasyon işleminde ise denitrifikasyon bakterisi tarafından OH⁻ iyonları açığa çıkarılmaktadır, bu nedenle de tanktaki pH değeri yükselmektedir. Bunlara ek olarak da bu iki proses pH'ı dengeliyor gibi gözükse de genel olarak reaktördeki pH düşme eğilimindedir. Reaktördeki pH ayarı için ise zaman zaman tanka sodyum hidroksit (NaOH) ilavesi yapılmaktadır. Grafikte görülen ani pH değişimlerinin nedeni, tanka

sodyum hidroksit (NaOH) ilavesinden sonra pH değerinin ani olarak yükselmesi fakat zaman geçtikçe tankta gerçekleşen biyolojik aktivite sonucu pH'ın tekrar yavaş yavaş düşmesi ve tekrar sodyum hidroksit (NaOH) ilavesi ile pH'ın tekrar yükselmesidir. Ayrıca reaktördeki pH değerleri 24 saat boyunca değişim göstermektedir ancak kaydedilen ve grafiğe dökülen pH değerleri günün herhangi bir saatinde seçilen bir zamandaki anlık değerlerdir.

4.1.3 Çözünmüş oksijen

Reaktördeki çözünmüş oksijen değerleri de tıpkı pH değerlerinde olduğu gibi 24 saat değişim göstermektedir fakat kaydedilen değerler günün herhangi bir saatinde rastgele olarak kontrol ekranında okunan değerlerdir.

Reaktör başlangıçta adaptasyon evresinde iken deneysel çalışmalara başlanmamış fakat çözünmüş oksijen değerleri yine de kaydedilmiştir. Bu evrede iken reaktör düşük yük modunda (ekonomi modu) çalıştırılmış yani sisteme oksijen sürekli halde verilmektedir bu nedenle de reaktörde gereğinden fazla oksijen bulunmaktadır. Düşük yük modu evresinde reaktördeki çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının değişimi grafik halinde Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

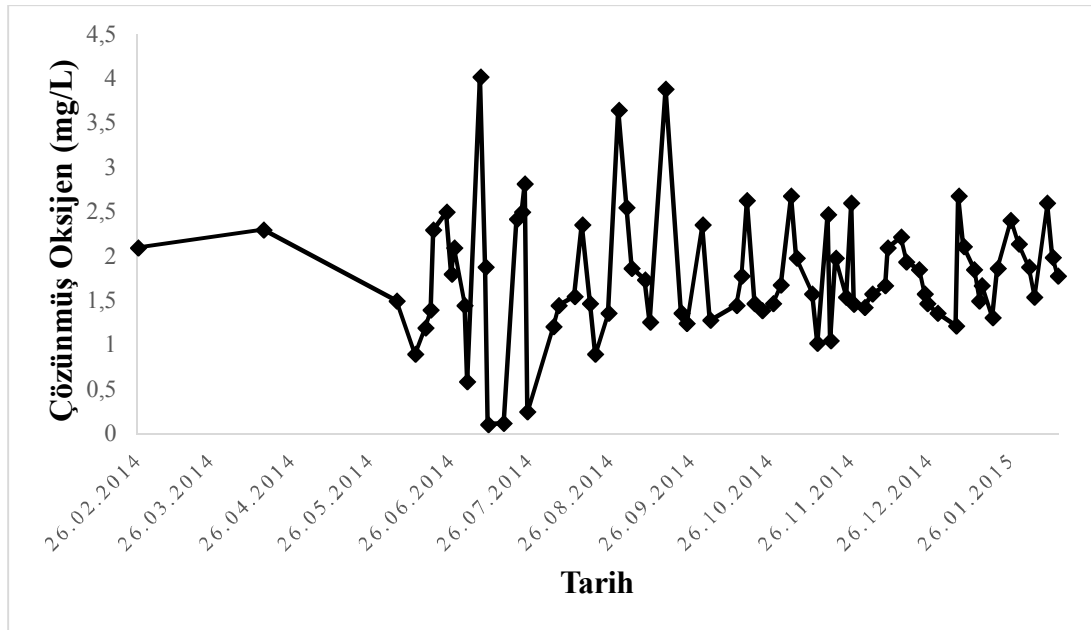


Şekil 4.3 : Düşük yük modunda çözünmüş oksijen değerleri.

Düşük yük modunda reaktördeki çözünmüş oksijen değerleri 5.13 mg/L ile 10.3 mg/L arasında değişim göstermiştir, ortalama değer ise 8.06 ± 1.79 mg/L seviyelerindedir. Alışma evresinde iken reaktörde denitrifikasyon da

yapılmadığından pH değerleri yüksek hızda sürekli düşme göstermiş ve bu nedenle reaktöre sürekli olarak sodyum hidroksit (NaOH) ilavesi yapılması zorunlu hale gelmiştir.

Adaptasyon evresinden sonra sistem normal işletme moduna göre işletilmiş ve bu süreçte reaktörde kesikli havalandırma yapılmıştır. Aynı tank içerisinde hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyon proseslerinin gerçekleşmesi için kesikli havalandırma yapılması gerekmektedir. Bu durumda da çözülmüş oksijen değerleri sürekli değişim göstermektedir. Normal işletme modunda reaktördeki çözülmüş oksijen değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.3’de gösterildiği gibidir.



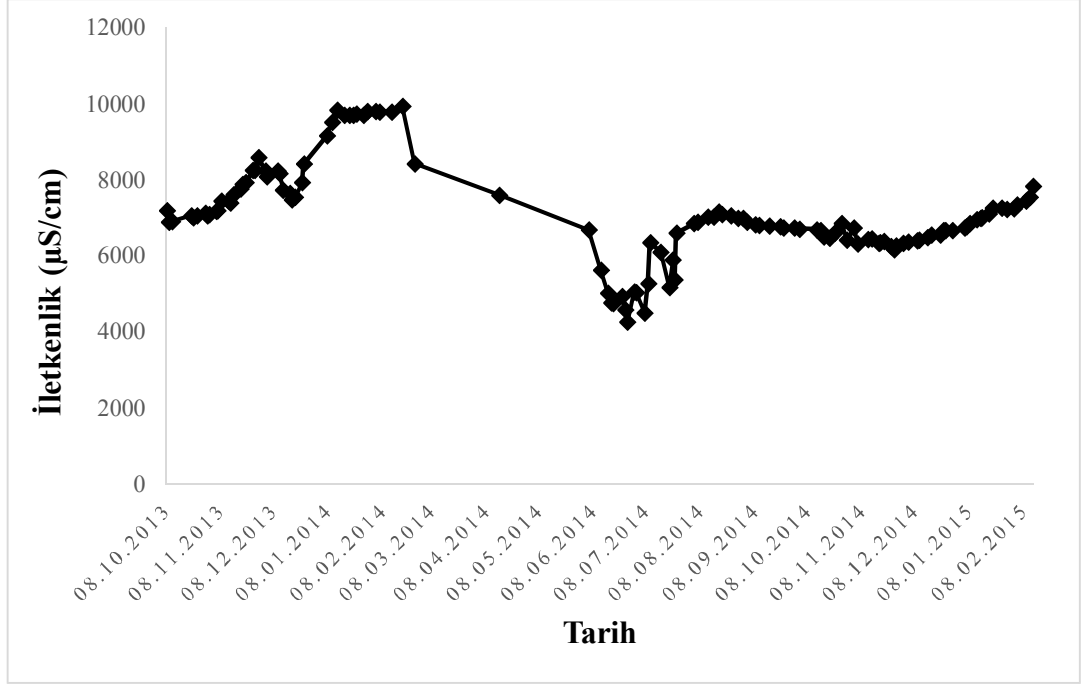
Şekil 4.4 : Normal işletme modunda çözülmüş oksijen değerleri.

Normal işletme modunda sisteme kesikli oksijen verilmesi nedeniyle ve okunan çözülmüş oksijen değerlerinin bir kısmının tanka verilen oksijenin kesildiği anda bir kısmının ise tanka oksijen verilen evrede kaydedilmesi nedeniyle değerler sürekli olarak değişim göstermektedir. Kaydedilen çözülmüş oksijen değerleri 0.11 mg/L ile 4.02 mg/L arasında değişim göstermektedir. Ortalama değer 1.07 ± 0.7 mg/L seviyelerindedir.

4.1.4 İletkenlik

Reaktör içerisindeki iletkenlik değerleri sürekli olarak probalar ile ölçülmektedir ve sürekli olarak değişim göstermektedir. Kaydedilen iletkenlik değerleri ise günün herhangi bir anındaki reaktördeki anlık iletkenlik değerleridir. Reaktör içerisindeki

iletkenlik değerleri 9948 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 4506 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişme göstermiştir. Ortalama iletkenlik değeri ise 7121 ± 1225 $\mu\text{S}/\text{cm}$ seviyelerindedir. Şekil 4.5’de reaktördeki iletkenlik değerlerinin değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Reaktördeki iletkenlik değerlerinin değişimi.

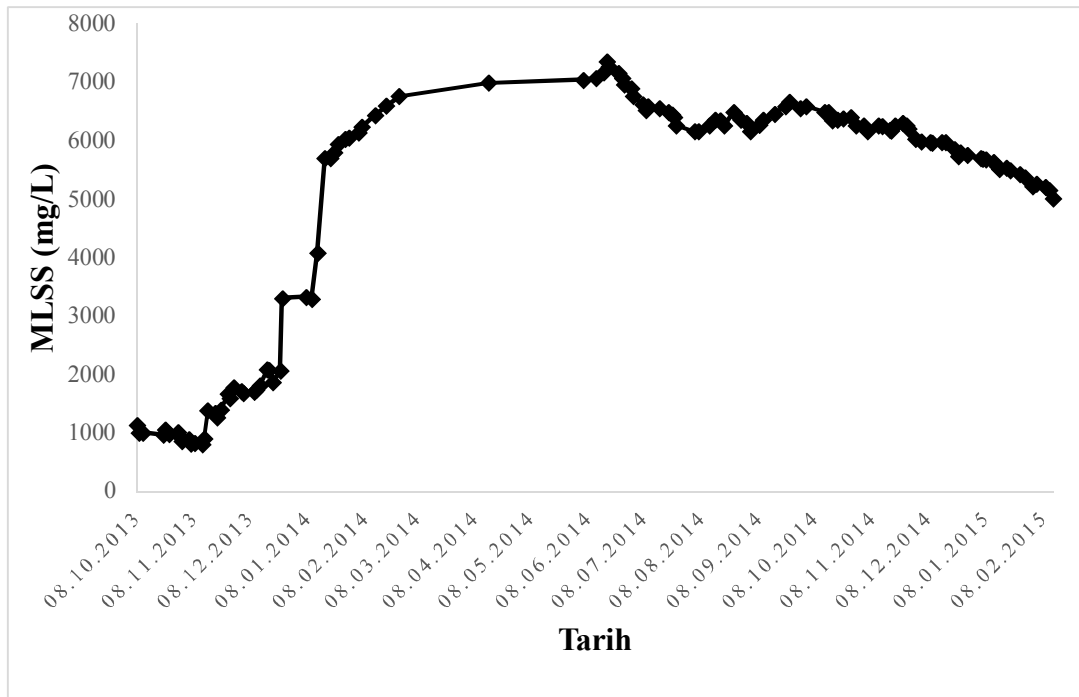
Şekil 4.5’de de görüldüğü gibi iletkenlik değerleri büyük oranda değişim göstermiştir. Adaptasyon süresi boyunca (ekonomi modunda işletim) iletkenlik değerleri değişkenlik göstermiş bunun sebepleri ise bu dönemde denitrifikasyonun olmaması bu nedenle pH değerlerinin sürekli düşme eğilimi göstermesi ve pH ayarı için reaktöre sürekli sodyum hidroksit eklenmesinin zorunluluğudur. Reaktöre eklenen sodyum hidroksit nedeniyle de iletkenlik değerleri yükselme göstermektedir. Bunun yanında reaktörün atmosfere açık olması ve blowerın da etkisiyle sürekli havaya karışan su damlacıkları sayesinde reaktörde sürekli olarak bir buharlaşmanın olması ve su hacminin bir miktar azalmasıdır. Azalan su hacmi ile de reaktör içerisindeki çözülmüş maddelerin konsantrasyonunda yoğunlaşma ve buna bağlı olarak iletkenlik değerlerinde artma gözlenmiştir.

Reaktördeki iletkenlik değeri bir dönem aşırı yükselme göstermiş ve maksimum okuma değeri olan 9999 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerinin de üzerine çıkmıştır. Bu durumu kontrol altına almak amacıyla reaktöre giren atıksu debisi arttırılmış ve bekletme süresi düşürülmüş bir müddet iletkenlik değeri düşene kadar bu şekilde işletme yapılmıştır, grafikte görülen ani düşüşün nedeni de budur.

Normal modda işletme süresince de yine pH ayarlamaları ve reaktörden buharlaşma nedeniyle iletkenlik değerlerinde değişimler gözlemlenmiş, iletkenlik değeri genel olarak yükselme eğilimi göstermesine rağmen müdahale edilip değerin düşmesi sağlanmamıştır.

4.1.5 MLSS

Reaktördeki MLSS değerleri sürekli olarak problemler ile ölçülmekte fakat kaydedilen değerler günün herhangi bir saatindeki rastgele değerlerdir. MLSS'deki değişimler Şekil 4.6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 4.6 : Reaktördeki MLSS değerlerinin değişimi.

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi MLSS değerleri oldukça değişim göstermektedir. Reaktör içerisindeki MLSS değerleri 800 mg/L ile 7356 mg/L arasında değişim göstermiş ve ortama olarak 4935 ± 2148 mg/L civarında seyretmiştir.

Başlangıç aşaması olan adaptasyon döneminde reaktör içerisindeki biyokütle miktarının artması beklenmiş ve bu sürede de deneysel çalışma yapılmamıştır. Grafikten de görüldüğü gibi MLSS değerleri artış göstermiş ve 6989 mg/L değerine kadar yükseldiğinde deneysel çalışmalara başlanmıştır. MLSS değerleri yüksek değerlere ulaştığından artık eskisi kadar büyük bir hızla yükselmeye gerek duyulmamış ve bundan sonraki artışlar yavaş yavaş gerçekleşmiştir ve zaman zaman düşme eğilimi gösterse de reaktör içerisinde yeterli biyokütle bulunduğundan

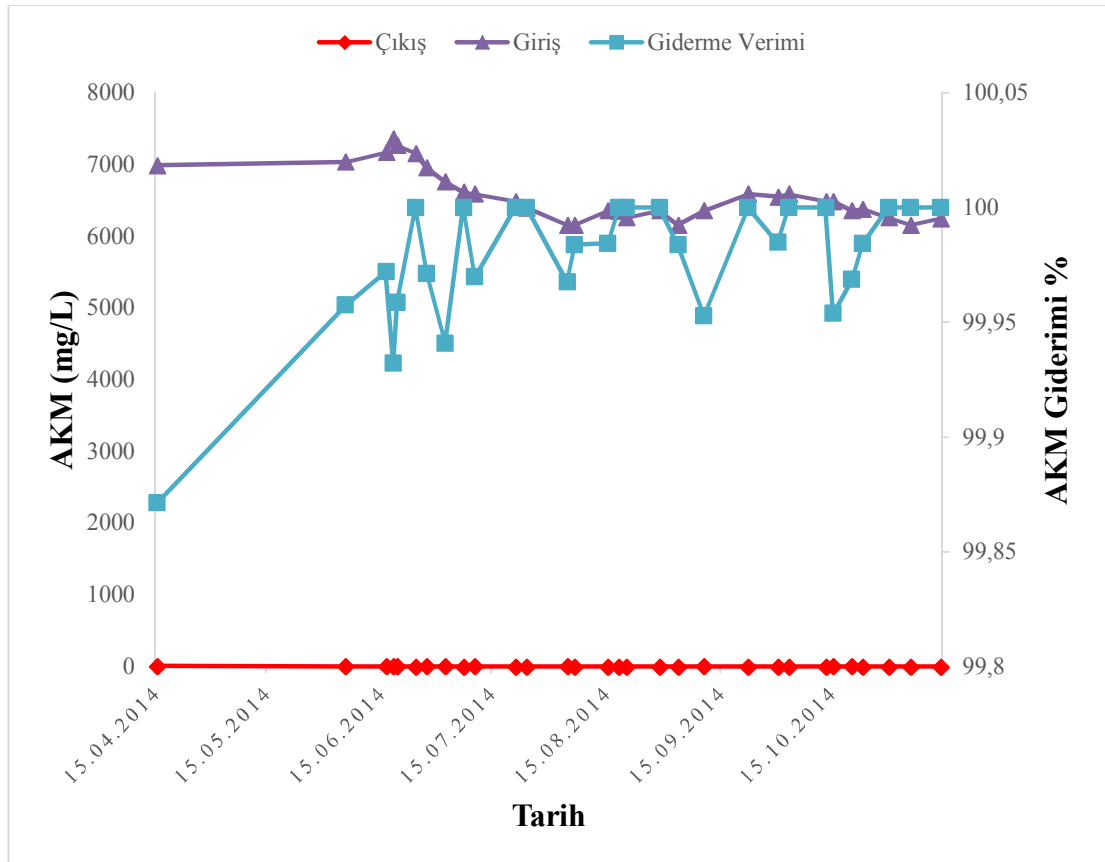
müdahale edilmemiştir. Normal işletme modundan sonraki adımda reaktör geri devirli şekilde işletilmiş ve bu nedenle reaktördeki biyokütlenin bir kısmı besleme tankına verilmiştir. Bu nedenle de geri devirli işletme şartlarında biyokütle miktarında azalma gözlemlenmiştir.

4.2 Geri Devirsiz İşletme Süresince Arıtma

Reaktör geri devir yapılmadan normal işletme modunda kesikli oksijen verilerek bir süre işletilmiştir ve yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular ve giderim verimleri kaydedilmiştir.

4.2.1 AKM

Pilot ölçekli reaktörde yapılan deneysel çalışmalarda sentetik atıksu kullanıldığından orijinal giriş suyunun askıda katı madde konsantrasyonu 0 mg/L'dir fakat giderim verimi hesaplanırken reaktör içerisindeki biokütleden (MLSS) kaynaklanan askıda katı madde dikkate alınmıştır. MLSS giriş, çıkış ve giderme verimleri Şekil 4.7'de görüldüğü gibidir.

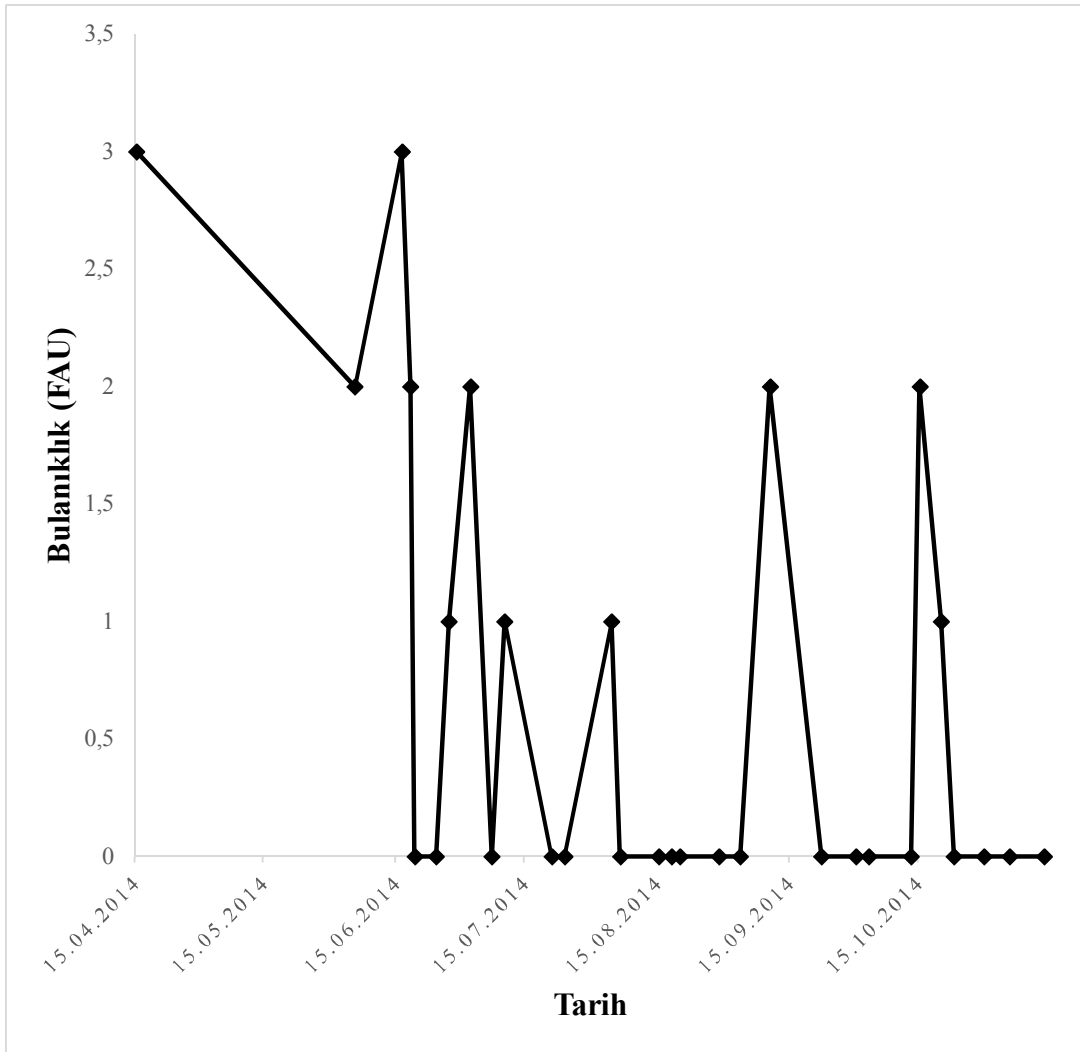


Şekil 4.7 : AKM giderim verimleri.

Askıda katı madde giriş değerleri 6158 mg/L ile 7356 mg/L arasında değişmektedir, ortalama olarak ise 6543 ± 323 mg/L'dir. Askıda katı madde çıkış değerleri 4 mg/L ile 0 mg/L arasında değişmektedir, ortalama olarak ise 1.5 ± 1.28 mg/L'dir. Giderim verimleri ise % 99.87 ile % 100 arasında değişmekte, ortalama olarak % 99.97 ± 0.028 'dir.

4.2.2 Bulanıklık

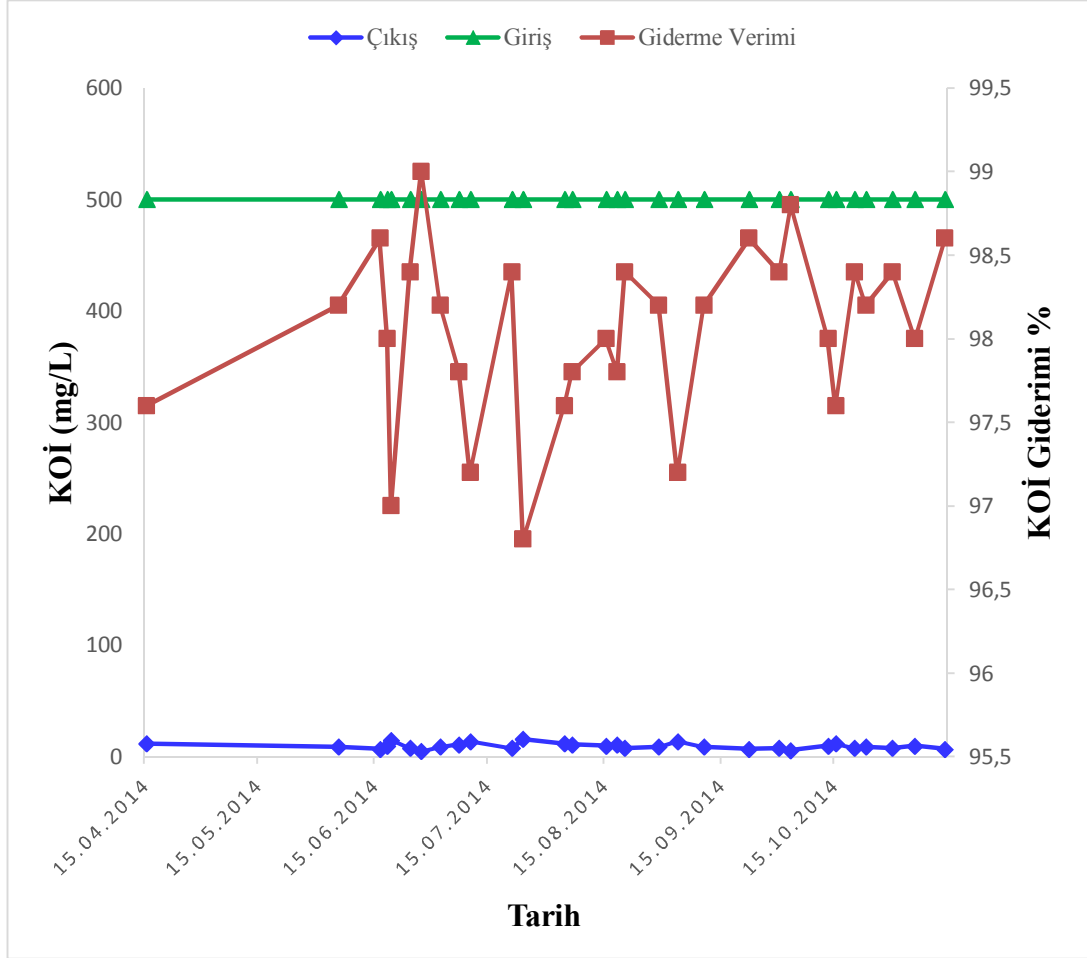
Bulanıklık değerleri yalnızca çıkış suyunda ölçülmüştür. Çıkış suyu kalitesinin belirlenmesi açısından askıda katı madde konsantrasyonlarının ölçülmesi aslında yeterli olmasına rağmen, alternatif olarak bulanıklık değerleri de ölçülmüştür. Bulanıklık değerleri 3 FAU ile 0 FAU arasında değişmiş ve ortalama olarak 0.66 ± 0.57 FAU değerindedir. Şekil 4.8'de çıkış bulanıklık değerlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 4.8 : Bulanıklık değerleri.

4.2.3 KOİ

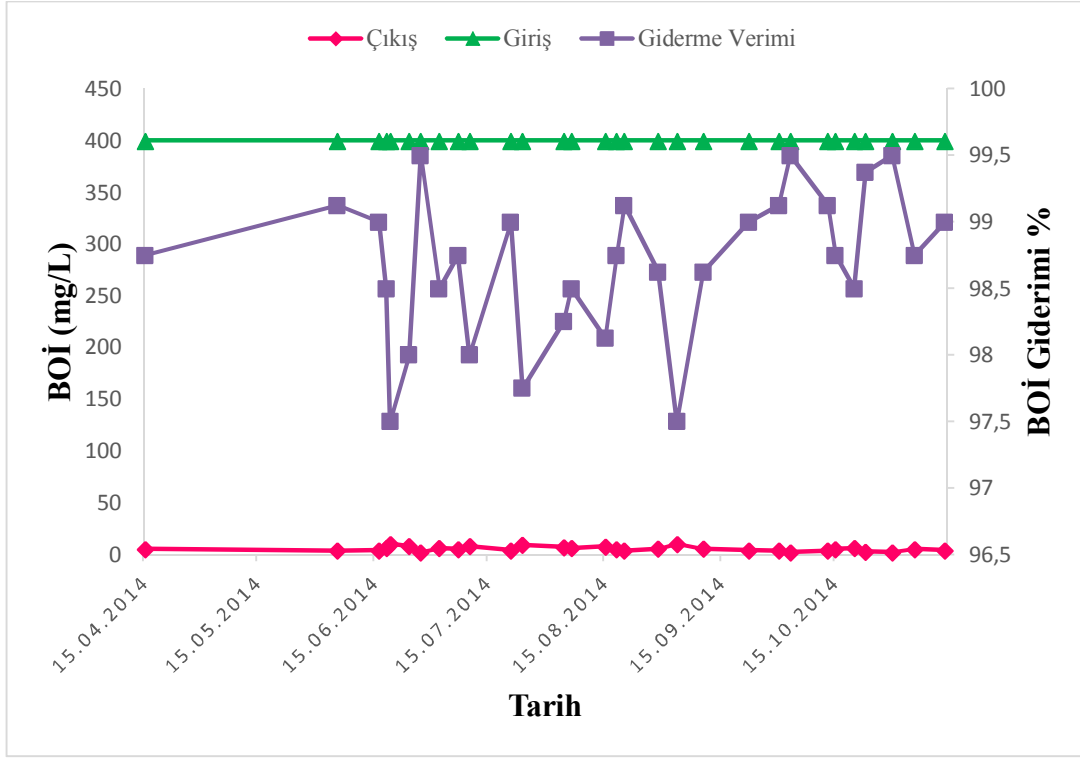
Giriş suyunun KOİ değeri sabit olup yaklaşık olarak 500 mg/L'dir. Çıkış suyunun KOİ değeri ise 5 mg/L ile 16 mg/L arasında değişmekte ve ortalama olarak ise 9.76 ± 2.6 mg/L'dir. KOİ giderme verimleri % 97 ile % 99 arasında değişmekte ve ortalama olarak 98 ± 0.5 'dir. Çıkış KOİ değerinin değişimi ve giderme verimleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 : KOİ giderme verimleri.

4.2.4 BOİ

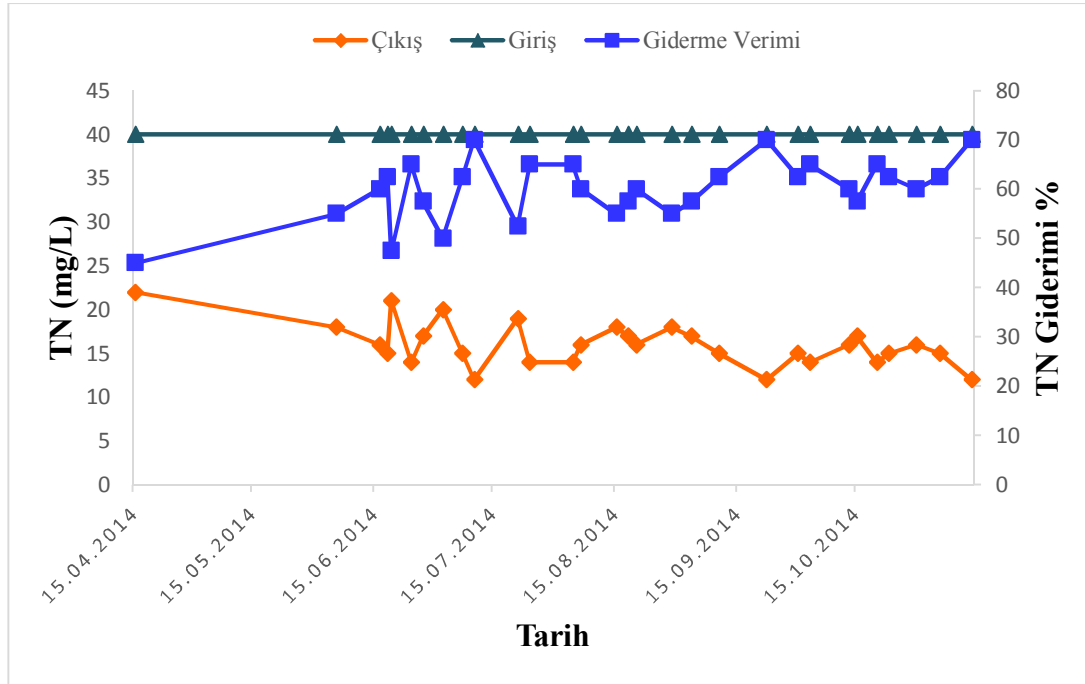
Giriş suyunun BOİ değeri sabit olup yaklaşık olarak 400 mg/L'dir. Çıkış suyunun BOİ değeri ise 2 mg/L ile 10 mg/L arasında değişmekte ve ortalama olarak ise 5.26 ± 2.18 mg/L'dir. BOİ giderme verimleri % 97 ile % 99.12 arasında değişmekte ve ortalama olarak 98 ± 0.5 'dir. BOİ ve KOİ arasında sabit bir mevcut olup, BOİ giderme verimlerinin KOİ giderme verimlerine benzer şekilde sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Çıkış BOİ değerinin değişimi ve giderme verimleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : BOİ giderme verimleri.

4.2.5 Toplam azot

Toplam azot değeri giriş atıksuyu için sabit olup 40 mg/L'dir. Çıkış suyunun toplam azot değerleri 12 mg/L ile 22 mg/L arasında değişmekte ve ortalama olarak 16 ± 2.42 mg/L'dir.

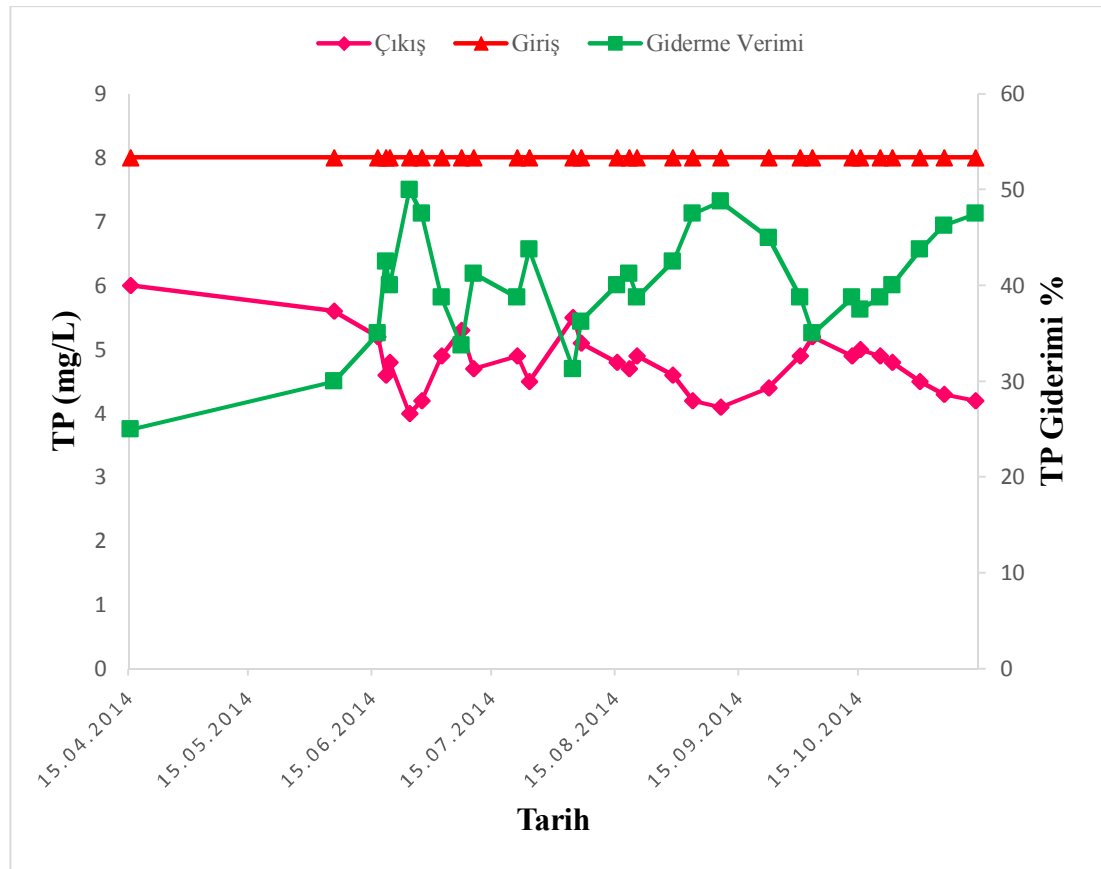


Şekil 4.11 : Toplam azot giderimi.

Toplam azot giderme verimleri % 45 ile % 70 arasında değişmekte ve ortalama olarak % 60±6'dır. Toplam azot değerlerinin giriş, çıkış ve giderme verimlerindeki değişimin grafiği Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

4.2.6 Toplam fosfor

Toplam fosfor değeri giriş atıksuyu için sabit olup 8 mg/L'dir. Çıkış suyunun toplam fosfor değerleri 4 mg/L ile 6 mg/L arasında değişmekte ve ortalama olarak 4.79±0.45 mg/L'dir. Toplam fosfor giderme verimleri % 25 ile % 50 arasında değişmekte ve ortalama olarak % 40.1±5.6'dır. Toplam fosfor değerlerinin giriş, çıkış ve giderme verimlerindeki değişimin grafiği Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

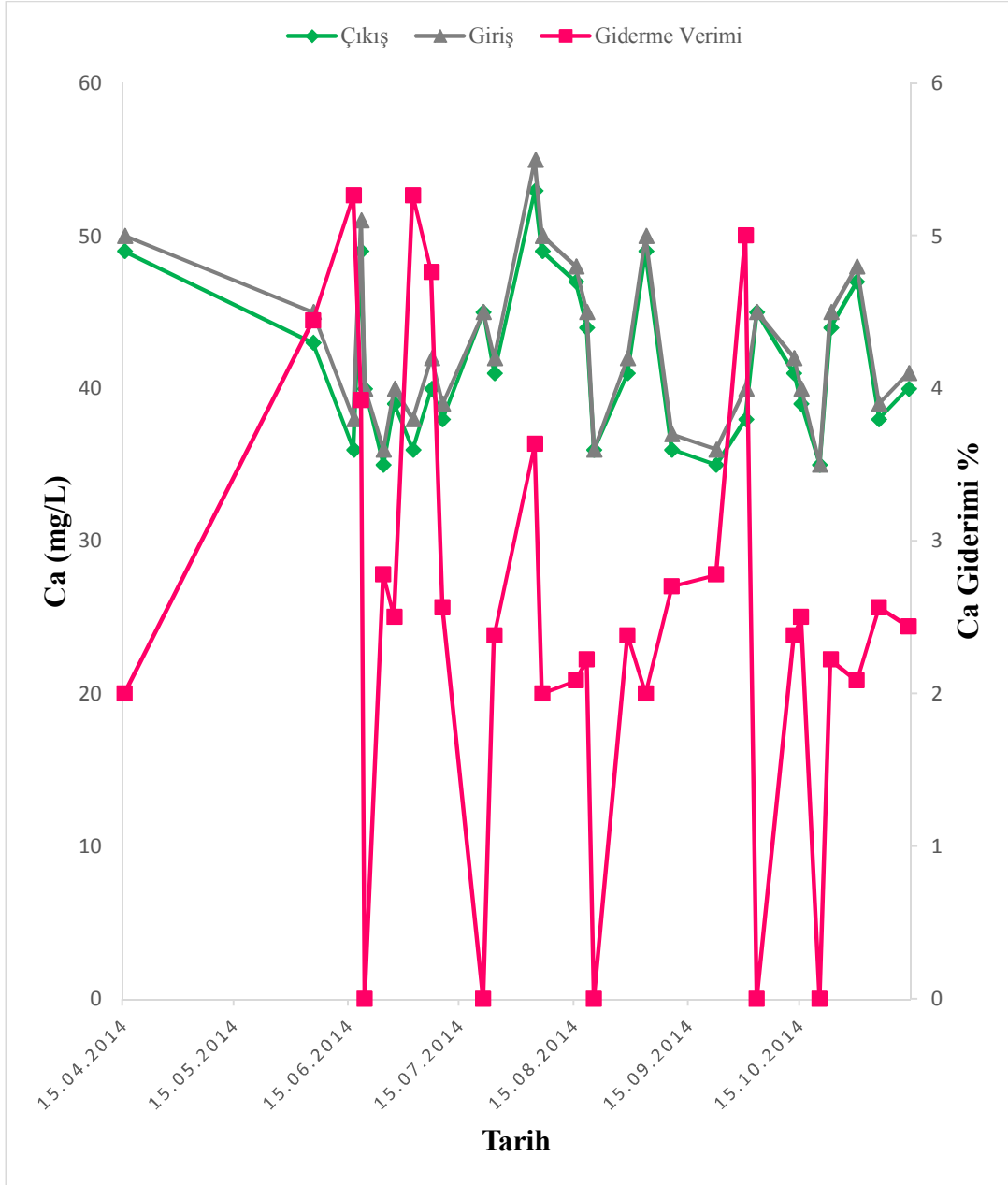


Şekil 4.12 : Toplam fosfor giderimi.

4.2.7 Kalsiyum

Giriş suyunda bulunan kalsiyum şebeke suyunda bulunan kalsiyumdan ve sisteme eklenen kalsiyum klorür (CaCl₂)'den ileri gelmektedir. Çalışmada kullanılan membran UF membranı olduğundan iki değerlikli iyonları etkin bir şekilde tutamaz bu nedenle sistemde kalsiyum giderimi oldukça düşüktür veya hiç giderim olmamaktadır. Giriş atıksuyunun kalsiyum değerleri 36 mg/L ile 55 mg/L arasında

değişmekte ve ortalama olarak 42.6 ± 5.1 mg/L'dir. Çıkış suyunun ortalama kalsiyum değerleri 35 mg/L ile 49 mg/L arasında değişmekte ve ortalama olarak 41.6 ± 5 mg/L'dir. Kalsiyum giderme verimleri % 0 ile % 5.26 arasında değişmekte ve ortalama olarak 2.49 ± 1.82 'dir. Kalsiyumun giriş, çıkış ve giderim verimindeki değişimler Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



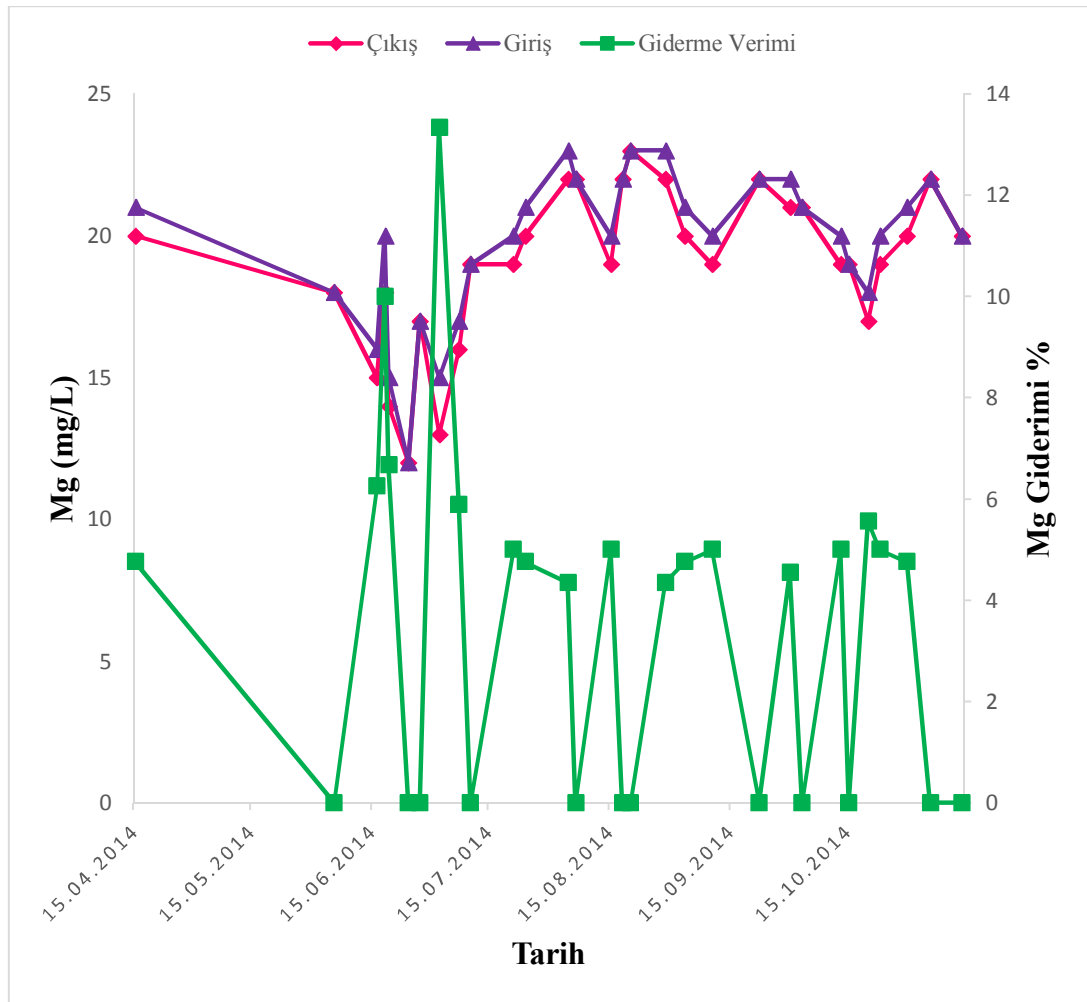
Şekil 4.13 : Kalsiyum giderimi.

Şekil 4.13'de de görüldüğü üzere UF membranında kalsiyum gideriminin olmadığı kabul edilebilir bu nedenle UF sistemi kullanılıyor ise kalsiyum giderimi olup olmadığına bakılması mantıklı değildir. Kalsiyum, magnezyum ve sodyum konsantrasyonları ve oranları SAR parametresinin hesaplanmasında önemlidir bu

nedenle SAR parametresinin belirlenmesi için yalnızca giriş suyunun analizlerinin yapılması yeterli olacaktır. Atıksuyun sulamada kullanmaya uygun olup olmadığı ham atıksuda bulunan değerlere bağlıdır.

4.2.8 Magnezyum

Magnezyum iyonları şebeke suyundan ve sisteme eklenen magnezyum sülfat ($MgSO_4$)'dan kaynaklanmaktadır. Magnezyum giderimi UF membranında beklenen bir durum değildir ve bu nedenle çıkış suyunda ayırdan test edilmesine gerek yoktur, yalnızca giriş suyunda test edilmesi yeterli olacaktır. Bu çalışmada yine de giriş ve çıkış magnezyum değerleri ölçülmüş ve Şekil 4.14'de giderim verimleri ile beraber verilmiştir.



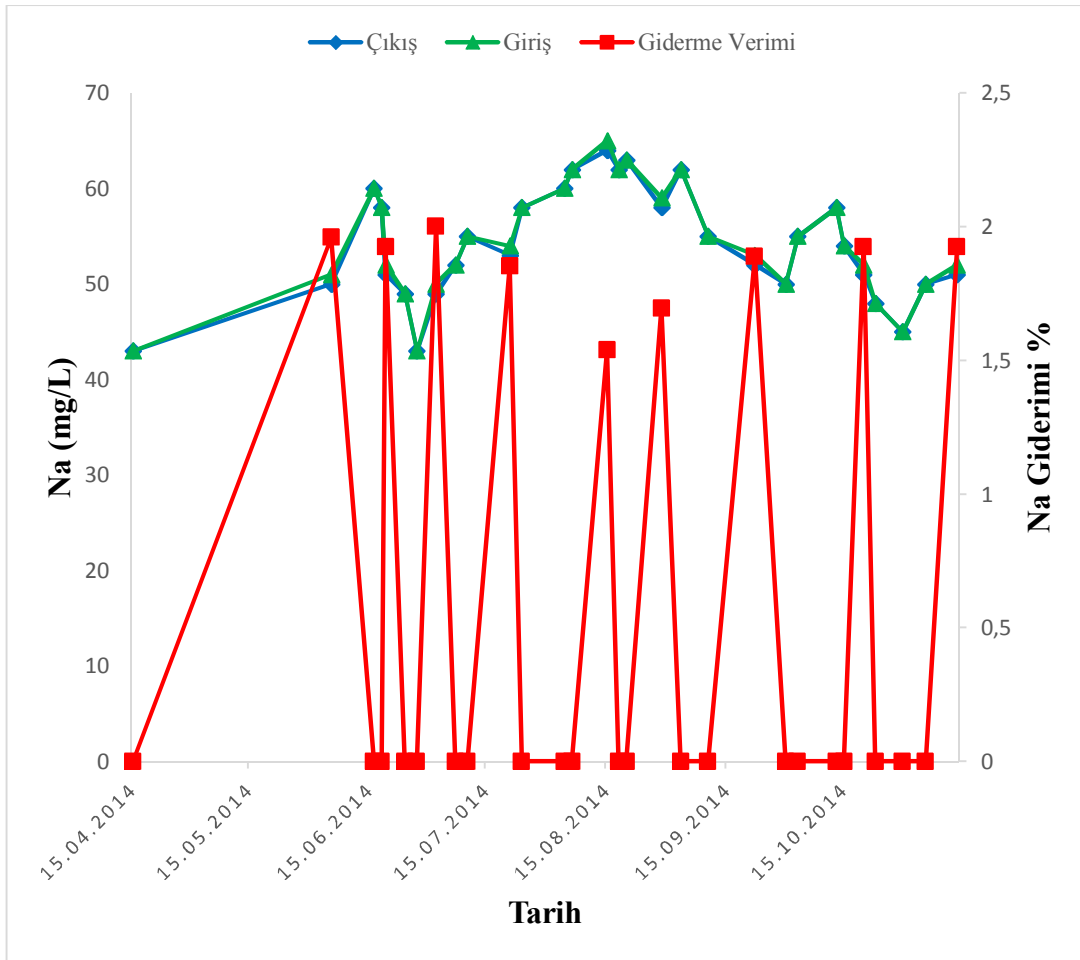
Şekil 4.14 : Magnezyum giderme verimleri.

Giriş ve çıkış atıksuyu magnezyum değerleri 12 mg/L ile 23 mg/L arasında değişmekte, giriş değeri ortalama olarak 19.66 ± 2.6 mg/L, çıkış değeri ise 19 ± 2.75 mg/L'dir. Magnezyum giderme verimleri % 0 ile % 13.3 arasında değişmekte ve

ortalama olarak 3.4 ± 3.3 'dir. Magnezyum değerleri kalsiyum ve sodyum değerleri ile birlikte SAR parametresinin hesaplanmasında kullanılmakta olup bu değer sulama suyu kullanımında oldukça önemlidir.

4.2.9 Sodyum

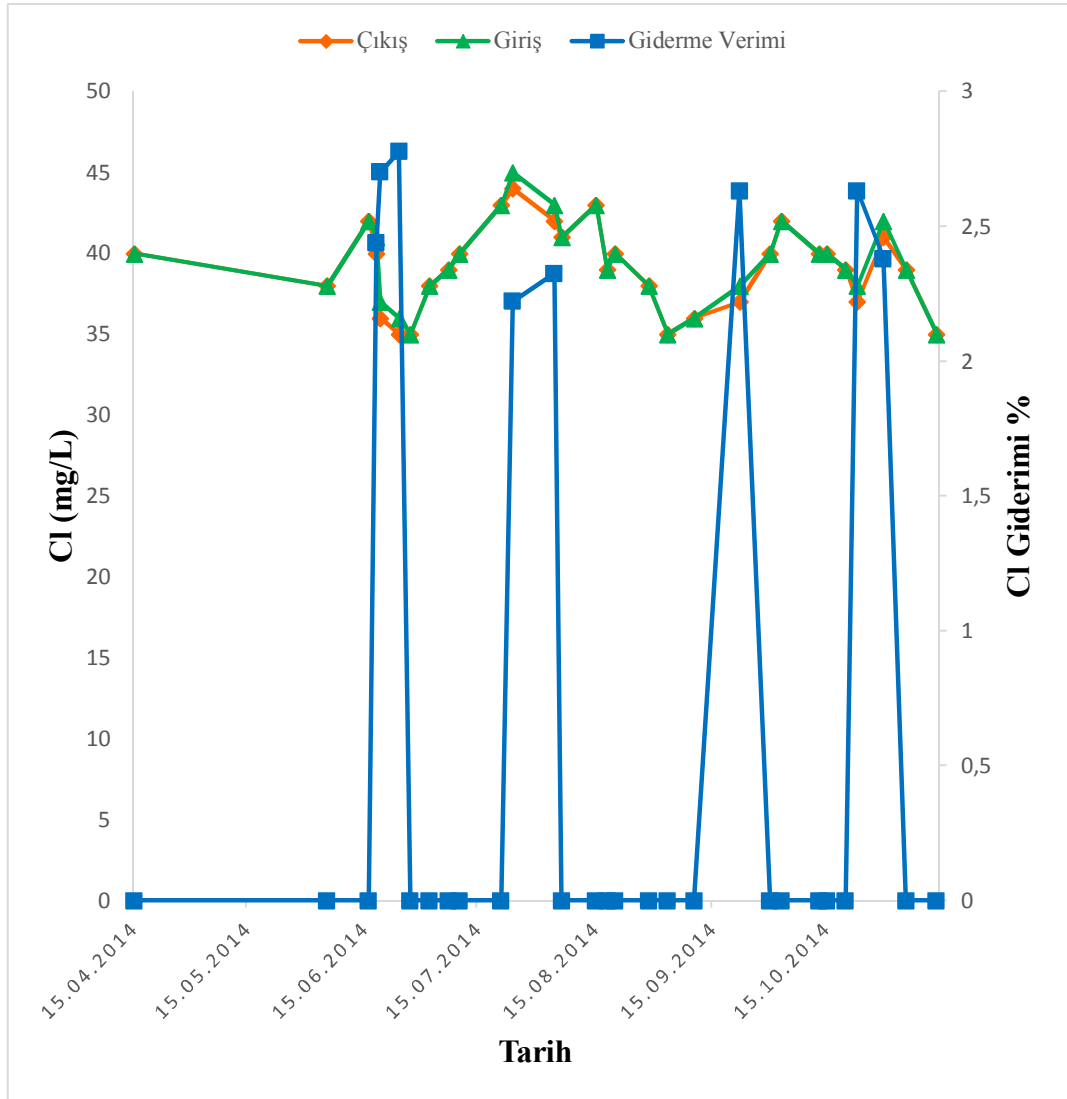
Sodyum konsantrasyonu şebeke suyundan ve tanka pH ayarlamak amacıyla eklenen sodyum hidroksit (NaOH)'den kaynaklanmaktadır. UF membranı iki değerlikli iyonları etkili biçimde tutmadığı gibi tek değerlikli sodyum iyonlarını da tutmaz. Bu nedenle giriş suyu sodyum konsantrasyonları önemlidir. Giriş sodyum konsantrasyonları 43 mg/L ile 65 mg/L arasında değişmekte ve ortalama olarak 54.33 ± 5.7 mg/L'dir. Çıkış suyu sodyum konsantrasyonları 43 mg/L ile 64 mg/L arasında ve ortalama olarak 54.03 ± 5.7 mg/L'dir. Sodyum giderim verimleri % 0 ile % 1.96 arasında değişmekte ve ortalama 0.55 ± 0.45 'dir. Sodyum konsantrasyonlarının giriş, çıkış ve giderim verimleri grafiksel olarak Şekil 4.15'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 : Sodyum giderimleri.

4.2.10 Klorür

Klorür konsantrasyonları sulama suyu kullanımında özgül iyon toksisitesi bakımından önem taşımaktadır. Klorür konsantrasyonları şebeke suyundan ve reaktöre eklenen kalsiyum klorür (CaCl_2)'den kaynaklanmaktadır. Sodyum iyonlarında olduğu gibi UF membranları tek değerlikli olan klorür iyonlarını da tutamaz. Bu nedenle giriş suyundaki klorür konsantrasyonları önem taşımaktadır. Giriş klorür konsantrasyonları 35 mg/L ile 45 mg/L arasında değişmekte ve ortalama 39.4 ± 2.55 mg/L'dir. Çıkış klorür konsantrasyonları 35 mg/L ile 44 mg/L arasında değişmekte ve ortalama 39.13 ± 2.52 mg/L'dir. Klorür giderme verimleri % 0 ile % 2.77 arasında değişmekte ve ortalama olarak 0.67 ± 0.52 'dir. Klorür konsantrasyonlarının giriş, çıkış ve giderme verimleri Şekil 4.16'da grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.16 : Klorür giderimleri.

4.2.11 Toplam koliform

Sulama suyu kalite sınıflandırmasında mikrobiyolojik kalite en önemli parametredir ve bu nedenle de toplam koliform değerleri oldukça önem kazanmaktadır. Toplam koliform sulama suyu kullanımında mikrobiyolojik kalite bakımından önem taşımaktadır.

Ultrafiltrasyon (UF) membranı bakteri ve virüsleri etkin bir şekilde tutmakta ve steril bir çıkış suyu sağlamaktadır. Elde edilen arıtılmış atıksuyun ayrıca ek olarak bir dezenfeksiyon işlemine tabi tutulmasına gerek yoktur. Yapılan analizler sonucunda çıkış suyunda toplam koliform bakteri miktarı 0 adet/100 ml olarak bulunmuştur.

4.2.12 Sodyum adsorpsiyon oranı

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanımında en önemli parametrelerden birisidir. SAR su içerisindeki kalsiyum, magnezyum ve sodyum değerlerinin oranlanması ile hesaplanır ve sudaki sodyum iyonlarının baskın olduğu durumu gösterir. SAR parametresinin düşük olması istenmektedir ve özellikle sodyum toksisitesinin belirlenmesi bakımından oldukça önemlidir. SAR parametresi sudaki toplam çözülmüş madde konsantrasyonu ile karşılaştırılarak geri kazanılmış atıksuyun sulamada kullanıma uygun olup olmadığı incelenmektedir. Sodyum adsorpsiyon oranı birimsiz olup, Denklem 4.1'deki formül ile hesaplanmaktadır (AATTUT, 2010).

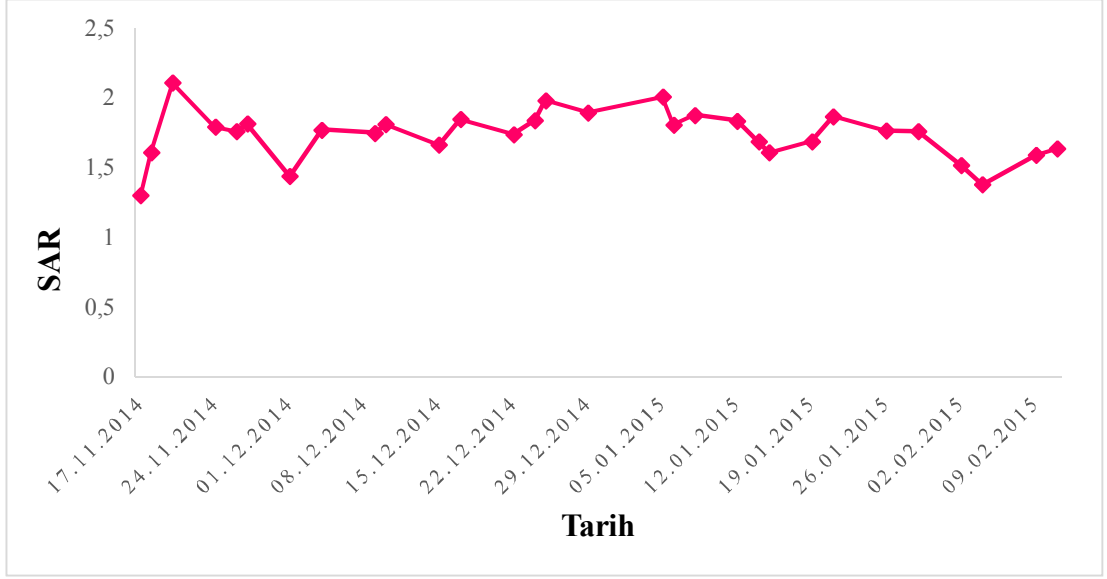
$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (4.1)$$

Na; Sudaki sodyum iyonu konsantrasyonu (meq/L)

Ca; Sudaki kalsiyum iyonu konsantrasyonu (meq/L)

Mg; Sudaki magnezyum iyonu konsantrasyonunu (meq/L) ifade etmektedir (AATTUT, 2010).

Denklem 4.1'deki formüle göre elde edilen kalsiyum, magnezyum ve sodyum değerleri formülde yerlerine konularak SAR değerleri hesaplanmıştır. SAR değerleri 1.3 ile 2.11 arasında değişmekte ve ortalama olarak 1.74 ± 0.17 değerindedir. SAR değerlerinin zamana bağlı değişiminin grafiği Şekil 4.17'de gösterildiği gibidir.



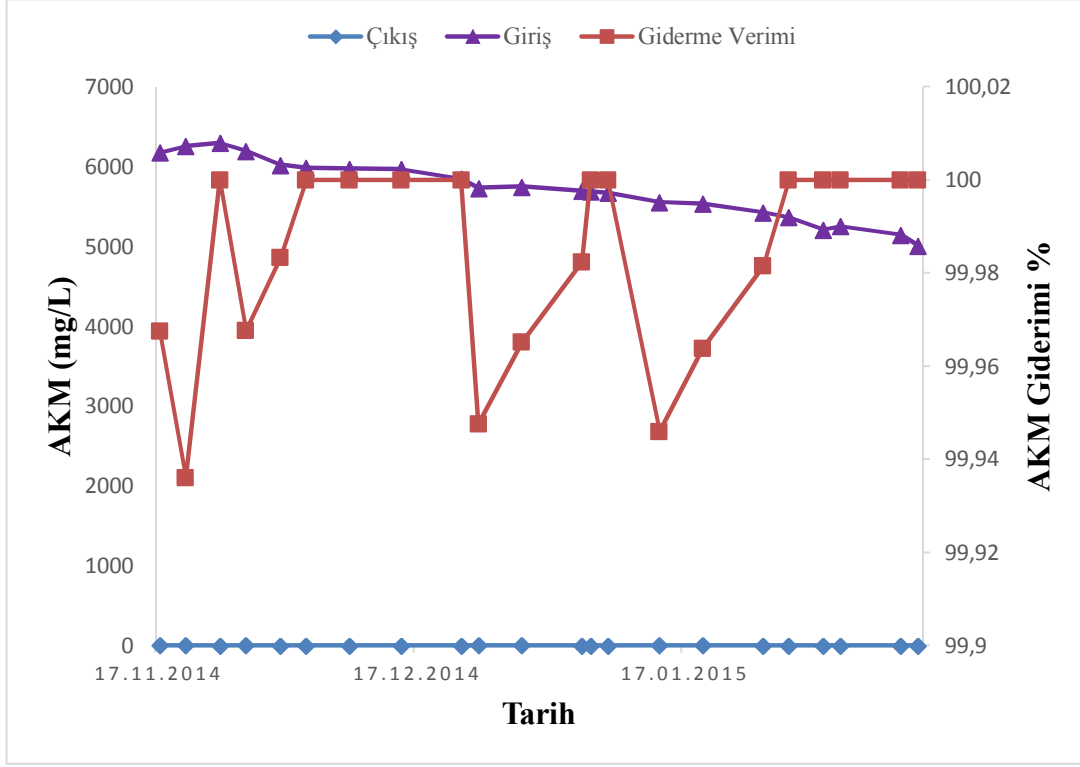
Şekil 4.17 : SAR değerlerinin zamana bağlı değişimi.

4.3 Geri Devirli İşletme Süresince Artırma

Sistemdeki giderim verimlerinde herhangi bir değişiklik olup olmadığını belirlemek amacıyla, reaktör bir süre de geri devirli şekilde işletilmiştir. Reaktör tabanında bulunan vana bir miktar açılarak buradan sabit debiyle bir miktar atıksu sürekli olarak besleme tankına alınmıştır. Reaktördeki atıksu artırılmış olduğundan içeriğindeki KOİ, BOİ, TN ve TP gibi parametrelerde azalma mevcuttur. Bu nedenle besleme tankına geri alınan atıksuya yeniden sentetik atıksu bileşenlerinden glikoz önceki çalışmada eklenen miktar kadar eklenmiş, üre, potasyum dihidrojen fosfat ve dipotasyum hidrojen fosfat bileşenlerinden ise önceki çalışmada eklenen miktarların yarısı kadarı eklenmiştir. Bu nedenle önceki çalışmada olduğu gibi giriş suyu değerleri artık sabit değil değişken hale gelmiştir. Sistemde geri devir ettirilen atıksu sabit bir debiyle ve reaktör hacmi 500 L’de sabit tutulacak şekilde ayarlanmaktadır. Sistemdeki kalsiyum, magnezyum, sodyum ve klorür giderimleri geri devir ile ilgili olmadığından ve UF membranında önemli miktarda giderimleri yapılmadığı kabul edilerek ayrıca geri devirli işletme modu için giderim verimleri araştırılmamıştır.

4.3.1 AKM

Reaktörden besleme tankına atıksu geri devir ettirildiğinden, bir miktar çamur da beraberinde besleme tankına girmektedir. Bu nedenle reaktördeki MLSS konsantrasyonu sürekli azalma eğilimindedir. AKM giderimindeki değişim grafiksel olarak Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

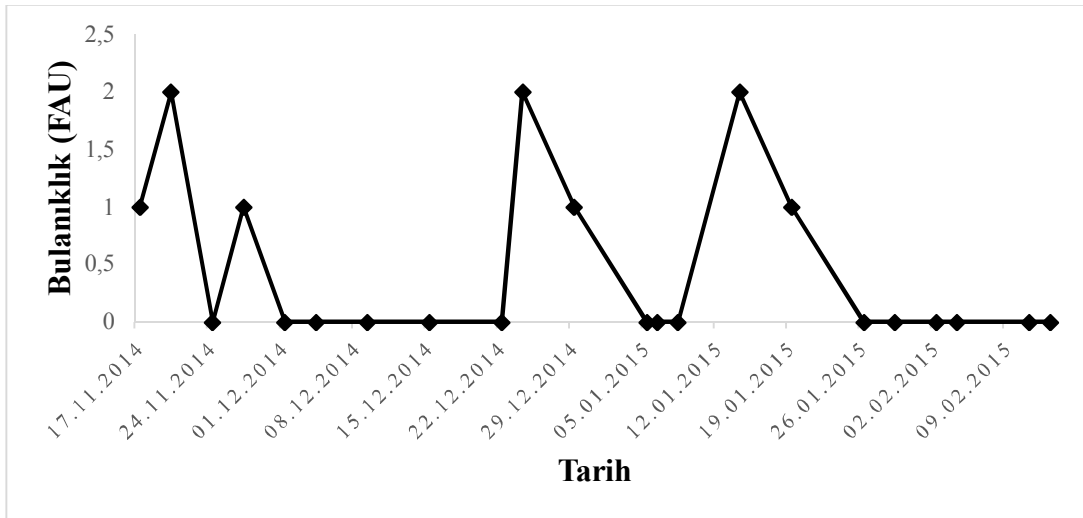


Şekil 4.18 : AKM giderimi.

Giriş AKM konsantrasyonu (MLSS) 6301 mg/L ile 5014 mg/L arasında değişmiş, ortalama olarak 5718 ± 365 mg/L'dir. Çıkış AKM konsantrasyonu 0 mg/L ile 4 mg/L arasında değişmiş ortalama olarak $0,95 \pm 0,86$ mg/L'dir. Giderim verimleri % 99,93 ile % 100 arasında değişmiş ve ortalama $99,98 \pm 0,02$ 'dir.

4.3.2 Bulanıklık

Bulanıklık çıkış değerleri Şekil 4.19'de gösterildiği gibidir.

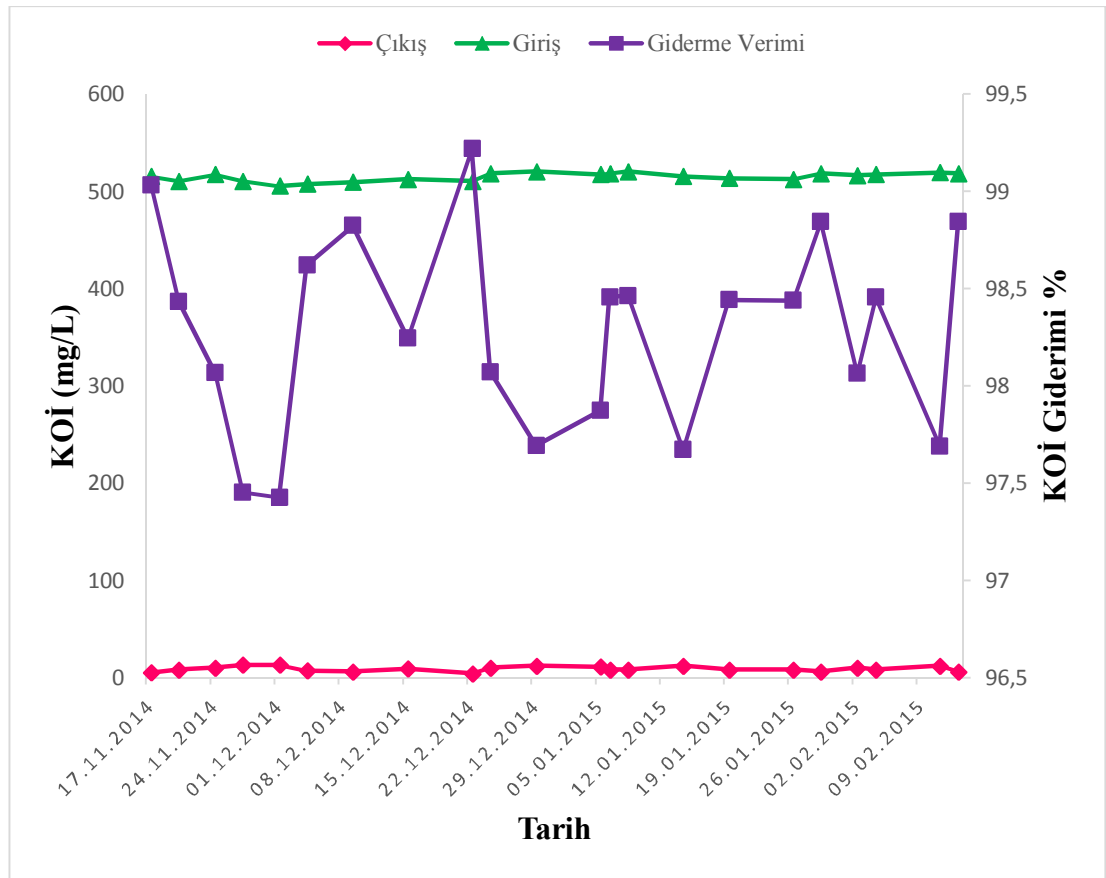


Şekil 4.19 : Çıkış bulanıklık değerleri.

Çıkış bulanıklık değerleri birbirlerine oldukça yakındır ve bu nedenle de grafik küçük bir alanda çizilmiştir. Çıkış bulanıklık değerleri 0 FAU ile 2 FAU arasında değişmekte ve ortalama 0.45 ± 0.42 FAU'dır.

4.3.3 KOİ

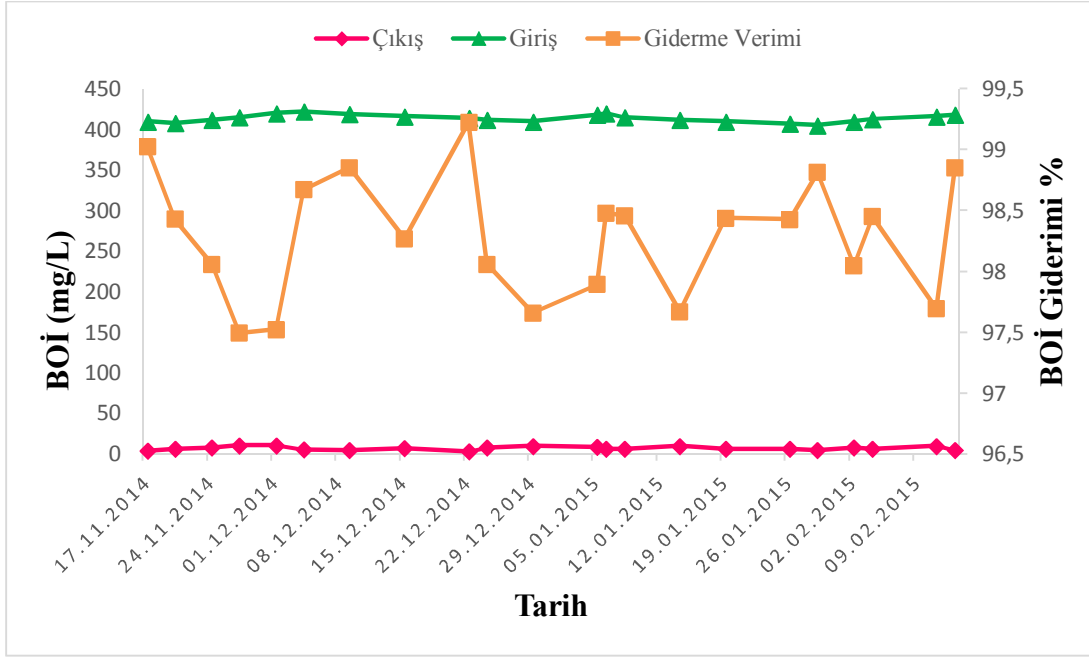
KOİ giriş değerleri 505 mg/L ile 520 mg/L arasında değişme göstermiştir ve ortalama olarak 514 ± 4.2 mg/L'dir. Çıkış değerleri 4 mg/L ile 13 mg/L arasında değişmekte ve ortalama olarak 8.8 ± 2.5 mg/L'dir. KOİ giderim verimleri Şekil 4.20'da gösterilmiştir. Giderim verimleri % 97.42 ile % 99.21 arasında değişmekte ve ortalama $\% 99.28 \pm 0.49$ 'dır.



Şekil 4.20 : KOİ giderimleri.

4.3.4 BOİ

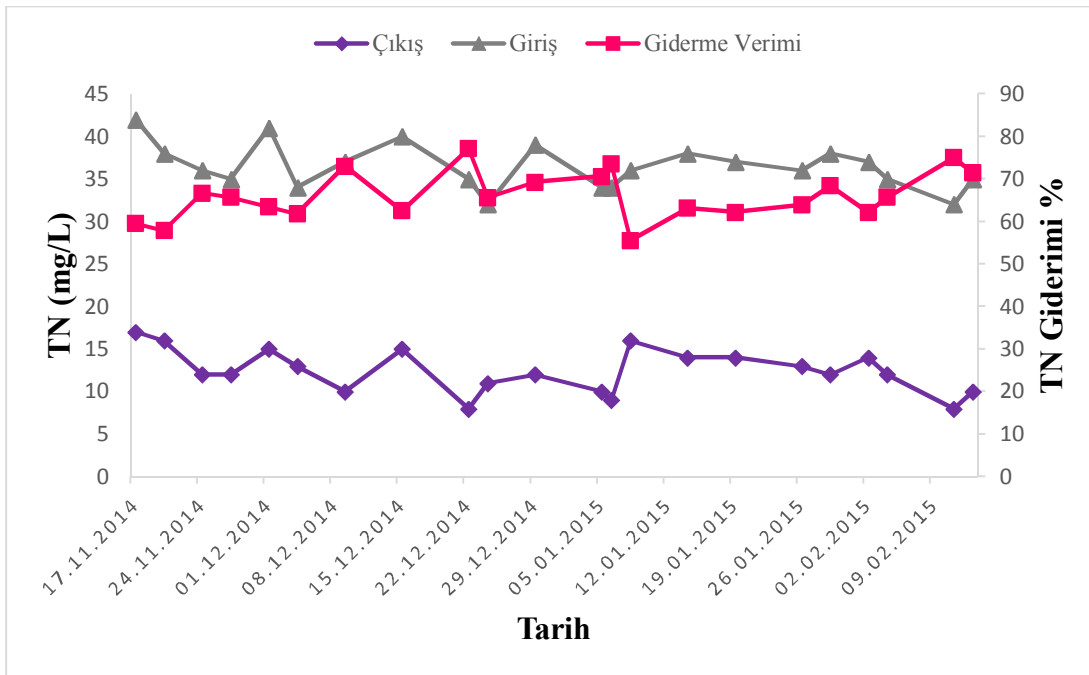
BOİ giriş değerleri 405 mg/L ile 420 mg/L arasında değişmekte ve ortalama 413 ± 4.4 mg/L'dir. Çıkış BOİ değerleri 3.2 mg/L ile 10.4 mg/L arasında değişmekte ve ortalama 7.1 ± 2 mg/L'dir. BOİ giderim verimleri % 97.6 ile % 99.2 arasında değişmekte ve ortalama $\% 98.3 \pm 0.5$ 'dir. BOİ giderim verimleri Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21 : BOİ giderimleri.

4.3.5 Toplam azot

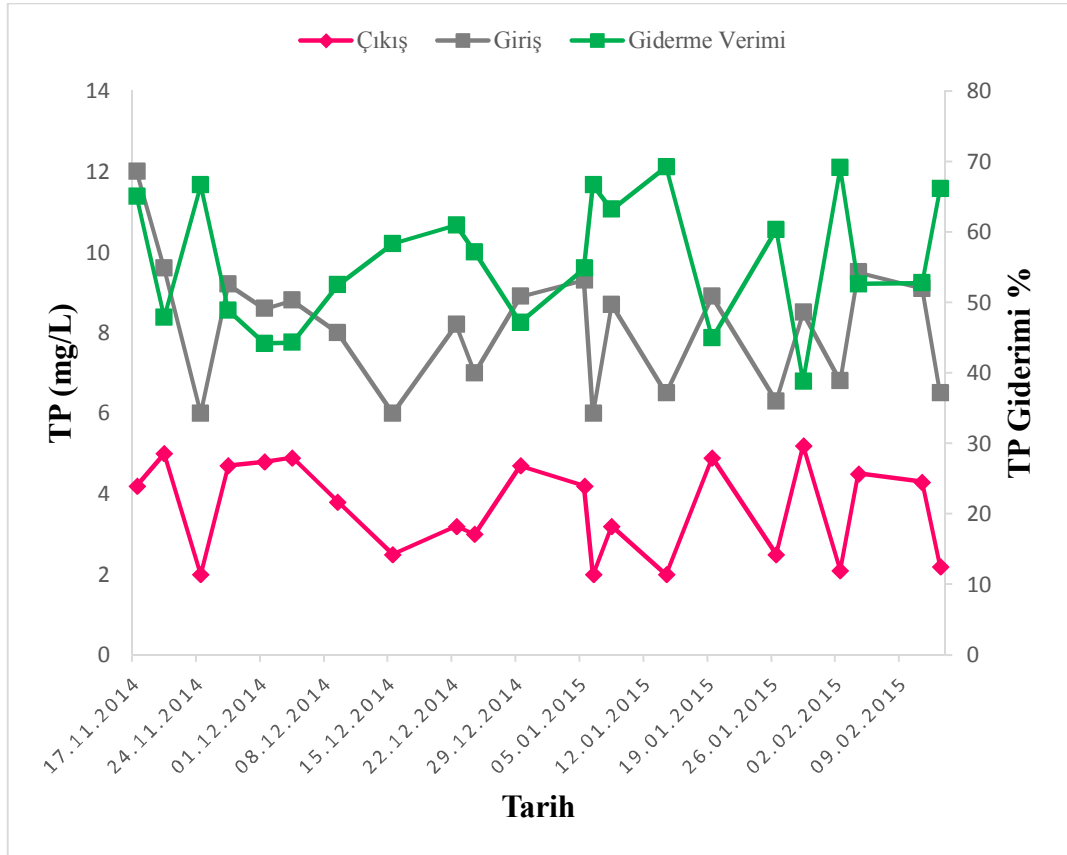
Toplam azot giriş değerleri 32 mg/L ile 42 mg/L arasında değişmekte ve ortalama olarak 36.4 ± 2.5 mg/L'dir. Çıkış azot değerleri 8 mg/L ile 17 mg/L arasında değişmekte ve ortalama 12.4 ± 2.51 mg/L'dir. Giderme verimleri % 55 ile % 77 arasında değişmekte ve ortalama 66 ± 5.5 'dir. Toplam azot giderme verimleri Şekil 4.22'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.22 : Toplam azot giderimleri.

4.3.6 Toplam fosfor

Toplam fosfor giriş değerleri 6 mg/L ile 12 mg/L arasında değişmekte ve ortalama 8.1 ± 1.5 mg/L'dir. Çıkış değerleri 2 mg/L ile 5.2 mg/L arasında değişmekte ve ortalama 3.6 ± 1.1 mg/L'dir. Giderme verimleri % 38.8 ile % 69.2 arasında değişmekte ve ortalama % 60 ± 9 'dir. Toplam fosfor giderme verimlerindeki değişimler Şekil 4.23'de gösterilmiştir.

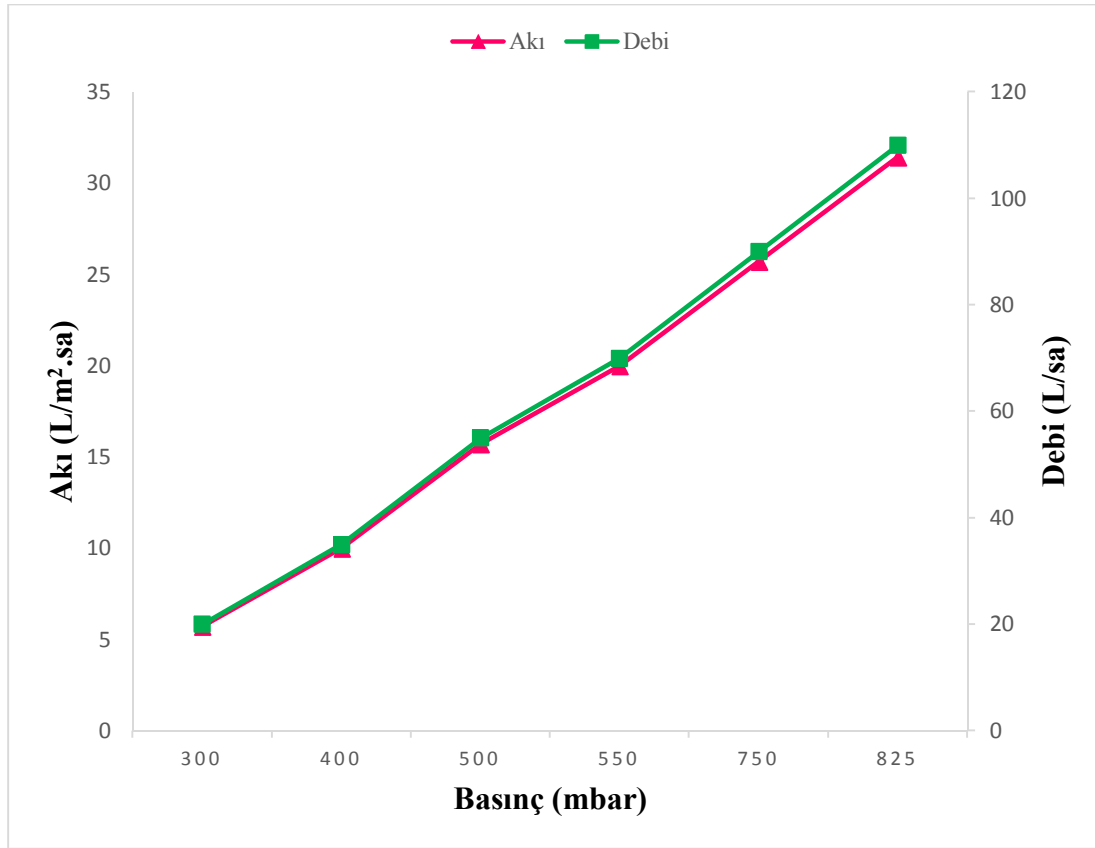


Şekil 4.23 : Toplam fosfor giderimleri.

4.4 Bekletme Süresi, Akı ve Basınç Değişimleri

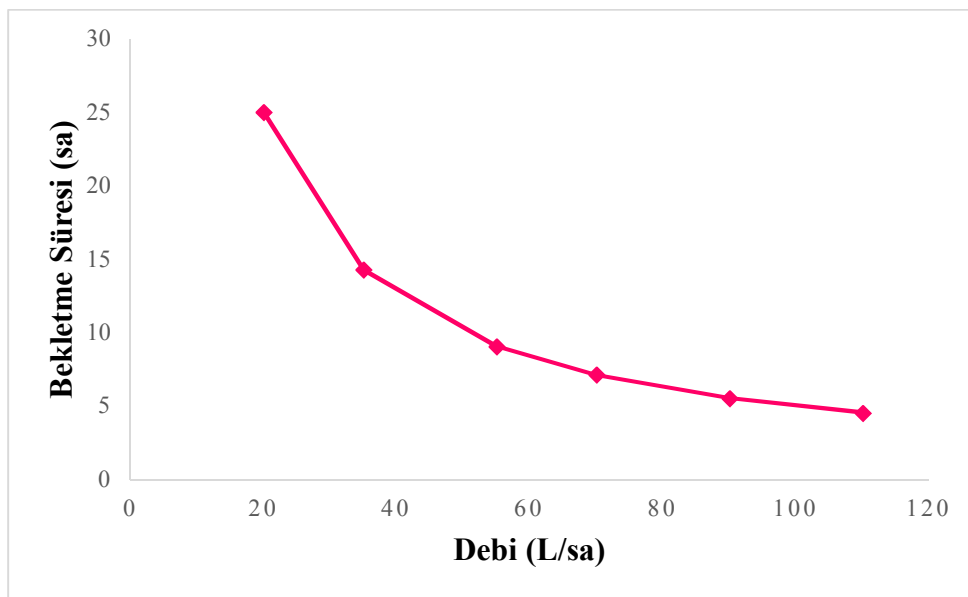
Geri devirli ve geri devirsiz işletme modlarının her ikisinde de reaktör hacmi 500 L'de sabit tutulmuş ve MBR sistemi tam karışımli reaktör şeklinde işletilmiştir. Süzüntü debisi tıkanmaya bağlı olarak değişmekte ve reaktöre giren atıksu debisi de buna bağlı olarak değişmektedir.

MBR sistemindeki basınç 300 ile 500 milibar arasında değişmekte ve buna karşılık sistemde akı 5.7 L/m².sa ile 31.4 L/m².sa arasında seyretmektedir. Basınç değişiminin süzüntü debisi ve süzüntü akısına karşılık değişiminin grafiği Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



Şekil 4.24 : Basınç, debi ve akının değişimi.

Reaktör hacmi 500 L'de sabit tutulduğunda bekleme süresi 4 saat ile 25 saat arasında değişmekte, buna bağlı olarak debi ise 20 L/sa ile 110 L/sa arasında değişmektedir. Debi ile bekleme süresi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



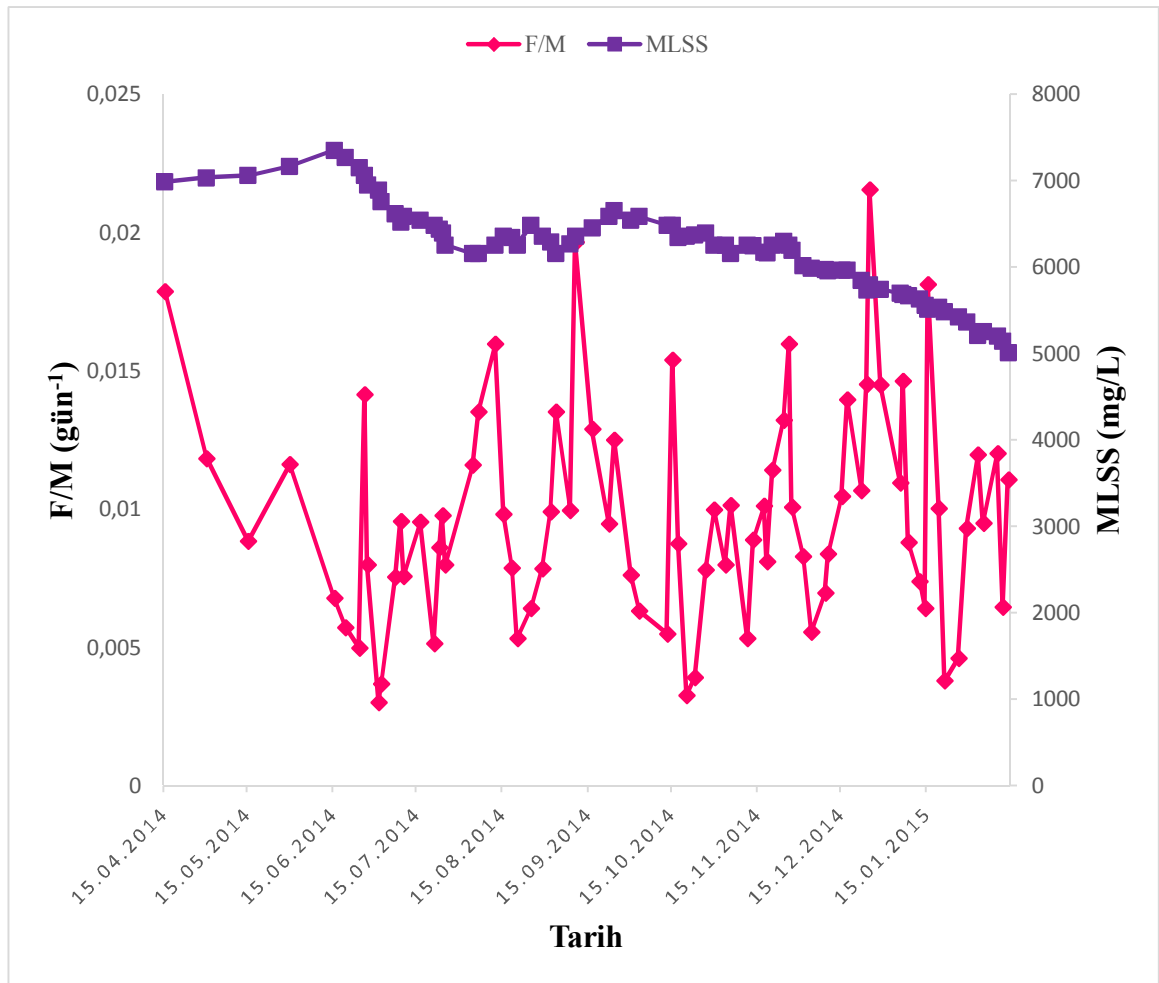
Şekil 4.25 : Debi ile bekleme süresi arasındaki ilişki.

4.5 Tıkanma ve Kimyasal Geri Yıkama

Reaktörün işletilmesi sırasında süzöntü debisi çok düşük olur ise sistem otomatik olarak uyarı vermektedir. 1 saat içerisinde 5 defadan daha fazla süzöntü debisinin çok düşük olduğu tespit edilirse sistem süzöntü yapmayı bırakır, bu durumda geri yıkama yapılmaktadır. MBR sistemindeki membran modülü plaka-çerçeve tipi olduğundan sistemde otomatik geri yıkama yapılamaz ve bu durumda süzöntü alımına bir süre ara verilerek süzöntü borusundan ters yönde kimyasal geri yıkama manuel olarak yapılmaktadır. Geri yıkama kimyasalı olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve sitrik asit çözeltileri kullanılmıştır.

4.6 F/M Oranı

F/M oranı geri devirli ve geri devirsiz işletme şartları için hesaplanmıştır ve ortalama değeri 0.01 gün^{-1} 'dir. F/M oranının değişimi Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26 : F/M oranının değişimi.

4.7 Çamur Yaşı

Sistemde amur yaşı sonsuz seçilerek işletme yapılmıştır. Geri devirli ve geri devirsiz arıtma durumlarının her ikisinde de sistemden fazla çamur hiçbir zaman atılmamıştır. Geri devirli işletmede besleme tankına geri devir ettirilen çamur tekrar sisteme geri dönmektedir.

5. SONUÇLAR

Batık membran biyoreaktör geri devirli ve geri devirsiz olmak üzere iki şekilde işletilmiştir. Her iki işletme şeklinde de reaktör tam karışımli olmak üzere hacmi 500 L’de sabit tutulmuştur. Evsel atıksuyun giriş, çıkış değerleri ve arıtma verimlerinin grafikleri çizilmiş, ortalama değerleri verilmiştir.

5.1 Elde Edilen Sonuçlar

Geri devirli ve geri devirsiz arıtma için atıksu giriş, çıkış ve elde edilen giderim verimlerinin ortalama değerleri Çizelge 5.1’ ve Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Geri devirsiz arıtma sonuçları.

Parametre	Birim	Giriş	Çıkış	Verim %
AKM	mg/L	6543	1.5	99.97
Bulanıklık	FAU	-	0.66	-
KOİ	mg/L	500	9.76	98
BOİ	mg/L	400	5.26	98
TN	mg/L	40	16	60
TP	mg/L	8	4.79	40
Kalsiyum	mg/L	42.6	41.6	2.49
Magnezyum	mg/L	19.6	19	3.4
Sodyum	mg/L	54.3	54	0.55
SAR	-	-	1.74	-
Klorür	mg/L	39.4	39.1	0.67
İletkenlik	µS/cm	-	7121	-
pH	-	-	5.64	-
Sıcaklık	°C	-	20.63	-
Çözünmüş Oksijen	mg/L	-	1.07	-
Toplam Koliform	adet/100 ml	-	0	100

Çizelge 5.2 : Geri devirli arıtma sonuçları.

Parametre	Birim	Giriş	Çıkış	Verim %
AKM	mg/L	5718	0.95	99.98
Bulanıklık	FAU	-	0.45	-
KOİ	mg/L	514	8.8	99.28
BOİ	mg/L	413	7.1	98.3
TN	mg/L	36.4	12.4	66
TP	mg/L	8.1	3.6	60

Elde edilen arıtma sonuçlarına göre; KOİ, BOİ, TP, TN ve AKM giderim verimleri geri devirli arıtımda geri devirsiz arıtıma göre kısmen daha iyidir. Bulanıklık çıkış değerleri de geri devirli arıtımda daha düşük bulunmuştur. KOİ, BOİ ve AKM giderme verimlerinde geri devirli ve devirsiz arıtma arasında önemli bir fark bulunamamıştır zaten giderme verimleri de her iki durum için oldukça yüksektir.

TN ve TP giderme verimleri geri devirli arıtma için daha iyi bulunmuştur. Bunun nedeni ise atıksuyun besleme tankına geri devir ettirilmesi nedeniyle daha fazla hava verilmeden bekletilmesi ve bu sayede de daha etkili denitrifikasyon ve fosfor gideriminin yapılmasıdır.

Toplam koliform giderme verimleri sistemin geri devirli olup olmamasından bağımsızdır ve bu nedenle sadece geri devirsiz arıtım süresince test edilmiştir.

Kalsiyum, magnezyum, sodyum ve klorür giderme verimleri oldukça düşük seviyelerdedir ve böyle olması da öngörülmüştür çünkü kullanılan membran UF membranıdır ve iki ve tek değerlikli iyonları etkin biçimde tutması beklenemez.

5.2 Su Kalitesinin Değerlendirilmesi

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nin 22. Maddesi'ne göre evsel atıksuların sulama suyu olarak kullanılmasında tebliğde belirtilen Tablo E7.1'de (Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4) belirtilen A ve B kriterlerine bağlı olarak belirtilen bitki türlerine göre sulama yapılabilir (AATTUT, 2010). Evsel atıksuların sulamada kullanılmasında bu kriterler yeterli olmasına rağmen evsel atıksulara endüstriyel deşarjlar söz konusu ise Tablo E7.1'e ilave bazı parametrelerin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada ham evsel atıksuya herhangi bir endüstriyel deşarj olmadığı ve ham atıksuyun yalnızca evsel kaynaklı atıksulardan oluştuğu kabul edilmiştir.

5.2.1 Sulamada kullanılacak geri kazanılmış atıksuların sınıflandırılması

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre sulamada kullanılacak geri kazanılmış atıksuların sınıflandırılması yapılmış ve sulama suyu kullanımında A ve B olmak üzere iki farklı kategori oluşturulmuştur. A kategorisine göre; tarımsal sulama (ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri) ve kentsel alanların sulanmasında, B kategorisine göre ise tarımsal sulama (ticari olarak işlenen gıda ürünleri), girişi kısıtlı

sulama alanları ve tarımsal sulamada (gıda ürünü olmayan bitkiler) kullanılacak geri kazanılmış atıksuların kriterleri verilmiştir. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de kriterler verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Sınıf A (AATTUT, 2010).

Parametre	Birim	Giriş
pH	-	6-9
Bulanıklık	FAU	< 2
Fekal Koliform	adet/100 ml	0
BOİ ₅	mg/L	< 20
Bakiye Klor	mg/L	> 1

A Sınıfı geri kazanılmış atıksular yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt yenebilen her türlü gıda ürünü ve her türlü yeşil alan sulamasında (park, bahçe, golf sahaları) kullanılabilir. Sulamanın uygulandığı alan içme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede olmalıdır (AATTUT, 2010).

Çizelge 5.4 : Sınıf B (AATTUT, 2010).

Parametre	Birim	Giriş
pH	-	6-9
AKM	mg/L	< 30
Fekal Koliform	adet/100 ml	200
BOİ ₅	mg/L	< 30
Bakiye Klor	mg/L	> 1

B Sınıfı geri kazanılmış atıksular meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması, çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ve otlak hayvanları için mera sulamasında kullanılabilir. Sulamanın uygulandığı alan içme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede olmalı ve eğer sulama işlemi yağmurlama sulama ile yapılıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede olmalıdır (AATTUT, 2010).

Elde edilen sonuçlara göre BOİ₅, AKM, bulanıklık ve fekal koliform değerleri kriterleri sağlamaktadır. pH değeri reaktör çıkışında 6-9 aralığını sağlayacak şekilde tekrar ayarlanmamıştır fakat istendiği takdirde kolaylıkla sodyum hidroksit ile pH değeri yükseltilebilir. MBR çıkışında herhangi bir virüs ve bakteri bulunmadığından oldukça hijyenik bir su elde edilir ve bu nedenle klorlamaya ihtiyaç yoktur.

A Sınıfı’nda belirtilen kriterler B Sınıfı’nda göre daha katıdır çünkü A Sınıfı sulama sularının kullanılacağı yerlere halkın girişi söz konusudur bu nedenle özellikle

mikrobiyolojik kaliteye dikkat edilmelidir. A Sınıfı sulama suyu kullanımı için fekal koliform suda bulunmamalıdır. Eğer sulama suyunda fekal koliform bulunursa kullanımdan önce dezenfeksiyon işlemiyle giderilmelidir.

5.2.2 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin incelenmesi

Sulama suyunun kimyasal kalitesi sulanacak bitki ve toprak için önem taşımaktadır. Kimyasal kalite bakımından uygun olmayan sular zamanla bitkide ve toprakta zararlar meydana getirebilmektedir. Sulama suyunun kimyasal bakımdan sınıflandırması Çizelge 5.5’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.5 : Sulama suyunun kimyasal sınıflandırılması (AATTUT, 2010).

Parametre	Birim	Tehlikesiz	Orta	Tehlikeli
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	< 700	700-3000	> 3000
Na^+ (Yüzey sulama)	mg/L	< 3	3-9	> 9
Na^+ (Damlatmalı sulama)	mg/L	< 70	> 70	-
Cl^- (Yüzey sulama)	mg/L	< 140	140-350	> 350
Cl^- (Damlatmalı sulama)	mg/L	< 100	> 100	-

Bu çalışma sonucunda iletkenlik değeri ortalama olarak 7121 $\mu\text{S/cm}$ olarak elde edilmiştir ve bu değer kullanılması tehlikeli sınıfa girmekte ise de evsel atıksuların iletkenlik değerleri ortalama 1750 $\mu\text{S/cm}$ civarlarındadır (Kurt ve diğ, 2009).

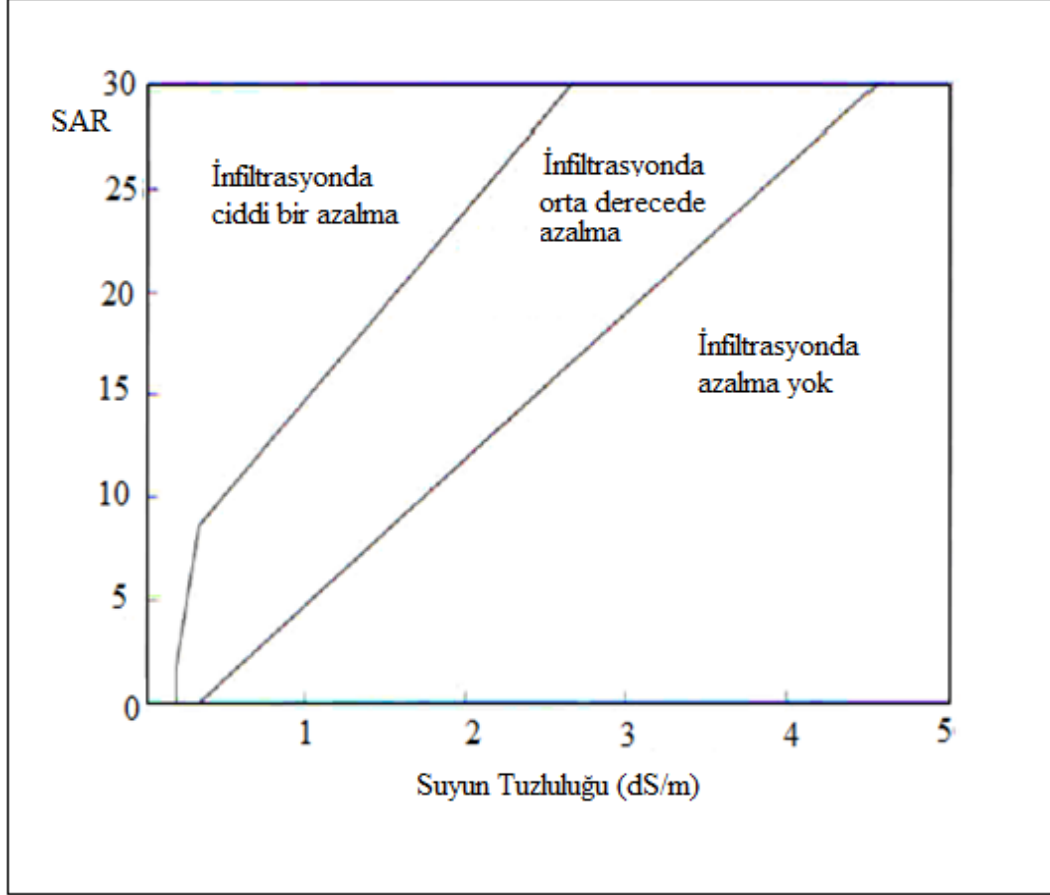
Çalışmada sentetik atıksu kullanılması sebebiyle ve pH ayarı amacıyla reaktöre eklenen sodyum hidroksit (NaOH) nedeniyle iletkenlik değeri aşırı yükselme göstermiştir. İletkenlik değerinin yükselmesinin bir diğer nedeni de membran biyoreaktör (MBR) tankı yüzeyinin atmosfere açık olması ve bu nedenle havalandırma difüzörünün de etkisi ile sürekli bir buharlaşma olmasıdır. Buharlaşan su nedeniyle su içinde bulunan çözülmüş maddeler daha konsantre hale gelmektedir.

Sodyum konsantrasyonları yüzey ve damlatmalı sulama seçenekleri için büyük farklılık göstermektedir. Yapılan çalışmada sodyum konsantrasyonu ortalama olarak 54 mg/L’dir, buna göre sodyum bakımından damlatmalı sulama için kullanıma uygundur. Sodyum konsantrasyonunun yüksek olmasında pH ayarı için eklenen sodyum hidroksit (NaOH)’da etkili olmaktadır.

Klorür konsantrasyonu yapılan çalışmada ortalama olarak 39.1 mg/L olarak elde edilmiştir, buna göre klorür bakımından hem yüzeysel hem de damlatmalı sulama için kullanıma uygundur.

5.2.3 SAR

Sodyum adsorpsiyon oranı sodyum iyonunun baskın olduğu durumu göstermektedir. Sodyum oranı yüksek ise toprak partikülleri birbirinden ayrılır ve bu nedenle porozite azalır ve büyük boşluklar tıkanır, su ve havanın toprağa nüfus etmesi engellenir (AATTUT, 2010). SAR ve iletkenlik değerlerinin infiltrasyona etkisinin grafiği Şekil 5.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.1 : SAR-EC ilişkisi (AATTUT, 2010).

Şekil 5.1’deki grafiğe göre elde edilen 1.74 SAR değeri ile 7.1 dS/m değeri kesişimi tablonun da dışına çıkmakta ve “infiltrasyonda azalma yok” bölgesinde kalmaktadır. İletkenlik değeri oldukça yüksek olmasına rağmen SAR değerinin uygun olması nedeniyle sulama suyu toprakta herhangi bir infiltrasyona neden olmamaktadır. Yalnızca elde edilen iletkenlik değeri sulama suyunda dikkate alındığında tehlikeli sulama suyu sınıfına girmesine rağmen, Şekil 5.1’deki grafiğe göre SAR değeri ile birlikte dikkate alındığında sulama suyu olarak kullanımında bir sakınca görülmemektedir. Bitkilerin sulama suyuna toleransında SAR parametresinin etkisi Çizelge 5.6’da gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.6 : SAR toleransı (AATTUT, 2010).

Tolerans	SAR	Bitki	Durum
Çok hassas	2-8	Yaprak döken meyve ağaçları, turunçgiller, avokado	Yaprakta yanma
Hassas	8-18	Fasulyeler	Büyümenin engellenmesi, bodur kalma
Orta toleranslı	18-46	Yonca, yulaf, pirinç	Nütrient ve toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma
Toleranslı	46-102	Buğday, kaba yonca, arpa, domates, şeker pancarı, değişik çimen türleri	Zayıf toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma

Çizelge 5.6'da belirtilen kriterlere göre çalışmada elde edilen SAR değeri bitkilerde herhangi bir probleme yol açmamaktadır ve geri kazanılmış atıksu sulama suyu olarak kullanılabilir. Hesaplanan SAR değeri oldukça küçük bir değer olup hassas bitki türlerinde dahi herhangi bir toksisiteye ve zarara sebebiyet vermesi düşünülmemektedir.

5.2.4 Tuzluluk

Tuzluluk, toplam çözülmüş madde (TÇM) şeklinde ölçülmektedir ve elektriksel iletkenliğin (EC) bir diğer şekilde ifade edilmesidir. Toplam çözülmüş madde (TÇM) birimi olarak pratikte genel olarak mg/L kullanılmaktadır. Elektriksel iletkenlik (EC) ise dS/m veya $\mu\text{S}/\text{m}$ olarak ölçülebilmektedir. Sulama suyu kullanımında dikkate alınması gereken oldukça önemli bir parametre olan toplam çözülmüş madde (TÇM) ile elektriksel iletkenlik arasında bir ilişki bulunmakta olup toplam çözülmüş madde (TÇM), elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Bu durumda elektriksel iletkenlik (EC) ve toplam çözülmüş madde (TÇM) parametrelerinden herhangi birinin ölçülmesi yeterli olmaktadır. Toplam çözülmüş madde (TÇM) ile elektriksel iletkenlik (EC) arasındaki bağıntı Denklem 5.1'de gösterildiği gibi iki farklı eşitlikten yararlanılarak hesaplanabilmektedir (AATTUT, 2010).

$$EC < 5 \text{ dS/m ise } T\text{ÇM} \approx EC \times 640$$

(5.1)

$$EC > 5 \text{ dS/m ise } T\text{ÇM} \approx EC \times 800$$

EC; Elektriksel iletkenlik

TÇM; Toplam çözünmüş maddeyi ifade eder (AATTUT, 2010).

Denklem 5.1'deki ifade ile elektriksel iletkenliğe (EC) bağlı toplam çözünmüş madde (TÇM) değeri 4557 mg/L olarak hesaplanmıştır. Elektriksel iletkenlik (EC) değeri 7.1 dS/m olarak elde edildiğinden Denklem 5.1'deki ikinci eşitlik dikkate alınarak elektriksel iletkenlik (EC) değeri 800 ile çarpılarak toplam çözünmüş madde (EC) değeri hesaplanmıştır.

Tuzluluk değeri arttıkça toprağın suyu ile bitki hücresi arasındaki osmotik gradyan azalır, bitki toprakta bulunan tuzlu suyu seyreltmek amacıyla kendi bünyesindeki suyu toprağa bırakır ve bu durumda bitkinin gelişmesini olumsuz yönde etkiler. TÇM değerinin 500 mg/L'den küçük olduğu durumlarda herhangi bir olumsuz etki gözlenmezken, 500-1000 mg/L değerleri arasında hassas bitkiler zarar görebilmektedir. 2000 mg/L değerinden daha yüksek tuzluluğa sahip sulama suları tuzluluğa toleranslı bitki türlerinde ve geçirgen toprak yapılarında kullanılabilir. Drenaj sistemleri ile topraktaki tuzluluk dengelenebilmektedir bu nedenle drenaj sistemleri oldukça önemlidir.

Elde edilen elektriksel iletkenlik (EC) değeri yüksek olduğundan dolayısı ile hesaplanan toplam çözünmüş madde (TÇM) değeri de yüksektir. 2000 mg/L'den yüksek toplam çözünmüş madde (TÇM) değerlerinin toprağa ve bitkilere zararlı olduğu kabul edilmekte olup buna göre hesaplanan toplam çözünmüş madde (TÇM) değeri olan 4557 mg/L değeri de zararlı kabul edilmektedir. Toplam çözünmüş madde (TÇM) değerinin bu kadar yüksek değerde olmasının en büyük nedeni çalışmaların sentetik atıksu ile yürütülmüş olması ve sürekli olarak membran biyoreaktör (MBR) tankına pH ayarı maksadı ile kimyasal madde eklenmesidir. Eklenen kimyasal maddeler doğal olarak atıksuyun elektriksel iletkenlik (EC) ve toplam çözünmüş madde (TÇM) değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır ancak gerçek evsel nitelikli atıksularda elektriksel iletkenlik (EC) ve toplam çözünmüş madde (TÇM) değerleri bu kadar yüksek seviyelerde değildir. Çizelge 5.7'de bazı bitkilerin tuzluluğa olan hassasiyetleri gösterilmiştir (AATTUT, 2010).

Çizelge 5.7 : Bazı bitkilerin tuzluluğa hassaslıkları (AATTUT, 2010).

Bitki ismi	Hassaslık			
	Toleranslı TÇM > 2000 mg/L	Orta toleranslı TÇM: 1500-2000 mg/L	Orta hassas TÇM: 1000-1500 mg/L	Hassas TÇM: 500-1000 mg/L
Tarla bitkileri				
Arpa	√			
Fasulye				√
Mısır			√	
Pamuk	√			
Börülce			√	
Keten			√	
Yulaf		√		
Pirinç			√	
Çavdar		√		
Şeker pancarı	√			
Şeker kamışı			√	
Sorgum		√		
Soya fasulyesi		√		
Buğday		√		
Sebzeler				
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Kırmızı pancar		√		
Lahana			√	
Havuç				√
Kereviz			√	
Salatalık			√	
Marul			√	
Soğan				√
Patates			√	
Ispanak			√	
Kabak		√		
Domates			√	
Şalgam			√	
Çayır bitkileri				
Yonca			√	
Bermuda çimi	√			
Çayır otu		√		
Fokstail			√	
Harding çimi		√		
Meyve bahçesi			√	
Sesbenia			√	
Sudan çimi		√		
Bakla			√	
Buğday çimi		√		
Meyveli ağaçlar				
Badem				√
Kayısı				√
Böğürtlen				√
Hurma	√			
Üzüm			√	
Portakal				√

Çizelge (devam) 5.7 : Bazı bitkilerin tuzluluğa hassaslıkları (AATTUT, 2010).

Bitki ismi	Hassaslık			
	Toleranslı TÇM > 2000 mg/L	Orta toleranslı TÇM: 1500-2000 mg/L	Orta hassas TÇM: 1000-1500 mg/L	Hassas TÇM: 500-1000 mg/L
	Meyveli ağaçlar			
Şeftali				√
Erik				√
Çilek				√

Elde edilen sonuçlara göre; toplam çözünmüş madde değeri esas alınırsa çıkış suyu toleranslı bitki türleri için sulama suyu olarak kullanılabilir. Sulamada kullanılabilen bitki türleri arpa, pamuk, şeker pancarı, kuşkonmaz, bermuda çimi ve hurmadır.

5.2.5 Klorür

Sulama suyunda belirli miktardan fazla klorür bulunması bitki ve toprağa zarar verebilmektedir ve bu nedenle klorür konsantrasyonları sulama sularında izlenmelidir. Bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları Çizelge 5.8'de gösterildiği gibidir (AATTUT, 2010).

Çizelge 5.8 : Bitki yapraklarına zararlı klorür konsantrasyonları (AATTUT, 2010).

Hassaslık	Klorür konsantrasyonu (mg/L)	Etkilenen bitki
Hassas	< 178	Badem, kayısı, erik
Orta hassas	178-355	Üzüm, biber, patates, domates
Orta toleranslı	355-710	Kaba yonca, arpa, mısır, salatalık
Toleranslı	> 710	Karnabahar, pamuk, susam, sorgum, şeker pancarı, ayçiçeği

Çalışmada elde edilen çıkış suyunun klorür konsantrasyonu 39.1 mg/L'dir bu nedenle klorür konsantrasyonu bakımından geri kazanılmış atıksuyun sulamada kullanılmasında herhangi bir sakınca bulunmamakla beraber hassas bitki türlerinde dahi kullanılabilir.

5.2.6 Nutrientler

Geri kazanılmış atıksularda azot, fosfor ve potasyum nutrient olarak bulunmaktadır ve bitki büyümesini etkilemektedir, sulama suyunda nutrient bulunması bitkiler için

faydalıdır. Azot ve fosfor arıtılmış atıksularda yeterli miktarda bulunurken fosfor daha az miktarda bulunur. Sulama suyunda bitki büyümesi için gerekli nütrientler bulunduğundan ayrıca gübre kullanılmasına da gerek kalmamaktadır (AATTUT, 2010).

Çizelge 5.9 : Geri kazanılmış atıksularda nütrient seviyeleri (AATTUT, 2010).

Element	Birim	Ham atıksu	Klasik aktif çamur	BNR	BNR+ filtrasyon+ dezenfeksiyon	MBR	BNR+MF+RO+ dezenfeksiyon
Toplam azot	mg/L	20-70	15-35	2-12	2-12	7-18	< 1
Nitrat azotu	mg/L	0-az	10-30	1-10	1-10	5-11	< 1
Toplam fosfor	mg/L	4-12	4-10	1-2	< 2	0.3-5	< 0.5

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre sulama suyunda bulunabilecek nütrient seviyelerinde herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır ve bununla beraber nütrientlerin sulama suyunda bulunmasının faydalı olduğu bitki büyümesini olumlu yönde etkilediği bilinmektedir. Çalışmada elde edilen verilere göre MBR çıkış suyunun toplam azot ve toplam fosfor değerleri Çizelge 5.9'da verilen değerlere uyumludur. Elde edilen çıkış suyunun nütrient değerleri bakımından sulamada kullanılmasında bir sakınca bulunmamaktadır.

5.2.7 Mikrobiyolojik kalite

Sulamada tekrar kullanılacak olan arıtılmış atıksuların mikrobiyolojik kalitesi oldukça önemlidir. Arıtılmış atıksuları sulama suyu olarak kullanılmasında iki farklı mikrobiyolojik sınıf (A ve B) oluşturulmuş olup belirlenen kriterler minimum gereksinimleri sağlamaktadır. Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri ile park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, yenilen ürünlerin su ile temas etmesi ve park, bahçe gibi alanlarda insanların çim ve bitkiler ile teması olabileceği için çok iyi mikrobiyolojik kalitede sulama suyu gerekmektedir. Sulama suyunda fekal koliform bulunmamalıdır ve sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmelidir bundan dolayı fekal koliform değeri en fazla 14 adet/100 ml olmalıdır. Ticari olarak işlenen gıda ürünleri (meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ile otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesinin daha düşük

olmasında bir sakınca yoktur. Bu durumda fekal koliform değeri en fazla 200 adet/100 ml olmalı (30 günlük ortalama değer) ve hiç bir zaman 800 adet/100 ml’yi geçmemelidir (AATTUT, 2010).

5.2.8 Toksik elementler ve ağır metaller

Toksik elementler ve ağır metaller sulama sularında çok düşük konsantrasyonlarda bulunan elementlerdir ve evsel atıksularda çok az miktarda bulunurlar. Toksik elementlerin bitkiler üzerindeki etkisi sulama suyundaki konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir ve yüksek konsantrasyonlarda bulunması halinde bitkilerin yapraklarına zarar verebilmekte ve bitki büyümesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Çizelge 5.10’da sulama suyunda bulunabilecek toksik elementlerin ve ağır metallerin konsantrasyonları verilmiştir (AATTUT, 2010).

Çizelge 5.10 : İzin verilen ağır metal ve toksik elementler (AATTUT, 2010).

Element (mg/L)	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar (kg/ha)	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında (mg/L)
Alüminyum (Al)	4600	5	20
Arsenik (As)	90	0.1	2
Berilyum (Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	-	2
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1
Kobalt (Co)	45	0.05	5
Bakır (Cu)	190	0.2	5
Florür (F)	920	1	15
Demir (Fe)	4600	5	20
Kurşun (Pb)	4600	5	10
Lityum (Li) ¹	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05 ²
Nikel (Ni)	920	0.2	2
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1
Çinko (Zn)	1840	2	10

¹ Sulanan narenciye için 0.075 mg/L’dir.

² Yalnız demir içeriği fazla asitli killi topraklarda izin verilen konsantrasyondur.

Evsel atıksularda bulunan toksik elementler çok az miktardadır ve evsel atıksuya endüstriyel bir deşarj olmadığı sürece evsel atıksularda toksik elementler ve ağır metaller bulunmaz. Bu nedenle sulamada kullanılması planlanan atıksulara endüstriyel deşarjlar izin verilmemelidir. Özellikle ağır metallerin sulama suyunda bulunması oldukça tehlikeli durumlar yaratabilmektedir, bu metaller zamanla hem toprak bünyesinde hem de bitki bünyesinde depolanabilir ve insanların bu sulama suları ile sulanan gıdalar ile beslenmesi sonucu insanlarda da birikerek sağlık sorunlarına neden olabilirler. Bunlara ek olarak sulama suları topraktan süzülerek mevcut yeraltı sularına karışabilir ve yeraltı sularını kirletebilirler. Bu nedenlerle sulama suyunda bulunabilecek toksik maddelere karşı dikkatli olunmalıdır. Her ne kadar evsel atıksularda böyle bir tehlike bulunmasa da endüstriyel deşarjlar söz konusu ise konuya daha dikkatli yaklaşılmalıdır. Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları Çizelge 5.11’de verilmiştir (AATTUT, 2010).

Çizelge 5.11 : Arıtılan evsel atıksularda tahmini eser maddeler (AATTUT, 2010).

Elementler (mg/L)	İkincil arıtma		Üçüncül arıtma	Ters osmoz	Tavsiye edilen değer*	
	Aralık	Ortalama			Kısa sürelili	Uzun sürelili
Arsenik (As)	< 0.005-0.023	< 0.005	< 0.001	0.00045	0.1	10
Bor (B)	< 0.1- 2.5	0.7	0.3	0.17	0.75	2
Kadmiyum (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	0.1	20
Bakır (Cu)	< 0.005-1.3	0.04	< 0.01	0.015	0.2	5
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
Kurşun (Pb)	0.003-0.35	0.008	< 0.002	0.002	5	20
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	10

*EPA’nın tavsiyesi.

5.3 Atıksu Geri Kazanımında Teknoloji Seçimi

Evsel atıksuların arıtılması ve geri kazanılmasında seçilecek arıtma teknolojisi oldukça önemlidir. Geri kazanılmış atıksuların sulamada kullanılmasında en önemli kriter mikrobiyolojik kalitedir. Tarımsal sulamada dikkat edilecek hususlardan bazıları bitkide birikme meydana gelmesi, patojen mikroorganizmaların etkisiz hale

getirilmesi ve kimyasal birikmedir. Yeşil alan sulanmasında halkın bölgeye girme durumu da göz önüne alınmalı ve tüm riskler göz önünde bulundurularak geri kazanım teknolojisi seçimi yapılmalıdır. Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirletici maddeler Çizelge 5.12’de gösterildiği gibidir (AATTUT, 2010).

Çizelge 5.12 : Arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler (AATTUT, 2010).

Arıtma birimleri	Askıda katı madde	Kolloidal maddeler	Partiküler- organik madde	Çözünmüş organik madde	Azot	Fosfor	Eser maddeler	Toplam çözünmüş madde	Bakteri	Protozoa	Virüs
İkincil arıtma	√			√							
Nütrient giderimi				√	√	√					
Filtrasyon	√								√	√	
Yüzey filtrasyonu	√		√						√	√	
Mikrofiltrasyon	√	√	√						√	√	
Ultrafiltrasyon	√	√	√						√	√	√
Flotasyon	√	√	√						√	√	√
Nanofiltrasyon			√	√			√	√	√	√	√
Ters osmoz			√	√	√	√	√	√	√	√	√
Elektrodiyaliz		√						√			
Karbon adsorpsiyonu				√			√				
İyon değiştirme					√		√	√			
İleri oksidasyon			√	√			√		√	√	√
Dezenfeksiyon				√					√	√	√

Çizelge 5.12’de görüldüğü üzere ultrafiltrasyon (UF) membranı kullanılarak arıtma işlemi gerçekleştirildiğinde askıda katı madde, kolloidal maddeler, partiküler-organik maddeler, bakteri, protozoa ve virüsler giderilmektedir. Çalışmada kullanılan membran biyoreaktör klasik aktif çamur ile ultrafiltrasyon membranının birleştirilmesiyle oluşturulmuş hibrit bir sistem olup, aynı zamanda karbon, azot ve fosfor giderimini de sağlamaktadır. Sistemde giderilemeyen maddeler çözünmüş organik maddeler, toplam çözünmüş madde ve eser elementlerdir. Atıksu geri kazanım amacıyla kullanılacak arıtma sistemleri Çizelge 5.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.13 : Atıksu geri kazanımı sistemleri (AATTUT, 2010).

Atıksu geri kazanım maksadı	Arıtma sistemleri
Tarımsal sulama	Klasik aktif çamur + filtrasyon + klorlama
Golf sahaları sulama	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + kimyasal fosfor giderimi + (filtrasyon) + klorlama
Yeşil alan sulama	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Dinlenme maksatlı kullanılan sulak alanları besleme	Azot ve fosfor giderimini içeren MBR + UV
Dolaylı kullanım suyu (Yeraltı suyuna veya yüzeysel sulara deşarj)	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + ters osmoz + UV/H ₂ O ₂
Endüstriyel soğutma suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Endüstriyel proses suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + filtrasyon + nanofiltrasyon + iyon değiştirme + UV

Arıtma çalışmalarında ultrafiltrasyon ve biyolojik arıtma (karbon giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderimi) yapılmıştır. Bu nedenle Çizelge 5.13'de belirtilen kriterlere göre membran biyoreaktör (MBR) çıkış suyu tarımsal sulama, golf sahası sulama, yeşil alan sulama ve endüstriyel soğutma suyu olarak kullanılabilir. Dinlenme maksatlı kullanılan sulak alanların beslenmesinde her ne kadar membran biyoreaktöre ek olarak ultraviyole dezenfeksiyon yapılması istense de buna gerek yoktur çünkü çalışmada kullanılan membran ultrafiltrasyon (UF) membranıdır ve virüsleri ve bakterileri etkin bir şekilde gidermektedir. Mikrofiltrasyon (MF) membranı kullanılsa idi virüs giderimi olmadığından ultraviyole (UV) dezenfeksiyonu da gerekli hale gelmiş olurdu.

Elde edilen geri kazanılmış atıksuyun endüstriyel proses suyu ve dolaylı kullanım suyu (yeraltı suyuna veya yüzeysel sulara deşarj) olarak kullanılması uygun değildir. Bu amaçlar ile kullanılması isteniyor ise nanofiltrasyon (NF) veya ters ozmos (TO) gibi daha ileri arıtma teknolojileri de arıtma sistemine eklenerek elde edilen çıkış suyunun kalitesi arttırılabilir ve kullanıma uygun hale getirilebilir. Arıtılmış atıksuların hangi durumlarda dezenfekte edilmeden kullanılabilceği Çizelge 5.14'de verildiği gibidir.

Çizelge 5.14 : Atıksuların dezenfekte olmadan kullanılması (AATTUT, 2010).

	Tarla		Çayır- Mera		Sebze		Yem bitkisi		Meyvelik		Kuru ormanlık
	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BV	
Biyolojik arıtma tesisi veya en az 2 saat beklemeli çöktürme havuzu şeklindeki ön arıtma tesisi çıkış suları	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+
Havalı stabilizasyon havuzları veya lagünlerin çıkış suları	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+

BV: Bitki varsa

BY: Bitki yoksa

+: Sulamada kullanılabilir

-: Sulamada kullanılamaz

Çizelge 5.14’de verilen kriterlere göre evsel atıksular kabaca ifade etmek gerekirse biyolojik ve fiziksel arıtmaya tabi tutulduktan sonra sulamada kullanılabilirler, dezenfekte edilmelerinin gerekliliği ise bitki durumuna ve alana göre değişmektedir. Meyve, sebze ve yemlerin sulanmasında dezenfeksiyon daha fazla önem kazanmaktadır. Bunlara ek olarak, verilen arıtma sistemleri membran biyoreaktöre göre oldukça dezavantajlı olup çıkış suyu kalitesi membran biyoreaktörlerde çok daha iyidir.

5.4 Sulama Sistemi Seçimi

Arıtılmış atıksuların geri kazanılması ile yapılacak olan sulamada önemli hususlardan bir diğeri de sulama tipidir. Hangi tip sulama sistemi kullanılacağını sulanacak bitkinin türü, toprak türü, maliyet, sulama suyunun kalitesi ve miktarı belirlemektedir. Sulama sistemi tipi seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar halk sağlığı, sulama verimi ve tıkanma problemidir ve halk sağlığı, sulama sistemi seçiminde en önemli husustur. Yağmurlama sulama gibi yüzeysel sulama tiplerinde çok daha dikkatli olunmalıdır bu nedenle yağmurlama sulama tipi ileri atıksu arıtımından sonra uygulanmalıdır. Halk sağlığı bakımından en uygun sulama tipi damlatmalı sulamadır. Sulama sistemleri maksimum verimle çalışacak şekilde

dizayn edilmelidirler. Sulama verimini etkileyen faktörler buharlaşma, bitki soğuması, bitki kalite kontrolü ve köklerden tuzun aşağı katmanlara sızması durumlarıdır. En yüksek verim damlatmalı sulama seçeneğinde elde edilir. Askıda katı madde parametresi tıkanmayı etkileyen en önemli parametredir ve diğer bir faktör de suyun debisidir. Düşük debilerde sulama yapılır ise sulama sistemlerinde birikme meydana gelebileceğinden tıkanma artar ayrıca tıkanmanın önlenmesi için bakiye klor konsantrasyonunun en az 0.5 mg/L olması gerekmektedir. Sulama metotları ve özellikleri Çizelge 5.15’de verilmiştir (AATTUT, 2010).

Çizelge 5.15 : Sulama metotları ve özellikleri (AATTUT, 2010).

Sulama yöntemi	Seçimi etkileyen faktörler	Arıtılmış atıksu sulaması için özel durumlar
Salma sulama	Düşük maliyet Tam seviyelendirme gerekmemektedir Düşük halk sağlığı koruması	Çalışanların korunması gerekmektedir.
Karık usulü sulama	Düşük maliyet Seviyelendirme gerekebilir. Düşük sulama verimi Orta halk sağlığı koruması	Düşük arıtma verimi ve çalışanların korunması gerekmektedir. Uygun bitki seçimi yapılmalıdır.
Kenar sulaması	Nispeten düşük maliyet Seviyelendirme gerekir Düşük sulama verimi Orta halk sağlığı koruması	Düşük arıtma verimi ve çalışanların korunması gerekmektedir. Bitki kısıtlaması yapılmalıdır.
Yağmurlama sulama	Orta-yüksek maliyet Seviyelendirme gerekmemektedir Orta sulama verimi Düşük halk sağlığı koruması	Su kaynakları, yollar ve evlere uzaklığına dikkat edilmelidir.
Damlatmalı sulama	Yüksek maliyet Seviyelendirme gerekmemektedir Yüksek sulama verimi Yüksek halk sağlığı koruması	Özel bir koruma gerektirmemektedir. Deliklerin tıkanmaması için su kalitesine dikkat edilmelidir. Yönetimine daha fazla dikkat edilmelidir.

Damlatmalı sulama seçeneğinde en yüksek sulama verimi elde edilmekle beraber maliyeti yüksektir. Damlatmalı sulama tipinde askıda katı madde konsantrasyonu oldukça önemlidir çünkü sulama sistemindeki gözeneklerin tıkanmasına ve sistemin düzgün çalışmamasına neden olabilmektedir. Yağmurlama sulama sisteminde maliyet daha düşük olmasına rağmen bazı riskler taşımaktadır, bu tip sulama sisteminde su partikülleri havaya karışarak halk sağlığını olumsuz etkileyebilir bu nedenle yağmurlama sulamada halkın bölgeye girişi ve sulama alanının yollara ve evlere olan uzaklığına dikkat edilmelidir. Sulama sistemlerinin arıtılmış atıksu bakımından değerlendirilmesi Çizelge 5.16’da gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.16 : Sulama sistemlerinin değerlendirilmesi (AATTUT, 2010).

Değerlendirme parametreleri	Karik usulü sulama	Kenar sulaması	Yağmurlama sulama	Damlatmalı sulama
Yaprakların zarar görmesi	Bitki sırta dikildiğinde yaprakta problem olmamaktadır.	Bazı alt yapraklar zarar görebilir.	Verim kaybına sebep olacak, yaprak hasarı oluşabilir.	Yaprak hasarı oluşmaz.
Kökte tuz birikmesi	Bitkiye zarar veren sırta tuz birikmesi olabilmektedir.	Tuzlar düşey hareket eder ve birikmez.	Tuz, alt katmanlara doğru hareket eder ve birikme olmaz.	Tuz hareketi radyaldir ve damlama noktaları arasında tuz sıkışması olabilir.
Sulama sonrası toprak su potansiyeli	Sulamalar arasında bitkiler su stresine girebilmektedir	Sulamalar arasında bitkiler su stresine girebilmektedir.	Büyüme mevsiminde sulama sonrası toprak su potansiyeli düşer.	Büyüme mevsiminde sulama sonrası yüksek toprak su potansiyeli oluşturur ve tuzluluğun etkisini azaltır.
Verim kaybı olmaksızın tuzlu arıtılmış suyun uygulanabilirliği	Zayıf-Orta	Zayıf-Orta: İyi sulama ve drenaj.	Verim kaybına sebep olacak, yaprak hasarı oluşabilir.	Çok iyi: Birçok bitki çok az verim kaybı ile büyüyebilirler.

Çizelge 5.16’da belirtilen kriterlere göre en iyi sulama sistemi yaprakların zarar görmemesi bakımından damlatmalı sulama, kökte tuz birikmemesi bakımından kenar sulaması ve yağmurlama sulama, sulama sonrası toprak su potansiyeli ve verim kaybı olmaksızın tuzlu arıtılmış suyun uygulanabilirliği bakımından da damlatmalı sulama sistemleridir. Damlatmalı sulamada tıkanmayı etkileyen faktörler Çizelge 5.17’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.17 : Damlatmalı sulamada tıkanma (AATTUT, 2010).

Parametre	Birim (mg/L)	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok	Az-orta	Tehlikeli
AKM	mg/L	< 50	50-100	> 100
pH	-	< 7	7-8	> 8
TÇM	mg/L	< 500	500-2000	> 2000
Mangan	mg/L	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5
Demir	mg/L	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5
H ₂ S	mg/L	< 0.5	0.5-2	> 2
Bakteri sayısı	adet/L	< 10000	10000-50000	> 50000

Çizelge 5.17’de belirtilen kriterlere göre damlatmalı sulama tipi için tıkanma problemlerinin meydana gelmemesi için askıda katı madde, pH, toplam çözünmüş madde, mangan, demir, H₂S ve bakteri sayılarına dikkat edilmelidir. Meydana gelen tıkanmalar sulama sistemlerine zarar vermektedir bu nedenle maliyeti de yüksek olan damlatmalı sulama için belirtilen parametreler kontrol altında tutulmalıdır.

Elde edilen geri kazanılmış atıksuyun sulamada kullanılmasında askıda katı madde (AKM), pH ve bakteri sayısı bakımından herhangi bir zarar söz konusu değildir. pH değeri istenildiği takdirde kolaylıkla ayarlanabilmektedir ve herhangi bir problem yaratmamaktadır. Atıksu toplam çözünmüş madde (TÇM) bakımından tehlikeli sınıfa girmektedir ancak çalışmada sentetik atıksu kullanıldığından elde edilen toplam çözünmüş madde (TÇM) değerleri gerçek evsel atıksulara nazaran oldukça yüksek değerdedir. Bu nedenle toplam çözünmüş madde değerinin (TÇM) değerlendirilmesinde gerçek evsel atıksularda bulunan tipik değer göz önüne alınması daha sağlıklı ve gerçekçi olacaktır. Yapılan çalışmada mangan (Mn), hidrojen sülfür (H₂S) ve demir (Fe) parametreleri ölçülmemiştir bu nedenle bu parametreler ile ilgili yorum yapmak doğru değildir. Sulama suyunun tipinin ve sulama sınıfının bitki türlerine göre sınıflandırılması Çizelge 5.18’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.18 : Sulama türü ve sınıfının seçimi (AATTUT, 2010).

Bitki türü	Sulama türü	Sulama suyu sınıfı
Büyük yapraklı, yüzeyde veya yüzeye yakın büyüyen bitkiler (Brokoli, lahanası, karnabahar, kereviz, marul).	Yağmurlama, damlatmalı	A B
Ham olarak yenen köklü bitkiler (havuç, soğan).	Yağmurlama, damlatmalı, salma, karık usulü	A
Yer ile teması olmayan bitkiler (domates, fasulyeler, dolmalık biber, turunçgiller olmayan meyve ağaçları, şaraplık üzüm dışındaki üzümler).	Yağmurlama damlatmalı, salma, karık usulü	A B
Yer ile teması olmayan ve yenmeden önce kabuğu soyulan bitkiler (turunçgiller, fındık).	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yer ile teması olan ve yenmeden önce kabuğu soyulan bitkiler (kavun, karpuz).	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yenmeden önce işleme tabii tutulan bitkiler (patates, pancar).	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yenmeden önce işleme tabii tutulan yüzeysel bitkiler (Brüksel lahanası, balkabağı, tahıl, şarap yapımı için üzüm).	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
İnsan tüketimi için olmayan bitkiler, kültür tarımı, mera ve otlaklar.	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B

5.5 Arıtılmış Atıksular İle Sulanabilecek Bitkiler

Arıtılmış atıksular ile hangi tür bitkilerin sulanacağı oldukça önemlidir. Özellikle ticari olarak işlenen gıda ürünlerinin (meyve ve sebzeler) sulanmasında çok dikkatli olunmalıdır. Bu tür gıdalar sulama suyu içerisinde potansiyel olarak bulunma ihtimali olan kirletici ve zararlı maddeleri bünyelerine alabilirler ve bu sulama suyu ile sulanan meyve ve sebzeler ile temas kuran ve beslenen insanlar atıksu içerisinde bulunabilecek kirletici ve toksik maddelerden olumsuz etkilenebilirler. Bu nedenle arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanılmasında mutlaka detaylı bir risk analizi yapılmalı ve atıksuyun sulama suyu olarak kullanıma uygun olup olmadığına bu şekilde karar verilmelidir. Arıtılmış atıksular ile sulanabilecek bitkiler ve sulamada kullanım için gerekli arıtma işlemleri Çizelge 5.19’da gösterildiği gibidir (AATTUT, 2010).

Çizelge 5.19 : Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler (AATTUT, 2010).

Tip	Örnek	Arıtma ihtiyacı
Tarla bitkileri	Arpa, mısır, yulaf	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Lifli ve çekirdekli bitkiler	Pamuk	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ham olarak tüketilen sebzeler	Avokado, lahana, salatalık, çilek	İkinci kademe + filtrasyon + dezenfeksiyon
Belli bir işlemde sonra tüketilen sebzeler	Enginar, şeker pancarı, şeker kamışı	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Meyve bahçesi ve üzüm bağları	Kayısı, portakal, şeftali	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Fidanlık	Çiçek	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ormanlık alanlar	Kavak vb.	İkinci kademe + dezenfeksiyon

Çizelge 5.19’da belirtilen kriterlere göre geri kazanılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler belirlenmiştir. Buna göre tarla bitkileri (arpa, mısır ve yulaf), lifli ve çekirdekli bitkiler (pamuk), ham olarak tüketilen sebzeler (avokado, lahana, salatalık ve çilek), belli bir işlemde sonra tüketilen sebzeler (enginar, şeker pancarı ve şeker kamışı), meyve bahçesi ve üzüm bağları (kayısı, portakal ve şeftali), fidanlık (çiçek) ve ormanlık alanlar (kavak vb.) sulanabilecek bitkiler arasındadır. Dezenfeksiyon her ne kadar şart koşulmuş ise de membran biyoreaktör (MBR) çıkışında elde edilen atıksu mikrobiyolojik kalite bakımından oldukça iyi olup herhangi bir dezenfeksiyona gerek duyulmadan sulamada kullanılabilir.

Arıtılmış atıksular ile hangi tür bitkilerin sulanabileceğini belirleyen birçok faktör vardır. Bitkilerin hassasiyet durumları da göz önüne alınmalı ve atıksuda bulunan iyonlar, toksik maddeler ve ağır metaller iyi araştırılmalıdır. Bunlara ek olarak

sulama tipi dikkate alınmalı (damlatmalı vs.) ve bitki türüne göre seçilmelidir. Yalnızca bitkiler değil aynı zamanda bitkilerin üzerinde bulunduğu toprak da sulama suyundan oldukça fazla etkilenmektedir. Bu nedenle gerektiğinde topraktan da numune alınması ve incelenmesi, elde edilen sonuçlara göre arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmaya uygun olup olmadığına karar verilmelidir.

6. YORUMLAR VE TARTIŞMA

Membran biyoreaktör ile evsel nitelikli atıksular arıtmaya tabi tutulmuş ve çıkış suyu geri kazanılmıştır. Karbon ve biyolojik fosfor giderimi yapılmış, nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri gerçekleştirilmiştir. Biyolojik arıtmanın yanında ultrafiltrasyon membranı ile mekanik olarak askıda katı madde, bakteriler ve virüsler de giderilmiştir. Geri kazanılan atıksu birçok alanda yeniden kullanılabilir. Bu çalışmada ağırlıklı olarak geri kazanılan atıksuyun sulamada kullanılması üzerinde durulmuş ise de başka seçenekler de mevcuttur.

Geri kazanılan atıksuyun hangi amaçla kullanılacağını belirleyen birçok faktör vardır. Şehir merkezlerindeki yerleşim yerlerinde tarımsal sulama yerine geri kazanılan atıksu sifon suyu, yeşil alan sulaması (park, bahçe), yangın söndürme, araba yıkama gibi amaçlar ile kullanılabilir. Bir diğer faktör de geri kazanılan atıksuyun depolanması ve arıtma ekipmanları için gereken alan problemidir. Şehir merkezlerinde gerekli alanları bulmak daha da zor olabilmektedir. Bunun yanında MBR sistemlerinin özellikle büyük siteler için kullanılması oldukça uygun olup geri kazanılan atıksu da site içerisindeki yeşil alan sulamasında kullanılabilir. Bazı kompakt MBR sistemleri kişilerin bireysel olarak evlerine kurabilecekleri cinstendir (4-8 kişilik bir aile için) ve bu sistemler sayesinde geri kazanılan atıksu ev içerisinde ve var ise bahçe işlerinde sulama maksatlı kullanılabilir. Geri kazanılan atıksu tarımsal amaçla kullanılacak ise daha dikkatli olunmalıdır ayrıca her bitki türü için sağlanması gereken kriterler de farklılık göstermektedir.

Evsel atıksuların MBR ile arıtılıp geri kazanılması ile sağlanan birçok yarar vardır. Geri kazanılan atıksu birçok farklı alanda kullanılır ve bu alanlarda kullanılacak temiz su miktarı azaltılmış olur, ayrıca atıksu kanalizasyon sistemine verilmediği için arıtma tesislerinde arıtılan atıksuların su kaynaklarına (denizlere, nehirlere) deşarj edilmesi ve su kaynaklarının kirlenmesi önlenmiş olur.

MBR ile atıksu arıtımı ve geri kazanılması oldukça idealdir ayrıca klasik membran sistemlerine göre işletme maliyeti de daha azdır. Ülkemizde membran fiyatları oldukça yüksektir ve membranların belli bir ömrü vardır, bu nedenle bir süre sonra

membranın yenilenmesi gerekmektedir. Bunlara ek olarak işletme ve bakım masrafları da mevcuttur. Yerli membran üretimi ile maliyet düşürülebilir ve bu tip ileri arıtma teknolojileri daha da uygulanabilir hale getirilebilir. Membran biyoreaktör sistemlerinde son çöktürme havuzlarına ihtiyaç olmaması da bir diğer avantajdır. Alan problemleri olan yerleşim yerlerinde rahatlıkla uygulanabilirler. Bu nedenlerle, sürdürülebilir bir su yönetimi sistemi için yeni kurulacak olan evsel atıksu arıtma tesisleri klasik sistemler yerine membran sistemleri şeklinde inşa edilmelidir. Mevcut arıtma tesisleri de rahatlıkla membran biyoreaktör sistemlerine çevrilebilirler.

Evsel atıksu arıtma sistemlerine endüstriyel atıksuların karışmaması çok önemli bir konudur. Endüstriyel atıksular evsel atıksulardan ayrı toplanmalı ve ayrı arıtılmalıdır, ayrıca endüstriyel atıksuların etkili biçimde arıtılabilmeleri için evsel atıksularda uygulanan yöntemler (biyolojik ve fiziksel arıtma) genellikle yeterli olmamaktadır. Endüstriyel atıksular içerdikleri ağır metaller ve toksik maddeler nedeniyle çok daha ileri arıtma sistemlerine ihtiyaç duyarlar. Ağır metaller ve toksik maddeler içeren suların sulamada kullanılmasıyla bitki ve toprak bünyesinde birikme meydana gelebilir. Konsantrasyonları çok düşük olsa dahi uzun yıllar aynı arazinin sulanmasıyla toprakta yüksek miktarda birikme meydana gelebilir. Toprakta sızma yoluyla yeraltı sularına da karışma riski olduğundan daha da dikkatli olunmalıdır.

Evsel atıksuların sulamada kullanılması çok daha kolay olmaktadır ayrıca evsel atıksular içerdikleri nütrientler (azot, fosfor, potasyum gibi elementler) nedeniyle bitki büyümesini destekler ve fayda sağlar. Bu sayede bitki üretiminde gübre kullanımı ihtiyacı da ortadan kalkar ve böylece ek olarak bir gübre masrafından da kurtulmuş olur. Evsel atıksularda dikkat edilmesi gereken en önemli parametre sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) parametresidir. Sodyum, kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonlarının oranı oldukça önemlidir fakat bu değerler bölgesel olarak da değişiklik gösterebildiği için sulama suyunda dikkatle incelenmeleri gerekmektedir. Klorür konsantrasyonları genellikle probleme yol açacak kadar yüksek olmamakla beraber membran biyoreaktör ile arıtımda çıkış suyunun klorlanması da gerekli değildir. Toplam koliform ve virüsler bakımından da etkili giderim sağlamaktadır ve bu nedenle oldukça güvenlidir.

Sulama suyu kullanımında önemli diğer hususlardan biri de sulama suyu sistemi seçimidir. Damlatmalı sulama en iyi sulama tipi olmakla beraber su kalitesine bağlı

olarak sulama tipi seçilmelidir. Özellikle askıda katı madde konsantrasyonları zamanla sulama sisteminde tıkanmalara yol açıp sistemi devre dışı bırakabilirler. Membran biyoreaktör çıkış suyu askıda katı madde konsantrasyonları oldukça düşük olup tıkanma bakımından bir probleme yol açmazlar.

Sulanacak bitki türü su kalitesine göre dikkatle seçilmelidir. Bazı bitki türleri oldukça hassas olup düşük konsantrasyonlardaki klorür ve sodyum değerlerine karşı hassasiyet gösterebilirler. Bu nedenle hassas türlere karşı dikkatli olunmalıdır.

Sonuç olarak, evsel atıksuların geri kazanılmasında belli parametrelere dikkat edilerek ve doğru arıtma teknolojisinin seçilmesiyle iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Membran biyoreaktörlerin atıksu geri kazanılmasında kullanılması ise diğer sistemlere göre oldukça avantajlıdır.

KAYNAKLAR

- Acreman, M.C.** (1998). Principles of water management for people and the environment. *In Water and Population Dynamics*, eds. A. de Shirbinin and V. Dompka. American Association for the Advancement of Science. pp: 321.
- Adham, S., Gagliardo, P.** (1998). Membrane Bioreactors for Water Repurification-Phase I, Final Technical Report, City of Sandiego, CA.
- Alpaslan, M.N., Dolgen, D. and Akyarlı, A.** (2002). Liquid Waste Management Strategies for Coastal Areas. *Water Science and Technology*, 46 (8), 169-175.
- Atıksu Aritma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT).** (2010). Resmi Gazete Sayısı: 27527, Resmi Gazete Tarihi: 20 Mart 2010.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W.** (1985). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome.
- Baker, R.W., Louie, J., Pfromm, P.H. and Wijmans, J.G.** (1989). Ultrathin Composite Metal Membranes, US Patent 4,857,080. August, 1989.
- Baker, R.** (2004). Membrane Technology and Applications, Membrane Technology and Research, Inc., Menlo Park, California
- Bhave, R.R.** (1991). *Inorganic Membranes: Synthesis Characterization and Applications*, Chapman Hall, New York.
- Bunani, S.** (2013). Application of Membrane Technology for Reuse of Biotreated Municipal Wastewater and Quality Analysis of Product Water, İzmir.
- Cerini L.** (1929). Apparatus for the Purification of Impure Solutions of Caustic Soda and the Like on Osmotic Principals, US Patent 1,719,754 (July, 1929) and US Patent 1,815,761 (July, 1929).
- Chhabra, R.** (1996), Soil Salinity and Water Quality, Old Post Road, USA.
- Cicek, N., Franco, J.P., Suidan, M.T. and Urbain, V.** (1998). Using a membrane bioreactor to reclaim wastewater. *Journal American Water Works Association*, 90(11), 105–113.
- Constanza, R., Arge, R., Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and Belt, M.** (1997). *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. *Nature* 387: 253–260.
- Dobrowolski, J. P., O'Neill, M. P. and Duriancik, L.F.** (2004). Agricultural Water Security Listening Session: Final Report, September 9-10, 2004, Park City, UT. USDA Research, Education, and Economics.

- Dobrowolski, J., O'Neill, M., Duriancik, L. and Throwe, J.** (2008). Opportunities and Challenges in Agricultural Water Reuse: Final report. USDA-CSREES.
- EPA Guidelines for Water Reuse.** (2012). EPA/600/R-12/618, September 2012.
- Fittschen, I., Niemczynowicz, J.** (1997). Experiences with dry sanitation and greywater treatment in the ecovillage toarp, SWEDEN. *Water Science and Technology*. 35(9), 161-170.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** (2011). Executive Summary. Thirty-seventh Session Rome 25 June – 2 July 2011. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW).
- Grinnell, G.K and Janga, R.G.** (2004). *Golf Course Reclaimed Water Marketing Survey*. American Water Works Association. Denver, CO.
- Hans Huber MembraneClearBox User Manual.** (2009). Onsite Biological Sewage Plant, 4-50 PE, Germany.
- Harivandi, A.** (2011). Purple Gold - A Contemporary View of Recycled Water Irrigation. *Green Section Record*. 49.
- Hills, S. and English, P.** (1999). Water recycling at the Millennium Dome. Presented at "water recycling and effluent reuse". 26-27th April 1999. London UK.
- Hills, S., Smith, A., Hardy, P. and Birks, R.** (2001). Water recycling at the Millennium Dome. *Water Science and Technology*. 43 (10), 287-294.
- Jefferson, B., Laine, A.L., Stephenson, T. and Judd, S.** (2001). Advanced biological unit processes for domestic water recycling. *Water Science and Technology*. 43 (10), 211-218.
- Judd, S.** (2006). The MBR Book: Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment.
- Kelley, M.** (2009). The World Water Crisis: Problems, Crisis Regions, Action & Solutions Based on Regional Opportunity.
- Kenny, J. F., Barber, N. L., Hutson, S. S., Linsey, K. S., Lovelace, J. K. and Maupin, M.A.** (2009). Estimated Use of Water in the United States in 2005. United States Geological Survey (USGS).
- Knights, P.** (2002). Environmental flows: lessons from an Australian experience. Proceedings of International Conference: Dialog on Water, Food and Environment. October 2002. Hanoi, Vietnam. pp: 18.
- Kurt, U., İlhan, F., Birben, C.İ., Ulucan, K. and Gönüllü, M.T.** (2009). *Sızıntı sularının evsel atıksular ile birlikte elektrokoagülasyon prosesiyle birlikte arıtılabilirliğinin incelenmesi*, Türkiye 2009 Türkiye'de katı atık yönetimi sempozyumu.
- Metcalf and Eddy.** (2004). Wastewater Treatment, Disposal and Reuse, McGrawhill Publishing.
- Molden, D.** (1997). Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

- Mulder, M.** (1996). *Basic Principles of Membrane Technology*, Center for Membrane Science and Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands.
- Naiman, R.J., Bunn, S.E., Nilsson, C., Petts, G.E., Pinay, G. and Thompson, L.C.** (2002). Legitimizing fluvial ecosystems as users of water. *Environmental Management* 30: 455-467.
- Nolde E.** (2007). Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. *Desalination* 215 (2007) 1-11.
- O'Neill, M.P. and Dobrowolski, J.P.** (2011). Water and Agriculture in a Changing Climate. *HortScience*. 46:155.
- Pescod, M.B.** (1992). Wastewater treatment and use in agriculture – FAO irrigation and drainage paper 47, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Postel, S.L., Daily, G.C., and Ehrlich, P.R.** (1996). Human appropriation of renewable fresh water. *Science* 271: 785-788.
- Postel, S. and Carpenter, S.** (1997). Freshwater Ecosystem Services. In *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, ed. G. C. Daily. Washington DC: Island Press. pp: 195-214.
- Revenga, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K. and Payne, R.** (2000). *Pilot Analysis of Freshwater Ecosystems: Freshwater Systems*. Washington DC, USA; World Resources Institute. pp 83.
- Seckler, D., Molden, D. and Barker, R.** (1998). *Water scarcity in the twenty-first century*. IWMI Water Brief 1. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Shiklomanov, I.A. ve Rodda, J.C.** (2003). *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Shouler, M., Griggs, J. and Hall, J.** (1998). Water conservation. *British Research Establishment (BRE) Information Paper, IP 15/98*.
- Sombatsompop, K., Visvanathan, C. and Benaim, R.** (2006). Evaluation of biofouling phenomenon in suspended and attached growth membrane bioreactor systems. *Desalination*, 201: 138-149.
- Sommariva, C., Converti, A. and Del Borghi, M.** (1996). Increase in phosphate removal from wastewater by alternating aerobic and anaerobic conditions, Elsevier *Desalination* 108 (1996) 255-260.
- Stephenson, T., Judd, S., Jefferson, B. and Brindel, K.** (2000). *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*. IWA publishing, 2nd edition.
- Sumino, T., Isaka, K., Ikuta, H., Saiki, Y. and Yokota, T.** (2006). *Nitrogen Removal from Wastewater Using Simultaneous Nitrate Reduction and Anaerobic Ammonium Oxidation in Single Reactor*, *Journal of Bioscience and Bioengineering* 102-4.
- Tanık, A., Alpaslan N. ve Dölgen, D.** (2008). Türkiye’ de Su Yönetimi ve Sorunlar, TÜSİAD.

- Till, S. and Mallia, H.** (2011). Membrane Bioreactors: Wastewater treatment applications to achieve high quality effluent. 64th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference.
- Turan, M. and Özdemir, Ö.** (2011). *Treatment of municipal wastewater using extended aeration-ultrafiltration process in a submerged membrane bioreactor*, Fresenius Environmental Bulletin, Volume 20-No 7a.
- Turan, M., Özdemir, Ö., Turan, A.Z., Özkan, O., Bayhan, H. and Aykar, E.** (2011). *Performance of a flat-sheet submerged membrane bioreactor during long-term treatment of municipal wastewater*, Desalination and Water Treatment, 53-56.
- Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. and Lammers, R.B.** (2000). Global water resources: Vulnerability from climate.
- Yıldız, E., Keskinler, B., Pekdemir, T., and Akay, G.** (2005). High Strength Wastewater Treatment in a Jet Loop Membrane Bioreactor: Kinetics and Performance Evaluation. *Chemical Engineering Science*, 60, 1103-1116.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Saime YILMAZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Kadıköy, 1988

E-Posta: fmuhendis@hotmail.com / saime.yilmaz@itu.edu.tr

Eğitim Bilgileri:

Lisans: (2008-2012) Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü (AGNO: 3.27/4)

Yüksek Lisans: (2013-2015) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı (AGNO: 3.31/4)

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

(08.2011-09.2011) İSTAÇ A.Ş.: Stajyer Mühendis

(06.2011-07.2011) İSKİ Kadıköy Atıksu Arıtma Tesisi: Stajyer Mühendis

(08.2010-09.2010) İSKİ Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi: Stajyer Mühendis

Yabancı Dil:

İngilizce (Okuma, Konuşma, Yazma): İyi Derecede

Bilgisayar Bilgileri :

Autocad, Ms Office Programları (Word, Excel, Powerpoint)

Sınav Bilgileri:

Ales: 78.02 (2012 Bahar Dönemi)

Yds: 80 (2014 Güz Dönemi)

Belgeler:

(2012-2017) Çevre Görevlisi Belgesi

Burslar:

(2014-2015) Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Yüksek Lisans Bursu

Sertifikalar ve Seminerler:

(20.03.2011) Iso 14001:2004 Çevre Yönetim Sistemi, Tcs Yönetim Sistemleri Eğitim Akademisi

(20.03.2011) Ohsas 18001:2007 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi, Tcs Yönetim Sistemleri Eğitim Akademisi

(20.03.2011) Iso 9001:2008 Kalite Yönetim Sistemi, Tcs Yönetim Sistemleri Eğitim Akademisi

(19.02.2011) İş Sağlığı ve Güvenliği Semineri, Yıldız Teknik Üniversitesi Mezunlar Derneği

(04.12.2010) Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm, İBB Gençlik Meclisi

Üye Olunan Topluluklar:

Çevre Mühendisleri Odası, 2012

Yayın ve Patent Listesi:

Mumay, H.O, **Yılmaz, S.**, Ekinci, E.Ç, Aktan, N. and Türkdoğan, F.İ. (2014). The Relation of Flow-Cost For Aeration Tanks. *2nd International Conference on Environmental Science and Technology (Icoest 2014)*, May 14-17, 2014 Antalya, Turkey.

Referanslar:

1. Doç. Dr. İlder TÜRKOĞAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü

Tel : 0212 383 53 71 | E-Posta : ilterturkdogan@gmail.com

2. Prof. Dr. Mustafa TURAN, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa Kampüsü

Tel: 0537 778 08 54 | E-Posta : turanm@itu.edu.tr