

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



**KÂĞIT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ JET LOOP MEMBRAN  
BİYOREAKTÖR SİSTEMİ İLE ARITILMASININ ARAŞTIRILMASI**

**BARIŞ ÖZDEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU (Tez Danışmanı)**  
                             **Prof. Dr. Baybars Ali FİL**  
                             **Doç. Dr. Nejdet DEĞERMENCİ**

**BALIKESİR, MART– 2024**

## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Kâğıt Endüstrisi Atıksularının Jet Loop Membran Biyoreaktör Sistemi İle Arıtılmasının Araştırılması**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Barış ÖZDEMİR**

## ÖZET

### KÂĞIT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ JET LOOP MEMBRAN BİYOREAKTÖR SİSTEMİ İLE ARITILMASININ ARAŞTIRILMASI YÜKSEK LİSANS TEZİ

BARIŞ ÖZDEMİR

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. BURHANETTİN FARİZOĞLU)  
BALIKESİR, MART – 2024

Kağıt üretimi endüstrisinin dünyada gelişmekte ve gelişmiş birçok ülkenin ticaretinde ve ekonomisinde önemli yeri vardır. Kağıt üretimi esnasında yüksek su tüketimi yapılırken ortaya biyolojik parçalanabilirliği oldukça düşük ve askıda katı madde konsantrasyonu (AKM) çok yüksek bir atıksu ortaya çıkabilir. Bu yönüyle de su kaynaklarının ve toprağın kirlenmesine neden olan başlıca endüstriler arasındadır. Kağıt üretimi sanayisinin atık sularının arıtımında sıklıkla biyolojik arıtma metotları kullanılmaktadır. Biyolojik parçalanabilirliğinin düşük buna karşın yüksek organik madde içeriğine sahip bu atık suların arıtımı için konvensiyonel metotlar yerine veya bunlarla birlikte yeni teknolojilerin kullanılması elzem hale gelmiştir. Bu anlamda membran süreçlerin entegre edildiği biyoreaktörlerin kullanımı sonraki aşamalarda su geri kazanımı içinde önemli avantaj sağlayacaktır. Membran entegre edilmiş yeni nesil kompakt reaktörlerin önemli bir temsilcisi olan Jet loop reaktör (JLR) sistemi yüksek organik madde içeren sanayi atıksularının arıtımı için ekonomik, verimli ve yüksek performanslı bir seçenek sunmaktadır. Çalışmada Balıkesir Varaka Kağıt Fabrikası atıksularının, seramik membran bağlanarak oluşturulan jet loop membran biyoreaktör (JLMBR) sisteminde arıtımı incelenmiştir. Çalışma periyodunda 1,81-7,30 kg/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemeler altında %75-%99 KOİ giderme verimi elde edilirken süreç içerisinde reaktörde çamur kaybı yaşanmış ve aşırı yapılma ihtiyacı duyulmuştur. Sonraki süreçte ortama nütrient ilavesi yapılmıştır 250/5/1 (KOİ/N/P) oranı optimum olarak belirlenmiştir. Nütrient ilave edilerek yapılan çalışmalarda yükleme hızları 2,04-11,61 kgKOİ/m<sup>3</sup>.gün arasında değişirken giderme verimleri ise %80~99 arasında elde edilmiştir. KOİ konsantrasyonu ortalama 5280 mg/L ve bekletme süresi ise 11-30 saat arasında değişmiştir.  $\theta_c$  değerleri 1,4~50,4 gün arasında değişmektedir. Nütrient eklemesinden sonra MLSS konsantrasyonlarında artış gözlenmiştir. MLSS değerleri çamur yaşına bağlı olarak 2108-9140 mg/L arasında işletilmiştir. Membran ünitesinden 10~110 L/m<sup>2</sup>saat arasında akı değerleri alınmıştır. Uzun süreli ve geri yıkama yapılmaksızın ortalama 15 L/m<sup>2</sup>saat akı değeri hesaplanmıştır. Membranlar hava ile geri yıkanmış ve yaklaşık ayda 1 kimyasal temizlemeye tabi tutulmuştur. Membran hava ile geri yıkandıktan sonra ~%50 akı geri kazanımı sağlanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Seramik membran, jet-loop biyoreaktör membran sistemleri, kağıt atık suyu, ultrafiltrasyon, atıksu arıtımı.

Bilim Kod / Kodları : 90319

Sayfa Sayısı : 52

## **ABSTRACT**

### **THE INVESTIGATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY WASTEWATER TREATMENT BY JET LOOP MEMBRANE BIOREACTORSYSTEM**

**MSC THESIS**

**BARIŞ ÖZDEMİR**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. BURHANETTİN FARİZOĞLU)**

**BALIKESİR, MARC – 2024**

Paper production industry has an important place in the trade and economy of many developing and developed countries in the world. While high water consumption is made during paper production, a wastewater with very low biodegradability and a very high suspended solids concentration (SS) may result. In this respect, it is among the main industries that cause pollution of water resources and soil. Biological treatment methods are frequently used in the treatment of wastewater from the paper production industry. It has become essential to use new technologies instead of or together with conventional methods for the treatment of these wastewaters, which have low biodegradability but high organic matter content. In this sense, the use of bioreactors in which membrane processes are integrated will provide a significant advantage in water recovery in the later stages. Jet loop reactor (JLR) system, an important representative of the new generation of membrane-integrated compact reactors, offers an economical, efficient and high-performance option for the treatment of industrial wastewater containing high organic matter. In the study, the treatment of Balıkesir Varaka Paper Factory wastewater in the jet loop membrane bioreactor (JLMBR) system created by connecting a ceramic membrane was examined. During the study period, while 75%-99% COD removal efficiency was achieved under 1.81-7.30 kg/m<sup>3</sup>.day organic loading, sludge loss occurred in the reactor during the process and inoculation was required. In the following process, nutrients were added to the medium and the ratio of 250/5/1 (COD/N/P) was determined as optimum. In studies conducted with the addition of nutrients, loading rates varied between 2.04-11.61 kgCOD/m<sup>3</sup>.day, while removal efficiencies were obtained between 80~99%. The average COD concentration was 5280 mg/L and the holding time varied between 11-30 hours.  $\theta_c$  values vary between 1.4~50.4 days. An increase in MLSS concentrations was observed after nutrient addition. MLSS values were operated between 2108-9140 mg/L depending on the mud age. Flux values between 10~110 L/m<sup>2</sup>h were taken from the membrane unit. An average flux value of 15 L/m<sup>2</sup>h was calculated for long periods of time and without backwashing. Membranes were backwashed with air and subjected to chemical cleaning approximately once a month. After the membrane was backwashed with air, ~50% flux recovery was achieved.

**KEYWORDS:** Paper wastewater, ultrafiltration, jet-loop bioreactor, ceramic membrane, wastewater treatment, membrane bioreactor.

Science Code / Codes : 90319

Page Number :52

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ</b> .....	<b>4</b>
2.1 Kağıt Üretim Sanayisi .....	4
2.1.1 Kağıdın Tarihsel Gelişimi .....	4
2.1.2 Kağıt Sanayi .....	4
2.1.3 Kağıt İmalatında Kullanılan Temel Malzemeler .....	6
2.1.4 Kağıt İmalat Süreci.....	6
2.1.5 Geri Dönüştürülebilir Kağıt Kullanılarak Kağıt Üretimi .....	8
2.1.6 Kağıt Üretiminde Atık Kağıt Kullanmanın Avantajları .....	8
2.2 Kağıt Üretim Sanayi Atıksuları .....	9
2.2.1 Nitelikleri .....	9
2.2.2 Kağıt Üretim Endüstrisi Atık Sularını Arıtma Yöntemleri .....	10
2.2.2.1 Fiziksel Arıtma Yöntemleri.....	11
2.2.2.2 Aktif Çamur Sistemleri .....	11
2.2.2.3 Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemleri.....	12
2.2.2.4 Aerobik Lagünler .....	12
2.2.2.5 Anaerobik Arıtma Sistemleri .....	12
2.2.2.6 Koagülasyon/Çöktürme.....	13
2.2.2.7 Adsorpsiyon Yöntemi .....	13
2.2.2.8 Ozon Prosesi.....	13
2.3 Membran Prosesler.....	13
2.3.1 Membranların Sınıflandırılması .....	15
2.3.1.1 Plaka (Flate) Membranlar.....	16
2.3.1.2 Boru Tipi (Tübüler) Membranlar .....	17
2.3.1.3 Spiral Sargılı Membranlar .....	17
2.3.1.4 Boşluklu Elyaf Membranlar .....	18
2.3.2 Membran Ayırma Prosesleri .....	18
2.3.2.1 Mikrofiltrasyon (MF) .....	19
2.3.2.2 Ultrafiltrasyon(UF).....	20
2.3.2.3 Nanofiltrasyon(NF) .....	20
2.3.2.4 Ters Osmoz (RO) .....	20
2.4 Jet Loop Reaktörler (JLB).....	21
2.5 Jet Loop Membran Biyoreaktörler(JLMBR).....	23
<b>3. MATERYAL-METOD</b> .....	<b>24</b>
3.1 Materyal .....	24
3.1.1 Atıksu .....	24

3.1.2	Deney Sistemi .....	24
3.1.3	Kullanılan Membran Ünitesi .....	26
3.2	Metod .....	26
3.2.1	pH Ölçümü .....	26
3.2.2	İletkenlik Ölçümü.....	27
3.2.3	Renk Ölçümü.....	27
3.2.4	(KOİ) Kimyasal Oksijen İhtiyacı Analizi .....	27
3.2.5	(BOİ) Biyolojik Oksijen İhtiyacı Analizi.....	28
3.2.6	Askıda Katı Madde (AKM) Ölçülmesi .....	28
3.2.7	Transmembran Basıncı (TMP).....	28
3.2.8	Çapraz Akış Hızı (Vç).....	29
3.2.9	Membran Akısı (J) .....	29
<b>4.</b>	<b>BULGULAR .....</b>	<b>30</b>
4.1	Kullanılan Atık Suyun Özellikleri.....	30
4.2	JLMBR Sisteminin Özellikleri.....	31
4.3	Varaka Kağıt Fabrikası Atıksularının (JLMBR) Jet Loop Membran Biyoreaktör İle Arıtımı .....	33
4.3.1	JLMBR Sisteminin Arıtıma hazırlanması .....	33
4.3.2	JLMBR Sisteminde KOİ Gideriminin İncelemesi .....	34
4.3.3	Organik Yükleme Hızı ile KOİ Giderimi Etkisinin İncelemesi .....	36
4.3.4	JLMBR Sisteminde Membran Özellikleri.....	37
4.3.5	JLMBR Sisteminde MLSS Değerlerinin İncelemesi .....	39
4.3.6	Nütrient Madde İlavesinin Etkisi .....	40
4.3.7	JLMBR Sisteminin Membran Özellikleri .....	43
<b>5.</b>	<b>SONUÇ - ÖNERİLER .....</b>	<b>466</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR (IEEE) .....</b>	<b>488</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>533</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Selüloz ve atık kağıt ile üretim akış şeması [9].....	7
Şekil 2.2: Membranlarda ayırma[31].....	15
Şekil 2.3: Geometrik şekilleri bakımından membranlar .....	16
Şekil 2.4: Plaka membran çalışması [31].....	17
Şekil 2.5: Tübüler membran çalışması [29].....	17
Şekil 2.6: Spiral sargılı membran çalışması [29].....	18
Şekil 2.7: Boşluklu elyaf membran çalışma prensibi[29].....	18
Şekil 2.8: Membran ayırma proseslerinin genel özellikleri [37]. .....	19
Şekil 2.9: Püskürtme başlığı çalışma görünümü [47] .....	22
Şekil 3.1: Deneysel Sistemin 3 boyutlu gösterimi .....	25
Şekil 3.2: JLMBR sistemi ve akış diyagramı .....	25
Şekil 3.3: KOİ ölçümlerinde kullanılan kalibrasyon grafiği.....	26
Şekil 3.4: Kimyasal oksijen ihtiyacı ölçümlerinde kullanılan kalibrasyon grafiği .....	28
Şekil 4.1: Varaka AAT akış şeması. ....	31
Şekil 4.2: Deneysel sistem (JLMBR) fotoğrafları .....	33
Şekil 4.3: Haziran ayı KOİ giderim verimi.....	34
Şekil 4.4: Kasım ayı (JLMBR) KOİ giderim verimi .....	35
Şekil 4.5: Kasım ayı (JLMBR) giriş çıkış KOİ ve KOİ giderim verimi .....	35
Şekil 4.6: Kasım ayı (JLMBR) KOİ giderim verimi ile organik yükleme hızı .....	36
Şekil 4.7: Çözünmüş oksijen ile sıcaklığın zamansal değişimi .....	37
Şekil 4.8: Kasım ayı günlük ölçülen membran akı eğrisi .....	38
Şekil 4.9: Kasım ayı günlük MLSS çamur yaşı değişimi. ....	39
Şekil 4.10: KOİ yükü ile KOİ giderme verimi. ....	40
Şekil 4.11: Hidrolik bekletme süresi ile giriş-çıkış KOİ .....	41
Şekil 4.12: MLSS konsantrasyonu KOİ yük .....	42
Şekil 4.13: Akı zaman.....	43
Şekil 4.14: Akı zaman .....	44
Şekil 4.15: Akı MLSS konsantrasyonu.....	45

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

**Tablo 4.1:** JLBMR deneylerinde kullanılan atıksuyun karakterizasyon değerleri. .... 30



## SEMBOL LİSTESİ

<b>A.Ç</b>	: Aktif Çamur
<b>AKM</b>	: Askıda Katı Madde
<b>BOİ</b>	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>ÇHİ</b>	: Çamur hacim indeksi
<b>ÇÖ</b>	: Çözünmüş Oksijen
<b>F/M</b>	: Besin/Mikroorganizma oranı
<b>g</b>	: Gram
<b>HRT</b>	: Hidrolik Bekletme Süresi, sa
<b>JLB</b>	: Jet Loop Biyoreaktör
<b>JLMBR</b>	: Jet Loop Membran Biyoreaktör
<b>m</b>	: Metre
<b>MBR</b>	: Membran Bioreaktör
<b>mg</b>	: Miligram
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>nm</b>	: Nanometre (10 <sup>-9</sup> m)
<b>MF</b>	: Mikrofiltrasyon
<b>MLSS</b>	: Aktif çamuru oluşturan mikroorganizma miktarı, mg/L
<b>MWCO</b>	: Molecular Weight Cut-Off
<b>NF</b>	: Nanofiltrasyon
<b>K<sub>LA</sub></b>	: Gaz Transfer Katsayısı
<b>KOİ</b>	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>L</b>	: Litre
<b>RO</b>	: Ters Osmoz
<b>s</b>	: Saniye
<b>sa</b>	: Saat
<b>TMP</b>	: Transmembran Basıncı veya ΔP (Pa)
<b>UF</b>	: Ultrafiltrasyon
<b>V<sub>ç</sub></b>	: Çapraz Akış Hızı
<b>J</b>	: Akı (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .s veya L/ m <sup>2</sup> .sa)
<b>µm</b>	: Mikrometre (10 <sup>-6</sup> m)
<b>ε</b>	: Gaz tutulma (%)
<b>Θ<sub>c</sub></b>	: Çamur Yaşı, sa

## ÖNSÖZ

Balıkesir Üniversitesinde Yüksek Lisans çalışmam esnasında fikirleriyle rehberlik yapan tez danışmanım Prof. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU'na, Laboratuvar çalışmalarımda benden bilgisini ve desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Baybars Ali FİL ve Dr. Öğretim Üyesi Süleyman UZUNER'e ve tüm çalışma süresince yardımları ve arkadaşlığımdan dolayı Işıl ÇIRIK'a, çalışmalarımda kullandığım atık suyun temin edilmesine yardım eden kağıt fabrikasının Çevre Mühendisi Tefik TEZCAN ve katkıda bulunan diğer tüm çalışanlara, çalışmalarımda için gerekli olan bakteri ve çamur konusunda destek olan Uğur DİNÇER ve tüm BASKİ çalışanlarına teşekkür ederim.

Teşekkürden fazlasını hak eden; sevgisiyle, güveniyle ve eşsiz desteğiyle hep yanımda olan hayat arkadaşım Zeynep Serap ÖZDEMİR'e hayatım boyunca örnek almaya çalıştığım babam Sezai ÖZDEMİR'e ve son olarak örnek olmaya çalıştığım motivasyon kaynağım oğlum Sezai Eren ÖZDEMİR'e şükranlarımı sunarım.

**Balıkesir, 2024**

**Barış ÖZDEMİR**

## 1. GİRİŞ

Su kıtlığı dünyanın çözülmesi gereken en büyük problemlerinden biri haline gelmiştir. Suya olan ihtiyaç, artan nüfusun yanı sıra azalan su kaynakları nedeniyle giderek büyüyen bir sorun haline gelmiştir. Bu nedenle, kullanılan ve kirlenen suların arıtılması ve tekrar kullanılmasının önemi giderek artmaktadır. Endüstriyel atık suların dünya çapında su tüketiminde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Çevre kirlenmesi sanayileşmenin bir sonucu olarak artmakta ve sucul ortamlar bu durumdan en çok etkilenen ekosistemlerdir. Üretim sırasında kullanılan ve kirlenmiş olan su ortama direkt verildiğinde alıcı ortamdaki su kalitesi düşer. Sonuç olarak, su kaynaklarının korunması için alıcı ortama deşarj edilen suların arıtılması gerekir [1, 2].

Kağıt endüstrisi yüksek miktarda su tüketen endüstrilerin başında gelmektedir. Üretilen kağıdın tipine ve üretim şekline bağlı olarak harcanan suyun miktarı ile meydana gelen atık suların taşıdığı özellikler açısından değişiklik gösterir. Bir (1) ton kağıt üretebilmek için yaklaşık 50 ton su gerekmekte olup, kağıt üretiminin özellikle hamur üretimi sırasında çok miktarda ve oldukça fazla kirlilik yüküne sahip atık su oluşmaktadır. Odun, kağıt endüstrisinin temel malzemesi olarak kullanılmakta ve susuzlaştırma, eleme ve yıkama gibi işlemlerle hamur durumuna getirilmektedir. Bu süreçte lignin, karbonhidrat ve diğer ayrıştırıcı bileşikler gibi atık suya geçen bileşikler ortaya çıkmaktadır. Bu bileşikler, biyolojik olarak ayrışabilme yeteneği düşük bileşikler olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca, kağıt üretiminin değişik aşamalarında 250'den daha fazla kimyasal madde kullanıldığı belirlenmiştir. Kağıt endüstrisi yoğun bir su tüketimine sahip olup, atık sularında organik bileşikler, askıda katı maddeler, yağ asitleri, selüloz, lignin ve çeşitli klorlu bileşikler gibi kirleticiler bulunduğu bilinmektedir [3, 4].

Kağıt imalatı esnasında yüksek miktarda su kullanılması aynı zamanda biyolojik olarak parçalanması zor olan kirleticiler içermesi nedeniyle bu tür atık sular; çevresel açıdan büyük bir soruna neden olmaktadır. Kağıt üretimi esnasında fabrikalarda oluşan atık sular dikkat çekecek ölçüde zehirlilik özelliğini taşıyabilmektedir. Endüstrinin proseslerinden kaynaklı atık suların arıtımında çoğunlukla aktif çamur ve havalandırılmalı lagün sistemleri gibi biyolojik arıtma teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Ancak lignin ve benzeri stabil bileşikler, konvensiyonel biyolojik yöntemlerle tam olarak parçalanamamakta ve renk parametresinde yeterince azalma sağlanamamaktadır. Ayrıca, kullanılan çoğu biyolojik

yöntemler, kağıt endüstrisi gibi atık suların arıtılması için geniş alan gereksinimi, mikroorganizmalar için sıcaklık ve pH ayarının kontrolü gibi nedenlerle daha az tercih edilmektedir. Bu nedenlerle, giderek atık su arıtımında ileri oksidasyon prosesleri, membran teknolojileri, elektrokimyasal arıtma, adsorpsiyon gibi alternatif teknolojilerin tercih edilme oranı artmıştır. Bunun gibi teknolojiler, suyun geri kazanılmasına olanak sağlayarak temiz su kullanımını azaltmakta ve standartlara uygun arıtılmış çıkış suyu elde edilmesini sağlamaktadır [3].

Klasik biyolojik ve fiziko-kimyasal yöntemlerin endüstriyel atık suların arıtımında sınırlı etkinlik göstermesi, belirli kirleticilerin arıtımında istenen su kalitesine ulaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, çıkış suyu kalitesini istenen seviyelere çıkarmak için bu yöntemlere dayalı arıtma tesislerinde zorluklar yaşanabilmektedir. Yanlış arıtma tesisinin seçimi, deşarj standartlarını sağlamada bile sıkıntılar yaratmakta ve önemli miktarda kirlilik içeren arıtılmış suyun deşarjına neden olabilmektedir. Ayrıca, istenen kalitede su elde edilememesi ve suyun istenen oranda geri kullanılamaması gibi etkenler su sarfiyatını artırmaktadır [5].

Bu yüksek konsantrasyonlarda ve çeşitlilikteki kirleticileri içeren atık suların arıtılması amacıyla etkili, yeni ve sürdürülebilir teknoloji temelli ekonomik çözümlere olan talep giderek artmaktadır. Membran prosesleri ve teknolojileri, bu problemlere ihtiyaç duyulan cevapları verebilecek potansiyele sahiptir ve hızla gelişmektedir. Bu teknolojiler, kirleticileri fiziksel veya kimyasal yöntemlerle ayırarak, arıtılmış suyu istenen kaliteye getirmek ve suyun geri kazanılmasını sağlamak için kullanılmaktadır. Membran teknolojileri, ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz gibi farklı membran filtrasyon yöntemlerini içermektedir. Bu teknolojiler, atıksu arıtımında daha etkili ve verimli bir yaklaşım sunmakta ve su kalitesini artırmaktadır. Ayrıca, su geri kazanımı sayesinde su kullanımını azaltmakta ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Bu nedenle, membran teknolojileri, endüstriyel atık suların arıtımında önemi gün geçtikçe test edilen bir çözüm olarak öne çıkmaktadır [6].

Membranların etkinliğini artırmak ve biyolojik arıtma adapte edebilmek için yüksek hızlı biyoreaktörlerin entegre edilmesi şarttır. Özellikle Jet Loop (Püskürtmeli çevrimli) reaktörler yüksek biyokimyasal dönüşümlere imkan sağlayacak reaktör topolojileri olarak

görülmektedir. Bu reaktörler ile sağlanan mikrobiyal içerik özellikle zor parçalanan organik maddelerin biyolojik parçalamasında etkin çözümler sunabilmektedir.

Bu çalışmada JLB'ye eklenen çapraz akış UF sistemi ile oluşturulan JLMBR sisteminin kağıt sanayi atıksularının arıtımında kullanımı incelenmiştir.

## **2. LİTERATÜR ÖZETİ**

### **2.1 Kağıt Üretim Sanayisi**

#### **2.1.1 Kağıdın Tarihsel Gelişimi**

Ts'ai Lun olarak bilinen Çinli bir kişi, milattan sonra 105'te bambu elyafından kağıt ve karton üretmiştir. Yapılan araştırmalar, Orta Asya'da üçüncü yüzyıldan yedinci yüzyıla kadar kullanılan kağıtların pamuk, kenevir, dut ağacı kabukları ve kendirden yapıldığını göstermektedir. Çin dışında ilk kağıt yapım merkezi İlk olarak 754 yılında Bağdat'ta Abbasi hükümdarı Harun Reşid tarafından kuruldu. Müslümanlar sayesinde, Batı toplulukları dört yüzyıl sonra kağıdın varlığından haberdar oldular. Kağıt fabrikaları daha sonra Şam, Mısır ve Trablusgarp bölgelerinde kuruldu. Müslümanların Kuzey Afrika'yı ele geçirmesi ve daha sonra İspanya'ya geçmesi üzerine, Emevilerin zamanında kütüphaneleriyle ünlü Endülüs kağıt fabrikaları da Avrupa'ya taşındı. Çin'de binlerce yıl önce üretimine başlanan kağıt, zamanla daha yeni metotlarla üretilmiş ve 18. yüzyılda Fransa'da makineli olarak ilk kez üretilmiştir. Kağıt makinelerinde teknolojik gelişmelerle beraber günümüzde çok motorlu, pH, gramaj, sıcaklık ve rutubet gibi özellikleri sürekli olarak kontrol edebilen tahrik sistemli, otomatik özellikli üretimler yapılmaktadır. 1803 senesinde ortaya çıkan uzun elekli olarak adlandırılan kağıt makineleri, sürekli kağıdın üretimine izin vermiştir. Bu buluşun hayata geçirilmesi yaklaşık yirmi ila yirmi beş yıl sürmüş ve 1830'dan 1846'ya kadar Avrupa'nın gelişmiş sanayi ülkelerinde çeşitli tarihlerde kurulmaya başlanmıştır [7, 8].

#### **2.1.2 Kağıt Sanayi**

Kağıt sektöründe, bitkilerin yanı sıra atık kağıt, selüloz, odun hamuru ve eski kağıt hamurundan kağıt hamuru üretilir. Bu ara ürünler birçok farklı mekanik ve kimyasal işlemlerden geçirilmesi neticesinde kağıda dönüştürülür. Selüloz ara ürün olarak ve kağıt karton nihai ürünü olarak sunulmaktadır. Bitki hücrelerinin duvar dokularının ana bileşeni, karbonhidrat olan selülozdur. Kağıt, çeşitli işlemler yoluyla lifsel yapılı hammaddenin hidrojen bağları oluşturularak düz bir tabaka olacak biçime getirilen şeklidir [9].

Küresel anlamda kağıt üretimi endüstrisi, proseslerinde harcadığı su miktarı ile oluşturduğu atık suyun fazlalığı düşünüldüğünde çevre açısından sorun oluşturan endüstrilerin en başında gelmektedir. Aynı zamanda Ülkemizde kağıt üretim endüstrisi, ekonomik açıdan da önemli bir yere sahiptir. Kağıt üretim endüstrisi, su kullanımı, kirlilik yükü ve oluşan atık su miktarı açısından diğer endüstri kollarına nazaran daha fazla etkiye sahiptir [8].

Katkı maddeleriyle zenginleştirilmiş elyaf karışımı olan kağıt, kullanıldığı alana bağlı olarak farklı özellikler kazanır. 1,5 mm'ye kadar uzunluklara ulaşan bu elyaf, keçeleştirme işlemi ile oluşturulur. Ana hammadde kaynağı odun olmakla birlikte, mevsimlik bitki sapları gibi elyaf türlerinden de faydalanılmaktadır. Elyafı bir arada tutan ana madde olan lignin, kimyasal proseslerle arındırılarak elde edilir ve keçeleşmeyi düzenlemek için su taşıyıcı ortam olarak kullanılır [9].

Kağıt üretim sürecinde su, her aşamada kullanılan önemli bir unsurdur. Kağıdın üretim türü ve şekline göre, harcanan suyun miktarı ile üretim sonucu meydana gelen atık suların özellik ve nitelikleri değişebilir. Genellikle bir ton kağıt üretimi yapmak amacıyla yaklaşık elli (50) ton temiz suyun kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, kağıt üretim tesisleri, su kaynaklarının bulunduğu alanlarda inşa edilir ve tüm bu sebeplerden dolayı suyun geri dönüşümü önemli hale gelmiştir.

Ülkelerin gelişmişlik seviyesinin bir göstergesi olarak kişi başı kağıt kullanımı önemli bir parametredir. Benzer şekilde kişi başı kağıt tüketimi ile gayri safi milli hasıla arasında olumlu bir korelasyon vardır [10]. Kağıt üretimine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

### **1. Endüstriyel Kağıtlar:**

- **Temizlik İçin Kullanılan Kağıtlar:** Düşük gramajlı kağıtlardır ve genellikle selüloz ve atık kağıt içerir.
- **Sargı İçin Kullanılan Kağıtlar:** Çoğunlukla Ambalaj malzemesi olarak tercih edilen kağıtlardır. Üretiminde belirli oranlarda odun hamuru, atık kağıt, ve son olarak selülozun birleşiminden meydana gelir.
- **Oluklu Mukavva:** Ambalaj ve taşıma kutularının yapımında destekleyici olarak kullanılan ve kırılabilir eşyaların paketlenmesi aşamasında tercih edilen kağıttır.
- **Kraft Torba Kağıtları:** Genel olarak dayanıklı beyazlatılmamış veya beyaz Kraft selülozundan üretilen sağlam kağıttır.
- **Sigara Kağıdı ve İnce Özel Kağıtlar:** Genellikle kenevir, keten, paçavra selülozu ve jütten elde edilen, yüksek mukavemetli ve düşük gramajlı kağıtlardır.
- **Kartonlar:** Tek veya çok katlı, yüksek gramajlı kağıtlardır [10-12].

## **2. Kültürel Kağıtlar:**

- Gazete Kağıdı: Genellikle gazetelerde kullanılan bu kağıtlar, az miktarda kimyasal selüloz ve yüksek oranda mekanik odun hamuru içerir.
- Yazı Kağıtları: Bu kağıtlar, yazı yazmaya uygun olduğu kadar baskı yapmaya da elverişlidir. Kimyasal selüloz ve mekanik odun hamurunun özenle bir araya getirilmesiyle oluşur [10-12].

### **2.1.3 Kağıt İmalatında Kullanılan Temel Malzemeler**

Kağıt üretim sürecinde temel hammaddeler arasında selüloz öne çıkmaktadır ve selülozun başlıca kaynağı odundur. Selülozun kağıt yapımında kullanılmasının temel sebebi, lifli yapısının olmasıdır. Odun, pamuk, saman, kamış ve kendir gibi kaynaklar, kağıt üretiminde kullanılan asıl hammadde kaynaklarıdır. Ancak, atık kağıt da kağıt üretiminde ikincil bir lif kaynağı olarak değerlendirilmekte ve bu yöntem, ekonomik ve çevresel açıdan daha kazançlıdır.

Kağıt imalatında kullanılan temel malzemeler arasında şunlar sıralanabilir:

- Atık kağıt hamuru,
- Odun kaynaklı kimyasal selülozlar,
- Yıllık bitkilerden üretilebilen selülozlar,
- Odun hamuru.

Ülkemizde, kağıt endüstrisinde kullanılan hammadde tüketiminin büyük bir kısmını (%69), ağaçlardan elde edilen odun oluşturmaktadır. Kullanılan odunun neredeyse tamamı iğne yapraklı ağaçlardan elde edilmektedir. Geriye kalanın %21'i atık kağıtlardan, %10'u ise yıllık bitkilerden elde edilen hamurlardan gelmektedir [9, 13].

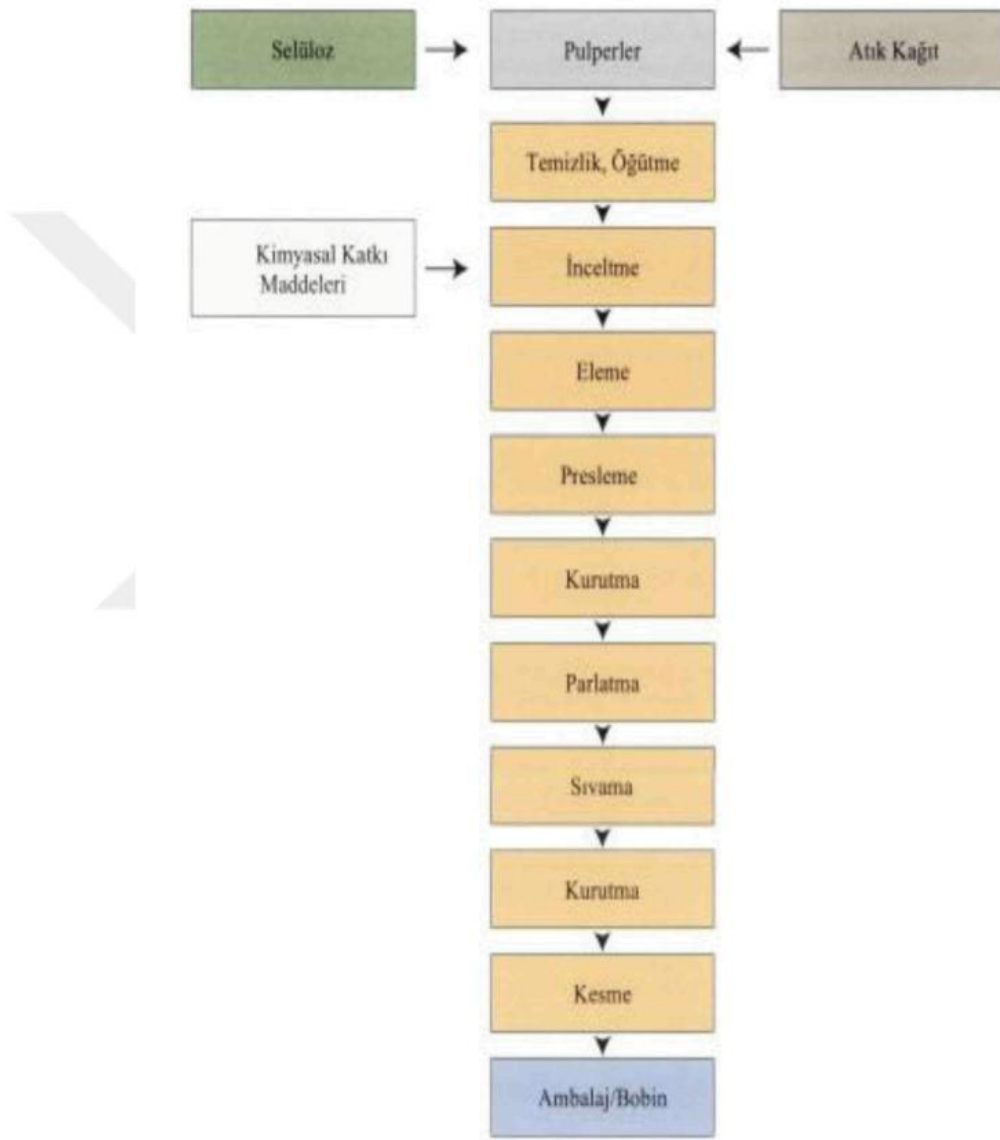
### **2.1.4 Kağıt İmalat Süreci**

Kağıt imalat süreci, selüloz elde etmek amacıyla yıllık bitkiler ile odunsu bitkilerin titiz bir işlemden geçirilmesiyle başlar. Odunlar özel bir yongalama makinesinde, yıllık bitkiler ise kesme makinelerinde özenle parçalara ayrılır. Mekanik süreçlerin tamamlanmasının ardından, elde edilen parçalar, 135-180 derece sıcaklıkta ve 3-6 bar basınçta çeşitli kimyasal maddelerle karıştırılarak selüloz hamuru haline getirilir. Bu hamur, içindeki az pişmiş kısımlardan ve yabancı maddelerden arındırılarak öğütülür. Ayrıca, hamurun



kullanılacak kağıdın türüne uygun renk ve özelliklere sahip olması için boya konur.

Süreçte oluşan hamur, içerdiği suyu terk etmesi amacıyla yatay hamur teknelerinde özenle dağıtılır sonrasında elek kasaları içinde süzülür. Süzme işleminin ardından, hamurun suyunu arındırmak amacıyla presleme uygulanır. Bir sonraki aşamada kurutma silindirine yerleştirilerek tekrar presleme işlemi uygulanan hamur, belirlenen kalınlıkta kağıt veya karton haline getirilir. Son aşamada, elde edilen ürün, belirlenen boyutlara kesilerek ya da bobin şeklinde oluşturularak özenle ambalajlanır ve satışa sunulur [9]. Kağıt üretimi için bir akım şeması Şekil 2.1’de verilmektedir [14].



**Şekil 2.1:** Selüloz ve atık kağıt ile imalat akışı [9, 14].

### **2.1.5 Geri Dönüştürülebilir Kağıt Kullanılarak Kağıt Üretimi**

Kağıt imalatında temel madde olarak, kullanılmış geri dönüştürülebilir kağıt-karton kullanmak mümkündür. Atık kağıt kullanılarak kağıt üretilmesi sonucunda daha az ağaç kesilmesi ve geri dönüştürülebilir kağıtların çöpe atılması engellenerek çevre kirliliği azaltılmaktadır [15].

Kağıt atıklar, genellikle geri dönüşüm yapılan tesislere balyalanmış şekilde taşınarak işleme alınır. İlk aşamada, yapışık halde bulunan kağıt liflerini ayırmak amacıyla büyük kapasiteye sahip tanklar devreye sokulur. Kağıt atıkları suyun içinde karıştırma işlemine tabi tutulur sonuçta lifler ayrıştırılır. Bu aşamada, lif kütlesi tankın aşağısına çekilir ve istenmeyen su dışarı atılır.

Bir sonraki aşamada, lif kütlesi istenmeyen diğer maddelerden temizlenir. Bu aşamada kağıt ataşları, plastik kağıtlar, yapışkan gibi unsurlar temizlenir. Aynı zamanda mantar, tahta, polistren ve diğer plastik malzemeler ayrıştırılır. Kirli lif hamuru, konik silindir içinde dönerken bir girdap oluşturur. Bu süratli dönme sayesinde kağıdın ağırlığından daha hafif olan maddeler üstte, ağır malzemeler ise alt bölümde biriktirilir. Metal, cam, plastik gibi ağır olan istenmeyen materyal, alt kısımdaki elek ve yarıklardan uzaklaştırılır.

Üretilmek istenen ürüne göre, boya giderme prosesi uygulanır. İlk proses, kostik soda, su ve sabun gibi maddelerin kullanıldığı bir köpük oluşturma işlemidir. Bu süreçte, boya parçacıkları yüzeye çıkabilen bir hale getirilir ve buradan çekilir. Kağıt liflerinde bulunan boyayı arındırmak amacıyla mekanik yöntem kullanılır.

Tanklar, birden çok sefer su ile doldurulmak ve boşaltılmak suretiyle kirliliklerinden ve diğer maddelerden arındırılır. Bu aşamadan sonra, kağıt kütlesi boyutlandırma sürecine başlar. Preslenen ve kurutulan hamur, kağıt rulolar şeklinde kullanım için uygun duruma getirilir. Bu yöntem, kağıt atıklarının verimli bir şekilde geri dönüştürülmesini sağlayarak çevre dostu bir yaklaşım sunmaktadır [14].

### **2.1.6 Kağıt Üretiminde Atık Kağıt Kullanmanın Avantajları**

Atık kağıdın geri dönüşümü, doğal kaynakların korunması açısından etkili bir stratejidir. Bu

yöntem, orman tahribatının azaltılmasına ve bitki örtüsünün korunmasına katkıda bulunarak küresel ısınmanın etkilerini hafifletir. Ayrıca, atık kağıdın kullanılmasıyla daha az ağaç kesilmesi, ekosistem dengesinin sürdürülebilirliğini destekler. Bu nedenle, atık kağıttan yeni kağıt üretimi, çevresel açıdan sürdürülebilir bir uygulamadır.

Çöpe atılmayan 1 ton atık kağıt, kağıt üretiminde geri dönüştürüldüğünde;

- Suyun 38,8 tonluk kısmının israf edilmesi,
- Çam ağaçlarından 17 adet kesilmesi,
- Atmosfere 267 kg kirletici gazın atılması,
- Elektrik enerjisinin 4100 kWh israf edilmesi,
- Atmosfere 267 kg kirletici gazın atılması,
- Orman alanının 85 m<sup>2</sup> israf edilmesi,
- Fuel-oilin 1750 litre israf edilmesi önlenmiş olur [14, 16].

## **2.2 Kağıt Üretim Sanayi Atıksuları**

### **2.2.1 Nitelikleri**

Kağıt üretimi sanayi, yüksek su tüketimine sahip olan sektörlerdendir. Küresel ölçekte, su tüketimi açısından metal endüstrisi ve kimya endüstrisinden sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Bir ton kağıt üretimi için ortalama olarak 50 m<sup>3</sup> su kullanılmaktadır [13]. Yüksek kaliteli kağıt üretiminde, ortalama olarak her ton kağıt için yaklaşık 1000 m<sup>3</sup> atık su ortaya çıkmaktadır. Su tüketimini minimize etmenin yanı sıra atıksu arıtma tesisi kapasitelerini azaltmak amacıyla, arıtılmış suların tekrar kullanılmasına olan ihtiyaç giderek artmaktadır [8].

Avrupa Komisyonu verilerine göre Avrupa'daki kağıt üretim sektöründe, soğutma suyu amaçlı ton başına 50 m<sup>3</sup>'ten daha fazla su tüketilmektedir. Bu sektörde her ton ürün için 10,5 m<sup>3</sup> temiz su harcanmaktadır. Kağıt üretim makinelerinde gerçekleşen kurutma işlemi sırasında ton başına 1,5 m<sup>3</sup> su kaybı yaşanmaktadır. Ayrıca temizleme suları olarak adlandırılan yıkama suları ton başına 5-20 m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Dolgu ve katkı maddeleri için çözücü ve seyrelme amacıyla ton başına 1,5-3 m<sup>3</sup> arasında su kullanımı olmaktadır [16].

Kağıt hamuru yapımında hazırlık aşamasında ortaya çıkan atık sular "siyah su" olarak

adlandırılırken, kağıt elde etme aşamasında ortaya çıkan atık sular “beyaz su” olarak anılmaktadır. Bu atıksular, yıkama, ağartma, pişirme, kalınlaştırma ve elyaflarına parçalama işlemlerinden kaynaklanmaktadır. İçerisinde elyaf, boyalar, karbonat, sodyum, kazein, kil, sülfite, kağıt, mürekkep, ve yağ-gres bulunabilmektedir. Kağıt üretim tesislerinden gelen atık sular genellikle yüksek AKM (Askıda Katı Madde) içeriğine sahiptir. Bu durum, su kullanımının ve atık su yönetiminin kağıt endüstrisindeki önemini vurgulamaktadır [16, 17].

Geri dönüştürülebilen kâğıtların kağıt üretiminde kullanıldığı tesislerin atık sularında belirlenen organik kirletici parametreleri beş temel kategoride incelenebilir:

1) Fenolik Bileşenler: Kaynağı genellikle lignindir. Bu kategoride belirlenen bileşikler arasında bütilbenzen, fenol, p-kresol, ayrıca benzilalkol yer almaktadır. Bunun dışında, mürekkep giderme işlemi sırasında kullanılan mürekkebin bir bileşeni olan Bisfenol A’da (BPA), atık sular içinde bulunabilir [13, 18].

2) Odunun Temel Bileşenleri (Reçine ve Yağ Asitleri): Bu endüstrilerde, atık kağıttan kağıt elde edilirken, odunun ana bileşenleri olan reçine asitleri belirlenmiştir. Bu asitler, odunun koloidal olarak çözünmesi ve dağılması sırasında ekstraktif maddelerle (yağ asitleri, liglanlar, sterol esterler, hemiselülozlar, trigliseridler) birlikte bulunabilirler. Bu grupta daha yaygın olanlar arasında abietik, primarik, dehidroabietik, stearik ve oleik asitler bulunmaktadır.

3) Sürfaktanlar: Atık kağıttan kağıt üretimi sürecinde kullanılan mürekkep işlemi sırasındaki temizleme aşamalarında kullanılan sürfaktanlar, atıksuların içinde bulunabilir [9].

4) Nişastadan Kaynaklanan Asidik Bozunma Ürünleri: Bu kategori, nişastanın bozunması sonucu oluşan asidik fraksiyonu içerir.

5) Biositler: Bu fraksiyon endüstride yaygın olarak tercih edilen thiocyanomethylthiobenzothiazole (TCMBT) olarak belirlenmiştir.

Proseslerden çıkan organik kirleticilerin listesi, atıksu analizi ve çevresel etkilerin azaltılması için daha etkili arıtma prosedürleri geliştirme sürecinde rehberlik sağlamaktadır.

### **2.2.2 Kağıt Üretim Endüstrisi Atık Sularını Arıtma Yöntemleri**

Kağıt üretim endüstrisi atıksuların arıtılması için çoğunlukla ön arıtmanın arkasından biyolojik arıtma son olarak fiziko/kimyasal arıtma yöntemleri kullanılabilir.

Ön Arıtma: Atık suların arıtma sürecine girmeden önce, içerdikleri büyük partiküllerin ve katı maddelerin uzaklaştırılması amacıyla kullanılan yöntemler arasında ızgara ve kum tutucu bulunmaktadır. Atık suların içerdiği çeşitli katı ve sıvı maddelerin ayrılması için çeşitli fiziksel işlemler kullanılır. Çöktürme, flotasyon ve filtrasyon bu kategoride yer alan yöntemlere örnektir.

Biyolojik Arıtma: Atık suların organik maddelerinin biyolojik olarak parçalanması için kullanılan yöntemlerdir. Aerobik lagün, aktif çamur, anaerobik arıtma ve ardışık reaktör biyolojik arıtma yöntemlerine örnektir.

Fiziko/Kimyasal Arıtma: Bu yöntemler, çeşitli kimyasal işlemleri içerir. Membran sistemleri, koagülasyon, çöktürme ve ozonlama gibi teknikler, atık sulardaki kimyasal bileşenleri etkili bir şekilde uzaklaştırmak için kullanılır.

Kağıt sanayi atıksularının arıtımında çok çeşitli metotlar, atıksuların çevreye zarar vermeden güvenli bir şekilde deşarj edilmesini sağlamak amacıyla kademeli olarak uygulanmaktadır [19].

### **2.2.2.1 Fiziksel Arıtma Yöntemleri**

Kağıt endüstrisinden oluşan suları arıtmada, fiziksel arıtma yöntemleri flotasyon ve çöktürme ön arıtma olarak genellikle biyolojik arıtmadan önce tercih edilmektedir. Bu süreçlerden beklenen, askıda katı maddeler arasında yer alan lifler, kaplama malzemeleri, dolgu, lif atıkları, kabuk parçacıkların ve diğer organik maddelerin uzaklaştırılmasıdır. Bu yöntemler sayesinde AKM konsantrasyonlarında %80'in üzerinde giderim sağlanabilir. Ancak, bu ön arıtma aşamaları genellikle düşük oranda organik madde giderimi sağlar. Bu nedenle biyolojik arıtma adımına geçilmeden önce çöktürme ve flotasyon gibi fiziksel arıtma yöntemleri, atık sulardaki büyük partikülleri ve askıda katı maddeleri etkili bir şekilde uzaklaştırmak için kullanılır [20].

### **2.2.2.2 Aktif Çamur Sistemleri**

Atık suda çözülmüş olarak bulunan istenmeyen maddelerin, mikroorganizmalar tarafından enerji, besin ve yeni mikroorganizmaların üretimi için gerekli olan kaynak olarak

kullanılması sonucunda atık sudan uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Verimli ve etkili organik madde giderimi sağlanmasının yanı sıra biyolojik arıtım sistemlerinin de yetersiz kaldığı lignin gibi suyun rengini değiştiren renk verebilen bileşiklerin özellikleri, kompleks yapıları ve büyük boyutları sebebiyle bu tür bileşiklerin arıtımında istenen verim alınmamaktadır. Bununla birlikte lignin gibi kompleks bazı yapılar algler yardımı ile hızlı bir şekilde giderilebilmektedir. Bu durumun eksik kalan tarafı ise mikroorganizmaların yaşamlarını devam ettirebilmesi için ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlayan glikoz miktarının çok olmasıdır. Yapılan bir çalışmada, Finlandiya'da bir kağıt üretim sanayi atıksularının arıtımında A.Ç prosesi kullanılarak %80 oranında KOİ gideriminin elde edildiği rapor edilmiştir. Ancak bu proseslerde önemli işletme problemlerinin ortaya çıktığı bildirilmiştir. Bu tesiste yetersiz N ve P kaynağı nedeniyle ipliksi bakterilerin çok arttığı ve bunun sonucunda çamur kabarmasına rastlanmıştır [21].

### **2.2.2.3 Uzun Havalandırılmalı Aktif Çamur Sistemleri**

Bu sistemler gelen atık suyu ızgara ve kum tutucuların arkasından doğrudan havalandırma havuzuna yönlendirir. Bu sistemlerde ön çökeltme ve çamur çürütücü sistemler yer almaz, bu nedenle inşaat ve işletme daha basittir. Atık su, havalandırma havuzunda uzun süre tutularak biyolojik işlemlerin etkin bir şekilde gerçekleşmesine olanak tanır. Bu özellikler, sistemi daha maliyet etkin ve çevre dostu kılar [22]. Ön arıtımın etkin olmaması bu prosesin kullanımını kısıtlamaktadır. Çünkü gelen atıksudaki partiküller organik maddelerin biyo dönüşümü gerçekleştirilmektedir.

### **2.2.2.4 Aerobik Lagünler**

Kağıt endüstrisinde kağıt hamuru yapımından kaynaklanan atıksuların arıtımında aerobik lagünlerin kullanımı basit ve ekonomik çözüme olmasına karşın, atıksudaki zor parçalanmış organikler ve parçalanmayan birleşikler arıtımı zorlaştırmaktadır. Ancak bu konudaki zorlukları giderme üzerine laboratuvar ve gerçek ölçekli çalışmalar devam etmektedir. Bu sistemler gerçek boyutlu arıtma tesislerinde BOİ, molekül ağırlığı yüksek olmayan adsorban halindeki organik halojenlerin, (AOX), ve yağ asitlerinin giderilmesine olanak tanıyan özelliklere sahiptir [23].

### **2.2.2.5 Anaerobik Arıtma Sistemleri**

Klor içeren bileşiklerin parçalanması sürecinde, anaerobik mikroorganizmaların aerobik mikroorganizmalara kıyasla verimin fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte,

suların içerdikleri sülfürün varlığı ve bu atık suların anaerobik sistemlerle arıtılması, hidrojen sülfür oluşumuna ve buna bağlı olarak toksik etkilere neden olmaktadır [24].

#### **2.2.2.6 Koagülasyon/Çöktürme**

Koagülasyon/çöktürme yöntemi, atık sulara metal tuzlarının eklenmesiyle küçük partiküllerin bir araya gelerek daha büyük floklar oluşturmasına dayanan bir arıtma yöntemidir. Bu yöntem, kirleticilerin etkili bir şekilde giderilmesini sağlar. Yapılan bir çalışmada alum kullanılarak gerçekleştirilen koagülasyonun atık su renk gideriminde başarılı olduğunu, ancak klor ile ağartma ünitesinde yöntemin etkisiz olduğu belirtmiştir [25].

#### **2.2.2.7 Adsorpsiyon Yöntemi**

Adsorpsiyon, kağıt atık sularında bulunan organik maddelerin giderimin de kullanılan fizikokimyasal bir arıtım yöntemi olmasının yanı sıra en büyük dezavantajı olarak rejenere edilen adsorbent sebebiyle ek bir maliyet oluşmaktadır. Kağıt atık sularının biyolojik arıtmadan geçirildikten sonra aktif karbon kullanılarak ileri seviyede arıtım yapılan çalışmalarda, aktif karbon kullanımının renk parametresi ile toplam anyonik yük arıtımında istenildiği seviyede başarı elde eden yöntem olarak tercih edilebileceği bunun yanı sıra aktif karbonun kullanımının maliyetler sebebiyle istenen uygunlukta olmadığı belirlenmiştir [26].

#### **2.2.2.8 Ozon Prosesi**

Bu proses tek başına uygulanabileceği gibi farklı sistemlerin entegrasyonu ile de kullanılabilen bir arıtma yöntemidir. Ozon atıksuda biyolojik yöntemlerle daha verimli arıtmak amacıyla biyolojik sistemlerin öncesinde ve atık suyun yeniden kullanımını sağlamak için biyolojik sistemlerin sonrasında da uygulanabilir. Ozon üretiminin maliyetinin yüksek olması dezavantaj olarak gösterilmektedir. Biyolojik proseslerin uygulandığı çalışmalarda çöktürülmüş sularda ozon uygulaması ile renk giderimin de %90'dan yüksek verimler elde edilmiştir. Bu değer biyolojik arıtma sonrası elde edilenin yaklaşık 3 katıdır [18, 27].

### **2.3 Membran Prosesler**

Son yıllarda geliştirilen ileri arıtma yöntemleri, atıksuyun geri kazanımını mümkün kılmaktadır. Bu durum, su sarfiyatını önlemek ve ekonomik avantajlar sağlamak amacıyla özellikle suyun yoğun kullanıldığı endüstriler için önemli bir gelişmedir. Membran

prosesleri, atık suların geri kazanımını sağlayan etkili arıtma yöntemlerindedir. Bu teknoloji, kullanılmış suların alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmesine imkan tanır. Membran teknolojileri, evsel atıksuların yanı sıra endüstriyel atıksular ve kirlenmiş yüzeysel sularda da kullanılabilir. Endüstriyel atık sular, karmaşık ve tehlikeli bileşenlere sahip olduklarından biyolojik arıtma yöntemlerine karşı direnç gösterir ve bu nedenle sınırlamalara tabidir. Bu noktada, membran prosesleri endüstriyel atıksuların etkili bir şekilde arıtılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu prosesler, endüstriyel atıksulardaki farklı maddeleri birbirinden ayırmak için kullanılarak homojen bir karışım içinde bulunan atık suların arıtımında büyük önem taşır [28, 29].

Membran prosesleri, ilk olarak gıda mühendisliği ve kimya mühendisliği alanlarında kullanılmaya başlanmış daha sonrasında atık su ve su arıtımında da uygulanmıştır. Bu teknoloji, özellikle atık su arıtımı, kullanım suyu ve proses suyu geri kazanımı gibi alanlarda büyük öneme sahiptir [30].

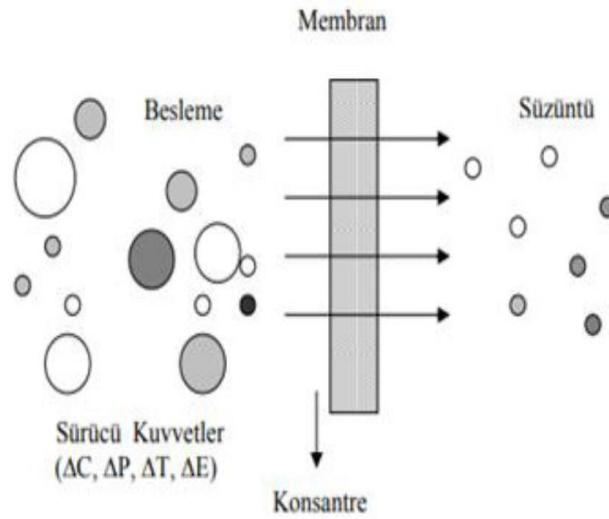
Membranlardaki gözeneklerin çapından küçük maddeler süzüntü suyuna karışan maddelerdir ve bu nedenle membrandan geçebilirler. Konsantrasyon suyunda daha büyük maddeler membran tarafından geri itilir. Bu temel prensipler, membran proseslerinin ayırma mekanizmasını oluşturur ve farklı sürücü kuvvetleri kullanarak istenilen ayırma etkisini elde etmek için tasarlanmıştır [30, 31].

Teknolojinin ilerlediği günümüzde, kağıt üretim endüstrisi içerisinde membran proseslerinin kullanımı, “sıfır sıvı atık” oluşumu anlayışının başlamasıyla önem kazanmıştır. Endüstriyel üretim süreçlerinden kaynaklanan atık suların membran prosesleri ile arıtılması ve geri kazanılması, deşarj kalitesinin artırılması ve atık suyunun proses suyu olarak geri kullanılması gibi alanlara odaklanılmaktadır. Kağıt sanayi atıksularının arıtılmasında, özellikle ultrafiltrasyon membranlar tercih edilmektedir. Ultrafiltrasyon membranları, kağıt endüstrisi atık sularındaki kolloidal maddeleri, askıda katı maddeleri, renkli bileşikler ve polisakkaritleri etkili bir şekilde uzaklaştırabilmektedir. Bunun yanı sıra tek başına membran kullanımı ile %50 KOİ giderimi ile %10'un altında tuz giderim verimi elde edilmiştir. Nanofiltrasyon membranları KOİ gideriminde %80'in üzerine çıkabilme yeteneğine sahiptir. Aynı zamanda sülfat, kalsiyum, magnezyum benzeri iki değerlikli anyonları büyük oranda uzaklaştırma özelliğine sahiptir. Bu nedenle, membran prosesleri,



kağıt atık sularının arıtılması ve geri kazanılması süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır [32, 33].

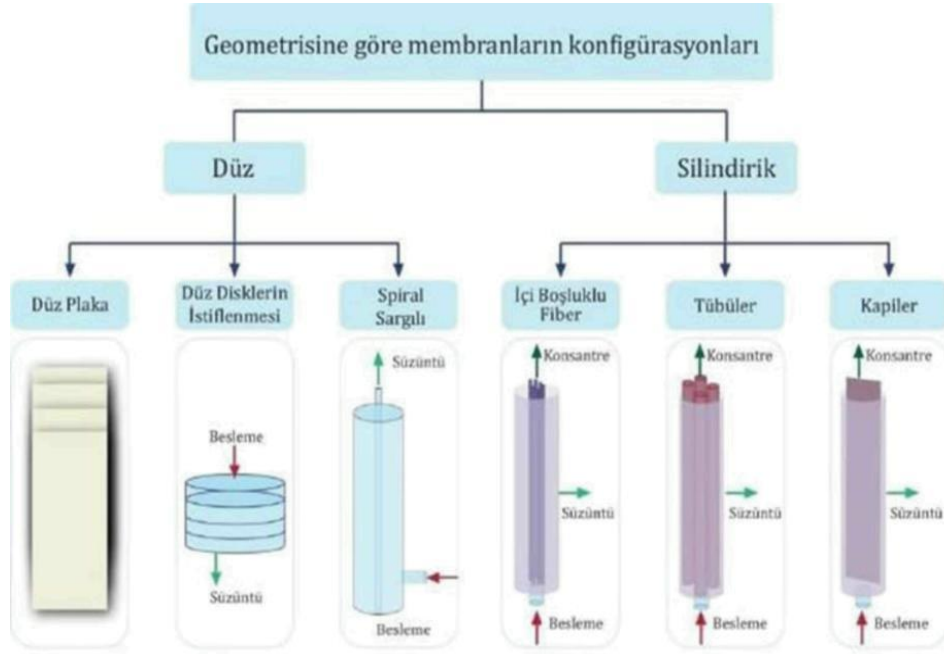
Membran, iki farklı ortamı veya fazı diğerinden ayıran ve seçici bir biçimde taşınmasını sağlayan seçici geçirgen bir tabakadır (Şekil 2.2). Gaz ayırma, sıvı-sıvı ayırma ve katı-sıvı ayırma gibi durumlarda kullanılan membranlar, karışım halinde bulunan maddelerin ayrılmasını mümkün kılar. Membranlar temel olarak çözelti içerisindeki maddelerin ayrımının yanı sıra tutulmak istenen daha büyük maddelerin ayrılmasını hedefler. Membran proseslerinde, sürücü kuvvetlerin etkisiyle ortamlar arasındaki sürekli kütle transferi gerçekleşir. Bu kuvvetler, farklı fazlar arasında sıcaklık, basınç, elektriksel potansiyel farkı veya konsantrasyon gibi etkenlerdir. Ayırma sonucunda iki farklı akımın oluşması sağlanır. Bu ayırmanın sonucunda membrandan geçen akıma “süzüntü” (permeat), geçemeyen akıma ise “konsantre” adı verilir. Bu süreç, membran proseslerinin temel işleyişini oluşturur ve ayrılması istenen bileşenlere göre optimize edilebilir [28].



Şekil 2.2: Membranlarda ayırma [31].

### 2.3.1 Membranların Sınıflandırılması

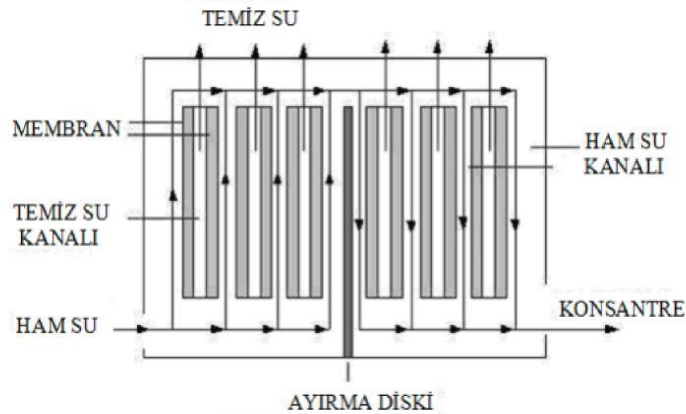
Membranlar geometrilerine göre Şekil 2.3'te açıklandığı gibi sınıflandırılırlar



**Şekil 2.3:** Geometrik şekilleri bakımından membranlar

### 2.3.1.1 Plaka (Flate) Membranlar

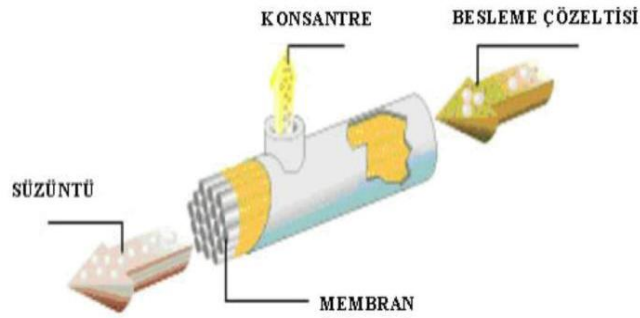
Plaka membranlar kare veya dairesel iki plaka arasında sandviç şeklinde konumlandırılmış membranlardır. Yapıları oldukça basittir. Bu tür membran modülleri oluşturulurken ara levhalar ve destekleyiciler arasında gelecek şekilde düz bir katman halinde membranlar konulur. Membranların bir tarafı, aktif olarak ayırma işlevini yerine getiren katman olarak hizmet verir. Suyun elde edildiği taraf ise bu aktif olmayan yüzeydir. Bu basit tasarım, belirli uygulamalarda etkili bir ayırma işlemi gerçekleştirmek için kullanılabilir [34]. Plaka membranların konumsal olarak çok yer kaplaması ve işletilmesindeki zorluklar gibi sınırlamaları bulunmaktadır. Ancak, küçük ölçekli uygulamalarda kullanılabilecekleri belirtilmiştir. Özellikle ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemlerindeki uygulamaları sınırlıdır [35]. Plaka membran modüllerine ait bir gösterim Şekil 2.4'te verilmektedir.



**Şekil 2.4:** Plaka membran çalışması [31].

### 2.3.1.2 Boru Tipi (Tübüler) Membranlar

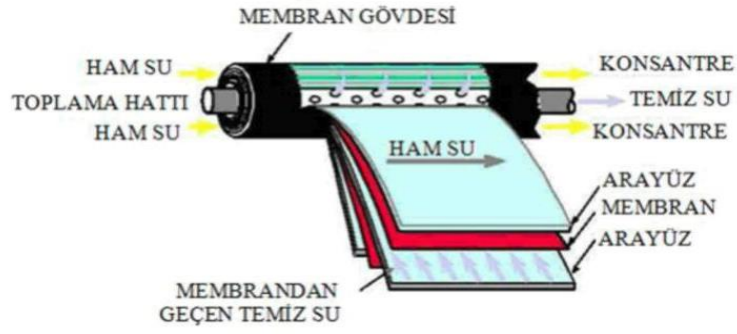
Bu tipi membranlar, basit ayrıca kullanımı kolay bir tasarıma sahiptir. Bu kategori, seramik, plastik ve karbon gibi malzemelerden üretilen membranları içerir. Gözenekli tüpün iç yüzeyi, membranla kaplanmıştır. Genellikle, büyük borular veya tüpler içerisine yerleştirilen küçük tüplerin kombinasyonu ile oluşturulur. Basınç, akışkan içinde uygulandığında süzüntü dışarı çıkarılarak ortadaki tüpten konsantre akım alınır (Şekil 2.5). Bu tip membranlar özellikle yüksek oranda askıda katı madde (AKM) içeren sularda tercih edilir ve çoğunlukla UF membranları için tercih edilir [34].



Şekil 2.5: Tübüler membran çalışması [29]

### 2.3.1.3 Spiral Sargılı Membranlar

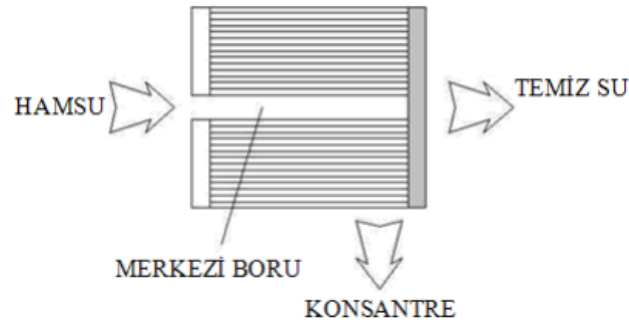
Spiral sargılı membranlar plaka tipi membranların gelişmiş bir versiyonudur. İki düz membran tabakadan oluşan bu yapı, üç tarafı sızdırmaz bir kılıf oluşturmak üzere gözenekleri olan desteklenmiş levha ile ayrılmıştır. Son tabakada arıtılmış suyun toplanması için gözenekleri olan plastik bir boruya bağlanmıştır. Bu membran zarfları, iki ile ikiden çok arıtılmış suyu toplamak için kullanılan gözeneklere sahip bir tüpe iliştirilerek spiral bir biçimde yuvarlanarak sarılır. Bu tür membranlarda süzüntünün ve besleme suyu akış yönleri zıt değildir. Akış aynı düzlemde gerçekleşir ve birbirine dik konumdadır. Bu tip membranlar özellikle ters osmoz proseslerinde tercih edilir [18, 34]. Spiral sargılı membran modülüne ait bir gösterim Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6: Spiral sargılı membran çalışması [29].

#### 2.3.1.4 Boşluklu Elyaf Membranlar

Boşluklu elyaf membranlar, uzun tüp formunda üretilen membran türlerindedir. Fiberler bir destek içine “U” şeklinde yerleştirilir ve her iki ucu, ham su çıkışını engelleyecek biçimde destek tıkaçlarla sabitlenir. Bu düzenleme içerisinde, temiz su içeren iç bölme oluşturulur ve membran, içeriden dışarıya doğru prensibiyle çalışır [34]. Boşluklu Elyaf membran modülüne ait bir gösterim Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7: Boşluklu elyaf membran çalışma prensibi [29].

#### 2.3.2 Membran Ayırma Prosesleri

Moleküllerin boyutları ve kütleleri temel alınarak ayrılan membran ayırma prosesleri, Şekil 2.8’de genel özellikleriyle tanımlanmıştır [36].

Membran Prosesi	MF	UF	NF	RO
Membranın Tipi	Gözenekli	Gözenekli	Gözeneksiz	Gözeneksiz
Membranın Yapısı	Simetrik/Asimetrik	Asimetrik	Asimetrik/İnce film kompozit	İnce film kompozit
Sürücü Kuvveti	Hidrostatik basınç	Hidrostatik basınç	Hidrostatik basınç	Hidrostatik basınç
Kullanım Alanları	AKM giderimi	Virüsler, kolloidler, makromolekül giderimi	İyonlar ve renk giderimi, suyu yumuşatma	İyonlar ve küçük moleküllerin giderimi
Performans Göstergesi	Gözenek çapı	MWCO	MgSO <sub>4</sub> giderilmesi	NaCl giderilmesi
Membranın Tarzı	Düz plaka, tübüler ve içi boşluklu fiber	Düz plaka, tübüler, ve içi boşluklu fiber	Düz plaka, içi boşluklu fiber	Düz plaka
İşletme Basıncı	0,1-2	0,5-5	3-15	8-60

**Şekil 2.8:** Membran ayırma proseslerinin ve genel özellikleri [37].

### 2.3.2.1 Mikrofiltrasyon (MF)

Gözeneklerinin çapı 0,05-5 µm arasında değişen mikrofiltrasyon, düşük basınçta çalışan ve membran ayırma prensibine dayanan bir yöntemdir. Bu yöntem, atıksu içerisindeki partiküllerin, mikroorganizmaların, virüslerin ve kolloidal maddelerin giderilmesini hedefler. Mikrofiltrasyonda, akım membrana paralel bir yönde gerçekleştirilir. Besleme suyu membrana iletilirken, katı veya çözünmüş maddeler zaman içinde porlardan geçerek membran üzerinde ayrıca membran yüzey alanında kirlilik birikimine neden olur. Bu biriken kirlilik, konsantrasyon polarizasyonu ismiyle adlandırılır. Konsantrasyon polarizasyonu membran üzerinden geçen yük miktarı ve süresiyle yoğunlaşır kek tabakası oluşturur. Bu tabaka, membran ile birlikte davranır ayırma işleminde etkisi olur, ancak kek tabakasının sebep olduğu akı azalması, membran performansını olumsuz etkiler. Bu durum, ekonomik olarak sorunlara neden olduğu için membranların temizlenmesi veya yenilenmesi gerekebilir. Mikrofiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz işlemlerinin bir kademe önünde ilk arıtma yapmak amacıyla kullanılabilir. Bu tür membranları metal işleme, su sektörü, gıda, ilaç, kağıt endüstrisi gibi birçok endüstri alanında kullanılabilir [37].

### **2.3.2.2 Ultrafiltrasyon(UF)**

Ultrafiltrasyon gözeneklerin çapları 0,05 µm ile 1 nm değerleri arasındaki, sürücü kuvveti basınç olan ayırma şeklidir. Mikrofiltrasyon ve nanofiltrasyon boyutlarının ortasında konumlanır. Bu yöntemde, kolloidlerin moleküler ve makro moleküller şekle, iyonik yüke ve büyüklüğe bağlı şekilde tutma işlemi gerçekleştirilir. Maddenin iyonize olabilme seviyesi, moleküler ağırlık ayırma sınırını belirler ve bu sınır, MWCO (Molecular Weight Cut-Off) ifadesi ile adlandırılır. Belirlenen MWCO değeri altında bulunan maddeler, membranda ayrılamaz [38]. Bu değer membranın özelliklerine, çalışma koşullarına, besleme çözeltisinin kimyasal içeriğine ve moleküler özelliklerine bağlı değişir. Ultrafiltrasyon, moleküllerinin ağırlığı 1.000 ile 1.000.000 arasında olan maddelerin tutulmasını amaçlar. Ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon membranlara benzer şekilde düşük basınç ile çalışır, çoğunlukla akım membrana paralel olarak gerçekleşir. Bu işletim şekline çapraz akış modu denir. Bu yöntem aynı zamanda ters osmozdan önceki arıtma olarak tercih edilebilir. Örnek olarak seramikten yapılmış membranlar ultrafiltrasyon proseslerinde kullanılabilir. Ultrafiltrasyon membranları otomotiv, ev aletleri, metal işleme, su sektörü, tekstil, gıda, ilaç, kağıt sanayi ve benzeri birçok endüstri alanında uygulama bulmaktadır [37].

### **2.3.2.3 Nanofiltrasyon(NF)**

Nanofiltrasyon 0,001 µm ve üzeri gözenek boyutları ile karakterize edilen, MWCO değerleri 100-300 arasında yer alan basınç sürücülü ayırma tekniğidir. Bu membranlar, gözenek boyutlarına bakıldığında ultrafiltrasyon ile ters osmoz arasında konumlanmaktadır. NF membranları, ağır metal giderimi, kimyasal proses endüstrisi, kağıt endüstrisi, gıda işleme, tekstil, metal işleme ve enerji sektöründe endüstriyel alanlarda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir [39].

### **2.3.2.4 Ters Osmoz (RO)**

RO işlemi, 0,0001-0,001 µ aralığındaki parçacıkları hapsedebilen özel bir membran tipini içerir. Bu membran, en küçük gözenek boyutuna sahip olarak tasarlanmıştır. Temel amacı, sıvı içinde bulunan küçük molekül ağırlığına sahip çözünmüş maddeleri ayırmaktır. Ters osmozda kullanılan sürücü kuvvetler, basınç ve konsantrasyon etrafında odaklanır. Sistemde, temiz suyu kirleticilerden ayıran yarı geçirgen bir membran bulunur ve yüksek basınçla işletilir. Bu membran sistemi kirli tarafta uygulanan basınçla suyun temiz tarafta

toplanmasını sağlar. Uygulama sonunda, istenmeyen kimyasallar temiz suyun yoğunlaşması sayesinde terk edilir, bu da arıtma işlemini tamamlar. Ters osmoz sistemi genellikle deniz suyunun içme suyuna dönüştürülmesi amacıyla kullanılır. Ayrıca, RO membranları ultra saf su üretimi, tuz giderme (desalinasyon), gıda işleme, enerji sektörü, tekstil, kimyasal proses endüstrisi, ağır metal giderimi, metal işleme, kağıt sanayisi ve benzeri sektörlerde çeşitli uygulamalara sahiptir [37].

#### **2.4 Jet Loop Reaktörler (JLB)**

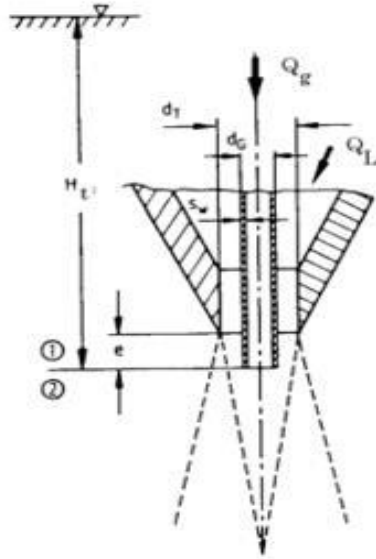
Atıksu arıtmasında verimi artırmak amacıyla geliştirilmiş yeni nesil reaktörler arasındadır. Bu reaktörlerde, jet akışı ile yüksek düzeyde gaz fazı dağılımı ve sıvı sirkülasyonu sağlanmaktadır. Tasarlanan reaktörün türü ve dizaynı, enerji tasarrufu üzerinde etkili olmaktadır. İlk jet loop reaktörlerinde, reaktörün taban bölgesinde yer alan çift akışa sahip tek püskürtme başlığı yer almaktadır. Bu başlığın orta noktasına bir emme tüpü eklenmiş çıkış reaktörü üst kısmı olarak belirlenmişti. Ancak, bu tasarımın modifikasyonlarında istenmeyen sorunlar ortaya çıkmıştır [40].

Özellikle çamur içeriği olan JLR'lerde püskürtme başlığının reaktör tabanında tercih edildiği tasarımlarda tıkanmalara neden olabildiği gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, reaktör içerisinde çözülmüş olarak bulunabilecek gazların yer almasında, gaz fazının yeterince süre sistem içinde kalmadan reaktörü terk etmesi, bu sistem dizaynının dezavantajları arasındadır [41-44].

Jet-loop reaktörlerin en son geliştirilen modifikasyon tasarımı, püskürtme başlığının emme tüpü içine yerleştirilerek reaktörün üst kısmında konumlandırıldığı bir yapıya sahiptir. Bu tasarımın temel özelliği, çıkış suyunun reaktörün üst kısmından verilmesidir. Emme tüpü içindeki püskürtme başlığı, suyun hava ile karışarak jet akımı oluşturduğu ve reaktörün alt kısmına doğru püskürtüldüğü bir mekanizmaya sahiptir. Bu jet etkisi, draft tüpü içinde ilerleyen su ve gaz karışımının, draft tüpünün tabanındaki çarpma levhasına çarparak yanlara doğru yayılmasını sağlar. Yayılan sıvı, döngüsel bir hareketle yukarı doğru ilerler, böylece sıvı sirkülasyonu oluşturulur. Sağlanan bu sirkülasyon, reaktörün üst bölümüne ulaşan gaz kabarcıkları püskürtme başlığı aracılığıyla yayılan sıvıların sürüklemesi nedeniyle emme tüpüne tekrar giriş yapabilir. Sistemin bu özelliği sayesinde, hava ile sıvının karışımı reaktör içinde normalden uzun süre kalarak gaz tutma ( $\epsilon$ ) ve kütle transfer

katsayısını ( $K_{La}$ ) arttırmaktadır. Suyun reaktör içindeki dolaşımı ve gazın tutulma süresi arttıkça, reaktörün performansındaki belirli parametrelerin iyileştirilmesine olanak tanımaktadır [42, 44, 45].

Jet-loop reaktörlerde gaz fazının dağılımı iki aşamada gerçekleşir. İlk aşama, hava ile sıvının ilk karşılaştıkları noktalarında, yani püskürtme başlığının hemen çıkışında meydana gelir. Şekil 2.9'da gösterilen püskürtme başlığı şematik gösterimi bu aşamayı tanımlamaktadır. İkinci aşama sıvının reaktör içinde yayılması sırasında gerçekleşir. İlk olarak dispersiyon gerçekleşir ardından, sıvı ile gaz fazı draft tüpünün tabanındaki çarpma levhası bölgesine çarpar. Bu noktada hava kabarcıklarının dağılımı gerçekleşir. İlk aşamada, yüksek hızda gelen sıvı ile gaz faz küçük kabarcıklara bölünür. Parçalanmış kabarcıklar daha sonra reaktörün alt bölümüne doğru gider ve ikinci dağılım olan bölgeye ulaşır. Burada sıvı basınca birlikte gaz fazının çözünürlük özelliğinde bir artış meydana gelmesi durumundan kaynaklı kütle transferinde bir artışa neden olur. Reaktör içerisine sabitlenmiş olan emme tüpü aracılığıyla sıvı faz birden çok defa sirkülasyona uğrar. Bu süreç sonunda, sıvı içinde dağılmış şekilde bulunan gazın reaktör içindeki kalışı uzar. Böylece gazın sıvı içinde daha uzun süre kalması, kütle transferinde ve gaz dağılımında iyileşmeye yol açmaktadır [46-48].



Şekil 2.9: Püskürtme başlığı şematik gösterimi [49].



## **2.5 Jet Loop Membran Biyoreaktörler(JLMBR)**

Yeni nesil yüksek performanslı reaktörler sınıfına giren JLR'ler özellikle yüksek organik madde içeriğine sahip atıksuların yüksek verimlerde ve etkili performansta arıtımını sağlayabilmektedir. JLR içeriği oldukça küçük flok yapısına sahip ve oldukça aktif mikrobiyal karakterde aktif çamur içerir. Öte yandan oluşan bu biyokütle çökelme özelliği son derece zayıf bir yapıdadır. Dolayısıyla, JLR'ye membran entegrasyonu performansın tam anlamıyla ortaya çıkması açısından çok önemlidir. Membran entegre edilen JLR'ler JLMBR olarak isimlendirilmekte ve farklı atıksuların arıtımında denenmiştir [50-52]. JLMBR sistemleri harici membran sistemi olabileceği gibi dahili membran şeklinde de uygulamaları literatürde yer almaktadır.[5,40,51,53]

Bu çalışmada harici membran entegre edilmiş bir JLMBR'de kağıt sanayi atıksuyunun arıtımını incelenmiştir.

### **3. MATERYAL-METOD**

#### **3.1 Materyal**

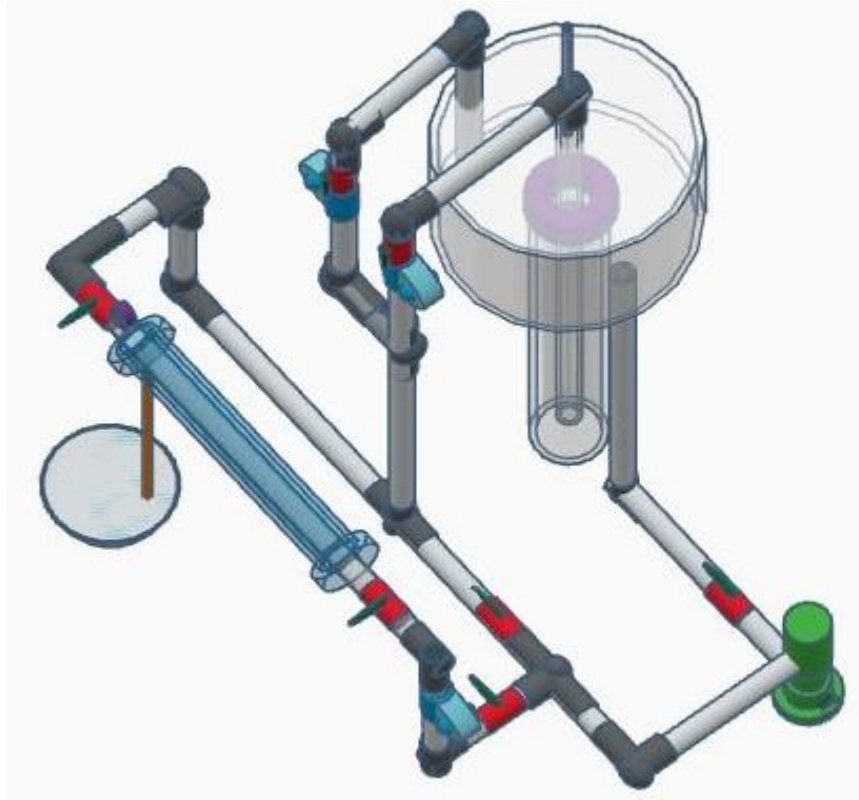
##### **3.1.1 Atıksu**

Bu çalışmada atıksu olarak kağıt endüstrisi atık suyu kullanılmıştır. Atıksu Balıkesir Paşaköy’de 1.265.000 metrekarelik bir alanda kurulu atık kağıt ve geri dönüştürülebilir kağıtlardan kağıt imal eden bir fabrikadan alınmıştır. Varaka Kağıt fabrikası, 2013 yılında kurulmaya başlanmış olup, 2019 yılında deneme üretimi, 2020 yılından başlayarak yılda 200.000 ton kağıt üretimi gerçekleştirmektedir. Fabrika, %100 atık kağıt kullanarak fluting kağıt, liner kağıt ve torba kraft kağıt olmak üzere üç farklı ürün üretmektedir.

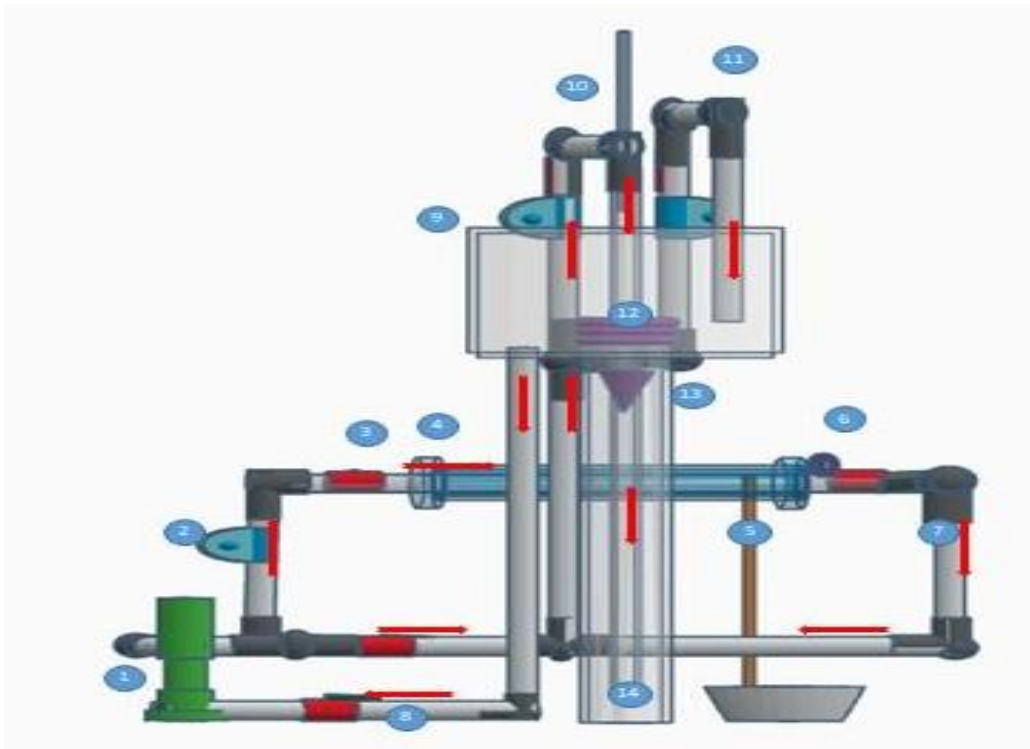
Üretim sonunda prosesten çıkan atık sular, işletme içerisinde yer alan fiziksel ve kimyasal arıtma arkasından biyolojik arıtma birimlerinden meydana gelen kapasitesi yaklaşık 9400 m<sup>3</sup>/gün olan arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra bir akarsuya deşarj edilmektedir.

##### **3.1.2 Deney Sistemi**

Çalışmada kullanılan reaktör dizaynı ~14L sıvı hacime sahip şeffaf bir materyal olan akrilik malzemeden imal edilmiştir. Jet loop reaktör ve draft tüpü silindirik olarak tasarlanmıştır. Sistemde sirkülasyonu sağlamak için ve jet akımı oluşturmak için paslanmaz çelik kafalı yatay milli 0,75 watt güce sahip sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Sisteme su basma hatlarında kullanılan borular ise plastik malzemeden ve basınca dayanıklı olarak seçilmiş ve imalatı yapılmıştır reaktörün en üstüne yerleştirilen püskürtme başlığı ise teflon malzemeden üretilmiştir. Püskürtme başlığını merkezleyen hava hattı ise paslanmaz çelik boru ile oluşturulmuştur. Deney sisteminde debiler ultrasonik debimetre ile ölçülmektedir. Debi ve basınç ayarlamaları ise elektromanyetik ve oransal vanalar ile yapılmıştır. Sistemde pompalardan kaynaklanan kavitasyondan dolayı sıcaklık artışı gözlenmektedir. Bunu kontrol altında tutmak ve sabit sıcaklıkta çalışabilmek için ısı dönüştürücü kullanılmıştır. Sistemin 3 boyutlu şekli Şekil 3.1’de, JLBMR sisteminin akış diyagramı Şekil 3.2’de yer almaktadır.



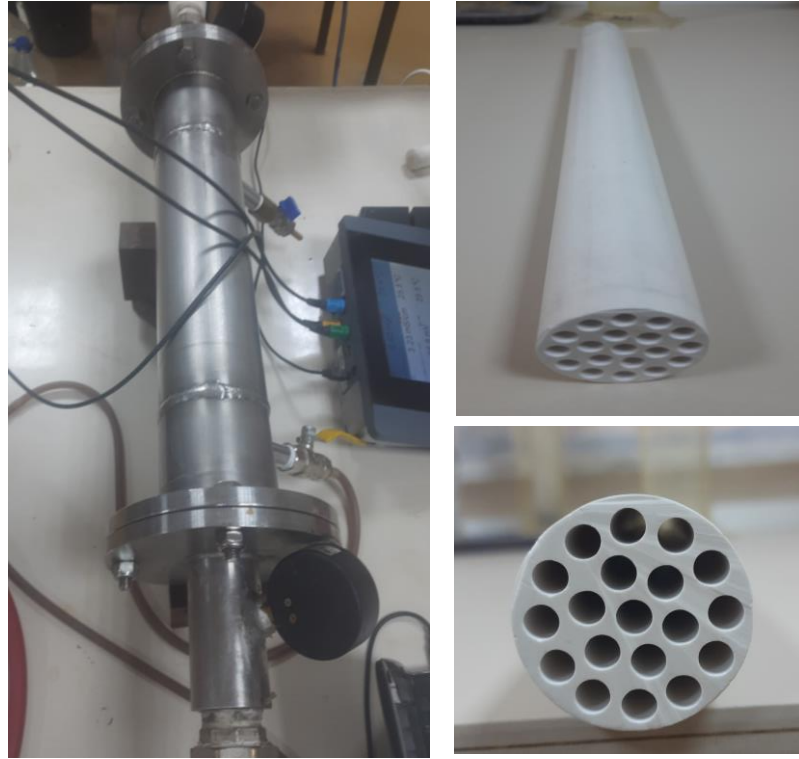
Şekil 3.1: Deneysel sistemin 3 boyutlu gösterimi



Şekil 3.2: JLMBR sistemi ve akış diyagramı (1:pompa, 2:debimetre, 3:vana, 4:seramik membran, 5: membrandan çıkan süzöntü suyu, 6: basınç ölçer, 7: membrandan çıkan konsantre suyu, 8:emme yapılan hat, 9: degazifikasyon tankı, 10: reaktör besleme yapılan hat, 11:by-pass hattı, 12: soğutucu, 13: püskürtme başlığı (nozzle) 14: çarpma levhası)

### 3.1.3 Kullanılan Membran Ünitesi

Çalışmada membranlar jiangsu jiuwu hitech firmasının 41 mm dış çapa sahip 19 kanallı 50 cm uzunluğunda 0.17907 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip tübüler seramik membranlar kullanılmıştır. Seramik membranların por çapı 0,6 µm olarak seçilmiştir. Membranlar paslanmaz çelikten üretilen kılıflar içerisinde kullanılmıştır. Membranlar için çapraz akış ve membran basıncı sistem için kullanılan sirkülasyon pompası ile sağlanmıştır. Paslanmaz çelik housing içerisinde yerleştirilerek sirkülasyon pompası sayesinde membran ünitesinde istenen membran basıncının yanı sıra çapraz akış hızı da sağlanmıştır. Membran ünitesinin retantete akımı JLB için jet akımı oluşturmakta kullanılmaktadır. Çapraz akış hızının; hesaplamasında suyun debisi ile akımın geçtiği tüplerin dik alanından hesaplanmıştır. Sistem üzerindeki vanaların pozisyonları ayarlanarak gereken çapraz akış hızları istenen seviyelere getirilirken sistem için gerekli transmembran basınçlarında işletilmiştir. Kullanılan membran ve paslanmaz çelik kılıf şekil 3.3 te verilmiştir.



Şekil 3.3: Çelikten imal edilen membran kılıfı ve kullanılan membran

## 3.2 Metod

### 3.2.1 pH Ölçümü

Alınan atık suyun ve reaktörün içeriğinin pH değerleri çoklu parametre ölçebilen WTW 9430 marka model multiparameter ile ölçülmüştür.

### **3.2.2 İletkenlik Ölçümü**

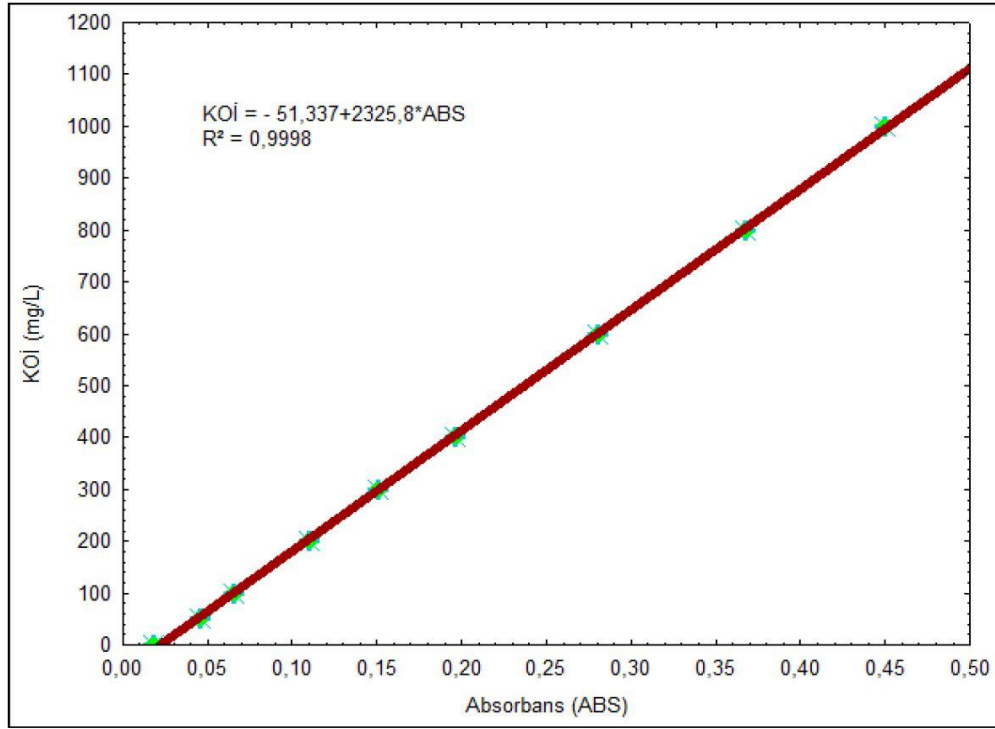
Atık suyun iletkenlik ölçümü çoklu parametre ölçebilen WTW Multi 9430 marka model cihaz ile ölçülmüştür.

### **3.2.3 Renk Ölçümü**

Renk ölçümü Lovibond marka Multi Direct model dalga boyu 420-470 nm olan cihaz kullanılarak yapılmıştır.

### **3.2.4 (KOİ) Kimyasal Oksijen İhtiyacı Analizi**

KOİ ölçümü, standart metodlara uygun olan kalorimetrik bir yöntemle gerçekleştirildi. KOİ ölçümünde kullanılan çözeltiler laboratuarda hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 148 derecede termoreaktörde 120 dakika boyunca ısıtılmıştır. Termoreaktörden alınan numuneler, 30 dakika süreyle soğumaya bırakılarak oda sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. Soğuyan numunelerin absorbens değerleri, 600 nm dalga boyunda (WTW Spectroflex 6600) marka model spektrofotometrede ölçülmüştür. Elde edilen absorbens sonuçları kullanılarak Şekil 3.4'te yer alan kalibrasyon grafiği çizilmiştir. Kalibrasyon eğrisi cihazın hafızasında kayıtlıdır. İlk olarak stok çözeltisi kullanılarak hazırlanan numuneler ile absorbensler okunmuştur. Elde edilen kalibrasyon eğrisinin denklemi şekil 3.4'te gösterilmektedir. Yaklaşık 800 mg/L KOİ değerlerine kadar direkt ölçüm yapılabilmesine karşın daha yüksek değerlerde atıksular için gerekli seyreltmeler yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.4:** KOİ ölçümlerinde kullanılan kalibrasyon grafiği

### 3.2.5 (BOİ) Biyolojik Oksijen İhtiyacı Analizi

Standart metotlardakine uygun olarak BOİ ölçümleri, 6 şişeli dijital BOİ metreden faydalanılarak yapılmıştır. BOİ, organik maddelerin oksijen tüketimini ölçerek suyun kirlilik seviyesini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır.

### 3.2.6 Askıda Katı Madde (AKM) Ölçülmesi

AKM (Askıda Katı Madde) ölçümleri, standart metotlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, glass-fiber filtreler ve vakum pompası kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, su içerisinde askıda bulunan katı maddelerin miktarını belirlemede yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.

### 3.2.7 Transmembran Basıncı (TMP)

Membran filtrenin transmembran basıncı, membranın kirleticilerle kirlenme oranını, farklı ekonomik ömrü ve tıkanma riskini etkileyen önemli bir parametredir. Membran filtrasyonunda; sisteme uygulanan basınç, membran içinden süzlebilen sıvının miktarıyla doğru orantılıdır. Aynı zamanda, membranın üzerinde meydana gelen dirençler ve sıvının viskozite özelliğiyle ters orantıya sahiptir.

Şekil 3.1’de yeralan deneysel sistem içerisinde membrandan sirkülasyon pompasından faydalanılarak sıvı akışı sağlanmaktadır. Modülün giriş ile çıkışında yer alan iki bağımsız vana, farklı seviyelere ayarlanarak istenen basınç değerleri arasında çalışmasını sağlamıştır. Bu şekilde uygulanan basınç farklılıkları, akı miktarını belirleyerek basıncın membran akışı üzerindeki etkisini anlamak amacıyla kullanılmıştır.

### **3.2.8 Çapraz Akış Hızı ( $V_c$ )**

Çapraz akış hızı membrana sağlanan debinin dik olan membran yüzey alanına (membran kanallarının dik kesit alanları toplamı) bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Besleme çözeltisinin membrana teğet olarak uygulanmasıyla oluşturulan teğetsel hızdır. Membrandan süzülen sıvı miktarını etkileyen önemli bir faktör kek tabakasıdır. Kek tabakasında oluşabilen bozulma, akıdaki miktarı etkiler buda filtrasyon performansını değiştirir. Çapraz akış hızındaki artış kek tabakasını meydana getiren maddeleri uzaklaştırabilmektedir. Bu sayede kirleticilerin membran üzerinde daha az birikmesi ayrıca tıkanma miktarı azalır. Çapraz akış hızının membrandan süzülen akıma etkisi, sirkülasyon amaçlı kullanılan pompanın debilerinin değiştirilmesi ile yapılan çalışmalarla detaylı bir şekilde incelenmiştir [50].

### **3.2.9 Membran Akısı ( $J$ )**

Membran filtrasyonu sistemlerinde önemli bir parametre olan akı membran içinden geçen sıvı miktarını ifade eder. Membran akısının en yaygın ifadesi  $L/m^2.saat$  olan parametredir.. Buda membrandan geçen (süzülen) suyun membran yüzey alanına bölünmesi ile hesaplanan değerdir. Membrandan geçen su miktarının doğru bir şekilde ölçülmesi, membranın suyu geçirme kapasitesini ve ayrılması istenen maddelerin tutulma performansını değerlendirmek açısından kritiktir. Bu nedenle akı sürekli olarak ölçülmeli ve diğer parametrelerle olan ilişkisi belirlenmelidir.

Membran akısını ölçmek için virgül sonrası 4 basamak hassasiyetindeki hassas terazi kullanılmıştır. Terazi üzerine yerleştirilen kap ile, membrandan süzülen suyu toplamış ve oluşan ağırlıktaki değişim otomatikman bilgisayar tarafından kaydedilmiştir. Toplanan verilerden su akıları hesaplanmıştır. Akı, tanım olarak birim zamanda meydana gelen ağırlıktaki değişimin süzüntü suyunun yoğunluğuna oranıyla hesaplanmıştır.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Kullanılan Atık Suyun Özellikleri

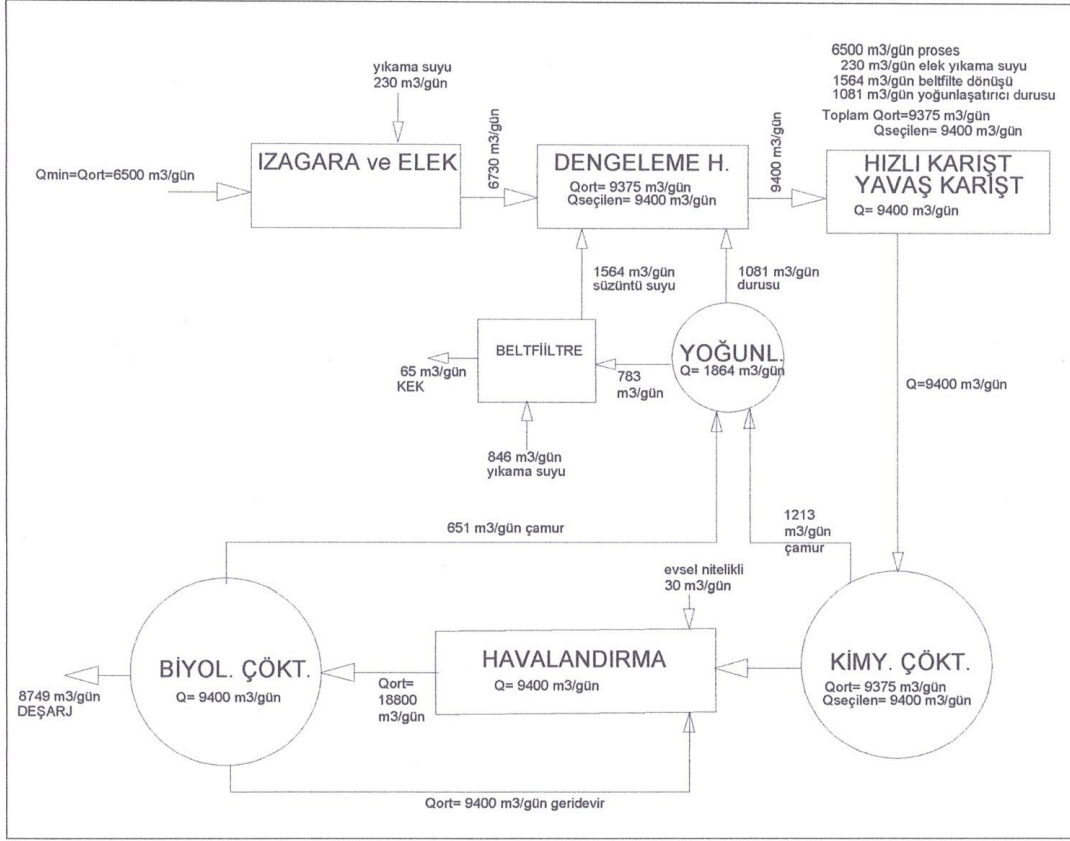
Çalışmada Varaka Kağıt Fabrikasının atıksu arıtma tesisinin fiziksel arıtma sonrasında alınan atıksu kullanılmıştır. Mevcut arıtma tesisinde atıksular önce kaba ızgara ve ince ızgara sonrası döner tambur elekten geçirilerek fiziksel arıtımı sağlanmaktadır. Bu adımlar sonrasında dengeleme havuzuna alınmaktadır. Buradan ise kimyasal arıtıma iletilmektedir. Mevcut atıksu arıtma tesisi akım şeması Şekil 4.1’de verilmektedir. Dengeleme sonrası atıksuya koagülant ve flokülant eklenerek önce hızlı sonra ise yavaş karıştırma uygulanıp kimyasal çöktürme havuzuna verilmektedir. Çöktürmeden savaklanan sular ise biyolojik arıtma ünitesine alınmakta ve uzun havalandırma prosesi olarak dizayn edilen A.Ç sisteminde arıtılarak deşarj edilmektedir. Atık suyun karakterizasyonu Tablo 4.1’de yer almaktadır. Toplam KOİ ölçümleri alınan her atık su için yapılmıştır. Çözünmüş KOİ, AKM, pH, sıcaklık, BOİ ölçüm ve analizleri de periyodik olarak atıksu alındıkça yapılmıştır. Alınan kağıt atık suyunun KOİ miktarının yüksek ve geniş bir bantta değiştiği gözlemlenmiştir. Geri dönüştürülebilir kağıt kullanılarak kağıt üretimi yapan fabrikada, üretim sürecinden kaynaklanan atık su, esasen flotasyon ünitelerinden geçirilerek tekrar kağıt malzeme geri kazanımı yapılmaktadır.

**Tablo.4.1:** JLBMR Deneylerinde Kullanılan Atıksuyun Karakterizasyon Değerleri

Parametre	Birim	Değer Aralığı
KOİ	mg/L	3865-8962
pH		6,3-6,9
Azot	mg/L	0-0,5
İletkenlik	µS/cm	1832-2157
Çözünmüş Oksijen	mg/L	0,01-0,5
BOİ <sub>5</sub>	mg/L	508-2850
AKM	mg/L	123-2233
P (PO <sub>4</sub> )	mg/L	0-0,7
Sıcaklık	°C	20-25

Alınan atıksuda azot miktarının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Literatürde de kağıt sanayi atık sularının N konsantrasyonlarının oldukça düşük olduğu ifade edilmektedir





**Şekil 4.1:** Varaka AAT akış şeması.

Atıksuda ölçülen iletkenlik değerleri 1832-2157  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aralığında olduğu,  $\text{PO}_4$  olarak P ölçülmüş ve değerleri 0-0,7 mg/L aralığında olduğu, pH konsantrasyonlarının 6,3-6,9 arasında ölçülmüştür.

Kağıt üretim prosesinden yaklaşık 40 °C civarında atıksu arıtma tesisine verilmektedir. Bu sıcaklık değerleri özellikle  $\text{CO}$  çözünürlüğünün düşmesine ve oksijen kütle transferinin yavaş olmasına neden olmaktadır.

Atıksuda eksik olan N ve P'lu maddeler biyolojik arıtmı güçleştirmektedir. Bu durum mevcut arıtma tesisinde de büyük bir sorun olarak gözlenmektedir.

## 4.2 JLBMR Sisteminin Özellikleri

Deneylerde kullanılan JLBMR sistemi, yüksek hız ve karışımda çalışan kompakt bir reaktöre harici membran eklenerek kurulan sistemin gösterimi Şekil 4.2'de verilmiştir. Sisteme atıksu beslemesi peristatik pompa yardımı ile yapılmıştır. Sistem kesikli ve sürekli

beslemeli olarak da çalıştırılmıştır. Harici olarak uygulanan UF membran sisteminin retantate akımı Jet loop reaktöre giriş akımı olarak ayarlanmıştır. Böylece tek bir pompa ile membran ünitesi ile JLR çalıştırılmıştır. Bir başka ifade ile UF membran sisteminin retante akımı ile reaktör içerisindeki sirkülasyon ve çevrim sağlanmıştır. Yapılan bu dizayn ve işletme şekli enerji tasarrufu sağlaması açısından oldukça önemli bir yaklaşımdır.

Öte yandan UF membran sisteminin giriş ve çıkışında kullanılan vanalar yardımıyla membran sisteminin basınç ve çapraz akış hızlarının ayarlamaya yararken; diğer taraftan da bu iki vana kapalı konuma getirilerek membran ünitesi izole edilebilmektedir. Bu sayede membranın geri yıkaması temizlenmesi sisteme etki etmeden yapılabilmektedir.

Geri yıkama membran değişimi sürecinde membran by-pass edilerek JLB tek başına çalıştırılmaya devam etmiştir. Çalışmanın başlangıcında kullanılan Grundfos 1,2 kW pompa sayesinde oluşturulan jet ile dışarıdan herhangi bir hava sağlayıcı olmadan oksijen sağlanarak başlanmıştır. Bu süreçte sistem içerisinde ÇO konsantrasyonları 3,5-4 mg/L civarında tutulabilmektedir. Beslemelerin değiştiği veya KOİ konsantrasyonları arttığında ÇO değerleri 1-1,5 mg/L ye düşmekte ise de kısa sürede 2,5-3,0 mg/L çıktığı görülmüştür. Bununla birlikte sisteme çok yüksek KOİ yüklemelerinde ise ÇO değerlerinin 0,5 mg/L ve daha düşük değerlerine inmesine karşın toparlandığı gözlenmiştir.

Yüksek KOİ yüklemelerinde ÇO değerindeki düşüş sistemin çıkışında olumsuzluk olarak gözlenmemiştir. Düşük ÇO değerlerinde dahi sisteme çok yüksek hızda oksijen temininin sağlanabilmesi bu sistemin en önemli özelliklerinden biri olması stabil çıkış değerlerinin elde edilmesine imkan sağlamıştır.

Çalışma sürecinde pompa arızası nedeniyle daha düşük güçte bir pompa kullanılmak zorunda kalmıştır. Pompa gücünün düşük olması durumunda enjektör moda ile oksijen temini yeterli olmadığından sisteme kompresör ile hava temin edilerek enjektör modunda çalıştırılmıştır. Çalışma süresince sistemdeki vanalar kullanılarak sistem 1 bar da tutulmuş ve membrandan düzenli olarak akı alınmıştır. Akı değerlerinin hesaplanması için A&D Marka GX-8K model terazi kullanılarak tartım işlemleri yapılmış veriler alındıktan sonra akı değerleri hesaplanmıştır.



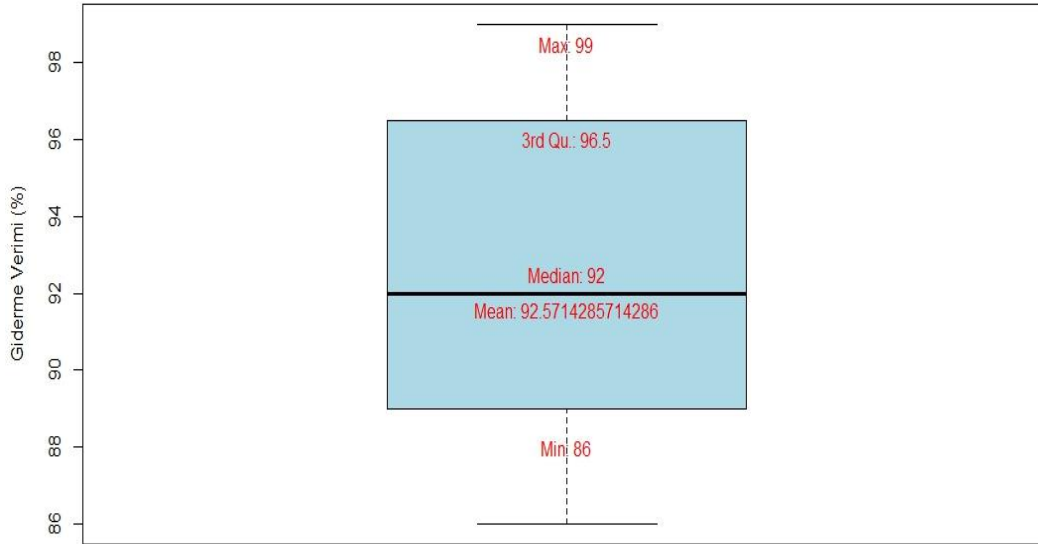
**Şekil 4.2:** Deneysel sistem (JLMBR) fotoğrafları

### **4.3 Varaka Kağıt Fabrikası Atıksularının (JLMBR) Jet Loop Membran Biyoreaktör İle Arıtımı**

#### **4.3.1 JLMBR Sisteminin Arıtıma hazırlanması**

Atıksuların biyolojik metotlar kullanılarak arıtılmasında mikroorganizmalar rol almaktadır. Mikroorganizmaların deney sisteminin çevre koşullarına uyum sağlaması, arıtma için önemli bir etkidir. Buda belli süreler alabilir. JLMBR sistemlerinde yüksek kesme kuvvetinin bulunduğu akım şartları küçük flok yapısına sahip biyo floklara sebep olmaktadır. Aynı zamanda mikrobiyal kütlelerin yüksek oranda kuvvetli floklarda oluştuğu bilinmektedir. Bu özel akım şartları ve ortama mikroorganizmaların uyum sağlaması uzun zaman alabilmektedir. Aktif çamurun daha kolay ve hızlı adaptasyonu sağlaması amacıyla reaktöre Varaka Kağıt Fabrikası A.A.T havalandırma havuzu ünitesinden alınmıştır. Dolayısıyla alınan aktif çamur direk JLB içerisine konularak çalışma başlamıştır. Alınan aktif çamurun AKM konsantrasyonu 2332 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu süreçte atıksu kesikli olarak beslenmiştir. Atıksu beslemesi ile birlikte elde edilen KOİ giderme verimi

%80 - %90 arasında değişmekte iken reaktör içeriğinin AKM değeri 1132 mg/L'ye kadar düştüğü gözlenmiştir. Giderek azalan çamur konsantrasyonu ve aktif çamur kaybı sonrasında Bigadiç Kentsel A.A.T havalandırma havuzu ünitesinden elde edilen aktif çamur reaktöre aşı olarak beslenmiştir. Kağıt sanayi atıksularında nütrient madde oldukça düşük miktarda ölçülmüştür. Gelen atıksudaki N konsantrasyonları TN olarak 0,5 mg/L civarında tespit edilmiştir. Bu değerler mikro organizmaların üremelerini sınırlayan değerlerde olarak değerlendirilmiştir. Su aşamada bir mezbahadan kan alınarak sisteme beslemeler yapılmıştır. Kan KOİ değeri 80-200 g/L arasında değişen yüksek nütrient (N, P) içeriği olan bir maddedir. Kanlı atıksuların beslenmesi sisteme aşırı köpürme olarak yansımıştır. Bu süreçte reaktöre beslenen atıksuyun yükleme değerleri 2,8-5,8 kgKOİ/m<sup>3</sup>.gün arasında değişirken KOİ giderme verimleri %86-99 arasında elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar şekil 4.3'de verilmektedir.



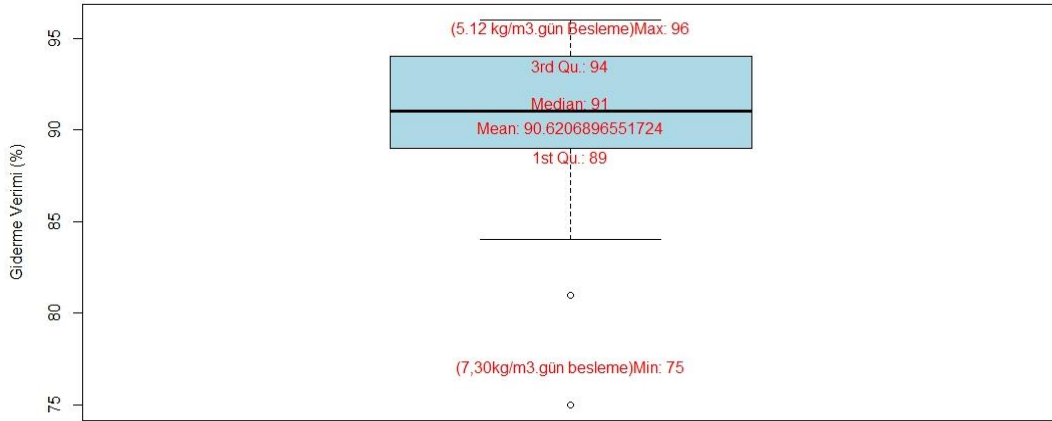
**şekil 4.3:** Haziran dönemi KOİ giderim verimi

Çalışmanın bu aşamasında Varaka Kağıt Fabrikası atıksuyunun direkt beslenmesi durumunda AKM'nin yine düştüğü gözlenmiştir.

#### 4.3.2 JLMBR Sisteminde KOİ Gideriminin İncelemesi

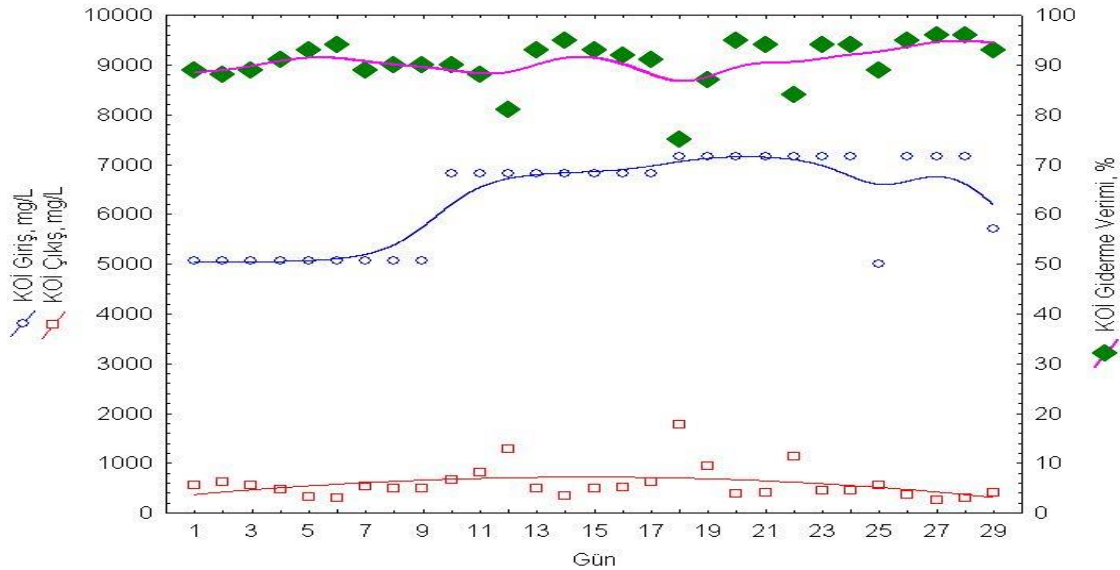
Çalışmanın bu aşamasında Varaka Kağıt Fabrikasından alınan kirlilik yükü 5067-7167 mg/L KOİ değerlerinde atıksu 24 saat boyunca beslemeye başlamıştır. Gün boyunca çalışan sistemden sürekli aynı saatlerde analizler yapılarak değerlendirilmiştir. Özel olarak saat 10-11 arası membran çıkışından numune alınarak analizler yapılmıştır. 1 aylık süreçte (Kasım

2023) sistemden %75-96 oranında KOİ giderme verimi elde edilirken organik yükleme hızı 1,81-7,30 kg/m<sup>3</sup>.gün arasında değişmiştir. Bu sonuçlar Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4: Kasım ayı (JLMBR) KOİ giderim verimi

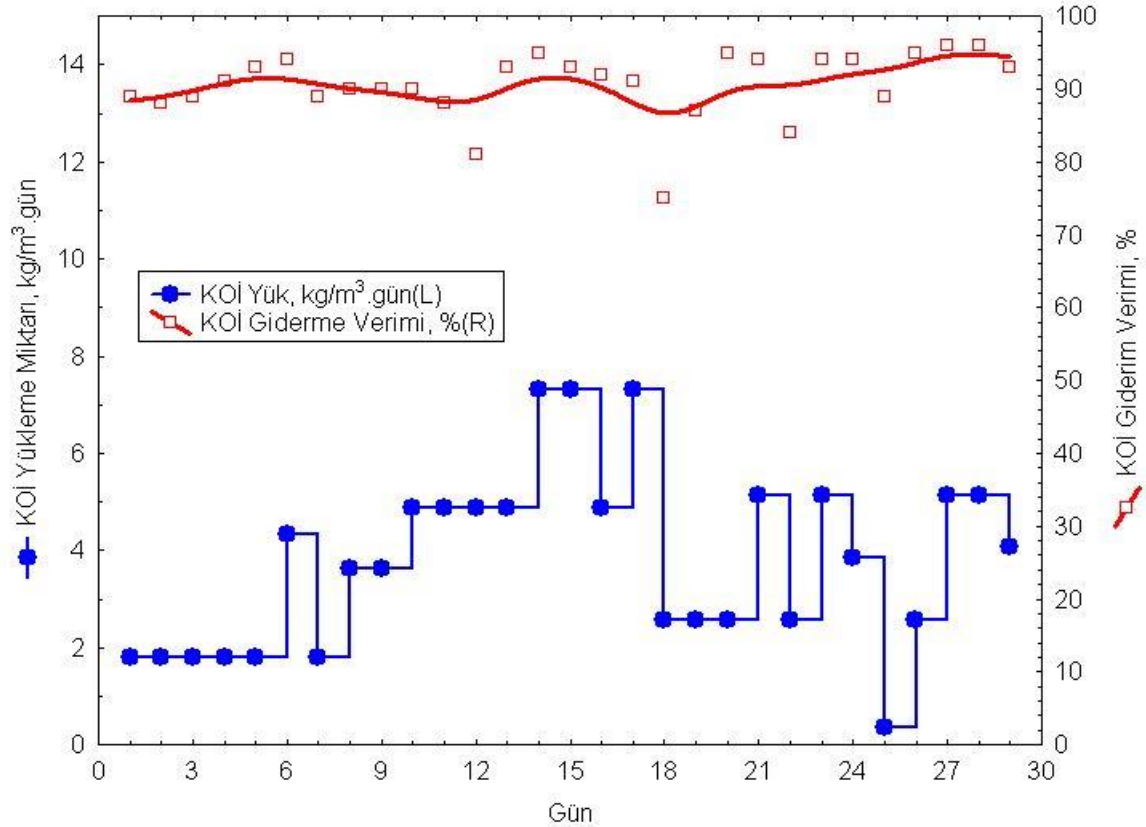
Sistemden elde edilen KOİ giderme verimi, KOİ giriş ve KOİ çıkış arasındaki ilişki Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Sistemde organik yükleme miktarlarında önemli değişimlerin olmasına rağmen çıkış değerlerinin stabil olduğu gözlemiştir. Şekil 4.5'den anlaşılacağı üzere giriş KOİ değerlerinde önemli değişimler olmasına karşın arıtma verimleri aşırı bir değişime uğramamaktadır. Sistemde yeni atıksu besleme dönemlerinde ve özellikle atıksu konsantrasyonlarında artış olduğu dönemlerde ÇO konsantrasyonlarında düşüş olduğu gözlenmesine karşın sistem kısa sürede toparlanmış ve stabil performans gözlenmiştir.



Şekil 4.5: Kasım ayı (JLMBR) giriş çıkış KOİ ve KOİ giderim verimi

### 4.3.3 Organik Yükleme Hızı ile KOİ Giderimi Etkisinin İncelenmesi

Gelen atıksudaki KOİ değerleri önemli değişiklikler göstermiştir. Sisteme beslenen organik madde yükleme hızı gelen KOİ konsantrasyonu ile besleme debisinin çarpımı reaktör hacmine bölünerek hesaplanmıştır. Dolayısıyla alınan atıksu konsantrasyonu değiştiğçe besleme yükü de değişmiştir. Çalışmada sisteme besleme yükleri ile verimler arasındaki ilişki ise Şekil 4.6’da verilmektedir.

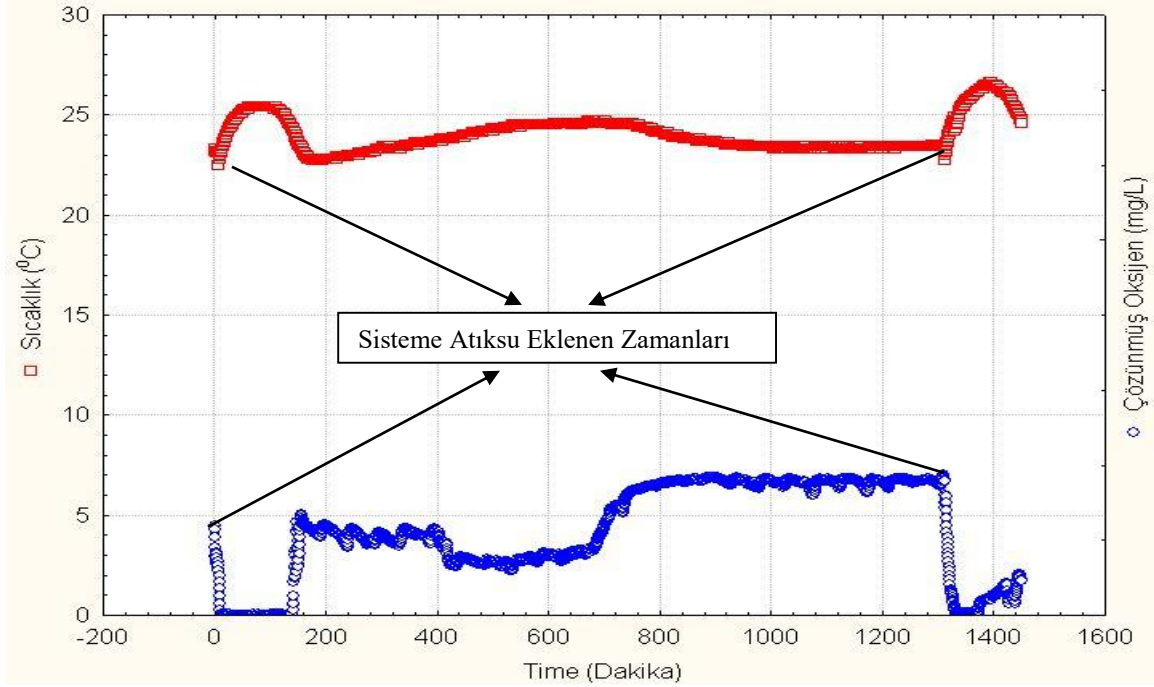


Şekil 4.6: Kasım ayı (JLMBR) KOİ giderim verimi ile organik yükleme hızı

Organik yükleme hızları Kasım ayı çalışmasında 1,81-7,30 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün değerleri arasında olduğu hesaplanmıştır. Yükleme hızları yaklaşık 4 kat artmasına karşın arıtma verimlerinde önemli değişimler gözlenmemiştir. Bu JLMBR sisteminin önemli bir özelliğidir. Reaktör içeriğinin çok iyi karışımı yüksek oksijen temini ve oluşan küçük ve son derece aktif flok yapısı bu yüksek performansın elde edilmesinde önemli bir etkidir.

Beslemenin reaktör içeriğindeki ÇO konsantrasyonları ile sıcaklık değerleri arasındaki ilişki 1 günlük bir takip çalışması ile belirlenmiş ve Şekil 4.7’de verilmiştir. Grafikten görüleceği gibi yüksek KOİ içeren atıksu eklenmesiyle ÇO değerlerinde ani düşmelerin gözlenmesine

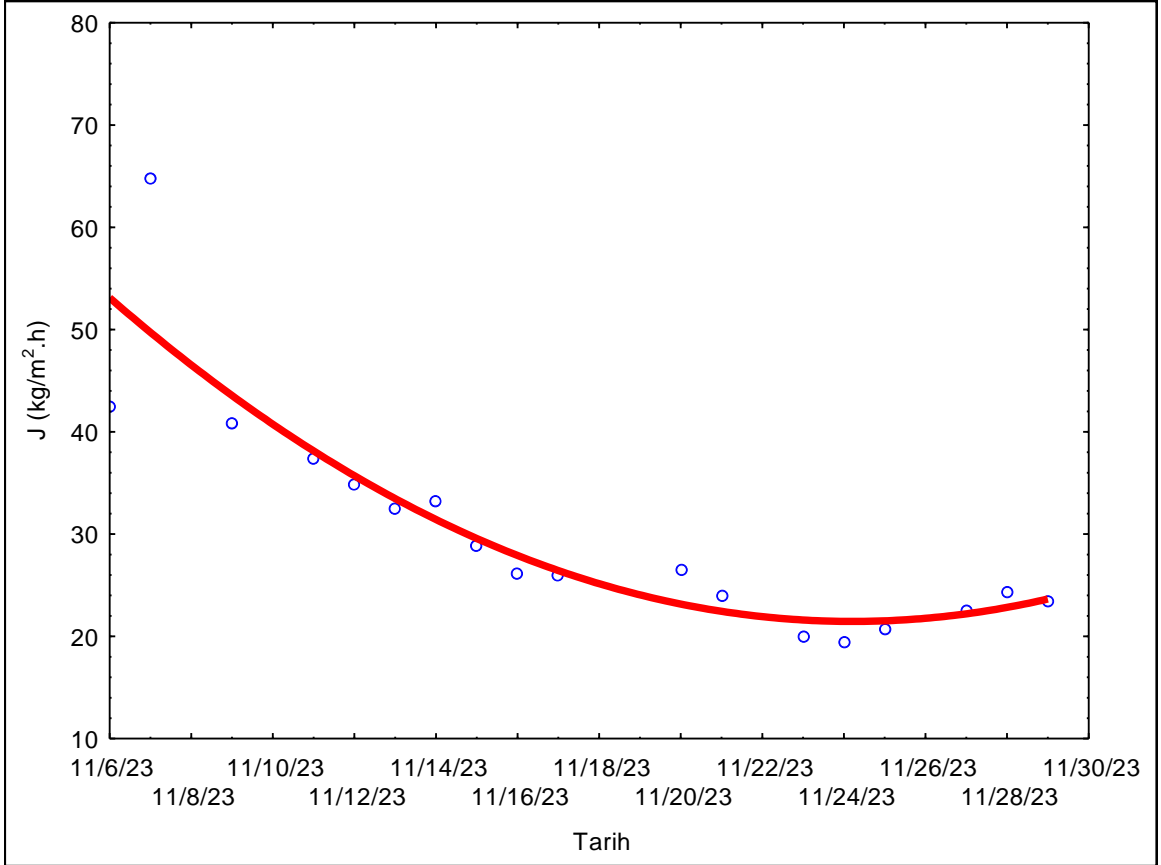
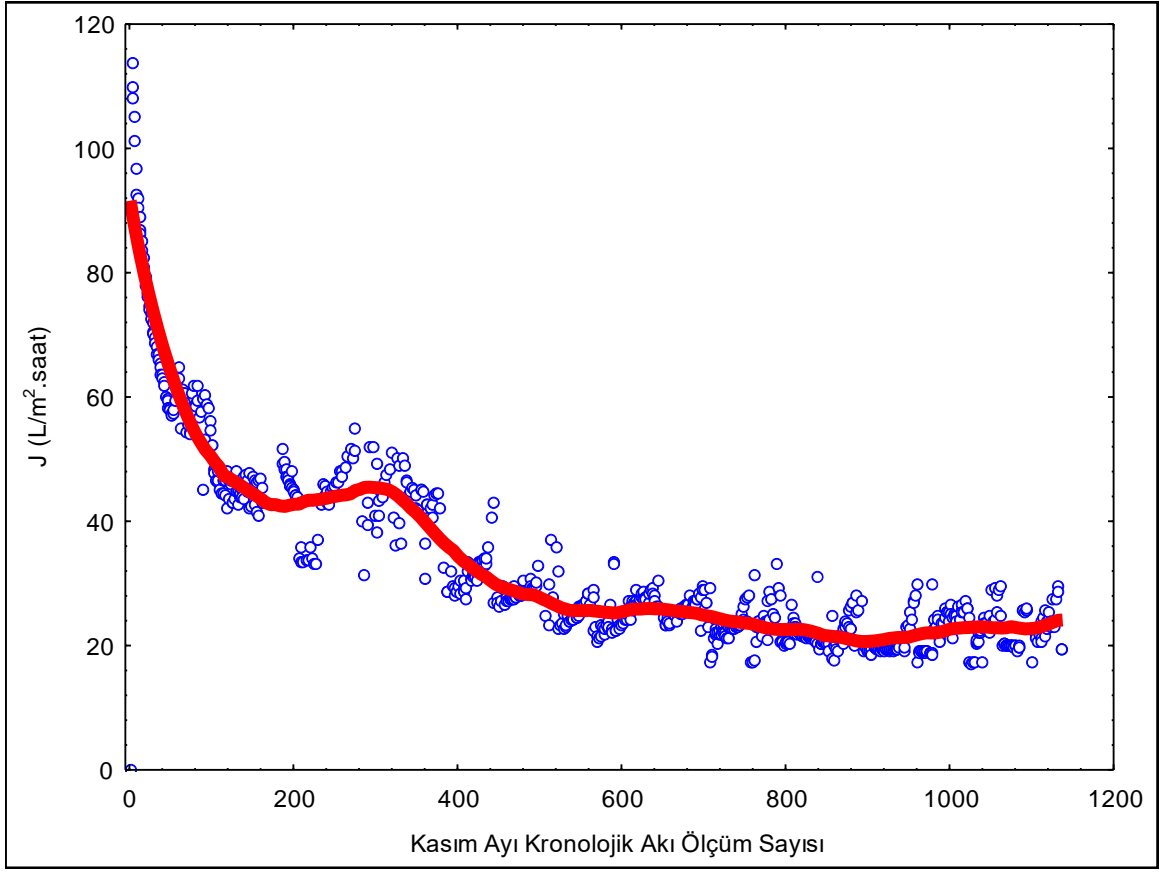
neden olmuştur. Çalışma sürecinde atıksu oda sıcaklığında tutulduğundan reaktör içeriğinde sıcaklık değişimine etkisi fazla olmamıştır. JLMBR sistemlerinin çok kısa sürede ÇO değerlerini yükselttiği gözlenmektedir. Sistem bu süreçte enjektör modunda çalıştırılmaktadır. ÇO konsantrasyonlarının çok uzun süreler 0,5 mg/L'nin altında kalması durumunda (Yüksek konsantrasyonda atıksu beslendiği durumlarda) sistemin sirkülasyon debisi artırılarak sisteme giren jet hızı artırılmış ve buna bağlı olarak hava emme miktarı artırılmış ve ÇO konsantrasyonları yükseltilmiştir.



Şekil 4.7: Çözünmüş oksijen ile sıcaklığın zamansal değişimi

#### 4.3.4 JLMBR Sisteminde Membran Özellikleri

Seramik ultra filtrasyon sağlayan çapraz akışlı membranların arıtma sektöründe kullanımı yaygınlaşmasında uzun ömürlü olmaları, kolay temizlenebilmeleri, üretim maliyetlerinin ucuzlamış olmasının yanı sıra yüksek sıcaklık ve kimyasallara karşı dayanımın etkisi büyüktür. Kasım ayı çalışmasında sistem kesikli beslenmiş besleme miktarı kadar membrandan çıkış alınmıştır. Çalışmada jiang sujiuwu hitech firmasının 41 mm dış çapa sahip 19 kanallı 50 cm uzunluğunda 0,017907 m<sup>2</sup> yüzey alanına olan çapraza akışlı ultrafiltrasyon sağlayan seramik membran kullanılmıştır. Şekil 4.8'de Kasım ayında günlük olarak membrandan elde edilen akının zamanla değişimi görülmektedir.

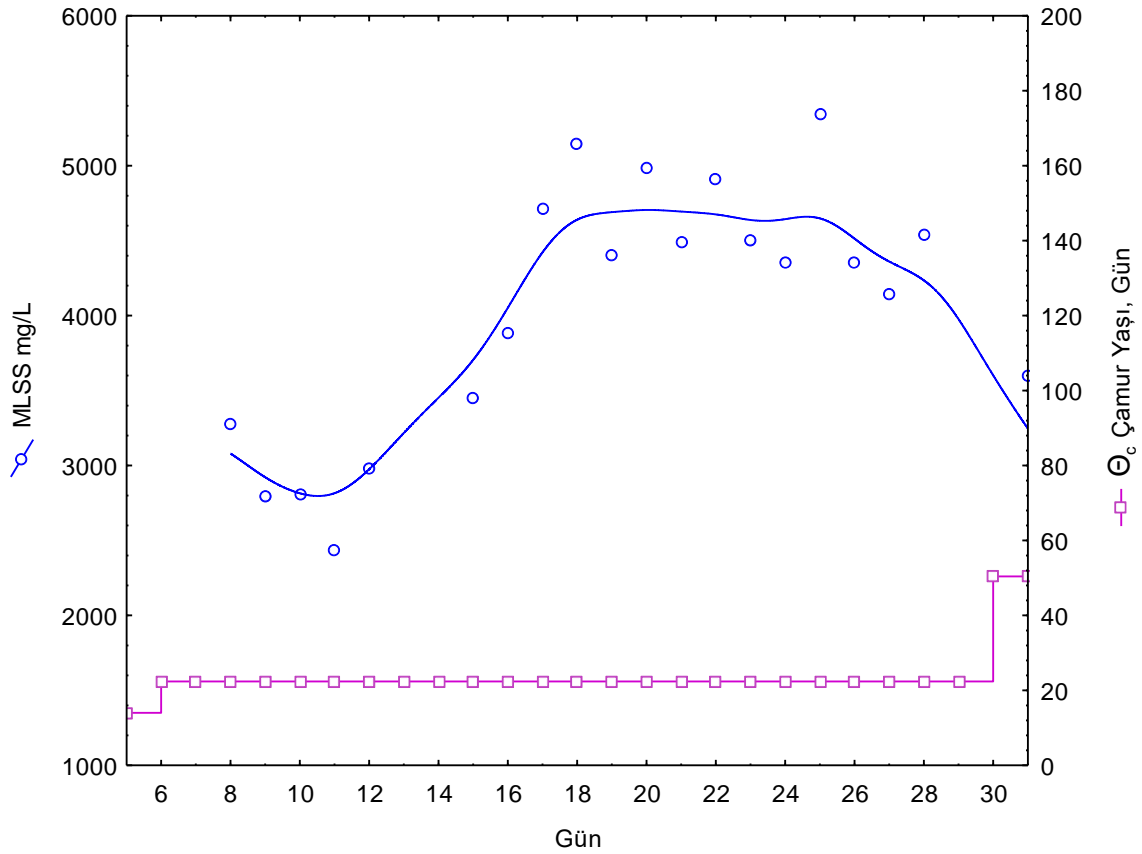


**Şekil 4.8:** Kasım ayı günlük ölçülen membran akı eğrisi



#### 4.3.5 JLMBR Sisteminde MLSS Değerlerinin İncelemesi

Reaktörde tutulan MLSS konsantrasyonlarının zamanla değişimi Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Reaktörde küçük flok yapısında bir aktif çamur oluşmaktadır. Bu aktif çamurun en önemli özelliklerinden biriside çökelme özelliğinin son derece zayıf olması bu nedenle JLR’den sonra çöktürme havuzu kullanımı mümkün görünmemektedir. Membran sistemleri reaktörde çamur tutulmasına imkan sağlamaktadır. Bu süreçte çamur atımı reaktörden yapılarak çamur yaşı değerleri hesaplanmıştır. Çamur yaşı ile MLSS arasındaki ilişki de Şekil 4.9’da görülebilmektedir. Sistem son derece büyük çamur yaşlarında işletilmesine karşın çamur konsantrasyonları çok yükseltilememiştir. Bunun nedeninin sistemde nütrient madde eksikliği ve sınırlayıcı etkisi nedeniyle çamur miktarının artmasına veya üremesine sınırlayıcı etki yapması gösterilebilir.



Şekil 4.9: Kasım ayı günlük MLSS çamur yaşı değişimi.

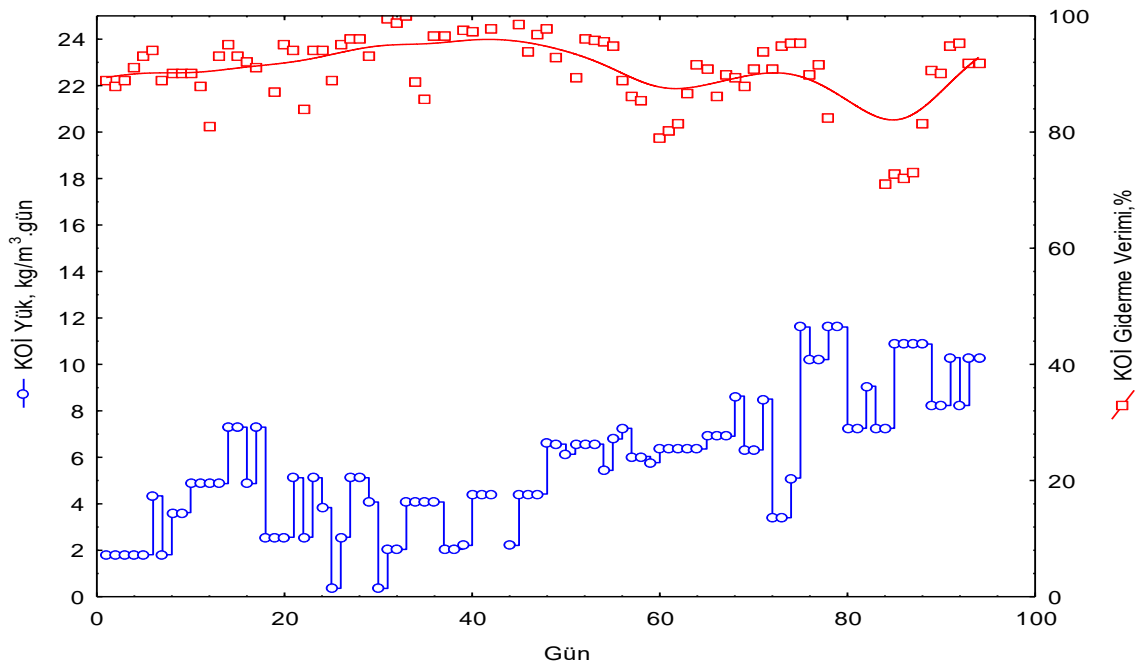
22. günden sonra Azot eksikliğinin olumsuz etkilediği görülmüştür.

#### 4.3.6 Nütrient Madde İlavesinin Etkisi

Kağıt sanayi atıksuları yüksek KOİ içeriğini yanı sıra oldukça düşük nütrient madde içeriğine sahip atıksulardır. Nütrient madde noksanlığı, organik maddenin zor parçalanır özellikte olması mikrobiyal üremeyi oldukça sınırlamaktadır.

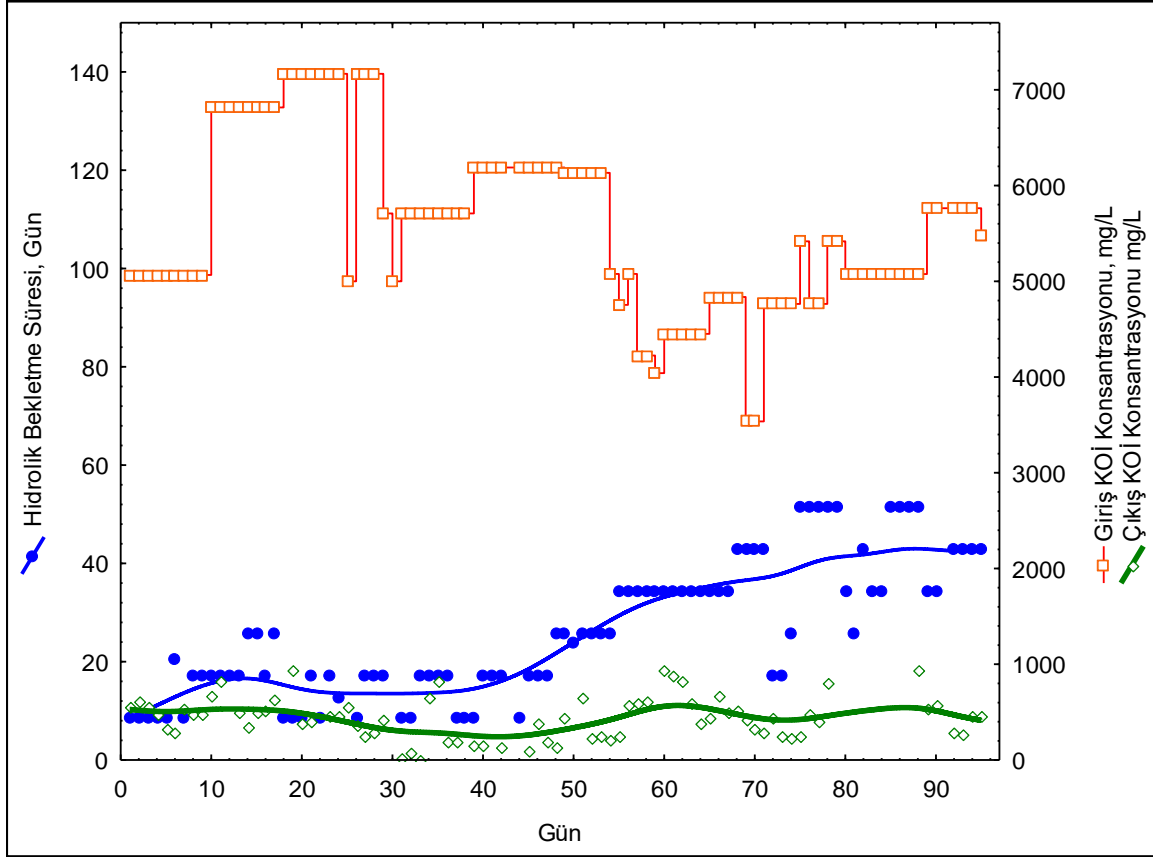
Çalışmada nütrient maddenin etkisi de çalışılmıştır. Biyolojik süreçlerin gerçekleşebilmesi için ortamdaki (KOİ/Azot/Fosfor) C/N/P oranının yaklaşık olarak (95/5/1) oranında (evsel atıksuların arıtıldığı sistemler için) veya yaklaşık değerlerde olması gerekir. Aksi durumda nütrient maddeler büyümeyi sınırlayıcı etki göstererek sistemden çamur kaybına veya çamur çoğalmasının engellenmesine sebep olurlar. Gerçek boyutlu sistemlerde de bu durum gözlenmiş ve rapor edilmiştir. Öte yandan endüstriyel atıksu arıtımında C/N/P değerleri 300/5/1 veya 300/7/1 gibi değerlere kadar işletilebildiği belirtilmektedir [34].

Bir dizi denemenin ardından üre nütrient madde olarak kullanılmıştır. Üre sisteme N'lu madde kaynağı olarak beslenmiştir. Ticari satın alınan üre ile stok çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan stok çözeltisinden gelen atıksu KOİ değerleri ölçülerek yaklaşık 250/5/1 (KOİ/N/P) oranını sağlayacak üre miktarı besleme hattına eklenerek karıştırılmıştır. Üre eklenmesinden sonraki süreçte MLSS konsantrasyonlarında önemli artışlar sağlanmış ve buna karşılık verimlerde artmıştır. Şekil 4.10'da nütrient eklendikten sonraki reaktör performansı ile ilgili veriler gösterilmektedir.



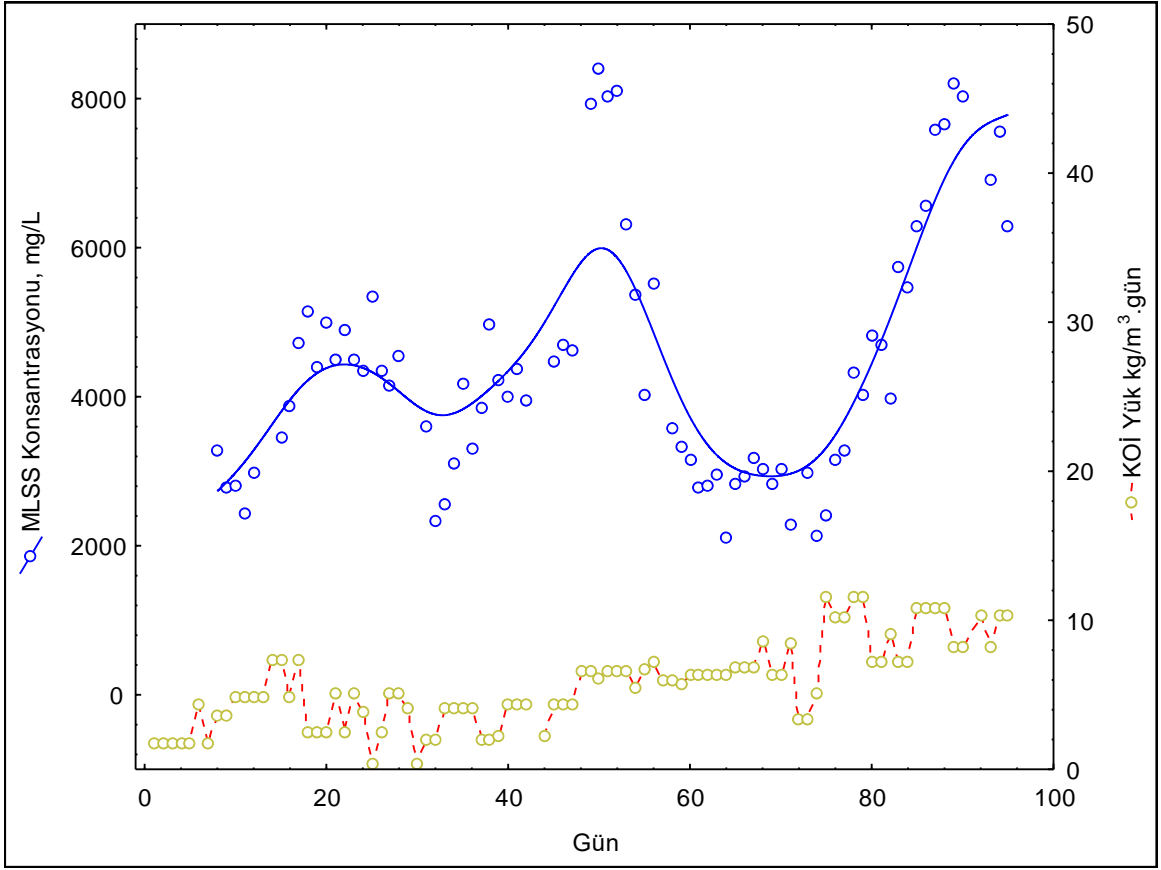
Şekil 4.10: KOİ yükü ile KOİ giderme verimi.

Şekilden de anlaşılacağı üzere nütrient ekleden sonraki süreçte yükleme hızları 12 kgKOİ/m<sup>3</sup>.gün değerine çıkabilmiştir. Nütrient ekleden sonraki süreçte hidrolik bekleme süresi giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonları arasındaki ilişki Şekil 4,11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11: Hidrolik bekleme süresi ile giriş-çıkış KOİ

Görüldüğü üzere yüklemelerle birlikte bekleme süreleri de oldukça düşmektedir. Bu sistemlerde biyo dönüşüm ortamının arttığı ve MLSS değerinin yükselmesine böylece organik madde tüketimin artmasına atfedilebilir. Yükleme hızı ile MLSS konsantrasyonları arasındaki ilişki Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



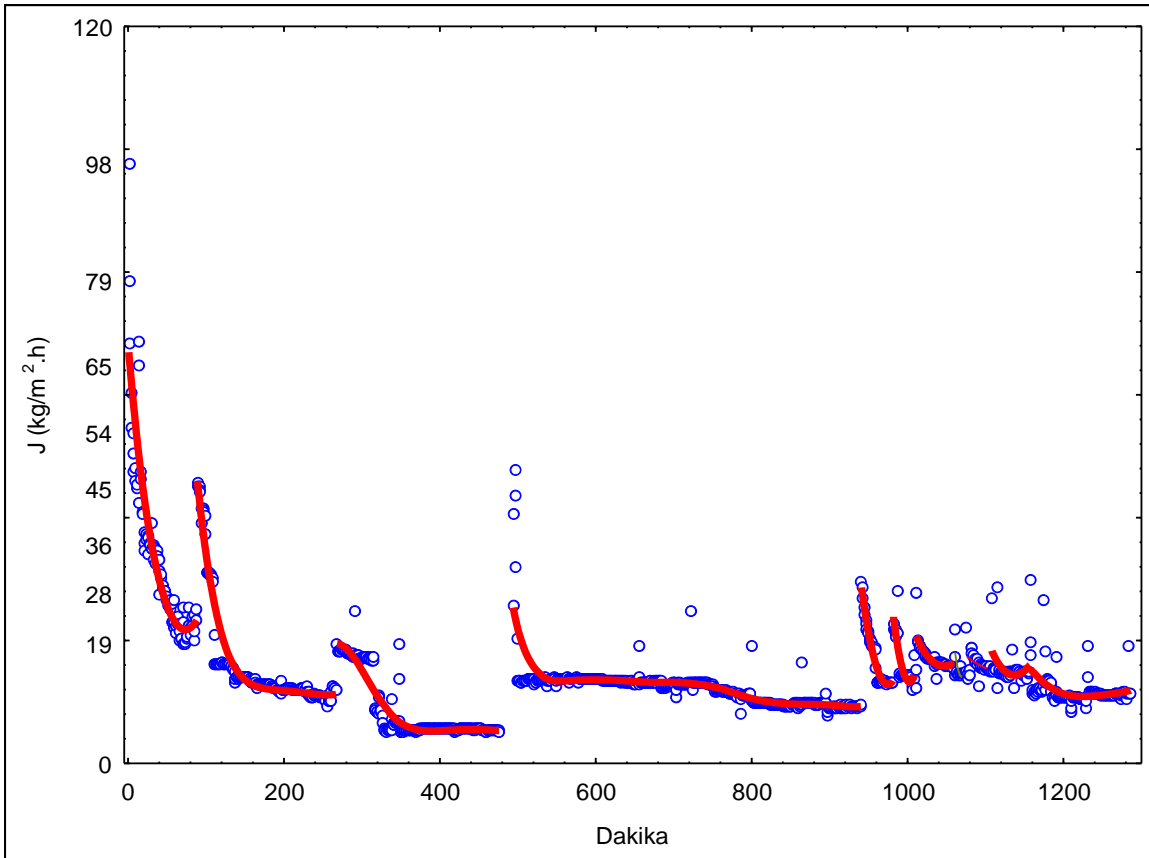
**Şekil 4.12:** MLSS konsantrasyonu KOİ yük

Nütrient madde eklemesinden itibaren sistemde çamur kaybı yaşanmamıştır. MLSS'de önemli miktarda artış gözlenmiştir. MLSS konsantrasyonlarının artışı ve yük değerlerinde gerçekleştirilebilen  $12 \text{ kgKOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$  gibi oldukça önemli artışlarda bile çıkış değerlerinin  $300\text{-}400 \text{ mg/L}$  KOİ'nin altında gerçekleşebilmesi oldukça sevindirici bir durumdur. Özellikle  $12 \text{ kgKOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$  yükleme hızlarına ulaşabilmesi literatüre önemli bir katkı olarak değerlendirilmiştir.

Diğer taraftan MLSS değerlerinin oldukça yükselmesi ve yüklemelerin artırılması sisteme oksijen temin şeklinin değiştirilmesini mecbur kılmıştır. Bu süreçte sisteme enjektör modunda  $\text{O}_2$  temini yeterli sağlanamamıştır. Bunun önemli nedenlerinden birisi de daha düşük güçte pompanın kullanılması zorunda kalınmasıdır. Bu nedenle sisteme dışarıdan hava sağlanarak boru ile jet akışına karıştırılmıştır. Bir başka ifade ile enjektör modunda sistem çalıştırılmıştır.

### 4.3.7 JLMBR Sisteminin Membran Özellikleri

Jet loop reaktörler oldukça küçük floklar üretmektedir. Küçük ve son derece büyük yüzey alanına sahip bu flok yapısı organik maddelerin parçalanma hızını arttırmakta ve yüksek oranda oksijen temini sağlayabilmektedir. Öte yandan kesme kuvvetlerinin büyüklüğü (sirkülasyon hızının büyüklüğü) ve atıksuyun yapısı flok özelliklerinde oldukça etkili olmasının yanı sıra bu flokların çökeltme özelliklerinde de çok etkilidir. Çalışma süresince reaktörde çökeltme özelliği çok zayıf bir aktif çamur üretilmiştir. Bu reaktör içeriğinin (aktif çamurun)  $\text{CHÍ}$  (Çamur hacim indeksi) tespit edilememiştir. Tüm bu sebeplerden dolayı JLR'lerin performansını ortaya çıkaran üniteler membran üniteleridir. Çalışmada çapraz akışlı harici membran kullanılmıştır. Elde edilen akıların zamana bağlı değişimleri Şekil 4.13'de verilmektedir.

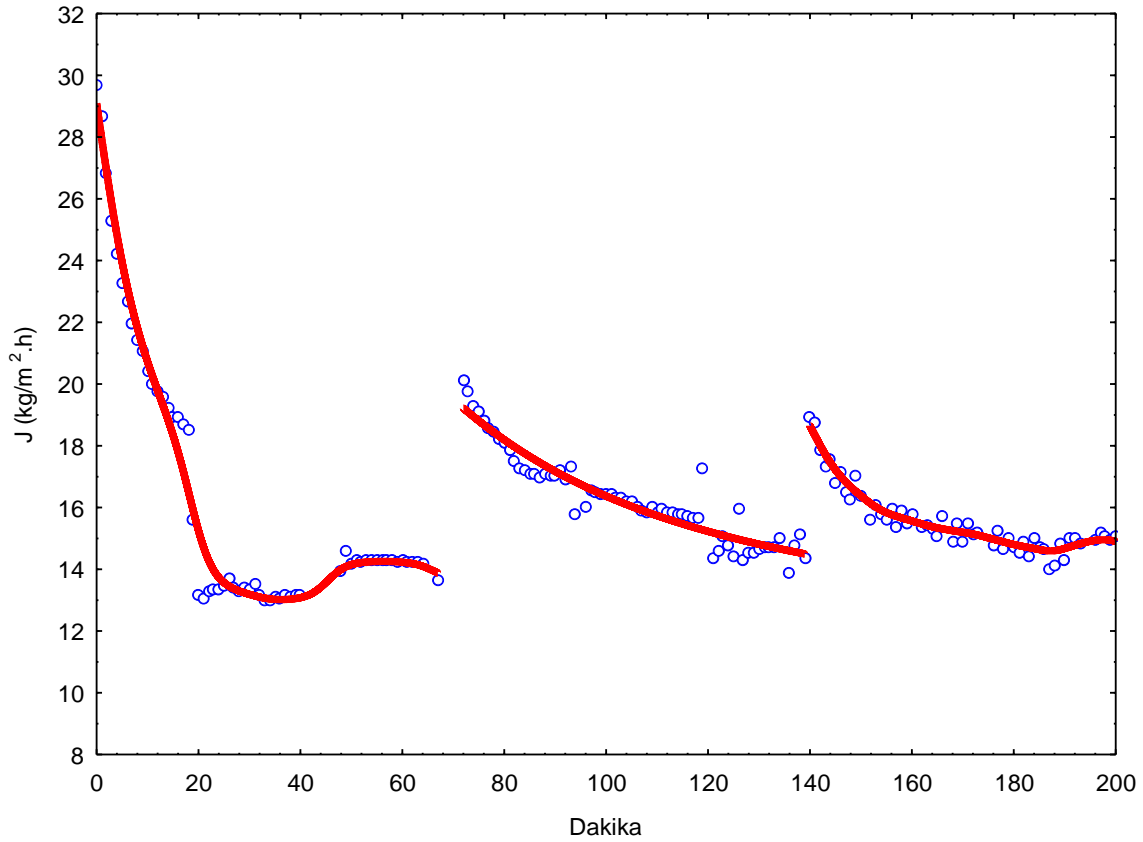


Şekil 4.13: Akı zaman

Sistem uzun süreler 1~1,5 bar transmembran basıncında ve ~0,53 m/sn çapraz akış hızında çalıştırılmıştır. Sistemden elde edilen uzun zamanlı akı değerleri Şekil 4.13'de gösterilmektedir.

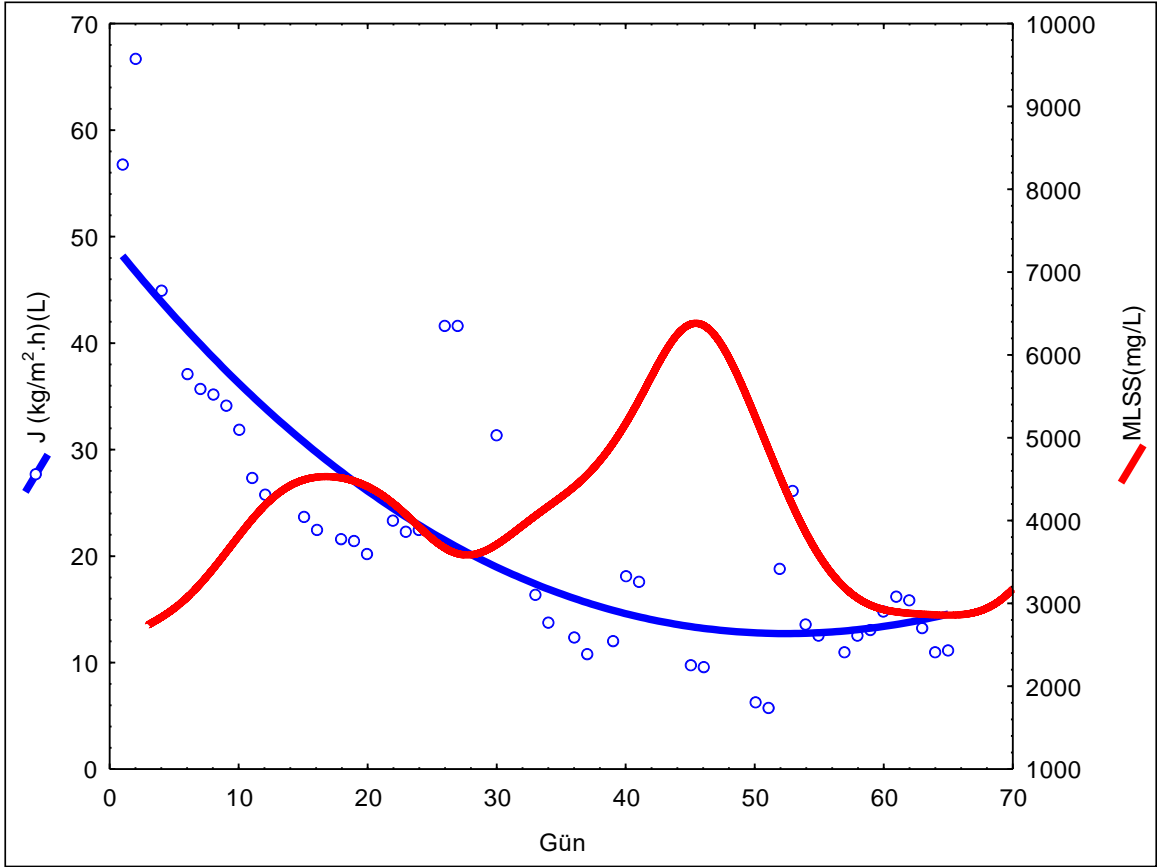
Membran akı değerleri göz önünde bulundurulularak besleme hızları ayarlanmıştır. Dolayısıyla akı değerlerini arttırıp–azaltma işlemleri beslenen atıksu miktarına bağlı ve dolayısıyla TMB arttırılarak akılar arttırılma yoluna gidilmiştir. Akı değerleri ile aynı şekilde  $\Theta_c$  değerleri de ayarlanmıştır. Akı arttırılarak  $\Theta_c$ 'ler arttırılmıştır. Çamur atımını arttırmak için ise ( $\Theta_c$  azaltılmak için) akı değerleri azaltılmıştır. Sistemde 15 (kg/m<sup>2</sup>.h) yaklaşık sabit akı değerlerinde uzun süre çalıştırılmıştır.

Membran sisteminin hava ile geri yıkaması zaman zaman yapılmış olup geri yıkama işlemi ters yönden basınçlı hava verilerek gerçekleştirilmiştir. Geri yıkama işlemleri ile yaklaşık % 50 oranında akı kazanımları gözlenmiştir. Geri yıkama işleminin akı üzerindeki etkisi şekil 4.14'de gösterilmiştir.



şekil 4.14: Akı zaman

Elde edilen akı değerlerinden hesaplanan günlük ortalama akı değerleri ile MLSS konsantrasyonu değişimi Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15: Akı MLSS konsantrasyonu

## 5. SONUÇ - ÖNERİLER

Bu çalışmada oldukça yüksek su tüketimi ve atıksu üretmesi ile tanınan endüstrilerin başında gelen kağıt sanayi atıksuyunun arıtımı incelenmiştir. Yüksek atıksu üretmesinin yanı sıra bu endüstride oldukça yüksek konsantrasyonlarda askıda ve çözünmüş katı madde içeren bir atıksu üretilmektedir. Atıksuların organik fraksiyonları yüksek miktarda lignin içeren zor biyo parçalanabilir organiklerden oluşmaktadır.

Buna ilaveten çalışma için seçilen Varaka Kağıt fabrikası atık kağıttan kağıt üretimi yaptığı için atık kağıtların bünyesindeki boya vs kirleticiler bu atıksuların arıtımını daha güçleştirmektedir. Kağıt sanayi atıksularının arıtımında fiziko kimyasal arıtmaya ilaveten aerobik ve anaerobik arıtma metotları birlikte kullanılmaktadır. İçeriği nedeniyle konvensiyonel metodlar deşarj standartlarının sağlamakta çok başarılı olmamaktadır. Tüm bu nedenler dolayısıyla kağıt sanayi atıksularının arıtımı için yeni bir yaklaşım olarak JLMBR'nin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan denemelerde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Çalışmada kullanılan kağıt sanayi atıksuyu 3865-8962 mg/L aralığında KOİ konsantrasyonuna sahip ve zor parçalanabilir organik madde içermektedir. Özellikle çalışılan atıksu geri dönüşüm kağıtları kullanılması ve bu kağıtların içeriğinden sıyrılan özellikle boyar maddeler biyo parçalanabilirliği daha da azaltmaktadır.
- Atıksuyun sahip olduğu yüksek KOİ ve KM'nin yanında N ve P içeriği son derece düşük oluşu nedeniyle (N= 0-0,5 mg/L, P= 0,0,7 mg/L) biyolojik büyüme için sınırlayıcı element olarak etki etmektedir. Direk arıtmada AÇ'un üremesi yavaş olmakta hatta bir süre sonra çamur kaybı yaşanmaktadır.
- Çalışmada JLB reaktöre katı-sıvı ayrımı amacıyla UF (düşük basınçta işletilmesi sebebiyle MF sınırına da girmekte) membran eklenerek biyoreaktör sisteminin performans ve verimi artırılmıştır.
- JLMBR sistemine beslenen atıksudaki nütrient madde noksanlığı nedeniyle başlangıç periyodunda AÇ üretilmesi ve sistemin işletilmesinde zamanla bozulma gözlenmiş ve giderek çamur kaybı yaşanmıştır. Bunun üzerine A.Ç aşılılarak sistem tekrar



işletilmiş ve aynı şekilde zamanla bozulma gözlenmiş ve giderek çamur kaybı yaşanmıştır. Bunun üzerine KOİ/N/P oranının ayarlanması için sisteme nütriet olarak üre beslenmiştir. Yapılan denemelerde üre eklenerek KOİ/N/P oranı 250/5/1 olarak tespit edilmiş ve bu şartlarda sistem uzun süreli çalışma sonucunda çamur kaybı olmadığı gözlenmiştir.

- Nütrient ilavesi sonucunda çalışmalarda yükleme hızları 2,04-11,61 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün arasında değişirken KOİ arıtma verimi %80~99 arasında elde edilmiştir. Bu süreçte giriş KOİ konsantrasyonu ortalama 5280 mg/L, çıkış KOİ konsantrasyonu ise ortalama 404 mg/L olarak ölçülmüştür. Sistemde bekletme süresi ise 11-30 saat arasında değişmiştir.
- Sistemde en önemli işletme parametreleri arasında olan  $\Theta_c$  değerleri membran akıları ile ayarlanmıştır. Atılan çamur debisinden  $\Theta_c$  değerleri hesaplanmıştır.  $\Theta_c$  değerleri 1,4~50,4 gün arasında değişmektedir Nütrient eklemesinden sonra MLSS konsantrasyonları yükseltilebilmiştir. MLSS değerleri çamur yaşına bağlı olarak 2108-9140 mg/L arasında işletilmiştir.
- Membran ünitesinden 110~10 L/m<sup>2</sup>saat arasında akı değerleri alınmıştır. Uzun süreli ve geri yıkama yapılmaksızın ortalama 15 L/m<sup>2</sup>saat olarak hesaplanmıştır. Membranlar hava ile geri yıkanmış ve yaklaşık ayda 1 kimyasal temizlemeye tabi tutulmuştur. Membran hava ile geri yıkandıktan sonra ~%50 akı geri kazanımı sağlanmıştır.
- Sonuç olarak çalışmada test edilen JLMBR sisteminin kağıt sanayi atıksularının arıtımında düşük hidrolik bekletme sürelerinde yüksek performans sağlamıştır. Kirlilik yükü yüksek su tüketimi ile bilinen bu atıksuların arıtımında önemli bir alternatif olacağı kanaatine varılmıştır. Öte yandan bu konfigürasyon oldukça küçük tesis boyutu sunması açısından da önemli bir alternatif olarak gözükmektedir.

## 6. KAYNAKLAR (IEEE)

- [1] H.G. Momen, "Forward osmosis membrane bioreactor performance in wastewater treatment", Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.
- [2] R. İleri, B. Sümer, H. Gezbul and E. Şenol. "Atık kağıt işleme endüstrisinde atıksu miktarının azaltılması ve geri kazanımıyla çevrenin korunması", *Ekoloji*, 21(4), 16-22, (1996).
- [3] C. Aydın, E.C. Doğan, B.K. Mert, A.O. Narcı, E. Durna and U.A. Akbacak. "Kâğıt atıksularından bütünleşik membran sistemi ile su geri kazanımı ve konsantre atık minimizasyonu", *vol*, 21, 9, (2017).
- [4] W. Subramonian, T.Y. Wu and S.-P. Chai. "A comprehensive study on coagulant performance and floc characterization of natural *Cassia obtusifolia* seed gum in treatment of raw pulp and paper mill effluent", *Industrial Crops and Products*, 61, 317-324, (2014).
- [5] S. Uzuner, "Yüksek organik kirliliğe sahip mezbaha endüstrisi atıksularının arıtımı için membran entegre biyoreaktör geliştirilmesi", Doktora Tezi. Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2021.
- [6] Z.B. Gönder, S. Arayıcı and H. Barlas. "Advanced treatment of pulp and paper mill wastewater by nanofiltration process: Effects of operating conditions on membrane fouling", *Separation and purification technology*, 76(3), 292-302, (2011).
- [7] P. Bajpai. "Chapter 2-The Pulp and Paper Industry", *Pulp and Paper Industry*. Elsevier, 9-29, (2017).
- [8] R. Akay, "Kağıt fabrikası atık suyunun geri kullanımı", 2010.
- [9] M. Adıgüzel. "Türkiye kağıt sektörü ve rekabet gücünün değerlendirilmesi", *İstanbul Kalkınma Ajansı, İstanbul*, (2018).
- [10] E. Durna, "Kağıt atıksularından yenilikçi hibrit membran sistemi ile endüstriyel su geri kazanımı ve konsantre yönetimi". Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [11] P. Bhojvaid and A. Rai. "PAPERMAKING| Paper Raw Materials and Technology", *Encyclopedia of Forest Sciences*, 2004, Pages 701-707, (2004).
- [12] A. Yakut. "Geri dönüştürülebilir kullanılmış kâğıttan yeni kâğıt üretiminin irdelenmesi", *Tesisat Mühendisliği*, 127, 68-75, (2012).
- [13] B. Özçelep, "Kağıt endüstrisi atıksularının membran prosesleriyle ileri arıtımı",

- Yüksek Lisasn Tezi. İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [14] N. Soyer, "Avrupa birliği'ne uyum sürecinde Türkiye'de kağıt sektörü için çevre standartları ve atık kağıt geri kazanımı", Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004.
- [15] E. Şaduman, "Birincil liflere atık kağıt lifi ve kuru sağlamlık maddesi ilavesinin kağıdın özelliklerine etkisi", Yüksek Lisasn Tezi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 2014.
- [16] B. Yazar, "Kağıt ve karton fabrikası atık su arıtma tesisinin enerji analizi", Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 2019.
- [17] E. Erdemli, "Biyolojik olarak arıtılmış kağıt endüstrisi atıksularında KOİ'nin kimyasal oksidasyon yöntemleri ile giderimi", 2004.
- [18] U.A. Akbacak, "Kağıt endüstrisi atıksularının membran filtrasyonu ve oluşan membran konsantrasyonlarının ileri oksidasyon prosesi/ultrafiltrasyon hibrit sistemi ile arıtımı". Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [19] B.K. Ince, Z. Cetecioglu and O. Ince. "Pollution prevention in the pulp and paper industries", *Environmental Management in Practice*, 5, 224-246, (2011).
- [20] G. Thompson, J. Swain, M. Kay and C. Forster. "The treatment of pulp and paper mill effluent: a review", *Bioresource technology*, 77(3), 275-286, (2001).
- [21] R. Saunamaki. "Activated sludge plants in Finland", *Water Science and Technology*, 35(2-3), 235-243, (1997).
- [22] M. Öztürk. Çevre ve Orman Bakanlığı Kullanılmış Kağıtların Geri Kazanılması Raporu. 2005,
- [23] P. Bajpai. Anaerobic technology in pulp and paper industry: Springer, 2017.
- [24] S. Sumathi and Y.-T. Hung. Treatment of pulp and paper mill wastes. Handbook of industrial and hazardous wastes treatment: CRC Press, 2004, 507-555.
- [25] F.B. Dilek and C.F. Gökçay. "Treatment of effluents from hemp-based pulp and paper industry I. waste characterization and physico-chemical treatability", *Water Science and Technology*, 29(9), 161-163, (1994).
- [26] H. Temmink and K. Grolle. "Tertiary activated carbon treatment of paper and board industry wastewater", *Bioresource technology*, 96(15), 1683-1689, (2005).
- [27] T. Kreetachat, M. Damrongsri, V. Punsuwon, P. Vaithanomsat, C. Chiemchaisri and C. Chomsurin. "Effects of ozonation process on lignin-derived compounds in pulp and paper mill effluents", *Journal of Hazardous Materials*, 142(1-2), 250-257, (2007).

- [28] S.B. Doltade, Y.J. Yadav and N.L. Jadhav. "Industrial wastewater treatment using oxidative integrated approach", *South African Journal of Chemical Engineering*, 40(1), 100-106, (2022).
- [29] A. Büyükdere, "Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojileri ile Arıtılması ve Geri Kazanılması". Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [30] Z. Göksel, "Çapraz akışlı seramik membran sistemi ile ağaç endüstrisi atıksularının geri kazanımı", Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2019.
- [31] G. Balcıoğlu, "Biyolojik olarak arıtılmış ekmek mayası endüstrisi atıksularının ileri arıtım alternatiflerinin incelenmesi". Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul ..., 2013.
- [32] J. Nuortila-Jokinen, M. Mänttari, T. Huuhilo, M. Kallioinen and M. Nyström. "Water circuit closure with membrane technology in the pulp and paper industry", *Water Science and Technology*, 50(3), 217-227, (2004).
- [33] B. Tombul, "Akülerin çevreye zararları ve geri kazanılması", Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul, 2005.
- [34] F.B. Bulut, "Tekstil endüstrisinde atıksuların entegre membran arıtma sistemi ile arıtımı ve geri kullanımı", Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2011.
- [35] S.A. Demir, "İçme sularından demir ve mangan gideriminde farklı membranların kullanılması ve membranların kirlenme karakterizasyonları", Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2019.
- [36] R.W. Baker. Membrane technology and applications: John Wiley & Sons, 2024.
- [37] İ. Koyuncu, H. Hasar, B. Keskinler, V. Uyak, İ. Öztürk, D. İmer and A. Altınay. Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları-Cilt 1: Membran Teknolojileri ve Su Arıtma. Ankara: TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018,
- [38] G.N. Çelik, "Kağıt endüstrisi atıksularının çapraz akışlı ultrafiltrasyon membran sistemiyle arıtımı", Yüksek Lisans. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2022.
- [39] D. Yadav, S. Karki and P.G. Ingole. "Current advances and opportunities in the development of nanofiltration (NF) membranes in the area of wastewater treatment, water desalination, biotechnological and pharmaceutical applications", *Journal of*

- Environmental Chemical Engineering*, 10(4), 108109, (2022).
- [40] B.Y. Aydın, "Balıkesir organize sanayi bölgesi atıksularının jet loop membran biyoreaktör sistemiyle arıtımının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2023.
- [41] D. Jain, A. Patwari, A. Khan and M.B. RAO. "Liquid circulation characteristics in jet loop reactors", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 68(6), 1047-1051, (1990).
- [42] M. Velan and T. Ramanujam. "Gas-liquid mass transfer in a down flow jet loop reactor", *Chemical engineering science*, 47(9-11), 2871-2876, (1992).
- [43] G. Padmavathi and K. Remananda Rao. "Influence of geometry on gas holdups in a reversed flow jet loop reactor", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 71(1), 94-100, (1993).
- [44] K.Y. Prasad and T. Ramanujam. "Gas holdup and overall volumetric mass transfer coefficient in a modified reversed flow jet loop reactor", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 73(2), 190-195, (1995).
- [45] E. Gaddis and A. Vogelpohl. "The impinging—stream reactor: a high performance loop reactor for mass transfer controlled chemical reactions", *Chemical engineering science*, 47(9-11), 2877-2882, (1992).
- [46] U. Wachsmann, N. Rabiger and A. Vogelpohl. "The compact reactor-a newly developed loop reactor with a high mass transfer performance", *Ger. Chem. Eng*, 7, 39-44, (1984).
- [47] C. Dirix and K. Van der Wiele. "Mass transfer in jet loop reactors", *Chemical Engineering Science*, 45(8), 2333-2340, (1990).
- [48] A. Vogelpohl. "Wastewater treatment by the HCR-process", *Acta biotechnologica*, 20(2), 119-128, (2000).
- [49] S. Lübbecke, A. Vogelpohl and W. Dewjanin. "Wastewater treatment in a biological high-performance system with high biomass concentration", *Water Research*, 29(3), 793-802, (1995).
- [50] S. Uzuner, "Süt endüstrisi atıksularının arıtımında Jet-loop membran biyoreaktörlerin performansının incelenmesi". Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2012.
- [51] B. Farizoğlu and S. Uzuner. "Design of a novel membrane draft tube jet loop reactor (MDJLR) and treatment of slaughterhouse wastewater", *Membranes*, 9(11), 155,

(2019).

- [52] B. Farizoglu and B. Keskinler. "Sludge characteristics and effect of crossflow membrane filtration on membrane fouling in a jet loop membrane bioreactor (JLMBR)", *Journal of Membrane Science*, 279(1-2), 578-587, (2006).
- [53] B. Farizoglu and S. Uzuner. "The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system", *Biochemical Engineering Journal*, 57, 46-54, (2011).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : BARIŞ ÖZDEMİR

Doğum tarihi ve yeri :18.02.1977 Şanlıurfa

e-posta :

### Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2015-2024
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi/Meteoroloji Mühendisliği	1994-2001
Lise	Ankara Bahçelievler Deneme Lisesi	1992-1994