

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**



**MEZBAHA ATIKSULARININ MEMBRAN BİYOREAKTÖR
(MBR) SİSTEMİ İLE ARITILMASININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERPİL MERT HEKİM

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**



**MEZBAHA ATIKSULARININ MEMBRAN BİYOREAKTÖR
(MBR) SİSTEMİ İLE ARITILMASININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERPİL MERT HEKİM

Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU(Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Mehmet İŞLEYEN

Prof. Dr. Tülin AŞKUN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

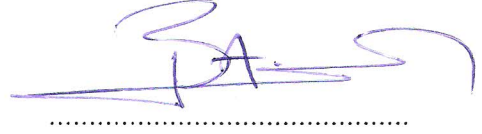
KABUL VE ONAY SAYFASI

Serpil MERT HEKİM tarafından hazırlanan “MEZBAHA ATIKSULARININ MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) SİSTEMİ İLE ARITILMASININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 24.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği /~~oy~~ ~~çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

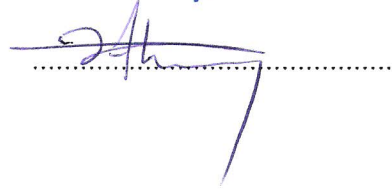
Danışman
Doç. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU



Üye
Prof. Dr. Mehmet İŞLEYEN



Üye
Prof. Dr. Tülin AŞKUN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR



ÖZET

**MEZBAHA ATIKSULARININ MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR)
SİSTEMİ İLE ARITILMASININ İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SERPİL MERT HEKİM
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR. BURHANETTİN FARİZOĞLU)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

Besin endüstrisi atıksuları yüksek konsantrasyonlarda organik kirlilik içeren ve su tüketimi çok olan atıksular olarak nitelendirilir. Bu atıksuların çok iyi derecede arıtılması gerekir. Mezbaha atıksuları da bu özelliklere sahip atıksular karakteri göstermektedirler. Mezbaha atıksuları arıtımında kimyasal arıtma, aerobik ve anaerobik biyolojik arıtma metotları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada arıtımı güç olarak nitelendirilen mezbaha atıksularının Membran Bioreaktör (MBR) sistemi ile arıtımı incelenmiştir. Bununla birlikte reaktörün nitrifikasyon kapasitesi de araştırılmıştır.

Denemeler gerçek atıksu ile yapılmış olup, atıksudan kaynaklanan olumsuzluklar da rapor edilmiştir. MBR sistemleri özellikle yüksek organik kirlilik içeren atıksuların arıtılmasında oldukça iyi sonuçlar vermektedir. MBR çıkış suları tamamen askıda katı maddeden (AKM) arınmış olarak çıkmaktadır. Sistemde kullanılan membran modülleri polisülfan membran tabakalarından imal edilmiştir. Bu membranların en önemli özelliği kendilerini temizleme kabiliyetine sahip olmalarıdır. Hemen tüm şartlarda çıkış suları deşarj standartlarının altında elde edilmiştir. <200 mg KOİ/L

Sistemden giriş suyu konsantrasyonundan bağımsız olarak %95 KOİ giderimi sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: MBR, membran, biyoreaktör, mezbaha atıksuyu, aerobik arıtım,

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER
TREATMENT USING MEMBRANE BIOREACTOR (MBR)
SYSTEM
MSC THESIS
SERPİL MERT HEKİM
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
BIOLOGY
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. BURHANETTİN FARİZOĞLU)
BALIKESİR, JUNE 2019**

Food industry wastewater is considered as wastewater containing high concentration of organic pollution with high water consumption. These wastewaters must be treated very well. Slaughterhouse wastewaters also show the characteristics of these wastewaters. Chemical treatment, aerobic and anaerobic biological treatment methods are used widely in the slaughterhouse wastewater treatment.

In this study, the treatment of slaughterhouse wastewater, which is considered to be difficult to treat, with Membrane Bioreactor (MBR) system was investigated. However, the nitrification capacity of the reactor was also investigated.

Experiments were carried out with real wastewater and negativity caused by actual wastewater has also been reported. MBR systems provide very good results especially in the treatment of wastewater with high organic pollution. The MBR effluents are completely free of suspended solids (SS). The membrane modules used in the system are made of polysulfan membrane layers. The most important feature of these membranes is their ability to clean themselves. In almost all conditions, the effluent waters were obtained below the discharge standards. <200 mg KOİ/L

Regardless of the inlet water concentration of the system, 95% COD removal was achieved.

KEYWORDS: MBR, membrane, bioreactor, slaughterhouse wastewater, aerobic treatment

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	v
ÖNSÖZ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Membran Prosesler	1
1.1.1 Membran Filtrasyon Prosesleri	3
1.2 MBR'lar ve Atıksu Arıtımında Kullanımları	7
1.3 MBR 'larda Membran Kirlenmesi.....	15
2. MEZBAHA ATIKSULARI VE ARITIM METOTLARI	19
3. MATERYAL ve METOD.....	23
3.1 Materyal.....	23
3.1.1 MBR Sistemi.....	23
3.1.2 Sistemde Kullanılan Membranlar	25
3.2 Metod.....	27
3.2.1 KOİ Analizi.....	27
3.2.2 Askıda Katı Madde (AKM) ve MLSS Konsantrasyonlarının Ölçülmesi	27
3.2.3 BOİ Ölçümleri	28
3.2.4 Yağ ve Gress Ölçümleri.....	28
3.2.5 Toplam Azot (TN) Analizi	29
3.2.6 NH ₄ ⁺ -N Analizi	30
3.2.7 Toplam Fosfor (TP) Analizi	30
3.2.8 MBR Sisteminin Oksijen Transfer Katsayısının Bulunması	30
3.2.9 NO ₃ Analizi.....	31
4. BULGULAR	32
4.1 Atıksuyun Karakterizasyonu	32
4.2 Hidrolik Kalış Süresinin KOİ Giderimine Etkisi	33
4.3 MLSS konsantrasyonlarının ve Çamur Yaşının Çıkış KOİ Konsantrasyonlarına Etkisi.....	34
4.4 Organik Yükleme Hızının KOİ Giderimine Etkisi.....	35
4.5 MBR Sisteminin Zamanla Ölçülen Akı Değerleri	37
4.6 Sürekli Modda Çalıştırılan MBR'ın Kinetik Katsayıları	38
4.7 MBR'da Nitrifikasyon.....	42
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	44
6. KAYNAKLAR.....	46

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Membran ayırma prosesleri [4].	6
Şekil 1.2: Harici (a) ve batık (b) MBR şeması / sMBR ve iMBR.	9
Şekil 1.3: Tipik bir MBR ünitesi çıkış suyu özellikleri.	10
Şekil 1.4: Genel bir MBR sistem içerisinde yer alan ekipmanlar [1].	11
Şekil 1.5: Düz levha membran genel görünümü.	12
Şekil 1.6: Hallow fiber membran kaset görünümü.	13
Şekil 1.7: Hallow fiber membranlarda süzme işleminin akış yönü.	13
Şekil 1.8: Tüp membran çalışma şekli.	14
Şekil 1.9: Spiral sargılı membranlarda genel görünüşü.	15
Şekil 1.10: Membran yüzeyinde partikül birikmesi ve tıkanma [6].	16
Şekil 3.1: MBR sistemi yan görünüşü.	24
Şekil 3.2: MBR sistemi üst görünüşü.	24
Şekil 3.3: PES membranlarının özellikleri.	25
Şekil 3.4: MBR Sisteminde Kullanılan Çift Taraflı Membran Kasetleri	26
Şekil 3.5: KOİ ölçümleri kullanılan kalibrasyon eğrisi	28
Şekil 3.6: Yağ ve gress ölçümlerinde kullanılan kalibrasyon eğrisi.	29
Şekil 3.7: Denemelerde ölçülmüş olan oksijen konsantrasyonlarının zamana göre değişimi ($T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$, 70 L/dakika hava debisi)	31
Şekil 4.1: KOİ giderme veriminin hidrolik kalış süresi ve zamanla değişimi..	34
Şekil 4.2: MLSS, KOİ konsantrasyonları ve çamur yaşının zamana bağlı değişimi	35
Şekil 4.3: KOİ giderme veriminin OLR ve atıksu konsantrasyonları ile zamana bağlı değişimi	36
Şekil 4.4: MBR sisteminden elde edilen akıların zamanla değişiminin KOİ Giderme verimine etkisi	37
Şekil 4.5: $\mu_{\max}$ ve K_s kinetik kat sayıların belirlenmesi ($T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$, MLSS=1460 mg/L)	39
Şekil 4.6: Y ve b kinetik katsayılarının bulunması ($T=22\pm 2^{\circ}\text{C}$, MLSS=1460 mg/L)	40
Şekil 4.7: Çamur yaşı çıkış suyu KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderme verimi arasındaki ilişki ($T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$)	41
Şekil 4.8: Giriş ve Çıkış Toplam Azot (TA) Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi.	43

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Membran proseslerinin ticari gelişimi [4].	2
Tablo 1.2: Membran ayırım proseslerinin sınıflandırılması [4].	3
Tablo 1.3: Membran materyal tipleri [3].	5
Tablo 1.4: Piyasada satılan polimerik membran malzemeleri avantaj ve dezavantajları [3].	7
Tablo 1.5: MBR'ın gelişim ve ticarileşme süreç özeti [5].	8
Tablo 1.6: Membran kirliliğinin kaynakları [4].	17
Tablo 1.7: Kirletici karakterine göre kimyasal yıkamada kullanılacak kimyasallar [6].	18
Tablo 2.1: İçecek ve gıda endüstrisinde tatlı su tüketimi.	19
Tablo 2.2: Mezbaha atıksularının farklı ülkelere göre deşarj değerleri.	20
Tablo 2.3: Ülkemizdeki mezbaha atıksuları deşarj değerleri.	20
Tablo 2.4: Farklı membran gözeneklerinde mezbaha atıksuların arıtım verimi.	22
Tablo 4.1: Mezbaha atıksuyunun karakterizasyon sonuçları.	32

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans ders dönemi ve tez hazırlama sürecimde desteklerinden dolayı Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. Burhanettin Farizoğlu'na, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Süleyman Uzuner'e teşekkür ederim

Hem mesleki bilgilerini paylaşıp bana katkı sağlayan hem de manevi olarak başarabileceğime olan inancını hiç yitirmeyen eşim Erdoğan Hekim'e teşekkür ederim.

Bu tezin oluşturulmasında temel teşkil eden deney düzeneğinin oluşturulması ve devamlılığının sağlanması için makine ve ekipman desteği sağlayan Biyosis Çevre Teknolojileri Ltd. Şti. ve çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarda bana destek olan ve Balıkesir Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarı'nda çalışan diğer arkadaşlara da teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

1.1 Membran Prosesler

Membran kelimesi iki fazı birbirinden ayıran ya da maddenin fazlar arasında taşınmasını sağlayan bariyer olarak tanımlanmaktadır. Bir başka ifadeyle “membran” seçici geçirgen bir zardır.

Membranların ilk çıkış noktası olarak kabul edilen ozmos, 1748 de Jean Antoine Nollet adına bir Fransız fizikçi tarafından bulunmuş ve temel olarak suyun yarı geçirgen bir zar aracılığı ile daha yoğun olduğu bir bölgeden daha az yoğun olduğu bir bölgeye geçişi şeklinde tanımlanmıştır [1].

Ozmosun tanımlanmasından yaklaşık iki yüz yıl sonra yapılan araştırmalar suyun basınç ya da vakum uygulanarak ters yönde de hareket edebileceği keşfedilmiştir. Bu sayede su daha fazla kirleticinin bulunduğu ortamdan uzaklaştırılabilecek ve kirleticilerden arındırılabilirdi. Bu uygulamaya Ters osmoz (RO) denilmiş ve ileri atıksu arıtımı konusunda faydalanan ilk sistemler olmuştur [1].

İlk yapılan çalışmalarda membran olarak domuz, sığır ve balık mesaneleri ve hayvan bağırsağı kullanılırken sonraları yeniden kullanımı mümkün olan collodion (nitroselüloz) mebranlar kullanılmaya başlandı [2].

1930lu yıllardan sonra yapılan çalışmalarla membran teknolojisi geliştirilerek farklı polimer malzemelerden membran üretimleri gerçekleştirilmiştir. II Dünya savaşından sonra artan temiz su ihtiyacını karşılayabilmek adına Almanya ve Avrupa'nın farklı yerlerinde farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar ABD tarafından da desteklenmiş olup ABD'nin ilk ve hala en büyük mikrofiltrasyon üretici olan Milipore Corporation bu gelişimden en iyi şekilde faydalanmayı başarmıştır [2].

1960'lı yıllara kadar gecen sürede membran uygulamaları daha çok laboratuvar ölçekli üretilen özel uygulamalar olup ticarileşme yönünde ciddi bir yol kat edememiştir. Membran uygulamalarının ticarileşmesi yönünde en önemli gelişmelerden biri 1960'lı yılların başında hatasız, yüksek akılı, anizotropik ters ozmos membranları yapmak için gerçekleştirilen Loeb-Sourirajan sürecinin geliştirilmesi olmuştur. Bu membranlar mekanik mukavemeti yüksek, çok daha kalın fakat daha geçirgen mikro gözenekli destek üzerinde ultra ince, seçici bir yüzey filminden oluşan bir yapıya sahipti. Bu uygulama ile elde edilen membranlar tuzlu su arıtımında pratik bir yöntem halini almıştır. Amerika'da bu çalışmaların artırılması açısından hem devlet teşviklerinin artmasına hem de ticari olarak avantaj sağlayan bir uygulama olmasına olanak sağlamıştır.

Ters ozmosun ticarileşme süreci mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyonun da geliştirilmesinde büyük etki etmiştir [2].

2000'li yıllara gelindiğinde membranlarla ilgili çözülmesi gereken en temel sorunlar çok yavaş, çok seçici, çok güvenilirmez ve pahalı oluşları idi. Bu sorunların çözümü de günümüze kadar devam eden süreçte giderilmeye çalışılmış ve membran yardımı ile yapılan ayırma işlemleri hem daha yaygın hem de daha uygun maliyetli bir hal almıştır.

Tablo 1.1: Membran proseslerinin ticari gelişimi [4].

MEMBRAN PROSES	ÜLKE	YIL	İŞLEM
Mikrofiltrasyon	Almanya	1920	Laboratuvar Kullanımı
Ultrafiltrasyon	Almanya	1930	Laboratuvar Kullanımı
Hemodiyaliz	Hollanda	1950	Yapay Böbrek
Elektrodiyaliz	ABD	1955	Tuzdan Arındırma
Ters ozmos	ABD	1965	Suyun tuzdan Arındırılması
Ultrafiltrasyon	ABD	1971	Makromoleküllerin Konsantrasyonu
Gaz Ayırma	ABD	1979	Hidrojen Geri Kazanımı
Pervaporasyon	Almanya, Hollanda	1982	Organik Çözücülerin Dehidrasyonu
α-akış mikrofiltrasyonu	Avustralya	1980	Su Arıtma
Nanofiltrasyon	ABD	1986	Su yumuşatma
Elektrodeiyonizasyon	ABD	1987	Demineralizasyon

1.1.1 Membran Filtrasyon Prosesleri

Membranların performansını etkileyen en önemli etmen yüksek seçiciliği ve akısıdır; membran malzemesinin işlem sırasında mekanik, kimyasal ve ısıl kararlılığı, minimum kirlenme olması, malzemenin çevre ile uyumu ve hatasız ürün eldesi en önemli kriterlerdir [4].

Bununla beraber uygun maliyet ve amaca yönelik geçirgenlik özelliğine sahip hammadde ile üretimde de önemli bir kriterdir. Zarın üretimi için kullanılan hammaddenin istenilen gözenek ebat dağılımına sahip olması (izoporite derecesi) maliyeti etkileyen önemli etmenlerdendir [3].

Yapılan çalışmalarda yüzeyin geçirgenlik özelliğine göre birkaç membran tipi geliştirilmiştir:

Mikrofiltrasyon (MF),

Ultrafiltrasyon (UF),

Nanofiltrasyon (NF),

Ters Ozmos (RO)

Membranlar atıksularda uygulanmadan önce içme sularında kullanılmış ve denenmiştir [1].

Tablo 1.2: Membran ayırım proseslerinin sınıflandırılması [4].

PROSES	GÖZENEK BOYUTU	İTİCİ GÜC	TAŞIMA MEKANİZMASI
Mikrofiltrasyon	0,05-10 μm	Basınç, 1-2 bar	Eleme
Ultrafiltrasyon	0,001-0,05 μm	Basınç, 2-5 bar	Eleme
Nanofiltrasyon	< 2,0 nm	Basınç, 5-15 bar	Tercihli sorpsiyon-kılcal akış
Ters Ozmos	<1,0 nm	Basınç, 15-100 bar	Tercihli sorpsiyon-kılcal akış
Gaz Ayırımı	gözeneksiz	Basınç, 15-100 bar	Çözünme -difüzyon
Pervaporasyon	gözeneksiz	Kısmi Basınç Farkı	Çözünme -difüzyon
Diyaliz	10-30 Å	Konsatrasyon Farkı	Eleme, yayılma farkı
Elektrodiyaliz	MW<200	Elektrik Potansiyeli	iyon göçü
Elektrodeiyonizasyon	MW<200	Elektrik Potansiyeli	iyon göçü
Membran Kontaktör	gözenekli, hidrofobik	Vacum	Eleme

Hafif çalışma koşullarında bu tür seçici davranışlardan sorumlu olan zarlar, gözenekli veya gözeneksiz polimerlerden ve anizotropik veya simetrik yapılara sahip homojen, heterojen veya kompozit malzemeler içeren seramik veya metal filmlerden, seçici taşıyıcı bileşenlere sahip sıvı filmlerden oluşur [4].

Farklı tasarımlarında kullanılan membranlar, sistemin çalışma özelliklerini belirler. Örneğin membran modüllerinde kullanılan malzemeler, geri yıkama ve temizleme süreçleri ve bu süreçlerde kullanılan kimyasalların özelliklerini belirlerler. Ayrıca kullanılan membran tipi ve gözenek boyutu sisteminin arıtım seviyesini belirler. Günümüzde kullanılan membran materyallerinin aralık boyutları çok çeşitlidir ve farklı kimyasal ve fiziksel özellikler gösterirler:

- Mikro gözenekli veya asimetrik Membranlar: Mikro gözenekli membranlar tek bir malzemedен dökülür (homojendir) ve gözenek boyutunda (izotropik) veya çeşitli (anizotropik) olarak tek tip olabilirler. İzotropik membranlar bazen simetrik membranlar olarak da adlandırılır. Anizotropik membranlarla, daha küçük gözenek boyutuna sahip yüzey, seçici veya filtreleme yüzeyi olarak kullanılır.
- İntegral asimetrik membranlar (“tenli” membranlar olarak da bilinir) bir işlemde dökülür ve “cilt” olarak adlandırılan çok ince (1 μm 'den az) bir katman ve daha kalın (100 μm 'ye kadar) gözenekli katmandan oluşur Bu destek ekler ve yüksek su akısı yeteneğine sahiptir.
- İnce film kompozit membranlar daha yeni bir gelişmedir. İnce bir selüloz asetat, poliamid veya başka bir asetat katmanının (tipik olarak 0.15 ila 0.25 μm kalınlığında) yapısal stabilite sağlayan daha kalın gözenekli bir alt tabakaya bağlanmasıyla yapılırlar [1].

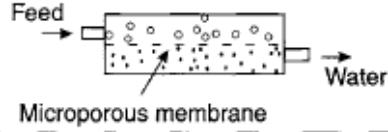
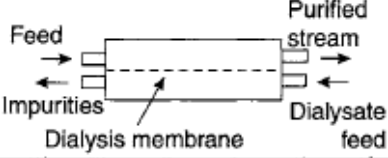
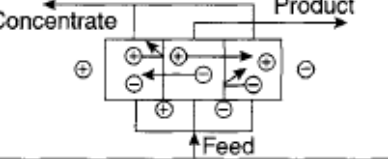
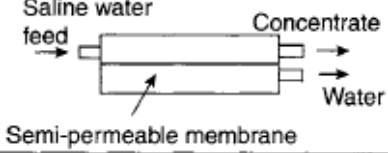
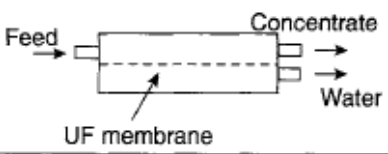
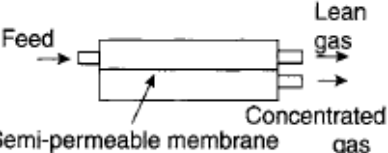
Membran üretimi için organik ya da inorganik malzemeler kullanılabilir; organik malzemeler selüloz esaslı olabildiği gibi modifiye organik malzemelerden de oluşabilir. Metaller ve seramikler gibi inorganik malzemeler endüstriyel uygulamalarda kullanılır, ancak yüksek maliyetlerinden ötürü kullanım oranları düşüktür [1].

Tablo 1.3: Membran materyal tipleri [3].

MEMBRAN	ÜRETİM PROSEDÜRÜ	UYGULAMALAR
Seramik	İnce tozların preslenmesi, sinterlenmesi, ardından sol-jel kaplama	MF, UF, Agresif ve/ veya çok kirli media
Gerilmiş Polimerler	Kısmen kristalimsi folyonun gerilmesi	MF, Agresif media, steril filtrasyon, medikal teknoloji
Parça Kazınmış polimerler	Radyasyon ve ardından asit bağlama	MF (Polikarbon (PC) yada polietilen tereftalat (PET) materyal), Analitik ve medikal kimya, steril filtrasyon
Desteklenen Sıvı	İnert Polimer Matrisinde sıvı film oluşumu	Gaz Ayırımı, taşıyıcı aracılı taşıma
İntegral asimetrik, mikro gözenekli	Faz inversiyonu	MF, UF, NF, GT
Kompozit asimetrik, mikrogözenekli	İnce filmin TFC üretmek için integral asimetrik mikro gözenekli membrana uygulanması	NF, RO, PV
İyon Değişimi	Polimer materyalin işlevselleştirilmesi	ED

Membran prosesi üç temel durumdan oluşan sürekli ve kararlı bir prosestir. Bu durumlar; besleme, süzmek, geri çevirmek olarak tanımlanır. Farklı membran türleri için ayırma işleminin nasıl yapıldığı ve hangi tür materyallerin ayırımı için kullanıldığı Tablo 1.3’de gösterilmiştir.

Membranların yapılarının birbirinden farklı olması, besleme ve süzme gereksinimlerinin farklılığı nedeniyle her ayırım için aynı özellikte zarın kullanılması mümkün değildir. Şekil 1’de de görüldüğü üzere aynı özellikteki membranın besleme yapılan materyalin özelliklerine göre farklı performansı olabilir. Örneğin UF membran aracılığı ile aynı akış hızı ve basıncı altında besleme yapmak koşulu ile su ve meyve suyuna işlem yapmak istediğinizde geçirgenlik akışı %70-80 daha düşük olacaktır.

PROCESS	SEPARATION CONCEPT	MATERIALS PASSED	DRIVING FORCE
Micro-filtration		Water and dissolved species	Pressure difference, Typically 10 psi
Dialysis		Ions and low-molecular-weight organics (Urea, etc.)	Concentration difference
Electro-dialysis		Ions	Voltage, Typically 1-2V/Cell pair
Reverse osmosis		Water	Pressure difference, Typically 100-800 psi
Ultra-filtration		Water and salts	Pressure difference, Typically 10-100 psi
Gas separation		Gases and vapours	Pressure difference, 1-100 atm

Şekil 1.1: Membran ayırma prosesleri [4].

Bir diğer sebepte çözünen maddenin membran yüzeyindeki konsantrasyonunun farklılık göstermesidir. Yalnız zarın yapısal özellikleri performansını etkilemektedir.

Farklı tipteki membranların atıksularda verdikleri tepkiler, kirlenme sıklıkları, temizlik yöntemleri ile ilgili farklı akademik çalışmalar bulunmaktadır [23, 24].

Tablo 1.4: Piyasada satılan polimerik membran malzemeleri avantaj ve dezavantajları [3].

POLİMER	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI	PROSES
CA (selüloz asetat (ağırlıklı olarak di- veya tri-asetat))	Klora dayanıklı, ucuz, Kirlenmeye karşı PA'dan daha dirençli	pH >6 da Alkali Hirolize karşı hassastır, Biyodegradasyona duyarlı, sınırlı termal ve kimyasal stabilite, sınırlı geçirgenlik (~95 %), biraz daha düşük geçirgenlik	RO, NF, UF
PA (poliamid (aromatik))	CA'dan daha fazla çok yönlü stabilite, CA'dan daha fazla geçirgenlik,	Çok sınırlı klor toleransı (<0,1 mg/l ¹)	RO, NF
PAN (poliakrilonitril)	hidrolize karşı yüksek direnç, oksidasyona karşı yüksek direnç	Hidrofobik, yapmak için kopolimer gerekir	UF, RO substr.
PSU(polisülfon) , PES(poli (eter sülfon))	Çok iyi çok yönlü stabilite, mekaniksel dayanım	hidrofobik	UF, RO substr.
PVDF (poli (viniliden florür)), PTFE(politetrafloroetan)	ekstra yüksek kimyasal stabilite, yüksek termal stabilite	yüksek hidrofobik, limitli mekanik stabilite, limitli gerçek geçirgenlik, pahalı	UF, MF
PEI (polieterimid)	yüksek kimyasal stabilite, yüksek termal stabilite, mekaiik dayanım	hidrofobik, PVDF den düşük solvent direnci, PSU veya PAN'den daha zayıf alkali stabilite	UF, RO substr.
PP (polipropilen)	ucuz	hidrofobik	UF, MF

1.2 MBR'lar ve Atıksu Arıtımında Kullanımları

Membran Biyo Reaktörler (MBR), biyolojik aktif çamur sistemleri ve membran filtrasyon ekipmanlarının katı/sıvı ayırımını bir kombinasyon içerisinde yapması ile çalışan sistemlerdir. MBR proseslerinde daha çok düşük basınçlı membranlar olan mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF) membranları kullanılır [1].

İlk membran biyoreaktörler, 1960'ların sonlarında ticari olarak Dorr- Oliver tarafından geliştirilmiştir [5].

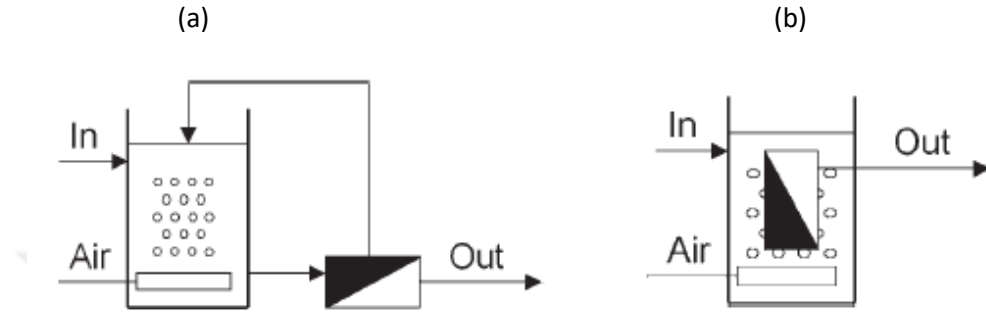
Sonraki süreçte bu konudaki gelişmeler Tablo 1.5'teki gibi olmuştur.

Tablo 1.5: MBR'ın gelişim ve ticarileşme süreç özeti [5].

1960'lı yılların sonu	Dorr-Oliver ilk yan FSF'yi geliştirdi
1970 'li yılların başı	ABD'de suyun yeniden kullanımı için en çok kullanılan Thetford Systems, çok-parçalı çoklu küp Cycle-Let® prosesini ticarileştirdi
1980'li yılların başı	Japonya'da suyun yeniden kullanımı için TechSep (Rhone-Poulenc, daha sonra Novasep Orelis) FS Pleiade®'yi ticarileştirdi.
1980'lerin Ortası	Nitto-Denko, daldırılmış oyuk fiber MBR ile daldırılmış bir FS MBR Tokyo Üniversitesi deneylerine Japon patent başvurusunda bulundu
1990'ların Ortaları	Kubota Japonya'da FS MBR'yi sattı Weir Envig, temel alınan ADUF sistemini piyasaya sürüyor. “Membralox” membranları Zenon, Kuzey Amerika ve Avrupa'da dikey daldırılmış hollow fiber “ZeeWeed®” teknolojisini pazarlamaktadır; 1993 yılında Thetford'u satın aldı Wehrle, multitüp Biomembrat sistemini (Mitsubishi Rayon, batırılmış hollowfiber “Sterapore™” membranı, yatay oryantasyona dayalı olarak geliştirilen MBR sistem olan) piyasaya sürdü
2000'li yılların başı	USF dikey daldırılmış hollow fiber “MemJet®” sistemini ticarileştiriyor Huber dönen FS MBR'yi ticarileştirdi Koch tarafından Norit X-Flow, yan hava dalgalı multitüp sistemi Puron'u (dikey daldırılmış hollow fiber) geliştirildi ve ticarileştirildi. Kolon ve Para (Kore) dikey daldırılmış hollow fiber MBR'yi tanıttı Toray FS MBR'yi tanıttı Mitsubishi Rayon dikey batırılmış hollow fiber MBR'yi piyasaya sundu Asahi Kasei dikey daldırılmış hollow fiber MBR'yi tanıttı

Ülkemizde MBR sistemler ile ilgili farklı çalışmalar yapılmış olup hem evsel hem de endüstriyel atıksularda performans, akı ve membran yüzey temizleme yöntemleri ve etkinlikleri, kimyasal madde etkileri gözlemlenmiştir [18, 19].

MBR’larda kullanılabilecek iki tip membran sistemi vardır; biri membranların bioreaktörün dışına yerleştirilmesi ve vakumla bioreaktörden çekiş yapılarak çalıştırılan sistemler, diğeri de bioreaktörün içine membranların yerleştirilmesi ile çalışan batık sistemlerdir [1].



Şekil 1.2: Harici (a) ve batık (b) MBR şeması / sMBR ve iMBR.

MBR’lar hem evsel hem de endüstriyel atık sularda etkin bir biçimde kullanılabilir. MBR sistemlerinin temel faydalarından bazıları şöyle sıralanabilir:

- ❖ Yüksek oranda arıtılmış su
- ❖ Az yer kaplaması
- ❖ Modüler sistem
- ❖ Stabil ve emniyetli operasyon
- ❖ Dezenfeksiyon gerekliliklerinin azalması [1]

MBR’lar hassas alanlarda yeniden kullanımın gerekli olduğu ya da deşarj edilecek sular için yüksek kalitede su eldesi için en uygun çözüm yolu olmuştur. Belediye alanlarının dışında olan alanlarda hem kompakt yapısı hem de arıtılmış su kalitesi açısından büyük kolaylık sağlayan tesislerdir [1].

Membranların kullanımının yaygınlaşması, teknolojik olarak tasarımlarının geliştirilmesi ve piyasada kullanımının artışı, membranlara sektör içinde önemli bir rol yüklemiştir.

MBR'ların kullanımının artışının arkasında yatan en önemli etmenler:

- ❖ Hem atık su arıtımını hem de endüstriyel atık su deşarjını etkileyen yeni ve daha sıkı mevzuat;
- ❖ Yerel su kıtlığı;
- ❖ Atık su teknolojisindeki gelişmeleri ve özellikle geri dönüşümü teşvik etmek için devlet teşvikleri getirilmesi;
- ❖ Yatırım maliyetlerini azaltmak;
- ❖ MBR teknolojisine olan güveni ve kabulü artırmak.

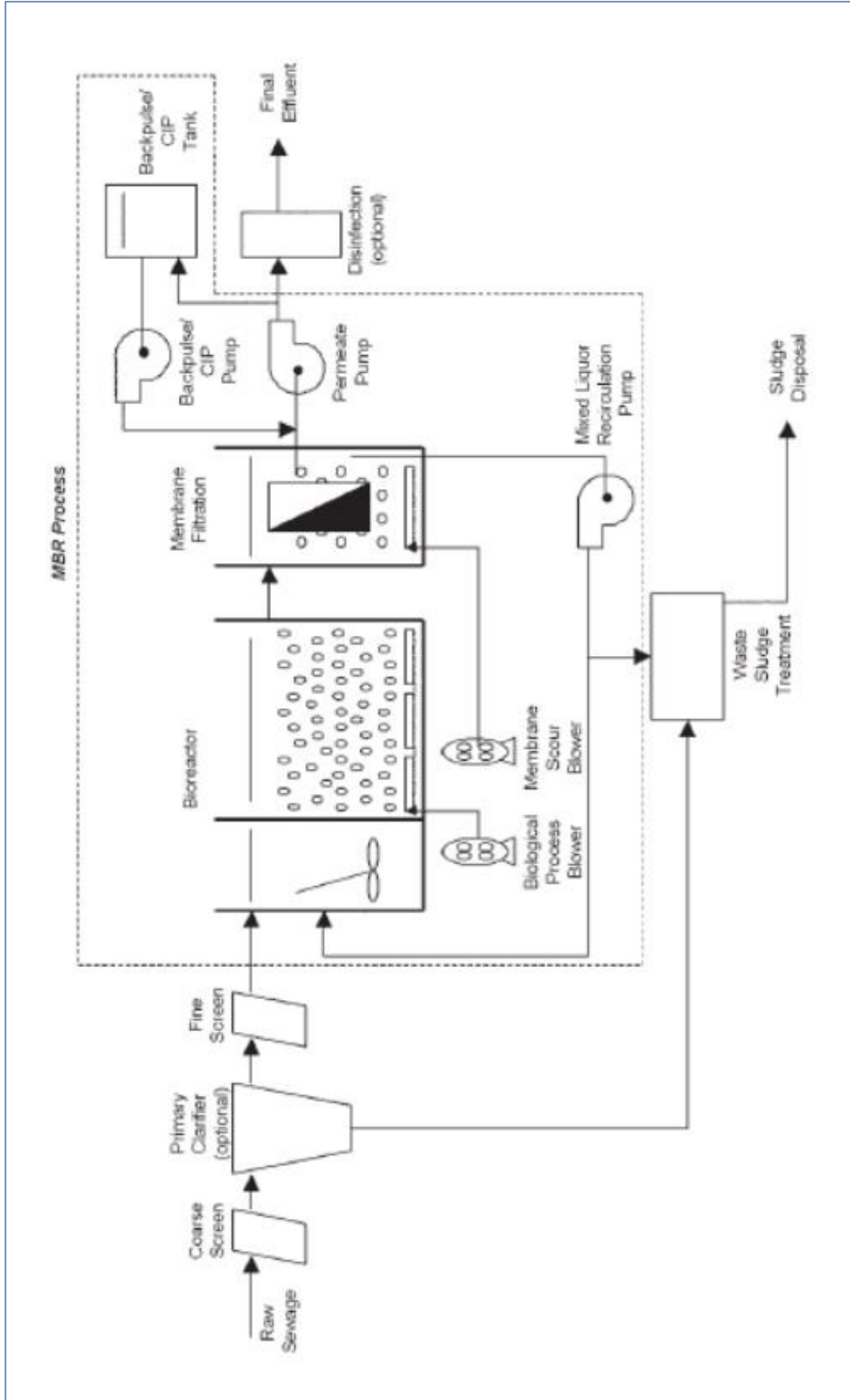
MBR'ların verimli çalışmasının temelinde biyolojik arıtma kısmının iyi çalışması yatmaktadır. Biyolojik proses iyi çalışırsa Membran Bioreaktörlerden alınan arıtılmış su kalitesi de yüksek olacaktır.

PARAMETER ^a	UNITS	VALUES
CBOD ₅	mg/L ^b	<5
TSS	mg/L	<1
Ammonia	mg/L as N	<1
Total nitrogen (with preanoxic zone)	mg/L	<10
Total nitrogen (with preanoxic and postanoxic zones)	mg/L	< 3
Total phosphorus (with chemical addition)	mg/L	<0.2 (typical) <0.05 (achievable)
Total phosphorus (with Bio-P removal)	mg/L	<0.5
Turbidity	NTU	<0.2
Bacteria	log removal	Up to 6 log (99.9999%)
Viruses	log removal	Up to 3 log (99.9%)

^aCBOD₅ = five-day carbonaceous biochemical oxygen demand and TSS = total suspended solids.
^b1 mg/L = 1 ppm.

Şekil 1.3: Tipik bir MBR ünitesi çıkış suyu özellikleri.

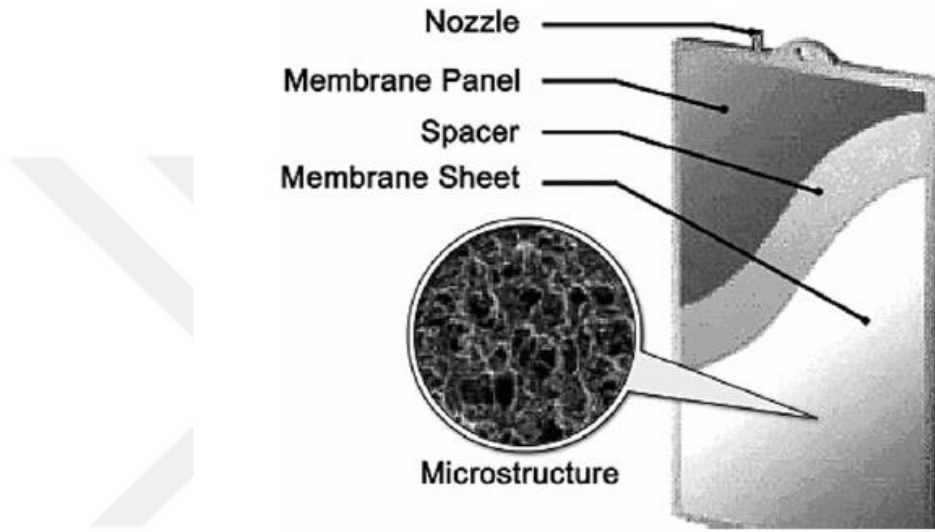
Genel MBR sistemi; membranlardan, giriş suyu/atıksu karakterine bağlı olarak ön arıtma sistemleri ve son işlem sistemlerinden oluşabilmektedir.



Şekil 1.4: Genel bir MBR sistem içerisinde yer alan ekipmanlar [1].

Atıksu arıtımında en sık kullanılan membranlar şunlardır [1]:

✓ Düz Levha Şeklinde olanlar: Bir dizi düz membrandan oluşan sistemlerdir. Her bir membran kartuş; çift taraflı kaynaklanmış membranlardan ve onların ortasında destek amaçlı bulunan tabakadan oluşmaktadır. Karışık çözelti yaklaşık 10 mm (0,4 inç) aralıklı kartuşların arasından akarak süzülür. Batık MBR sistemlerde ve atıksu filtrasyonunda kullanılırlar.



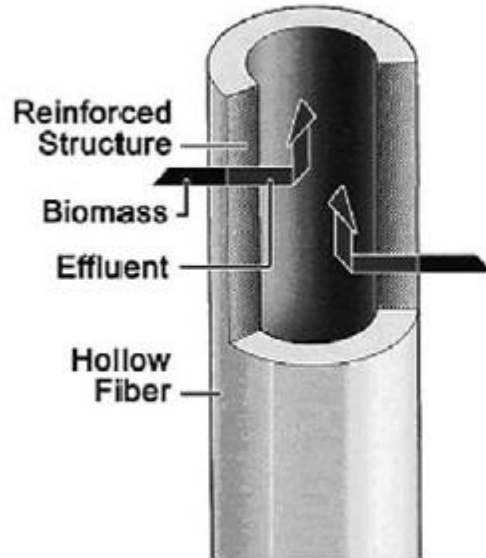
Şekil 1.5: Düz levha membran genel görünümü.

✓ Hallow Fiber şeklinde olanlar (içi boş elyaf): Yüzlerce hatta binlerce içi boş elyaf zardan oluşan demetler şeklindeki membranlardır. Bu tür membranlar hem MBR sistemlerde hem de atıksu filtrasyonunda hem de MBR uygulamalarında kullanılır. MBR uygulamalarında demeler şeklindeki içi boş elyaf zarlar bir çerçeve içerisine oturtulmuş kasetler şeklinde olup membranların bir ucundan diğerine ya da iki membran arasından süzülme yaparak ayırım gerçekleştirir. Yatay ya da dikey monte edilebilirler.



Şekil 1.6: Hallow fiber membran kaset görünümü.

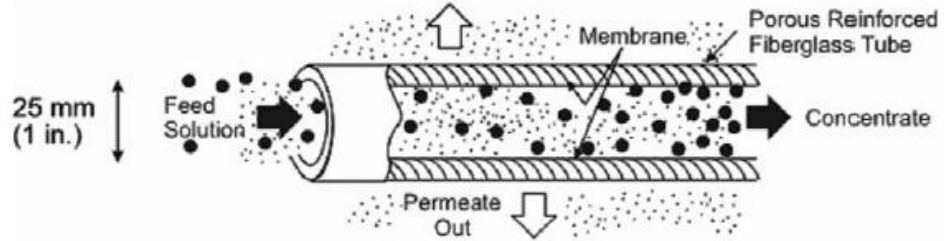
Çözeltilerin ayrılması membranın dışından içine doğru akış şeklinde gerçekleşir.



Şekil 1.7: Hallow fiber membranlarda süzme işleminin akış yönü.

✓ Tüp Şeklinde olanlar: bu sistemlerde membranlar bir tüpün içine yerleştirilir ve tüp basınca maruz bırakılır. Besleme (çözelti besleme) besleme

pompaları aracılığı ile yapılır. Süzüntü suyu membranlardan tüpün dışına akarken atık olarak kalan konsantre ise tüpün içinde ilerler.



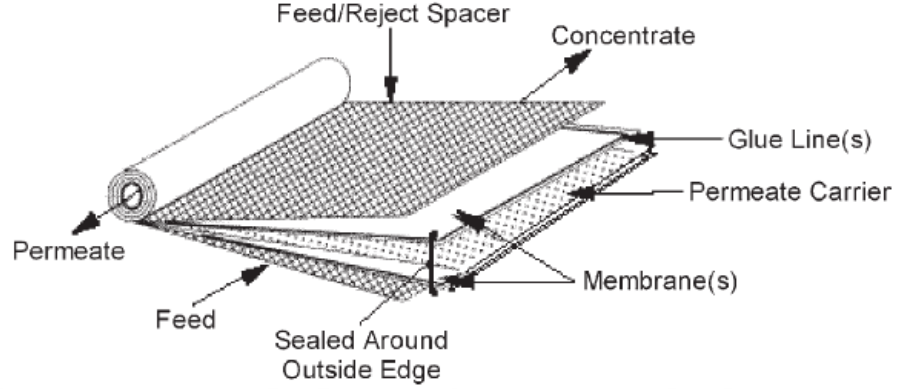
Şekil 1.8: Tüp membran çalışma şekli.

Hallow fiber ve Tüp Membranların her ikisi de tüp şeklinde olup bunları birbirinden ayıran şey boyut olarak birbirinden farklılık göstermeleridir Hallow fiber membranların dış çapı genellikle 1 ila 2 mm (0.03 ila 0,06 inç) arasındadır, oysa tüp şeklinde membranların dış çapı genellikle 25 mm'dir (1 inç). Hallow Fiber membranlarda benzer çaptaki yüzlerce hatta bazı durumlarda binlerce elyaf gruplanarak demetler oluşturur. Bu demetler, tüp membranlarda olmayan yüksek yoğunluğa (birim hacime düşen mevcut yüzey alanı) sahip olur. Yüksek yoğunluk, hallow fiber membranlar için düşük basınç gereksinimi, kullanım ömrünün maliyetlerinin düşmesi gibi faydalar sağlamaktadır.

✓ Spiral sargılı silindirler: Bu tür membranlarda iki düz membran tabakası arasında esnek geçirgen bir ayırıcı bulunmaktadır. Membranlar üç taraftan kapatılarak açık kalan taraf delikli bir boruya tutturulur. Sistemdeki akış dış yüzeydedir. Sistemin içinden geçen esnek besleme ara parçası, spiral akış düzenini takip eder.

Spiral membran modülleri (veya elemanları) tipik olarak 200 mm (8 inç) çapında ve 1 m (40 inç) uzunluğundadır. Ama bazı membran üreticileri, yaptıkları araştırma geliştirme çalışmaları ile 1,5 m'den (60 inç) daha uzun ve 300, 400 ve hatta

450 daha geniş sırasıyla 12, 16 ve 18 inç) uzunluğa sahip prototip membranları üretmektedirler.



Şekil 1.9: Spiral sargılı membranlarda genel görünüşü

✓ Dönen Düz Plaklar: Bu membranlar genel basınçlı bir kap içerisinde seri halde yerleştirilirler.

Dönen Düz membranlar bazen batık MBR uygulamalarında kullanılır. Bu dizayn kirlenmeyi azaltmak amacı ile uygulanır [1].

Dönen düz plaka membranlardan ülkemizde kullanılmakta olup tesisler 10 yıldan fazla bir zamandır işletilmektedir [21, 22].

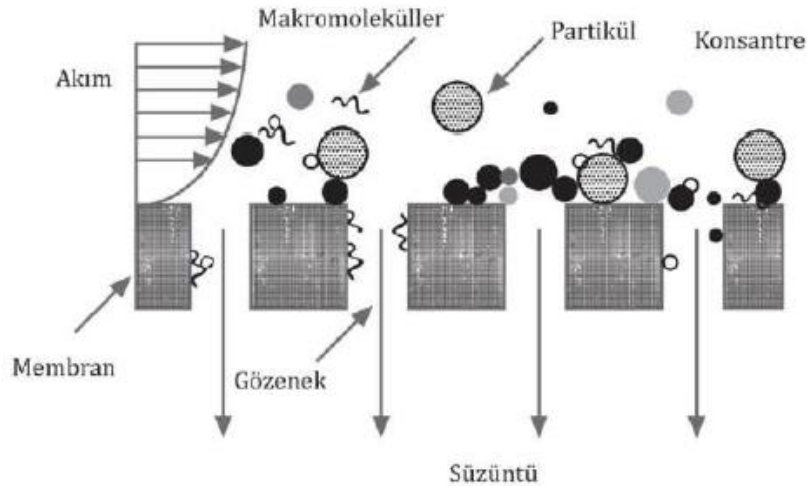
1.3 MBR 'larda Membran Kirlenmesi

MBR'larda membranların kirlenmesi sistemin performansını ciddi oranda etkileyen bir faktör olup performans düşüren bir sebeptir. Su akış kalitesi kaybı, çalışma verimliliği düşüşü, servis /bakım aralıklarının kısalması, erken membran değişimi (membran maliyetleri RO tesisleri için kurulu maliyetlerin%20-30'undan UF / MF tesisleri için %50-75'e kadar değişebilir) gibi etkileri ortaya çıkarabilmektedir [4].

Membran kirlenmesi, konsantrasyon polarizasyona bağı olarak sık karşılaşılabilen bir durumdur. Zarın, çözünen membran etkileşimlerinin doğasına bağı olarak farklılık göstermektedir. Membrandan geçecek olan kolloidler, demir ve biyomalzemeler nedeni ile kirlenme yoğun bir biçimde yaşanabilir. Kirlenme ile akı düşüşü yaşanmaktadır. Ancak bu durum temizlik ile giderilebilecek bir durumdur. Benzer şekilde çözünür tuzların çökmesi de iyi tasarlanmış bir ön arıtma ile en aza indirgenebilecek bir durumdur.

Membranlarda yaşanan kirlenme problemi sistem tasarımlarını etkileyen önemli faktörlerden biridir; tıkanma, membran ömrünü olumsuz yönde etkileyen temizlik işlemlerinden kaynaklı sık sık yapılan kesintiler nedeniyle daha yüksek işletme maliyetleri ile sonuçlanabilir. Öngörülen düşük verim, daha yüksek sermaye ve işletme maliyetleri artışı ve daha fazla membran yüzey alanını gerekli kılar.

Sabit durumdaki akı değeri, beslemenin doğasının (viskozite, çözünen konsantrasyon ve yayılma, pH, iyonik kuvvet) ve membran yüzeyindeki akışkan kayma hızı ve transmembran basınç düşüşü gibi çalışma koşullarının bir fonksiyonudur [20].



Şekil 1.10: Membran yüzeyinde partikül birikmesi ve tıkanma [6].

Membran tıkanması 3 farklı şekilde açıklanabilir. Bunlar;

- Tersinir,
- Tersinir olmayan,
- Geri dönüştürülemez membran tıkanmasıdır.

Tersinir tıkanmada kirleticiler membran yüzeyine serbestçe yapışmıştır ve fiziksel bir yıkama ile giderilebilir.

Tersinir olmayan tıkanmada ise gözenek tıkanması ve kirleticilerin yüzeye sıkıca bağlanması sonucu oluşur ve kimyasal temizleme ile giderilebilir.

Geri dönüştürülemez tıkanmada ise kimyasal temizleme de dahil herhangi bir şekilde tıkanma giderilemez

Tablo 1.6: Membran kirliliğinin kaynakları [4].

MADDE	KAPSAM VE/ VEYA MEKANİZMA
Fe,Mn,Al, hidroksitler	Ağır Kirlilik,Hızlı Kinetik
Mineral tuzlar (CaCO ₃ , CaSO ₄ , BaSO ₄ , SrSO ₄)	Çözünürlükler aşıldığında minaraller oluşturur.
Kolloidler	Elektrik yüklü; SDI (Silt Yoğunluk Endeksi) ve Zeta potansiyeli kirlenmeyi belirler
Mikrobia proteinler	Biyofilm jel tabakası oluşturur Hidrofobik ve yük etkileşimleriyle kirlenme
Polielektrolitler Organik Asitler	Yük etkileşimi ile kirlenme Hümik ve fulvik asitler ağır tıkanmaya neden olur
Yağ ve Gres	Hidrofobik Membran Kirlenmesi
Askıda Katı Madde (RO/ NF için geçerli)	0,5 ppm'i aşamaz

Membranlarda meydana gelen kirlenmenin temizlenmesi ve membranın yeniden faaliyet gösterebilmesi için fiziksel, kimyasal ya da fizikokimyasal yöntemler kullanılabilir [6].

Fiziksel temizlemede, mekanik yöntemler kullanılarak membran yüzeyinde bulunan kirleticilerin membrandan ayrılması sağlanır. Bu yöntemler; ileri, geri yıkama, geri yıkama, hava ile yıkamadır.

Kimyasal temizlemede kirletici karakterine göre kullanılacak kimyasallar ile (inorganik çökelekler için sitrik asit, organik kirleticiler için kostik gibi bazlar) yıkama yapılarak membranların tıkanması giderilebilir.

Tablo 1.7: Kirletici karakterine göre kimyasal yıkamada kullanılabilecek kimyasallar [6].

Tıkanma türü	Kullanılabilecek kimyasal
Kolloidal	NaOH çözeltileri, kısıpçayıcı ve deterjanlar
Organik	NaOH çözeltileri, kısıpçayıcı ve deterjanlar
Metal oksitler	Düşük pH'da sitrik asit veya Sodyum ditiyonit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)
Silika	Yüksek pH'da NaOH çözeltileri
Karbonat çökelekleri (CaCO_3)	Sitrik asit veya düşük pH'da HCl
Sülfat çökelekleri (CaSO_4 , BaSO_4)	HCl çözeltileri veya EDTA gibi kompleks oluşturuu ajanlar
Biyofilm	NaOH çözeltileri, kısıpçayıcı ya da kompleks oluşturuu ajanlar, sürfaktanlar ve dezenfektanlar

2. MEZBAHA ATIKSULARI VE ARITIM METOTLARI

Kesimhane (Mezbaha) atık suyu atıkları, kesim, işleme ve temizlik sırasında kullanılan yüksek su miktarları nedeniyle dünya çapında en önemli tarımsal sorunlardan biri haline geliyor.

Tablo 2.1: İçecek ve gıda endüstrisinde tatlı su tüketimi.

Gıda endüstrisi	Tatlı Su tüketimi (%)
Et İşlemesi	24
İçecekler	13
Süt	12
Diğer yiyecekler	11
Meyve Sebzeler	10
Ekmek, pasta , tortilla ürünleri	9
Tahıl ve Yağlı tohumlar	9
Şeker ve Şekerleme	5
Hayvan Yemi	5
Deniz Ürünleri	2

Son yıllarda dünya genelinde et üretimi artış göstermekte olup 2050 yılına kadar bu artışın daha da devam edeceği öngörülmektedir.

Dünya Bankasının 2007 verilerine göre bir mezbaha tesisinde et üretiminde proses sonucu ton başına 2,5 - 40 m³ atıksu oluşmaktadır. Mezbahalarda kesilen ve işlenen hayvanlarla ilgili ortaya çıkan atıksuda bulunan kirletici yükler; toplam fosfor (TP), toplam azot (TN), toplam organik karbon(TOC) , kimyasal oksijen ihtiyacı (COD), toplam askıda katı madde (TSS) ve (BOİ) değerleridir [7].

Mezbaha atıksuları arıtılması açısından karmaşık bir prosese sahip olmasından ötürü dünya genelinde zor bir atıksu olarak kabul edilmektedir. Atıksu içerisinde kesimden gelen yağ, protein ve lifli bileşenler, kan, mide bağırsak mukozaları, yüksek seviyede organik, patojenik ve patojenik olmayan

mikroorganizmalar ve temizlik faaliyetleri için kullanılan deterjanlar ve dezenfektanlar içerir [7].

Mezbaha atıksularının içeriğindeki kirleticilerden kaynaklı direk doğaya deşarjı mümkün değildir. Mezbaha atıksuları deşarj edilebilecek değerlere ulaştırılabilmesi için uygulanabilecek arıtma yöntemleri şunlardır:

- Doğaya deşarj
- Fizikokimyasal arıtma yöntemleri
- Biyolojik arıtma
- Birleşik Prosesler

Farklı ülkelere göre mezbaha atıksularının deşarj değerleri Tablo 2.2'deki gibidir.

Tablo 2.2: Mezbaha atıksularının farklı ülkelere göre deşarj değerleri.

Parameter	World Bank standards	EU standards	US standards	Canadian standards ^a	Australian standards
BOD (mg/L)	30	25	26	5–30	6–10
COD (mg/L)	125	125	n/a	n/a	3 × BOD
TSS (mg/L)	50	35	30	5–30	10–15
TN (mg/L)	10	10	8	1	0.1–15

^a In the case of Canadian standards, the limits of BOD and TSS are 5, 20, and 30 mg/L in freshwater lakes and slow-flowing streams; rivers, streams, and estuaries; and shoreline, respectively.

Ülkemizde mezbaha atıksularının deşarj edilebileceği değerler 31.12.2004 tarih 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 5.6 Sektör: Gıda Sanayii (Mezbahalar ve Entegre Et Tesisleri) da verilmiştir [8].

Tablo 2.3: Ülkemizdeki mezbaha atıksuları deşarj değerleri.

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	250	160
YAĞ VE GRES	(mg/L)	30	20
pH	-	6-9	6-9
(Ek satır: RG-24/4/2011-27914)			
Renk	(Pt-Co)	280	260

Mezbaha atıksularında yapılacak arıtma yöntemlerinden bazıları ve bu uygulamaların detayları aşağıdaki gibidir:

- Ön arıtma:

Ön arıtma ile atıksu içerisinde bulunan tüm katılar ve büyük partiküller tutulur. TSS'in büyük kısmı ön arıtma aşamasında düşürülür. Izgaralar aracılığı ile atıksudaki tüm katı maddeler tutulur, sıkıştırılır ve nemi azaltılarak sistemden uzaklaştırılır. Atıksu ile gelen katıların %60 ön arıtma ile ayrıştırılır ve bu işlemle sistemdeki BOD 'nin %30'u giderilir [7].

- Arazi uygulaması

Bu uygulama, toprağın içerisinde direk olarak besin olarak verilebilecek biyolojik olarak parçalanabilen malzemenin serilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Bu uygulamada sıcaklık önemli bir faktördür. İklimsel koşullardan kaynaklı her bölgede uygulanabilen bir yöntem değildir. Ayrıca, toprak kirliliği, koku, yüzey ve yer altı sularında yaratılan kirlilik ev patojenlerin varlığı bu uygulamanın olumsuz yönleri olarak karşımıza çıkmaktadır [7].

- Fizikokimyasal arıtma yöntemleri

Ön arıtmadan sonra uygulanabilecek uygulamalardandır. Yağ, TSS ve BOİ değerlerini düşürmek için uygulanır.

DAF (Dissolved Air Flotation) bu amaçla kullanılan bir sistemdir. Bu işlemde temel amaç katı- sıvı ya da sıvı-sıvı ayırımı yapılarak arıtım işlemi gerçekleştirmektir. Sistem, havanın atıksu içerisinde verilmesi ile oluşan yoğun kek tabakasının yüzeye taşınması ve yüzeyden sıyrılarak atılması şeklinde çalışır. Sistemin etkinliğini arttırmak için ferrik klorür ve alüminyum sülfat gibi yoğunlaştırıcılar kullanılabilir.

Pıhtılaşma ve topaklanma; Temel amaç atıksuyun içerisindeki katı maddelerin pıhtılaştırılarak ve topaklaştırılarak sistemden uzaklaştırılmasıdır. Sisteme eklenen uygun kimyasallar (alüminyum sülfat, ferrik klorür, ferrik sülfat,

alimünyum klorohidrat) ile istenilen boyutta topaklanma oluşturulur. Bu işlemi yaparken dikkat edilmesi gereken şey pH dengesinin bozulmamasıdır.

Elektrokoagülasyon (EC); Mezbaha atıksularının arıtılması için son yıllarda kullanımı yaygınlaşan ileri arıtma tekniklerinden biridir. Organik maddelerin, besin maddelerinin, ağır metallerin ve hatta patojenlerin sistemden uzaklaştırılması kimyasal eklemesi yapılmaksızın sadece elektrik akımı ile çalıştırılabilen etkili bir yöntemdir.

Membran teknolojisi; mezbaha atıksularının arıtılması konusunda iyi alternatiflerden biridir. Membran gözenek boyutuna bağlı olarak kolloidler ve makro moleküllerin temizlenmesinde kullanılabilir. Ayrıca sistem içerisinde bulunan mikroorganizmalar, partiküller ve organik maddelerinin temizlenmesinde kullanılabilir. Ancak MBR teknolojisi tek başına değil de Aktif Çamur, Denitrifikasyon gibi proseslerle birlikte kullanıldığında hem membran gözeneklerinin geçirgenlik özelliğinin azalması engellenmiş olur hem de nitrat giderimi konusunda daha yüksek verim elde edilmiş olur [7].

Tablo 2.4: Farklı membran gözeneklerinde mezbaha atıksuların arıtım verimi.

Membrane type	Pore size (µm)	TOC removal (%)	COD removal (%)	BOD removal (%)	TN removal (%)	Reference
Microfiltration (MF)	0.080–0.550	44.81	90.63	–	45.22	Almandoz et al. (2015)
Ultrafiltration (UF)	0.030	75.00–96.00	83.00–97.00	–	27–44	Gürel and Büyükgüngör (2011)
Ultrafiltration (UF)	0.010–0.100	–	94.52–94.74	97.80–97.89	–	Yordanov (2010)
Reverse Osmosis (RO)	0.001–0.005	–	85.80	50.00	90.00	Bohdziewicz and Sroka (2005)

Biyolojik Arıtım; Mezbaha atık sularında BOD konsantrasyonun azaltılması ve ileri arıtma için atık suyun hazırlanması açısından çok önemli bir yöntemdir. Mikroorganizmaları kullanarak mezbaha atıksularındaki organikleri ve patojenleri ayırmak için kullanılan bir prosestir. % 90 a kadar BOİ giderimi sağlanabilir. Biyolojik arıtma, aerobik, anaerobik ve fakültatif kombinasyonlar ve diğer filtreleme prosesleri ile birlikte kullanılabilen bir yöntemdir.

3. MATERYAL ve METOD

3.1 Materyal

3.1.1 MBR Sistemi

Tez çalışmalarında kullanılan MBR sisteminin resimleri Şekil 3.1 ve 3.2’de gösterilmiştir.

Sistemin biyolojik tankı $48 \times 30 \times 40 \text{ cm}^3$ (H x B x L) boyutlarında yaklaşık 57,6 L hacme sahip olarak 2 mm et kalınlığına sahip paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Sisteme atıksular 6 L / sa max. kapasiteli bir peristaltik pompa ile basılmıştır. Difüzörler sistemde kullanılan kaset tipi membranların tam altına yerleştirilmiştir. Difüzörlerin ürettiği hava kabarcıkları aynı zamanda membran yüzeyleri için çapraz akış üretmekte ve membran yüzeyini temizlemektedir.

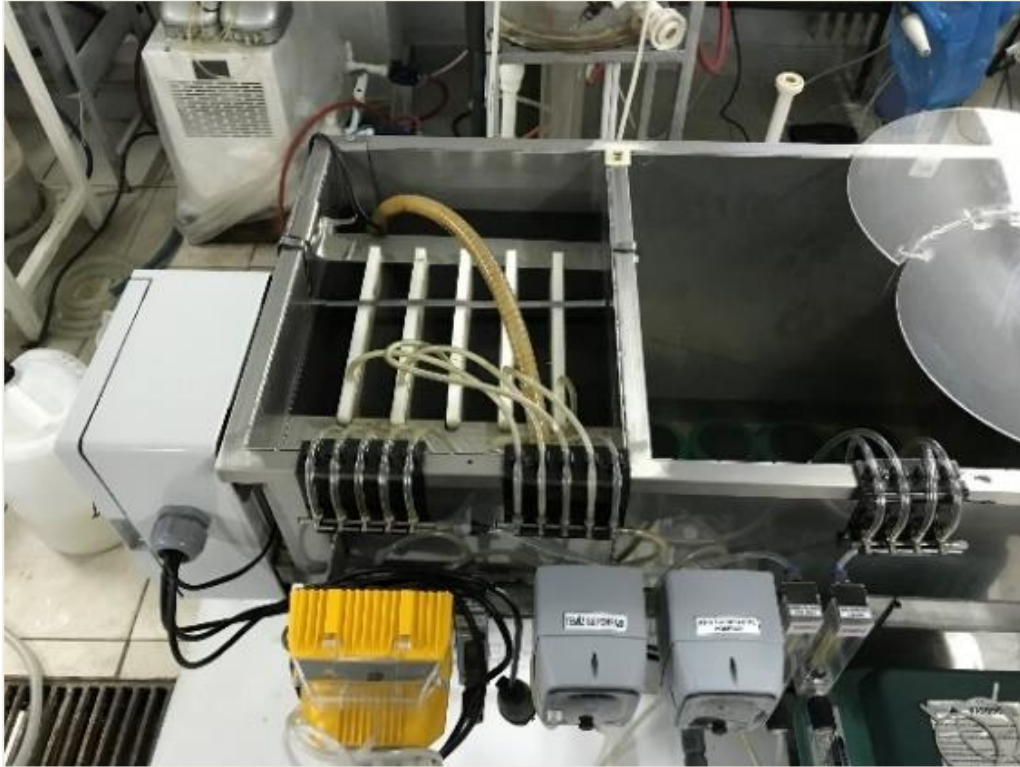
Sistemde 5 adet $30 \times 19 \text{ cm}^2$ çift yüzeye sahip membranlar bulunmaktadır. Bu membranları taşıyan kasetler ise $33 \times 23,2 \text{ cm}$ ebatlara sahiptir.

Membran tankının tabanına 25 cm uzunluğa ve 1,4 cm ene sahip hava taşlarından üretilen difüzörler yerleştirilmiştir. Bu difüzörlere bağlı 5 adet olarak planlanan bir blowerı (hava pompası) bulunmaktadır. Hava Pompası yaklaşık olarak 70 L /dakika hava üretmektedir. Hava pompasının ürettiği hava ile biyoreaktörü ÇO konsantrasyonu istenilen seviyede tutulmaktadır.

Membranlar 4 dakika süzme işlemi yapıp 1 dakika bekleme modunda çalışmak üzere ayarlanmıştır. Sistemde MBR modüllerinin bulunduğu alanda oluşan çamur 19 L/min 1,1 bar kapasite ile çalışan dalgıç pompa ile geri devir yapılmaktadır. MBR tankından geri devir yapılarak çökelmeler engellenmiştir.



Şekil 3.1: MBR sistemi yan görünüşü.



Şekil 3.2: MBR sistemi üst görünüşü.

3.1.2 Sistemde Kullanılan Membranlar

Sistemde polietersülfan (PES) malzemeden üretilmiş membranlar kullanılmıştır. PES membranlara ait özellikler Şekil 3.3’de verilmiştir.

Product Specification



MICRODYN
NADIR
ADVANCED SEPARATION TECHNOLOGIES

NADIR® UP150 P

Ultrafiltration Membrane

NADIR® UP150 membrane is a polyethersulfone (PES) ultrafiltration membrane with a nominal molecular weight cut-off (M.W.C.O.) of 150,000 Daltons. UP150 membrane is commonly used in the removal of macromolecules or concentration of large organic solutes in both water and process applications, and can be used for membrane bioreactor (MBR) applications. UP150 membrane sheet is available in dry flat sheet rolls and is FDA compliant.

Membrane Characteristics

Membrane Chemistry	Backing Material	Nominal M.W.C.O (Da)	Thickness (µm)
Polyethersulfone (PES)	Polypropylene	150,000	210 - 250

Permeability LMH/bar (GFD/psi) ^a	Retention PVP K85 (%) ^b	pH Range	Chlorine Tolerance ^c
≥ 285 (≥ 11.6)	90.0 – 98.0	0.0 – 14.0	500,000 ppm-hours

a Test conditions: Clean water, 2 bar (29 psi), 20°C (68°F), crossflow operation. Membrane specifications may change without notice as design revisions occur.

b Test conditions: 4% PVP K85, 2 bar (29 psi), 20°C (68°F), crossflow operation.

c pH must be between 10 – 11 during chlorine cleaning.

Şekil 3.3: PES membranlarının özellikleri.

Şekil 3.4’de üretilen membran kasetleri gösterilmektedir. Kasetler Biyosis Çevre Teknolojileri Ltd Şti firmasında üretilmiştir. Kasetler kestamit malzemeden kesilmiş olup üretilen kalıplar ile sıcak baskı metoduyla membran yüzeyine yapıştırılmıştır.

Sistemde PES malzemeden yapılmış membranlar 30 x 19 cm² yüzey alanına sahip olacak şekilde çift taraflı kasetlere yerleştirilmiştir. Buna göre 1 membranın yüzey alanı 0.114 m²’dir.

Sistemde toplam 5 adet membran kaset bulunmaktadır. Bu durumda sistemde bulunan toplam membran yüzey alanı da 0,57 m² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.4: MBR Sisteminde Kullanılan Çift Taraflı Membran Kasetleri

Kasetlerin üst tarafına bir delik açılarak basınçla ezilmeyecek hortumlar takılıp yapıştırılmıştır. Bu hortumlar toplanarak bir dağıtıcıya (kollektör) bağlanmış, dağıtıcı çıkışı ise peristaltik pompa kullanılarak oluşturulan vakum sayesinde transmembran basınç oluşturmuştur. Böylece membranlarda süzme işlemi gerçekleşmektedir.

Membranlar 4 dakika çalışıp 1 dakika bekleme moduna geçerek çalıştırılmaktadır. MBR membranların bulunduğu bölümde bulunan difüzörlerin sayesinde hava ile membranlar düzenli olarak temizlenmekte [16] ve sistem sürekli olarak çalışır vaziyette tutulmuştur.

3.2 Metod

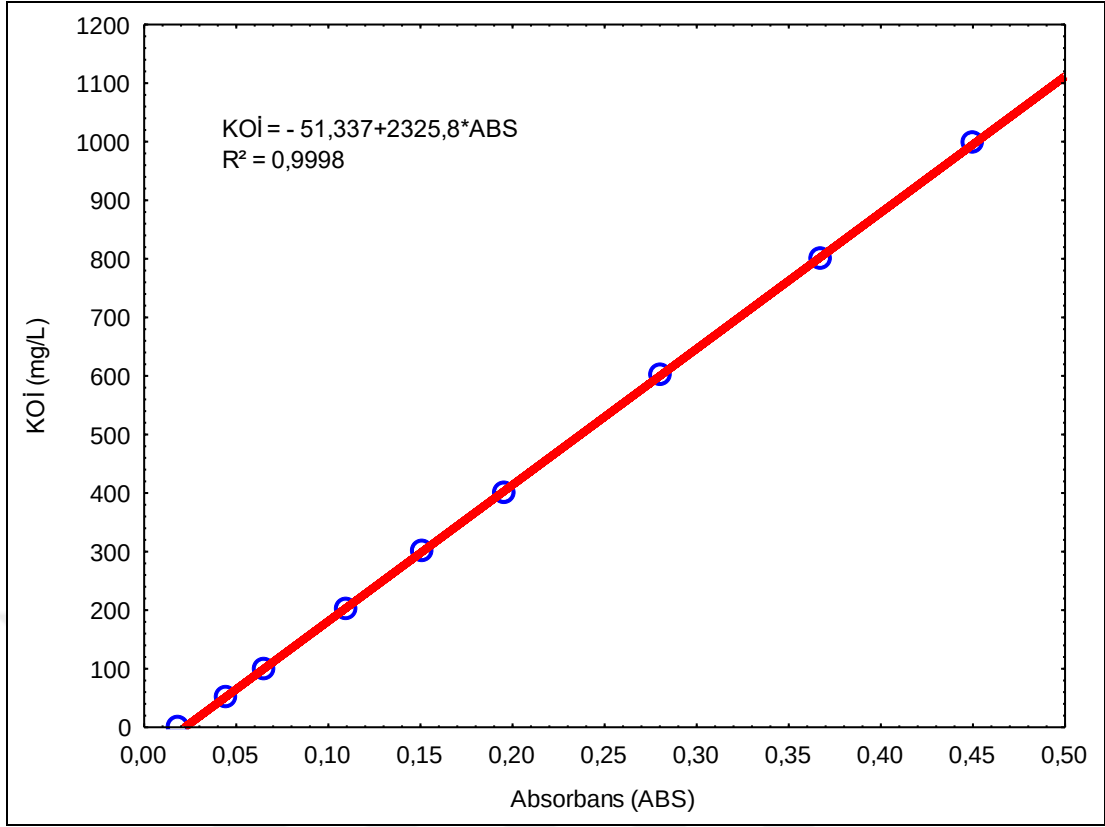
3.2.1 KOİ Analizi

KOİ analizi standart metotlarda belirtilen usullere uygun olarak kolorimetrik yapılmaktadır. KOİ ölçümü için, 850 mg Potasyum Hidrojen Ftalat 0,5 L saf suda çözülerek elde edilen 2000 mg/L KOİ stok çözeltisinden standartlar hazırlanmıştır. Daha sonra bu standartlardan 1.5 mL alınarak üzerine litresinde 10.216 g $K_2Cr_2O_7$, 167 mL H_2SO_4 ve 33 g $HgSO_4$ bulunan parçalama çözeltisinden 1 mL ve son olarak litresinde 10.129 g Ag_2SO_4 bulunan derişik H_2SO_4 asit çözeltisinden 1.5 mL eklenerek $148\pm 2^\circ C$ 'de 2 saat boyunca bir termoreaktörde (WTW marka CR3000 model) ısıtılmıştır. Reaktörden alınan örnekler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutularak 600 nm'de WTW marka Spectroflex 6600 model spektrofotometrede absorbans değerleri okunarak Şekil 3.5'de verilen kalibrasyon eğrisi çizilmiştir.

Toplam KOİ miktarları alınan numunelerin direk (herhangi bir filtre ortamından süzülmeden) olarak analiz edilmesi sonucu bulunurken, çözünmüş KOİ değerleri ise numunelerin membrandan (0.45 μm por çapına sahip glass-fibre filtre) süzildükten sonra analiz yapılması sonucu tespit edilmiştir.

3.2.2 Askıda Katı Madde (AKM) ve MLSS Konsantrasyonlarının Ölçülmesi

AKM ölçümleri Standart Metotlarda verilen yöntemlerle yapılmıştır [10]. Bu amaçla vakum pompası ile glass-fiber filtreler kullanılarak vakumlamak suretiyle ölçüm yapılmıştır. Ayrıca atıksuda ve biokütlede UAKM ve MLVSS (uçucu fraksiyonlar) ölçümleri de Standart Metotlarda açıklandığı gibi yapılmıştır.



Şekil 3.5: KOİ ölçümleri kullanılan kalibrasyon eğrisi

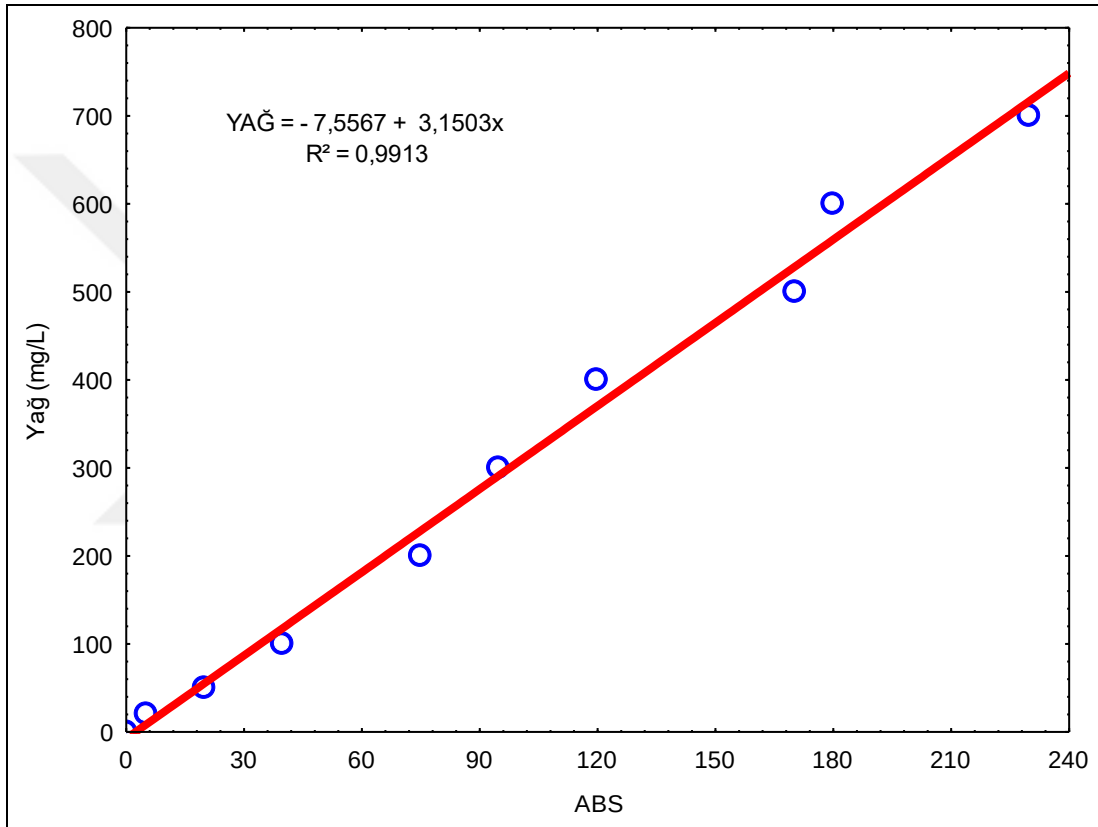
3.2.3 BOİ Ölçümleri

BOİ ölçümleri; Standart metotlara göre yapılmakta olup WTW marka OxiTop model dijital BOİ metre kullanılarak yapılmıştır. Bu cihaz 6 adet şişe kapasiteli olup, saat bazında BOİ değerlerindeki değişimleri verebilmektedir.

3.2.4 Yağ ve Gress Ölçümleri

Yağ ve gress ölçümleri “yağ-gress, petrol-hidrokarbonu” ölçüm cihazı (Wilksir HATRT-2) kullanılarak yapılmıştır. Cihaz IR bölgede çalışmakta olup yağ-gress standardı olarak bilinen bir yağ (30 numara (30W) motor yağı) kullanılmış ve aşağıdaki prosedüre göre kalibre edilerek yağ ve gress analizleri yapılmıştır [10]. Cihazın kalibrasyonunda kütleli ppm (mg/L) kullanılmıştır. Dereceli silindire 0.1 g yağ koyulduktan sonra üzeri hegzan kullanılarak 100 mL’ye tamamlanmış ve bu stok

Çözeltiden belirli oranlarda hegzan ile seyreltilerek cihazda absorbands değerleri okunmuş ve şekil 3.6'da verilen kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır. Numunelerde yağ ve gres analizi yapılırken öncelikle numunenin pH'sı 2'nin altına 1:1'lik H₂SO₄ ile düşürülmüş daha sonra belirli miktarda hegzan numuneye ilave edilerek hegzanın yağ ve gresi ekstrakte etmesi sağlandıktan sonra yağ-gres ölçüm cihazı aracılığı ile yağ-gres analizleri yapılmıştır.



şekil 3.6: Yağ ve gress ölçümlerinde kullanılan kalibrasyon eğrisi

3.2.5 Toplam Azot (TN) Analizi

Toplam azot analizi için Merck marka ve 14763 model numaralı hazır kitler kullanılmıştır. Toplam azot analizi Koroleff metoduna (ortamdaki azotlu bileşiklerin nitrat azotuna indirgenmesi esasına) göre yapılmıştır.

3.2.6 NH₄⁺-N Analizi

NH₄⁺-N analizleri için Merck marka ve 14559 model numaralı hazır kitler kullanılarak spektrofotometrik metotla yapılmıştır.

3.2.7 Toplam Fosfor (TP) Analizi

TP analizleri Merck marka ve 14729 model numaralı hazır kitler kullanılarak spektrofotometrik metotla yapılmıştır.

3.2.8 MBR Sisteminin Oksijen Transfer Katsayısının Bulunması

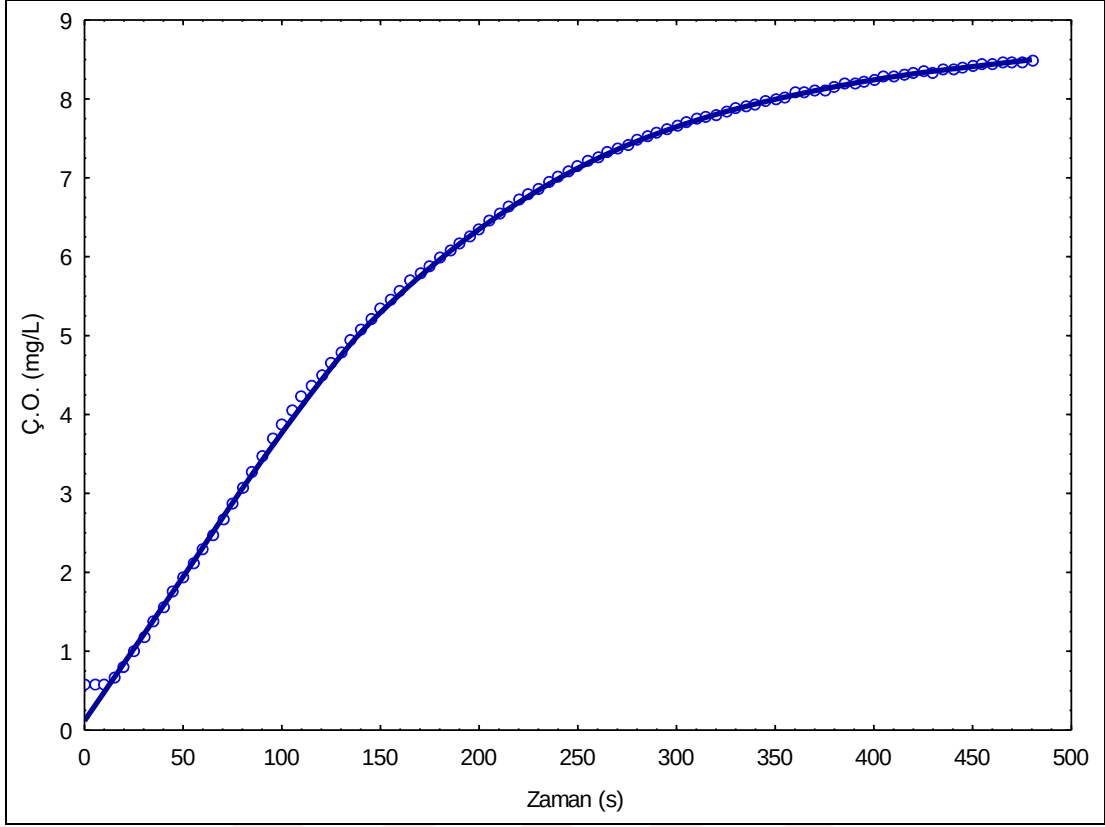
MBR sistemi ile biyolojik arıtıma başlamadan önce sistemin oksijen transfer kapasitesinin hesaplanabilmesi için oksijen transferi deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler esnasında sistem çeşme suyu ile doldurulmuş ve azot gazı kullanılarak öncelikle sistemin çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0,2 mg O₂/L'nin altına düşürülmüştür. Daha sonrasında ise sisteme çeşitli hava debilerinde hava verilmiş ve zamana dayalı olarak sistemin çözünmüş oksijen konsantrasyonları ve sıcaklığı WTW InoLab 9430 IDS multiparametre ölçer ve FDO 925 probu ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının zamana göre işlenmesi sonucu elde edilen verilerle Simplex ve Quasi-Newton metodu ile Statistica 6.0 programı kullanılarak

$$C = C_S^* - (C_S^* - C_0) \times e^{-(K_L a)t} \quad (3.1)$$

İfadesindeki K_{La} ve C_S^{*} değerleri hesaplanmıştır. Bu yöntemle K_{La} ve C_S^{*} değerlerinin hesaplanışına ait bir örnek Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucu aşağıdaki tablo elde edilmiştir.

Tablo 3.1: MBR sistemine ait K_{La} değerleri.

Hava debisi (L/dak)	K _{La} (sn ⁻¹)	K _{La} (saat ⁻¹)
4	0,005872	21,1392
6	0,006396	23,0256



Şekil 3.7: Denemelerde ölçülmüş olan oksijen konsantrasyonlarının zamana göre değişimi ($T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$, 70 L/dakika hava debisi)

Elde edilen K_{La} değerleri konvansiyonel sistemlerden yüksek çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni sisteme sadece oksijen kazandırmak değil hava kabarcıkları ile membran yüzeyine çapraz akı üretmek amacıyla yüksek miktarda hava verilmesi olarak düşünülmektedir.

3.2.9 NO_3 Analizi

NO_3 analizleri için WTW marka ve HC887542 model numaralı hazır kitler kullanılarak spektrofotometrik metotla yapılmıştır

4. BULGULAR

4.1 Atıksuyun Karakterizasyonu

Atıksu Bigadiç Belediyesi Mezbahasından alınmıştır. Mezbahanın çıkışındaki dengeleme havuzundan gün aşırı olarak alınarak laboratuvara getirilmiştir. Getirilen atıksudan çalışma süresince belirlenen kirlilik parametrelerinin konsantrasyonları ölçülmüştür. AKM, TKOİ, ÇKOİ, Amonyum Azotu, Nitrat Azotu, TN ve TP ölçümleri alınan her atıksu alındıkça yapılırken yağ-gres, toplam katı madde, BOİ ölçümleri ise aralıklarla yapılmıştır.

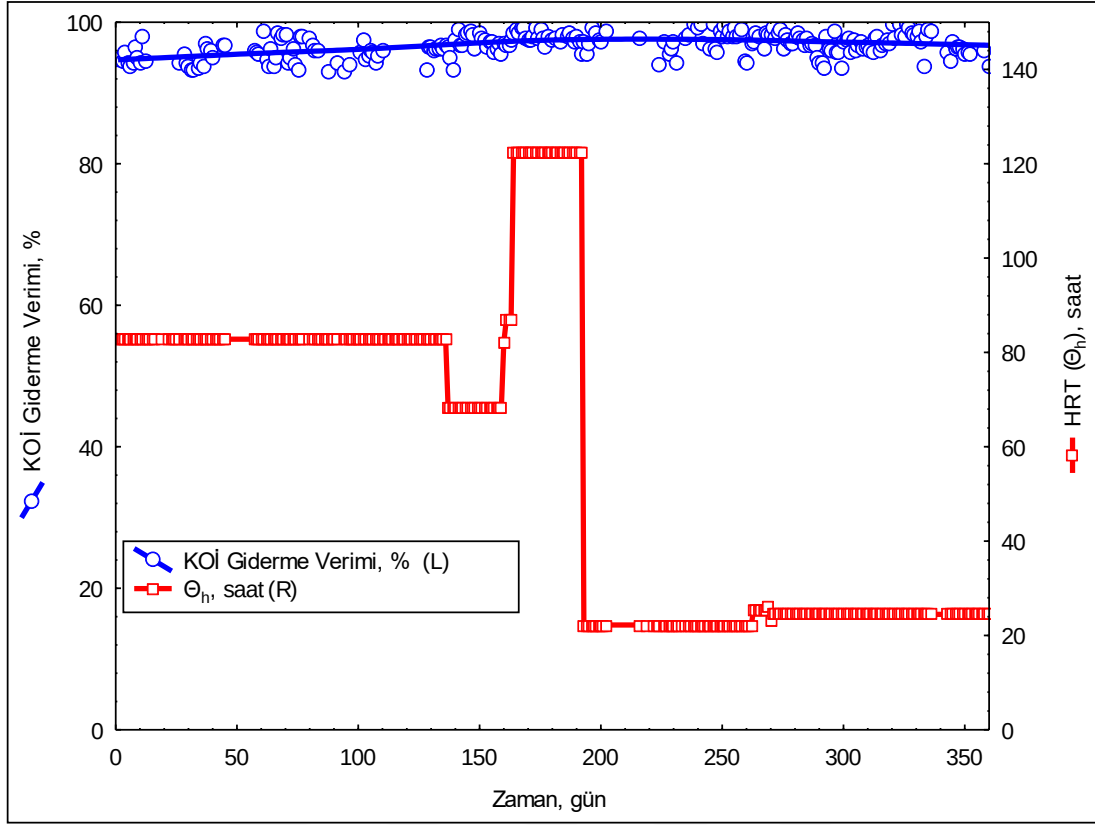
Tablo 4.1: Mezbaha atıksuyunun karakterizasyon sonuçları.

PARAMETRE	KONSANTRASYON (mg/L)			
	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart Sapma
Toplam KOİ	6691,20	626,45	3099,82	1208,05
Çözünmüş KOİ	6565,80	605,34	2726,96	1036,59
ÇKOİ/TKOİ	1,00	0,57	0,87	0,10
BOİ	5145,00	325,00	2173,00	627,12
Askıda Katı Madde	520,00	35,00	158,91	94,55
Toplam Katı Madde	13635,00	310,90	2688,30	2156,27
Toplam Azot	632,00	48,00	213,67	163,82
Amonyum Azotu	144,00	2,30	50,96	44,15
Nitrat Azotu	44,00	5,00	13,36	9,62
Toplam Fosfor	80	7	33	18
Yağ-Gress	387,50	21,4	124,7	99,84
pH	7,8	5,9	6,3	1,24

Gün içerisindeki konsantrasyon, içerik ve debi salınımlarından fazlaca etkilenmemek için atıksu mezbahanının arıtma tesisinin dengeleme havuzundan alınmıştır. Aksi takdirde mezbahanının direk çıkışından alınacak atıksu o anki proses ya da kullanım-yıkama vs. sularının özelliklerini taşıyacağından endüstrinin genel atıksuyunu temsil etmeyecektir. Alınan atıksular laboratuvara getirilerek standart metotlara göre analizleri yapılmıştır. Atıksu karakterizasyon sonuçları Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

4.2 Hidrolik Kalış Süresinin KOİ Giderimine Etkisi

KOİ gideriminin Hidrolik Kalış Süresi (HRT) ile zamana bağlı değişimi Şekil 4.1’ de görüldüğü gibidir. HRT Değerler 20 saat ile 80 saat arasında değişmiştir. Esasen sistem çok yüksek bekletme süreleri beslenmiştir. Bu zamanlardan anlaşılacağı üzere sistemde HRT ile Θ_c çok yaklaşmıştır. Sistem geri devirsiz işletilmektedir. Bazı dönemler membran sisteminde düşük akılar elde edilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi MBR sisteminde HRT’nin artmış veya azalmış olması KOİ giderimi üzerinde fazlaca bir etkiye sahip değildir. MBR sistemleri düşük bekletme sürelerinde dahi iyi arıtım performansına sahiptir.



Şekil 4.1: KOİ giderme veriminin hidrolik kalış süresi ve zamanla değişimi

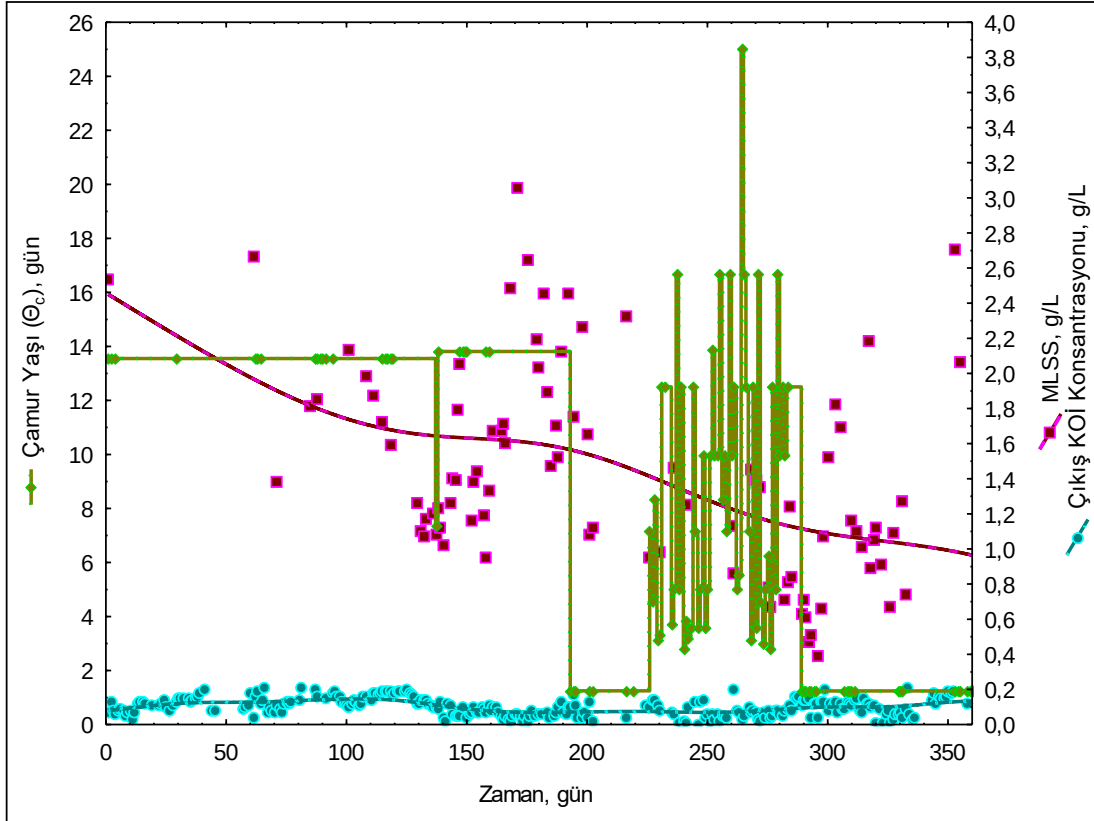
KOİ konsantrasyonları ortalama 3500 mg/L değerlerinde gelen atıksuyun arıtımını sağlayarak ortalama 127 mg/L gibi iyi düzenli bir sonuç vermiştir. Bu değer mezbahe atıksuları ile ilgili literatürde yapılan çalışmalarla da örtüşmektedir.[13]

4.3 MLSS konsantrasyonlarının ve Çamur Yaşının Çıkış KOİ Konsantrasyonlarına Etkisi

Şekil 4.2’de MLSS konsantrasyonları ve çamur yaşı değerlerinin çıkış KOİ değerlerine etkisi gösterilmektedir. Sistemde tüm şartlarda stabil bir çıkış elde edildiği görülmektedir.

Şekil 4.2 de görüleceği üzere MBR ‘de çok yüksek değerlere çıkmamıştır. Bunun nedeni sistem atıksu alımının güç olması nedeniyle düşük yüklemelerle çalışabilmiştir. Θ_c değerleri çok arttırılabilmesine karşın MLSS arttırılamamıştır.

Bu da sisteme aynı zamanda çamur stabilizasyonunun gerçekleştiği yorumu getirilmesine neden olabilir. Bir başka ifade ile sistemde Θ_c ve HRT yüksek tutulduğu için çamurun organik fraksiyonu içsel solunum fazında giderilmektedir. Böylece çamur konsantrasyonu arttırılmıştır. Sistemde her şartta 3 mg/L 'nin üzerinde ÇO konsantrasyonları ölçülmüştür.

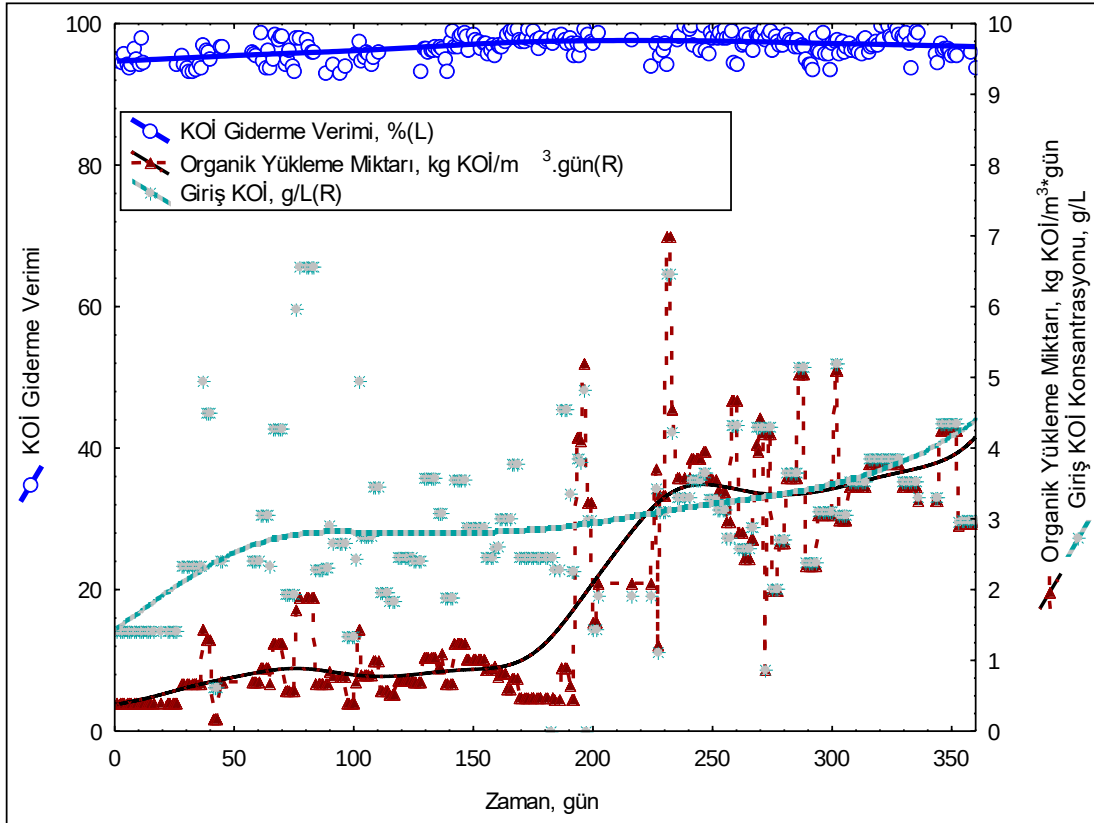


Şekil 4.2: MLSS, KOİ konsantrasyonları ve çamur yaşının zamana bağlı değişimi

4.4 Organik Yükleme Hızının KOİ Giderimine Etkisi

MBR sistemine sürekli olarak gerçek mezbaha atıksuyu beslenmiş ve herhangi bir seyreltmeye gidilmemiştir. Organik Yükleme Hızı (OLR) sistemin besleme debisi ve atıksuyun KOİ konsantrasyonu ile değişmiştir. Şekil 4.3'te zamana bağlı olarak atıksuyun KOİ konsantrasyonlarındaki ve OLR'deki değişimlerin sistemin KOİ giderim verimi üzerindeki etkisi gösterilmektedir.

Biyoreaktörün büyük hacime sahip olması ve atıksu alınmakta zorluklar çekilmesi nedeniyle yüksek yüklemelere çıkmıştır. Bununla birlikte yükleme hızı 4 kg KOİ / m³ değerlerinden dahi sistemde % 97 ‘nin üzerinde KOİ giderme verileri elde edilmiştir.



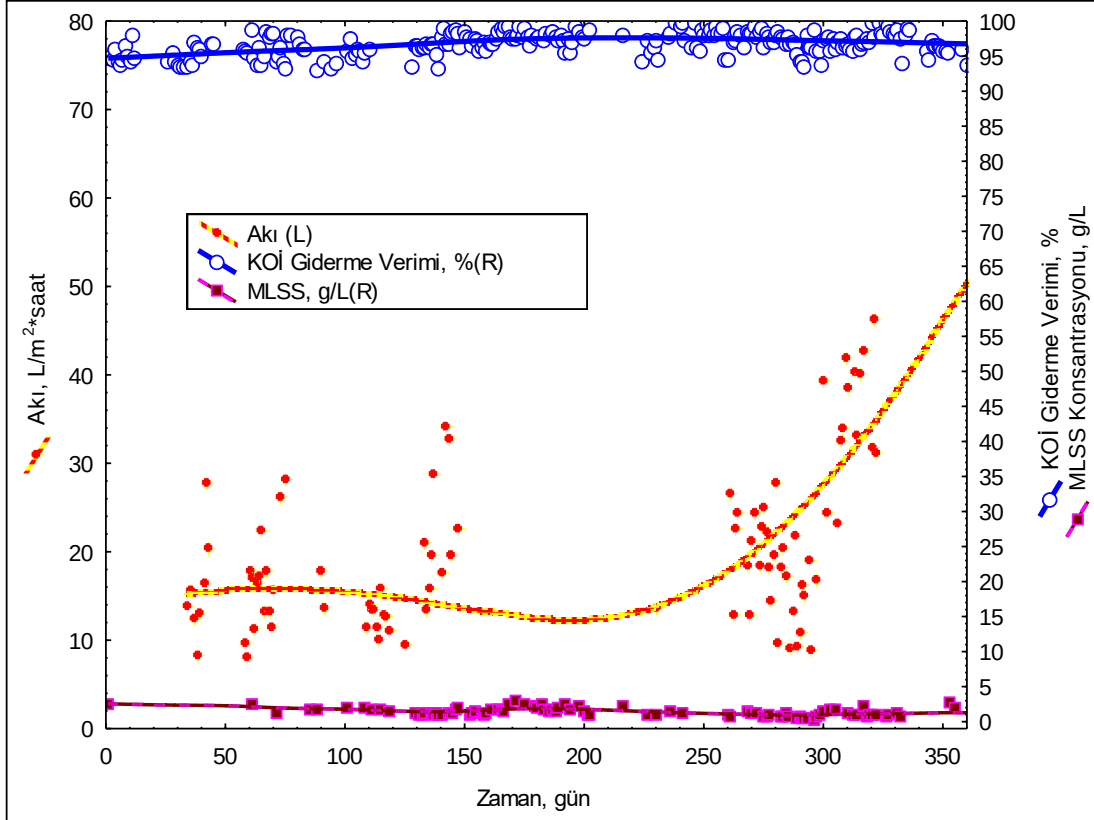
Şekil 4.3: KOİ giderme veriminin OLR ve atıksu konsantrasyonları ile zamana bağlı değişimi

Grafikten de anlaşılacağı üzere MBR sistemi alışma dönemi boyunca nispeten düşük yükler altında çalıştırılmıştır. Alışma döneminden sonra ise OLR'deki değişim ya atıksuyun konsantrasyonundaki değişimlerden ya da sistemin hacmini sabit tutmak amacı ile besleme debisindeki değişimlerden

kaynaklanmaktadır. Bu değişimlerin MBR sisteminin KOİ giderme verimine kayda değer bir etkisi yoktur.

4.5 MBR Sisteminin Zamanla Ölçülen Akı Değerleri

Şekil 4.4’de MBR sisteminde ölçülen akı değerler gösterilmektedir. Sistemde kullanılan PES membranlar özel olarak seçilerek kullanılmıştır. Bu membranlar ile üretilen kasetler dik olarak sisteme yerleştirilmiştir.



Şekil 4.4: MBR sisteminden elde edilen akıların zamanla değişiminin KOİ Giderme verimine etkisi

Sistemde akılar bir vakum pompası yardımıyla alınmaktadır. Pompa 4 dakika akı alırken 1 dakika ise dinlenme moduna geçmektedir. Pompa çalışınca membran modülü (kasetinde) vakum etkisi yaparak membran yüzeyini içe doğru büzştürmektedir. 4 dakika sonunda vakum ortadan kalkınca membran yüzeyleri gergin ilk haline gelmektedir. Böylece yüzeye biriken kek tabakasının tutunma yüzeyinden kopmalarına neden olmakta ve üretilen kabarcıklar ile süspanse hale gelmektedir. Böylece membran yüzeyinde yüksek birikimler gözlenmemiştir. Bu membranlar kendini temizleyen membranlar olarak adlandırılmıştır

Öte yandan membran akılarının çok düştüğü zamanlarda kasetler çıkarılmıştır. Kaset üzerinde birikimler çok düşük musluk suyu akımlarından bile tabaklar halinde koptuğu ve yüzeyinin temizlendiği gözlenmiştir. Fiziksel elle temizleme prosedürü ise bu şekilde uygulanmıştır.

Tüm çalışma periyodu boyunca membranlar 1 kere kimyasal yıkamaya tabi tutulmuştur. Kimyasal yıkama ise seyreltik asetik asit ile yapılarak tekrar kullanılmıştır. İlk halinden yaklaşık olarak %15-18 arasında ilk akı düşüşleri olmuştur.

4.6 Sürekli Modda Çalıştırılan MBR'ın Kinetik Katsayıları

Sürekli modda çalıştırılan MBR'ın kinetik katsayılarını hesaplayabilmek için Monod Kinetiği benimsenmiştir. Monod Kinetiğine ait denklemler aşağıda verilmiştir.

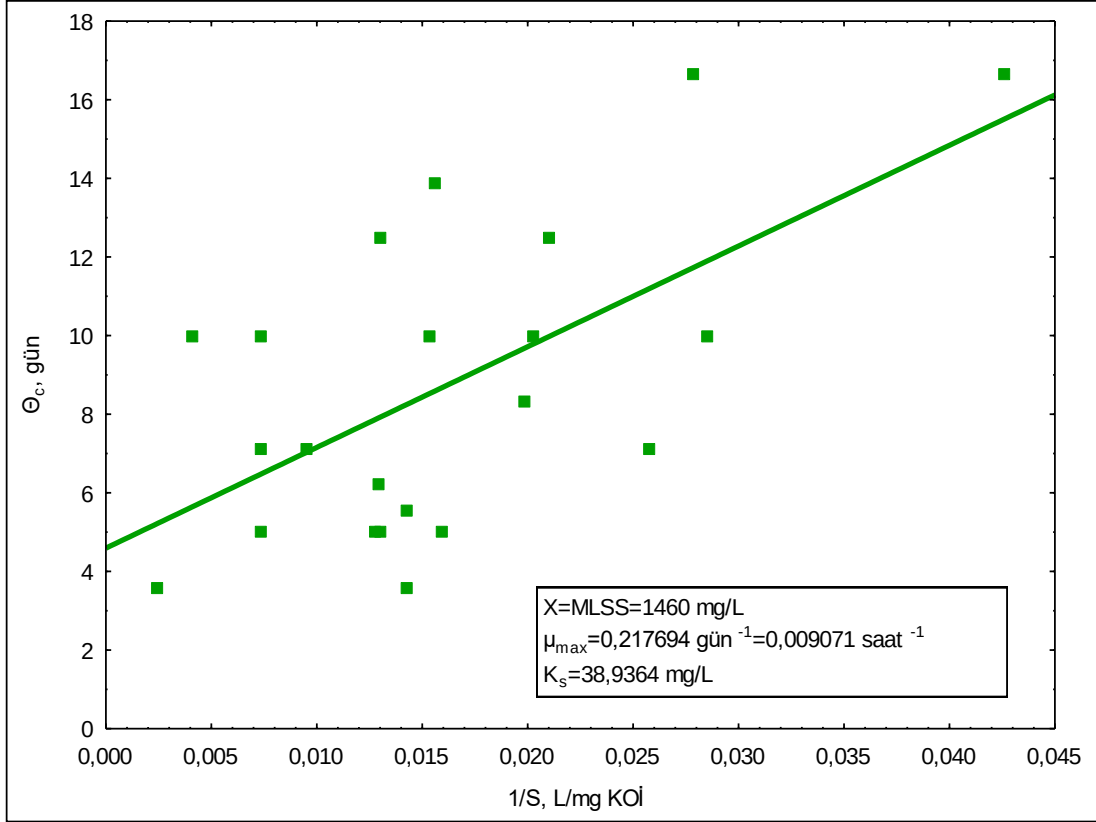
$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_S + S} \quad (4.1)$$

$$Y_{X/S} = \frac{dX}{dS} \quad (4.2)$$

$$\theta_c = \mu^{-1} = \frac{K_s}{\mu_{max}} \cdot \frac{1}{S} + \frac{1}{\mu_{max}} \quad (4.3)$$

$$\frac{1}{\theta_c} = \mu = Yr - b \quad (4.4)$$

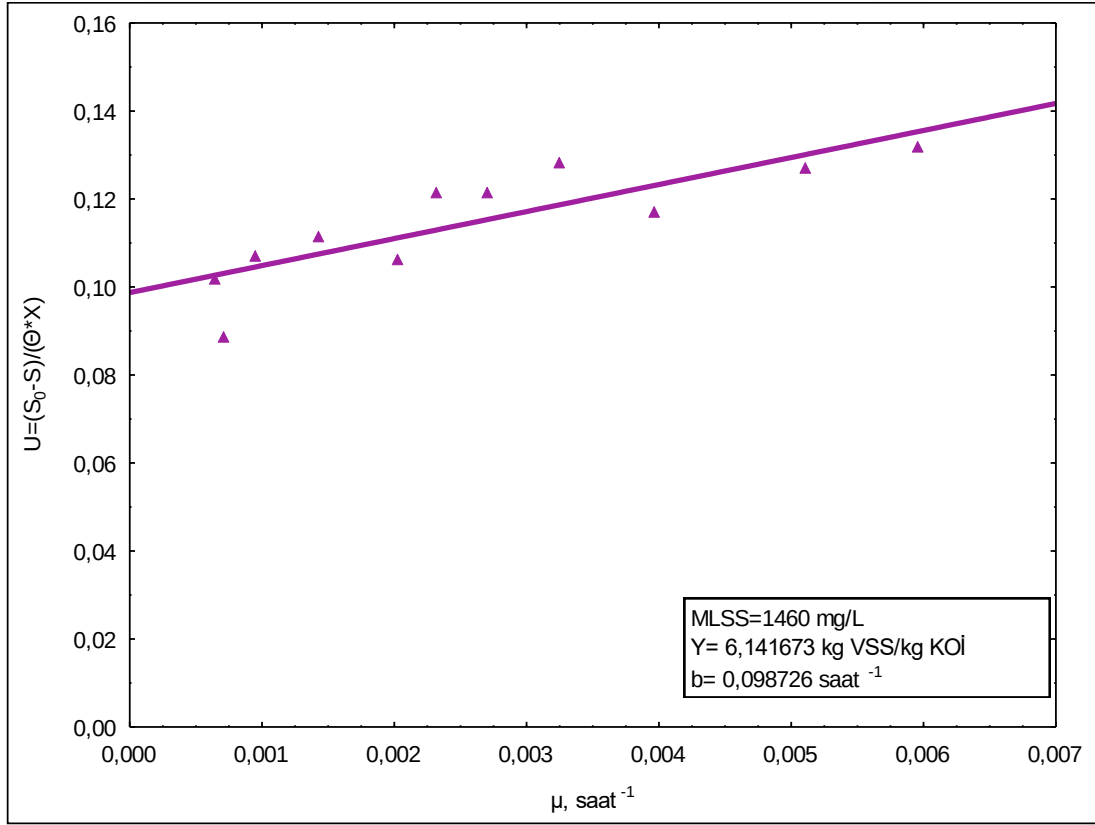
Her bir yükleme koşulunun dengeye gelmesinin ardından toplanan deneysel dataların değerlendirilmesi sonucunda spesifik büyüme hızının (μ) çıkış substrat konsantrasyonunun (S) bir fonksiyonu olarak değişimi Şekil 4.5’de gösterilmektedir.



Şekil 4.5: μ_{max} ve K_s kinetik kat sayıların belirlenmesi ($T=20\pm 2^\circ\text{C}$, MLSS=1460 mg/L)

Şekil 4.5'te doğrunun kesim noktasında $\frac{1}{\mu_{max}}$ değeri, eğimden ise $\frac{K_S}{\mu_{max}}$ hesaplanmıştır. Buna göre μ_{max} ve K_S değerleri sırasıyla 0.2177 gün^{-1} ve 38.94 mg/L olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde substrat dönüşüm oranı (Y) ve endojen bozunma (b) katsayıları aşağıdaki ifade kullanılarak bulunmuştur.

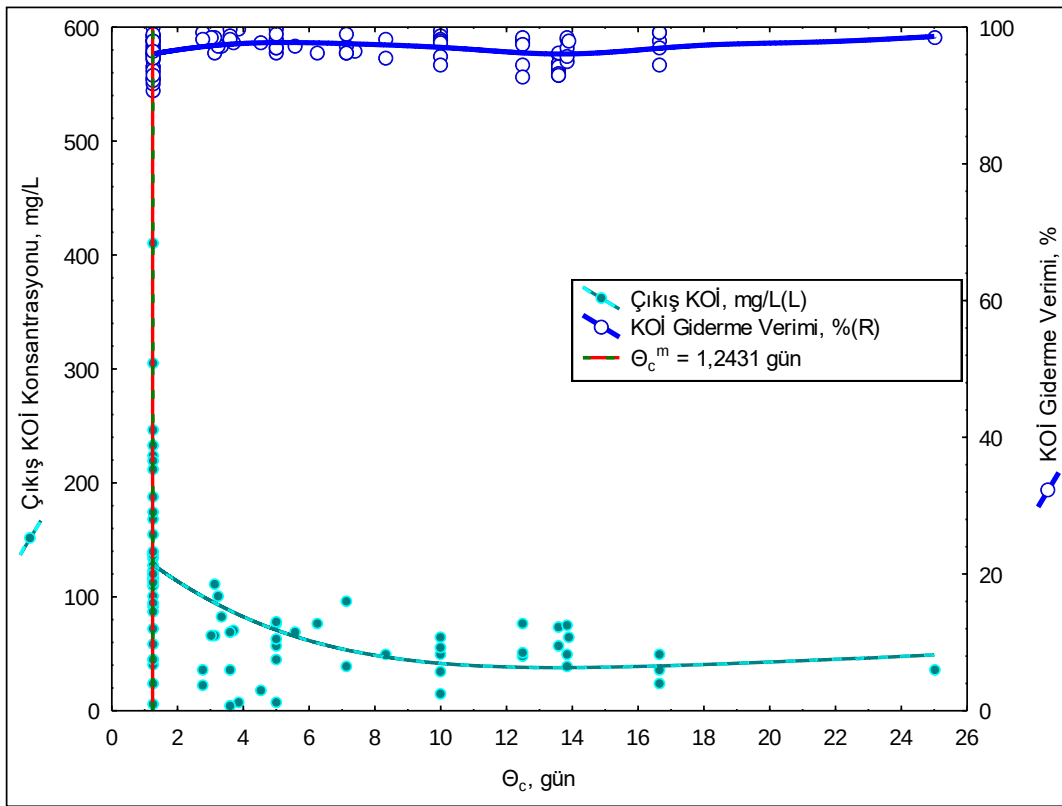
$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y \cdot (S_0 - S)}{\theta \cdot X} - b \quad (4.5)$$



Şekil 4.6: Y ve b kinetik katsayılarının bulunması (T=22±2°C, MLSS=1460 mg/L)

Burada kesim noktası b katsayısına, eğim ise Y oranına eşittir. Şekil 4,6'dan bulunan b ve Y katsayıları sırasıyla 0.0987 saat^{-1} ve $6.1417 \text{ kg VSS/kg KOİ}$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4,7’de MBR’ün çıkış suyu KOİ konsantrasyonları ve KOİ giderme verimi sistemi nın çamur yaşına göre değ erlendirilmiş ve sistemin minimum çamur yaşı (θ_c^m) değ eri 1,2431 gün olarak hesaplanmıştır. Eđ er sistem kritik çamur yaşı değ erlerinin altındaki θ_c değ erlerinde çalıştırılırsa, sistemdeki mikroorganizmaların üreme hızlarından daha yüksek bir hızda sistemden atılmaları söz konusu olmaktadır. “Sistemin yıkanması” olarak da adlandırılan bu olay sonucunda reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonunda azalma meydana gelmektedir



Şekil 4.7: Çamur yaşı çıkış suyu KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderme verimi arasındaki ilişki ($T=20\pm2^{\circ}\text{C}$)

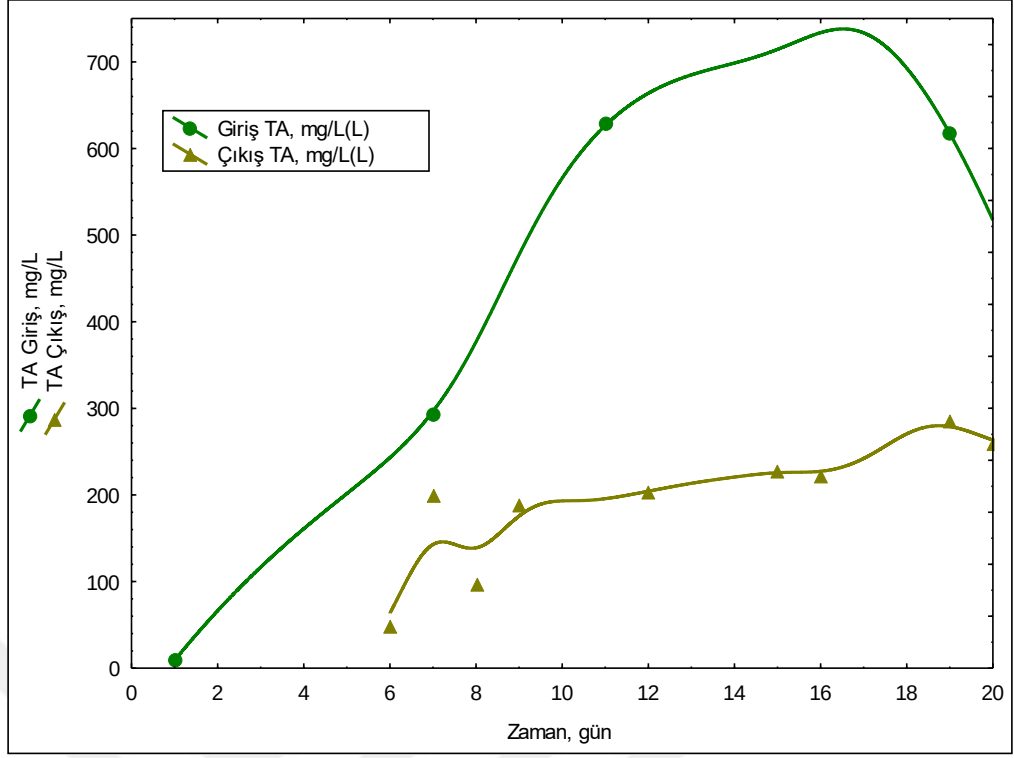
Tablo 4.2: Çeşitli atıksuların arıtıldığı sistemlerin biyokinetik katsayıları [15]

Atıksu çeşidi	Arıtma şekli	$\mu_{\max}$ (saat ⁻¹)	K_s (g/L)	b (saat ⁻¹)	γ	θ_c^m (saat)	Katsayıya esas parametre
Evsel kanalizasyon	Aktif çamur	0.100	0.035	0.0025	0.30	-	ağırlık
Kentsel kanalizasyon	Aktif çamur	-	0.025-1	0.002 – 0.0042	0.35 – 0.45	6.85 – 11.7	KOİ
Sentetik	Jet loop	0.125	0.080	0.0028	0.44	7.02	BOİ ₅
Endüstriyel	Jet loop	-	0.145	0	0.40	7	KOİ
Sentetik	Jet loop	0.135	0.178	0.002	0.535	7,2	KOİ
Süt Endüstrisi	JLMBR	0.149	0.073	0.0038	0.607	2	KOİ
Bu çalışma	MBR	0.009	0.038	0.0987	6.1417	29.8	KOİ

4.7 MBR’da Nitrifikasyon

MBR sisteminin nitrifikasyon prosesine ait grafik Şekil 4.8’de verilmiştir.

MBR sistemi ile Toplam Azot (TA) giderimi yaklaşık olarak % 50 civarında olmuştur. θ_c değerleri arttıkça mikroorganizmaların asimilatif giderimleri artmakta ve buna bağlı olarak TA çıkış değerleri de azalmaktadır.



Şekil 4.8: Giriş ve Çıkış Toplam Azot (TA) Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde hali hazırda mezbahalarda ağırlıklı SBR (Kesikli Biyolojik Arıtma Sistemleri) ya da konvansiyonel sistemler kullanılmakta olup, yüksek kirlilik değerlerine sahip ve sabit bir beslemeye tabi olmayan bu arıtma tesislerinde istenilen düzenli ve yüksek arıtım verimi sağlanamamaktadır.

Yapılan çalışmada bir MBR sistemi kullanılarak yüksek kirlilik konsantrasyonuna sahip mezbaha atıksularının arıtımı çalışılmıştır. Çalışma sonuçlarından yaklaşık 1 yıllık çalışma periyodunda KOİ çıkış konsantrasyonları deşarj standartlarının altında <200 mg/L tespit edilmiştir. Sistemin verimleri ise %95'in üzerinde hesaplanmıştır.

Hidrolik kalış süresinin KOİ giderimi üzerine etkisi gözlemlendiğinde çok kısa sürelerde aynı arıtım verimi ile arıtım yapılabildiği görülmüştür. Bunun gerçek boyutlu mezbaha ve kesimhane arıtmalarında uygulanması ile enerji ve işçilik maliyetlerinde düşüş ve tesis ekipmanlarının kullanım ömürlerinde de uzama olacaktır.

Yeni tasarlanan tesislerde ise daha küçük boyutlu tasarımlar sayesinde özellikle arazinin pahalı olduğu bölgelerde hem arazi bedelinden yapılacak tasarruf hem de inşaat maliyetlerindeki düşüş sebebi ile ilk yatırım maliyetlerinde ciddi düşüşler yaşanacaktır

Çalışmada kullanılan membranlar kendini temizleme özelliği olan membranlar olması sebebiyle geri yıkama ihtiyacı göstermemektedir.

MBR sistemlerdeki yüksek MLSS konsantrasyonu sayesinde giriş suyundaki yüksek organik yük ve şok debi değişimlerinden minurun etkilenme söz konusu olacaktır ve arıtım verimi sabit kalacaktır.

Ülkemizde hali hazırda işletilen mezbaha tesislerinde kesim işlemlerinin sürekli yapılmaması sebebi ile debi ve organik yük girişi de kesikli olarak gerçekleşmektedir. Klasik sistemler bu kesikli debi ve organik yük ile işletilmeye çalışılmaktadır. Ve yine bu tesisleri işleten kişiler çoğunlukla kalifiye ve tecrübeli

kişiler olmadığı için sistemler değişken koşullara göre işletilememektedir. Sistemlerin doğru işletilmemesi düşük arıtım verimi, yüksek çevre ve ekonomi zararları doğurmaktadır.

MBR Teknolojisi; değişimlere dayanıklı işletme şartları ve stabil arıtım verimi sebebi ile minimum insan müdahalesine ihtiyaç duymasından ötürü kullanıcı dostu, sürdürülebilir bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bununla beraber çalışmalar sonucunda gelecek araştırmalar için aşağıdaki tespitler yapılmıştır:

- Deney sisteminin hacmi büyük olduğundan atıksu ihtiyacı çok fazla olmuştur. Dolayısı ile yükleme hızı yeterince arttırılamamıştır. Yine buna bağlı olarak MLSS konsantrasyonu çok yükseltilememiştir.
- Besleme hızı düşük tutulmak zorunda kalındığı için bekletme süreleri daha da düşürülememiştir.
- Çalışmada besleme senaryoları değiştirilerek denitrifikasyon performansı da değerlendirilmek istenmiş ancak yine çok yüksek atıksu gereksinimi sebebi ile yapılamamıştır. Sonraki dönemlerde bu çalışma yapılacaktır.

Tüm bu şartlar dâhilinde MBR sistemin mezbaha atıksuları için oldukça uygulanabilir çözüm olduğunu göstermiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Water Environment Federation, *Membrane Systems for Wastewater Treatment*, WEF Press, McGraw-Hill, (2006). ISBN: 9780071464192
- [2] Baker R.W., *Membrane Technology and Applications, Second Edition*, John Wiley & Sons, Ltd., (2004), ISBN: 0-470-85445-6
- [3] Judd S. and Jefferson B., *Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-use*, Elsevier Science, (2003), ISBN: 9781856173896, <https://doi.org/10.1016/B978-185617389-6/50003-5>
- [4] Singh R., *Hybrid Membrane Systems for Water Purification*, Elsevier Science, (2005), ISBN: 978-1-85617-442-8, <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-442-8.X5000-3>
- [5] Judd S., *The MBR Book Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment, First edition*, Elsevier, (2006).
- [6] Koyuncu İ. *Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları- Cilt 1: Membran Teknolojileri ve Su Arıtma*, Ankara, Türkiye Çevre Koruma Vakfı, (2018), ISBN: 978-605-9351-22-5
- [7] Bustillo-Lecompte C.F., Mehrvar M. “Slaughterhouse Wastewater Characteristics, Treatment and Management in the Meat Processing Industry: A review on trends and advances”, *Journal of Environmental Management*, 161, 287-302, (2015)
- [8] Türkiye Cumhuriyeti, *Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, (2004).
- [9] Judd S. ve Judd C., *MBR Su ve Atıksu Arıtımında Membran Biyoreaktörlerin Esasları ve Uygulamaları*, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., (2015).
- [10] AWWA, APHA, WPCF, *Standart Methods For Water and Wastewater Examination, Sixteenth Edition*, New York, (1985)

- [11] Sarioğlu M., Orhon D., "Pilot Ölçekli Membran Biyoreaktörde Uzun Dönemli Eşzamanlı Nitrifikasyon -Denitrifikasyon Performansının Modellemesi", *İTÜ Dergisi*, 17 (3), (2007)
- [12] Aslan M., "Mezbaha Atıksularının Membran BioReaktörle Arıtılmasında Membran Kirlenme Davranışı", *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 29 (1), 363-37, (2017)
- [13] Aslan M., Arı H., Hakkı G., Yıldız H., Saatçi Y., "Treatment of Slaughterhouse Wastewaters by Anaerobic Submerged Membrane Bioreactor", *Turkish Journal of Science & Technology*, 8 (1), 29-36, (2013)
- [14] Gürel C., Büyükgüngör H., "Treatment of Slaughterhouse Plant Wastewater by Using a Mambrane Bioreactor", *Water Science & Technology*, 64.1, (2011)
- [15] Yenkie, M.K.N., Geissen, S.U., Vogelpohl, A., "Biokinetics of wastewater treatment in the high performance compact reactor (HCR)", *The Chemical Engineering Journal*, 49, B1-B12, (1992).
- [16] Özkan K., Açıkgöz Ç., "Laboratuvar /Pilot ölçekte membran biyoreaktör (mbr) sisteminin tasarımı ve imalatı", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33:1, 43-53, (2018)
- [17] Komesli O.T., "Removal of Heavy Metals in Wastewater by Membrane Bioreactor: Effect of Flux and Suction Period", *J.Chem.Soc.Pak.*, 36 (4), (2014)
- [18] R.Del Pozo, V.Diez, "Integrated anaerobic-aerobic fixed-film reactor for slaughterhouse wastewater treatment", *Water Research*, 39, 1114-1122, (2005)
- [19] Soybay S., Koyuncu İ., "Karışık Endüstriyel Atıksu Arıtımında Pilot Ölçekli Membran Biyoreaktörlerde İşletme Optimizasyonu ve Membran Yüzey Temizleme İşlemlerine Değişik Yaklaşımlar", *ÖHÜ Müh. Bilim Derg.*, 6 (2), 339-350, (2017)
- [20] Özkan O., Uyanık İ., Rençber M.M., Oğuz M. , Şahin U. , Koyuncu İ. "Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Membran Biyoreaktörlerle Arıtılması: KOSB için ilk sonuçlar", *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 23 (9), 1059-1063, (2017)

- [21] Komesli O. T., Gökçay C. F. “Investigation of sludge viscosity and its effects on the performance of vacuum rotation membrane Bioreactor” *Environmental Technology*, 35 (5), 645-652, (2014)
- [22] Komesli O.T., Muz M., Ak S., Gökçay C.F., “Prolonged reuse of domestic wastewater after membrane Bioreactor treatment”, *Desalination and Water Treatment*, 53:12, 3295-3302, (2015)
- [23] Turken T., Köse-Mutlu B., Okatan S., Durmaz G., Guclu M.C., Guclu S., Ovez S., Koyuncu İ., “Long-term MBR performance of polymeric membrane modified with Bismuth-BAL chelate (BisBAL)” *Environmental Technology*, 40 (15), 2011-2017, (2019)
- [24] Komesli O. T., Teschner K., Hegemann W., Gokcay C.F. “Vacuum membrane applications in domestic wastewater reuse”, *Desalination*, 215, 22-28, (2007), <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.10.025>