

T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ  
KOORDİNASYON BİRİMİ

MEMBRAN BİYOFİLTRE VE ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖR KULLANILARAK  
ATIKSUDA NÜTRİENT (C:N:P) GİDERİM  
VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

**Proje No: FBA-08-554**

Proje Türü: EÜBAP

**SONUÇ RAPORU**

**Proje Yürütücüsü:**  
Yrd. Doç. Dr. Merve OĞUZ

Çevre Mühendisliği

**Araştırmacının Adı Soyadı**  
**Birimi/Bölümü**  
Yrd. Doç. Dr. Oktay ÖZKAN  
Arş. Gör. Hamdi MIHÇIÖKUR  
Çevre Müh. Ali BAHRAN  
Çevre Müh. Fatma VARİNLİ

Çevre Mühendisliği

Ekim 2010

KAYSERİ



## **TEŐEKKÜR**

Bu projenin yürütülmesindeki katkılarından ve yardımlarından dolayı KASKİ Genel Müdürlüęü'ne teŐekkür ederiz.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ŞEKİLLER LİSTESİ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Ardışık Kesikli Reaktörler	2
1.2. Daldırılmış Membran Biyoreaktörler	3
1.2.1. Tutma (Rejection)	5
1.2.2. Süzüntü akışı (Permeate flux)	5
1.2.3. Kirlenmenin (fouling) önlenmesi	6
1.2.4. Membranın temizlenmesi	7
1.2.5. Membranın değiştirilmesi	7
1.2.6. MBR'lerin avantajları ve dezavantajları	7
2. GEREÇ VE YÖNTEM	8
2.1. Ardışık Kesikli Reaktör Sistemi	8
2.2. Atıksu Karakterizasyonu	11
2.3. Membran Biyoreaktör Sistemi	12
3. BULGULAR	14
3.1. Nutrient Giderimi Üzerinde Çamur Yaşının Etkisi	14
3.1.1. KOI konsantrasyonunun çamur yaşı ile değişimi	14
3.1.2. Toplam azot (TN) konsantrasyonunun çamur yaşı ile değişimi	14
3.1.3. Toplam fosfor (TP) konsantrasyonunun çamur yaşı ile değişimi	15
3.2. AKR Giderim Verimlerinin Çamur Yaşı ile Değişimleri	16
3.2.1. KOI giderim verimlerinin değişimi	16
3.2.2. TN giderim verimlerinin değişimi	17
3.2.3. TP giderim verimlerinin değişimi	17
3.3. Membran Biyoreaktör ile Ardışık Kesikli Reaktör Verimlerinin Karşılaştırılması	18
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	20
KAYNAKLAR	21

**ŞEKİLLER LİSTESİ**

Şekil 1.1. AKR sisteminin şematik görünümü	3
Şekil 1.2. (a) Konsantre çamuru biyoreaktöre geri devir yapılan ayrık filtrasyonlu yan taraf-akımlı (side-Stream) MBR; (b) Daldırılmış (submerged) MBR; filtrasyon ünitesi biyoreaktör içinde entegre.	4
Şekil 1.3. Membran biyoreaktörün uygulanması	5
Şekil 2.1. AKR şematik gösterimi	8
Şekil 2.2. AKR doldurma fazı görüntüsü	10
Şekil 2.3. AKR çöktürme fazı görüntüsü	11
Şekil 2.4. SBR sisteminden görüntüler	13
Şekil 3.1. AKR giriş ve çıkış KOI çamur yaşı ile değişimi	14
Şekil 3.2. AKR giriş ve çıkış TN çamur yaşı ile değişimi	15
Şekil 3.3. AKR giriş ve çıkış TP çamur yaşı ile değişimi	15
Şekil 3.4. KOI giderim verimlerinin çamur yaşı ile değişimi	16
Şekil 3.5. TN giderim verimlerinin çamur yaşı ile değişimi	17
Şekil 3.6. TP giderim verimlerinin çamur yaşı ile değişimi	17
Şekil 3.7. AKR ve SBR KOI giderime verimleri	18
Şekil 3.8. AKR ve SBR TN giderime verimleri	19
Şekil 3.9. AKR ve SBR TP giderime verimleri	19

## MEMBRAN BİYOFİLTRE VE ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖR KULLANILARAK ATIKSUDA NÜTRİYENT (C:N:P) GİDERİM VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

### ÖZET

Bu çalışmanın amacı, ardışık kesikli laboratuvar (AKR) ölçekli reaktör kullanılarak evsel atıksudan nütriyent giderim verimlerinin membran biyoreaktör (MBR) sistemiyle elde edilen giderim verimi sonuçları ile karşılaştırılmasıdır. AKR sistemi toplam hacmi 5 L olan reaktör ile 3 L hacimde, havalandırma çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonu 2 mg/l'nin üzerinde olacak şekilde hava taşları yardımıyla, karıştırma 1200 devir/dakika'lık mekanik karıştırıcı ve atıksu besleme ve boşaltma ise 3 L/saat'lik peristaltik pompa kullanılarak işletilmiştir. AKR ile gerçek atıksuda nütriyent giderimi için her bir basamağın hidrolik alıkonma süresi; anaerobik faz için 4 saat, anoksik faz için 30 dakika, aerobik faz için; 6 saat, çöktürme ve boşaltma fazı için 1,5 saat günlük 2 döngü olmak üzere 12 saatlik periyotla ve katı alıkonma (çamur yaşı) üç farklı şekilde 20, 15 ve 10 gün olarak çalışılmıştır. Tübitak Kamag Projesi kapsamında Kayseri atıksu arıtma tesisinde (KASKİ) pilot-ölçekli daldırılmış membran biyoreaktör (SMBR) sistemi kurulmuş ve gerçek atıksu arıtımı yapılmıştır. SMBR' de atıksu sisteme pompa ile beslenmiş ve süzüntü emme pompası ile alınmıştır. Süzüntü debisi ve transmembran basıncı (TMP) sırasıyla bir ratometre ve manometre ile ölçülmüştür. Pilot-ölçekli SMBR sisteminde süzüntü debisi 50-90 L/saat arasında, havalandırma tankında hidrolik bekletme süresi (HRT) 20-36 saat, toplam biyokütle (MLSS) konsantrasyonu 4-7 g/l arasında, çamur bekletme süresi (SRT) sonsuz alınmıştır. Transmembran basıncı (TMP) 0,1-0,5 bar arasında değişmiştir. AKR'de kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) giderimleri üç çamur yaşı için karşılaştırılmış ve optimum olan 20 günlük çamur yaşında SMBR sistemi ile karşılaştırılmasına karar verilmiştir. AKR'de 20 günlük çamur yaşında ortalama KOİ, TN ve TP giderim verimleri sırasıyla % 96, %86 ve %93 dür. SMBR sisteminde ise ortalama KOİ, TN ve TP giderim verimleri sırasıyla % 94, % 36 ve % 45 dir. İki sistemde karşılaştırıldığında SMBR sisteminin % 94 ile yüksek KOİ giderim verimine karşılık TN ve TP giderim verimlerinin düşük olduğu görülmektedir. SMBR sistemi nütriyent giderimi bakımından uygun sistemler olmasına rağmen azot ve fosfor giderimi için tasarlanmaması nedeni ile düşük performans elde edilmiştir. Buna göre SMBR ve AKR sistemlerini TN ve TP giderimi bakımından karşılaştırmak şu an için sağlıklı sonuçlar vermemektedir. KOİ giderimine bakıldığında iki sistemin giderim verimlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Ardışık kesikli reaktör, Membran biyoreaktör, Atıksu, Nütriyent giderimi

## **COMPARISON OF REMOVAL EFFICIENCIES OF NUTRIENTS (C:N:P) IN WASTEWATER USING A MEMBRAN BIOFILTER AND A SEQUENCING BATCH REACTOR**

### **ABSTRACT**

The objective of this study is to compare nutrient removal efficiencies in a municipal wastewater using a lab scale sequencing batch reactor (SBR) and a membrane bioreactor (MBR). The SBR has a working volume of 3 L with a total volume of 5L. Dissolved oxygen (DO) concentration was maintained at 2 mg/L using air stones. The SBR contents were mixed by placing the reactor on top of a square magnetic stir plate. The influent and effluent flows were conveyed to the reactor at a flow rate of 3 L/h using a peristaltic pump. The SBR's hydraulic retention time (HRT) for each step was as follows: anaerobic phase 4 h; anoxic phase 30 min; aerobic phase 6 h; settling and draw phase 1.5 h. There were 2 cycles each 12 h per day. The sludge retention time (SRT) were maintained 20, 15, and 10 days. A pilot scale submerged membrane bioreactor (SMBR) was set at Kayseri Wastewater Treatment Plant (KASKI) based on TUBITAK Kamag Project and real municipal wastewater was treated. In SMBR, the wastewater was fed by a pump and was drawn using a permeate suction pump. Permeate flow rate and transmembran pressure (TMP) was measured by a ratometer and manometer, respectively. The permeate flow rate was 50-90 L/h, HRT was 20-36 h, total biomass (MLSS) concentration was 4-7 g/l and SRT was infinitive. TMP changed between 0.1-0.5 bar. In SBR, chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) removals were compared using three different SRTs and then SMBR system results were compared with SBR working in 20-day SRT. The average COD, TN and TP removal efficiencies were 96%, 86% and 93%, respectively, in SBR for 20 day SRT. On the other hand, in SMBR, the average removal efficiencies of COD, TN and TP were found as 94%, 36% and 45%, respectively. As far as COD removal was concerned the performances of two systems were similar. Since SMBR was not designed for nitrogen and phosphorus removal, the efficiencies were low. Therefore, comparing SMBR and SBR for TN and TP removals is not proficient at this point.

**Keywords:** Sequencing Batch Reactor, Membrane Bioreactor, wastewater, nutrient removal

# 1.BÖLÜM

## GİRİŞ

Atıksularda nütrient giderimi doğal su sistemlerine aşırı nütrient deşarjını önlemek bakımından önemlidir. Günümüzde yüzeysel sulara nütrient bakımından zengin atıksuların deşarjı önem verilmesi gereken konulardan biri olduğu için organik karbon (KOl) ve fosfor gideriminin yanında nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri kullanılarak azot giderimi de deşarjı gereken sularda avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte söz konusu parametreler için klasik arıtma sistemlerinin dışında daha az yer kaplayan, daha kaliteli çıkış suyu sağlayan ve işletme ve ilk yatırım maliyetleri açısından ekonomik sistemlere ihtiyaç yoğunlaşmaktadır. Bu amaçla atıksuda nutrientlerin (C,N,P) giderimi amacıyla kullanılan ardışık kesikli reaktör (AKR) ve daldırılmış membran biyoreaktör (SMBR) sistemleri gibi arıtım alternatiflerinden en düşük maliyet ile en fazla verim elde edilen sistemin belirlenmesi, hem uygun arıtma sisteminin seçimi hem de ekonomik arıtma ihtiyacının karşılanması bakımından önemlidir.

AKR sisteminin işletimi periyodik bir şekilde gerçekleşmekte ve bu periyotlar; doldurma, işletme (havalandırmalı veya havalandırmaz), çöktürme ve boşaltma işlemlerinden meydana gelmektedir. AKR prosesinin işletim süresi; hidrolik yükleme, güç gereksinimlerinin ekonomik etkinliği gibi işletimsel ihtiyaçlara kolaylıkla cevap verebilmesi bakımından oldukça esnektir [1]. Klasik aktif çamur sistemlerinde biyolojik faaliyetlerin, ayırma tankında eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesine karşın, AKR' deki faaliyetlerin ise aynı tankta ardışık olarak gerçekleştirilebilmesi bu tip sistemleri diğer klasik aktif çamur sistemlerinden ayırmaktadır. [2]. Aynı zamanda AKR' de nütrient giderimi isteğe bağlı olarak reaksiyon çevrimindeki basamaklar belli sayı ve sırada anaerobik, anoksik ve aerobik fazları sağlamak için ayarlanabilir [3]. Yüksek arıtma performansı ile birlikte sistem içerisinde biyokütlenin çökme özelliğinin iyi olması nedeniyle biyokütlenin arıtılmış sudan kabul edilebilir bir süre içerisinde ayrılarak sistemden uzaklaştırılabilmesi, sistemin diğer bir avantajıdır [4].

SMBR sistemlerinde ise atıksu transmembran basıncı ve süzüntü akısı parametrelerinin etkisi altında sistemin organik karbon ve fosfor arıtma verimlerinin esnekliği göze çarpmaktadır. SMBR' da atıksu daldırılmış membran tabakadan geçerken biyolojik olarak faaliyet gösteren mikroorganizmaların da tutulacağı por yapısına sahip olması sistemin dezavantajlarından biridir. İki sistemin de avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurulduğunda uygun arıtma sisteminin seçimi gerekli görülmüş ve bunun için iki sistem karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın



amacı atıksulardan nütrient giderimi için son zamanlarda yaygın olarak kullanılan MBR ve AKR sistemlerinin karşılaştırılarak uygun arıtma prosesi hakkında öneri sunmaktır.

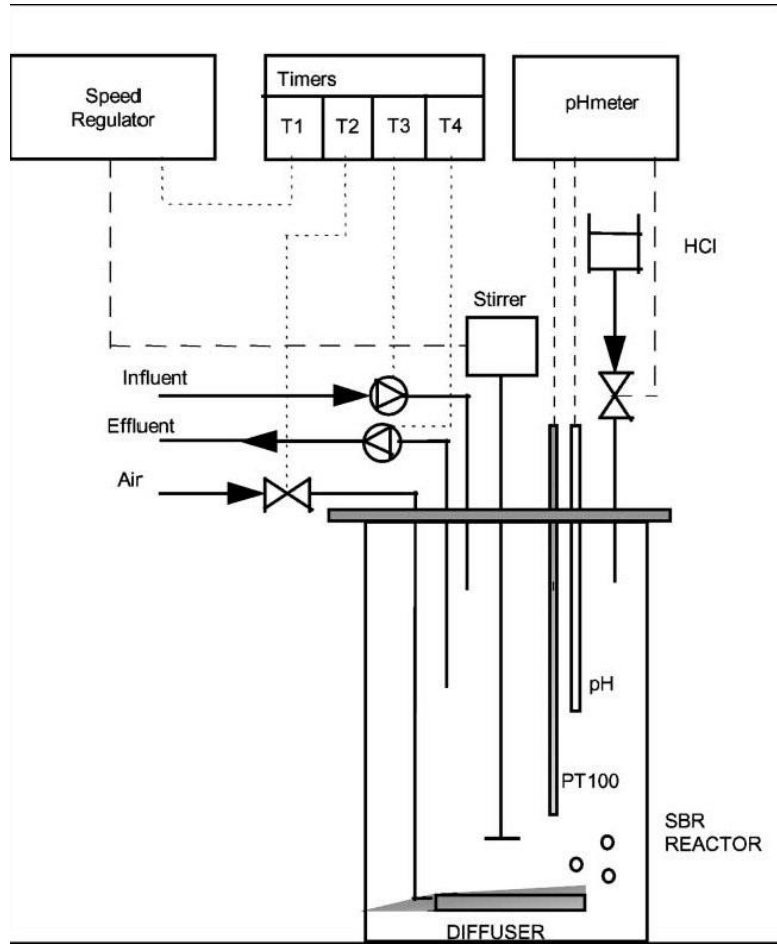
## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Ardışık Kesikli Reaktörler (AKR)**

Ardışık kesikli reaktör (AKR), son yıllarda giderek kullanımı yaygınlaşan, hem evsel atıksular hem de endüstriyel atıksuların arıtılmasında kullanılan, tek bir reaktör içerisinde arıtım ve çöktürme proseslerinin yapıldığı biyolojik arıtma sistemleridir. AKR aktif çamur prosesinin bir modifikasyonu olup doldur-boşalt prensibi ile çalışmaktadır [5].

AKR'de karbon, azot ve fosfor gibi nutrient giderimlerinin yanı sıra toplam katı madde (TKM), toplam uçucu katı madde (TUKM), toplam askıda katı madde (TAKM), toplam uçucu askıda katı madde (TUAKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI) ve bulanıklık gibi kirlilik parametrelerinde de önemli oranda giderim sağlandığı bilinmektedir [6].

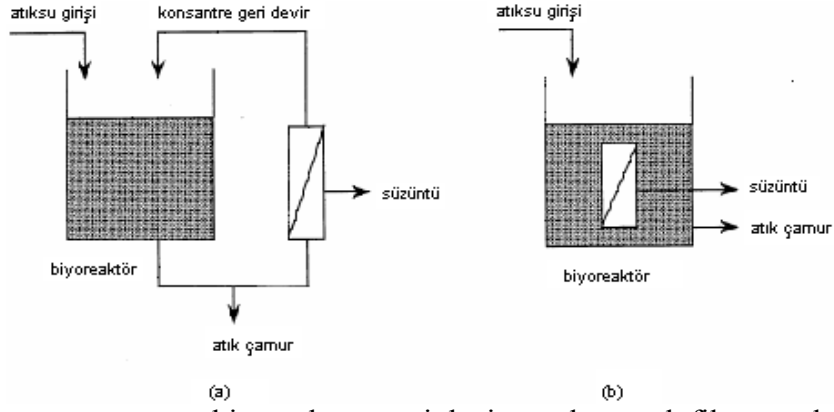
Gerekli arıtma reaktörün işletme şartlarını değiştirerek gerektiğinde kimyasal ilavesi ile sağlanabilir. Fosfor, koagülant ilavesi ile veya biyolojik olarak giderilebilir. Bu sistemde reaksiyon zamanı 3 ile 24 saat arasında değişebilir. Havalı ve havasız reaksiyon süreleri değiştirilerek nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonları da aynı sistemde gerçekleştirilebilir. Ortamın havalı ve havasız veya anoksik olması durumlarında sıvı fazdaki fosfat konsantrasyonunda sırasıyla artma ve azalma görülür. Anoksik şartlarda organizmalar ortama fosfat verdiği için sıvı fazda fosfat konsantrasyonu yükselir. Havalı şartlarda ise fosfat organizmalar tarafından tutulduğundan sıvı fazdaki fosfat konsantrasyonu azalır. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, AKR organik atıksuların arıtımına uygulanabilen doldur-boşalt tipinde bir aktif çamur sistemi olup, genel anlamda klasik aktif çamur sistemlerine benzer yapıdadır [7].



Şekil 1.1. AKR sisteminin şematik görünümü [7]

## 1.2. Daldırılmış Membran Biyoreaktörler (SMBR)

Atıksuların deşarj kriterleri üzerinde ülkemizde Çevre Mevzuatı kapsamında yürürlükte olan yönetmelik Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ve Avrupa Birliği (EC) ülkelerinde yürürlükte olan yasalar BOİ, askıda katı madde, azot, fosfor ve bakteri için yüksek giderme verimleri sağlayacak geliştirilmiş yeni arıtma proseslerinin kullanılmasını tavsiye etmektedir [8,9]. En çok tavsiye edilen yeni teknolojilerden birisi de membran biyoreaktörlerdir (MBR). Bu proses, biyolojik arıtmayla birleşik olan membran filtrasyonundan oluşmaktadır. Bir MBR sisteminde, katı/sıvı membran filtrasyonu ya biyoreaktörün içinde (daldırılmış konfigürasyon, Şekil 1.2.a) veya dış taraftan pompa ile geridevir yaptırılarak (yan taraf-akımlı konfigürasyon, Şekil 1.2.b) sağlanır.



**Şekil 1.2.** (a) Konsantre çamuru biyoreaktöre geri devir yapılan ayrıklı filtrasyonlu yan taraf-akımlı (side-Stream) MBR; (b) Daldırılmış (submerged) MBR; filtrasyon ünitesi biyoreaktör içinde entegre.

Ultrafiltrasyon (UF) veya mikrofiltrasyon (MF) membran tutulan maddeleri ayırır; esas olarak su ve diğer çözücü türler membrandan geçerken katı maddeler ve mikroorganizmalar tutulur. Membran biyoreaktörler (MBR), klasik aktif çamur prosesine göre daha düşük çamur üretimine sahiptir. Daldırılmış MBR sistemi aktif çamur sisteminin yarısı kadar yer kaplar ve çamur üretimi de benzer olarak yarıya düşer [10]. Çamur uzaklaştırma işletme maliyeti içinde önemli bir yer tuttuğundan, onun üretimindeki azalma potansiyel bir kazanç sağlayacaktır.

Bu proses, biyolojik arıtmayla birleşik olan membran filtrasyonundan oluşmaktadır. Bir MBR sisteminde, katı/sıvı membran filtrasyonu ya biyoreaktörün içinde (daldırılmış konfigürasyon) veya dış taraftan pompa ile geri devir yaptırılarak (yan taraf-akımlı konfigürasyon) sağlanır. Batık membran uygulaması ve reaktör dışında batık membran uygulamalarının kendi arasında kıyaslaması yapıldığında;

#### ***Biyolojik reaktör içinde batık membran uygulaması;***

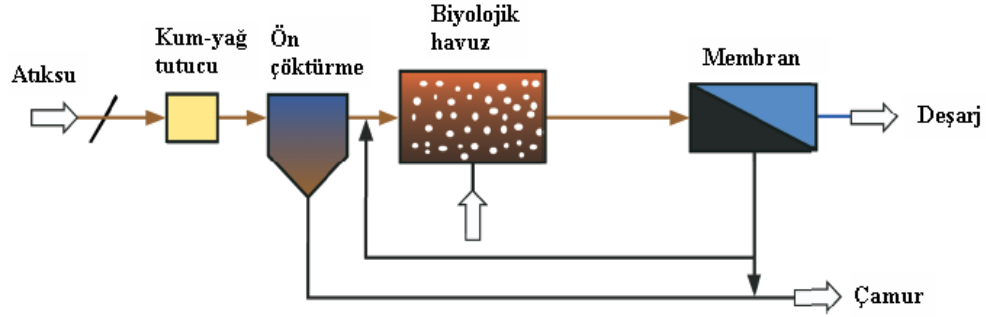
- Yüksek biyokütle konsantrasyonu vardır,
- Geri devir yoktur,
- Basit mimariye sahiptirler.

#### ***Biyolojik reaktör dışında batık membran uygulaması;***

Batık membran uygulamasına göre bakım ve onarım çalışmaları için daha fazla esnekliğe sahiptir.

### ***Aktif çamur reaktöründen sonra membran uygulaması;***

Şekil 1.3’ de aktif çamur proseslerinden sonra kullanılan membran biyoreaktörün örnek bir uygulaması görülmektedir.



**Şekil 1.3.** Membran biyoreaktörün uygulanması

Bir membranın performansı, (1) Tutma (rejection) (membran tarafından tutulan kirletici konsantrasyonunun, membrana giren atıksudaki kirletici konsantrasyonuna oranıdır) ve (2) özgül süzüntü akısı (birim basınç başına akıdır) veya permeabilite ile gösterilir.

#### **1.2.1. Tutma (Rejection)**

Tutma, biyolojik ve biyolojik olmayan kolloidlerin ve makro moleküllerin süzülerek veya adsorpsiyonla giderilmesidir [8]. MBR teknolojisinin önemli özelliklerinden birisi de çıkış suyunda patojenik mikroorganizma kalmayacak şekilde atıksuyu dezenfekte etme kabiliyetidir. Bu durum, suyun yıkanma suyu veya geri kazanma amaçlı kullanılmasında önem kazanmaktadır. Bakteri ve virüslerin, UF ve MF membranlarının her ikisi tarafından tutulması ise önemli bir özellik olarak bilinmektedir [9,11,12,13,14]. Bu membranların por büyüklükleri 0,05-1,5  $\mu\text{m}$  mertebesinde değişmektedir.

#### **1.2.2. Süzüntü akısı (Permeate flux)**

Süzüntü akısı azalması, besleme suyu (kompozisyonu), membran (membran elemanının geometrisi/konfigürasyonu (biçimi), alan ve materyalin kompozisyonu) ve operasyona (hidrodinamik) bağlı birçok faktöre göre değişmektedir. Membranın besleme atıksuyundaki kirletici bileşenler tarafından tıkanması, membranın iç ve dış yapısında bu maddelerin birikmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır [15,16]. Bu da, membranın filtrasyona direncini ve dolayısıyla enerji harcamalarını artırır. Ayrıca membranın temizlenmesi de toplam maliyete eklenir. Tıkanma genellikle membranın dışında membran yüzeyinde dinamik bir tabaka formunda yer almaktadır. Akının azalma hızı genellikle zamanla azalır, ancak akının veya

basıncın artması ile artar. Özgül akı hemen daima transmembran basıncının (TMP) azalması ile artar [20,21]. Yalnız sıvının pompalanmasında işletme verimi göz önüne alındığında, daldırılmış MBR, yan taraflı konfigürasyondan daha fazla verimlidir. Membranların kirlenmesi (fouling), filtrasyon işleminin başlangıcında veya basınçtaki değişimlerde veya akı çok hızlı iken kritik değerlere çıkmaktadır [10,17,18,19,22].

### **1.2.3. Kirlenmenin (fouling) önlenmesi**

Atıksu kompozisyonu membran ile etkileşim yaparak süzüntü akısını etkileyebilir. Mesela, protein ve bakterilerin hidrofobik polimerik yüzeylere bağlanması araştırılmış ve permeabilite üzerinde olumsuz etkisi görülmüştür. pH ayarlaması yapılarak, elektrostatik ve kısa aralıklı kuvvetlerin proteinle kirlenmeye katkısı gösterilmiştir [25,26].

Mevcut membran malzemeleri seramik/metalik (inorganik) veya polimerik (organik) malzemelerden oluşur. Seramik membranlar (zirkonyum ve titanyum oksit kompozitleri), yüksek hidrolik, termal ve kimyasal direnç gösterir, ancak sınırlı bir membran geometrisine sahiptir ve polimerik malzemelerden daha pahalıdır [27,28]. Doğal olarak, polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyvinilydene fluoride (PVF), ve polysulphone (PS) gibi hidrofobik membranlar hidrofilik polimerler ile karışım yapılabilir veya yüzeyleri hidrofilikler ile iyileştirilebilir. Birçok araştırmada, UF ve MF membran malzemelerde hidrofobisitin önemi belirtilmiş ve hidrofilik membranların akı azalmasından hidrofobiklere göre daha az zorlandığı gösterilmiştir. Aynı çalışma şartlarında hidrofilik membranlar hidrofobiklere göre daha düşük basınçlarda çalışırlar ve geri kazanmaları da daha yüksektir [23,24,29,30].

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

#### 1.2.4. Membranın temizlenmesi

İki tip MBR konfigürasyonu için temizlenme şekilleri oldukça farklıdır. Daldırılmış MBR'larda, süzüntü akışı nispeten düşüktür ve herhangi bir kirlenme olmaksızın uzun çalışma peryotlarında sağlanabilir. Mesela, daldırılmış plak ve çerçeve (P&F) konfigürasyonunda yılda iki defa % 0,1 sodyum hipoklorit çözeltisi ile membran temizlenir [31]. Yan taraf- akımlı sistemde, akı ve beraberinde gelen kirlenme oranı daha yüksektir. Yan taraf -akımlı sistemlerin, geri yıkama (süzüntü akısının filtrasyon basınçlarında kısa bir süre için geri döndürülmesidir) veya kimyasal temizleme ile ekseriya daha sık ve daha agresif olarak temizlenmesi gerekmektedir. Seramik membranlı böyle bir sistemde ise % 5,25 NaOCl 60–80°C ısıtılarak konsantre nitrik asitle birlikte kullanılır ve temizleme işlemi 2 saat kadar sürer [32].

#### 1.2.5. Membranın değiştirilmesi

İşletme maliyetleri membranın değiştirilme sıklığından önemli derecede etkilenir ve bu sebepten membranın ömrünün uzatılması sağlanması için birçok tasarruf imkânları aranır. Genel olarak, daha sağlam olan seramik membranlar daha az pahalı olan polimerik malzemelerden daha uzun süre bozulmadan devam eder. Ancak membran malzemelerin fiyatındaki önemli fark, iki membran için membran değiştirme maliyetinin eşit olabileceği anlamına gelir ( % 30 civarında bir fark olabilir).

#### 1.2.6. MBR'lerin avantajları ve dezavantajları

##### *Avantajlar;*

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

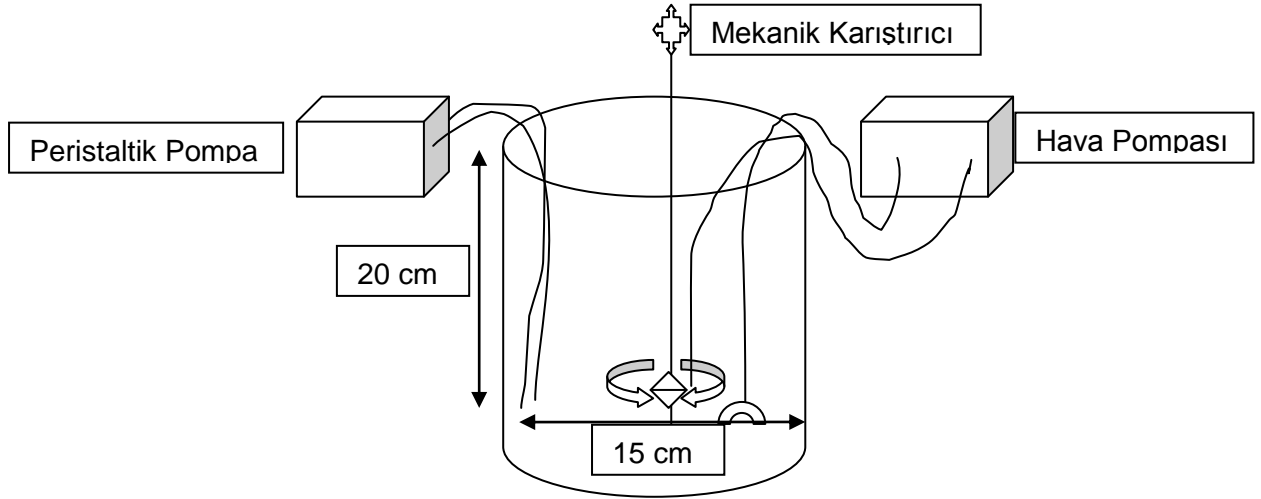
##### *Dezavantajlar;*

- Membran modüllerinin yüksek yatırım maliyetleri
- Membran bütünlüğü (hata tespit, yaşam süresi)
- Yüksek işletme maliyetleri (enerji sarfiyatı)[33].

## 2. GEREÇ VE YÖNTEM

### 2.1. Ardışık Kesikli Reaktör Sistemi

Deneyisel çalışmalar, laboratuvar ölçekli toplam hacmi 5 L, çalışma hacmi 3 L olan bir ardışık kesikli reaktör (AKR) de yürütülmüştür. Pleksiglass malzemeden yapılan reaktörün çapı 15 cm, yüksekliği 20 cm ve et kalınlığı 5 mm'dir. Havalandırma, reaktöre yerleştirilen hava taşlarıyla, reaktör içinde ÇO konsantrasyonu 2 mg/L'nin üzerinde olacak şekilde dakikada 2500 cm<sup>3</sup> hava pompalayan çift çıkışlı akvaryum pompası ile sağlanmıştır. Reaktörde karışımı sağlamak amacıyla 1200 devir/dakika'da sabit olarak çalıştırılan mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Reaktöre KASKİ Atıksu Arıtma Tesisi ızgara çıkışından alınan atıksu beslemesi ve boşaltılması 3 L/saat'lik debiyle peristaltik pompalar ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan ardışık kesikli reaktörün şematik gösterimi Şekil 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.1. AKR şematik gösterimi

Ardışık kesikli reaktör günlük 2 döngü olmak üzere 24 saat boyunca non-stop olarak işletilmiştir. Anaerobik fazda çözülmüş oksijen seviyesi 0.1 - 0.3 mg/l arasında iken anoksik fazda oksijen 0.02 - 0.04 mg/l ölçülmüştür. Ardışık kesikli reaktörün çalışma süreleri ise Tablo 2.1' de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.** AKR çalışma süreleri

<b>Faz</b>	<b>Faz zamanı ve şartlar</b>	<b>Amaç</b>
<b>Doldurma ve Anaerobik Faz</b>	Sadece doldurma pompası çalışmaktadır. Zaman:4 saat	Sistemi taze atıksu ile besleyerek anaerobik şartlar altında KOI giderimi, denitrifikasyon reaksiyonu ve fosforu serbest bırakmayı sağlamak.
<b>Karıştırma ve Anoksik Faz</b>	Sadece mikser çalışmakta ve karıştırma yapılmaktadır. Zaman: 30 dakika	Biyolojik katıların çökmesini önleyerek anoksik şartlarda nitrat sağlamak.
<b>Havalandırma ve Aerobik Faz</b>	Mikser ve hava pompası çalışmaktadır. Zaman: 6 saat	Çözünmüş oksijeni 2 mg/l' nin üzerinde tutarak nitrifikasyon gerçekleşmekte, aerobik şartlarda KOI ve fosfor giderim miktarını artırmayı sağlamak.
<b>Çöktürme Fazı</b>	Sistem çöktürmeye bırakılmaktadır. Zaman: 1 saat	Askıdaki katıların çöktürmek için ortam sağlamak.
<b>Boşaltma Fazı</b>	Sistemdeki üst yüzeyde biriken arıtılmış su sistemden pompa yardımıyla boşaltılır.	Sistem sürekli çalıştığı için her defasında taze atıksu ile beslenir.

AKR sistemine aktif çamur beslemesi uçucu askıda katı madde (UAKM) konsantrasyonu 4678 mg/l olan Kaski Atıksu Arıtma tesisi 4. Havalandırma havuzundan getirilen çamur ile sağlanmıştır. Reaktördeki MLSS konsantrasyonu  $2150 \pm 100$  mg/l olarak MLVSS/MLSS oranı 0,67 olacak şekilde sabit tutulmuştur. AKR çıkış suyunda 20 çamur yaşında ortalama askıda katı madde (AKM) miktarı  $43 (\pm 2)$  mg/l olarak ölçülmüştür. Şekil 2.2' de AKR sistemi doldurma fazından görüntü verilmiştir.





Şekil 2.2. AKR doldurma fazı görüntüsü

Reaktörde pH 7,2 -7,5 arasında ölçülmüş ayrıca sıcaklık IKA C-MAG HS 10 marka manyetik karıştırıcı yardımı ile 20 °C'de sabit tutulmuştur. Sıcaklık, pH ve çözülmüş oksijen WTW ph/Cond 340i marka portatif tip pH ve çözülmüş oksijen ölçer yardımıyla her bir döngü başında ölçülmüştür. Şekil 2.3'de AKR sistemi çöktürme fazından görüntü verilmiştir. Çamur yaşları reaktörden günlük fazla çamur atılarak 20, 15 ve 10 günlük olarak sağlanmıştır. Günlük çamur atmada aşağıda verilen formül kullanılmıştır:

$$\text{Atık hacmi (ml/gün)} = [((MLSS \cdot V_r) / \theta_c) - (Q \cdot ESS)] / MLSS$$

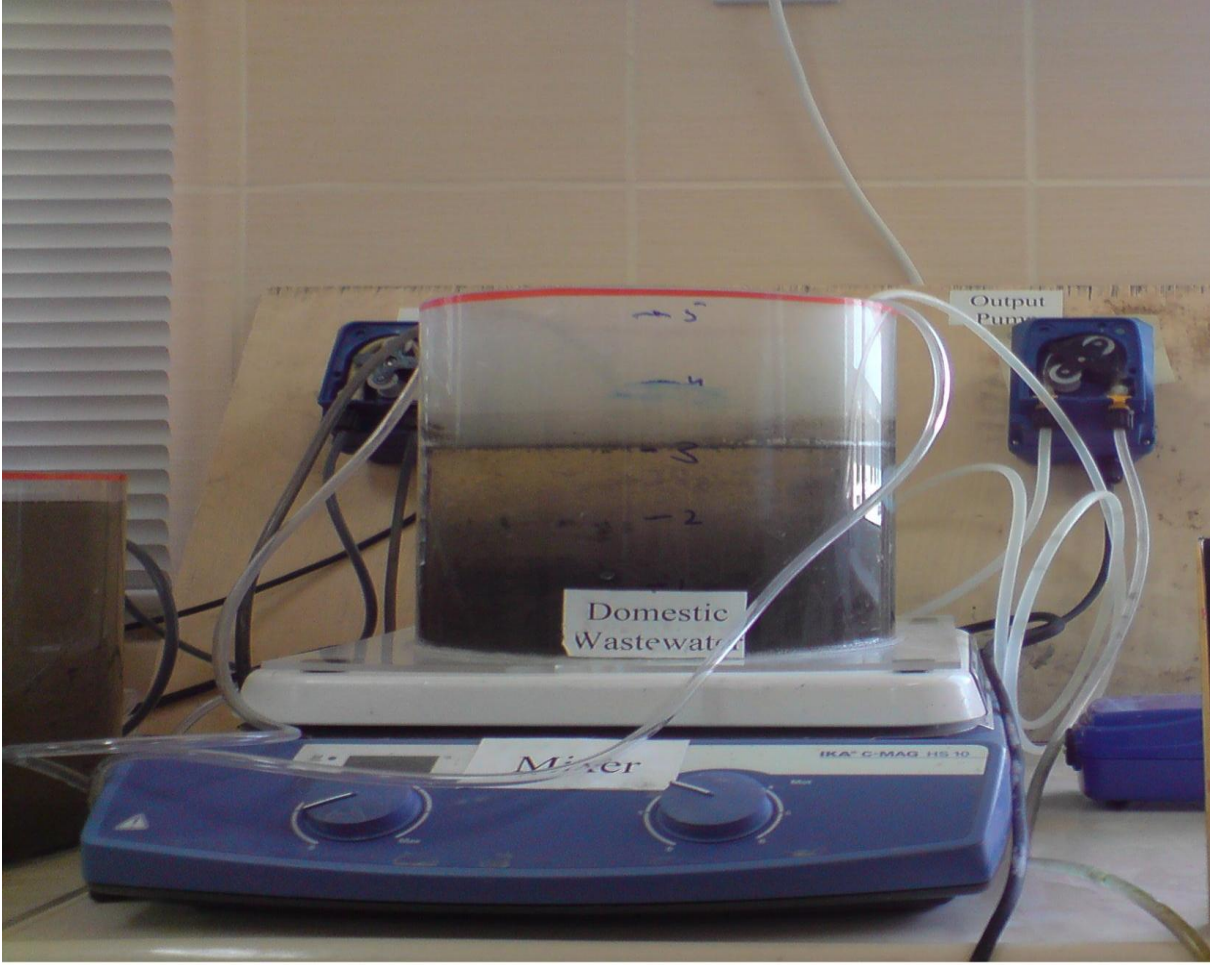
*MLSS*: Reaktördeki günlük ölçülen askıda katı madde miktarı (mg/l)

*V<sub>r</sub>*: Reaktörün toplam hacmi (l)

*θ<sub>c</sub>*: Reaktörün işletildiği çamur yaşı (gün)

*Q*: Reaktörün çıkış suyu debisi (m<sup>3</sup>/gün)

*ESS*: Çıkış atıksuyu askıda katı madde miktarı (mg/l)



Şekil 2.3. AKR çöktürme fazı görüntüsü

## 2.2. Atıksu Karakterizasyonu

Deneylerde KASKİ Atıksu Arıtma Tesisi ızgara çıkışından alınan atıksu kullanılmış olup, atıksuyun karakterizasyonu Tablo 2.2' te verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Çalışmada kullanılan atıksuyun karakterizasyonu

Parametre	Birim	Değer
KOI	mg/l	950
BOI	mg/l	463
TN	mg/l	92
TP	mg/l	26
AKM	mg/l	200
Sıcaklık	°C	21
pH	-	8.7
İletkenlik	mS	7.9
Bulanıklık	NTU	260
Renk	m <sup>-1</sup>	47

Çalışmada kullanılan atıksu numuneleri laboratuara getirildikten sonra deneylere başlanmıştır. Atıksu numunesi 3 günde bir geldiği için taze atıksu buzdolabında + 4 °C’de muhafaza edilmiştir. Sistemin analizleri için numune reaktörün taban, orta ve üst yüzeyinden alınıp karıştırılarak yapılmıştır. KOI, AKM ve UAKM analizleri günlük olarak, giriş KOI LCK 514 KOI küvet testi 100 – 2000 mg/l ölçüm aralığında, çıkış KOI LCK 314 KOI küvet testi 15 – 150 mg/l ölçüm aralığında Hach-Lange markalı DR 5000 spektrofotometre ile, AKM süzme setine Whatman 934AH markalı cam elyaflı filitre ile su süzülerek 103-105 °C’de etüvde kurularak, UAKM ise 500-550 °C’de etüvde kurularak tartılması esasına göre ölçülmüştür. BOI analizleri haftalık olarak Hach-Lange BOI track cihazı ile, TN ve TP analizleri 2 günde bir olmak üzere LCK 340 ve LCK 348 Hach-Lange markalı DR 5000 spektrofotometre ile hazır kit yöntemi kullanılarak ölçülmüştür.

### **2.3. Membran Biyoreaktör Sistemi**

Membran biyoreaktör verileri TÜBİTAK 107G253 No’lu araştırma projesi kapsamında yürütülen “Küçük Yerleşim Birimleri için Uygun Atıksu Arıtma Alternatiflerinin Araştırılması: Yamula Havzasında Örnek bir Çalışma” isimli çalışmadan alınmıştır.

Proje bölgesine yakınlığı sebebiyle KASKİ Atıksu Arıtma Tesisinde lab/ yarı pilot MBR tesisi kurulmuş ve gerçek atıksu arıtımı yapılmıştır. Yurt dışından (Hans Huber - Almanya) membran ünitesi ve mekanik ekipman getirilmiş, diğer ekipmanlar yurt içinden temin edilmiştir. Ön çökeltme tankı ve membran filtrasyonun bulunduğu havalandırma tankı için, 2 adet 3000 L’lik (çap = 147 cm, yükseklik = 213 cm, ağırlık = 70 kg) polietilen tank kullanılmıştır. Havalandırma tankının efektif hacmi yaklaşık 2000 L’dir (minimum su yüksekliği = 120 cm için). Mekanik ekipmanın bulunduğu panelin muhafazası için pano alınmış ve duvara montajı sağlanmıştır. Lab/Pilot-ölçekli daldırılmış membran biyoreaktörü (MBR) ile gerçek evsel atıksuyun arıtılması çalışmaları, 15.01.2009 tarihinden itibaren yürütülmektedir. Şekil 2.4’ de KASKİ Atıksu arıtma tesisinde kurulmuş SMBR sisteminden görüntüler verilmiştir.



**Şekil 2.4.** SMBR sisteminden görüntüler

Ham atıksu, anaerobik/anoksik tanktan cazibeli (yerçekimi) akışla SMBR tankına geçmektedir. Atıksu sisteme bir pompa vasıtasıyla beslenmiştir. Membrandan süzüntü bir emme pompası ile alınmıştır. Pilot-ölçekli SMBR sisteminde süzüntü debisi 50-90 L/saat arasında değişiklik göstermektedir. Havalandırma tankındaki toplam biyokütle (MLSS) konsantrasyonu 4-7 g/L arasında değişmiş ve çamur bekleme süresi (SRT) sonsuz alınmıştır. Transmembran basıncı (TMP), 0,1-0,5 bar arasında değişmiştir. SMBR sisteminde kullanılan atıksuyun analizleri standart metodlar yardımı ile yapılmıştır. Atıksuyun KOI ve BOI parametreleri günlük, TN ve TP parametreleri ise 2 günde bir analiz edilmiştir.

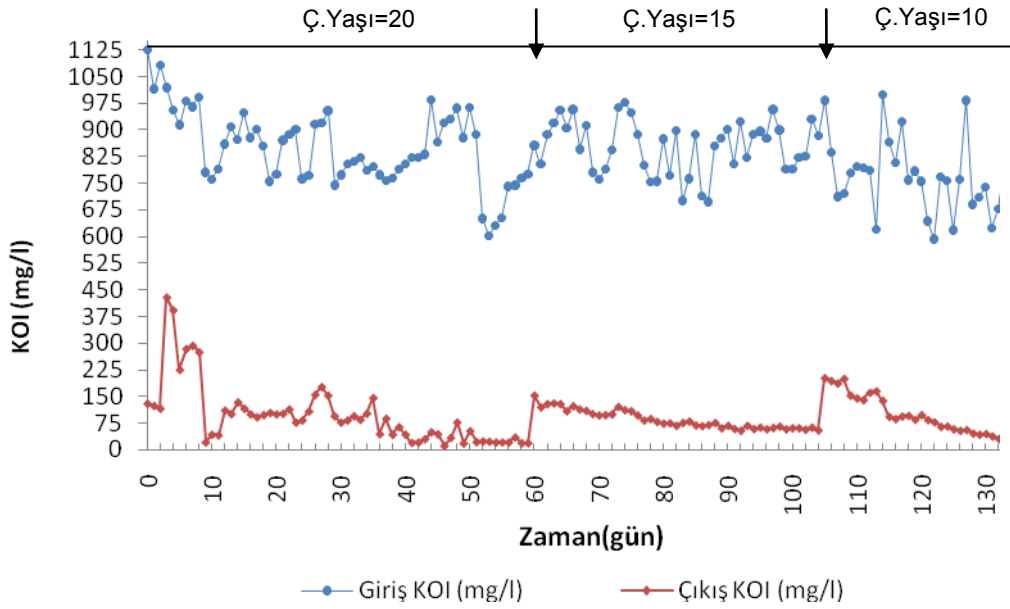
### 3. BULGULAR

#### 3.1. Nütrient Giderimi Üzerinde Çamur Yaşının Etkisi

AKR sistemi 3 değişik çamur yaşında (20, 15 ve 10 gün) işletilmiştir. İşletilen çamur yaşının 3 katı kadar süreye (gün) ulaşıldığında sistemde giderme verimleri sabit hale gelmekte ve stabil hale gelene kadar elde edilen verilerin yeterli olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla sistem ilk olarak çamur yaşı  $\theta_c = 20$  günde 60 gün boyunca, daha sonra  $\theta_c = 15$  günde 45 gün boyunca ve en son olarak  $\theta_c = 10$  günde 30 gün boyunca çalıştırılmıştır.

##### 3.1.1. KOI konsantrasyonunun çamur yaşı ile değişimi

Sistemde  $\theta_c$  sırasıyla 20,15,10 gün olmak üzere giriş ve çıkış KOI'nin çamur yaşı ile değişimi Şekil 3.1'de verilmiştir.



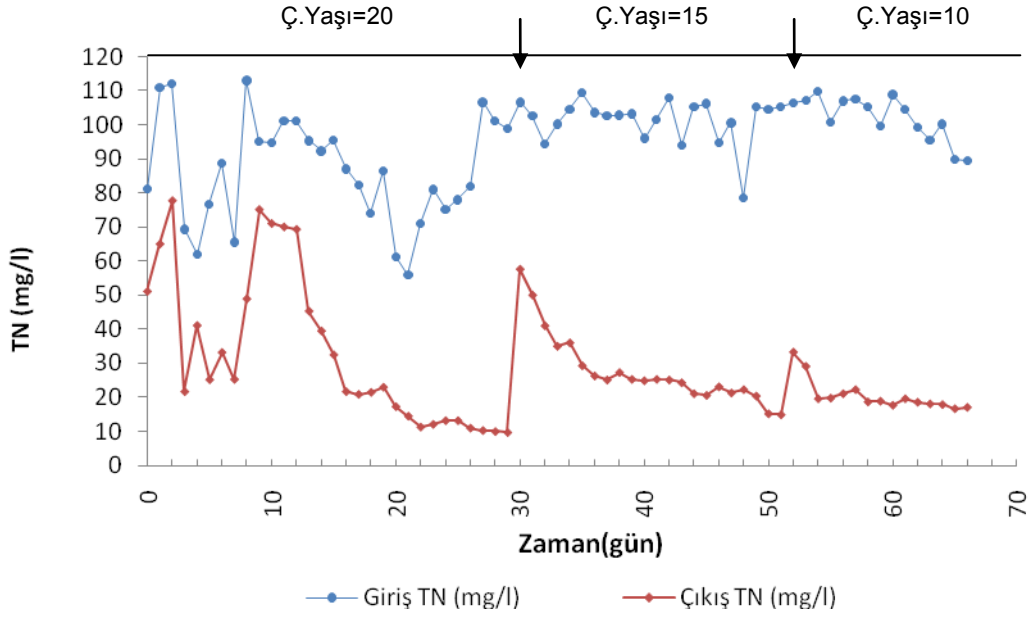
Şekil 3.1. AKR giriş ve çıkış KOI çamur yaşı ile değişimi

Sistemin işletilmesi süresince giriş atıksuyu KOI miktarı ortalama 832 mg/l olarak ölçülmüştür. Çıkış atıksuyunda ise KOI miktarı ortalama olarak 95 mg/l'dir.

##### 3.1.2. Toplam azot (TN) konsantrasyonunun çamur yaşı ile değişimi

Sistemde giriş ve çıkış TN konsantrasyonları Şekil 3.2'de görüldüğü gibi çamur yaşı değişimlerinden etkilenmiştir.

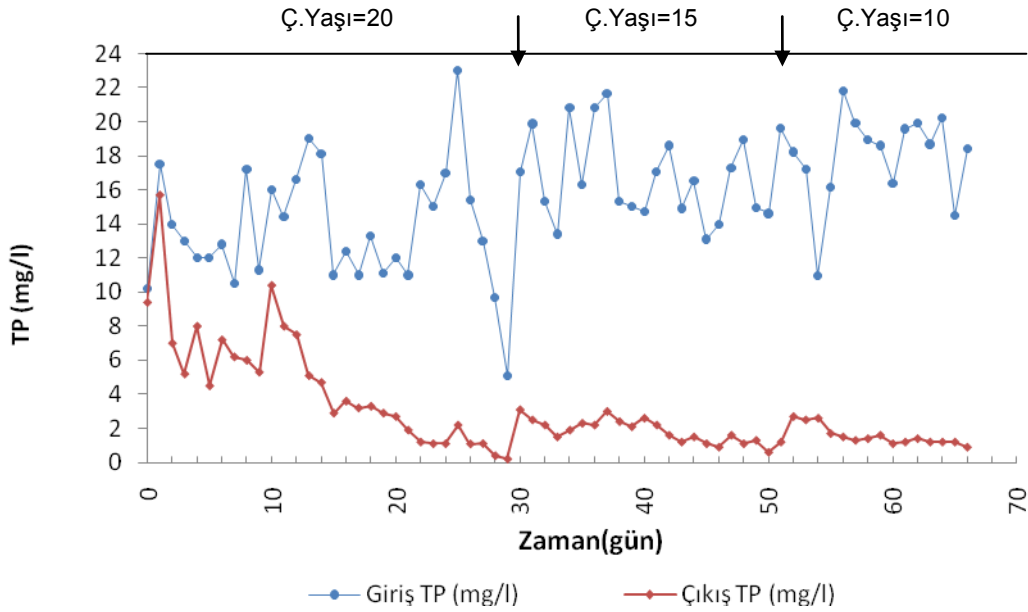




Ortalama giriş atıksuyu TN konsantrasyonu 95 mg/l iken çıkış atıksuyunda 29 mg/l konsantrasyonuna kadar gözlemlenmiştir.

### 3.1.3. Toplam fosfor (TP) çamur yaşı ile değişimi

Şekil 3.3 giriş ve çıkış TP konsantrasyonlarının çamur yaşına göre değişimini göstermektedir.



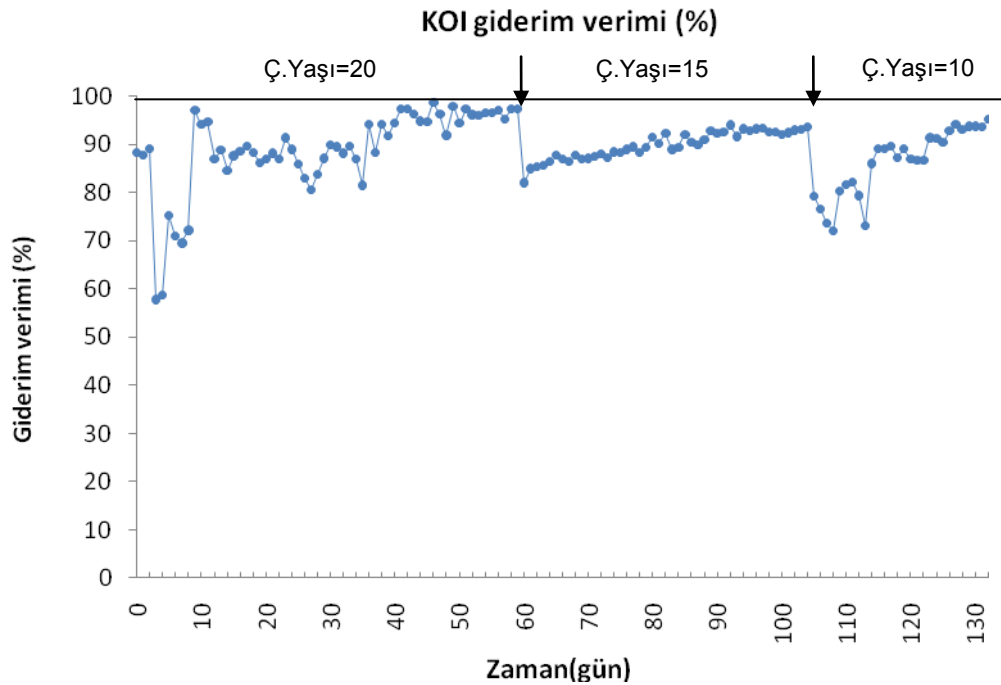
Sistemin bütün çamur yaşlarında TP değişimleri yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi ortalama giriş atıksuyu TP miktarı 16 mg/l iken çıkışta bu değer 3 mg/l olarak gözlemlenmiştir.

### 3.2. AKR Giderim Verimlerinin Çamur Yaşı ile Değişimleri

AKR’de sistemin en uygun çamur yaşının optimum KOI, TN ve TP giderim verimleri göz önüne alındığı zaman 20 günlük çamur yaşı olduğu gözlemlenmiştir.

#### 3.2.1. KOI giderim verimlerinin değişimi

AKR sisteminde KOI giderim verimleri ile çamur yaşının değişimi Şekil 3.4’de verilmiştir.

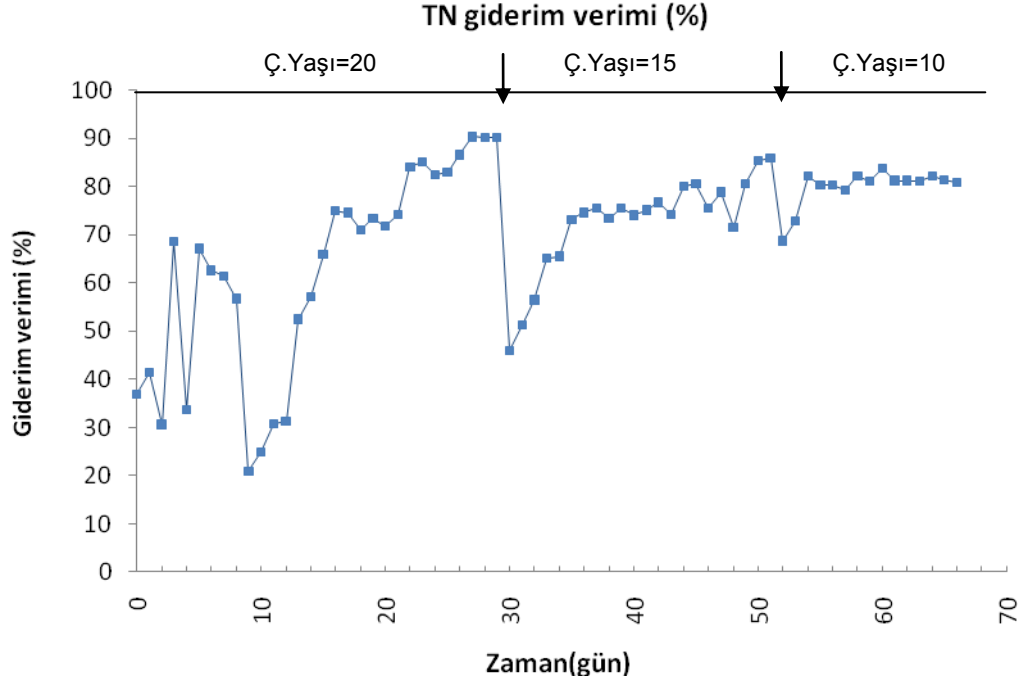


Şekil 3.4. KOI giderim verimlerinin çamur yaşı ile değişimi

AKR sisteminde ortalama KOI giderim verimi bütün çamur yaşları göz önüne alındığında % 89 olarak bulunmuştur. Optimum giderim verimlerinin elde edildiği 20 günlük çamur yaşında ortalama KOI giderim verimi %96 bulunmuştur. 15 ve 10 günlük çamur yaşlarında KOI giderim verimleri sırasıyla %93 ve %91 olarak bulunmuştur.

#### 3.2.2. TN giderim verimlerinin değişimi

Şekil 3.5’de TN giderim verimlerinin çamur yaşı ile değişimi grafiği verilmiştir.

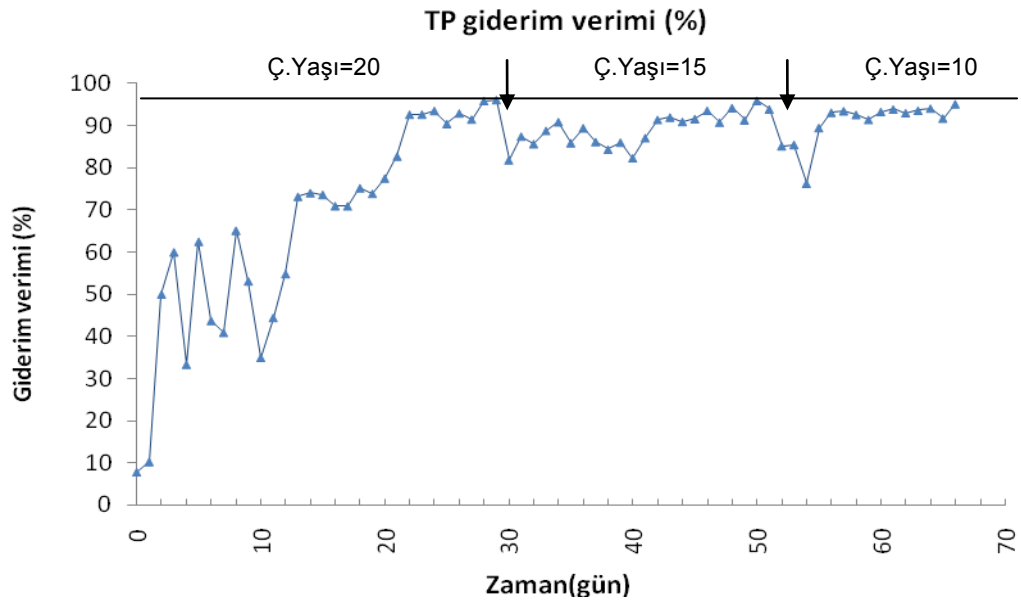


Şekil 3.5. TN giderim verimlerinin çamur yaşı ile değişimi

AKR sisteminin TN giderim verimi bütün çamur yaşları göz önüne alındığı zaman ortalama %70 olarak bulunmuştur. Her bir çamur yaşı baz alınarak 20, 15 ve 10 günlük çamur yaşlarında sırasıyla ortalama %86, %80 ve %82 olarak bulunmuştur.

### 3.2.3. TP giderim verimlerinin değişimi

Şekil 3.6' da TP giderim verimlerinin çamur yaşı ile değişimi grafiği verilmiştir.



Şekil 3.6. TP giderim verimlerinin çamur yaşı ile değişimi

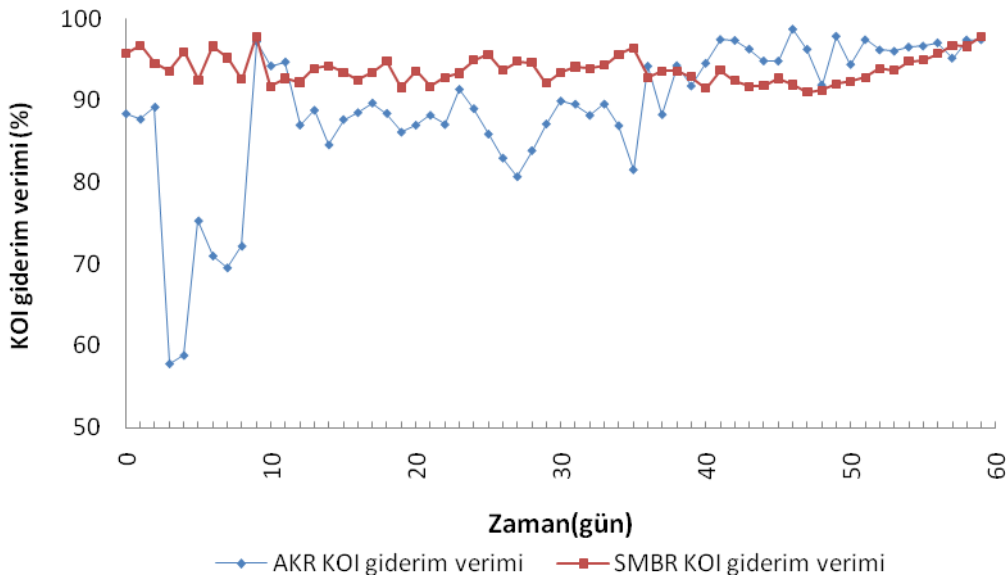
AKR sisteminde TP giderim verimi bütün çamur yaşları göz önüne alındığı zaman ortalama %80 olarak bulunmuştur. 20, 15 ve 10 günlük çamur yaşlarında TP giderim verimi hepsinde



ortalama %93 olarak bulunmuştur. Buna göre optimum çamur yaşı olarak KOI, TN ve TP giderim verimleri en yüksek olduğu için MBR sistemi ile karşılaştırmalarda 20 günlük çamur yaşı kullanılmıştır.

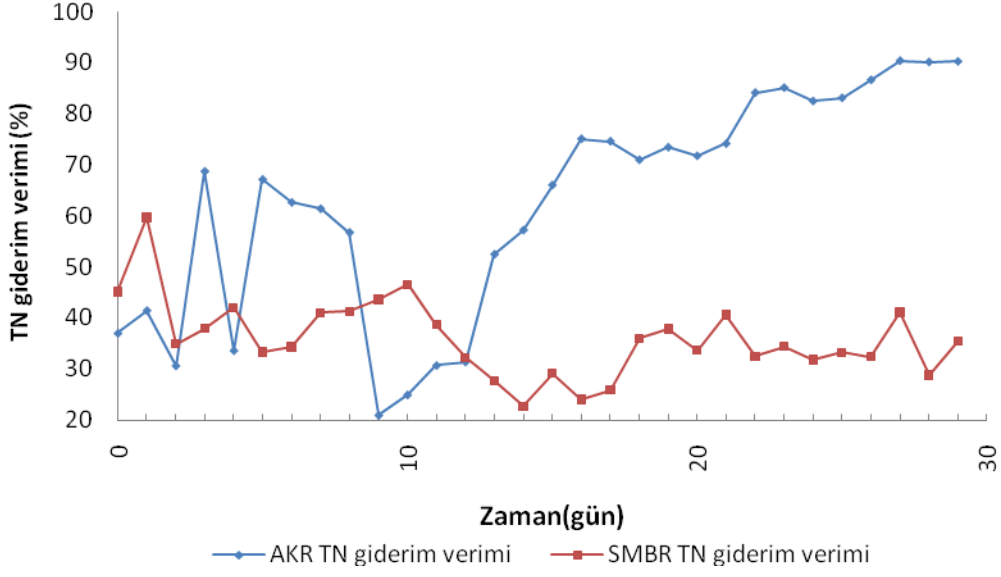
### 3.3. Membran Biyoreaktör ile Ardışık Kesikli Reaktör Verimlerinin Karşılaştırılması

AKR sisteminin çalıştırıldığı dönemde yine KASKİ Atıksu arıtma tesisinde AKR'ye paralel olarak devam eden MBR sisteminin deneysel çalışmalarından alınan veriler AKR sisteminde, optimum arıtma veriminin gerçekleştiği 20 günlük çamur yaşı verileri ile karşılaştırılmıştır. İki sisteminde paralel çalıştığı dönemde KOI giderme verimleri arasındaki ilişki Şekil 3.7'de verilmiştir.



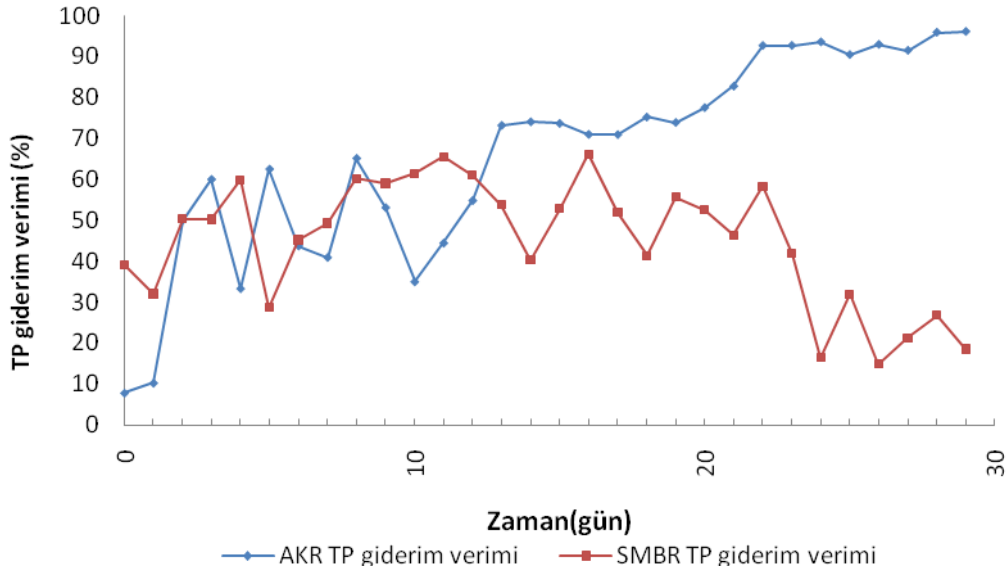
Şekil 3.7. AKR ve SMBR KOI giderime verimleri

AKR sisteminin KOI giderim verimi incelendiği zaman ortalama %96 verim elde edildiği görülmektedir. SMBR sisteminde KOI giderim verimi ortalama olarak %94 elde edilmektedir. SMBR sistemi nitrojen ve fosfor giderimi için tasarlanmadığından bu parametreler için alınan verim değerleri düşük çıkmıştır. Bu nedenle bu iki sistemin TN ve TP giderim verimlerinin karşılaştırılması çok da anlamlı sonuçlar vermeyecektir. Ancak elde edilen değerlerin görülmesi açısından şekiller yine de verilmiştir. Şekil 3.8' de TN giderim verimleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 3.8. AKR ve SMBR TN giderime verimleri

TN gideriminde AKR sistemi ile %86 verim elde edilmiştir. SMBR sisteminde ise %36 verim elde edilmiştir. Şekil 3.9' da TP giderim verimleri verilmiştir.



Şekil 3.9. AKR ve SMBR TP giderime verimleri

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada AKR sistemiyle SMBR sisteminin nütrient giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca AKR sistemi değişik çamur yaşlarında çalıştırılarak hangi çamur yaşında en iyi verimin alınabileceği belirlenmiştir. 20 günlük çamur yaşında AKR sisteminde, ortalama KOİ, TN ve TP giderim verimleri sırasıyla %96, %86 ve %64 olarak belirlenmiştir. Sistem 15 günlük çamur yaşında çalıştırıldığında ise ortalama %93 KOİ, %80 TN ve %89 TP giderim verimleri elde edilmiştir. Benzer şekilde 10 günlük çamur yaşı için alınan ortalama KOİ, TN ve TP giderim verimleri ise bütün çamur yaşları için %93 olarak sıralanmaktadır. Çamur yaşının nitrojen ve fosfor gideriminde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Ancak, KOİ giderimindeki değişimler çamur yaşına bağlı olarak çok farklılık göstermemektedir. Bu sonuçlara göre 20 günlük çamur yaşında en yüksek giderim verimleri elde edilmiştir.

AKR sisteminin 20 günlük çamur yaşında çalıştırılması sırasında elde edilen verim değerleri, SMBR sisteminin nütrient giderim performansı ile karşılaştırılmıştır. KOİ gideriminde SMBR sisteminde %94 değerinde bir verim elde edilmiştir. AKR'de de %96'lık bir KOİ giderim verimi gözlenmiştir. Bu sonuçlar KOİ giderimi için AKR sistemi ile SMBR sisteminin performansının birbirine yakın olduğunu göstermiştir. Diğer yandan, nitrojen ve fosfor giderimi söz konusu olduğunda MBR sisteminde giderme verimlerinin AKR sistemine göre oldukça düşük olduğu sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bunun sebebi, MBR sisteminde N ve P giderimi sağlayacak şekilde düzenleme yapılmamış olmasıdır. MBR şu an sadece karbon giderimini gerçekleştirmek için dizayn edilmiştir. Bu nedenle, AKR sistemiyle MBR sisteminin N ve P giderimlerini karşılaştırmak şu aşamada sağlıklı olmayacaktır.

Bu projenin sonucunda elde edilen verilere bakıldığında, projenin öneri aşamasında ortaya konulan hedeflere ulaşılmıştır. Buna göre, AKR sistemi için değişik çamur yaşlarında işletme gerçekleştirilmiş ve arıtım için en uygun çamur yaşının 20 gün olduğu tespit edilmiştir. MBR sistemiyle karşılaştırıldığında da her iki sistem için KOİ giderim verimlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Lee, J. K., Choi, C. K., Lee, K.H., Yim, S. B., Mass Balance of Nitrogen, and Estimates of COD, Nitrogen and Phosphorus Used in Microbial Synthesis as a Function of Sludge Retention Time in a Sequencing Batch Reactor System, *Bioresource Technology*, doi:10.1016/j.biortech. 01.057, 2008.
2. Sirianuntapiboon, S., Yommee, S., Application of a New Type of Moving Bio-Film in Aerobic Sequencing Batch Reactor (Aerobic-SBR), *Journal of Environmental Management* v. 78 pp. 149–156, 2006.
3. Uygur, A., Kargı, F., Başkaya, S. H., Ardışık Zamanlı Kesikli Biyoreaktörde Nutrient Gideriminde Hidrolik Alıkonma Süresinin Optimizasyonu, *Uludag Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 9, Sayı 1, Bursa, 2004.
4. Dülekürgen, E., Artan, N., Biyolojik Aşırı Fosfor Gideren Aerobik Granüler Biyokütlenin Mikrobiyolojik Özellikleri, *İTÜ Dergisi, Su Kirlenmesi Kontrolü*, Cilt 16, Sayı: 1-3, s. 123-133, İstanbul, 2006.
5. Gürtekin, E., Ardışık Kesikli Reaktörde Aktif Çamurun Çökebilirliğine Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonunun Etkisi, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 14, Sayı 1, s. 9-15, Elazığ, 2010.
6. Al-Rekabi, W. S., Qiang, H. and Qiang, W.W., Review on Sequencing Batch Reactors, *Journal of Nutrition*, v. 6, pp. 11-19, Pakistan, 2007.
7. Obaja, D., Mace, S., Alvarez, M. J., Biological Nutrient Removal by a Sequencing Batch Reactor (SBR) Using an Internal Organik Carbon Source in Digested Piggery Wastewater, *Bioresource Technology*, v. 96, pp. 7–14, 2006.
8. Council Directive of 8 December 1975 Concerning the Quality of Bathing Water, *Official J. Eur. Commun.*, L31, 1976.
9. Council Directive of 21 May 1991 Concerning Urban Waste Water Treatment, *Official J. Eur. Commun.*, L135, 1991.
10. Knoblock, M.D., et al., Membrane Biological Reactor System for Treatment of Oily Wastewaters, *Water Environment Research*, v. 66(2), pp. 133-139, 1994.
11. Jefferson, B., et al., *Proceedings of Water Environment, Maintaining the Flow*, v. 98 , March, London, 1998.
12. Seo, G.T., et al., Membrane Separation Activated Sludge for Residual Organic Removal in Oil Wastewater, *Water Science and Technology*, v.36( 12), pp. 275-282, 1997.

13. Krauth, K.H., Staab, K.F., Pressurized Bioreactor with Membrane Filtration for Wastewater Treatment, *Water Research*, v.27, pp. 405-411, 1993.
14. Yamamoto, K., Win, K.M, Tannery Wastewater Treatment Using a Sequencing Batch Membrane Reactor, *Water Science and Technology*, v.23(7/8/9), pp. 1639-1 648, 1991.
15. Gander, M., et al., Aerobic MBRs for Domestic Wastewater Treatment: a Review with Cost Considerations, *Separation and Purification Technology*, v. 18, pp. 119-130, 2000.
16. Wang, Z., et al., Research and Applications of Membrane Bioreactors in China: Progress and Prospect, *Separation and Purification Technology*, v. 62, pp. 249-263, 2008.
17. Ishida, H., et al., Second International Conference on Advances in Water and Effluent Treatment, BHR Group, 1993.
18. Ghyoot, W., et al., International Symposium on Environmental Biotechnology: 94th Event of the European Federation of Biotechnology, 1997.
19. Chua, H.C., et al., Controlling Fouling in Membrane Bioreactors Operated with a Variable Throughput, *Desalination*, v. 149, pp. 225-229, 2002.
20. Amy, G., Fundamental Understanding of Organic Matter Fouling of Membranes, *Desalination*, v. 231, pp. 44-51, 2008.
21. Delgado, S., et al., Effect of the Shear Intensity on Fouling in Submerged Bioreactor for Wastewater Treatment, *Journal of Membrane Science*, v. 311, pp. 173–181, 2008.
22. Kima, J.Y., et al., Membrane Fouling Control Through the Change of the Depth of a Membrane Module in a Submerged Membrane Bioreactor for Advanced Wastewater Treatment, *Desalination*, v. 231, pp. 35–43, 2008.
23. Dijk, L., et al., Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment: The State of the Art and New Developments, *Water Science and Technology*, v. 35(10), pp. 3541, 1997.
24. Bodalo, S.A., et al., Spiral-Wound Membrane Reverse Osmosis and the Treatment of Industrial Effluents, *Desalination*, v. 160, pp. 151-158, 2004.
25. Lee, H.J., et al., Designing of an Electrodialysis Desalination Plant, *Desalination*, v. 142, pp. 267-286, 2002.
26. Noordman, T.R., Ketelaar, T.H., Donkers, F., Wesselingh, J.A., Concentration and Desalination of Protein Solutions by Ultrafiltration, *Chemical Engineering Science*, v. 57, pp. 693-703, 2002.
27. Nosenzo, G., Gualdi, A., Mignani, M., Bellini, G., Industrial Removal of Micropollutants from Water of Varying Quality by Flamec Flat Sheet Polymeric Membranes Cassettes, *Desalination*, v. 185, pp. 167-183, 2005.

28. Mallevalle, J., et al., *Water Treatment Membrane Processes*, McGraw Hill, UK, Chapter 10, 1996.
29. Fane, A.G., et al., *Filtrat. Separat.*, pp. 332, Sept / Oct., 1991.
30. Kosvintsev, S., Cumming, I., Holdich, R., Lloyd, D., Starov, V., Sieve Mechanism of Microfiltration Separation, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, v. 230, pp. 167–182, 2004.
31. Sousa, A.C., Cabral, J.M.S., Mateus, M., Microfiltration of Cutinase and Escherichia Coli Cell Fragment Suspensions-The role of the Electrolyte Environment on the Development of Dynamic Cake Layers, *Journal of Membrane Science*, v. 207, pp. 171–187, 2002.
32. Afonso, M.D., Alves, A.M.B., Mohsen, M., Crossflow Microfiltration of Marble Processing Wastewaters, *Desalination*, v. 149, pp. 153-162, 2002.
- 33 . Morao, A.I.C., Alves, A.M.B, Costa, M.C., Manuel C., Cardoso, J.P., Nanofiltration of a Clarified Fermentation Broth, *Chemical Engineering Science*, v. 61, pp. 2418 – 2427, 2006.