T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇAPRAZ AKIŞLI SERAMİK MEMBRAN SİSTEMİ İLE AĞAÇ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZAFER GÖKSEL

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇAPRAZ AKIŞLI SERAMİK MEMBRAN SİSTEMİ İLE AĞAÇ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LISANS TEZI

ZAFER GÖKSEL

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

Doç. Dr. Baybars Ali FİL

Prof. Dr. Mehmet İŞLEYEN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Zafer GÖKSEL tarafından hazırlanan **"ÇAPRAZ AKIŞLI SERAMİK MEMBRAN SİSTEMİ İLE AĞAÇ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİ KAZANIMI"** 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 Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Danışman Doç. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU	.....
Üye Doç. Dr. Baybars Ali FİL	.....
Üye Prof. Dr. Mehmet İŞLEYEN	.....

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

ÇAPRAZ AKIŞLI SERAMİK MEMBRAN SİSTEMİ İLE AĞAÇ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ZAFER GÖKSEL
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. BURHANETTİN FARİZOĞLU)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

Ağaç endüstrisinde kullanılan sunta, MDF ve plywood vb. üretim proseslerine bağlı olarak oluşan atıksular, yüksek oranlarda KOİ ve yüksek oranlarda askıda katı madde (AKM) içermektedirler. Fizikokimyasal sistemler gibi geleneksel sistemlerde bahsettiğimiz parametrelerin yüksek olduğu ve yüksek maliyet anlamına gelen ciddi miktarda kimyasal ve koagülant kullanılmaktadır. Çapraz akışlı membran sistemleri çalışmaları boyunca efektif harcama sağlarlar ve atıksulardan askıda katı madde giderimi konusunda çok etkili olmaktadırlar. 17227 mg/L KOİ ve 4434 mg/L AKM konsantrasyonuna sahip Manisa, Akhisar'daki bir sunta üretim tesisinden gelmekte olan endüstriyel atıksu ile yapılan çalışmada, ucuz ve nispeten kullanımı kolay membran sistemi kullanılarak KOİ ve AKM gideriminde sırasıyla %72.1 ve %100 oranlarına ulaşılmıştır. Bu çalışmada, aynı membran alanına (0.111 m^2) ve farklı gözenek ebatlarına (50, 100, 200 nm) sahip olan seramik membranların KOİ ve AKM giderme performansı ve akı oranları değerlendirildi. 4 bar transmembran basıncı, 4434 mg/L AKM konsantrasyonu ve 4.65 m/s çapraz akış hızında 200 nm gözenek büyüklüğünde seramik membranla 230 L/m^2h limit akış elde edildiği gözlemlendi.

ANAHTAR KELİMELER: Seramik membran, KOİ, çapraz akışlı membran sistemi, askıda katı madde.

ABSTRACT

REUSE OF WOOD INDUSTRY WASTEWATER USING CROSS-FLOW CERAMİC MEMBRANE SYSTEM
MSC THESIS
ZAFER GOKSEL
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ENVIRONMENTAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. BURHANETTIN FARIZOGLU)
BALIKESİR, JUNE 2019

Wood industry produces wastewater in progress of making chipboard, hardboard, plywood, medium density fiberboard (MDF), etc. and these wastewaters contain high levels of COD (17227 mg/L) and suspended solids (SS) (4434 mg/L). In conventional systems, such as physicochemical processes, these high levels of COD and SS need excessive use of coagulants and using more chemicals that means higher cost. Cross-flow membrane systems are cost effective during operation and has a very small installation area. Membrane systems are very effective at removing solids from wastewaters. Industrial wastewater from a chipboard manufacturing plant in Akhisar, Manisa, which has 17227 mg COD/L and 4434 mg/L SS concentration, is used in the proposed cheap and relatively simple-to-operate membrane system that achieved COD and SS removal rates of 72.1% and 100% respectively. In this study, COD and SS removal performance and flux rates of ceramic membranes, which has different pore sizes (50, 100, 200 nm) and same membrane area of 0.111 m^2, are evaluated. 230 L/m^2h limit flux has been achieved with 200 nm pore sized ceramic membrane at 4 bar transmembrane pressure, 4434 mg/L SS concentration and 4.65 m/s cross flow velocity.

KEYWORDS: Ceramic membrane, COD, crossflow membrane system, suspended solids.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **iv**
TABLO LİSTESİ ..... **v**
SEMBOL LİSTESİ ..... **vi**
ÖNSÖZ ..... **vii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Ağaç Endüstrisi 1
1.1.1 Yonga Levha Endüstrisi 2
1.1.2 Ağaç Endüstrisi Atıksuları 3
1.1.3 Ağaç Endüstrisi Atıksularının Arıtılması 4
1.2 Membran Sistemleri 6
1.2.1 Membramların Sınıflandırılması 6
1.2.2 Membran Performansına Etki Eden Faktörler 8
1.2.2.1 Akı 8
1.2.2.2 Sıcaklık ve Viskozite 9
1.2.2.3 Transmembran Basıncı (TMP) 9
1.2.2.4 Çapraz Akış Hızı 10
1.2.2.5 Membran Kirlenmesi 11
2. MATERYAL ve YÖNTEM **12**
2.1 Deney Sistemi 12
2.1.1 Çapraz Akışlı Seramik Membran Sistemi 12
2.1.2 MBR Sistemi 14
2.2 Kullanılan Atıksu 15
2.3 Kullanılan Membran Tipi ve Özellikleri 15
2.4 Yöntem 16
2.4.1 KOİ Analizi 16
2.4.2 AKM Ölçülmesi 17
2.4.3 Transmembran Basıncı (TMP) 18
2.4.4 Çapraz Akış Hızı (v) 18
2.4.5 Membram Akısı (J) 18
3. BULGULAR **20**
3.1 Çalışmada Kullanılan Atıksu Karakterizasyonu 20
3.2 Membran Arıtım Performansının İncelenmesi 20
3.2.1 Çapraz Akış Hızının İncelenmesi 20
3.2.1.1 Transmembran Basıncı'nın Etkisi 22
3.2.1.2 Por çapının Etkisi 25
3.2.2 MBR ile Yapılan Çalışmalar 26
4. SONUÇ ve ÖNERİLER **30**
5. KAYNAKLAR **31**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: MF tesisinin maliyet açısından konvansiyonel tesisler ile karşılaştırılması [8]. 5
Şekil 1.2: Geometrik şekil ve tertip tarzına göre membranların sınıflandırılması [12]. 7
Şekil 1.3: Klasik ve çapraz akış filtrasyonda akı azalması ve kek kalınlığı değişimi. 11
Şekil 2.1: Deneysel sistem kurulumunun blok diyagram gösterimi. 12
Şekil 2.2: Çalışmalarda kullanılan çaprak akışlı seramik membran sisteminin görünümü. 13
Şekil 2.3: Çalışmalarda kullanılan membran biyoreaktörün blok diyagramı. 14
Şekil 2.4: Çalışmalarda kullanılan membran biyoreaktörün görünümü. 15
Şekil 2.5: Deneysel sistemde kullanılan seramik membran modülü. 16
Şekil 2.6: KOİ analizinde kullanılan kalibrasyon eğrisi. 17
Şekil 3.1: Akıların çapraz akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi (2 bar TMP, 200 nm por çapı). 21
Şekil 3.2: Akıların TMP'na bağlı olarak zamanla değişimi (4000 L/sa sirkülasyon debisi, 50 nm por çapı). 23
Şekil 3.3: Akıların TMP'na bağlı olarak zamanla değişimi (2000 L/sa sirkülasyon debisi, 200 nm por çapı). 24
Şekil 3.4: Akıların por çapına bağlı olarak zamanla değişimi (4000 L/sa sirkülasyon debisi, 3 bar TMP). 26
Şekil 3.5: Organik yükleme miktarının arıtma verimine etkisinin zamanla değişimi. 27
Şekil 3.6: KOİ'nin arıtma verimine etkisinin zamanla değişimi. 28
Şekil 3.7: Akının arıtma verimine etkisinin zamanla değişimi. 28

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Şekil 3.1'e bağlı debi ve KOİ giderimi. 21
Tablo 3.2: Şekil 3.2'ye bağlı KOİ çıkış verileri ve KOİ giderimi. 23
Tablo 3.3: Şekil 3.3'e bağlı TMP ve buna bağlı KOİ giderimi. 24
Tablo 3.4: Şekil 3.5'e bağlı por çapına göre AKM giriş ve KOİ giderimi. 26

SEMBOL LİSTESİ

L : Litre
g : Gram
mg : Miligram
m : Metre
cm : Santimetre
µm : Mikrometre (10^{-6} m)
nm : Nanometre (10^{-9} m)
sa : Saat
s : Saniye
BOİ : Biyolojik Oksijen İhtiyacı, mg/L
KOİ : Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/L
AKM : Askıda Katı Madde Miktarı, mg/L
UAKM : Uçucu Askıda Katı Madde Miktarı, mg/L
kW : Kilowatt
TMP : Transmembran Basıncı veya ΔP, Pa
J : Akı, $m^3/m^2.s$ veya $L/m^2.sa$
MBR : Membran Bioreaktör
MF : Mikrofiltrasyon

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince; tüm süreçlerde bilgi, birikim ve tecrübeleriyle yanımda olan, yönlendiren ve desteklerini esirgemeyen Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU'na öncelikli olarak teşekkürü borç bilirim.

Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımını esirgemeyen Büşra ÇAM'a ve tezin laboratuvar çalışmaları esnasında, atıksu temini esnasında ve sonrasında, tez yazım aşamasında yardımcı olan ve bilgilerini benimle paylaşan, arkadaşım Arş. Gör. Süleyman UZUNER'e ayrıca teşekkürlerimi de sunmak isterim.

Son olarak büyük emek ve gayretle; tez çalışmalarımın her anında beni destekleyen, itekleyen, zorlayan, sıkıştıran ve olanca çabayı göstererek yanımda olan sevgili eşim İnci GÖKSEL'e teşekkür ediyorum.

1. GİRİŞ

1.1 Ağaç Endüstrisi

Ağaç ve ağaç ürünleri insanoğlunun en eski yapı ve inşa malzemelerinden biridir. Göçebe yaşamdan yerleşik hayata geçildikten sonra barınma ve korunma amaçlı olarak ağaç ve ağaç ürünleri kullanılmıştır. Ağaç malzemeler; gelişen sanayi ve teknoloji ile birlikte farklı şekillerde işlenerek çeşitli amaçlarla kullanılmaktadırlar. Uygulama ve üretim farklılıkları olmakla birlikte masif veya kompozit olarak çeşitli şekillerde farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Masif malzemelerin geniş alanlarda kullanımının kısıtlı olması, çok fazla ağaca ihtiyaç duyulması sebebiyle ormanların azalmasına neden olması, ekonomik olarak uygun olmaması ve makroskopik olarak anizotrop yapıya sahip olması nedeniyle teknik yollarla farklı ürünler üretilmektedir. Hammaddesi ağaç olan kontrplak, yonga, lif ve kaplama levhalar gibi daha ekonomik ve daha kullanışlı olan nihai ürünler, masif malzemelere göre daha çok kullanım alanına sahiptirler.

Bahsedilen bu ürünler arasında kontraplak ve kaplama levhalar doğal ağaçtan üretilen malzemeler iken yonga levha ve lif levha gibi ürünler ara üretim malzemelerinden veya diğer ağaç sanayi üretim prosesleri sonucu ortaya çıkan ürünlerden oluşturulan malzemelerdir. Sonradan imal edilen bu levhalar, ağaç ürünlerinin reçine, tutkal veya benzeri ürünler ile ısı ve basınç gibi çeşitli yöntemlerle birleştirilmesi veya sıkıştırılması ile üretilirler. Yonga levha; ara ürün olan yongaların, işe uygun yapıştırıcı, reçine ya da ahşap tutkal ile ısı ve basınç vasıtasıyla büyük ve geniş yüzeyli levhalar haline getirilmesidir.

1.1.1 Yonga Levha Endüstrisi

Yonga levha, "yongaların tutkal ya da uygun yapıştırıcı yardımıyla ısı ve basınç altında büyük ve geniş yüzeyli levhalar haline getirilmesi ile oluşan ve gerek bina yapımında gerekse diğer ihtiyaçlar için kullanılan bir malzeme" olarak tanımlanmaktadır [1].

Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği, 2015 yılı levha sanayii sektör raporunda Türkiye'nin yonga levha üretiminde; Avrupa'da 3. ve Dünya'da 5. sırada yer aldığı belirtilmektedir. MDF ve Yonga Levha Sanayicileri Derneği, 2016 yılı raporuna göre ise Türkiye'de levha sektörünün büyüklüğü (Yonga Levha, Mobilya, Dekorasyon vs.) yaklaşık 400,000 kişiye doğrudan olmak üzere toplam 1 milyon kişiye (Nakliyat, satış, hizmet vs.) iş olanağı sağlayan 12 milyar USD civarında bir pazardır. 2023 yılı hedeflerine göre sektörün büyüklüğü 25 milyar USD ve ihracat hedefi 8 milyar USD olarak belirtilmektedir [2].

Rapora göre, Türkiye levha sanayi sektöründe 2012-2013 yılları arasında %9,8 büyüme ile İspanya, Polonya ve Çin'den sonra gelmektedir. Ayrıca rapora göre dünya levha üretiminin yaklaşık %55.4'ünü Çin gerçekleştirmektedir [2].

Türkiye'de yonga levha üretimi gerçekleştiren 16 şirket bulunmaktadır ve günlük ortalama üretim kapasitesi 320 gün/yıl çalışmaya göre 15.981 m^3 olmaktadır. Bu kapasiteler, kurulum kapasite raporunda mevcut olan kapasiteleridir ve kullanım oranları %75-85 arasında değişmektedir. 2016 yılı itibariyle Türkiye'de faaliyet gösteren yonga levha şirketleri içerisinde, toplam yonga levha üretimin, 10510 m^3/gün ile %65.7'sini Kastamonu Entegre A.Ş., 2850 m^3/gün ile %17.8'ini Yıldız Entegre A.Ş., aynı şekilde 2850 m^3/gün ile %17.8'ini Starwood A.Ş. ve 2100 m^3/gün ile %13.1'ini Orman A.Ş. üretmektedir [3].

Yonga levha üretim prosesleri genel itibariyle;

- Hammadde Stok Sahası
- Kaba Yongalama Ünitesi
- İnce Yongalama Ünitesi
- Yonga-Toz Talaş Üitesi
- Ham Sunta Üretim Ünitesi
- Zımparalama Ünitesi
- Melamin Kaplama Ünitesi
- Boyalı Yonga Levha Üretim Ünitesi

şeklindedir [4].

1.1.2 Ağaç Endüstrisi Atıksuları

Atıksu numunesinin alındığı yonga levha üretim tesisinde genel olarak %80 oranında kızılçam, %20 oranında karaçam üretimde hammadde olarak kullanılmaktadır. Basınç karaçamının kimyasal özellikleri bakımından normal oduna göre, α –selüloz oranının az olduğu ve lignin, sıcak su-alkol çözünürlüğünün ise normal oduna göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Basınç karaçam için α-selüloz miktarı %46.4 iken normal odunda bu miktar %50.4 ve lignin oranında ise karaçamın %31.8, normal odunun %26.7 olduğu belirlenmiştir [4].

Yapılan bir çalışmada Kastamonu bölgesinde 5 değişik bölgeden (Tosya, Hanönü, İnebolu, Bozkurt ve Araç ilçeleri) aldıkları kızılçam numuneleri üzerinde araştırma yapmışlar ve yapılan analizlerde lif, kimyasal ve anatomik özelliklerin iklim, yağış ve toprak özellikleri gibi etkilerle değişebildiği görülmüştür. Benzer biçimde, aynı ağacın dal, gövde, budak ve kök gibi farklı bölgelerinde de tüm bu özelliklerinin farklılaştığı görülmüştür [5].

Bu çalışmada yonga endüstrisi atıksuları kullanılmıştır. Kompozit ağaç ürünleri içinde bulunan yonga levhaların üretim proseslerinde kullanılan parafin,

reçine ve sertleştirici kimyasallar gibi hammaddelerin yanı sıra, ağacın selülozik yapıya sahip olması ve lignin içeriği sebebiyle yüksek organik madde ve yüksek askıda katı madde içeriğine sahip atıksular meydana gelmektedir. Oluşan atıksuların tesis içerisinde proseslerde yeniden kullanılabilmesi veya ülkemiz mevzuatı standartlarına uygun şekilde deşarj edilebilmesi için arıtılması gerekmektedir.

Yonga levha sektöründe oluşan atıksuların %95'i kurutma esnasında oluşmakta ve kurutma prosesi nedeniyle içeriğinde çok ciddi oranda kimyasal işlem görmemiş olan odun toz ve parçacıklarını barındırmaktadır. Atıksuyun yapısında odun parçacık ve tozlarının fazla olması nedeniyle lignoselülozik yapılar su içinde fazlasıyla bulunmaktadır [6].

Bu lignoselülozik yapı, içindeki çözünmüş haldeki lignin nedeniyle arıtmaya direnç göstermekte ve KOİ, AKM ve pH konusunda karakterize edilen bir atıksu oluşturmaktadır.

1.1.3 Ağaç Endüstrisi Atıksularının Arıtılması

Yonga levha üretimi sonucu oluşan atıksu konvansiyonel metotlar ile arıtılması güç bir atıksudur. Atıksuyun çökelme özelliği yoktur, oksijen kazanımı çok azdır ve içerisinde bulunan kompleks yapılı organik maddelerden dolayı da biyolojik olarak arıtımı zordur.

Bu sebeple koagülant ve bağlayıcı kimyasallar kullanılarak kimyasal arıtım tekniklerinin kullanılması gereklidir. Atıksu içerisinde bulunan kirleticilerin giderimi veya dönüştürülmesinin atıksu içerisine kimyasal madde eklenerek veya kimyasal reaksiyon oluşturarak gerçekleştirildiği yöntemler kimyasal birim işlemleri olarak adlandırılır. Çökeltme, gaz transferi, adsorbsiyon ve dezenfeksiyon gibi uygulamalar en yaygın kimyasal birim işlemlerindendir. Kimyasal çökeltmede arıtma bir kimyasal çökeltinin üretilmesi ile sağlanır. Birçok durumda çökeltinin içerisinde atıksuya ilave

edilen kimyasallarla reaksiyona giren atıksu içerisindeki bileşenler ve çökeltinin çökelirken sürüklediği diğer bileşenler bulunur [7].

Kullanılan tüm koagülant ve kimyasalların maliyet anlamında yükleri AKM ve KOİ giderimi konusunda, yatırım maliyetleri yüksek olan ileri arıtma metotlarına yönlendirmektedir. Ancak son yıllarda membram teknolojilerinin gelişmesi ile bu tip AKM ve KOİ parametreleri yüksek sularda fizikokimyasal arıtım tekniği olarak bu teknolojilerin sıklıkla kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmada kullanılan membran teknolojisi geliştirilmeye devam edilmekle birlikte şu anki haliyle maliyet analizlerinde konvansiyonel tip sistemlerden daha verimli durumdadır (Şekil 1.1) [8].

Maliyet kalemleri	Çapraz akış MF	Kum filtresi	Koagülasyon + kum filtresi	Koagülasyon + çökeltme + kum filtresi
İYM	625.650	294.339	483.685	1.033.535
İBM	59.856	n.d.	n.d.	15.931
Kimyasal	12.900	n.d.	n.d.	47.911
Membran değişimi	7.998	-	-	-
Yıllık maliyet	82.044	n.d.	n.d.	63.842
Şimdiki değer	225.685	-	-	2.440.628

Şekil 1.1:MF tesisinin maliyet açısından konvansiyonel tesisler ile karşılaştırılması [8].

Genel olarak, piyasada bulunan ticari seramik membranların çoğu alüminyum, silika (silikon dioksit), zirkonyum ve titanyum malzemelerinden üretilmektedir. Bununla birlikte, bu seramik membranların, başlangıç malzemelerinin ve sinterleme işlem maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı büyük ölçekli uygulamalarda kullanımları ciddi şekilde kısıtlanmaktadır [9,10].

Bu nedenle; daha düşük maliyetli ve mükemmel özelliklere sahip seramik membranların hazırlanması, seramik membranların gelecekteki gelişimi için zorlu görevi, büyük hacimli kontamine olmuş atıksuların arıtılması olacaktır [11].

1.2 Membran Sistemleri

Seçici geçirgen zar anlamına gelen membran, iki faz arasında bir bariyer olarak çözeltide tutulmak istenen partikül ve moleküllerin tutulmasını sağlayan bir tabakadır.

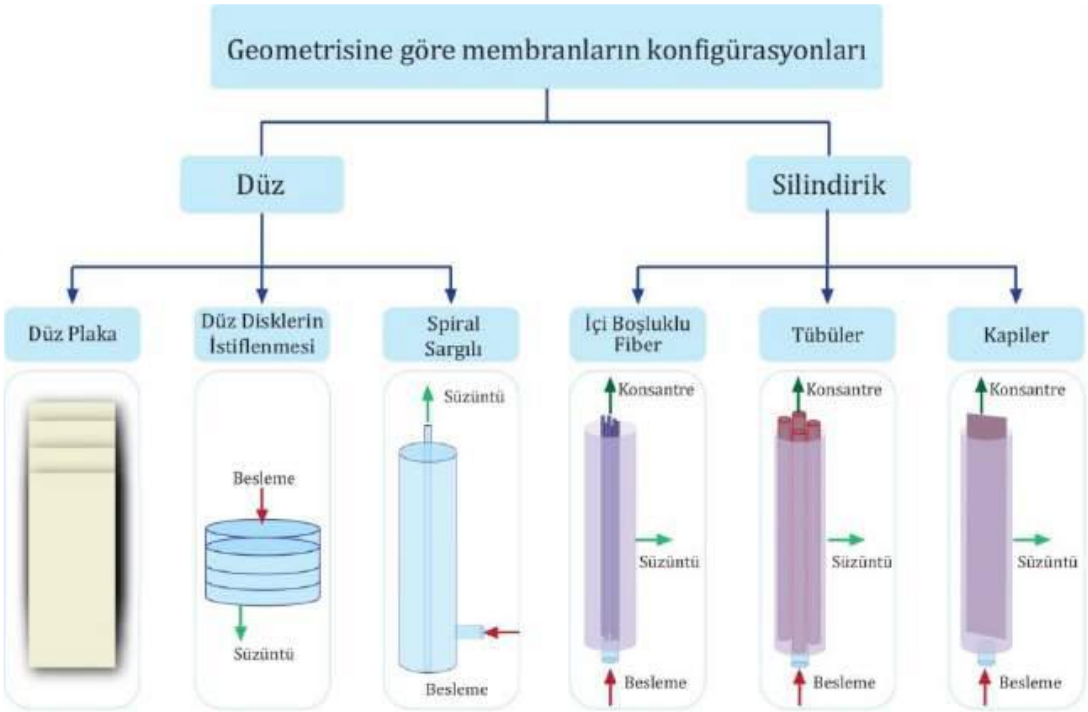
Kimya Mühendisliği, Gıda Mühendisliği gibi alanlarda ilk kez kullanılan membranlar sonraki dönemlerde su ve atıksu arıtımında kullanılmaya başlanmış ve sağladığı büyük avantajlar nedeniyle yaygınlaşmıştır. Özellikle atıksu arıtımında kullanımı, proses suyu eldesi ve kullanım suyu geri kazanımı konusunda son derece önemli çözümler sunmaktadır.

1.2.1 Membranların Sınıflandırılması

Membranlar; gözenek çaplarına göre, geometrik şekillerine, yapılarına ve içerdiği malzeme gibi farklı özelliklerine göre sınıflandırılabilirler.

Membranlar gözenek çapları konusunda Mikrofiltrasyon (MF), Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF) ve Ters Ozmos (TO) şeklinde ayrılmakla birlikte çalışmada gözenek çapları 0.05 ile 0.2 µm arasında olan mikrofiltrasyon sınıflandırmasına uygun membran kullanılmıştır. MF membranları belirtilen aralıkta gözenek çaplarına sahip olarak AKM, bulanıklık, bakteri gibi giderimlerde kullanılmaktadır. Çalışmada kullandığımız atıksuyun yüksek AKM değeri ve bu parametre giderimi hedeflendiğinden MF Membran sistemleri yeterli olmaktadır.

Geometrik şekillerine göre düz plaka, tübüler, çoklu delik ve fiber ve benzeri sınıflandırma ve çeşitler mevcuttur. Geometri ve yapısına göre uygulama şekil ve yöntemleri farklı olmaktadır. Mevcut besleme şekilleri ve uygulamalar Şekil 1.2'de gösterilmiştir. İçten dışa akışın mevcut olduğu çoklu delik tipli membran kullanılmıştır.



Şekil 1.2: Geometrik şekil ve tertip tarzına göre membranların sınıflandırılması [12].

Malzemesine göre sınıflandırma konusunda ise organik, inorganik veya karışımlarından oluşabilen kompozit malzemeler olarak ayrılabilirler. Bu çalışmada AKM oranı yüksekliği ve membranın fiziksel dayanımının yüksek olması gerekliliğinden dolayı seramik membran kullanılmıştır.

Son yıllarda, seramik membranların potansiyellerinin artması, özellikle yurtdışındaki endüstriyel prosesler ve kirlilik arıtma teknolojilerinde büyük ölçüde gelişmiştir. Seramik membranlar; iyi ısıl kararlılık, mekanik dayanım, kimyasal

dayanım, uzun ömür ve bozulma özellikleri de dahil olmak üzere belirgin avantajları nedeniyle su karakteri aşırı agresif olan ortamlarda uygulanabilmektedirler. Organik polimer membranlar ise, kısıtlı stabiliteleri nedeniyle uygulanamamaktadırlar [13-15].

1.2.2 Membran Performansına Etki Eden Faktörler

Membran performansına; Akı, Membran Tipi, Transmembran Basıncı, Çapraz Akış Hızı, Sıcaklık, Membranın Tıkanması, Viskozite ve Por Çapı gibi faktörler, farklı şekiller ve kombinasyonlarda etki etmektedirler.

1.2.2.1 Akı

Akı, m^3/m^2.sn veya L/m^2.st gibi birimlerle ifade edilmekte ve birim zamanda, membranın birim alanından geçen akım miktarı olarak tanımlanmaktadır. Membran prosesinde, membrandan geçen akım, membrana uygulanan basınç (ΔP) yani Transmembran Basıncı ile doğru orantılıdır. Membrandan geçen akımın miktarı, Darcy kanununa göre;

$$J = \frac{\Delta P}{\mu . R_m} \qquad (1.1)$$

ile tanımlanmaktadır [16].

Burada J, Akı; ΔP, Membrandaki basınç farkı yani TMP; μ, Akışkanın viskozitesi ve R_m, Membranın hidrolik direnci olarak tanımlanmaktadır [16].

Akı, membran prosesindeki en önemli parametrelerden biridir. Proses süresince, temizlemenin ne zaman gerekli olacağını belirlemek için, akıdaki değişikliklerin izlenmesi gerekmektedir.

1.2.2.2 Sıcaklık ve Viskozite

Akı; sıcaklık ve viskoziteye bağlı olduğu için tıkanma, sıcaklık ve viskoziteyi etkileyen basınçtaki değişikliklerden etkilenmektedir. Suyun viskozitesi sıcaklıktan etkilendiği için yaz aylarındaki membran akısı, kış aylarına göre %70 daha fazla olabilmektedir. Sıcaklık değişiklikleri genellikle sabit bir sıcaklıkta eşdeğer akının hesaplanmasıyla düzenlenmektedir. Standart sıcaklıktaki akının Transmembran basıncına bölünmesiyle spesifik akı bulunmakta ve bu şekliyle akı, basınç için normalize edilmiş olmaktadır [17].

1.2.2.3 Transmembran Basıncı (TMP)

Direnç modelinde, membran tıkanmasının her elemanına bir direnç değeri uygulanmaktadır. Bu dirençlerin birbirlerinden bağımsız olarak davrandığı ve tamamının *Denklem 1.1*'de ifade edilen (R_m) hidrolik dirence katkıda bulunduğu kabul edilmektedir. Direnç modeli Denklem 1.2 ve Denklem 1.3'te olduğu şekliyle ifade edilmektedir [17].

$$J = \frac{\Delta P}{\mu.(R_m + R_{ir} + R_{hr} + R_{cr})} \tag{1.2}$$

$$J = \frac{\Delta P}{\mu.(R_m + R_c + R_p)} \tag{1.3}$$

Burada R_m; membran direnç katsayısını, R_{hr}; hidrolik tersinir tıkanma direnç katsayısını, R_{cr}; kimyasal tersinir tıkanma direnç katsayısını, R_c; kek tabakası direnç katsayısını ve R_p; por daralması direnç katsayısını ifade etmektedir [17].

Proses için uygulanan basınç, kek tabakası sıkıştırılabilirliğini ve bu sebeple kek tabakası tarafından uygulanan direnci yani Rc'yi de etkileyeceğinden; Rc transmembran basıncının bir fonksiyonu olarak yazılabilir (Rc=θ.ΔP). Eşitlikteki θ'yı, kek tabakasının kütle transfer özelliğinin bir fonksiyonu olarak *Denklem 1.3*'ü yeniden düzenlersek *Denklem 1.4'*ü elde etmiş oluruz [18].

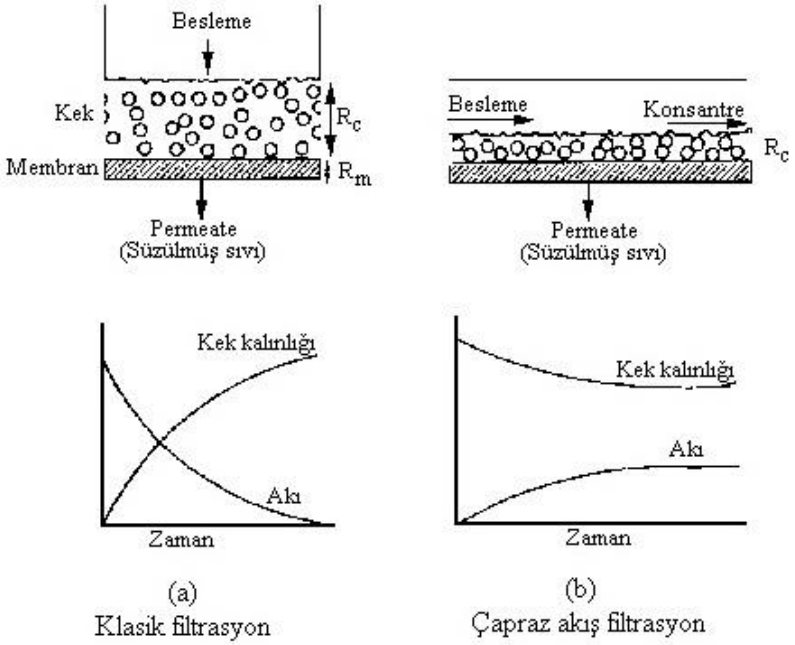
$$J = \frac{\Delta P}{\mu.(R_m + R_p + \theta.\Delta P)} \tag{1.4}$$

Denklemin bu haliyle basınçtan bağımsız ($\boldsymbol{J = \frac{\Delta P}{\mu.(R_m + R_p + \theta.\Delta P)}}$) ve basınçla doğrudan bağlantılı ($\boldsymbol{J = \frac{\Delta P}{\mu.(R_m + R_p + \theta.\Delta P)}}$) iki farklı davranış oluşmuş olmaktadır. Davranışlara bağlı olarak akı, basınçla doğrudan bağlantılı kısımda basınçla orantılı olmakta, ancak basınçtan bağımsız olan davranış biçiminde ise R_m ve R_p yani kek tabakası tarafından kontrol edilmektedir. Sonuç olarak; devamlı çalışma halinde düşük transmembran basınçlarında elde edilen süzüntü akısı, yüksek transmembran basınçlarında elde edilenlerden daha fazla olmaktadır [18].

1.2.2.4 Çapraz Akış Hızı

Şekil 1.3'te görüldüğü üzere çapraz akışlı rejim ve klasik akışlı rejim arasında kek kalınlığı ve zaman arasında büyük farklılıklar oluşmaktadır. Klasik filtrasyonda zamana bağlı olarak akı azalıp kek kalınlığı artarken, çapraz akışlı filtrasyonda zamana bağlı olarak akı logaritmik olarak azalma gösterirken kek kalınlığı logaritmik olarak artış göstermekte ve şekil 1.3'te görüldüğü gibi lineer hale yaklaşmaktadır.

Klasik akış rejiminde ve devamlı çalışma halinde düşük transmembran basınçlarında elde edilen süzüntü akısı, yüksek transmembran basınçlarında elde edilenlerden daha fazla olmaktaydı, ancak çapraz akış rejiminde kek kalınlığı zamana göre azalma gösterdiğinden transmembran basıncının yüksek olduğu durumlardaki davranışı çapraz akış hızı, por çapı ve akı gibi parametreler gözlemlenerek optimum hale getirilmelidir.



Şekil 1.3: Klasik ve çapraz akış filtrasyonda akı azalması ve kek kalınlığı değişimi.

1.2.2.5 Membran Kirlenmesi

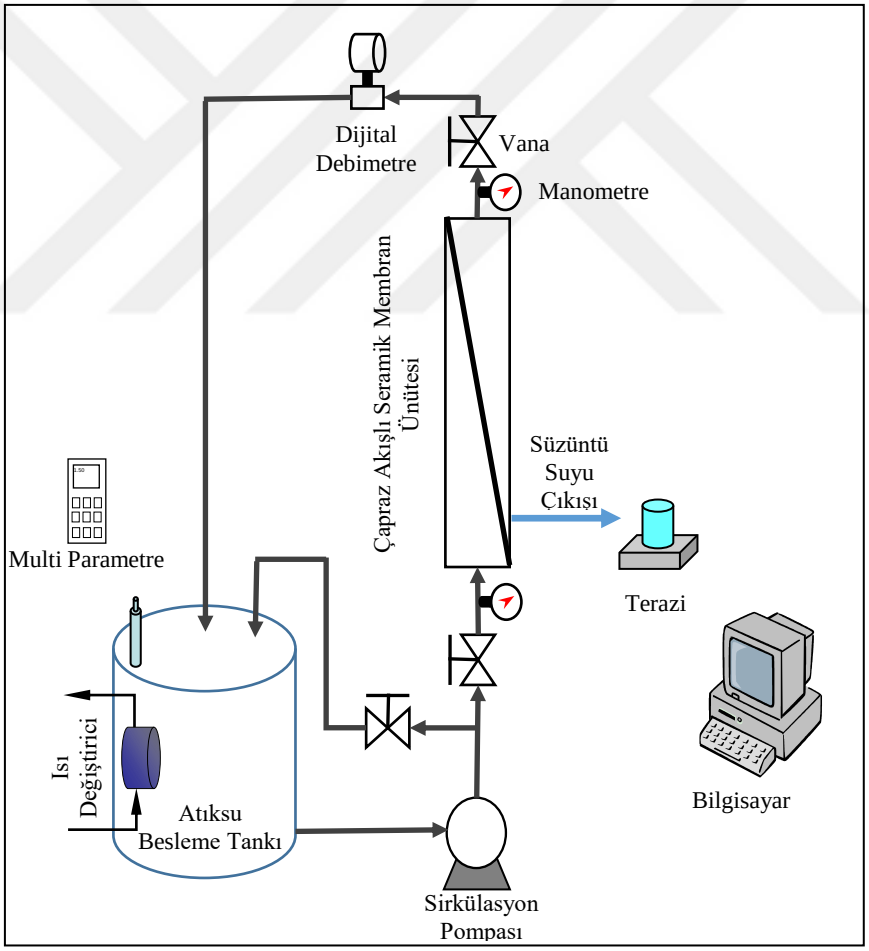
Membran proseslerin gelişiminin önündeki en önemli engel zamanla membranlardan sağlanan akıların azalmasıdır. Membranlar işletilirken çözeltideki partikül maddeler veya kolloidler, membranların porlarını tıkayarak süzüntünün geçişini zorlaştırırlar. Membran akılarının azalmasına, membran kirlenmesi veya tıkanması denilmektedir. Membran kirlenmesinin çok çeşitleri olduğu tespit edilmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Deney Sistemi

2.1.1 Çapraz Akışlı Seramik Membran Sistemi

Deneysel sistem kurulumunun elemanları ve kullanılan membran modülü Şekil 2.1'de ve kurulan sistemin görünümü Şekil 2.2'de verilmiştir.



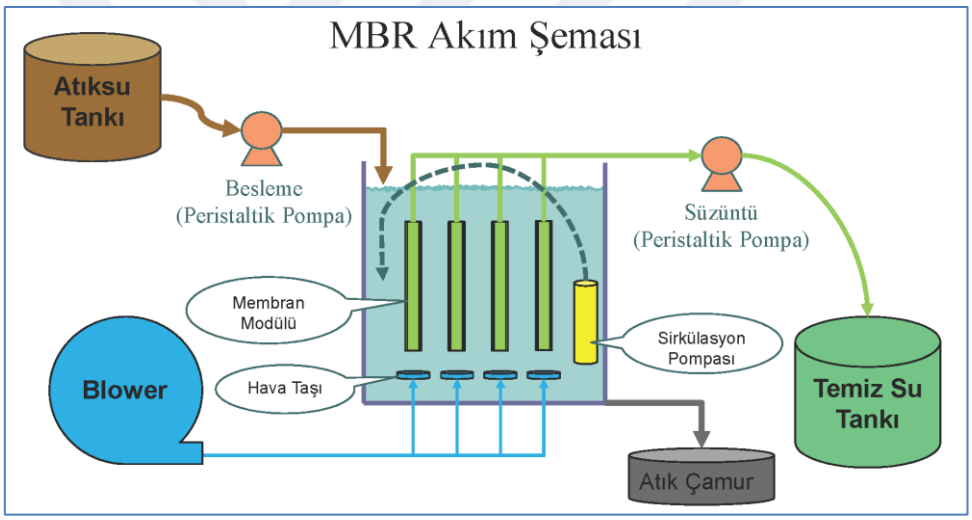
Şekil 2.1: Deneysel sistem kurulumunun blok diyagram gösterimi.

Şekil 2.2: Çalışmalarda kullanılan çaprak akışlı seramik membran sisteminin görünümü.

Deneyler için 50, 100 ve 200 nm gözenek boyutunda seramik membranlar ve 0.111 m²membran yüzey alanına sahip olan bir membran filtrasyon sistemi kullanılmıştır. Membran ünitesi için gerekli çapraz akışı hızı ve membran basıncı 1.7 kW gücünde Groundfos marka sirkülasyon pompası ile sağlanmıştır. Çapraz akış hızları; su debisinin, suyun geçtiği dik kesit alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Sistemdeki vanalar transmembran basıncı ve dolaşım hızı ayarlarında kullanılmış ve sistemin basıncı, çapraz akışlı seramik membran üniteleri housing modülü üzerindeki manometrelerle okuma suretiyle gözlenmiştir. Sistemde 20 L'lik bir atıksu besleme tankı, bir dijital debimetre (0-5000 L/s), bir sirkülasyon pompası (1.7 kw/s) ve sıcaklık ayarlarını yapmak için bir ısı eşanjör ünitesi bulmaktadır. Akı ölçümü için ise bilgisayara bağlı ve AND Şirketi'nden temin edilmiş olan dijital ölçek kullanılmıştır.

2.1.2 MBR Sistemi

Çalışmanın ikinci aşamasında atıksuyun biyolojik arıtılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan MBR sistemi kullanılmıştır. Karakterizasyon çalışmalarında (kirlilik parametrelerine göre özellikleri belirlenen atıksu) çalışmanın bu aşamasında da MBR sistemine besleme yapılmıştır. MBR Sistemi ile yapılan çalışmalarda aynı atıksu karakterizasyonu ile benzer çalışmalar yapılarak sonuçlar gözlemlenmiştir. Deneysel sistem kurulumunun elemanları ve kullanılan membran modülü Şekil 2.3'te ve kurulan sistemin laboratuvar koşullarındaki görünümü Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.3: Çalışmalarda kullanılan membran biyoreaktörün blok diyagramı.

Çalışmalarda kullanılan Membran Biyoreaktör "Biyosis Çevre Teknolojileri Mühendislik İnşaat İmalat Ltd. Şti." tarafından paslanmaz çelik plakalar kullanılarak üretilmiştir. MBR sisteminin otomasyonu bulunmakta ve programlanabilmektedir. Sistemde, 5 adet çift taraflı membran kaseti bulunmaktadır. Kullanılan PES (Polyether Sulfone) membranların toplam yüzey alanı 0.57 m^2 ve reaktör hacmi 50 L'dir. Sistemde küçük bir blower bulunmakta ve sisteme maksimum 70 L/dak hava sağlamaktadır.

Şekil 2.4: Çalışmalarda kullanılan membran biyoreaktörün görünümü.

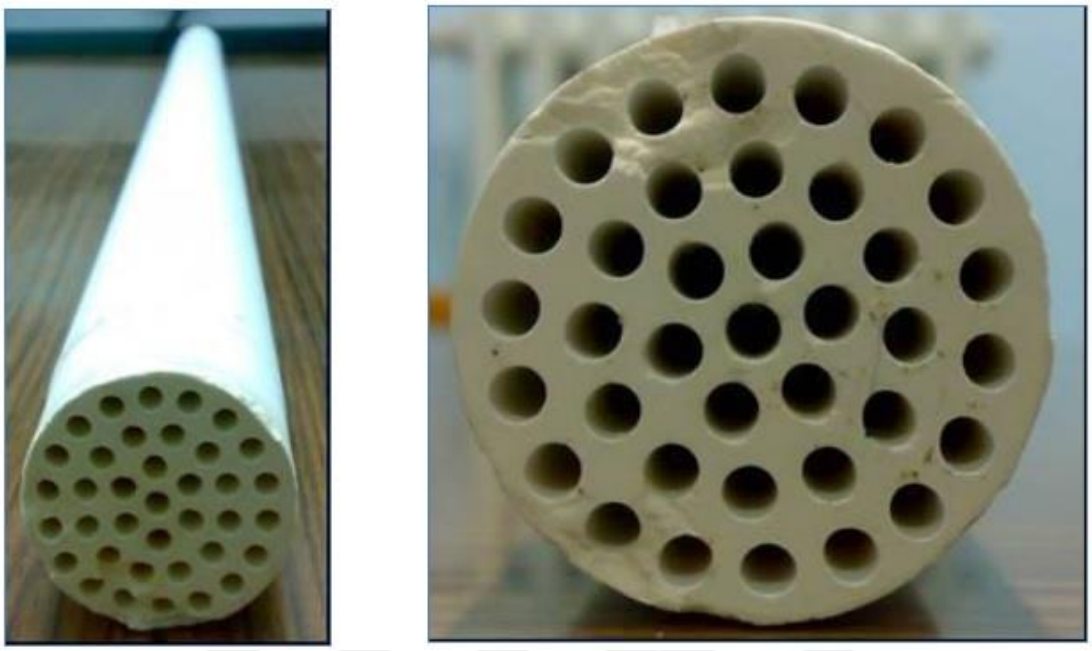
2.2 Kullanılan Atıksu

Bu çalışmada kullanılan atıksu Akhisar/Manisa ili, Akhisar İlçesi, Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan bir entegre ağaç işleme tesisinden temin edilmiştir. Atıksuyun KOİ değerleri 7328-17227 mg/L ve AKM değerleri de 3580-4434 mg/L aralıklarında değişmektedir. Getirilen atıksu, periyodik olarak KOİ ve AKM ölçümleri yapılarak deneysel sisteme besleme yapılmıştır.

2.3 Kullanılan Membran Tipi ve Özellikleri

Bu çalışmada, 0.111 m^2 yüzey alanına sahip silindirik seramik membran modülü kullanılmıştır. Jiangsu Jiuwu Hitech Co. Ltd. firmasında temin edilen seramik membran modülü 40 mm dış çapa ve 37 kanala sahiptir (Şekil 2.3).

Paslanmaz çelik housing içerisine yerleştirilmiş olan seramik membran 50, 100 ve 200 nm gözenek boyutlarında ve uzunluğu 0.5 m'dir.



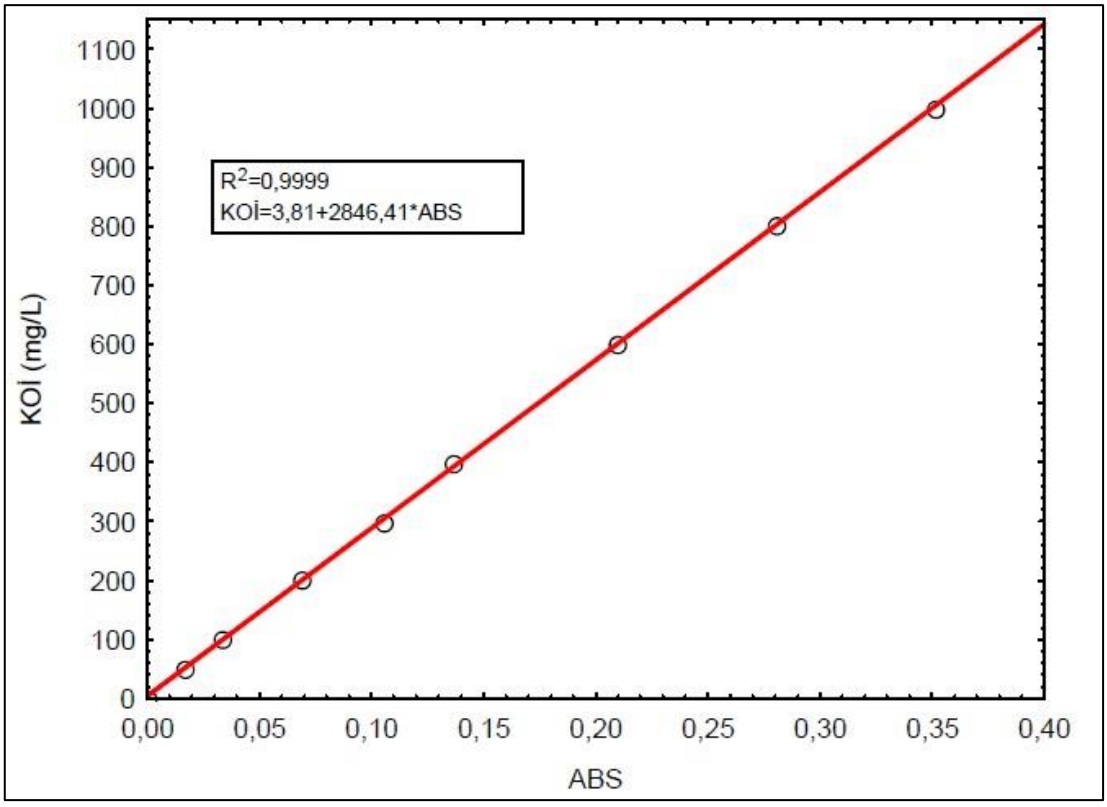
Şekil 2.5: Deneysel sistemde kullanılan seramik membran modülü.

2.4 Yöntem

2.4.1 KOİ Analizi

KOİ analizi, standart metotlarda belirtilen usullere uygun olarak kolorimetrik yapılmıştır. KOİ ölçümü için; 850 mg Potasyum Hidrojen Ftalat 0.5 L saf suda çözülerek, elde edilen 2000 mg/L KOİ stok çözeltisinden standartlar hazırlanmıştır. Bu hazırlanmış olan standartlardan 1.5 mL alınarak, üzerine 1 L'sinde 10.216 g $K_2Cr_2O_7$, 167 mL H_2SO_4 ve 33 g $HgSO_4$ bulunan parçalama çözeltisinden 1 mL ve 1 L'sinde 10.129 g Ag_2SO_4 bulunan derişik H_2SO_4 asit çözeltisinden 1.5 mL eklenmiştir. Oluşan karışım,148±2^oC'de 2 saat süresince WTW marka CR3000 model bir termoreaktörde ısıtılmıştır. Termoreaktörden alınan örnekler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutularak 600 nm'de WTW marka Spectroflex 6600

model spektrofotometrede absorbans değerleri okunarak Şekil 2.4'de verilen kalibrasyon eğrisi çizilmiştir.



Şekil 2.6: KOİ analizinde kullanılan kalibrasyon eğrisi.

2.4.2 AKM Ölçülmesi

AKM ölçümleri, vakum pompası ile filtreler kullanılarak vakumlamak suretiyle, yani standart metodlarda verilen yöntemlerle yapılmıştır [19].

2.4.3 Transmembran Basıncı (TMP)

Membran filtrasyonunda, membran içinden süzülen sıvı miktarı uygulanan basınçla doğru, sıvının viskozitesi ve membranla membran üzerinde oluşan dirençlerin toplamıyla ters orantılıdır. Membran basıncı, membran filtrenin kirleticilerle ne ölçüde kirleneceğini yani tıkanmayı belirleyen ve membran filtrenin ekonomik ömrünü belirleyen önemli parametrelerden biridir. Şekil 2.1'de gösterilen sistemde bir sirkülasyon pompası tarafından pompalanan sıvı, membran modülünden geçirilmektedir ve bu sırada modülün giriş ve çıkışında bulunan iki ayrı vananın farklı konumlara getirilmesiyle farklı çalışma basınçları uygulanmış olacaktır. Uygulanan basınç farklılığında membran filtreden geçen sıvı miktarlarının belirlenmesiyle; basıncın, membran akıları üzerine olan etkisi anlatılmaya çalışılacaktır.

2.4.4 Çapraz Akış Hızı (v)

Membran filtrasyonunda çapraz akış filtrasyon tekniği ile membran üzerindeki kirleticiler, membrana teğet olarak hızla akan besleme çözeltisinin yardımıyla membran üzerinden uzaklaştırılırlar. Bu sayede membran üzerinde daha az kirletici birikir ve tıkanma daha az olur. Sirkülasyon pompasının farklı debilerde çalıştırılmasıyla membran üzerindeki hızın akı üzerindeki etkisi incelenecektir.

2.4.5 Membram Akısı (J)

Membrandan geçen sıvı miktarı yani akı, bir membran filtrasyon sisteminde belirlenmesi ve ölçülmesi gereken en önemli parametrelerden biridir. Bir membranın; sudan ayrılması istenen safsızlıkları mümkün olan en yüksek derecede membrandan geçirmemesi, suyu ise olabildiğince fazla miktarda geçirmesi istenir. Bu sebeple membran akısı sürekli olarak ölçülmeli ve proses parametreleri ile olan ilişkisi devamlı olarak gözlemlenmelidir. Membrandan geçen sıvı miktarlarının

belirlenmesinde bilgisayara bağlı bir hassas teraziden ya da dijital bir debimetreden faydalanılacaktır. Terazi üzerindeki bir haznede membrandan süzülerek gelen su biriktirilmekte ve oluşan ağırlık değişimi bilgisayara kaydedilmektedir. Sonrasında elde edilen verilerden sayısal yöntemler kullanılarak akıların hesaplanması gerçekleştirilecektir. Akı(J), birim zamandaki ağırlık değişiminin süzüntünün yoğunluğuna bölünmesi ile hesaplanacaktır.

3. BULGULAR

3.1 Çalışmada Kullanılan Atıksu Karakterizasyonu

Bu çalışmada kullanılan atıksu Akhisar/Manisa ili, Akhisar İlçesi, Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan bir entegre ağaç işleme tesisinden temin edilmiştir. Atıksuyun KOİ değerleri 7328-17227 mg/L ve AKM değerleri de 3580-4434 mg/L aralıklarında değişmektedir. Getirilen atıksu, periyodik olarak KOİ ve AKM ölçümleri yapılarak deneysel sisteme besleme yapılmıştır.

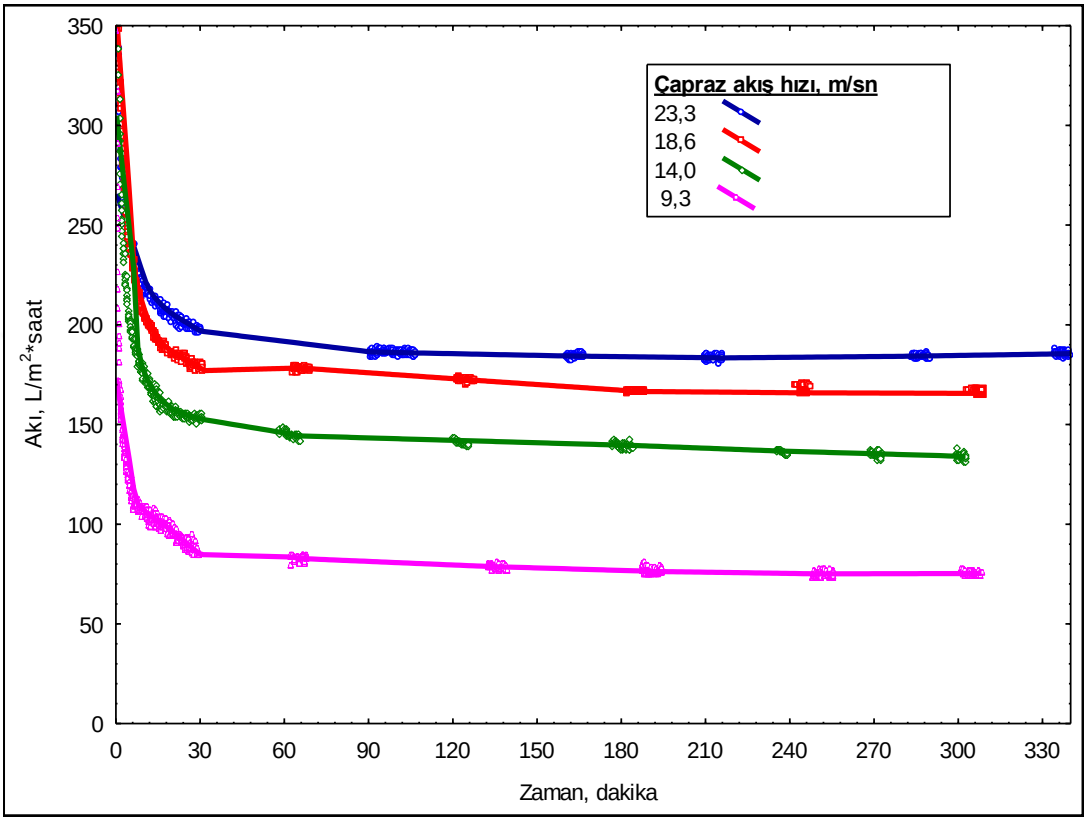
3.2 Membran Arıtım Performansının İncelenmesi

3.2.1 Çapraz Akış Hızının İncelenmesi

Membran sistemleri 2 farklı modda işletilirler. Bunlar, dead-end ve cross-flow modlarıdır. Çapraz akış modu membran yüzeyine teğet olarak gönderilen yüksel hızlı sıvı akımıyla membran yüzeyini yalayarak büyük değerlerde kesme kuvvetleri oluşturur. Oluşturulan bu kesme kuvvetleri ise membran yüzeyinde kek tabakasının birikimini azaltarak tabakanın kalınlaşmasını engeller. Böylece, akılarda arışlara neden olunur.

Öncelikli olarak akıların çapraz akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi incelenmiştir. Sabit 2 bar transmembran basıncında ve 200 nm por çapına sahip membran kullanılarak çapraz akış hızı değiştirilmiş ve akının değişimi gözlenmiştir. Sırasıyla 23.3 m/sn, 18.6 m/sn, 14.0 m/sn ve 9.3 m/sn çapraz akış hızlarındaki akılar Şekil 3.1'de görüldüğü şekliyle gözlenmiştir. Görüldüğü üzere çapraz akış hızı arttıkça akılar artmaktadır.

Çapraz akış hızını değiştirmek için kullanılan ve değişiklik yapılan sirkülasyon debileri ve bu debiler esnasındaki KOİ giderimleri ise Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Akıların çapraz akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi (2 bar TMP, 200 nm por çapı).

Tablo 3.1: Şekil 3.1'e bağlı debi ve KOİ giderimi.

Sirkülasyon Debisi (L/sa)	KOİ Giderimi (%)
2000	16.22
3000	1.7
4000	20
5000	10

3.2.1.1 Transmembran Basıncı'nın Etkisi

Akıların transmembran basıncına bağlı olarak zamanla değişimi incelenmiştir. Sabit 4000 L/sa sirkülasyon debisi ve 50 nm por çapına sahip membran kullanılarak transmembran basıncı değiştirilmiş ve akının değişimi gözlenmiştir. Sırasıyla 1.7 bar, 2 bar, 3 bar, 4 bar ve 5 bar basınçlarında akılar Şekil 3.2'de görüldüğü şekliyle gözlenmiştir. Transmembran basıncı ile ilgili olarak yapılan çalışmadaki KOİ verileri ve KOİ giderimleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir.

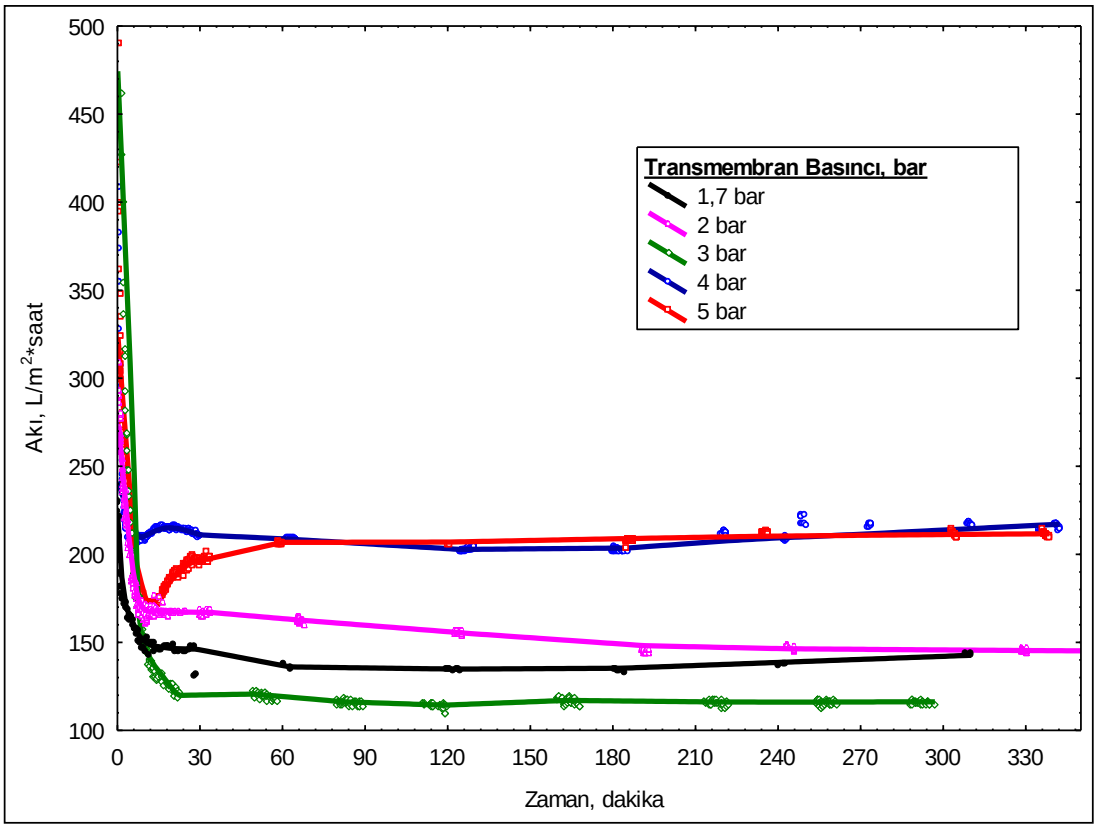
Ayrıca sabit 2000 L/sa debi ve 200 nm por çapına sahip membran kullanılarak transmembran basıncı değiştirilmiş ve akının değişimi gözlenmiştir. 2 bar, 3 bar ve 4 bar basınçlarında akılar Şekil 3.3'te görüldüğü şekliyle gözlenmiştir. Transmembran basıncı ile ilgili olarak yapılan çalışmadaki KOİ giderimleri ise Tablo 3.3'te verilmiştir.

Şekil 3.2'de transmembran basıncının artışı ile akılardaki değişim verilmektedir. Membran sistemlerinde en başta gelen sürücü kuvvet basınçtır. Basınç arttıkça işlemi gerçekleştiren sürücü kuvvet artmakta ve buna bağlı olarak da süzülen akılar artmaktadır. Basınç, suyun ve membran por çapından küçük partikül ve moleküllerin membranlardan geçmesini sağlamaktadır.

Şekil 3.3'te ise farklı por çapına sahip membranın (200 nm) akı-zaman grafiği verilmektedir. Bu iki grafik beraberce incelendiğinde küçük por çapındaki membrandan daha yüksek akıların alındığı görülmektedir. Bunun başlıca nedeni olarak, Şekil 3.2'de daha yüksek çapraz akış hızı uygulanmasıyla açıklanabilmektedir.

Tablo 3.2. ve Tablo 3.3'te ise KOİ giderme verimleri gösterilmektedir. İki tablo birlikte değerlendirildiğinde, küçük por çaplı membranlardan daha yüksek KOİ giderme verimleri elde edildiği görülmektedir. Bunun en önemli nedeni 50 nm'lik

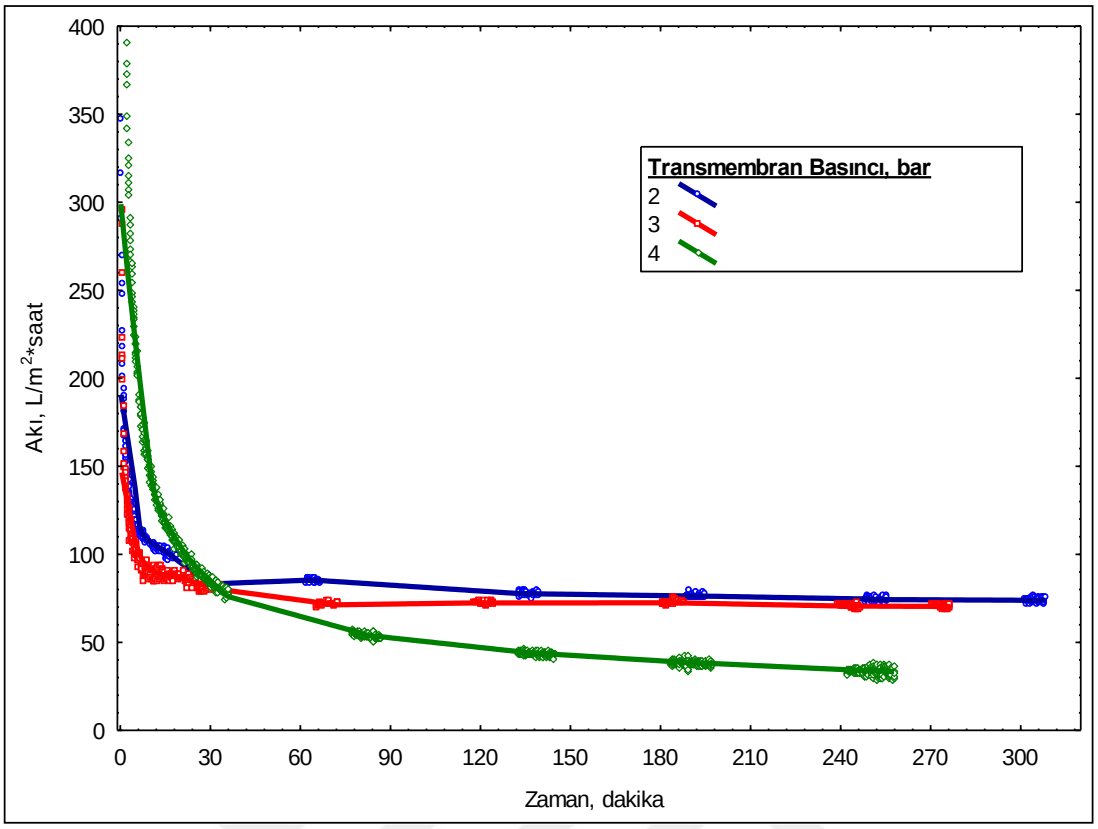
por çapına sahip membranlarda çok daha iyi tutulmanın gerçekleşmesi olarak açıklanabilir. Sistemde çok yüksek miktarda partiküler KOİ bulunmaktadır. Bu partiküller 50 nm'nin oluşturduğu kek formunda daha iyi tutulmaktadır. Çünkü, çok daha küçük por çaplı kek oluşmaktadır.



Şekil 3.2: Akıların TMP'na bağlı olarak zamanla değişimi (4000 L/sa sirkülasyon debisi, 50 nm por çapı).

Tablo 3.2: Şekil 3.2'ye bağlı KOİ çıkış verileri ve KOİ giderimi.

TMP (Bar)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderimi (%)
1.7	3793	66.14
2	2814	62.93
3	3820	64.04
4	2670	46.28
5	3777	59.97



Şekil 3.3: Akıların TMP'na bağlı olarak zamanla değişimi (2000 L/sa sirkülasyon debisi, 200 nm por çapı).

Tablo 3.3: Şekil 3.3'e bağlı TMP ve buna bağlı KOİ giderimi.

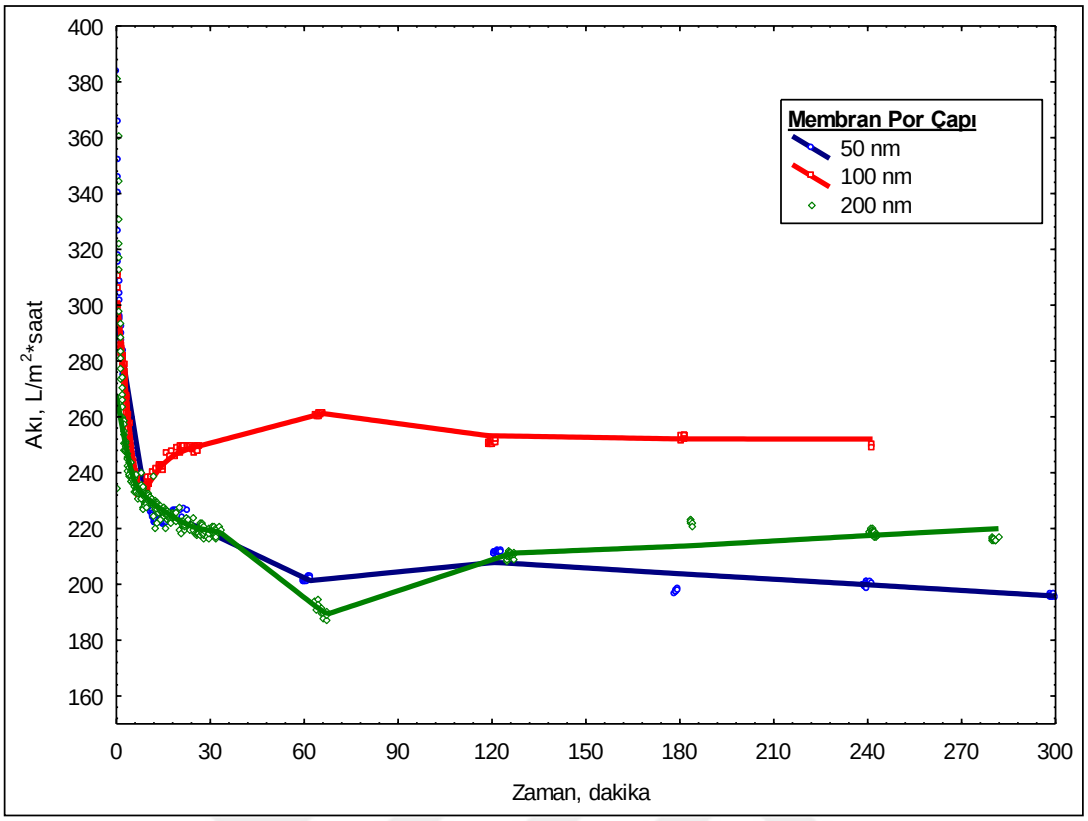
TMP (Bar)	KOİ Giderimi (%)
2	16.22
3	40.18
4	38.70

Atıksuyun selülozik yapısından dolayı (reçine, parafin vs. içeriği kaynaklı) membran üzerinde olışan kek, transmembran basıncı arttıkça artmıştır. Bu artış, membran üzerinde sıkışabilir özellikte bir kek oluşumuna sebep olmuştur. Sıkışabilir kek oluşması halinde basınç artışıyla kekin por boyutu küçüleceğinden; artan basıncın akılarda azalmalara neden olduğu kabul edilmiştir.

3.2.1.2 Por çapının Etkisi

Akıların por çapına bağlı olarak zamanla değişimi incelenmiştir. Sabit 4000 L/sa debi ve 3 bar transmembran basıncı kullanılarak akının değişimi gözlenmiştir. Sırasıyla 50, 100 ve 200 nm por çaplarında akılar Şekil 3.4'teki şekliyle gözlenmiştir. Por çapı ile ilgili olarak yapılan çalışmadaki atıksu KOİ çıkış verileri ve KOİ giderimleri ise Tablo 3.4'te verilmiştir.

Membran proseslerde, membranın geçirgenliği por boyutuyla ilintilidir. Por çapı arttıkça suyun geçmesi için çok daha yüksek alan sağlanmış olacaktır. Dolayısıyla por çapının artışı ile akıların artması beklenen bir durumdur. Tablo 3.4'te de membran por çapının artışı ile KOİ giderme verimi arasındaki ilişki verilmiştir. Sistemde %64-70 arası verimler elde edilmiştir. Görüldüğü üzere membran por çapının artması ile KOİ giderme verimleri arasında net bir ilişki bulunmaktadır.



Şekil 3.4: Akıların por çapına bağlı olarak zamanla değişimi (4000 L/sa sirkülasyon debisi, 3 bar TMP).

Tablo 3.4: Şekil 3.4'e bağlı por çapına göre AKM giriş ve KOİ giderimi.

Por Çapı (nm)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderimi (%)
50	3820	64.04
100	3870	68.14
200	4514	69.76

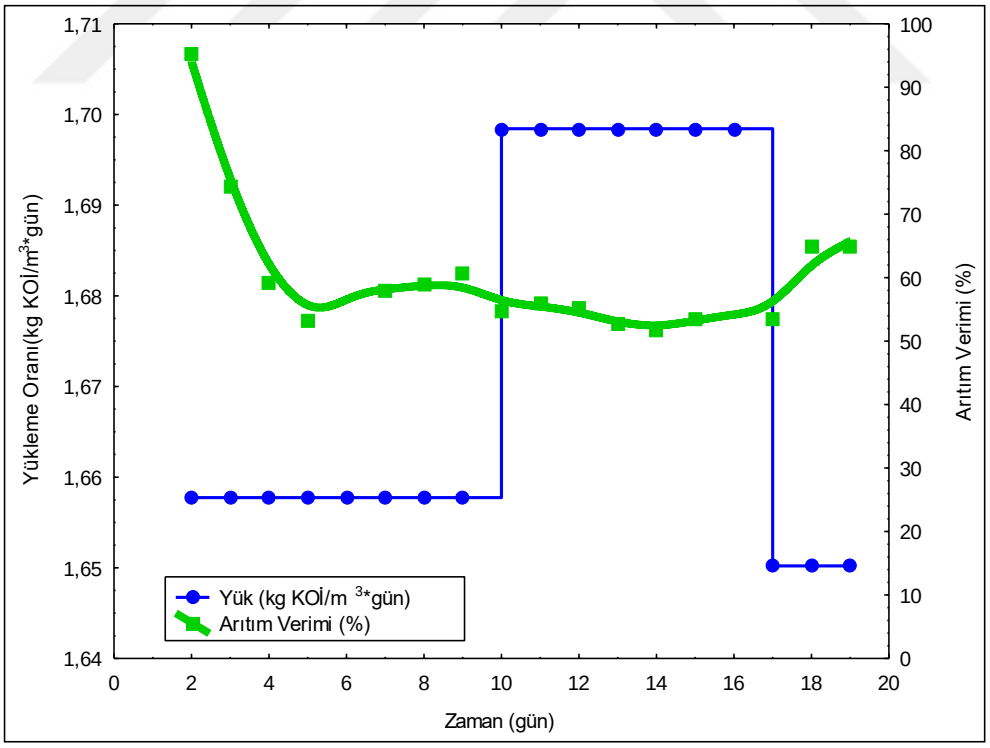
3.2.2 MBR ile Yapılan Çalışmalar

Çalışmanın bu aşamasında, MF sisteminde arıtılan sular direkt olarak MBR sistemine alınmıştır. MBR'ye BASKİ İvrindi Atıksu Arıtma Tesisi Havalandırma Havuzundan alınan aktif çamur konularak havalandırılmaya başlanmıştır. Yaklaşık 5 gün kesikli olarak beslenen reaktördeki MLSS konsantrasyonu 1500 mg/L'ye

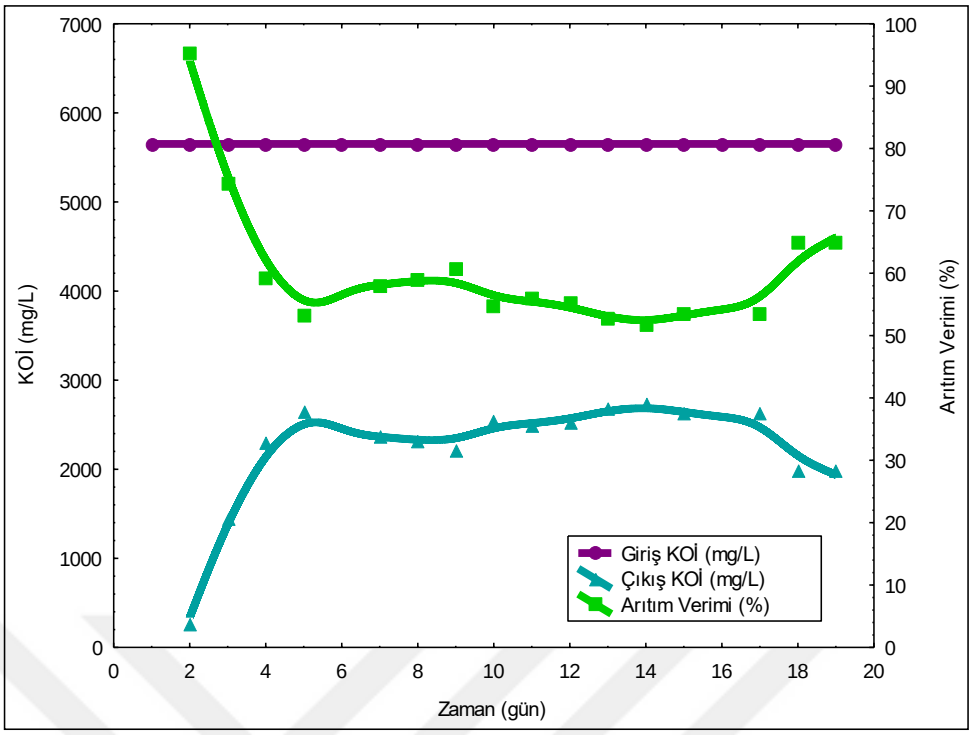
ulaşınca sistem sürekli beslemeye başlanmıştır. Şekil 3.65'te zamana bağlı giriş konsantrasyonlarına karşılık arıtma verimleri gösterilmektedir.

Gelen atıksu yüksek KOİ değerlerinin yanısıra çok yüksek AKM'ye de sahiptir. Selülozik maddelerin yanısıra proseste kullanılan kimyasallar ve özellikle de tutkal maddesi atıksuyu çok daha zor arıtılır hale getirmektedir. Sistemden tüm şartlarda %50'nin üzerinde arıtma verimleri elde edilmiştir. Sistemde bu değerin üstünde arıtma verimlerine çıkılamamıştır. Ancak membranın da katkısı ile sistemden elde edilen çıkış suyu konsantrasyonları 2000 ~ 2500 mg/L arasındadır.

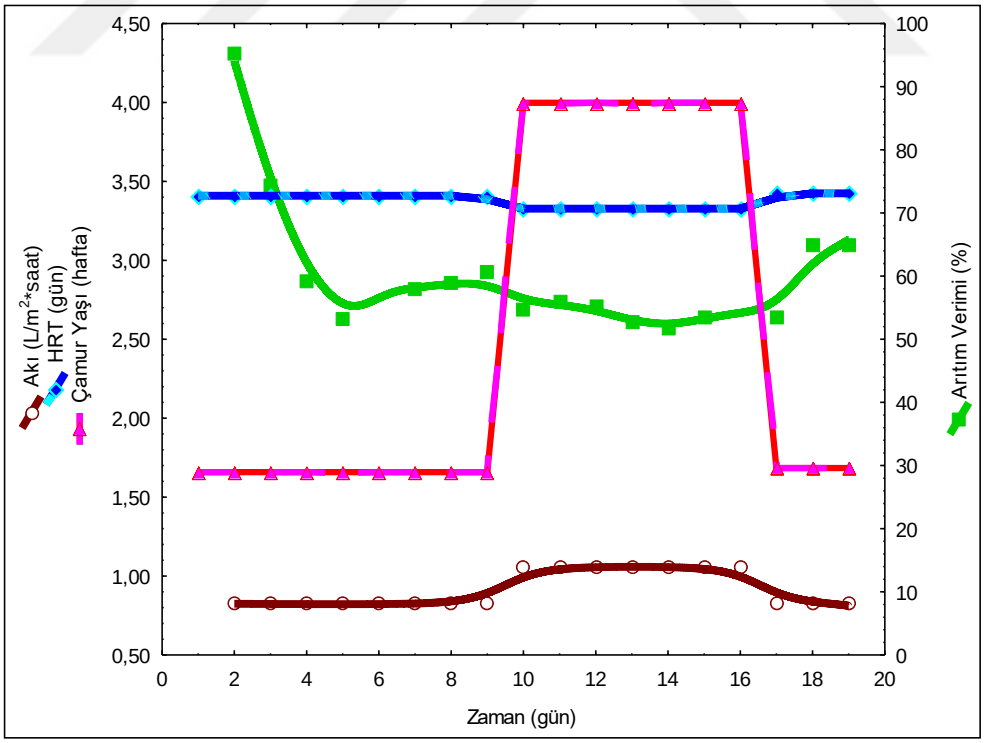
MBR sisteminde kullanılan membranlar için geri yıkama prosedürü uygulanmamıştır. Kullanılan membranlar kendi kendini temizleme özelliği olan membranlar olup, emme basıncı ortadan kalktığında membran üzerindeki kek tabakası sıyrılarak dökülebilme özelliğine sahiptir.



Şekil 3.5: Organik yükleme miktarının arıtma verimine etkisinin zamanla değişimi.



Şekil 3.6: KOİ'nin arıtma verimine etkisinin zamanla değişimi.



Şekil 3.7: Akının arıtma verimine etkisinin zamanla değişimi.

Öncelikle organik yükleme veriminin arıtma verimine etkisinin zamanla değişimi gözlenmiş ve Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Şekil 3.6'da KOİ'nin ve Şekil 3.7'de akının arıtma verimine etkisi aynı şekilde gözlenmiş ve veriler işlenerek grafikler elde edilmiştir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada "Ağaç Sanayi" atıksularının direkt arıtımı incelenmiştir. Tesisten getirilen atıksular herhangi bir işlem veya seyreltme yapılmadan direkt olarak beslenmiştir. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Öncelikle atıksuların seramik membran kullanılarak üretilen MF sisteminde filtrasyon özellikleri incelenmiştir. Sistemde çapraz akış hızlarının artışıyla akılarda belirgin bir artış gözlenmiştir.
- Seramik MF ünitesinde TMB artışı ile akıların arttığı gözlenmiştir.
- Sistemde membran por çapı arttıkça akılarda artış gözlenmiştir.
- MF sisteminde atıksuyun direkt filtrasyonu sonucunda %50-60 oranında KOİ giderme verimleri elde edilmiştir.
- MF çıkış sularının MBR'de arıtılabilirliği incelenmiştir. Buna göre yaklaşık 1,7 kg/m^3*gün yükleme hızı değerinde sistemden %50-60 giderme verimi elde edilmiştir. Tüm şartlarda çıkış suları 2000-2500 mg KOİ/L değerlerinin üstünde ölçülmüştür.
- MF ünitesi ve akabinde MBR ile biyolojik arıtma sonucunda toplam arıtma verimi %70-80 olarak elde edilmiştir.
- Atıksuyun selülozik organik içeriği ve tutkal malzemesi nedeniyle biyolojik arıtımı oldukça zor olmaktadır.
- Ağaç sanayi yüksek su tüketimi olan bir endüstri dalıdır. Dolayısıyla suyun geri kazanılarak tekrar kullanımı son derece önemlidir.
- Firmalardan alınan bilgiye göre atıksuyun KOİ değerinin 4000 mg/L'nin altında olması yeterli gelmektedir. Çalışmada sadece MF ünitesinde dahi tek başına bu değerler elde edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

[1] Dayanıklıoğlu, S., "Türkiye'de Lif ve Yonga Levha Sektörünün Durumu, Avrupa Birliği Ülkeleriyle Karşılaştırılması, Problemleri ve Çözüm Yolları", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniverstesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı, İstanbul, (2004).

[2] Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri, *LEVHA Sanayii Sektör Raporu*, Ankara, (2015).

[3] *MDF ve Yonga Levha Sanayicileri Derneği Faaliyet Raporu*, İstanbul, (2017).

[4] Saim Ş., "Yonga Levha Endüstrisi Atıksularının Odun Külü ve Modifiye Nişasta ile Arıtılması ve Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniverstesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği ABD, Balıkesir, (2019).

[5] Abuamoud M.M.M., Ateş S., Durmaz E., "Comparision of Some Anatomical, Chemical and Fibrous Characteristics of Turkish Red Pine (Pinus Brutia Ten.) Sampled from Different Regions", *Kastamonu University, Faculty of Forestry, Journal of Forestry Faculty*, 2018, 18 (1): 75-82, Kastamonu, (2017).

[6] Raven P.H., Evert R.F. And Eichhorn S.E., "*Biology of Plants*", 6th Edition, New York: W. H. Freeman, (1992).

[7] Tchobonoglous G., Burton F.L., Stensel H.D.,*Wastewater Engineering Treatment and Reuse*,4th Edition, New York: McGraw-Hill, (2003).

[8] Al-Malack, M. H., "Technical and economic aspects of crossflow microfiltration", *Desalination*, 155, 89-94, (2003).

[9] Hristov P., Yoleva A., Djambazov St., Chukovska I., Dimitrov, D., "Preparation and characterization of porous ceramic membranes for microfiltration from natural zeolite", *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*,47, 476-480(2012).

[10] Dong Y.C., Zhou J.E., Lin B., Wang, Y.Q., Wang, S.L., Miao L.F., Lang Y., Liu X.Q., Meng G.Y., "Reaction-sintered porous mineral-based mullite ceramic membrane supports made from recycled materials", *Journal Of Hazardous Materials*, 172, 180–186, (2009).

[11] Cheryan M., *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook,* Second ed., Lancaster: Technomic Publishing Company Inc., (1998).

[12] Saleh T. A., Gupta V. K., *Nanomaterial and Polymer Membranes: synthesis, characterization and applications,* Amsterdam, Elvesier, (2016).

[13] David O., Gendel Y., Wessling M., "Tubular macro-porous titanium membranes", *Journal of Membrane Science*, 461, 139-145, (2014).

[14] Yang G.C.C., Tsai C.M., "Effects of starch addition on characteristics of tubular porous ceramic membrane substrates", *Desalination*, 233, 129-136, (2008).

[15] Fang J., Qin G., Wei W., Zhao X., "Preparation and characterization of tubular supported ceramic microfiltration membranes from fly ash", *Separation and Purification Technology*, 80, 585-591, (2011).

[16] Wiesner M. R. ve Aptel P., *Mass transport and permeate flux and fouling in pressure driven processes*, New York: McGraw-Hill, (1996).

[17] Crittenden J.C., Rhodes T.R., Hand D.W., Howe K.J. and Tchobanoglous G., *MWH's Water Treatment: Principles and Design*, 3rd Ed., Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., (2012).

[18] Visvanathan, C., Ben Aim, R., Parameshwaran, K., “Membrane Separation Bioreactors for Wastewater Treatment”, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 30 (1), 1-48, (2000).

[19] AWWA, APHA, WPCF, *Standard Methods for Water and Wastewater Examination, Sixteenth Edition*, New York, (1985).