



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ**  
**ARITILMASINDA KULLANILMAK ÜZERE LAB/PILOT**  
**ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖR TASARIMI ve**  
**İMALATI**

**Kadir ÖZAN**  
**Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı**  
**Doç. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ**

**BİLECİK, 2012**

Bu çalışma, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 2010.BİL.01-006.



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS  
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan Kadir ÖZAN'ın "TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITILMASINDA KULLANILMAK ÜZERE LAB/PİLOT ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖR TASARIMI ve İMALATI" başlıklı tez çalışması Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

### **JÜRİ**

**ÜYE (TEZ DANIŞMANI): Doç.Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ**

**ÜYE: Yrd. Doç. Dr. Hasan YAMIK**

**ÜYE: Yrd. Doç. Dr. A.Fevzi SAVAŞ**

### **ONAY**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

**İMZA MÜHÜR**

## ÖZET

Tekstil endüstrisi atık suları için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyet gerektirmeleri ve her boya için kullanılamıyor olmaları, uygulanmalarının sınırlı olmasına neden olmuştur. Son zamanlarda yapılan çalışmalar birçok boya türünü atık sudan giderebilme yeteneğine sahip yaygın mikroorganizma türlerinin mevcudiyetini vurgulamış ve biyoteknolojik metotları ön plana çıkarmıştır.

MBR (Membran Biyoreaktörler) biyolojik parçalanma ve membran ayırma işlemi şeklindeki iki temel prosesin kombinasyonu olarak tanımlanabilir. Membran ünitesinde süspanse katıların ve biyolojik parçalanmayı gerçekleştiren mikroorganizmaların arıtılan sudan ayrılması tek proses olarak ifade edilebilir. Bütün biyokütle, hem reaktördeki mikroorganizma bekletme zamanını (çamur yaşı) hem de çıkış suyunun dezenfeksiyonunu sağlamak amacıyla sistem içinde tutulmaktadır.

Son yıllarda polimer ve dolayısıyla membran teknolojisindeki çok hızlı gelişmeler ve üretim maliyetinin azaltılması sebebiyle gerek içme suyu gerekse de atıksu arıtma alanlarında membran prosesleri (özellikle mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon) konvansiyonel sistemlerle maliyet açısından rekabet edebilir hale gelmiş ve geniş çapta uygulanmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada küçük ölçekte bir MBR tasarlanması ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Devreye alınan MBR sisteminde iki farklı biyokütle ile deneysel çalışmalar yapılarak tekstil atık suyunun arıtım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Membran biyoreaktörler, Membran filtrasyon, Endüstriyel atıksu arıtımı, Tekstil atıksuları.

## ABSTRACT

The proposed physical and chemical methods for textile industry waste water treatment result in limited usage due to their high cost and inapplicability to every dye. The latest studies highlight biotechnological methods and points out the existence of widespread microorganism classes that have the ability to remove dye from waste water. MBR is defined as the combination of two basic processes: biological decomposition and membrane separation. The removal of dispersible solids and microorganism that performs biological decomposition from the clarified water can be referred as a single process. The whole biomass is hold inside the system in order to provide microorganism waiting time (sludge age) and effluent disinfection.

Recently, due to the rapid advances in polymer and membrane technology and reduced manufacturing costs, membrane processes (especially microfiltration and ultrafiltration) have become able to compete with conventional systems on price and have started being implemented widely.

In this study, a new membrane reactor was designed and manufactured by using the recent solutions to the operation problems and the economical feasibility data. In the proposed membrane bioreactor system, two different biomasses were experimented to study the clarification of textile waste water.

**Keywords:** membrane bioreactor, membrane filtration, industrial wastewater clarification, textile wastewater.

## **TEŞEKKÜR**

Tez çalışmasının yürütülmesi sırasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, danışmanım Sayın, Doç.Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ'e, çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen, manevi olarak destek olan herkese, her zaman desteğini esirgemeyen değerli eşim ve çocuklarıma ve bu günlere gelmeme temel oluşturan aileme sonsuz teşekkürler ederim.

## İÇİNDEKİLER

|  |             |
|--|-------------|
| <b>ÖZET</b> .....  | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>ii</b>   |
| <b>TEŞEKKÜR</b> .....  | <b>iii</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....   | <b>iv</b>   |
| <b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....                                       | <b>viii</b> |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....   | <b>x</b>    |
| <b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....                                      | <b>xiii</b> |
| <b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....   | <b>xv</b>   |
| <br>   |             |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....  | <b>1</b>    |
| <b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....                                       | <b>4</b>    |
| 2.1    Tekstil Endüstrisinin Tanımı .....                            | 4           |
| 2.2    Tekstil Endüstrisi Genel Prosesleri.....                      | 4           |
| 2.2.1    Haşılama .....  | 4           |
| 2.2.2    Yıkama ve Haşıl Giderme .....                               | 5           |
| 2.2.3    Ağartma (Kasar).....  | 6           |
| 2.2.4    Merserize Etme .....  | 6           |
| 2.2.5    Boyama.....   | 7           |
| 2.2.6    Apreleme .....  | 7           |
| 2.3    Tekstil Endüstrisi Atıksuları.....                            | 8           |
| 2.4    Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtma Yöntemleri .....      | 10          |
| 2.4.1    Fiziksel Yöntemler .....                                    | 11          |
| 2.4.1.1 Adsorpsiyon .....  | 11          |
| 2.4.1.2 Membran filtrasyonu .....                                    | 11          |
| 2.4.1.3 İyon değişimi.....   | 12          |
| 2.4.2    Kimyasal Yöntemler.....                                     | 13          |
| 2.4.2.1 Oksidasyon yöntemi .....                                     | 13          |
| 2.4.2.2 Fenton prosesi .....   | 13          |
| 2.4.2.3 Koagülasyon-Flokülasyon (Pıhtılaştırma - Yumaklaştırma)..... | 14          |
| 2.4.3    Biyolojik Yöntemler.....                                    | 15          |
| 2.5    Biyolojik Arıtma Prosesleri.....                              | 15          |
| 2.5.1    Havalı (Aerobik) Sistemler.....                             | 16          |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.5.2   | Havasız (Anaerobik) Sistemler .....                                  | 16 |
| 2.6     | Atıksu Arıtma Sistemlerinde Bulunan Önemli Mikroorganizmalar .....   | 17 |
| 2.6.1   | Bakteriler .....   | 17 |
| 2.6.2   | Ototrofik Bakteriler .....   | 19 |
| 2.6.2.1 | Nitrifikasyon bakterileri; .....                                     | 19 |
| 2.6.2.2 | Kükürt bakterileri .....   | 19 |
| 2.6.2.3 | Demir bakterileri .....  | 20 |
| 2.6.3   | Heterotrofik Bakteriler .....  | 20 |
| 2.6.3.1 | Nitrat indirgeyen bakteriler .....                                   | 20 |
| 2.6.3.2 | Sülfat indirgeyen bakteriler .....                                   | 21 |
| 2.6.3.3 | Karbonlu maddelerin ayrışmasını sağlayan heterotrofik bakteriler ... | 21 |
| 2.6.3.4 | Azotlu maddelerin ayrışmasını sağlayan heterotrof bakteriler .....   | 21 |
| 2.6.4   | Protozoala .....   | 22 |
| 2.6.5   | Mantarlar .....  | 22 |
| 2.6.6   | Algler .....   | 22 |
| 2.6.7   | Virüsler .....   | 23 |
| 2.6.8   | Mayalar ve Küfler .....  | 23 |
| 2.7     | Atıksularda Ölçülen Parametreler .....                               | 23 |
| 2.7.1   | pH .....   | 23 |
| 2.7.2   | Asidite .....  | 23 |
| 2.7.3   | Alkalinite .....   | 24 |
| 2.7.4   | Bulanıklık .....   | 24 |
| 2.7.5   | Renk .....   | 25 |
| 2.7.6   | Çözünmüş Oksijen .....   | 25 |
| 2.7.7   | Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) .....                            | 26 |
| 2.7.8   | Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) .....                                | 26 |
| 2.7.9   | Katı Maddeler .....  | 26 |
| 2.7.9.1 | Toplam katı madde .....  | 27 |
| 2.7.9.2 | Toplam askıda katı madde (Askıda katı madde) .....                   | 27 |
| 2.7.9.3 | Çözünmüş katı madde (filtre edilebilen katı madde) .....             | 28 |
| 2.7.9.4 | Toplam çökebilen katı madde .....                                    | 28 |
| 2.7.9.5 | Toplam uçucu katı madde (Organik katı madde) .....                   | 29 |
| 2.7.10  | Azot .....   | 29 |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.7.11 Fosfor ve Fosfat .....   | 30        |
| <b>3. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>4. MEMBRAN BİYOREAKTÖRLER (MBR) .....</b>  | <b>36</b> |
| 4.1 Membran Performansını Etkileyen Faktörler.....  | 40        |
| 4.2 Membran Kirlenmesi/Tıkanması ve Temizliği.....  | 43        |
| <b>5. LİTERATÜRDE KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR .....</b>   | <b>46</b> |
| <b>6. TEKSTİL ATIKSU ARITIMI İÇİN LAB/PILOT ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖRÜN TASARIM (DİZAYN) HESAPLAMALARI .....</b>                            | <b>52</b> |
| <b>7. TEKSTİL ATIKSU ARITIMI İÇİN LAB/PILOT ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) ÜNİTESİNİN İMALATINDA KULLANILAN MALZEME ve EKİPMANLAR.....</b> | <b>59</b> |
| 7.1 Tanklar .....   | 59        |
| 7.2 Membran .....   | 60        |
| 7.3 Blower (Hava Körüğü-Üfleyici) .....   | 63        |
| 7.4 Difüzör .....   | 65        |
| 7.5 Debimetre (Hava) .....  | 67        |
| 7.6 Hava Hazırlayıcı (Şartlandırıcı) .....  | 70        |
| 7.7 Debimetre (Su) .....  | 72        |
| 7.8 İletkenlik Tip Seviye Kontrol Şalteri.....  | 74        |
| 7.9 Seviye Kontrol Cihazı (Röle).....   | 77        |
| 7.10 Fişek Tipi Isıtıcı (Rezistans).....  | 80        |
| 7.11 Sıcaklık Kontrol Cihazı (Termostat).....   | 82        |
| 7.12 Kumanda ve Kontrol Panosu .....  | 83        |
| 7.13 Atıksu Tankı Ön Filtreleme Elemanları.....   | 85        |
| 7.14 PLC (Programmable Logic Controller - Programlanabilir Lojik Kontrol). 86   |           |
| 7.15 Pompa .....  | 92        |
| 7.16 Su İletimi Bağlantı Boruları.....  | 93        |
| <b>8. İMALATI TAMAMLANAN LAB/PILOT ÖLÇEKTE MBR'NİN DEVREYE ALINMASI VE YAPILAN DENEYSEL ARITIM ÇALIŞMALARI.....</b>                           | <b>95</b> |
| 8.1 Lab/Pilot ölçekte MBR' nin Devreye Alınma Aşamasında Yapılan I.Deneysel Çalışmalar .....  | 96        |
| 8.2 Lab/Pilot ölçekte MBR' nin Devreye Alınma Aşamasında Yapılan II. Deneysel Çalışmalar.....   | 98        |
| 8.3 Ölçülen Parametreler .....  | 99        |

|            |                                      |            |
|------------|--------------------------------------|------------|
| 8.3.1      | Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)..... | 99         |
| 8.3.2      | Sıcaklık.....                        | 102        |
| 8.3.3      | Çözünmüş Oksijen .....               | 103        |
| 8.3.4      | pH.....                              | 103        |
| 8.3.5      | Renk .....                           | 103        |
| 8.3.6      | Askıda Katı Madde (AKM).....         | 104        |
| 8.3.7      | Toplam Katı Madde (TKM).....         | 105        |
| <b>9.</b>  | <b>SONUÇLAR.....</b>                 | <b>106</b> |
| <b>10.</b> | <b>TARTIŞMA ve ÖNERİLER .....</b>    | <b>116</b> |
|            | <b>KAYNAKLAR .....</b>               | <b>118</b> |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   | <b>Sayfa No</b> |
|---|-----------------|
| Çizelge 2.1. Tekstil endüstrisi atıksu karakteristikleri (Yusuff ve Sonibare, 2004).....                                    | 10              |
| Çizelge 3.1. Su arıtma uygulamasında MF /UF Membranları örnekleri (Li vd., 2008).33   | 33              |
| Çizelge 4.1. Dahili ve harici MBR'lerin karşılaştırılması.....  | 38              |
| Çizelge 4.2. Batık membranlar için işletme şartları (Gürel ve Büyükgüngör, 2011). ....                                      | 39              |
| Çizelge 4.3. Evsel atıksuları arıtan MBR'lerde tipik çıkış suyu kaliteleri (Yiğit, 2007).42                                 | 42              |
| Çizelge 4.4. MBR'de evsel atıksu arıtımında KOİ ve NH <sub>3</sub> giderme oranları (Gander vd., 2000). ....                | 43              |
| Çizelge 6.1. Biyolojik arıtma için kinetik katsayılar (Metcalf ve Eddy, 2003).....  | 53              |
| Çizelge 6.2. Lab/Pilot ölçekte MBR tasarım kabulleri. ....  | 57              |
| Çizelge 6.3. Blower kapasitesi hesaplamasında kullanılan değerler. ....   | 58              |
| Çizelge 6.4. Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminin tasarım değerleri. ....   | 58              |
| Çizelge 7.1. Membran filtrenin teknik özellikleri. ....   | 62              |
| Çizelge 7.2. Blowerın basınç miktarına göre hava kapasitesi.....  | 64              |
| Çizelge 7.3. Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminde kullanılan disk difüzöre ait teknik bilgiler. ....                            | 67              |
| Çizelge 7.4. Hava debimetresi teknik bilgileri.....   | 70              |
| Çizelge 7.5. Debimetre teknik bilgileri. ....   | 74              |
| Çizelge 7.6. Seviye kontrol şalteri teknik bilgileri. ....  | 77              |
| Çizelge 7.7. Sistem toplam manometrik basma yüksekliği/Debi (Hm).....   | 93              |
| Çizelge 7.8. AISI 304 Östenitik Paslanmaz malzemenin kimyasal bileşimi (% Ağırlık) (Tekaslan vd., 2008).....                | 94              |
| Çizelge 8.1. Simüle tekstil atıksu bileşimi. ....   | 98              |
| Çizelge 8.2. I.Boyama makinesine ait boyama reçetesinin bileşimi. ....  | 98              |
| Çizelge 8.3. II. Boyama makinesine ait boyama reçetenin bileşimi. ....  | 99              |
| Çizelge 8.4. II. Deneysel çalışmada kullanılan tekstil atıksuyunun kirlilik yükleri. ....                                   | 99              |
| Çizelge 8.5. Işık absorpsiyonu ve renk. ....  | 103             |
| Çizelge 9.1. Renk giderimi için hazırlanan farklı ppm değerlerine sahip Everzol Orange 3R boyar maddesinin UV tablosu. .... | 108             |
| Çizelge 9.2. 10 günlük işletim süresince ölçüm sonuçları. ....  | 109             |

|  |     |
|--|-----|
| Çizelge 9.3. Deneysel analiz sonuçları. .... | 112 |
|--|-----|

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  | <b>Sayfa No</b> |
|--|-----------------|
| Şekil 3.1. Membran yapısı ile iki fazın ayrılmasının şematik gösterimi. .... | 31              |
| Şekil 4.1. Harici MBR Sistemi (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).....              | 37              |
| Şekil 4.2. Dahili/Batık MBR Sistemi (Gürel ve Büyükgüngör, 2011). ....       | 37              |
| Şekil 6.1. Dahili Membran biyoreaktör madde dengesi (Wen vd., 2010).....     | 54              |
| Şekil 7.1. Pleksiglas tankların genel görüntüsü.....                         | 60              |
| Şekil 7.2. Tankların montaj sonrası görüntüsü. ....                          | 60              |
| Şekil 7.3. Düz plaka membran filtre (Flat sheet).....                        | 61              |
| Şekil 7.4. Düz plaka membranın filtrenin bileşen yapısı. ....                | 61              |
| Şekil 7.5. Membran modülün görüntüsü.....                                    | 62              |
| Şekil 7.6. Kollektör ve Kollektör-Membran bağlantısı.....                    | 63              |
| Şekil 7.7. Membran modülün tanktaki montajlı görüntüsü.....                  | 63              |
| Şekil 7.8. TS-EN 14800 Ayvaz N-flex boru görüntüsü. ....                     | 65              |
| Şekil 7.9. Blowerın sehpa üzerindeki montaj görüntüsü. ....                  | 65              |
| Şekil 7.10. Difüzörün genel görüntüsü. ....                                  | 66              |
| Şekil 7.11. Difüzörün montaj sonrası görüntüsü. ....                         | 66              |
| Şekil 7.12. İnce kabarcıklı difüzörün kısımları. ....                        | 67              |
| Şekil 7.13. Hava debimetresinin genel görüntüsü. ....                        | 68              |
| Şekil 7.14. Hava debimetresinin montaj sonrası görüntüsü. ....               | 69              |
| Şekil 7.15. Hava şartlandırıcının genel görüntüsü.....                       | 71              |
| Şekil 7.16. Hava şartlandırıcı MBR üzerindeki montajlı görünümü. ....        | 71              |
| Şekil 7.17. Cam tüplü şamandıralı debimetre şematik görünümü.....            | 72              |
| Şekil 7.18. Şamandıralı debimetre genel görüntüsü. ....                      | 73              |
| Şekil 7.19 Debimetrenin montaj sonrası görüntüsü.....                        | 73              |
| Şekil 7.20. İletkenlik tip seviye kontrolü şematik görünümü.....             | 76              |
| Şekil 7.21. İletkenlik tip seviye şalterinin genel görünümü. ....            | 77              |
| Şekil 7.22. Rölenin şematik görünümü (Badur, 2001).....                      | 78              |
| Şekil 7.23. Kontrol rölesinin genel görüntüsü.....                           | 79              |
| Şekil 7.24. Bağlantı şeması. ....  | 80              |
| Şekil 7.25. Rezistanslı fişek ısıtıcı teknik çizim görüntüsü. ....           | 81              |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 7.26. Isıtıcı bağlantı parçası görüntüsü. ....   | 81  |
| Şekil 7.27. Fişek tipi ısıtıcı genel görüntüsü. ....   | 82  |
| Şekil 7.28. Fişek tipi ısıtıcı şematik görünümü. ....  | 82  |
| Şekil 7.29. Termostatın genel görüntüsü. ....  | 83  |
| Şekil 7.30. Bağlantı şeması .....  | 83  |
| Şekil 7.31. Kontrol elemanlarının monte edilmiş görüntüsü.....                                 | 84  |
| Şekil 7.32. MBR kontrol panosunun dış görüntüsü.....   | 84  |
| Şekil 7.33. Panonun iç görüntüsü. ....   | 85  |
| Şekil 7.34. Ön filtre parçalarının demonte görüntüsü.....                                      | 85  |
| Şekil 7.35. Ön filtre parçalarının montaj sonrası görüntüsü. ....                              | 86  |
| Şekil 7.36. PLC genel görüntüsü. ....  | 87  |
| Şekil 7.37. PLC'nin npn ve pnp kablo giriş bağlantı şemaları. ....                             | 87  |
| Şekil 7.38. PLC'nin çıkış bağlantı şeması.....   | 87  |
| Şekil 7.39. Programa ait Ladder (merdiven) diyagramı (ilk 4 adım). ....                        | 89  |
| Şekil 7.40. Ekranda görüntülenebilen özel karakterler. ....                                    | 90  |
| Şekil 7.41. Ladder (merdiven) programında PLC ekran görüntüsü. ....                            | 91  |
| Şekil 7.42. PLC'nin gerçek çalışma görüntüsü. ....   | 91  |
| Şekil 7.43. PLC programlama programının online ekran görüntüsü.....                            | 92  |
| Şekil 7.44. Santrifüj pompanın görüntüsü.....  | 93  |
| Şekil 8.1. İmalatı tamamlanan Lab/Pilot ölçekte dahili MBR sisteminin şematik çizimi.<br>..... | 95  |
| Şekil 8.2. Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminde aktif granül çamurun görünümü. ....                | 96  |
| Şekil 8.3. Everzol Orange 3R'nin açık formülü. ....  | 97  |
| Şekil 8.4. KOİ analizinde kullanılan deney düzeneği.....                                       | 100 |
| Şekil 8.5. KOİ deneyinde kullanılan titrasyon düzeneği. ....                                   | 101 |
| Şekil 8.6. KOİ deneyinde renk değişimi safhaları. ....   | 102 |
| Şekil 8.7. Yedi günlük arıtımda gözlenen renk giderimi.....                                    | 104 |
| Şekil 9.1. Everzol Orange 3R boyar maddesinin konsantrasyon-absorbans grafiği.....             | 108 |
| Şekil 9.2. Everzol Orange 3R boyar maddesinin konsantrasyonun zamanla değişimi. ....           | 109 |
| Şekil 9.3. Zamana karşılık KOİ parametresindeki değişim. ....                                  | 110 |
| Şekil 9.4. Çözünmüş oksijen miktarının zamanla değişimi. ....                                  | 110 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 9.5. Toplam askıda katı maddesinin zamanla değişimi. ....              | 111 |
| Şekil 9.6. KOİ giderim yüzdesi. ....   | 113 |
| Şekil 9.7. Çözünmüş oksijen miktarının zamanla değişimi. ....                | 113 |
| Şekil 9.8. Askıda katı madde miktarının zamanla değişimi. ....               | 114 |
| Şekil 9.9. Havalandırma tankına verilen hava (L/dak.). ....                  | 114 |
| Şekil 9.10. Havalandırma tankındaki arıtılan suyun iletkenlik değişimi. .... | 115 |

## KISALTMALAR DİZİNİ

|                  |  |
|------------------|--|
| AC               | : Alternatif Akım                          |
| AIISI            | : Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü        |
| AKM              | : Askıda Katı Madde                        |
| AKR              | : Ardışık Kesikli Reaktör                  |
| BOİ              | : Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı            |
| BOİ <sub>5</sub> | : Beş Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı |
| CMC              | : Karboksümetil Selüloz                    |
| CNC              | : Bilgisayar Sayısal Kontrol               |
| ÇKM              | : Çözünmüş Katı Madde                      |
| ÇO               | : Çözünmüş Oksijen                         |
| DNA              | : Deoksiribonükleik Asit                   |
| EPDM             | : Etilen- Propilen- Dien- Monomer          |
| H                | : Yüksek                                   |
| HF               | : Hollow Fiber (İçi Boş Lif)               |
| hh               | : Saat                                     |
| HRT              | : Hidrolik Tutulma Süresi                  |
| KOİ              | : Kimyasal Oksijen İhtiyacı                |
| LCD              | : Sıvı Kristal Ekran                       |
| MBR              | : Membran Biyoreaktör                      |
| MEMS             | : Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler          |
| MF               | : Mikrofiltrasyon                          |
| MLSS             | : Karışımın Askıda Katı Madde              |
| mm               | : Dakika                                   |
| MO               | : Mikro Organizma                          |
| NC               | : Normalde Kapalı                          |
| NCM              | : Normal Kübik Metre                       |
| NF               | : Nanofiltrasyon                           |
| NO               | : Normalde Açık                            |
| NPT              | : National Pipe Taper- (Amerikan Boru Diş) |
| NTU              | : Nefelometrik Bulanıklık Birimi           |
| OFF              | : Kapalı                                   |
| ON               | : Açık                                     |
| PES              | : Polietersülfon                           |
| PET              | : Polietilenteraftalat                     |
| PG7              | : Polyamid Gland                           |
| PLC              | : Programlanabilir Lojik Kontrol           |
| PMMA             | : Polimetilmetakrilat                      |
| PP               | : Polipropilen                             |

|       |   |
|-------|---|
| PSF   | :Polisülfon                             |
| PTFE  | :Politetrafloroetilen                   |
| PTHF  | :Politetrahidrofuran                    |
| PVA   | : Polivinil Alkol                       |
| PVC   | :Polivinilklorür                        |
| PVDF  | :Polivinilidenflorür                    |
| R     | :Boru Diş Simgesi                       |
| RH    | :Relatif (Bağıl) Nem                    |
| RNA   | :Ribonükleik Asit                       |
| RO    | :Ters Ozmos                             |
| SA    | :Selüloz Asetat                         |
| SGYAR | :Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör |
| SLPM  | :Standart Litre/Dakika                  |
| SMBR  | :Daldırılmış Membran Reaktör            |
| SRT   | :Katı Tutulma Süresi                    |
| SS    | :Paslanmaz Çelik                        |
| TÇK   | :Toplam Çözünmüş Katı Madde             |
| TKM   | :Toplam Katı Madde                      |
| TMP   | :Trans Membran Basıncı                  |
| TOK   | :Toplam Organik Karbon                  |
| TSE   | :Türk Standartları Enstitüsü            |
| UAKM  | :Uçucu Askıda Katı Madde                |
| UF    | :Ultrafiltrasyon                        |
| UV    | :Ultraviyole                            |
| V     | :Volt                                   |
| VA    | :Volt Amper                             |

## SİMGELER DİZİNİ

- A =Membran alanı.
- $A_F$  =Hava debisi.
- AOTR =Açık hava şartlarında gerekli net oksijen transferi.
- $C_L$  = Havalandırma tankında, istenen çözülmüş oksijen konsantrasyonu.
- $C_s$  =Deniz seviyesinde 20 °C’de saf sudaki oksijenin doygunluk konsantrasyonu.
- $C_{\bar{s},T,H}$  =T sıcaklık ve H rakımında havalandırma havuzundaki temiz suda çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu değeri.
- $C_{s,T,H}$  =Oksijen konsantrasyonu.
- E =Difüzörlerden suya oksijen verimi.
- F = Tıkanma faktörü.
- F/M =Substrat/Biyokütle oranı.
- $f_d$  = Ölen heterotrofik hücrelerden gelen kalıntı.
- $FPM_a$  =Düz plaka membran kasetinin alanı.
- $FPM_q$  =Düz plaka membran adedi.
- g =Yer çekimi ivmesi.
- HRT = Hidrolik tutulma süresi.
- J =Membran akısı.
- $k_d$  = Heterotrofik bakteriler için ölüm oranı.
- $k_{dn}$  =Nitrifikasyon bakterileri için ölüm oranı.
- $K_n$  = Nitrifikasyon bakterileri yarı hız sabiti.
- $K_S$  = Heterotrofik bakteriler yarı hız sabiti.
- M =Havanın ortalama molekül ağırlığı.
- Ne =Çıkışta  $NH_4-N$  (Amonyum azotu) konsantrasyonu.
- $NO_x$  =Azot oksit.
- $N_s$  =Aktif çamur yükleme hızı.
- $O_t$  = Havalandırma tankını terk eden oksijen konsantrasyonu.
- $P_{atm}$  =Atmosferik basınç.
- $P_{atm,H}$  =H rakımındaki hava basıncı.
- $P_d$  =Difüzörün havalandırma tankında havayı verdiği noktadaki basınç.

- $P_{w,eff}$  = Difüzörün havalandırma tankındaki su yüzeyine mesafesi.  
 $P_{X,bio}$  = Günlük olarak atılan biyokütle.  
 $Q$  =Günlük debi.  
 $V$  =Reaktör hacmi.  
 $R$  =Evrensel gaz sabiti.  
 $R_o$  = Gerekli oksijen miktarı.  
 $S_e$  = Çıkış çözünür substrat konsantrasyonu.  
 $S_o$  = Giriş çözünür substrat konsantrasyonu.  
 $SOTR$  =Çözünmüş oksijen içermeyen 20 °C'deki saf suda standart oksijen transfer hızı.  
 $SRT$  = Katı alıkonma süresi.  
 $T$  =Sıcaklık.  
 $TKN$  =Toplam Kjeldahl Azotu.  
 $X$  = Havalandırma tankındaki aktif çamur konsantrasyonu.  
 $Y$  = Heterotrofik biyolojik verim katsayısı.  
 $Y_n$  = Nitrifikasyon biyolojik verim katsayısı.  
 $z_b$  =Rakım, m  
 $\gamma$  =Suyun özgül ağırlığı, kN/m<sup>3</sup>  
 $\mu_m$  = Heterotrofik bakteriler için maksimum büyüme hızı.  
 $\mu_{nm}$  = Nitrifikasyon bakterileri için maksimum büyüme hızı.

## 1. GİRİŞ

Tekstil Endüstrisi ülkemiz ekonomisi için, özellikle ihracat miktarı açısından çok önemli bir rol oynamaktadır. Diğer taraftan; tekstil sektörü, üretim prosesi sonucu büyük miktarda kirlenmiş suyu alıcı ortama deşarj etmekte ve böylelikle gerek harcadığı su kaynağı ve gerekse kirlettiği alıcı ortam etkileri sebebiyle, çevre kirliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Ülkemizdeki tekstil fabrikalarının çokluğu dikkate alındığında tekstil kaynaklı atık suların arıtılması önemlidir.

Günümüzde artan nüfusa karşılık, daralan ve kirlenen toprak parçası üzerinde daha az yer kaplayan, çıkış suyu kalitesi bakımından oldukça verimli olan ve ekonomik boyutta oldukça avantajlı arıtma prosesleri üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır.

Son zamanlarda biyolojik arıtmada aktif çamur sistemini takip eden son çökeltim havuzu yerine ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membran modülleri kullanılmaya başlanmıştır. MBR, klasik aktif çamur sistemlerinin geliştirilmiş şekli olup, biyolojik reaktörler ile membran teknolojisinin birleştirilmiş halidir. Son yıllarda polimer ve dolayısıyla membran teknolojisindeki çok hızlı gelişmeler ve üretim maliyetinin azaltılması sebebiyle gerek içme suyu gerekse de atıksu arıtma alanlarında membran prosesleri (özellikle mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon) konvansiyonel sistemlerle maliyet açısından rekabet edebilir hale gelmiş ve geniş çapta uygulanmaya başlanmıştır. Dolayısıyla, atıksu arıtmada uygulanan MBR'ler de gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan bir hızla arıtma tesislerinde devreye alınmıştır. Gelecek yıllarda birçok konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinin teknolojilerini MBR'lere dönüştüreceği ve özellikle de son çökeltim havuzlarının ortadan kalkacağı ABD ve Avrupa'daki uzmanlar tarafından tahmin edilmektedir (Kitiş vd, 2009).

Tasarım yaklaşımları açısından MBR'lerin günümüze gelinceye dek 3 temel nesli ortaya çıkmıştır ve 4. nesil de gelişme aşamasındadır. Kentsel veya evsel atıksu arıtımı için kullanılan 1. nesil MBR'ler daha çok küçük debiler, kanalizasyona bağlı olmayan bölgeler ve atıksu geri kazanım ve kullanımı için uygulanmışlardı. Örneğin, karavan parkları, uydu yerleşimleri, kayak merkezleri ve ofis kompleksleri kullanım alanlarıydı. Bunlar işletim kolaylığının ve değişken yüklerin karşılanabilirliğinin önemli olduğu tesislerdi (Kitiş vd., 2003).

İkinci nesil MBR'lerin en önemli iki özelliği MBR'lere biyolojik nutriyent (azot ve fosfor) giderimi özelliğinin eklenmesidir. Tam nitrifiye eden bir tesiste, azot giderimi

aerobik bölümde oluşan nitratın biyokütle ile anoksik bölüme geri döndürülmesi ve anoksik bölümde de denitrifikasyon sonucu nitratın azota indirgenmesi ile gerçekleşmektedir. Denitrifikasyon ile aynı zamanda alkalinite geri kazanımı da elde edilir. 2. neslin diğer bir özelliği de kimyasal fosfor giderimi için MBR'lere metal tuzlarının eklenmesidir (Kitiş vd., 2003).

Üçüncü nesil MBR'lerdeki ana hedefler membran akısını ve kapasitesini artırabilmek, sistem SRT ve biyokütleyi azaltabilmek ve toplam maliyeti optimize edebilmek olmuştur. Artık üçüncü nesil MBR'lerde sadece üretici firmaların değil, arıtma tesisi işletmecileri ve mühendislik-danışmanlık firmalarının da rolleri artmaya başlamıştır. Daha düşük biyokütle konsantrasyonları (10,000 mg/L civarı) ile çalışılması permeyt akısını da artırmıştır. Azaltılan biyokütle ve SRT (gerekli biyolojik proses kinetiğinin yakalanması açısından) 3. nesil MRB'lerin temel özelliğidir. Ancak bu olumlu değişiklikler diğer yandan bazı proses ve tasarım olumsuzlukları da meydana getirmiştir. Azaltılan SRT uzun süreli iç solunum ihtiyacı için gereken enerjiyi (havalandırma bağlamında) gerektirmese de, daha yakın ve etkin proses kontrolü gerektirip, günlük yük varyasyonlarının etkisi açısından problemler çıkarabilmektedir. Daha düşük biyokütle ile çalışmak membran ekipman maliyetini azaltmakta ve pik debileri karşılayabilme kapasitesini artırmaktadır. Ancak aynı zamanda da gerekli reaktör hacmini ve üretilen atık çamurun hacmini artırmaktadır (Kitiş vd., 2003).

Günümüzde, uygulanan sistem kapasiteleri bağlamında düşündüğümüzde artık 4. nesile giriyoruz diyebiliriz. Son birkaç yıl içinde inşa edilen veya tasarımı yapılmakta olan MBR'lere bakıldığında sadece toplam sayının değil, aynı zamanda çok daha büyük skalada büyük debileri arıtacak MBR'lerin oranının da arttığını görmekteyiz. Bunun sonucu olarak satış pazarının artan bir hızla genişlemesi üretici firma sayısını artırmış ve rekabeti de geliştirmiştir (Kitiş vd., 2003).

Membran proseslerinin avantajları, herhangi bir inşaat gerektirmemesi, sürekli işletme halinde olması, yer ihtiyacının konvansiyonel sistemlere göre çok az olması, modüler olarak kullanılabilmesi, çok yüksek konsantrasyonlu atıksu arıtımında uygulanabilmesi, taşınabilir olması gibi özelliklerinden dolayı gün geçtikçe daha da aşağılara çekilmesidir. MBR'lerin önemli avantajlarından biri arıtılan suyun kalitesindeki iyileşmedir. MBR sistemleri, yüksek kalitede çıkış suyu elde etme özelliğine sahiptir. Atık suyun KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı), BOİ (Biyokimyasal

Oksijen İhtiyacı) ve AKM (Askıda Katı Madde) giderim yüzdeleri sırasıyla %95, %98 ve %99' dan daha yüksektir.

Son birkaç yıl içinde inşa edilen veya tasarımı yapılmakta olan MBR'lere bakıldığında sadece toplam sayının değil, aynı zamanda çok daha büyük ölçekte büyük debileri arıtacak MBR'lerin sayısının da arttığı görülmektedir. Bunun sonucu olarak talebin artan bir hızla genişlemesi, üretici firma sayısını artırmış ve rekabeti de geliştirmiştir. Ülkemizde MBR'ler yurtdışından ithal edilmektedir.

MBR prosesinde atıksu biyoreaktöre girmekte ve burada biyokütle ile temasa geçmektedir. Karışım, biyoreaktörden pompalanmakta ve basınç altında membrandan filtrelenmektedir. Bütün biyokütle biyoreaktöre geri devir hattı ile verilirken, süzüntü suyu sistemden dışarıya atılmaktadır. Fazla çamur sabit bir çamur yaşını sağlamak için dışarı atılmakta ve membran düzenli bir şekilde geri yıkama, kimyasal yıkama veya her ikisiyle temizlenmektedir.

Bu çalışmada küçük ölçekte bir MBR tasarlanması ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Proses ve Reaktör Tasarımı aşağıda belirtilen 3 aşamada gerçekleştirilmiştir;

- a) Ön arıtım prosesinin gerekliliğinin ve işletme şartlarının belirlenmesi,
- b) Membran Biyoreaktör tankının tasarımı,
- c) Membran sisteminin mekanik tasarımı,
- d) MBR sistemi için enstrümantasyon,

İmalatı gerçekleştirilerek devreye alınan MBR Sisteminde iki farklı biyokütle ile deneysel çalışmalar yapılarak tekstil atık suyunun arıtım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmanın ileride bu alanda yapılacak araştırmalara ve pratik uygulamalara temel oluşturması ve ülke ekonomisine de önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Tekstil Endüstrisinin Tanımı

Tekstil endüstrisi, doğal liflerden iplik elde edilmesi, yapay lif elde edilmesi, doğal veya yapay liflerden elde edilen iplilerle dokuma, örme ve dokusuz yüzey teknikleri ile kumaş yüzeyi oluşturulması ve bu yüzeylerin boyama ya da baskı teknikleriyle renklendirilmesi işlemlerini kapsayan bir sektördür.

Tekstil, Türkiye’de en önemli sektörlerden biri olması nedeniyle, atıksu üretiminin de en fazla olduğu sektörlerden bir tanesidir. Tekstilde kullanılan kimyasal ve boyar maddeler genelde çevre ve insan sağlığına zararlı maddeler içermektedir. Tekstil endüstrisinin çevre için olumsuzluğunu azaltmak için, hammadde kullanımını azaltmak ve mümkünse geri dönüşüm ve tekrar kullanımları artırmak gerekir (Gönüllü, 2004). Tekstil endüstrisinde boyama işlemi kumaşa renk vermek için yapılır. Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama proseslerinin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur (Kocaer ve Alkan, 2002). Tekstil endüstrisi kullanılan elyaf türünün kaynağına göre pamuklu tekstil endüstrisi, yünlü tekstil endüstrisi ve sentetik tekstil endüstrisi olmak üzere üç ana alanda incelenebilir.

### 2.2 Tekstil Endüstrisi Genel Prosesleri

Tekstil endüstrisi genel prosesleri, kullanılan hammadde tipine bağlı olarak değişmekle birlikte, çoğunlukla aşağıdaki proseslerden oluşur.

#### 2.2.1 Haşılama

Çözgü iplikleri dokuma makinelerinde lamel, gücü ve tarak dişlerinden geçerken, ağızlığın açılıp kapanması sırasında ve ayrıca tefe vurma işleminde sürekli değişken gerilime ve sürtünmeye maruz kalarak aşınır ve hırpalanırlar. Çözgü ipliklerinin kullanılması esnasında aynı kısımlar üzerinde çok kez tekrarlanan hareketler, iplik yüzeyinin zedelenmesine sebep olacağından bu ipliklerin dirençlerini arttırmak amacıyla haşılama işlemi yapılır. Haşılama işleminin amacı ipliklere dokunabilirlik özelliği kazandırmak gibi görünse de, dokumada randıman ve kaliteyi arttırmak, düzgün bir kumaş yüzeyi elde etmek, terbiye işlemleri sırasında kolaylıkla ve liflere zarar vermeden sökülebilmesi, ham ve mamul kumaş maliyetlerini arttırıcı olmaması gibi amaçlar da haşılama işleminin amaçlarındandır (Sabır ve Sarpkaya, 2011).

Haşılama Prosesi, dokuma prosesi öncesi yürütülen ve dokuma işleminin performansını doğrudan etkileyen, işletmede kapladığı fiziki alan (yaklaşık 120 m), tükettiği enerji, çevreye verdiği atık miktarı ve proste uzmanlık gerektiren yönüyle incelenmesi gereken önemli bir prostedir (Sabır ve Sarpkaya, 2011).

Haşılamada asıl haşıl maddeleri ve yardımcı maddeleri ile birlikte yapılmaktadır. Haşıl maddeleri yüksek molekül zincirine sahip, film oluşturabilen, yapıştırıcı özellikteki maddelerdir. Doğal kökenli olanlar, nişasta ve nişasta türevleridir. Sentetik haşıl maddeleri olarak, stirenmaleikasit kopolimerleri, polivinilalkol ve poliakrilatlar kullanılmaktadır (Çoban, 1999).

### **2.2.2 Yıkama ve Haşıl Giderme**

Dokumadaki çalışma verimi için son derece önemli olan haşılama işlemi ve haşıl maddeleri, terbiye için önemli bir engeldir. Terbiyede haşıl maddelerinin mutlaka ve öncelikle kumaş üzerinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Çünkü haşıl maddelerini kumaş üzerinden uzaklaştırmadan diğer kimyasal terbiye işlemlerini yapmak hem çok zor, hem de aktarılan kimyasal maddeler lifler yerine haşıl maddelerine bağlanacaktır (Çoban, 1999).

Kumaş içerisindeki haşıl varlığı, baskı ve terbiye gibi boyama gibi işlemlerini engellemektedir. Örneğin, nişasta varlığında boyama ya da baskıdan önceden nişastanın uzaklaştırılması gerektirmektedir, lif içine boyanın nüfuz etmesini engelleyebilir. Nişasta ya hidroliz (enzimatik preparatlar ya seyreltik mineral asitlerle) ya da oksidasyon (sodyum bromür, sodyum klorit, vb) ile sökölür veya su ile çözünen basit ürünler haline dönüştürülür (Babu vd., 2007).

Terbiyede haşıl sökme işlemine geçmeden önce yapılması gereken, kumaşın iplikleri üzerinde haşıl olup olmadığının tespit edilmesi, haşıl varsa hangi türünün tespit edilmesidir. Çünkü sentetik haşıl maddelerini etkin bir yıkama ile kumaş üzerinden uzaklaştırmak mümkündür. Zor sökülen haşıl maddesi nişasta haşılıdır. Nişasta haşılının sökölmesi, asidik, bazik ve oksidatif yöntemlerle yapılmasına karşın, enzimlerle yapılan haşıl sökmede kumaşa en az hasar oluşur. Enzimler (pankreas, bakteri, malt), uygun şartlar altında nişastayı parçalayarak küçük moleküllere dönüştüren canlı organizmalardan elde edilen ama kendileri canlı olmayan biyokatalizörlerdir (Çoban, 1999).

### 2.2.3 Ağartma (Kasar)

Bazik işlemle hidrofil (su emici) hale gelmiş olan pamuklu kumaş görüntü olarak arı duru bir yapıya sahip değildir. Kumaşın beyaz olarak satışa sunulması isteniyor ise mutlaka bir ağartma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Ayrıca boya ve baskısı yapılacak kumaşlar da daha parlak renk elde edebilmek için yeterli miktarda bir ağartma yapılmasında yarar vardır (Çoban, 1999).

Ağartma işlemleri ile kumaş üzerinde bulunan doğal sarımtırak kahverengi pigmentler bozundurulurarak kumaştan uzaklaştırılmaktadır. Ağartma maddeleri olarak genelde yükseltgeyici maddeler kullanılmaktadır. Sodyumhipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ) Sodyumklorit ( $\text{NaClO}_2$ ) gibi ağartma maddeleri, çevre dostu olmadıkları gerekçesi ile gittikçe kullanımları azalmaktadır (Çoban, 1999).

İpliğin doğal renginde bulunan maddeler kumaşa kremi bir görünüm verir. Açık ve parlak tonlarda kumaş boyamak için, beyaz bir iplik elde etmek üzere ağartıcı tarafından ipliğin ağartılması gereklidir. Hipoklorit eski endüstriyel ağartma maddeleri biridir. Ağartma işlemi sırasında çok zehirli klorlu organik yan ürünler oluşumu, adsorbe edilebilir organik bağlayıcı halojen ile indirgenir (Babu vd., 2007).

Son birkaç yıldır, hipoklorit diğer ağartıcı maddeler ile değiştirilmiştir. Hipoklorit ile çevreye zarar vermeyecek alternatif perasetik asittir. Tamamen biyolojik olarak parçalanabilir oksijen ve asetik asit salar. Perasetik asitin avantajlarından biri de az lif hasarı ile yüksek parlaklık değerleridir (Prigione vd., 2008).

Ağartma işlemlerinde kullanılan bir diğer yükseltgeyici madde olan Hidrojenperoksit ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ise, çalışma yöntemlerinin çeşitliliği ve çevre yükü açısından sorun teşkil etmemesi, ağartmada bu maddenin önemini iyice arttırmıştır (Çoban, 1999).

### 2.2.4 Mercerize Etme

Gerçek anlamda mercerizasyon işlemi, yalnızca pamuklu tekstil ürünlerine uygulanmaktadır. İşlemin esası, pamuklu mamulleri derişik sodyumhidroksit ( $\text{NaOH}$ ) ortamında kısa süreli şişirmek ve gerilim uygulamaktır. Böylece iplik ve kumaşın bazı özellikleri geliştirilmiş ve değiştirilmiş olur. Mercerizasyon işlemi kuvvetli bazik ortamda (%20-26'lık  $\text{NaOH}$ ) yapılır ve hemen sonrasında germe işlemi uygulanır. Germe işlemi kumaş için 45-60 saniye, iplikler için 1-3 dakikadır. Bu süre sonunda sıcak su püskürtülerek stabilizasyon sağlanır (Çoban, 1999).

Pamuk elyafı ve kumaşı, mukavemet arttırmak, parlaklık vermek, boya almasını

geliştirmek ve beyazlatma amacıyla mercerize edilir. Esasen mercerize, kuvvetli bir sodyum hidroksit çözeltisi ile (yaklaşık %18-24) pamuklu malzemeyi gerilim altında tutarak 1-3 dakika muamele etmek ve sonra mamulü yıkayarak gerçekleştirilir. Pamuk üzerine bu çözeltinin emdirilmesi işlemi ile boyuna yönde çekme gerçekleştiği bilinmektedir. Bu germe veya gerilme altında tutarak önlenabilir. Malzeme parlaklık, mukavemet artışı, boya alımı ve emiciliği özelliklerini kazanır. Yıkama suyunda yüksek konsantrasyonlarda olabilen NaOH, membran teknikleri ile geri kazanılır. Alternatif bir yöntem olarak  $ZnCl_2$  kullanımı kumaşın ağırlığı ve boya alımında bir artışa yol açar, ve NaOH kolayca geri kazanılır. Dahası, işlem çevre dostudur ve asetik veya formik asit ile nötralize gerektirmez (Babu vd., 2007).

### **2.2.5 Boyama**

Elyaf veya kumaşa renk vermek için kimyasal pigmentlerle muamele işlemine boyama denir. Boyalara rengi veren kromofor ve auxochrome grupları kirliliğe neden olur. Boyama işleminde boyanın transferi için, işlem banyolarını ısıtmada buhar kullanılır. Dünyada en yaygın olarak kullanılan elyaf pamuktur. Örneğin, 1 kg pamuğu boyamak için, 0,6-0,8 kg NaCl, 30-60 g boya ve 70-150 L su kullanmak gerekir (Babu vd., 2007).

İşletmede tekstil mamullerinin renklendirilmesi boyama veya baskı olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilir. Boyama işlemi elyaf, tops, çile, iplik, kumaş ve bitmiş ürüne uygulanmaktadır. Kumaş boyama elyaf boyamaya oranla daha ekonomiktir. Baskı işlemi genellikle kumaşa ve bitmiş ürüne uygulanır (Gürcüm, 2005).

Tekstil ürünlerinin boyama işlemleri birçok yollarla ve geniş kapsamlı olarak çeşitli işlem kademelerinden oluşmaktadır. Boyama işlemini etkileyen çok sayıda faktör vardır. Bunlar; boyanacak lifin cinsi, boyar maddenin cinsi, yardımcı kimyasal madde kullanımı, boyama yöntemi, boyamanın yapıldığı boya banyosunun sıcaklığı ve boyama süresidir. Boyar maddeler temel olarak, selüloz lifini boyayan boyar maddeler, protein lifini boyayan boyar maddeler ve sentetik lifleri boyayan boyar maddeler olmak üzere üç ana gruba ayrılır (Çoban, 1999).

### **2.2.6 Apreleme**

Tekstilde apreleme, ön terbiye ve renklendirme işlemlerinden geçmiş tekstil mamulüne, istenilen tutumu kazandırmak için yapılan bitim işlemleridir. Apreleme işlemlerinde, nişasta ve türevleri, protein esaslı maddeler, doğal kauçuk, alginatlar,

selülozik esaslı maddeler ve yapay apre maddeleri kullanılır (Serindağ ve Halefoğlu, 2003).

Doğal ve sentetik kumaşlar çeşitli bitirme işlemlerine tabi tutulur. Bu işlem, nihai kumaşın spesifik özelliklerini geliştirmek için yapılır ve çapraz bağlama, su geçirmezlik, yumuşatma işlemleri çok miktarda su kullanımı ile gerçekleşir. Yapılacak yüzey işlemlerinin hepsi su kirliliğine katkıda bulunmaktadır (Babu vd., 2007).

Apreleme işlemi ile kumaşın fiziksel ve kimyasal özellikleri değişir. Apreleme işlemi ile görünüş, yumuşaklık, sağlamlık, pürüzsüzlük ve parlaklık gibi özelliklerin geliştirilmesi sağlanır. Kullanılan maddeler; nişasta (kola) ve dekstrin kolası, doğal ve sentetik balmumu, sentetik reçineler, amonyum ve çinko klorit, yumuşatıcı maddeler ve çeşitli özel kimyasallardır. Bu kimyasalların kullanımı ile kumaşta su geçirmezlik, yanmazlık ve küflenmeme gibi özellikler sağlanır (Gökkuş, 2006).

### **2.3 Tekstil Endüstrisi Atıksuları**

Tekstil atıksuları, kullanılan boyar madde türüne bağlı olarak çözülmüş formda birçok organik kirletici içermektedir. Tekstilde kullanılan boyar maddelerin kimyasal yapılarının kompleks sentetik orijinli olmalarından dolayı tekstil endüstrisi atık sularının arıtma işlemleri zor ve pahalı olmaktadır. Tekstil atıksularında, kullanılan boyaların özellikleri dolayısıyla özellikle biyolojik ayrışmaya karşı dirençli organik maddelerden (düşük BOİ<sub>5</sub>/KOİ oranı) (Beş Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı) ileri gelen organik kirlilik ve renk başlıca arıtılması zor olan kirletici parametrelerdir. Diğer taraftan bu boyaların ve parçalanma ürünlerinin muhtemel toksik veya kanserojen madde potansiyeli de mevcuttur (Söğüt vd., 2008).

Tekstil endüstrisi atıksuları yüksek konsantrasyonda boyar madde, BOİ, KOİ ve AKM (Askıda Katı Madde) içeren atıksulardır. Bu yüksek oranda KOİ ve renk verici maddeler atıksuyu estetik bakımdan kötüleştirerek, normal hayat için gerekli olan çözülmüş oksijen miktarını azaltmakta ve atıksuyun arıtımını zorlaştırmaktadır (Kestioğlu vd., 2005).

Tekstil endüstrileri, yaş dokuma prosesleri için çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedirler. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Alıcı sulara verilen renkli atıksular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler.

Ayrıca boyar maddelerin bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksularının renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır. Ancak kompleks kimyasal yapılarına ve sentetik kökenlerine bağlı olarak, boyar maddelerin giderilmesi oldukça zor bir işlemdir (Kocaer ve Alkan, 2002).

Tekstil endüstrisi ülkemizde en hızlı gelişen önemli sanayi dallarından biridir. Bu endüstri çok çeşitli üretim proseslerine sahip olması nedeniyle çıkış sularında yüksek konsantrasyonlarda organik ve inorganik kimyasalları, çözülmüş ve değişik yapıda boyarmaddeleri içerdiğinden KOİ, toplam organik karbon ve renk değerleri oldukça yüksektir (Xu vd., 2004).

Tekstil sanayii hem dünya ekonomisi hem de gündelik yaşamda önemli bir rol oynar, fakat aynı zamanda büyük miktarda su tüketir ( 1 kg pamuk boyamak için en fazla 150 L su) ve yüksek miktarlarda atıksu üretir (Prigione vd., 2008).

Tekstil atıksularda önemli kirleticiler; yüksek askıda katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı, ısı, renk, asitlik ve diğer çözünen maddelerdir (Savin ve Romen, 2008).

Tekstil endüstrisi atıksuları yüksek konsantrasyonda boyar madde, BOİ, KOİ ve AKM gibi maddeler içermektedirler. Tekstil atıksuları hem içerdikleri yüksek KOİ, hem de renk verici maddeler yönünden ekosistemde büyük kirlilik oluşturmaktadırlar. Bazı tekstil atıksularında işletme türüne bağlı olarak çok yüksek değerde ve biyolojik olarak parçalanması zor organik kirlilikler bulunmaktadır. Tekstil atıksularında bulunan organik kirlilikler biyolojik olarak parçalanabildiği takdirde, kimyasal arıtmaya dayalı biyolojik arıtma uygulanarak deşarj kriterlerine ulaşmak mümkün olabilmektedir. Ancak renk sorunu klasik arıtma sistemleriyle giderilemediğinden ve mevcut yönetmelikte deşarj kriteri olmadığından devam etmektedir. Avrupa Birliği'ne girmekte olan Türkiye'nin renk sorununu ileri arıtma yöntemleriyle giderip, deşarj kriterlerine ulaşması gerekmektedir (Kestioğlu ve Yalılı, 2006).

Tekstil endüstrisinin çevre sorunları, özellikle atıksu deşarjlarından kaynaklanır. Tekstil sektöründe yüksek su ihtiyacı vardır. Çevre üzerindeki en büyük etkisi, birincil su tüketimi (bitmiş tekstil 80-100 m<sup>3</sup>/ton) ve atık su deşarjı (bitmiş tekstilde 115-175 kg KOİ/ton, geniş bir yelpazede organik kimyasallar, düşük düzeyde biyolojik ayrışabilirlik, renk, tuzluluk) ile ilgilidir. Bu nedenle tüm sektör, atık sularının yeniden kullanımı için ekonomik ve ekolojik bir mücadele oluşturuyor (Li Rossi vd., 2007).

Tekstil işletmelerinde işlem tipine bağlı olarak, kilogram başına spesifik su kullanımını 60-400 L arasında değişmektedir.

**Çizelge 2.1.** Tekstil endüstrisi atıksu karakteristikleri (Yusuff ve Sonibare, 2004).

| İşlem         | Atık Bileşimi  | Yapı   |
|---------------|--|--|
| Haşılama      | Nişasta, vakslar, karboksimetil selüloz CMC (Karboksimetil Selülüz), PVA (Polivinil Alkol), ıslatıcı maddeler.   | Yüksek BOİ, KOİ,   |
| Haşıl Sökme   | Nişasta, CMC, PVA, katı yağlar, vakslar, pektinler   | Yüksek BOİ, KOİ, askıda katı madde, ÇKM (Çözünmüş Katı Madde)                            |
| Ağartma       | Sodyum hipoklorit, Cl <sub>2</sub> , NaOH, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , asitler, yüzey aktifler, NaSiO <sub>3</sub> , sodyum fosfat, kısa pamuk lifi. | Yüksek alkalinite, yüksek askıda katı madde  |
| Merserizasyon | Sodyum hidroksit, pamuk mumu   | Yüksek pH, düşük BOİ, yüksek çözünmüş katı madde   |
| Boyama        | Boyarmaddeler üre, indirgenler, oksitleyici maddeler, asetik asit, deterjanlar, ıslatıcı maddeler.   | Güçlü renkte, yüksek BOİ, çözünmüş katı madde, düşük askıda katı madde, ağır metaller    |
| Baskı         | Macunlar, üre, alkali nişastalar, sakızlar, yağlar, bağlayıcılar, asitler, kıvamlaştırıcılar, çapraz bağlayıcı, indirgeyici maddeler.                    | Yüksek renklilik, yüksek BOİ, yağlı görünüm, askıda katı madde, hafif alkali, düşük BOİ, |

Tekstil boyama sektöründe bol miktarda su tüketilir ve boyama ve terbiye işlemlerinin çeşitli aşamalarında büyük miktarda atık su üretir. Baskı ve boyama ünitelerinden gelen atıksular reaktif boya ve kimyasal maddelerin kalıntılarını içeren, genellikle renk bakımından zengindir ve doğaya bırakılmadan önce uygun arıtma gerektirir. Kirletici maddeler genel olarak, boya maddeleri ve diğer organik bileşiklerin yanı sıra endüstriyel kuruluşlardan asit ve alkalilerin toksik etkileri olarak kabul edilir. Çevresel sorunlara ilişkin halk endişesinin artması çok sayıda küçük ölçekli işletmenin kapatılmasına yol açmıştır (Babu vd., 2007).

#### 2.4 Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtma Yöntemleri

Tekstil endüstrisi kullanılan ham ve kimyasal maddelerin, uygulanan işlemlerin ve teknolojilerin çeşitliliği ile su kullanımlarına bağlı olarak değişkenlik gösteren bir endüstri dalıdır. Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksuyun özelliği, arıtılabilirliği, çalışma düzenindeki olası değişimler ve bu değişimlerin atıksu ve arıtılabilirlik üzerine etkileri dikkate alınarak hem ekonomik açıdan uygun, hem de çevre korunması

bakımından yeterli düzeyde arıtımı gerçekleştirecek güvenli ve esnek bir arıtma sisteminin tercih edilmesi gereklidir. Bu dinamik yapı, atıksu karakterizasyonu ile uygulanan arıtma teknolojilerine de yansımaktadır; dolayısıyla tekstil endüstrisi için tipik bir atıksu ve standart arıtma teknolojilerinden söz etmek anlamsız hale gelmektedir. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılabilir (Alkan vd., 2006).

## **2.4.1 Fiziksel Yöntemler**

### **2.4.1.1 Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon teknikleri konvansiyonel metotlar için fazla kararlı olan kirleticilerin giderimindeki verimlilikten dolayı son yıllarda ilgi görmektedir. Adsorpsiyon ekonomik açıdan makul bir yöntemdir ve yüksek kalitede ürün oluşumu sağlar. Adsorpsiyon prosesi, boya/sorbent etkileşimi, adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi pek çok fiziko-kimyasal faktörün etkisi altındadır. Adsorpsiyonla renk gideriminde en çok kullanılan yöntem aktif karbon yöntemidir. Aktif karbonla renk giderimi özellikle katyonik, mordant ve asit boyalar için etkili iken, dispers, direkt, vat, pigment ve reaktif boyalar için daha az bir renk giderimi söz konusudur. Yöntemin performansı kullanılan karbonun tipine ve atıksuyun karakteristiğine bağlıdır. Rejenerasyon ve tekrar kullanım performansta azalmaya neden olurken bu dezavantaj aşırı miktarda aktif karbon kullanılmasıyla giderilebilir. Ancak aktif karbon pahalı bir malzemedir. Adsorban olarak kullanılabilen diğer bir malzeme bataklık kömürüdür. Bataklık kömürü, boya içeren atıksulardaki polar organik bileşikler ve geçiş metallerini adsorplayabilmektedir. Adsorban olarak bataklık kömürünün kullanımı özellikle bol bulunduğu İrlanda ve İngiltere gibi ülkelerde söz konusudur. Bataklık kömürü aktif karbona göre daha ucuzdur ancak aktif karbonun toz haldeki yapısından kaynaklanan geniş yüzey alanı daha yüksek bir adsorpsiyon kapasitesini ifade etmektedir. Ağaç kırıntıları, uçucu kül+kömür karışımı, silika jeller, doğal killer, mısır koçanı gibi malzemeler de, boya gideriminde adsorban olarak kullanılabilir. Bunların ucuz ve elde edilebilir oluşu boyar madde giderimindeki kullanımını ekonomik açıdan cazip kılmaktadır (Kocaer ve Alkan, 2002).

### **2.4.1.2 Membran filtrasyonu**

Bir katı-sıvı ayırma tekniği olan membran prosesler, özellikle son yıllarda gittikçe artan bir öneme ve ilgiye sahip olmuştur. Bu ilginin nedenleri arasında

membran proseslerin yüksek verimde arıtılmış su kalitesi, küçük alan ihtiyacı gereksinimleri, kolay işletilebilirlik, düşük çamur üretimi ve enerji sarfiyatı, kolay kurulum ve patojen giderimi gibi önemli avantajlar sayılabilir. Bu avantajlarının yanı sıra membranların tıkanmasına bağlı olarak gerçekleşen süzüntü akısının azalması membran proseslerin en büyük dezavantajları arasındadır. Özellikle biyolojik arıtım proseslerinde membran filtrasyonunun kullanımını kısıtlayan en önemli faktör, çözülmüş ve bağlı hücre dışı biyomateryallerdir. Biyomateryallere ilave olarak aktif çamurun flok boyutu, MLSS (Karışımın Askıda Katı Madde) konsantrasyonu, çamur hidrofobitesi ve yüzey yükü kirlenme mekanizmasını etkileyen dinamik parametreler arasında sayılabilir (İmer vd., 2009).

Bütün membran proseslerinde anahtar faktör ayırma aracı olarak kullanılan membrandır. Membranlar polimerik, cam, metal ve sıvı materyallerden hazırlanabilirler ve gözenekli veya gözeneksiz, simetrik veya asimetrik, ya da kompozit olabilirler. Geleneksel ayırma işlemlerine göre yüksek seçicilik, enerji tasarrufu, ortalama maliyet-performans oranı ve modülerlik gibi birçok avantaj getirirler. Ayrıca geleneksel ayırma araçlarıyla birlikte hibrid prosesler oluşturabilirler (Salt ve Dinçer, 2006).

Membranlar ayırma işlemleri, aynı anda atık suyun rengi ve KOİ/BOİ azaltması, boyar maddeleri hidrolize ve boyama yardımcı maddelerinin ayrılması için oldukça çok olanaklar sunar. Membran tercihi, çıkış suyunun kalitesi ile ilgili olup, RO (Ters Osmoz), NF (Nanofiltrasyon), UF (Ultrafiltrasyon) ya da MF (Mikrofiltrasyon) yöntemi olabilir (Babu vd., 2007).

Yapılan çalışmalar, membran filtrasyonu ile, çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir (Rozzi vd., 1999).

#### **2.4.1.3 İyon değişimi**

Boya içeren atıksuların arıtılmasında iyon değiştiricilerin kullanılması henüz yeterince yaygın değildir. Bunun ana nedeni, iyon değiştiricilerle arıtılarak olumlu sonuç alınan boya sınıfının kısıtlı olduğu düşüncesidir. Yöntemde, atıksu, mevcut değişim bölgeleri doygunluğa erişene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçer. Bu şekilde, boyar madde içeren atıksulardaki hem katyonik hem de anyonik boyalar uzaklaştırılabilmektedir. Yöntemin avantajları, rejenerasyonla adsorban kaybının bulunmaması, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesi ve çözünebilir

boyaların etkin şekilde giderilebilmesidir. En büyük dezavantaj ise kuşkusuz yöntemin maliyetidir. Organik çözücüler oldukça pahalıdır. Ayrıca iyon değişimi metodu dispers boyalar için pek etkili değildir (Robinson vd., 2001).

#### **2.4.2 Kimyasal Yöntemler**

Tekstil atıksularının kimyasal yöntemlerle arıtılması uzun yıllardan beri en çok rağbet gören yöntem olmuştur. Bunun en büyük nedeni, şüphesiz atıksu kalitesinde meydana gelen değişikliklerin kullanılan kimyasal da veya uygulanan dozda yapılan değişikliklerle kolayca tolere edilebilir olmasıdır. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında en yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntemler oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemidir (Yılmaz, 2010).

##### **2.4.2.1 Oksidasyon yöntemi**

Oksidasyon yöntemi, kimyasal yöntemler içerisinde en yaygın olarak kullanılan renk giderme yöntemidir. Bunun nedeni renk giderme işleminin basit oluşudur. Kimyasal oksidasyon işlemi sonucunda boyarmadde molekülündeki aromatik halka kırılarak atıksudaki renk giderimi sağlanır (Kocaer ve Alkan, 2002).

##### **2.4.2.2 Fenton prosesi**

İleri oksidatif prosesler ( $H_2O_2/UV$ ,  $TiO_2/UV$ ,  $O_3/UV$ ,  $Fe^{+2}/H_2O_2$ ) biyolojik olarak daha basit son ürünlere parçalanabilmesi zor olan kompleks organik bileşikler okside etmede etkili olduğundan son zamanlarda ilgi çekmektedir. Bu metotlar arasında, Fenton oksidasyonunun işletimi kolay, sistemi basit ve geniş sıcaklık aralıklarında uygulanabilirliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Hanay ve Hasar, 2007).

Fenton oksidasyon prosesi  $Fe^{+2}$  ve  $H_2O_2$  karışımı varlığında gerçekleştirilen bir seri oksidasyon ve pıhtılaştırma-yumaklaştırma uygulamasıdır. Oksidasyon uygulamalarında en güçlü oksidanlardan biri olan hidroksil radikali bu proseste üretilip kullanılmaktadır (Hanay ve Hasar, 2007).

Fenton oksitleme tepkime kesikli olarak olur ve genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

1. Asit ilavesiyle pH değerinin yaklaşık 3'e ayarlanması,
2. Fe(II) tuzu eklenmesi,
3.  $H_2O_2$  ilave edilmesi,
4. Reaksiyona tabi tutmak ve katıları ayırdıktan sonra kireç sütü veya kostik soda ile nötralize edilmesi (Pala ve Erden, 2005).

Ozonla oksidasyon, klorlu hidrokarbonların, fenollerin, pestisitlerin ve aromatik hidrokarbonların parçalanmasında da oldukça etkilidir. Boya içeren atıksuların ozonlanmasında hız sınırlayıcı basamak ozonun gaz fazından atıksuya olan kütle transferidir. Önemli bir avantaj ise ozonun gaz durumunda uygulanabilir olması ve dolayısıyla diğer bazı yöntemlerin aksine atık çamur oluşmamasıdır (Wu ve Wang, 2001).

#### **2.4.2.3 Koagülasyon-Flokülasyon (Pıhtılaştırma - Yumaklaştırma)**

Kimyasal arıtmada yaygın olarak kullanılan koagülasyon ve flokülasyon prosesi su ve atıksu arıtımında geniş bir kirletici grubunun giderilmesinde yaygın bir şekilde kullanılan bir prostestir. Koagülasyon, koloidal süspansiyon içindeki yüklü partiküllerin zıt yüklü iyonlarla karşılıklı çarpışması ile nötralize edilip bir araya toplanarak çökelmelerin sağlanması olayıdır. Flokülasyon ise oluşan bu yumakların daha büyük floklar oluşturulması için yapılan işlemdir. Bu amaçla ortamda uygun kimyasal maddeler ilave edilir. Alüminyum ve demir tuzları en çok kullanılan koagülan maddelerdir. Koagülasyon-flokülasyon prosesinde suya kimyasal madde ilavesiyle, suda bulunan askıda ve çözünmüş maddelerin yapıları değiştirilerek yada ilave edilen maddelerin oluşturduğu fiziksel etkenler ile suda bulunan maddelerin sudan uzaklaştırılması sağlanır. Koagülasyon ve flokülasyon prosesi üç ana bölümden meydana gelmektedir. Birincisi koagülan ilavesi ile hızlı karıştırma, ikincisi yardımcı koagülan madde ilavesi ile yavaş karıştırma ve son olarak oluşan yumakların çökeltmesi için çökeltme işlemlerinden oluşur. Bu proseste optimum ve ekonomik koagülan madde dozajının belirlenmesi oldukça önemli bir aşamadır. Yüksek koagülan dozu çamurun susuzlaştırılmasını zorlaştırırken, düşük dozlar ise su içerisindeki askıdaki maddelerin giderimini azaltır. Diğer önemli bir aşama ise optimum pH'ın seçimidir. Çünkü oluşan hidroksil radikal türleri pH'a bağlı olarak oluşmaktadır. (Özyonar ve Karagözoğlu, 2011).

Bir kimyasal arıtma olarak koagülasyon-flokülasyon prosesi; tekstil atıksularının arıtılmasında, tekstil boyar maddelerinin gideriminde, ağır metallerin sudan uzaklaştırılmasında, sızıntı sularının arıtılmasında, katı atıklardan fosfor ve ağır metal gideriminde, kağıt sanayi atıksularının arıtımında, süt proses atıksuyunun arıtımında, fosforun ve katı maddelerin giderilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Özyonar ve Karagözoğlu, 2011).

### 2.4.3 Biyolojik Yöntemler

Biyolojik arıtma, atıksuların içinde bulunan ve kirletici madde olarak tanımlanan askıda ve çözülmüş halde bulunan organik ve inorganik karakterli maddelerin mikroorganizmalar tarafından aerobik, anaerobik ve fakültatif şartlarda parçalanarak çevresel açıdan zararsız bileşiklere dönüştürülmesi işlemlerine verilen genel addır (Kestioğlu, 2001).

Biyolojik arıtım, endüstriyel proseslerden alıcı sistemlere transfer olan organikler için en önemli giderim prosesidir. Tekstil endüstrisi atıksuları için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyet gerektirmeleri ve her boya için kullanılamıyor olmaları, uygulanmalarının sınırlı olmasına neden olmuştur. Son zamanlarda yapılan çalışmalar birçok boya türünü atıksudan giderebilme yeteneğine sahip yaygın mikroorganizma türlerinin mevcudiyetini vurgulamış ve biyoteknolojik metodları ön plana çıkarmıştır (Kocaer ve Alkan, 2002).

### 2.5 Biyolojik Arıtma Prosesleri

Biyolojik arıtma, atık su arıtma sistemlerinde en çok kullanılan terimdir ve hem bağlı büyüme, hem de süspanse büyüme arıtma sistemlerini içermektedir. Biyolojik arıtımda görev yapan mikroorganizmaların toplam kütesine biyomas; mikroorganizmalar tarafından kullanılan besi maddelerine de substrat adı verilir (Kestioğlu, 2001).

Organik atıkların ayrışmasında ve stabilizasyonunda çeşitli mikroorganizmalar etkili olmakla birlikte, en yaygın olarak bakteriler kullanılmaktadır. Mikroorganizmalar kolloidleri ve çözülmüş karbonlu organik maddeleri çeşitli gazlara ve yeni mikroorganizmalara dönüştürürler (Samsunlu, 2006).

Biyolojik arıtmanın amacı, atıksudaki çökelmeyen kolloidal katıları pıhtılaştırarak gidermek ve organik maddeleri kararlı hale getirmektir. Evsel atıksu arıtımında organik madde içeriğinin yanı sıra azot ve fosfor gibi besi maddeleri de biyolojik arıtımda giderilir. Çoğu kez toksik olabilecek eser (iz) miktardaki organik maddeleri gidermek de önemlidir. Tarım alanlarından geri dönen sularda azot ve fosforun arıtılması kritik önem taşır. Endüstriyel atıksular için, organik ve inorganik bileşiklerin arıtımı önemlidir (Öztürk vd., 2005).

Biyolojik arıtma ünitelerinde asıl arıtmayı sağlayan bakteriler, organik maddeleri parçalayan heterotrofik bakterilerdir. Birçok heterotrof bakteri olmasına rağmen en

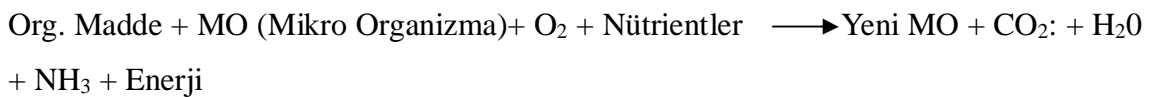
önemlileri; nitrat indirgeyen, sülfat indirgeyen, karbonlu maddelerin ayrışmasını sağlayan, azotlu maddelerin ayrışmasını sağlayan bakteriler ile Coli-Aerogenes türü bakterilerdir (Kestioğlu, 2001).

Organik kirleticiler tabiatta mevcut çok sayıda ve değişik mikroorganizmalar tarafından yok edilirler. Çok genel olarak bu mikroorganizmalar aerobik, fakültatif ve anaerobik olarak söylenebilir. Aerobik (havalı) mikroorganizmaların yaşamak için oksijene ihtiyaç duymalarına karşın anaerobik (havasız) mikroorganizmalar oksijensiz ortamda yaşarlar. Fakültatif mikroorganizmalar ise hem oksijenli hem de oksijensiz ortamda yaşayabilirler. Aerobik mikroorganizmalar bir alıcı ortama deşarj edilen organik kirleticileri biyolojik olarak parçalayarak yok ederler. Bu parçalanmanın gerçekleşmesi için, ortamda muhakkak yeterli oksijen bulunmalıdır (Arık, 1994).

Biyolojik arıtma sistemleri değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Ortamda oksijen varlığına göre havalı (aerobik) ve havasız (anaerobik) olarak sınıflandırılan bu sistemler kullanılan mikroorganizmaların sistemdeki durumuna göre askıda ve sabit film (biyofilm) prosesleri olarak da sınıflandırılabilirler (Öztürk vd., 2005).

### 2.5.1 Havalı (Aerobik) Sistemler

Çözünmüş oksijen mevcudiyetinde mikroorganizmaların organik ve inorganik maddeleri ayrıştırmasına ve kararlı hale dönüştürmesine dayanan reaksiyonların gerçekleştiği sistemler aerobik sistemlerdir. Organik atıklar aerobik mikroorganizmalarca ayrıştırılarak enerji temin edilir ve yeni hücreler oluşturulur. Aerobik arıtma sistemlerinde arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizma topluluğuna aktif çamur denir. Aktif çamur biyokütlesi ile ilgili hesaplarda kullanılan formül,  $C_5H_7O_2N$  şeklinde kabul edilmiştir. Formülün basit olması ve hesap kolaylığı sağlaması açısından diğer bileşenlere formülde yer verilmemiştir. Fosfor da dikkate alındığında biyokütle  $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$  formülü ile ifade edilir. Buna göre yeni mikroorganizmaların oluşum denklemi aşağıdaki gibi basit olarak ifade edilebilir (Samsunlu, 2006).



Gıda arzı bittikten sonra hücrenin ihtiyat malzemelerinin bir kısmı kendi kütlesi tarafından okside edilir (Samsunlu, 2006).

### 2.5.2 Havasız (Anaerobik) Sistemler

Anaerobik arıtma, anaerobik mikroorganizmalar tarafından organik maddelerin

önce hidrolize edilerek sonra asitleştirilerek metan ve karbondioksit haline dönüştürülmesi ve ortamdaki uzaklaştırılması prosesidir (Samsunlu, 2006)

Anaerobik arıtmada, kompleks organik maddeler, birinci adımda asit üreten bakteriler tarafından organik asitlere (bütirik, propiyonik ve asetik asit), ikinci adımda metan üreten bakterilerle metan ( $CH_4$ ) ve karbondioksit ( $CO_2$ ) dönüştürülürler (Samsunlu, 2006).

Anaerobik ayrışmanın ilk adımında genellikle bir biçim değişimi söz konusu olduğundan, KOİ giderimi çok düşük mertebede gerçekleşmektedir. İkinci adımda metan oluşumu yolu ile organik madde giderimi mümkün olmakta ve bu giderim doğrudan doğruya oluşan metan miktarıyla orantılı olmaktadır (Samsunlu, 2006).

## 2.6 Atıksu Arıtma Sistemlerinde Bulunan Önemli Mikroorganizmalar

Biyolojik arıtma yöntemlerinde, tesis işletmesinin gereği gibi yürütülebilmesi için, öncelikle biyolojik yöntemin mikrobiyolojik esaslarının bilinmesi gerekmektedir. Arıtmada rol oynayan mikroorganizmalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir. (Samsunlu, 2006)

**-Aerobik mikroorganizmalar:** Metabolik prosesler için moleküler oksijen ihtiyacı vardır.

**-Anaerobik Mikroorganizmalar:** Oksijensiz ortamda yaşayabilen, enerjilerini organik bileşiklerden sağlayan mikroorganizmalardır.

**-Fakültatif Mikroorganizmalar:** Oksijenli ortamda aerobik mikroorganizmalar gibi, oksijensiz ortamda ise anaerobik mikroorganizmalar gibi davranan canlılardır.

Biyolojik arıtmada yaygınla kullanılan mikroorganizmalar bakterilerdir. Fungi, protozoa, rotiferler ve algler biyolojik arıtmada etkili olan diğer mikroorganizmalardır.

### 2.6.1 Bakteriler

Bakteriler tek hücreli prokaryot canlılar olup binlerce değişik türü bulunmaktadır. Bakteriler şekillerine göre üç gruba ayrılmaktadır: (Samsunlu, 2006).

1. Küresel biçimde olanlar (0,5 - 1 mm. boyutunda)
2. Silindirik biçimde olanlar (eni 0,5 - 1 mm, boyu 1.5-3 mm)
3. Spiral biçimde olanlar (eni 0.5-5 mm, boyu 6-15 mm)

Bakteri faaliyetleri sonunda atıksuyun içerisinde bulunan organik maddeler ayrışmayan son ürüne ve depo malzemesine dönüşürler. Biyokimyasal olaylar,

bakterilerin iç bünyesinde meydana gelen reaksiyonlarla oluştuğundan, besi maddelerinin bakterilerin içerisine alınması gereklidir. Organik maddelerin bakterilerin içerisine girebilmesi için belli bir büyüklüğü geçmemesi gerekir. Maddenin cinsine bağlı olmak kaydıyla bu büyüklük bir karbon zinciri için 8 ile 12 karbon atomudur. Daha büyük olanlar hücrenin dışında parçalanmalıdırlar. Bu olay hidroliz enzimi ile gerçekleştirilir (Samsunlu, 2006).

Atıksu arıtma sistemlerinde biyolojik arıtımı sağlayan mikroorganizmalardır ve prokaryotik yapıdadırlar. Arıtma sistemlerinde bulunan bakterilerin boyu,  $10^3 - 10^5$  (A°) arasında değişir ve düz, küresel, silindirik, spiral, virgül gibi değişik şekillere sahiptirler. Bakteriler tek başlarına ve gruplar halinde yaşamlarını sürdürmektedirler. Birbirlerine ipliksi maddelerle bağlanarak flok oluştururlar. Salmonella, Shigella. Leptospira, Pasturella, Vibrio, E. Coli, Yersinia. Mycobacterium ve bunların alt türleri gibi değişik bakteri türleri mevcuttur (Kestioğlu, 2001).

Bakterilerin yapısı aynen hücrelerin yapısına benzemektedir. Bakterilerde gerçek bir hücre çekirdeği bulunmayıp yaşamlarını yönlendiren DNA (Deoksiribonükleik Asit) mevcuttur. Bakteriler, salgıladıkları enzimlerle, ortamdaki organik maddeleri parçalayarak bu maddelerin tüketimini hızlandırmaktadırlar. Bakterilerin yapısında, %80 su ve %20 oranında katı madde bulunmaktadır. Katı madde içeriğinin de %50'si karbondan oluşmaktadır. Bakteriler, yapıtaşları olarak inorganik maddeleri bünyelerinde bulundurmalarından başka, yaşadıkları ortamdaki ağır metalleri bünyelerine alarak kendi aktif bölgelerine bağlarlar. Eğer yaşadıkları ortamlarda, istenenden fazla miktarda toksik inorganik maddeler bulunuyorsa, bu maddeler bağlandıkları aktif maddeleri inhibe ederek bakterilerin aktivitelerini düşürürler (Kestioğlu, 2001).

Bakteriler çok küçük canlılar olduklarından belli şartlara haiz bir ortamda yaşamlarını sürdürebilirler. Atıksu arıtma sistemlerinde istenen arıtma verimine ulaşılabilmesi için ortamın pH değeri 6,5-8,5 arasında, ortam sıcaklığının 15-40 °C ve ortamdaki çözülmüş oksijen derişiminin 2 mg/L değerinden büyük olması gerekmektedir. Bakteriler, buldukları atıksu ortamına 6 saat süreyle hava verilmezse ölürlere ve arıtma aktivitelerini sürdüremezler. Atıksu arıtma tesislerinde arıtmayı sağlayan bakteriler istedikleri ortamlarda bulunmazlarsa yaşamlarını sürdürebilirler ancak arıtma aktiviteleri düşer. Bazı bakteriler 55-65°C sıcaklıklarında (Termofilik) aktivitelerini sürdürürlerken diğer bakteriler bu sıcaklıklarda ancak 10 dakika

dayanabilirler. Kuru havada, 140-180 °C'lerde yaşayan bakteriler olduğu gibi -190 ile -250 °C'lerde yaşayan bakteriler de vardır (Kestioğlu, 2001).

Hidrojen iyonu konsantrasyonunun bir simgesi olan pH, bakterilerin gelişimine tesir eden önemli çevresel faktörlerdendir. Organizmaların çoğu 9,5'dan büyük ve 4'den küçük pH değerlerine tahammül edemezler. Genel olarak büyüme için optimum pH aralığı, 6,5-7,5 arasındadır (Kestioğlu, 2001).

### **2.6.2 Ototrofik Bakteriler**

Ototrofik bakteriler, kendileri için gerekli olan enerjiyi, basit inorganik bileşiklerin oksitlenmesinden ve hücrelerinin inşa etmek için gerekli karbonu, ya CO<sub>2</sub>'den veya karbonattan sağlayan bakterilerdir. Ayrıca ototrofik bakteriler enerjilerini sağladıkları maddelere göre de sınıflandırılmaktadırlar. Amonyak ve nitritler gibi, inorganik azot bileşiklerinden enerji temin eden bakterilere nitrifikasyon bakterileri: aynı şekilde enerjilerini, hidrojen sülfür, tiyosülfat ve kükürt gibi basit inorganik bileşiklerin oksitlenmesinden sağlayan bakterilere de kükürt bakterileri denilmektedir. İki değerlikli demir bileşiklerinin oksidasyonundan enerji temin eden bakterilere de demir bakterileri denir (Kestioğlu, 2001).

#### **2.6.2.1 Nitrifikasyon bakterileri;**

Amonyakın, ototrofik bakteriler vasıtasıyla oksitlenerek nitratların teşekkülü iki ayrı organizma grubu tarafından iki safhada gerçekleştirilir. İlk adım olarak amonyak azotu nitrit azotuna dönüşür. Bu işlem Nitrosomonas isimli bakterilerce gerçekleştirilir. İkinci aşamada da nitrit anyonu nitrat anyonuna dönüşür. Bu işlemi de Nitrobacter isimli bakteriler gerçekleştirir. Nitrifikasyon bakterileri içeren aktif bir kültürün oluşturulması uzun zaman alır. Nitrifikasyon olayının gerçekleşmesi, yani Amonyakın nitrit ve nitrat bileşiğine dönüşmesi için, ortamda oksijen bulunması gerekir. Hafif alkali ortamda en yüksek hızla gerçekleşir. Amonyak olmadan nitratları meydana getiren bakteriler olmaz. CO<sub>2</sub>'in veya karbonatların mevcut olması gerekir. Yeni bir aktif çamur ünitesi işletmeye alındığı zaman nitrifikasyon olayı meydana gelmeden önce havuz uzun bir süre havalandırılmalıdır (Kestioğlu, 2001).

#### **2.6.2.2 Kükürt bakterileri**

Atıksu arıtma tesislerinde bulunan kükürt bakterileri ototrofik bakterilerdir. Kükürt bakterilerinin bir kısmı hücrelerin içinde, diğer bir kısmı da hücrelerin dışında faaliyet gösterirler. Kükürt bakterileri de azot bakterilerine benzer şekilde kükürtlü

bileşiklerin oksitlenmesini sağlayabilirler (Kestioğlu, 2001).

### **2.6.2.3 Demir bakterileri**

Demir bakterileri, atıksularda bulunan  $Fe^{+2}$  iyonlarını  $Fe^{+3}$  iyonlarına yükseltgeyen ototrofik bakterilerdir. Bu grup bakterilerin çoğu içme suyu tesislerinin dağıtım yapılarında yer alırlar. Atıksu arıtma sistemlerinde bulunan demir bakterileri, içme suyu dağıtım sistemlerindeki kadar önemli değildir. Demir bakterilerinin çoğu, demir bileşiklerini okside etmek için gerekli olan enerjilerini, organik bileşiklerin oksitlenmesinden elde ederler (Kestioğlu, 2001).

### **2.6.3 Heterotrofik Bakteriler**

Heterotrofik bakteriler, karbon kaynağı olarak organik maddeleri kullanırlar. Ayrıca enerji kaynağı olarak da organik maddelerin indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonlarından elde edilen enerjileri kullanırlar. Atıksu arıtma tesisleri için çok büyük öneme sahiptirler. Biyolojik arıtma ünitelerinde asıl arıtmayı sağlayan bakteriler, organik maddeleri parçalayan heterotrofik bakterilerdir. Birçok heterotrof bakteri olmasına rağmen en önemlileri; nitrat indirgeyen, sülfat indirgeyen, karbonlu maddelerin ayrışmasını sağlayan, azotlu maddelerin ayrışmasını sağlayan bakteriler ile Coli-Aerogenes türü bakterilerdir (Kestioğlu, 2001).

#### **2.6.3.1 Nitrat indirgeyen bakteriler**

Anaerobik arıtmada faaliyet gösteren nitrat indirgeyen bakteriler nitratları, nitritlere, amonyağa ve hatta azot gazına kadar indirgeyebilmektedirler. Bu bakterilerin aktivitelerini sürdürmeleri için ortamda oksijenin bulunmaması ve elektron verici olarak karbon kaynaklarının bulunması gerekmektedir. Günümüz koşullarında Türkiye'de atıksuların deşarj limitlerinde azot genelde dikkate alınmamaktadır. Ancak, alıcı ortamlara fazla miktarda verilen azot, bu ortamların kirlenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle aerobik arıtma sistemlerinde oluşan azot bileşikleri, daha sonra anaerobik ortamlarda nitrat indirgeyen bakteriler vasıtasıyla denitrifikasyona tabi tutulurlar. Özellikle, gübre, deri ve gıda sanayii atıksularında oldukça fazla miktarlarda azotlu maddeler bulunmaktadır. Bu tür atıksular, aerobik biyolojik arıtma sistemlerinde arıtılırken, içinde bulunan azotlu maddelerin büyük bir kısmı nitrat haline dönüşür. Sistemde bulunan azot miktarının azaltılması için aerobik arıtma prosesini takiben anaerobik denitrifikasyon prosesi devreye alınarak nitrat indirgeyen bakterilerle ortamdaki azot miktarı azaltılır (Kestioğlu, 2001).

### **2.6.3.2 Sülfat indirgeyen bakteriler**

Nitrat indirgeyen bakteriler gibi, sülfat indirgeyen bakteriler de anaerobik heterotrof bakterilerdir. Oksijensiz ortamda anaerobik sülfat indirgeyen bakteriler, elektron alıcı olarak sülfat iyonu içindeki (+6) değerlikli sülfürü kullanarak hidrojen sülfür oluşumunu sağlarlar ve çevrede kötü kokunun oluşmasına neden olurlar. Anaerobik ortamda sülfatın indirgenebilmesi için, ortamda oksijenin olmaması, elektron verici olarak karbon kaynaklarının bulunması, optimum ortam sıcaklığının mevcut olması gibi asgari şartların oluşması gerekmektedir (Kestioğlu, 2001).

### **2.6.3.3 Karbonlu maddelerin ayrışmasını sağlayan heterotrofik bakteriler**

Atıksu içinde bulunan karbonlu maddeler, selüloz, hemi selüloz, yağlar, gres ve sabunları ihtiva ederler. Heterotrof bakteriler hem aerobik hem de anaerobik şartlarda bu organik maddeleri parçalayarak stabil halde son ürünlere dönüştürürler. Bu bakterilerin, atıksularda bulunan büyük molekülü organik maddeleri parçalayabilmeleri için arıtmanın türüne bağlı olarak, enzimlerle önce hidrolize tabi tutularak küçük molekülü organik bileşiklere dönüştürülürler. Heterotrof bakterilerin organik maddeleri parçalayabilmesi için ortam sıcaklığının 15 ila 35 °C arasında olması gerekmektedir. Sıcaklık düşer veya yükselirse, bakterilerin aktiviteleri azalır ve istenen parçalanma sağlanamaz. Özellikle 70 °C civarındaki sıcaklıkta, bakteri faaliyetleri tamamen durur. Biyolojik arıtımın meydana geldiği ortamın pH değeri de heterotrof bakterilerin organik maddeleri parçalamasını etkilemektedir (Kestioğlu, 2001).

Genelde pH değerinin 6,5-8,5 arasında olması istenmektedir. Eğer ortamın pH'ı uygun değerlerde değilse, ortama teknik sodyum bikarbonat ilave edilerek ortam pH'ı tamponlanır ve istenen pH değeri oluşturulur (Kestioğlu, 2001).

### **2.6.3.4 Azotlu maddelerin ayrışmasını sağlayan heterotrof bakteriler**

Atıksu içerisinde bulunan azotlu organik maddeler, değişik kompleks bileşikler içermektedir. En karmaşık azotlu organik bileşik proteindir. Proteinleri ve aminoasitleri parçalamaya muktedir olan birçok heterotrofik bakteri türleri vardır. Atıksu içerisinde bulunan heterotrofik bakteriler önce, ortamdaki karbonlu maddeleri parçalar, karbonlu maddeler bittikten sonra, ortamdaki azotlu maddeleri oksitlemeye başlarlar. Anaerobik arıtımda hem denitrifikasyon hem de organik maddelerin parçalanması aynı anda meydana gelmektedir (Kestioğlu, 2001).

#### **2.6.4 Protozoala**

Protozoalar, bakterilerden daha iri, mikroskopik protista grubunda yer alan, tek hücreli organizmalardır. Genel olarak aerobik heterotrof olarak faaliyet gösterirler. Atıksu arıtma sistemlerinde, süspanse haldeki maddeleri tükettiklerinden dolayı, olumlu etki yapmaktadırlar. Protozoalar, gruplar veya koloniler halinde yaşarlar, çoğunda klorofil bulunmadığından tükettikleri maddelerin enerjilerine muhtaçtırlar. Buna karşın bazı protozoalar sarı veya yeşil renkte fotosentetik pigmentler ihtiva ederler (Kestioğlu, 2001).

#### **2.6.5 Mantarlar**

Mantarlar, klorofilsiz ipliksi bitkilerdir. Mantarlar genel fizyolojik özellikleri bakımından tek hücrelilerden ziyade bakterilere daha yakındırlar. Bazı ipliksi bakteriler şekil olarak mantarlara çok benzerler, bunlar mantarların, bitkisel ve çoğalabilen hücreleriyle ayırt edilebilirler (Kestioğlu, 2001).

Aktif çamur sistemlerinde mantarlar, önemli bir yer tutmaktadır. Biyolojik arıtma sistemlerinde ipliksisilerin dominant hale gelmesi şişkin çamur oluşumuna sebep olmaktadır. Mantarlar hem pH, hem de ortam sıcaklığı bakımından bakterilerden daha dayanıklıdırlar. Biyolojik arıtma sistemlerine herhangi bir inhibisyon maddesi geldiğinde, ortamın pH'ı düştüğünde veya yükseldiğinde, mantarlar 2-9 pH değerleri arasında faaliyet gösterebilirken, aynı şartlarda bakteriler, inaktif duruma geldiklerinden mantarlar dominant hale gelirler ve aktif çamur havuzunu tamamen doldurarak aktif çamurun çökmesini engellerler. Bu olumsuz durumun önlenmesi için havuza, klor veya göztaşını ilave edilmeli, bütün bu tedbirler etkili olmaz ise, havuz tamamen boşaltılarak yeniden bakteri üretimi yapılmalıdır (Kestioğlu, 2001).

#### **2.6.6 Algler**

Algler fotosentetik pigmentler ihtiva eden ve atıksu ortamında fotosentez yapabilen ilkel yapıları bitkilerdir. Sarı, yeşil, portakal rengi, mavi, kırmızı veya kahverengi pigmentler içerebilmektedirler. Bu grubun fizyolojik özelliği, içerdikleri bu pigmentler yardımıyla güneş ışığı enerjisinden faydalanabilmeleridir. Genellikle sularda, bazı türleri de karada yaşamaktadır. Algler, su içerisinde bulunan inorganik maddeleri kullanarak fotosentez yaparlar ve su ortamına oksijen verirler. Birçok yerde ortama bol oksijen temin etmek için özellikle alg yetiştirilir (Kestioğlu, 2001).

### 2.6.7 Virüsler

Virüsler en basit canlı formları olup parazit olarak diğer organizmaların bünyelerinde yaşarlar. Virüslerin büyüklüğü 30-200 nm ( $10^{-9}$  m) arasında değişir. Hücrelerinde DNA ve RNA (Ribonükleik Asit) ihtiva ederler. Virüsler, arıtma sistemlerinde aktif olan heterotrofik bakterilerin aktivitelerini düşürerek arıtma tesisinin verimini etkilemektedirler. Bu nedenle biyolojik arıtma sistemlerinde virüslerin bulunması istenmemektedir. Ayrıca virüsler, insanlara bulaştıklarında birçok hastalığa sebep olmaktadır (Kestioğlu, 2001).

### 2.6.8 Mayalar ve Küfler

Atıksu arıtma sistemlerinde mayalara ve küflere de rastlanabilmektedir. Mayalar, 5-10 µm büyüklüğünde tek hücreli organizmalardır. Küresel ve oval şekle sahip olup seksual ya da aseksual olarak çoğalabilirler. İklenme süreleri 3-6 saattir. Mayalar, atık giderme sistemlerinde pek bulunmazlarsa bile, atıkların yararlı ürünlere (örneğin alkole) dönüştürülmesinde kullanılırlar. Ayrıca mayalar, bünyelerine ağır metalleri bağlayabilirle özelliklerine sahip olduklarından, ağır metallerin gideriminde de kullanılırlar (Kestioğlu, 2001).

Küfler, 5-20 µm büyüklüğünde, filamentli uzantıları olan büyük hücrelerdir ve ikilenme süreleri 5-10 saat arasındadır. Sıcaklık değişimlerine ve aşırı ortam şartlarına dayanıklıdır. Küfler genelde nemli yüzeylerde büyürler ve sulu ortamlarda toprak oluştururlar (Kestioğlu, 2001).

## 2.7 Atıksularda Ölçülen Parametreler

### 2.7.1 pH

pH bir çözeltinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir terim olup çözeltilerde bulunan  $H^+$  iyonu konsantrasyonunu ve daha kesin bir ifade ile hidrojen iyonunun aktivitesini göstermektedir. pH su temininde kimyasal koagülasyon, dezenfeksiyon, su yumuşatma ve korozyonun önlenmesinde çok büyük önem taşır. pH ölçümü elektrometrik, kolorimetrik yollarla ölçülebilir. Ölçüm kolaylığı nedeniyle elektrometrik yöntem standartlarda tercih edilmekte olup, hidrojen iyonu konsantrasyonunun potansiyometrik ölçümü hidrojen elektrodu ile hassas olarak yapılabilmektedir (Samsunlu, 2008).

### 2.7.2 Asidite

Asidite, çözeltilerdeki karbondioksit ve diğer asitlerin ölçümü ile belirlenir. Doğal

suların büyük bir çoğunluğu zayıf asitleri içerir. Zayıf asitlerin en önemlisi de organik karbon dengesinin oluşturduğu karbonik asittir. Karbondioksit ve mineral asitlerin her ikisi de standart alkali çözeltiler yardımı ile ölçülebilir. Mineral asidite pH 4,5 civarına kadar titrasyon vasıtası ile ölçülür. Bu titrasyonda metil oranj indikatör olarak kullanıldığından, mineral asidite aynı zamanda metil oranj asiditesi olarak da isimlendirilir. Numunenin fenolftalein dönüm noktası olan pH 8,3 titrasyonu ile mineral asidite ve zayıf asitlerin toplamı olan “Toplam Asidite” ölçülür. Bu toplam asidite aynı zamanda “Fenolftalein Asiditesi” olarak da ifade edilir (Samsunlu, 2008).

### **2.7.3 Alkalinite**

Alkalinite suyun tamponlanma kapasitesinin bir ölçümüdür ve atıksu arıtma uygulamalarında büyük ölçüde kullanılan bir özelliktir. Biyolojik sistemlerde pH kontrolü karbondioksit ve bikarbonat dengesine ve dolayısıyla bikarbonatın tamponlanma kapasitesine dayanır. Bu nedenle alkalinite ölçümleri biyolojik arıtmada ve çamurun çürütülmesinde çevresel şartların bir parametresi olarak önemlidir. Alkalinite volumetrik olarak N/50 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi ile suyun titrasyonunda harcanan hacimle ölçülür. Başlangıç pH'ları 8,3'den yüksek olan numuneler için titrasyon iki kademede yapılır. Birinci kademede pH 8,2'nin altına düşene kadar yürütülür. Bu noktada indikatör olarak ortama eklenen fenolftalein pembeden renksiz hale dönüşür. İkinci kademede ise metil oranjın son dönüm noktasına denk gelen pH 4,5'a kadar titrasyona devam edilir (Samsunlu, 2008).

### **2.7.4 Bulanıklık**

Suların bulanık oluşu; içinden geçen ışığı askıda maddelerin engellemesi nedeniyle. Bulanıklığın nedeni ise su içinde askıda bulunan kil, silis, organik maddeler, mikroskopik organizmalar, çökebilir haldeki kalsiyum karbonat, alüminyum hidroksit, demir hidroksit veya benzer maddelerden ileri gelir. Bunlar kolloid büyüklüğünden, iri taneciklere kadar değişik tane büyüklüklerinde olabilir. Bu büyüklük dağılımı ve tanecik miktarı bulanıklığın az veya çok olması şekli izlenir. Enstrümantal ve gözle mukayese metotları bulanıklık tayininde kullanılır. Enstrümantal metot, suda askıda bulunan partiküller vasıtasıyla dağıtılan ışığın yoğunluğunun ölçümüdür. Kullanılan yöntemdeki temel farklılık yüzünden enstrümantal metotlar gözle mukayese metotlarından biraz farklı sonuçlar verirler. Bu fark nedeni ile enstrümantal işlem vasıtası ile elde edilen değerler NTU

(Nefelometrik) “Nefelometrik Bulanıklık Birimi” ile ifade edilir. Gözle mukayese sonucu elde edilen değerler Jackson Bulanıklık birimi ile ifade edilir (Samsunlu, 2008).

### 2.7.5 Renk

Yüzeysel suların çoğu, renk giderme işlemi yapılmadan evsel veya endüstriyel kullanımlar için uygun değildir. Çünkü çoğunlukla belli ölçülerde renklidirler. Sular içinde bulunan çözünmüş veya asılı maddelerin çeşidine bağlı olarak sular az veya çok renkli olabilirler. Örneğin hümik asit ve hümatlar, tanin, lignin ve bunun gibi maddeler ile ferrik hümat halinde suda bulunan demir bileşikleri suya renk verirler. Renk tayini yöntemleri, standart renkte çözeltilerle mukayese, spektrofotometre ve kolorimetre gibi renk ölçme cihazları ile tayin, arazi metotları ile tayin gibi metotlardır (Samsunlu, 2008).

### 2.7.6 Çözünmüş Oksijen

Canlı organizmalar, yaşamlarını sürdürebilmek için oksijene gereksinme duyarlar. Mikroorganizmalar da yaşama ve üreme için gereken enerjiyi oksijenden yararlanarak üretirler ve bu nedenle uygun oksijen formlarına gerek duyarlar. ÇO (Çözünmüş Oksijen) su içinde çözünmüş halde bulunan oksijen konsantrasyonu anlamındadır ve genellikle mg/L olarak ifade edilir. Azot ve oksijeni her ikisi de suda çok az çözünür ve su ile kimyasal olarak reaksiyona giremediklerinden, çözünürlükleri doğrudan doğruya kısmi basınçları ile ilgilidir (Samsunlu, 2008). Tatlı sularda 1 atm basınçta, havanın oksijenin çözünürlüğü, 0°C'de 14,6 mg/L 35°C'de 7 mg/L'dir. Oksijen suda çok az çözünen bir gaz olduğundan çözünürlüğü verilen sıcaklıkta atmosferik basınç ile doğrudan değişmektedir (Samsunlu, 2008).

Çözünmüş oksijen tayini için Winkler Yöntemi (İyodometrik yöntem) ile bunun çeşitli uygulamalara göre değiştirilmiş şekilleri standart yöntem olarak kullanılmaktadır. Test, alkali şartlarda  $Mn^{+2}$  iyonunun, ortamdaki çözünmüş oksijenle daha yüksek değerlere oksitlenmesine ve elde edilmiş yüksek değer manganizin asit şartlarda (I<sup>-</sup>) iyonunu okside ederek serbest  $I_2^{0}$ 'a çevirmesine dayanır. Böylece oluşan serbest iyot miktar yönünden numunede mevcut oksijenin eşdeğeri olarak ortaya çıkar. İyot standart sodyum tiyosülfat çözeltisi ile volümetrik olarak ölçülür ve çözünmüş oksijen cinsinden hesaplanıp ifade edilir (Samsunlu, 2008).

### 2.7.7 Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)

BOİ tayini, sularda mikroorganizmalarca ayrıştırılabilen organik maddelerin miktarını belirlemede kullanılan bir parametre olup, bu maddelerin ayrıştırılması için gerekli oksijen miktarını belirtir. BOİ testi, evsel ve endüstriyel atıksuların kirlilik derecesini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir testtir. BOİ deneyi, aerobik oksidasyonda, 20 °C'de, karışık bir mikroorganizma topluluğu tarafından kullanılan oksijen miktarının ölçümünü içeren bir yaşam (Bioassay) testidir. BOİ ölçümlerinde az olarak “Doğrudan Ölçüm Metodu” ve daha çok “Seyreltme Metodu” uygulanır. En çok kullanılan seyreltme metodudur (Samsunlu, 2008).

### 2.7.8 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

KOİ, evsel ve endüstriyel atıksuların kirlilik derece belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı ancak ondan farklı olarak organik maddenin biyokimyasal reaksiyonlara değil redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi esasına dayanır. Biyokimyasal oksidasyonun bazı organik maddelerde çok hızlı cereyan etmesine karşılık diğer bazı maddeler de çok yavaş olması mümkündür. Buna karşılık kimyasal oksidasyonda madde biyolojik olarak ayrışıp ayrışmadığına ve ayrışma hızına bakılmaksızın bütün organik maddeler oksitlenir (Samsunlu, 2008). KOİ'nin aynı amaçla kullanılmakta olan BOİ'ye göre en önemli üstünlüğü laboratuarda kısa sürede belirlenebilmesidir. BOİ değerinin tespiti en az 5 gün sürmesine karşılık, KOİ değeri yaklaşık 3 saat gibi kısa bir sürede ölçülebilmektedir. Bu nedenle birçok durumlarda BOİ yerine tercih edilir (Samsunlu, 2008).

### 2.7.9 Katı Maddeler

Sudaki ve atık sudaki askıda (süspanse) veya çözünmüş haldeki maddeler, katı maddeler olarak isimlendirilir. Katı maddelerin alışılmış tanımı şu şekildedir; Buharlaştırma işleminden ve 103–105 °C'de kurutmadan sonra geriye kalan maddelerin tümü katı madde olarak sınıflanır. Yüksek konsantrasyonlarda katı madde içeren kirlenmiş sular, endüstri kuruluşlarının çıkış suyu kalitesine ve alıcı suya olumsuz etkiler yapar. Endüstriyel atıksuların arıtılmasında ön çökeltme tanklarının gerekli olup olmadığına karar vermede ve bunların boyutlandırılmasında katı madde miktarının bilinmesi gereklidir. Kimyasal madde kullanımı ve meydana gelecek çamur miktarını etkiler. Arıtma tesisi çıkışında katı madde konsantrasyonunun belli bir limit değeri aşmasına izin verilmez; çünkü alıcı su ortamlarında çökelmelere ve fazla

miktarda dip çamuru oluşumuna neden olurlar (Samsunlu, 2008).

### 2.7.9.1 Toplam katı madde

Filtre edilebilen ve filtre edilemeyen katıların toplamıdır. Filtre edilebilen katı maddeye çözülmüş; filtre edilemeye de askıda katı madde denilmektedir. Toplam katı madde su numunesinin su banyosunda buharlaştırıldıktan sonra 103-105°C'de etüvde kurutulması ile geriye kalan maddenin mg/L cinsinden ifadesidir. Basit olarak deney şu şekilde yapılır;

Bir porselen buharlaştırma kabı alınır. Sabit tartıma getirilmiş olan bu kap hassas terazide tartılır. Bunun içine iyice karıştırılmış numuneden 100 ml'lik bir kısım alınarak mezür yardımıyla önceden tartılmış bulunan porselen kaba konur. Bu kap kum banyosunda 100 °C'de buharlaştırılır. Buharlaşma sonucu kalan katı maddeyi belirlemek üzere porselen kapsül 103-105 °C'de, en az 1 saat etüvde tutulur. Daha sonra kapsül etüvden alınır, desikatörde soğutulur ve tartılır. Yapılan iki tartım yardımı ile numunedeki toplam katı madde konsantrasyonu E.2.1'de verilen eşitlik ile hesaplanır (Samsunlu, 2008).

$$\text{Toplam Katı Madde} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(A-B).1000}{\text{ml numune}} \quad (\text{E.2.1})$$

A= Kapsül + Numune (mg)

B=Kapsülün darası (mg)

### 2.7.9.2 Toplam askıda katı madde (Askıda katı madde)

Filtre edilemeyen katı maddeler olarak ifade edilen, bu katı maddeler, su numunesinin filtreden geçemeyen kısmının; 103 °C'de etüvde 1 saat kurutulması, desikatörde soğutulup tartılması suretiyle tayin edilir. Bu tayinde su numunesi önce filtre edilir, daha önce sabit tartıya getirilmiş olan filtre üzerindeki kalan maddelerle birlikte 103 °C'deki kurutmadan sonra tekrar tartılır. Bu iki tartım yardımı ile askıda katı madde konsantrasyonu E.2.2'de verilen eşitlik ile tayin edilir (Samsunlu, 2008).

$$\text{Toplam Katı Madde} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(A-B).1000}{\text{ml numune}} \quad (\text{E.2.2})$$

A= Filtre + Filtre edilemeyen katı maddenin ağırlığı (mg)

B= Filtre ağırlığı (mg)

Askıda katı madde miktarı ayrıca toplam katı madde ve filtre edilebilen katı madde verileri yardımı E.2.3'de verilen eşitliğe göre bulunabilir:

$$\text{Askıda katı madde} \left( \frac{mg}{L} \right) = \text{Toplam katı madde} - \text{Filtre edilebilen katı madde} \quad (\text{E.2.3})$$

### 2.7.9.3 Çözünmüş katı madde (filtre edilebilen katı madde)

Su numunesinin standart cam pamuğu filtresinden geçebilen kısmının 103-105 °C'de buharlaştırılması ile geriye kalan maddelerin mg/L cinsinden ifadesidir. En çok kullanılan standart filtreler 0,45 mm gözenekli Millipore veya Sartanous filtreleridir. 100 ml su numunesi alınır. Filtre yüzeyine filtre kağıdı yerleştirilir. Ölçülmüş numune, hazırlanan filtre üzerinden filtrelenir. Filtreden geçen kısım önceden sabit ağırlığa getirilip tartılmış buharlaştırma kabına konarak. 103-105 °C'de buharlaştırılır. Kap tekrar tartılır. Filtre edilebilen katı madde konsantrasyonu E.2.4'de verilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilir (Samsunlu, 2008).

$$\text{Toplam Çözünmüş Katı Madde} \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(A-B) \cdot 1000}{ml \text{ numune}} \quad (\text{E.2.4})$$

A= Buharlaştırılan madde + Kap ağırlığı (mg)

B=Kapsülün darası (mg)

Toplam çözünmüş katı madde konsantrasyonu toplam katı madde ve toplam askıda katı madde konsantrasyonları yardımı ile E.2.5'de verilen eşitlik ile bulunabilir (Samsunlu, 2008).

$$\text{Askıda katı madde} \left( \frac{mg}{L} \right) = \text{Toplam katı madde} - \text{Toplamaskıda katı madde} \quad (\text{E.2.5})$$

### 2.7.9.4 Toplam çökebilir katı madde

Bunlar ağırlıkları etkisi ile kendiliğinden çökebilir katılardır. Çökme hızı parçacıkların büyüklüğüne ve yoğunluğuna bağlıdır. Çökebilir katılar evsel, endüstriyel ve yüzeysel sularda belirlenmelidir. ml/L olarak hacimsel veya mg/L olarak ağırlık şeklinde ifade edilebilir. Çoğunlukla hacimsel olarak ölçülür. Bu amaçla Imhoff konileri kullanılır. Koniye iyice karıştırılmış 1 L'lik numune konur. 45 dakika çökelmeye bırakılır. Sonra koninin kenarlarına yapışanlar yavaşça karıştırılır ve 15 dakika daha bekletilir. Sonra çökebilir kısmın hacmi ölçülür, ml/L/saat olarak ifade edilir. Çoğunlukla da ml/L olarak verilir. Eğer son mg/L cinsinden verilmek istenirse numunenin askıda katı madde konsantrasyonu ölçülür. Bir kaba 1 L su numunesi konarak 1 saat bırakılır. Daha sonra 250 ml çökmemiş kısımdan numune alınarak bu numunenin askıda katı maddesi E.2.6'da verilen eşitlik ile hesaplanır (Samsunlu, 2008).

Çökebilen katı madde  $\left(\frac{mg}{L}\right) =$

$$\text{Toplam askıda katı madde} - \text{Çökemeyen askıda katı madde} \quad (\text{E.2.6})$$

### 2.7.9.5 Toplam uçucu katı madde (Organik katı madde)

Toplam katı madde deneyi yapıldıktan sonra kap ve içinde kalan maddeler  $550 \pm 50$  °C'de fırında tutulur ve kap ile içinde kalanlar tekrar tartılarak E.2.7'de verilen eşitlik ile bulunur (Samsunlu, 2008).

$$\text{Uçucu Katı Madde} \left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(A-B).1000}{ml \text{ numune}} \quad (\text{E.2.7})$$

A= Kap + İçindeki madde ağırlığı (fırında yakmadan önce)

B= Kap + içindeki madde ağırlığı (550 °C'de yakmadan sonra)

C = ml numune hacmi

Uçucu olmayan katı madde ucu olmayan katı maddeler E.2.8'de verilen eşitlik yardımı ile bulunur (Samsunlu, 2008).

$$\text{Uçucu Olmayan Katı Madde} \left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(A-B).1000}{ml \text{ numune}} \quad (\text{E.2.8})$$

Burada;

B = Kab + içindeki katı madde ağırlığı (550 °C'de yakıldıktan sonra)

D = Kabın ağırlığı

C = numune hacmi (ml)

### 2.7.10 Azot

Hava kirlenmesi, su kirlenmesi olaylarının çoğunda azotlu maddeler ilk aranması gereken kirlilik unsurları olmaktadır. Azot doğal dolanımı olan, bakteriler tarafından tüketilmek suretiyle veya kimyasal yollardan değişik oksidasyon kademelerinde bileşikler halinde bulunabilen bir maddedir. Azot değişik oksidasyon seviyelerinde hemen tüm canlı hücrelerin yaşama ve üremeleri için gerekli bir besin maddesidir. Bu nedenle üreme ve yaşamın sürmesi için besi maddesi (Nutrient) adıyla tanımladığımız bu ve benzeri bazı elementlerin belli bir minimum değerinin üstünde olması gereklidir. Bu kural biyolojide Liebig'in minimumlar yasası uyarınca ortaya çıkmaktadır (Samsunlu, 2008).

Aktif çamur veya benzeri atıksu arıtma tekniklerinin gerçekleşmesi için sudaki karbonlu maddenin %5'inden daha fazla miktarda azotlu maddenin suda bulunması gerekmektedir. Genellikle evsel atıksuların içerdiği karbon ve azot miktarları arasında bu minimum koşuldan daha elverişli oranlar mevcuttur. Çünkü bir kişinin günde

kanalizasyona verdiği karbonlu atık maddenin BOİ karşılığı ortalama 54 g/kişi-gün olduğu halde, toplam azotlu madde miktarı 10 g/kişi-gün olmaktadır. Böylece, atıksuda oluşacak BOİ<sub>5</sub>:N konsantrasyon oranı 100:5 olan minimum gereksiniminin çok üzerindedir. Ancak, birçok endüstri suyu, özellikle evsel atıksularının yeterli miktarlarda karışmadığı durumlarda; karbon azot oranları yeterli olmayabilir. (Samsunlu, 2008).

#### **2.7.11 Fosfor ve Fosfat**

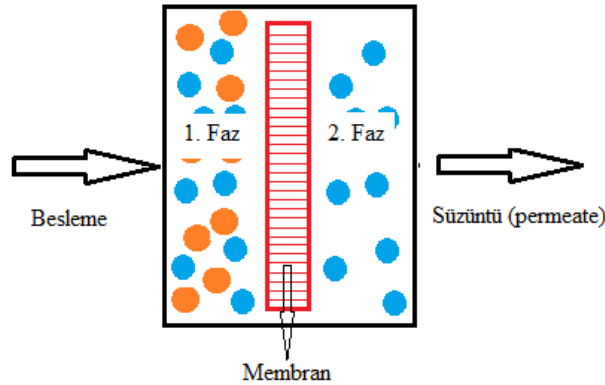
Evsel kullanılmış sular, bünyelerinde bakterilerin biyolojik faaliyetleri için gerek duydukları fosforu içerirler. Birçok endüstri kullanılmış suyunda fosforun yeterli olmadığı bilinmektedir. Bu gibi durumlarda dışarıdan anorganik fosfat sisteme verilmelidir (Samsunlu, 2008).

Kompleks polifosfatların tayininde suya derişik sülfürik asit ekleyip, yeterince kaynatmak sureti ile ortofosfora dönüştürmek ve ortofosfat tayinini standart yöntemlere göre yapmak gerekir. Böylece bulunan toplam anorganik fosfordan asitle kaynatma suretiyle bulunan ortofosfatlar çıkarılırsa, aradaki fark hidrolize olmuş olan polifosfatları verir (Samsunlu, 2008).

### 3. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ

Gerek atık sularından gerekse deniz suyundan yüksek kalitede su elde etmek için membran filtrelerin kullanımı artan bir hızla yaygınlaşmaktadır. Membran, bir maddenin diğer maddelere nazaran daha kolay gözeneklerinden geçebildiği ve bu yüzden ayırma prosesinin temelini oluşturan materyal olarak düşünülebilir. Atıksu arıtımında, artan yükümlülükler için membran ayırma sistemlerinin seçiminde veya tasarımında en önemli parametre, arıtılacak suyun içeriklerini ayırmak için uygun membran özelliğinin bilinmesidir. Birçok proses için membran süspanse veya çözünmüş halde olabilen kirleticileri tutarak suyun kirleticilerden büyük ölçüde temizlenmesini sağlar. Membrandan geçme yönünde akış sağlamak üzere itici bir kuvvet ve bazı maddelerin geçişini engelleyen ayırma faktörü membran teknolojisinin temel iki prensibidir. Membran proseslerinde en yaygın kullanılan itici kuvvet basınçtır (Büyükkamacı, 2009).

İki fazdan oluşan bir yapının membran ayırma sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



**Şekil 3.1.** Membran yapısı ile iki fazın ayrılmasının şematik gösterimi.

Gelişen teknolojik ilerlemelere bağlı olarak membran filtrasyon teknolojisi uygulama alanını, kimyasal, petrokimyasal, mineral, biyoteknoloji, farmakoloji, kağıt ve su gibi bir çok endüstriyel sektöre genişletmiştir. Günümüzde, düşük operasyon basınçları ile ayırmanın mümkün olabilmesi nedeni ile azalan enerji ihtiyacına paralel olarak düşen işlem maliyeti, membran teknolojisinin uygulama alanını artıran bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Kurama ve Poetzschke, 2002).

Membran imalatındaki temel amaç, uygun mekanik kuvvete sahip ve yüksek seçicilik derecesiyle yüksek süzüntü sağlayabilen bir materyal üretmektir. Yüksek dereceli seçiciliğe küçük gözeneklere sahip bir membran kullanımıyla ulaşılabilir. Bu

tür membranlarda doğal olarak yüksek hidrolik direnci ve düşük geçirgenlik görülür. Geçirgenlik gözenek yoğunluğunun artışıyla artmaktadır. Bu durum daha yüksek materyal porozitesini gerekli kılmaktadır. Membran direnci kendi kalınlığıyla doğrudan orantılıdır. Herhangi bir membran materyali için optimum fiziksel yapı, küçük gözenek boyutuna ve yüksek yüzey porozitesine sahip materyalin kalınlığına bağlıdır (Stephenson vd., 2000).

Membranlar kullanılan malzemeye, membran tipine, modül tipine ve ayrıca modül durumuna göre sınıflandırılabilirler. Membran üretiminde kullanılan malzemeler kabaca iki gruba ayrılır :

1. Hidrofillik karakterize malzemeler; selüloz esaslı, poliakrilonitril, hidrofilize polietilen, hidrofilize edilmiş polisülfon v.b.

2. Yüksek mukavemet ve yüksek dayanıklılık ile karakterize edilen malzemeler, PVDF (Polivinilidenflorür) v.b.

Birinci grup malzemeler, ham atıksu içinde organik maddeler nedeniyle membran kirlenmesini önleyici özelliği ile istikrarlı ve yüksek seviyede filtrasyon hızı hedeflenmektedir.

Diğer taraftan, ikinci grup malzemeler, mekanik mukavemet ve kimyasal dirençleri geliştirilmiş malzemeler kullanılarak, mekanik arızaların önlenmesi ve kimyasal temizleme ile uzun bir süre boyunca stabil ve yüksek düzeyde filtrasyon oranına yöneliktir. Son 2 yıl içinde, PVDF'den yapılan ürünler daha fazla sayıda üretilmeye başlanmıştır. Bu membran ürünleri konvansiyonel uygulamalar için 3-5 yıllık bir ömre sahiptir, ancak birçok su kaynağı alanında 5-10 yıldır hala çalışır durumda olan örnekler bulunmaktadır. Bu özellikleri PVDF'den yapılmış membranların kullanımındaki artışın nedeni olarak kabul edilir (Li vd., 2008).

**Çizelge 3.1.** Su arıtma uygulamasında MF /UF Membranları örnekleri (Li vd., 2008).

| Membran | Nominal Molekül Ağırlığı | Nominal Gözenek Boyutu (µm) | Membran Materyali     | Membran Şekli | Membran Hazırlama Süreci |
|---------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|--------------------------|
| UF      | 13000                    | —                           | Polisülfon            | Hollow fiber  | Faz ayırımı              |
| UF      | 80000                    | —                           | Poliakrilonitril      | Hollow fiber  | Faz ayırımı              |
| UF      | 100000                   | 0.01                        | Poliakrilonitril      | Hollow fiber  | Faz ayırımı              |
| UF      | 100000                   | 0.01                        | Selüloz türevi        | Hollow fiber  | Faz ayırımı              |
| UF      | 150000                   | 0.01                        | Selüloz asetat        | Hollow fiber  | Faz ayırımı              |
| UF      | 150000                   | —                           | Polivinilidenflorür   | Flat sheet    | Faz ayırımı              |
| MF      | —                        | 0.1                         | Polivinilidenflorür   | Hollow fiber  | Faz ayırımı              |
| MF      | —                        | 0.1                         | Hidrofilik polietilen | Hollow fiber  | Gergin yarı kristal yapı |
| MF      | —                        | 0.1                         | Hidrofilik polisülfon | Hollow fiber  | Faz ayırımı              |
| MF      | —                        | 0.1                         | Seramik               | Tubelar       | Sinterlenmiş parçacıklar |
| MF      | —                        | 0.1                         | Seramik               | Monolith      | Sinterlenmiş parçacıklar |
| MF      | —                        | 0.2                         | Polipropilen          | Hollow fiber  | Sinterlenmiş parçacıklar |

Selüloz asetat membranların üretiminde doğal polimer selülozun bir türevi olan SA (Selüloz Asetat) ana membran malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu membranların elde edilmesi kolay olup kimyasal stabilitesi düşük bir malzeme olduğu için dar bir pH aralığına toleranslıdır ve biyo bozunurluğu yüksektir. 30 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda selüloz asetat membranların kullanılmaları mümkün değildir. Bu nedenlerle yeni membran malzemeleri ortaya çıkmıştır. Bu amaçla PSF (Polisülfon) ve PES (Polietersülfon) başarıyla kullanılmış polimerlerdir. Bu materyallerle hazırlanmış membranlar geniş bir pH aralığında çalışabilme kolaylığı sağlarken, ısıya ve süt endüstrisinde sıkça kullanılan sterilizasyon ve temizlik malzemesi olan kloro karşı direnç gösterir. Rejenere selüloz, poliakrilonitril, poliamid, gibi yeni polimerlerin membran malzemesi olarak kullanılabilirlikleri ile ilgili araştırmalar sürmektedir (Alan ve Tercan, 2012).

Membran yapı eldesinde temel olarak kalıp tekniği kullanılır. Farklı geçirgenliklere sahip membranların üretiminde ısı işlem ile alüminyum bir blok

üzerinde kalıp hazırlanır. Blok, membran malzemesini teşkil edecek sonsuz bir film üzerine yerleştirilir. Böylece kalıbın tersi olacak şekilde gözeneklere sahip bir membran elde edilir (Alan ve Tercan, 2012).

En çok kullanılan membran ayırma prosesleri MF, UF, NF ve RO'dur. Bu yöntemlerde ayırma, moleküllerin boyutlarına ve molekül kütlelerine göre olmaktadır. Kullanılan membranlar geçirdikleri maksimum molekül ağırlığına göre ayırt edilmektedirler. Membran prosesleri arasındaki temel fark kullanılan gözenek boyutundaki farklılıklardır (Büyükkamacı, 2009).

MF'de (Mikrofiltrasyon) boyutu 0,1'den 20  $\mu\text{m}$ 'ye kadar olan moleküller membran tarafından tutulurlar. MF'de sadece porlu membranlar kullanılır. Mikrofiltrasyon membranları "Nominal Por Çapı" ile karakterize edilirler. Nominal Por Çapı, por büyüklüğü dağılımında en çok sayıda bulunan por büyüklüğüdür (Kaleli, 2006).

UF membranları, RO membranları için de geçerli bir ayırma prensibine sahiptir ancak gözenek boyutları çok daha büyüktür (0,001-0,1  $\mu\text{m}$ ). Membran boyunca kütle akışını sağlayan itici güç basınçtır ve 30-80 psig gibi düşük basınçlarda işletilebilirler. RO ve UF membran boyutları arasında gözenek boyutuna sahip membranlar NF membranlar (gözenek boyutu 0.002  $\mu\text{m}$ ) olarak adlandırılırlar (Salt ve Dinçer, 2006).

RO membranın gözenek çapı  $<0,001 \mu\text{m}$ 'dir. Su içinde mevcut çözülmüş katı, bakteri, virüs ve diğer mikropları giderebilir. Prosesin en belirgin özelliği hiçbir faz değişiminin olmamasıdır. Nispeten düşük miktarda enerji gerektiren basınç sürücülü (300-1500 psig) bir prosesdir (Salt ve Dinçer, 2006).

Membranların modül olarak adlandırılan cihazlara yerleştirilmesi gereklidir. Günümüzde kullanılmakta olan değişik membran tipleri ve bunların değişik biçimlerde bir araya getirildiği modüller vardır. En yaygın membran çeşitleri; tübüler (borulu), hollow (boşluklu) fiber, spiral kıvrılmış ve plaka ve çerçeve şeklindeki membranlardır (Öztürk vd., 2005).

Tübüler membranlar değişik sayılarda tüp içerirler ve uzunluk olarak 6m'ye ulaşabilirler (Köseoğlu, 2005).

Boşluklu fiberlerin çapı birkaç yüz mikrometre-den birkaç milimetreye kadar değişebilir. Modüller ya yatay bir şekilde ya da dikey bir şekilde kurulur (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).

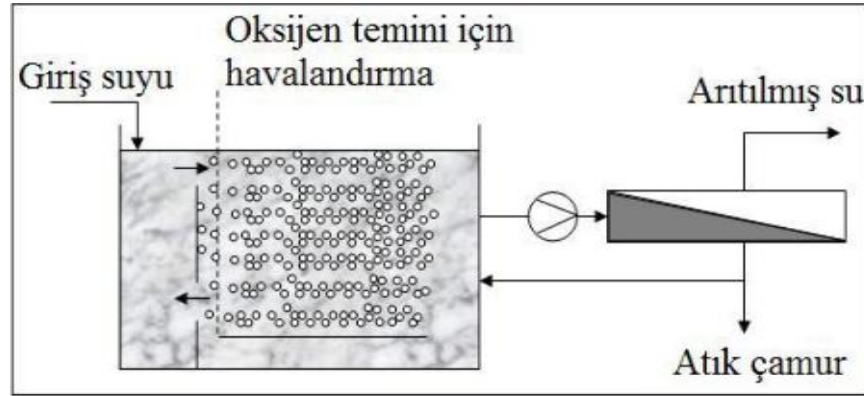
Plaka ve çerçeve membran modüllerinde, düzlemsel membranlar paralel bir şekilde düzenlenir ve bir plaka ile desteklenir. Modüllerdeki düz membranların farklı uygulamaları arasında, batık dikey bir şekilde düzenlenmiş dikdörtgen plakalar, batık dönen plaka modülleri ve havalandırma tankının dışında yer alan düz membranlar sayılabilir (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).

Spiral-sargı modüller, iç gözenekli permeat toplama tüpü etrafına düz tabaka membranlar, ara plakalar (spacer) ve gözenekli tabakaların sandviçlenmesiyle oluşturulur. Permeat, toplama tüpüne radyal olarak akarken, besleme ara plakalar tarafından oluşturulan kanallarda (sandviç boyunca) aksinel olarak akar (Salt ve Dinçer, 2006).

#### 4. MEMBRAN BİYOREAKTÖRLER (MBR)

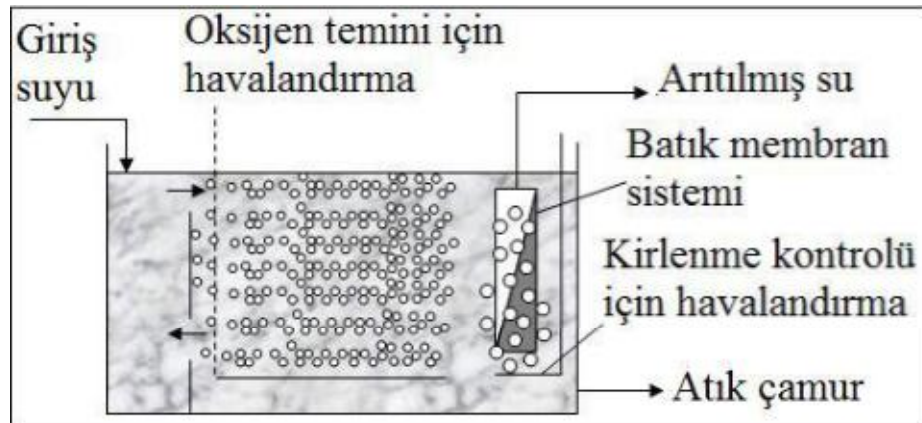
Atıksu arıtımı için MBR teknolojisi son 10-15 yıl içinde dünya çapında büyük ilgi çekmiştir. Membranların aktif çamur prosesi ile birleşimine membranlı aktif çamur prosesi veya diğer bilinen adıyla MBR, MBR içindeki veya dışındaki membran modüllerden süzülen çıkış suyunda hiçbir katı ve veya makro kolloidal madde bulunmamaktadır. Reaktör içinde askıdaki tüm katı ve kolloidal maddeler bakteri ve virüsler dahil olmak üzere membran da tutulmaktadır. MBR'ların işletimi çamur yaşı ve bekletme süresinden bağımsız olduğundan dolayı konvansiyonel sistemlerde görülen işletme zorluklarını ortadan kaldırmaktadır. MBR prosesi, filamentli bakteri büyümesi ve yüzen çamur problemlerini de engellemektedir. Dolayısıyla MBR'ler, konvansiyonel aktif çamur proseslerinde görüldüğü gibi çamurun üst akımla kaybına neden olmadan düşük hidrolik bekletme sürelerinde ve yüksek çamur yaşlarında tasarlanıp işletilebilmektedir. Askıda 30,000 mg/lt biyokütle konsantrasyonlarına kadar bu sistemleri işletmek mümkündür. Yüksek biyokütle konsantrasyonu ve %100 katı madde tutulması sayesinde MBR'ler çok düşük organik yükleme hızları altında işletilebilir. Çok yüksek çamur yaşları sayesinde elde edilen düşük organik madde yüklemeleri, konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde gözlemlenen çamur oluşumunun neredeyse yarısı kadarı membran biyoreaktör sistemlerinde gözlemlenmektedir. Bu tür işletmesel koşulların, reaktör içindeki bakteriyel popülasyonu flok morfolojisi ve mikrobiyal kültür açısından değiştirdiğine ve bu sayede özellikle nitrifikasyon bakterilerinin konvansiyonel sistemlere nazaran daha değişik yapıda olmasına ve beraberinde daha yüksek azot yüklerini daha olumsuz çevresel koşullarda dahi oksitleyebildiğine inanılmaktadır. Membranlı aktif çamur proseslerinde kullanılan membranlar, genellikle mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon aralığında olup 0,1µm ila 0,4µm gözenek açıklıklarına sahiptir. Membranlar reaktör içinde batık şekilde teşkil edilebildikleri gibi reaktör dışında yan akımlı filtrasyon prosesi olarak da kurulabilmektedir (Sarıoğlu, 2007).

MBR işleminde genellikle iki tip membran konfigürasyonu kullanılmaktadır. Bunlar harici (yan akışlı) ve dahili/batık tiplerdir. Harici MBR prosesinde membran havalandırma havuzunun dışında yer almaktadır. Bu tip reaktörlere ait şematik bir gösterim Şekil 4.1'de yer almaktadır. Harici MBR'de, karışık sıvı askıda katı maddeleri membran modülüne pompalanır (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).



**Şekil 4.1.** Harici MBR Sistemi (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).

Bu sistemde tipik olarak tüp şeklindeki membranlar kullanılır. Kirlenme, türbülanslı bir çapraz akış meydana getiren 1-4 m/s aralığındaki iyi tanımlanmış akış hızları ile kontrol edilir. Şekil 4.2’de ise batık MBR sistemine ait bir şematik görünüm yer almaktadır. Bu tipte membranlar karışık sıvıya batıktır, ve süzüntü mekanik olarak veya yerçekimi etkisiyle meydana gelen akış ile emilir (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).



**Şekil 4.2.** Dahili/Batık MBR Sistemi (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).

SMBR (Daldırılmış Membran Reaktör) geliştirilmesi ile enerji harcanmasında önemli bir düşüş sağlanmış ve MBR’ların atıksu arıtımında kullanılması potansiyeli artmıştır. Membran kaset sisteminin tabanına yerleştirilen difüzörler ile hava/sıvı karışımını sağlarırken, aynı zamanda oluşturulan türbülans hareketi ile membran yüzeyleri temizlenmektedir (Turan vd., 2010).

Dahili MBR’lerde farklı amaçlar için genellikle iki tür havalandırma uygulanır. Reaktör tabanındaki difüzörlerden verilen kaba hava kabarcıklı havalandırma ile biyokütle için oksijen ihtiyacı hedeflenir. Öte yandan membran yüzeyine uygulanan ince hava kabarcıklı havalandırma ile membran yüzeyine maddelerin birikip akıyı azaltması engellenmeye çalışılır. Yükselen hava kabarcıkları membran yüzeyinde türbülanslı karşı akım yaratıp (yaklaşık 1 m/s), membran yüzeyinde materyallerin birikmesini azaltır,

böylece sistem daha etkin çalışır. Reaktördeki türbülanslı karışım ve reaktör hidroliğinden dolayı iki havalandırma türü de pratikte hem temizleme hem de oksijen ihtiyacı taleplerini karşılayabilir. Diğer bir deyimle uygulamada iki havalandırmanın da sonuçlarını ayırt etmesi zordur. Konfigürasyon seçeneğine karar vermek spesifik uygulamaya bağlı olsa da genellikle dahili MBR'ler daha sık uygulamadadır. İki konfigürasyonun karşılaştırılması Çizelge 4.1'de sunulmuştur (Kitiş vd., 2003).

**Çizelge 4.1.** Dahili ve harici MBR'lerin karşılaştırılması.

| <b>Dahili/Entegre MBR</b>   | <b>Harici MBR</b>   |
|---|---|
| Yüksek havalandırma masrafı Düşük pompaj masrafı  | Düşük havalandırma masrafı Yüksek pompaj masrafı  |
| Düşük akı (büyük alan gereksinimi) Daha nadir temizleme ihtiyacı Düşük işletme maliyeti | Yüksek akı (küçük alan gereksinimi) Daha sık temizleme ihtiyacı Yüksek işletme maliyeti |
| Yüksek ilk yatırım maliyeti   | Düşük ilk yatırım maliyeti  |

Dahili/batık MBR'ler daha düşük işletme akılarında çalıştırıldıkları için daha fazla geçirimsizliğe dolayısıyla da daha fazla hidrolik verimliliğe sahiptirler. Düşük akı ile çalışmak batık MBR'lerde önemlidir çünkü bu uygulama membran kirlenmesini veya tıkanmasını minimize eder. Membran tıkanması MBR'lerin en önemli dezavantajlarından birisi olup, maliyeti artırıcı ve işletmeyi zorlaştırıcı temizleme mekanizmalarını gerektirir. Dahili/batık MBR'ler harici MBR'lere göre daha düşük pompaj masrafları gerektirse de daha yoğun havalandırma ihtiyacı arz ederler. Bunun nedeni havalandırmanın membran tıkanmasını engelleyici ana yöntem olmasıdır. Ayrıca, batık MBR'larda düşük akı ile çalışılması sabit permeyt debisi üretimi baz alındığında daha fazla membran yüzey alanı (dolayısıyla daha fazla ilk yatırım maliyeti) gerektirir. Ancak, orta ve büyük ölçekli kentsel atıksu arıtımları için genellikle seçilen ve uygulanan konfigürasyon dahili/batık MBR'lerdir (Kitiş vd., 2003). Batık MBR prosesleri için işletme koşulları Çizelge 4.2'de verilmektedir.

**Çizelge 4.2.** Batık membranlar için işletme şartları (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).

| Parametre  | Miktar  |
|--|---------|
| Akı, L/m <sup>2</sup> saat                           | 15-35   |
| Transmembran basıncı. kPa                            | 20      |
| Biyokütle konsantrasyonu, g MLSS/L                   | 5-25    |
| Katı madde alıkonma süresi, gün                      | >20     |
| Çamur üretimi, kg AKM / kg KOİ.gün                   | <0,25   |
| Hidrolik alıkonma süresi (HAS), saat                 | 1-9     |
| F/M, kg KOİ / kg MLSS.gün                            | <0.2    |
| Hacimsel yükleme, kg KOİ/m <sup>3</sup> .gün         | ≤20     |
| Hava akış hızı, modül başına Nm <sup>3</sup> /saat   | 8-12    |
| İşletme sıcaklığı, °C                                | 10-35   |
| İşletme pH'ı   | ~7-7,5  |
| Geri yıkama sıklığı, dakika                          | 5-16    |
| Geri yıkama süresi, saniye                           | 15-30   |
| Filtrasyonda enerji tüketimi, kW.saat/m <sup>3</sup> | 0,2-0,4 |
| Membran havalandırması, %                            | 80-90   |
| Süzüntü ekstraksivonu için pompaj , %                | 10-20   |

Konvansiyonel arıtım metotlarının bir takım dezavantajlarını ortadan kaldıran bu sistemler geleceğin arıtım teknolojileri arasında önemli bir yere sahip olacaktır. MBR'ler hem araştırma hem de ticari uygulamalarda hızlı bir ilerleme kaydetmektedir. Bu arıtım prosesi konvansiyonel biyolojik arıtım prosesleri ile karşılaştırıldığında daha düşük biyolojik parçalanabilirliğe sahip olan atıklar için yüksek KOİ giderim verimliliğine sahiptir (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).

Biyolojik arıtım esnasında oluşturulan biyolojik katıların ayrılmasında membran ayırma tekniklerinin (mikro veya ultrafiltrasyon) uygulanması ile çöktürme tanklarından veya biyolojik arıtma basamaklarından doğan dezavantajlar ortadan kaldırabilmektedir. Membran süspanse katılar için tam bir bariyer görevi görürken daha yüksek kalitede çıkış suyu üretilmesine imkân sağlamaktadır. Atık su arıtımında membran prosesler üç şekilde kullanılmaktadır (Farizoğlu vd., 2004):

- Biyolojik arıttımdan sonra biyokütlenin sudan ayrılması,
- Biyokütlenin havalandırılması,

- Ortamdan uzaklaştırılmak istenilen kirleticilerin ekstraksiyonu.

Biyolojik arıtımda membranların kullanımının en yaygın şekli biyokütlenin ayırımı amacıyla kullanımudur ve bu uygulamaya ait endüstri ölçekli prosesler birçok ülkede etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Membran üretimi teknolojisindeki hızlı gelişimler ve uygulamanın yaygınlaşması ile üçüncül veya ileri arıtım basamaklarının yerini ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon proseslerinin alması mümkün olmaktadır. MBR klasik metotlarla karşılaştırıldığında son derece önemli avantajlar sunmaktadırlar. Çıkış sularının katı madde içermemesi, çamur yaşlarının hidrolik kalış sürelerinden tamamen bağımsız olarak kontrol edilebilmesi, kompakt tesis boyutu, yüksek oranda veya hızda bozunma sağlayabilmesi, düşük oranda çamur üretimi, dezenfeksiyon ve koku kontrolü sağlaması en başta sayılacak avantajlarıdır (Farizoğlu vd., 2004).

Membran prosesler, atıksuda bulunan değerli maddelerin ve suyun geri kazanımı söz konusu olduğunda üstün arıtma performansları ile büyük ölçüde tercih edilmektedir. Ters osmoz, nanofiltrasyon ve ultrafiltrasyon ile yapılan çalışmalarda, boya giderimi ve elde edilen akı miktarı açısından, en verimli membranların nanofiltrasyon membranları olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Arslan vd., 2009).

MBR, evsel ve endüstriyel atıksu arıtımında oldukça hızlı bir şekilde konvansiyonel aktif çamur sistemlerin yerini almaya başlamıştır. MBR'lerde, ultra veya mikrofiltrasyon membranları kullanılarak biyokütlenin reaktör içerisinde kalması sağlanmaktadır. MBR, özellikle yüksek kalitede çıkış suyunun istenildiği veya kirlilik seviyesi yüksek olan toksik atıksuların arıtımında etkili bazı özel mikroorganizma türlerinin reaktör içerisinde tutulmasının gerektiği durumlarda oldukça etkin bir arıtma sağlamaktadır (Atay vd., 2010).

#### 4.1 Membran Performansını Etkileyen Faktörler

MBR sistemlerinin tasarımı ve işletimi ana proses değişkenleri sıcaklık, gözenek boyutu, membran akı oranı, membran ömrü, biyoreaktör askıda katı madde konsantrasyonu ve katılar ve hidrolik bekletme süreleri içerir.

Membran performansı, akı ve giderme verimi ifadeleri ile belirtilir. Akı; birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır ( $m^3/m^2/sn$  veya  $L/m^2/saat$ ). Giderme verimi ise membranın tuttuğu madde miktarının ölçüsüdür. Membranların performansını etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir (Öztürk vd., 2005):

**Basınç:** Akı, uygulanan basınç ve membrandaki ozmotik basınç farkı ile artar.

Uygulanan basınç ne kadar fazla ise akı da o kadar fazladır. Ancak membrana uygulanabilecek basıncın belli bir sınırı vardır. Genellikle 68 atm üst limit olarak alınır. Uygulamada 27-41 atm olarak alınır.

**Sıcaklık:** Akı, besleme atıksuyu sıcaklığı ile artar. Standart sıcaklık 21°C olarak verilmektedir, ancak 29 °C'e kadar sıcaklıklar da tolere edilmektedir. 29 °C'nin üstündeki (38 °C'e kadar olan) sıcaklıklar membranın bozulmasını hızlandırmakta olup membranlar bu sıcaklıkta uzun süre işletmeye dayanamaz.

**Membran diziliş yoğunluğu:** Birim hacme yerleştirilebilecek membran alanı olarak tanımlanır. Bu faktör ne kadar büyükse sistemden çıkan toplam akı da o kadar büyük olur. Tipik membran yoğunluğu 160-1640 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> olarak verilmektedir.

**Akı:** Borululu sistemler için akı 6x10<sup>-3</sup>-10,2x10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/gün, plakalı sistemler için ise 6,1x10<sup>-1</sup>-10,2x10<sup>-1</sup> m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/gün dür. Akı çalıştırma süresi ile ve 1-2 yıl işletmeden sonra belirgin oranda azalır.

**Geri kazanım faktörü:** Sistemin kapasitesini gösterir, uygulamada ulaşılan maksimum değer %80'dir. Daha yüksek geri kazanım faktörü ancak proses suyunda daha yüksek seviyede olduğunda elde edilebilir. Yüksek konsantrasyonlarda membranın yüzeyinde çökme fazla olur, bu da işletme veriminin düşmesine neden olur.

**Tuzun ayrılması:** Atıksudan tuzun ayrılması, kullanılan membranın tip, karakter ve atıksudaki tuz konsantrasyon dağılımına bağlıdır. Bu değer genellikle %95 alınır.

**Membran ömrü:** Atıksudaki fenol, bakteri, mantar gibi maddelerin varlığı, yüksek sıcaklık ve yüksek veya düşük pH değerleri gibi faktörler membran ömrünü etkiler. Membranlar ortalama iki yıl kullanılırlar.

**pH:** Selüloz asetat membranlar yüksek ve düşük pH'larda hidroliz olurlar. Optimum işletme pH aralığı 4,5-5,5'tur.

**Ön arıtma:** Membran sistemlerin TÇK (Toplam Çözünmüş Katı Madde) miktarı 10000 mg/L'nin üstündeki durumlarda doğrudan uygulanması uygun değildir. Bunun dışında kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat, demir oksit ve hidroksitleri, mangan ve silikon, baryum ve stronsyum sülfat, çinko sülfür ve kalsiyum fosfat gibi tabakalaşma (kabuk) yapan maddelerin ön arıtma ile kontrol altına alınmaları gerekir. Bu maddeler pH ayarlaması, kimyasal arıtım, çöktürme, inhibitör madde ekleme ve filtrasyon gibi yöntemlerle kontrol altına alınabilirler. Organik kalıntılar ve bakteriler de, filtrasyon, aktif karbon filtreleriyle ön arıtım ve klorlama ile kontrol edilebilir. Yağ ve gres de

membranın yüzeyini saracağı ve tıkanmaya yol açacağı için membran prosesi öncesi yeterli seviyede giderilmelidir.

Çizelge 4.3’de evsel atıksular için tipik MBR çıkış suyu kaliteleri verilmiştir. Görüleceği üzere çıkış suyu kalitesi konvansiyonel biyolojik arıtım sistemlerinden çok daha üstündür. Elde edilen bulanıklık değerlerinin 0,5 NTU’dan düşük olduğu düşünüldüğünde üretilen suyun ne kadar berrak olduğu ortadadır. Yine konvansiyonel sistemlerde 20–30 mg/L’den az elde edilemeyen BOİ ve AKM, MBR çıkış sularında 2,0 mg/L’den düşüktür. Bu da üretilen suyun organik stabilite ve partiküller açısından ne kadar kaliteli olduğunu gösterir. Önceden bahsedildiği gibi MBR’lerde fiziksel biyokütle ayırımı yanında aynı zamanda da çok kaliteli bir fiziksel dezenfeksiyon sağlanmış olur. A.B.D.’de gerek pilot gerekse de gerçek tesislerde MBR’lerin yaklaşık tüm protozoaları giderdiği, 5–6 log bakteri ve 1–2 log virüs giderimi sağladığı gözlenmiştir. Klorla dezenfeksiyona dayanıklı olan patojenik protozoalardan Cryptosporidium ve Giardia da MBR’de rahatlıkla tutulur. Bu rakamlar yaklaşık membrandaki 0,1 µm gözenek büyüklüğü dikkate alındığında beklenen rakamlardır (Yiğit, 2007).

**Çizelge 4.3.** Evsel atıksuları arıtan MBR’lerde tipik çıkış suyu kaliteleri (Yiğit, 2007).

| Parametre   | Tipik Değerler  |
|---|---|
| Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ <sub>5</sub> ) | < 2,0 mg/ L   |
| Toplam askıda katı madde (AKM)                    | < 2,0 mg/ L   |
| NH <sub>3</sub> -N                                | < 1,0 mg/ L (nitrifiye eden tesislerde)                             |
| Toplam fosfor (TP)                                | < 0,1 mg/L (biyolojik olarak ya da kimyasal olarak akım katkısıyla) |
| Toplam azot (TP)                                  | < 10 mg/L (orta sıcaklıktaki iklimlerde)                            |
| Toplam azot (TP)                                  | < 3,0 mg L (sıcak iklimlerde)                                       |
| Silt yoğunluk indeksi (SDI)                       | <3,0  |
| Bulanıklık  | < 0,5 NTU   |
| Mikrobiyolojik:                                   |   |
| Bakteriler  | 5-6 log giderim   |
| Virüsler  | 1-2 log giderim   |
| Protozoalar (Cryptosporidium ve ve Giardia)       | Tam giderim   |

Yapılan çalışmalar, membran filtrasyonu ile çıkış suyunda düşük

konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir (Kocaer ve Alkan, 2002)

MBR'de evsel atıksu arıtımında KOİ ve NH<sub>3</sub> giderime oranları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** MBR'de evsel atıksu arıtımında KOİ ve NH<sub>3</sub> giderme oranları (Gander vd., 2000).

| Membran konfigürasyonu ve gözenek boyutu (µm) | Giriş KOİ (mgL <sup>-1</sup> ) | Giriş NH <sub>3</sub> (mgL <sup>-1</sup> ) | Giderilen KOİ % | Giderilen NH <sub>3</sub> % |
|---|--------------------------------|--|-----------------|-----------------------------|
| BM, PE, HF, 0,3 ve 0,1                        | 150-450                        | -  | 86-97           |                             |
| BM, PS, P+F, 0,4                              | 79                             | -  | 92              | -                           |
| ÇA, C, T, 0,1                                 | 71                             | 35   | 98,7            | 97,1                        |
| BM, PS, P + F, 0,4                            | -                              | 25,7                                       | -               | 91,1                        |
| ÇA, PS. P + F, 50000 Da                       | 488                            | -  | 88-94,5         | -                           |
| ÇA, C, 300000 Da                              | -                              | 19,7                                       | -               | >99                         |

BM: Batık MBR, ÇA: Çapraz akışlı MBR, T: Tubular, PS: Polisülfon, P:Basınç, F:Akış, C:Seramik, PE:Polietilen, HF:Hollow fibre, Da:Dalton

#### 4.2 Membran Kirlenmesi/Tıkanması ve Temizliği

Bu bioreaktörlerin avantajlarına rağmen bazı dezavantajları da bulunmaktadır. MBR'de arıtma süreci tek bir havuzda gerçekleştiği için sistem mekanik ve kontrol açısından konvansiyonel sistemlere göre daha karmaşıktır. Ancak %100 otomasyon sayesinde işletim kolaylaşır. İşletim sırasında zamanla membran gözenekleri tıkanır ve arıtılmış su akışı azalır, bunu engellemek için belirli aralıklarda basınçlı hava/su ve kimyasallarla (sitrik asit ve sodyum hipoklorür) gözenekler temizlenir. Tüm bu temizlik işlemi otomatik yapılır. Ancak bu kimyasallar için az hacimlerde de olsa biriktirme amacıyla depolama tankları gerekir (Aslan vd., 2009).

Tıkanmayı önlemek adına gerçekleştirilen temel yaklaşımlar genelde hidrodinamik özelliklerin, hava sıyırma etkisinin veya diğer işletim parametrelerinin iyileştirilmesi tabanlıdır. MBR'lerde polimerik kimyasal eklemesi ile çamurların flokleştirilmesi yeni ve gelecek vadeden bir metot olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sayede kolloidleri ve diğer çamur bileşenlerini floklara bağlamak mümkün olmaktadır. Literatürde polimer, metal tuzları ve diğer kimyasal maddeler ile yapılan çalışmalar mevcuttur. Özellikle katyonik polimerler çözünmüş mikrobiyal ürünleri bir araya getirip bağlayabilmeleri sebebiyle oldukça umut vericidirler. MBR sistemlerinde farklı kimyasal katkı dozlama stratejileri mevcuttur (Köseoğlu vd., 2008).

Batık MBR’lerde tıkanmayı önleyici birçok metot kullanılmaktadır. Bazı sistemlerde membranlar otomatik düzende, üretilen süzüntü suyu kullanılarak her 10-15 dakikada bir düzenli olarak geri yıkanılır (“backpulse” veya “backwash”). Bu işlemle tıkanan membran gözenekleri temizlenmeye çalışılır. Esas amaç, membran yüzeylerine gevşek olarak tutunmuş materyallerin uzaklaştırılmasıdır. Geri yıkama prosesinde önce yıkanacak modüldeki arıtım durdurulur sonra basınçla bu sefer dıştan içe doğru membranlara içten dışa doğru saniyeler mertebesinde (yaklaşık 10-20 sn) kademeli olarak su basılır. Burada kullanılan su ayrı tanklarda bu amaç için biriktirilen sistem süzüntü suyudur. Dolayısıyla, birinci temizleme metodu olan bu geri yıkamada her 10-15 dakikada bir üretim durdurulup, toplam yaklaşık 1 dakikalık bir geri yıkama ile zaman kaybı olur. Her üretici firmanın kendine özgü geri yıkama metodu olsa da ana hatlarıyla metotlar birbirine benzerdir (Yiğit, 2007).

Birinci temizleme metodunun yanı sıra, tıkanma derecesinin artıp sabit akı üretimi için gereken TMP’nin (Trans Membran Basıncı) yükseldiği durumlarda, ikinci temizleme metodu olarak (genellikle yaklaşık 15 günde bir) kimyasalların eklendiği süzüntü suyu ile geri yıkama yapılır. Sitrik asit (pH düşürüp tortuları çözmek için) ve sodyum hipoklorit (organik veya mikrobiyolojik filmleri parçalamak için) bu amaç için kullanılmaktadır. Bu temizlik yine otomatik olarak gerçekleştirilip, birinci tur geri yıkamaya göre daha uzun sürede uygulanmaktadır. Geri yıkama, yaklaşık 30 saniyelik, 5-10 periyot uygulanır ve membranlar bu periyotlar arasında 1-2 dakika dinlendirilir. Kullanılan dozlar yaklaşık 250 mg/L klor ve 2,000 mg/L sitrik asit şeklindedir. Bu temizleme periyodu boyunca temizlenen membran modülü 30-45 dakika servis dışı kalır. İkinci temizleme metodu da yetersiz kalıp sabit akı süzüntü suyu üretimi için gerekli TMP artmaya devam ederse üçüncü tür temizleme metodu uygulanır. Bu uygulamada membran tankı servis dışına alınıp tank boşaltılır, membranlar ikinci temizlemede uygulanan kimyasal dozlardan daha yüksek dozlar içeren sitrik asitli ve sodyum hipokloritli basınçlı süzüntü suyu ile yıkanır, daha sonra tank bu yüksek dozlu kimyasalları içeren süzüntü suyu ile doldurulup membranlar batık halde 5 saat civarı bekletilir. Bekleme sonunda düşük pH’lı bu temizleme suyunu nötralize etmek için sodyum hidroksit tanka basılır, tank boşaltılır ve bu su nihai bertaraf için atılır, veya tesis girişine geri gönderilir. Küçük tesislerde, membranları kendi tankında bu kimyasallara batırmak yerine, membran kasetleri tankın üzerindeki hareketli vinç ile

kaldırılıp, ayrı bir küçük bir tanka konulup, burada bu kimyasallara temizleme yapılabilir (Yiğit, 2007).

## 5. LİTERATÜRDE KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Gunder ve Krauth, 7 m<sup>3</sup> ve 9 m<sup>3</sup> hacimli biyoreaktöre iki membran modülü yerleştirmişler ve bu membran modüllerini paralel olarak mukayese etmişlerdir. Kullanılan membran modülleri, 80 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip plaka (tabaka) modülü ve 83,4 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip HF (Hollow Fiber- İçi Boş Lif) modülleri idi. Araştırmacılar, her iki membran sisteminin hidrolik performansı incelemişler ve 20°C su sıcaklıklarında, HF membran modülünde 15000 mg/L MLSS konsantrasyonunda 20 L/m<sup>2</sup>/saat ve kısa zaman periyotlu işletimlerde ise 38 L/m<sup>2</sup>/saat'lik akı miktarlarına ulaşmışlardır (Gunder ve Krauth, 1998).

Aya ve arkadaşları, yapmış olduğu çalışma neticesinde, klasik aktif çamuru müteakiben yerleştirilen ultrafiltrasyon membran modülü yardımıyla evsel atıksuyun girişinde 80-460 mg/L olan askıda katı maddeyi <5 mg/L' ye, 422-1540 mg/L olan KOİ'i <40 mg/L ve 200-1000 mg/L olan BOİ<sub>5</sub>'i de <10 mg/L'e düşürdüklerini belirtmişlerdir (Aya vd., 1981).

Roulet ve Irwin, Aktif çamur sistemini müteakiben yerleştirilen ultrafiltrasyon sistemiyle evsel atıksuları arıtmışlar ve çıkış suyunda <5 mg/L AKM, <15 mg/L KOİ ve <5 mg/L BOİ<sub>5</sub>'e ulaştıklarını belirtmişlerdir (Roulet, 1989), (Irwin, 1990).

Li ve arkadaşları, membran ayırımı anaerobik arıtıma uygulayarak peynir altı ve nişasta atıksularını (KOİ>30000 mg/L) %99 civarında arıttıklarını (Li vd., 1985), Manem ve Sanderson, KOİ'si 4200 mg/L olan süt endüstrisi atıksularını aerobik reaktörden sonra yerleştirilen membran modülü sayesinde 40 mg/L'e kadar, 2600 mg/L olan BOİ<sub>5</sub> değerini de <10 mg/L'e, 650 mg/L AKM'i <5 mg/L'e ve 110 mg/L olan toplam Kjeldahl azotunu da 4.2 mg/L'e (Manem ve Sanderson, 1996), Krauth ve Staab (1994) 10000 mg/L KOİ konsantrasyonuna sahip tekstil atıksularını %94 oranında arıtarak 600 mg/L seviyesine kadar düşürdüklerini belirtmişlerdir (Krauth ve Staab, 1994).

Krauth ve Staab, aerobik çamurun MLSS ve viskozitesi arasında eksponansiyel bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir (Krauth ve Staab, 1994). Ross ve arkadaşları, anaerobik çamur için de benzer sonuçlar bulmuşlardır. Onlar da viskozite ile alakalı olan kayma gerilmesi ve çamur konsantrasyonu arasında eksponansiyel bir ilişki bulmuşlardır (Ross vd., 1990).

Cripps ve arkadaşları lignin peroksidaz üreten kahverengi çürükçül fungus

Poliporus ostreiformis'in boya renk giderim aktivitesinin P. Chrysosporium'dan daha yüksek olduğunu saptamışlardır (Crips vd., 1990).

Ueda ve arkadaşları, membran modülünün altından verilen hava akımının batık MBR'de kek giderim rolünü açıkladığından dolayı havalandırmanın kek giderim verimliliğini ve bu nedenle emme basıncını etkileyebildiğini belirtmişlerdir. Bu yüzden, sözü edilen araştırmacılar pilot ölçekli batık MBR'yi kullanarak kek giderimi ve emme basıncı üzerinde havalandırmanın rolünü incelemişler ve havalandırmanın filtrasyon şartlarını idare eden yeterli bir faktör olduğu sonucuna varmışlardır. Aşırı hava akımı ile kek giderim verimliliği akımın türbülansı ile etkilenmiştir. Kek giderim verimliliğini, hem hava debisini hem de daha küçük bir taban alanı üzerinde membran modülünü yerleştirdikten sonra hava yoğunluğunu (birim taban alanına düşen hava akım hızı) arttırarak düzenlemişlerdir (Ueda vd., 1997).

SGYAR (Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör) kullanılarak pamuklu tekstil endüstrisine ait atık sularının 48 saat hidrolik bekleme süresi ve  $1 \text{ kg/m}^3$ .gün organik yüklemesi sonucunda maksimum KOİ ve renk giderimi sırasıyla, %72 ve %61 olarak elde edilmiştir. 24 saat hidrolik bekleme süresi ve  $1,7 \text{ kg/m}^3$ .gün organik yükleme oranı sonucunda ise maksimum KOİ ve renk giderimi sırasıyla, %74 ve %57 olarak belirlenmiştir (Kaykıoğlu, 2010).

Yoona ve arkadaşları yaptıkları çalışmada MBR'nin en ekonomik işletme durumunu elde etmek için bir yöntem geliştirmişlerdir. İşletme maliyetlerini en aza indirildiği optimum tasarım parametrelerini elde etmek için çeşitli çalışma şartlarında havalandırma ve çamur arıtım maliyetlerinin tahmin edildiği çalışmalar yapılmıştır. Genellikle çamur arıtım maliyeti ile havalandırma maliyeti birbiri ile ters orantılıdır. Bu nedenle bu iki önemli durumun optimum noktası ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle, çamurun azaltılması MBR ekonomik olarak işletilebilmesi için bir anahtar olarak kabul edilmiştir. KOİ değeri  $400 \text{ mg/L}$  olan tipik bir evsel atık suyun arıtımının yapıldığı çalışmada MLSS değerinin çamur deşarjı yapılmayarak  $11,000 \text{ mg/L}$ 'den  $15,000 \text{ mg/L}$  yükselmesi, HRT süresinin de 16 saatten 12 saate düşmesi için çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ele alınan işletme koşulları yelpazesi için, sırasıyla ekonomik optimum HRT ve hedef MLSS 16 saat ve  $11,000 \text{ mg/L}$  olduğu ortaya çıkmıştır. Bu koşul altında, atıksu yükleme debisi  $1000 \text{ m}^3/\text{gün}$  olduğu durumda, organik maddelerin biyolojik ayrışma için gerekli havalandırma miktarı  $13.3 \text{ m}^3$  hava/dk. olarak verilmiştir (Yoona vd., 2004).

Peng J. ve Xue G. yapmış olduğu çalışmada membran sisteminin performansını belirlemek için biokinetik ve kütle denkleğine dayalı bir matematiksel model türetilmiştir. Sentetik atıksu ve et paketleme atıksuyu türetilmiş olan matematiksel modelin gerçekliğini deneysel verilerle kanıtlamak ve kalibre etmek için lab ölçek bioreaktör sisteminde arıtım yapılmıştır. Deneysel verilerin türetilen matematiksel modele uyduğu belirlenmiştir. Et paketleme atıksuyunun arıtımında biokinetik katsayılar  $k$ ,  $K_s$ ,  $Y$  ve  $k_d$  sırasıyla,  $0,48 \text{ gün}^{-1}$ ,  $56,3 \text{ mg/L}$ ,  $0,53 \text{ mgMLVSS/mgKOİ}$  ve  $0,04 \text{ gün}^{-1}$  bulunmuştur. Sistemin işletme şartlarına uygun olan F/M oranı 0,08 olarak belirlenmiştir (Jian ve Xue, 2006).

Uygur ve arkadaşları ardışık kesikli işletme ile sentetik atıksudan nutrient giderim deneylerini farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çalışmışlardır. Nutrient giderme prosesi anaerobik, anoksik (Anok), oksik (Ok), anoksik (Anok), oksik (Ok) ve çökeltme fazlarını içermektedir. Her bir basamağın hidrolik alıkonma zamanları değişirken çamur yaşı 10 günde sabit tutulmuştur. KOİ, azot ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ve fosfat ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) giderilmesinde her bir basamağın hidrolik alıkonma sürelerinin etkileri araştırılmıştır. Maksimum nutrient giderimiyle sonuçlanan optimum alıkonma zamanı bulunmuştur. En yüksek gözlenen organik karbon, azot ( $\text{NH}_4\text{-N}$  ve  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ve fosfat ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) giderme verimleri sırasıyla %96, %87, %81 ve %90 olup 2/1/4,5/1,5/1,5 saatlerde An/Anok/Ok/Anok/Ok işletimiyle sağlanmıştır (Uygur vd., 2004).

MLSS konsantrasyonunun 5000 ve 3000 mg/L MLSS altında olduğu durumlardaki biyokinetik katsayıları bir laboratuvar ölçekli çapraz akış membran bioreaktörde (CF-MBR) belirlemiştir. Araştırma göstermiştir ki verim ( $Y$ ), endojen çürüme katsayısı ( $k_d$ ), maksimum özgül büyüme oranı (mikron) ve doyunluk sabiti ( $K_S$ ) MLSS'nin 5000 mg/L olduğu şartlarda sırasıyla 0,276 mg/mg, 0,07 /gün, 0,653 /gün, and 396,62 mg KOİ/L, MLSS'nin 3000 mg/L olduğu şartlarda ise sırasıyla 0,222 mg/mg, 0,09 /gün, 1,2 /gün, ve 659,45 mg KOİ/L eşittir.  $Y$  değerleri dışındaki kinetik katsayıların değerleri literatürde bulunan aktif çamur sürecindeki değerlerin normal sınırları içinde bulunmuştur (Rahman ve Al-Malack, 2012).

Yüksek konsantrasyonlu sentetik atık su arıtımının araştırıldığı çalışma, düz bir batık membran ile biyolojik bir reaktörün birleştirildiği sistemde gerçekleştirilmiştir. Membranların kirlenmesini etkileyen emme basıncı, nitrifikasyon ve KOİ, KOİ giderim verimi 4/9 ay boyunca monitörden takip edilmiştir. Bioreaktörde 12/16 saat hidrolik

bekletme süresi ve 8000/16000 mg/L çamur konsantrasyonu ile yapılan çalışma koşulları altında, giriş atık suyunda KOİ değerinin 900/1600 mg/L, toplam azotun 50/600 mg/L olduğu çalışmada KOİ ve Nitrifikasyon giderim veriminin sırasıyla %98'in ve %95 olduğu belirtilmiştir (Shim vd., 2002).

Ouyang ve Liu, Benzer olan 3 reaktörde 2 yıl boyunca çamur bekletme süresi 10 gün, 40 gün ve çamurun uzaklaştırılmadığı farklı çamur bekletme sürelerinde membran kirliliği ve çamur özelliklerine SRT'nin etkisini çalışmışlardır. MBR'lerin hidrolik bekletme süreleri 12 saat olarak kontrol altında tutulmuştur. SRT'nin artmasıyla, MBR içindeki çamur konsantrasyonu artarken, bu esnada çamurun boyutu ve uçucu askıda katı maddenin toplam katı maddeye oranı azaldı. Uzun çamur bekletme sürelerindeki yüksek çamur konsantrasyonu organik madde gideriminde daha verimli bulunmuştur. Bu membranların KOİ,  $\text{NH}_4^+$ , N giderim performanslarının çamur bekletme süresiyle değişmediği gözlenmiştir. Membran kirlenme hızı kısa bekletme sürelerinde daha yüksek bulunmuş ve en yüksek kirlenme hızı 10 gün bekletme süresinde olmuştur (Ouyang ve Liu, 2009).

Davies ve arkadaşları, ızgaradan geçirilmiş evsel atıksuyu plaka tipli membran modülünden oluşan batık membran-aktif çamur sistemini 16000 mg/L MLSS'de ve 4,5 saat hidrolik bekletme süresinde çalıştırarak 4 mg/L  $\text{BOI}_5$  ve 5 mg/L  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonlarına sahip çıkış suyu değerlerine ulaşmışlardır. Biyoreaktördeki çamur yaşı yaklaşık 45 gün tutulmuştur. Sözü edilen tesisin maliyeti 1 Ml/gün evsel atıksu için 8.5 p/m<sup>3</sup>'den başlamış (arazi ve inşaat maliyeti dahil), 16,58 Ml/gün evsel atıksu için 6.8 p/m<sup>3</sup> e düşmüştür (Davies vd., 1998).

Magara ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, uzun havalandırmaya gerek kalmaksızın yüksek MLSS düzeylerinde nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları etkili bir şekilde gerçekleşmiştir. Yazarlar 100 m<sup>3</sup>/gün debili atıksuyu arıtan membran prosesinin yatırım ve işletim maliyetlerinin klasik sistemlere eşit veya daha az olduğunu bunun yanında daha az arazi ve denetim gerektirdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada kullanılan biyoreaktör; 7800 mg/L  $\text{BOI}_5$ , 18000 mg/L AKM ve 4,7 saat hidrolik bekletme süresinde işletilmiştir (Magara vd., 1992).

Ueda ve arkadaşları, HF modüllü sistemde 12000 mg/L askıda katı maddenin (MLSS) işletim için maksimum olduğunu ve düşük  $\text{BOI}_5$  yükü ve yüksek çamur yaşında 12 l/m<sup>2</sup>/saat'lik akıya ulaşıldığını belirtmişlerdir. Tübüler sistem için  $\text{BOI}_5$  yükü 1,7 kg

$\text{BOI}_5/\text{m}^3/\text{gün}$  iken HF sistemlerde bu değer  $0,2 \text{ kgBOI}_5/\text{m}^3/\text{gün}$ 'e kadar düşürülmüştür (Ueda vd., 1996).

Ishida ve arkadaşları, tübüler sistemlerden kaynaklanan yüksek enerji problemleri ve HF sistemlerinin düşük MLSS'de işleme kabiliyetlerinin üstesinden gelmek için, biyolojik reaktöre batık halde plaka tipli membran sistemlerini yerleştirmişlerdir. Bu sistemlerde, membran plakaları  $30000 \text{ mg/L}$  veya daha yüksek MLSS'e sahip çamura kolayca yer sağlanması amacıyla  $6 \text{ mm}$  aralıkta düşey olarak yerleştirilmişlerdir. Membran modülü altına yerleştirilen hava difüzörleri sayesinde membran yüzeyinde kek oluşumunu azaltacak kesme kuvveti temin ederek yüksek akı miktarını sağlamışlardır. Ayrıca, biyolojik reaktörde mikroorganizma kütesini sağlamak için ihtiyaç duyulan geri devir pompaları elimine edilmiştir (Ishida vd., 1992).

Düşük çözünmüş oksijen, filamentous bakterisinin gelişimini teşvik etmektedir bu da zayıf çamur çökebilirliğine yol açtığı için nitrifikasyon aktivitesini azaltırken hücre dışı polimer üretimini de azaltmaktadır. Genellikle çözünmüş oksijen reaktörün içinde  $2 \text{ mg/L}$ 'nin üzerinde tutulmalıdır (Hu vd., 2001).

Amaral ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda *Trametesversicolor*'ın 3 adet sentetik tekstil boyasının (R.Orange 4, R.Red 23 ve R.Black 5) eşit miktarda karışımıyla oluşturulan sentetik atık su ve gerçek tekstil atık suyundaki renk giderimi araştırılmıştır. Glukoz'un varlığında ve yokluğunda sürdürülen bu çalışmalarda farklı boya konsantrasyonları ( $0, 50, 100$  ve  $300 \text{ mg/L}$ ) test edilmiştir. 10 günlük süre sonunda glikozun varlığında ve pH 4,5 iken  $50-100 \text{ mg/L}$  boya konsantrasyonlarında rengin %97'si;  $300 \text{ mg/L}$  boya konsantrasyonunda % 87'si giderilmiştir. 42 kez sulandırılmış gerçek tekstil atık suyunda ise  $50 \text{ mg/L}$  boya konsantrasyonunda renk giderimi %92 olarak saptanmıştır (Amaral vd., 2004).

Jones ve arkadaşları, *Mycobacterium avium*, *Mycobacterium intracellulare*, *Mycobacterium scrofulaceum*, *Mycobacterium marinum*, *Mycobacterium chelonae*'nın malaşin yeşili ve kristal viyole boyaalarının yüksek konsantrasyonlarına karşı toleranslı olduklarını belirlemişlerdir. *M.avium*'un membran fraksiyonu ile yapılan renk gideriminin saf ekstratlar kullanılan çalışmalardan 5 kat daha hızlı olduğu gözlenmiştir (Jones ve Falkinham, 2003).

Işık ve Sponza, Türkiye'de tekstil endüstrisinde kullanılan iki azo boyanın (Congo Red (CR) ve Direct Black 38 (DB38) parçalanması için iki fakültatif

mikroorganizmayı (*Escherichia coli* ve *Pseudomonas* sp.) kullanarak anaerobik ve aerobik şartlarda çalışmışlardır. Mikroorganizmaları 5 gün boyunca 100 mg/L boya ve 1000 mg glikoz-KOİ/L içeren numunede inkübe etmişlerdir. CR ve DB38 boyalarından meydana gelen renklerin, *E.coli* kullanılan anaerobik şartlarda, sırasıyla %98 ve %72 ve *Pseudomonas* sp. kullanılan anaerobik şartlarda ise sırasıyla %100 ve %83 verimle giderildiğini tespit etmişlerdir. Ancak, aerobik inkübasyon sonucunda renk giderimi olmadığı tespit edilmiştir (Işık ve Sponza, 2003).

Reaktif tekstil boyalarının (Remazol Blue, Reactive Black, Reactive Red) biyoakümüasyonu, giriş pH'sı ve boyar madde konsantrasyonu değiştirilerek, melaslı ortamda büyütülen *Candida tropicalis* mayası ile incelenmiştir (Dönmez, 2002).

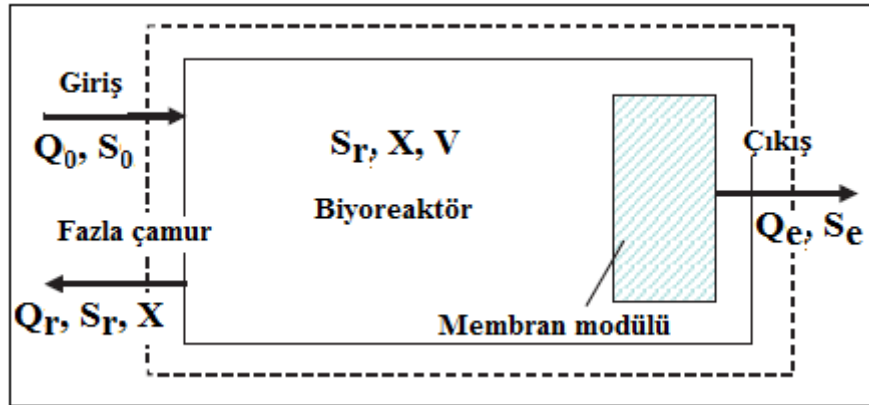
## 6. TEKSTİL ATIKSU ARITIMI İÇİN LAB/PİLOT ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖRÜN TASARIM (DİZAYN) HESAPLAMALARI

Günümüzde MBR tasarımı için gelişmiş ve sistematik bir yöntem bulunmamaktadır. MBR sistemi ile atıksuların arıtımı için laboratuvar ölçeğinde ve pilot ölçeğinde yapılmış olan deneysel sonuçlar baz alınarak gerçek ölçeğinde bir sistemin tasarım parametreleri belirlenmektedir. MBR sistemlerinin tasarımında birinci adım MBR sisteminin konfigürasyonunu belirlemektir. Bu tasarım çalışmasında; MBR sistemi olarak küçük, bitişik parçalardan oluşan küçük çalışma basıncı, geri atıksu çevrimi olmayan, düşük enerji tüketimli Dahili/Batık MBR tipi seçilmiştir. Havalandırma sırasında oluşan hava girdapları çamurun membran yüzeyinde birikmesini ve gözenekleri tıkamasını engellemektedir. Genel olarak zaten aerobik arıtım sistemleri için Dahili/Batık MBR tipi kullanılmaktadır. Tasarımlarda toplam reaktör hacmi, havalandırma modu, havalandırma ekipmanlarının montaj yerleri ve montajı anahtar etkenlerdir. Biyoreaktörün tasarımında ve işletilmesinde çamur yükleme hızı,  $N_s$  ile gösterilmektedir ve  $N_s$  uzaklaştırılan organik madde miktarının birim zamanda birim çamur miktarına oranını ifade etmektedir. Dahili/Batık MBR sistemlerinde membran modülün sistem içinde bulunmasından dolayı bioreaktör çok yüksek konsantrasyonda çamur tutmaktadır. Eğer  $N_s$  oranı küçük seçilirse sistemin arıtım verimi mükemmel seviyededir, fakat alt yapı yatırım maliyeti çok artmaktadır. HERNASILSA, yüksek  $N_s$  seçimi arıtım çalışma alanını ve alt yapı maliyetini düşürmekte, fakat arıtım verimini az artırmaktadır. Bunun için MBR sistemlerinin tasarımında makul olan  $N_s$  değerinin seçimi anahtar rol oynamaktadır. Genellikle  $N_s$  seçim aralığı 0,3-0,4 kgKOİ/kgVSS.gün olarak belirlenmektedir. Biyoreaktördeki çamur konsantrasyonunun (X) teorik olarak belirlenmesi zordur. Birçok çalışmada bu değer ham atıksudaki organik madde konsantrasyonuna göre 6000-20000 mg/L aralığında önerilmektedir. Düşük organik madde konsantrasyonuna sahip arıtım için bu değer düşük, tam tersi durumlar için yüksek seçilmektedir. Membran modülünün alanı ve membran sayısı, havalandırma sisteminin tasarımında hesaplanan hava miktarına göre blower sayısı tasarımın diğer basamaklarıdır. MBR tasarımında kullanılan biyolojik arıtma sistemlerinde mevcut mikroorganizmalardan heterotrofik bakteriler ve ototrofik bakterilerin 20°C kinetik katsayıları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Biyolojik arıtma için kinetik katsayılar (Metcalf ve Eddy, 2003).

| Kinetik katsayı             | Birimi                      | Tipik değer |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------|
| Hetetrofik bakteriler, 20°C |                             |             |
| $\mu_m$                     | gVSS/gVSS-gün               | 6           |
| $K_s$                       | mgBOİ/L                     | 20          |
| $Y$                         | gVSS/gBOİ                   | 0,40        |
| $k_d$                       | gVSS/gVSS-gün               | 0,12        |
| $f_d$                       | birimsiz                    | 0,15        |
| $\theta$ değerleri          |                             |             |
| $\mu_m$                     | birimsiz                    | 1,07        |
| $k_d$                       | birimsiz                    | 1,04        |
| Ototrofik bakteriler, 20°C  |                             |             |
| $\mu_{nm}$                  | gVSS/gVSS-gün               | 0,75        |
| $K_n$                       | mg NH <sub>4</sub> -N/L     | 0,74        |
| $Y_n$                       | g VS S/g NH <sub>4</sub> -N | 0,12        |
| $k_{dn}$                    | gVSS/gVSS-gün               | 0,08        |
| $K_0$                       | birimsiz                    | 0,50        |
| $\theta$ değerleri          |                             |             |
| $\mu_{nm}$                  | birimsiz                    | 1,07        |
| $k_{dn}$                    | birimsiz                    | 1,053       |
| $K_n$                       | birimsiz                    | 1,04        |

Şekil 6.1 Dahili/Batık MBR’de giren-çıkan madde dengesini göstermektedir.



Şekil 6.1. Dahili Membran biyoreaktör madde dengesi (Wen vd., 2010).

Tasarımda toplam reaktör hacmi, membran modülünün alanı ve membran sayısı, havalandırma sisteminin tasarımında hesaplanan hava miktarına göre blower sayısının hesaplamalarında kullanılan eşitlikler (E.6.1-17) ve eşitliklerde kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

#### Eşitliklerde kullanılan kısaltmalar

$A$  = Membran alanı,  $m^2$

$A_F$  = Hava debisi,  $m^3/min$

AOTR = Açık hava şartlarında gerekli net oksijen transferi,

$C_L$  = Havalandırma tankında, istenen çözülmüş oksijen konsantrasyonu,  $mg/L$

$C_s$  = Deniz seviyesinde  $20\text{ }^\circ C$ 'de saf sudaki oksijenin doygunluk konsantrasyonu,  $mg/L$

$C_{s,T,H}$  =  $T$  sıcaklık ve  $H$  rakımında havalandırma havuzundaki temiz suda çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu değeri.

$C_{s,T,H}$  = Oksijen konsantrasyonu,  $mg/L$ .

$E$  = Difüzörlerden suya oksijen verimi, %

$F$  = Tıkanma faktörü

$FPM_a$  = Düz plaka membran kasetinin alanı,  $m^2/adet$

$FPM_q$  = Düz plaka membran adedi

$F/M$  = Substrat/Biyokütle oranı,  $kg\ BOD/kg\ MLVSS\ d$

$g$  = Yer çekimi ivmesi,  $9,81\ m/s^2$

HRT = Hidrolik tutulma süresi,  $d, h$

$J$  = Membran akışı,  $m^3\ m^2\ h, L\ m^2\ h$

$M$  = Havanın ortalama molekül ağırlığı, ( $29,87\ kg/kg.mol$ )

|              |   |  |
|--------------|---|--|
| $N_e$        | = | Çıkışta $NH_4-N$ (Amonyum azotu) konsantrasyonu, mg/L  |
| $NO_x$       | = | Azot oksit, mg/L   |
| $N_s$        | = | Aktif çamur yükleme hızı, kg COD/ (kg VSS d)   |
| $O_t$        | = | Havalandırma tankını terk eden oksijen konsantrasyonu, %   |
| $P_{atm}$    | = | Atmosferik basınç, $1,01325 \times 10^5$ N/m <sup>2</sup> ;101,325 kN/m <sup>2</sup>               |
| $P_{atm,H}$  | = | H rakımındaki hava basıncı, N/m <sup>2</sup>   |
| $P_d$        | = | Difüzörün havalandırma tankında havayı verdiği noktadaki basınç, N/m <sup>2</sup>                  |
| $P_{X, bio}$ | = | Günlük olarak atılan biyokütle, kg/d   |
| $P_{w, eff}$ | = | Difüzörün havalandırma tankındaki su yüzeyine mesafesi, m  |
| $Q$          | = | Günlük debi, m <sup>3</sup> /d   |
| $V$          | = | Reaktör hacmi, m <sup>3</sup>  |
| $R$          | = | Evrensel gaz sabiti, 8314 N.m/kg.mol.K   |
| $R_o$        | = | Gerekli oksijen miktarı, kg/d  |
| $S_e$        | = | Çıkış çözünür substrat konsantrasyonu, g BOD veya bsCOD/m <sup>3</sup>                             |
| $S_o$        | = | Giriş çözünür substrat konsantrasyonu, g BOD veya bsCOD/m <sup>3</sup>                             |
| $SOTR$       | = | Çözünmüş oksijen içermeyen 20 °C'deki saf suda standart oksijen transfer hızı, kgO <sub>2</sub> /d |
| $SRT$        | = | Katı alıkonma süresi, d  |
| $T$          | = | Sıcaklık, K (Kelvin), (273,15+°C)  |
| $TKN$        | = | Toplam Kjeldahl Azotu  |
| $X$          | = | Havalandırma tankındaki aktif çamur konsantrasyonu, mg/L   |
| $z_b$        | = | Rakım, m   |
| $\gamma$     | = | Suyun özgül ağırlığı, kN/m <sup>3</sup>  |
| $\mu_m$      | = | Heterotrofik bakteriler için maksimum büyüme hızı.   |
| $K_S$        | = | Heterotrofik bakteriler yarı hız sabiti.   |
| $k_d$        | = | Heterotrofik bakteriler için ölüm oranı.   |
| $Y$          | = | Heterotrofik biyolojik verim katsayısı.  |
| $f_d$        | = | Ölen heterotrofik hücrelerden gelen kalıntı.   |
| $\mu_{nm}$   | = | Nitrifikasyon bakterileri için maksimum büyüme hızı.   |
| $K_n$        | = | Nitrifikasyon bakterileri yarı hız sabiti.   |
| $k_{d_n}$    | = | Nitrifikasyon bakterileri için ölüm oranı.   |

$Y_n$  = Nitrifikasyon biyolojik verim katsayısı.

### Tasarım Hesaplamalarında Yararlanılan Eşitlikler

$$S_e = \frac{K_s \cdot [1 + (k_d) \cdot SRT]}{SRT \cdot (\mu_m - k_d) - 1} \quad (\text{E.6.1})$$

$$\mu_{m,T} = \mu_m \cdot \theta^{T-20} \quad (\text{E.6.2})$$

$$P_{X,bio} = \frac{Q \cdot Y \cdot (S_0 - S_e)}{1 + (k_d) \cdot (SRT)} + \frac{(f_d) \cdot (k_d) \cdot Q \cdot Y \cdot (S_0 - S_e) \cdot (SRT)}{1 + (k_d) \cdot (SRT)} + \frac{Q \cdot Y_n \cdot (NO_x)}{1 + (k_{dn}) \cdot (SRT)} \quad (\text{E.6.3})$$

$$R_o = Q \cdot (S_0 - S_e) - 1,42 \cdot P_{X,bio} + 4,33 \cdot Q \cdot (NO_x) \quad (\text{E.6.4})$$

$$V = \frac{Q \cdot (S_0 - S_e)}{X \cdot N_s} \quad (\text{E.6.5})$$

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (\text{E.6.6})$$

$$SRT = \frac{X \cdot HRT}{0,4 \cdot (S_0 - S_e - 0,34 \cdot X \cdot HRT)} \quad (\text{E.6.7})$$

$$A = \frac{Q}{24 \cdot J} \quad (\text{E.6.8})$$

$$FPM_q = \frac{A}{FPM_a} \quad (\text{E.6.9})$$

$$NO_x = TKN - N_e - 0,12 \cdot \frac{P_{X,bio}}{Q} \quad (\text{E.6.10})$$

$$AOTR = SOTR \left( \frac{\beta \bar{S}_{T,H} - C_L}{C_{S20}} \right) \cdot (1,024^{T-20}) \cdot (\alpha) \cdot (F) \quad (\text{E.6.11})$$

$$C_{\bar{S},T,H} = (C_{s,T,H}) \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{P_d}{P_{atm}} + \frac{Q_t}{21} \right) \quad (\text{E.6.12})$$

$$C_{s,T,H} = (C_s) \cdot \left( \frac{P_b}{P_a} \right) \quad (\text{E.6.13})$$

$$\frac{P_b}{P_a} = \exp \left[ - \frac{g \cdot M \cdot (z_b - z_a)}{R \cdot T} \right] \quad (\text{E.6.14})$$

$$P_{atm,H} = \frac{(P_b/P_a) \cdot (P \frac{kN}{m^2})}{\gamma \text{ kN/m}^3} \quad (\text{E.6.15})$$

$$C_{\bar{s},T,H} = (C_{s,T,H}) \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{P_{atm,H} + P_{w,eff}}{P_{atm,H}} + \frac{O_t}{21} \right) \quad (\text{E.6.16})$$

$$A_F = \frac{SOTR}{E.60.(\text{kg O}_2/\text{m}^3)} \quad (\text{E.6.17})$$

E.6.1, E.6.2, E.6.3, E.6.4 (Metcalf ve Eddy, 2003).

E.6.5, E.6.6, E.6.7 ve E.6.6 (Wen vd., 2010).

E.6.7, E.6.8, E.6.10, E.6.11, E.6.12, E.6.13, E.6.14, E.6.15, E.6.16 ve E.6.17 (Metcalf ve Eddy, 2003).

Lab/pilot ölçekte tasarlanan MBR sisteminin tasarımında ham tekstil atıksuyunun kirlilik yükleri dikkate alınarak kabul değerler belirlenmiştir. Belirlenen bu kabul değerleri Çizelge 6.2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 6.2.** Lab/Pilot ölçekte MBR tasarım kabulleri.

| Parametre   | Miktar | Birim               |
|---|--------|---------------------|
| Giriş KOİ (Kimyasal oksijen ihtiyacı)             | 1500   | mg/L                |
| Çıkış KOİ (Kimyasal oksijen ihtiyacı)             | 60     | mg/L                |
| Giriş TKN (Toplam Kjeldahl Azotu)                 | 35     | mg/L                |
| Çıkışta NH <sub>4</sub> -N (Amonyum azotu)        | 0,5    | mg/L                |
| MLSS (Askıda katı madde)                          | 10000  | mg/L                |
| Q (Günlük debi)                                   | 500    | L                   |
| Ns (Aktif çamur yükleme hızı)                     | 0,35   | kg KOİ/kg MLVSS     |
| J (Membran akısı)                                 | 14     | L.m <sup>2</sup> .h |
| FPM <sub>a</sub> (Düz plaka membran kaseti alanı) | 0,25   | m <sup>2</sup>      |

Havalandırma sisteminin kullanılan blowerın kapasitesi ve kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan parametreleri Çizelge 6.3’te verilmiştir.

**Çizelge 6.3.** Blower kapasitesi hesaplamasında kullanılan değerler.

| Parametre        | Değer   | Birim             |
|------------------|---------|-------------------|
| Rakım            | 500     | m                 |
| Sıcaklık         | 20      | °C                |
| $\alpha$         | 0,5     | -                 |
| $\beta$          | 0,95    | -                 |
| F                | 0,9     | -                 |
| $C_{s,20}$       | 9,08    | mg/L              |
| $C_{s,12}$       | 10,77   | mg/L              |
| $P_{w,eff,deep}$ | 0,9     | m                 |
| $C_L$            | 2,0     | mg/L              |
| $\gamma_{12}$    | 9,802   | kN/m <sup>3</sup> |
| $O_t$            | 19      | %                 |
| E                | 35      | %                 |
| R                | 8314    | N.m/kg.mol.K      |
| g                | 9,81    | m/s <sup>2</sup>  |
| M                | 28,97   | kg/kg.mol         |
| $P_{atm}$        | 101,325 | kN/m <sup>2</sup> |

Tasarım hesaplamaları sonucunda belirlenen Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin toplam reaktör hacmi, membran modülünün alanı, kullanılacak membran kaseti sayısı, havalandırma sisteminin tasarımında hesaplanan hava miktarına göre blower ve difüzör sayısı çizelge 6.4'te verilmiştir.

**Çizelge 6.4.** Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminin tasarım değerleri.

| Parametre                            | Miktar  | Birim                            |
|--------------------------------------|---------|----------------------------------|
| V (Reaktör hacmi)                    | 206     | L                                |
| HRT (Hidrolik tutulma süresi)        | 9,8     | saat                             |
| SRT (Katı tutulma süresi)            | 250     | gün                              |
| A (Membran alanı)                    | ~1,50   | m <sup>2</sup>                   |
| O <sub>2</sub> (oksijen gereksinimi) | 0,01933 | kg/h                             |
| Kullanılacak membran plaka sayısı    | 6       | adet                             |
| A <sub>F</sub> (Hava debisi)         | ~10     | L/min                            |
| İnce kabarcıklı difüzör              | 1       | adet (0,8-8,5 m <sup>3</sup> /h) |
| Blower                               | 1       | adet (0,4 kW)                    |

## **7. TEKSTİL ATIKSU ARITIMI İÇİN LAB/PİLOT ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) ÜNİTESİNİN İMALATINDA KULLANILAN MALZEME VE EKİPMANLAR**

### **7.1 Tanklar**

Tank malzemesi için Pleksiglass seçilmiştir. Kolay işlenebilen, kesilebilen delinebilen, hafif bir yapıya sahiptir. Camdan daha dayanıklıdır. Atmosfer şartlarındaki dayanıklılığı diğer bütün plastiklerden daha yüksektir. Bu nedenle çok değişik iklim şartlarında geniş uygulama alanlarına sahiptir. Pleksiglas levha, ultra viole ışınlarına yüksek dayanıklılık gösterir, sararma yapmaz ve zamanla kırılmalık kazanmaz. Darbelere karşı dayanıklıdır. Yüksek ışık geçirgenliğine sahiptir. Fizyolojik olarak sağlığa zararlı değildir. Pleksiglas ticari adıyla bilinen PMMA (Polimetilmetakrilat), bilinen en eski polimerlerdendir. PMMA 1,19 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda ve çok düşük su absorpsiyonuna sahip bir polimerdir. PMMA 60 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda alifatik hidrokarbonlara sikloalifatik bileşiklere yağlara ve seyreltik asitlere dayanıklıdır. Klorlanmış alifatik hidrokarbonlar, ketonlar, alkoller, eterler, esterler, aromatikler, petrol, nitrosellüloz, plastikleştiriciler, ispirto PMMA şişmesine neden olur (Akçay, 2006).

Tanklar dikdörtgen prizma şeklinde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Plakalar (Bilgisayar Sayısal Kontrol) tezgahta belirlenen ölçülerde kesilmiş, diğer bileşenlerin bağlantısı için gerekli olan delikler açılmıştır. Plakaların birleştirilmesi için yapıştırıcı olarak kloroform kullanılmış ve iç kısımdaki yapıştırma yerlerinin üzeri (köşelere) akvaryum silikonu ile kaplanmıştır. Ayrıca su basıncına karşı yapıştırma yerlerinin açılmaması için paslanmaz malzeme ile kafes şeklinde çevresi sarılmıştır. Tanklar, paslanmaz taşıyıcı sehpa üzerine monte edilmiştir. Taşıyıcı sehpa birbirine 2 tarafından civata ile birleştirilmiş ve istenildiği zaman taşıma ve bakım için kolayca ayrılacak şekilde imal edilmiştir.

Atık su ve temiz su tanklarının ölçüleri 48x38x80 cm; MBR (havalandırma) tankı ölçüleri ise 58x38x100 cm'dir. Tankların genel görüntüsü Şekil 7.1'de verilmiştir.



**Şekil 7.1.** Pleksiglas tankların genel görüntüsü.



**Şekil 7.2.** Tankların montaj sonrası görüntüsü.

## 7.2 Membran

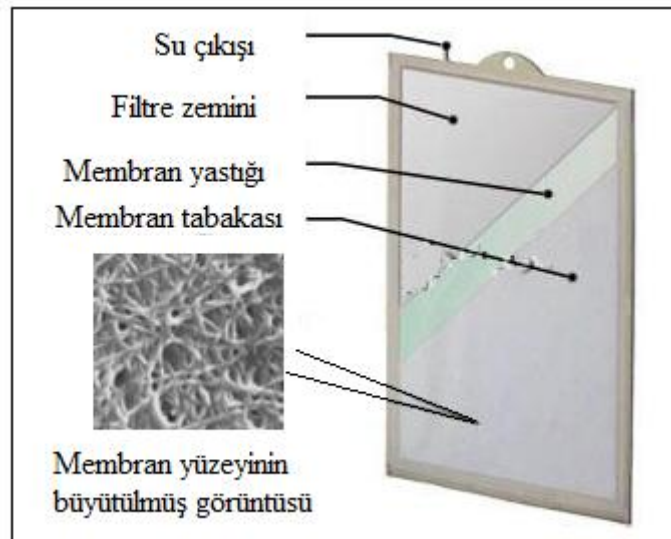
Birçok diğer membran uygulamalarında olduğu gibi, MBR'leri için önerilen membran materyalleri düşük maliyete dayanan polimerik yapılı olanlardır.

İmalatta kullanılan membran filtrenin yapısı, düz plaka formunda (Şekil 7.3) ve materyali PVDF+PET (Polivinildene florür + Polietilenteraftalat)'dır. Bu malzemenin membran üretiminde tercih edilme sebebi, yüksek molekül ağırlığına sahip olması, yüksek yorulma ve aşınma direnci, kimyasal maddelere ve sıcaklığa dayanıklı olmasıdır. Membran delikleri 0,1-0,3  $\mu\text{m}$  çapında olduğu için birçok mikroorganizma

türünü içinden geçirmediği için su kalite standartlarında yüksek arıtım sağlar. İthal edilen düz plaka membranlar Cheng Bo Environmental Protection Technology Co., Ltd., China, firması tarafından üretilmiştir. Düz plaka membranın bileşen yapısı Şekil 7.4'de verilmiştir.



**Şekil 7.3.** Düz plaka membran filtre (Flat sheet).



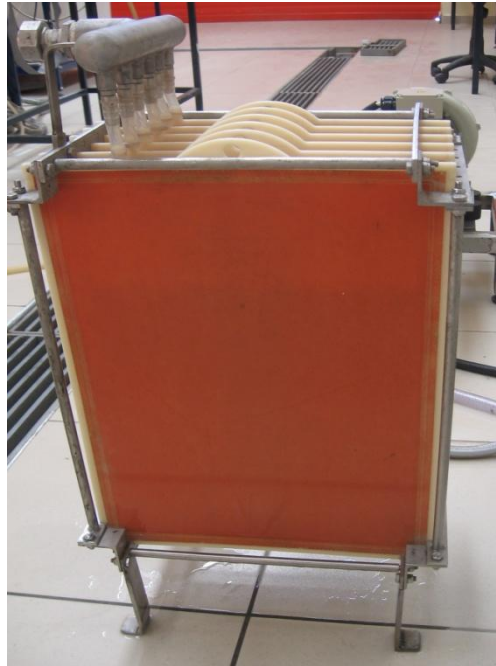
**Şekil 7.4.** Düz plaka membranın filtrenin bileşen yapısı.

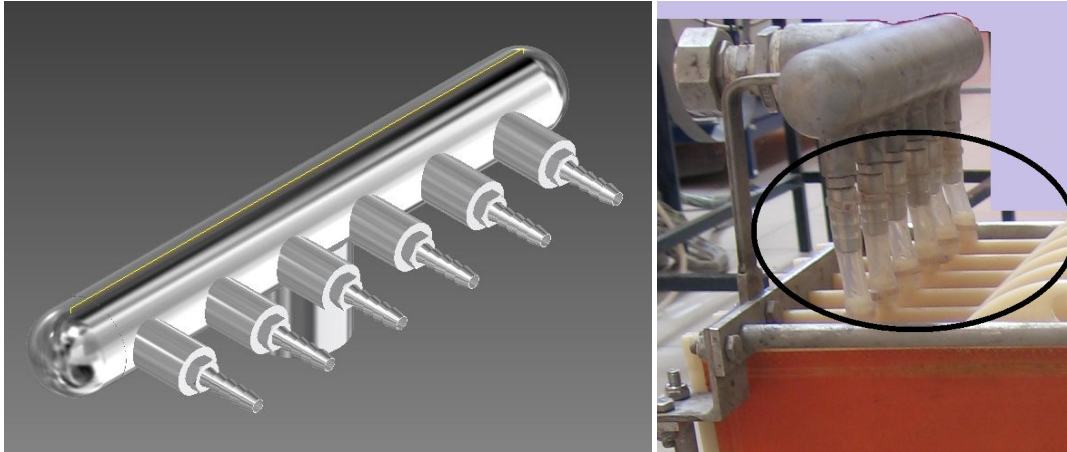
Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin imalatında kullanılan membran filtreye ait teknik bilgiler Çizelge 7.1'de verilmiştir.

**Çizelge 7.1.** Membran filtrenin teknik özellikleri.

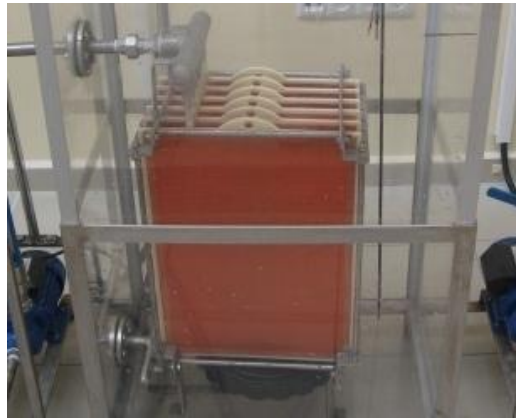
| Parametre                             | Özellik     |
|---------------------------------------|-------------|
| Etkin membran alanı (m <sup>2</sup> ) | 0,25        |
| Boyutlar (mm) uzunlukxgenixkalınlık   | 465x340x7,5 |
| Su kapasitesi (litre/gün.adet)        | 100-175     |
| Membran malzemesi                     | PVDF+PET    |
| Membran gözenek çapı (µm)             | 0,08-0,3    |
| Havalandırma kapasitesi (L/dk.adet)   | 10          |
| Çıkış suyu bulanıklık (NTU)           | <=1         |
| Çıkış suyu askıda katı madde (mg/L)   | <=5         |
| Ağırlık (kg)                          | 0,8         |

Membran modülü, 6 adet plakanın, paslanmaz metal malzeme ve cıvatalı bağlantı bileşenleri ile bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Membran modülün yapısı Şekil 7.5’de verilmiştir. Kollektör ile membranların su çıkışlarının kollektör parçasına, silikon takviyeli PVC (Polivinilklorür )hortumlar ile bağlantısı Şekil 7.6’da verilmiştir. Membran modülü, pompa emiş sistemine de kolay bağlanıp sökülebilecek rakorlu bağlantı şekilde dizayn edilmiştir. Rakorlu bağlantı membranların temizliği ve bakımı için sökülmesinde kolaylık sağlayacaktır. Membran modülün tanktaki montaj bağlantısı Şekil 7.7’de gösterilmiştir.

**Şekil 7.5.** Membran modülün görüntüsü.



**Şekil 7.6.** Kollektör ve Kollektör-Membran bağlantısı



**Şekil 7.7.** Membran modülün tanktaki montajlı görüntüsü.

### 7.3 Blower (Hava Körüğü-Üfleyici)

Difüzörlü havalandırma sistemlerinin en önemli parçaları blower ve difüzörlerdir. Yaygın kullanılan üfleyici tipleri: santrifüj üfleyiciler, pozitif yer değiştirmeli üfleyiciler, santrifüj türbinleridir. Santrifüj tipliler  $85 \text{ m}^3/\text{dak.}$ 'nın üstündeki birim kapasitelerde kullanılırlar. Deşarj basıncı  $48-62 \text{ kN/m}^2$  arasındadır. Atıksu arıtımında üfleyiciler geniş hava debisi, düşük basınç aralıkları ve farklı çevre şartlarında çalışabilmelidir. Üfleyiciler genellikle belirli işletme şartlarında çalışırlar. Atıksu arıtma tesisinde geniş bir hava debisi ve basınç aralığı gerekebileceğinden üfleyicilerin işletme şartlarındaki değişikliğe ve yeni düzenlemeye uygun olduğu konusunda üreticiden onay alınmalıdır. Değişiklik ve düzenleme yöntemleri şöyle sıralanabilir:

Santrifüj üfleyicilerin işletme özellikleri düşük devirli santrifüj pompalara benzer. Basma basıncı kapatma anında kapasitesinin %50'sinde maksimuma yükselir ve sonra düşer. Üfleyicinin işletme noktası santrifüj pompalar gibi basma yüksekliği

kapasite eğrisi ile sistem eğrisinin kesişme noktasıdır. Üfleyci özellikleri standart hava şartlarına göre verilir (20 °C, 760 mm cıva basıncı ve %36 nispi nem oranı). Standart havanın özgül ağırlığı 1,2 kg/m<sup>3</sup>'dür. Havanın yoğunluğu santrifüj üfleycinin performansını etkiler, giriş hava sıcaklığı veya barometrik basınçtaki değişiklik, sıkıştırılmış havanın yoğunluğunu değiştirecektir. Gazın yoğunluğu ne kadar yüksek olursa basınç da o kadar yüksek olur, bunun sonucu olarak sıkıştırma için daha fazla enerji gerekir. Üfleyci seçimi, sıcak yaz günlerinde yeterli kapasiteyi sağlayacak, soğuk kış günlerinde ise yeterli gücü sağlayacak şekilde yapılmalıdır (Öztürk vd., 2005).

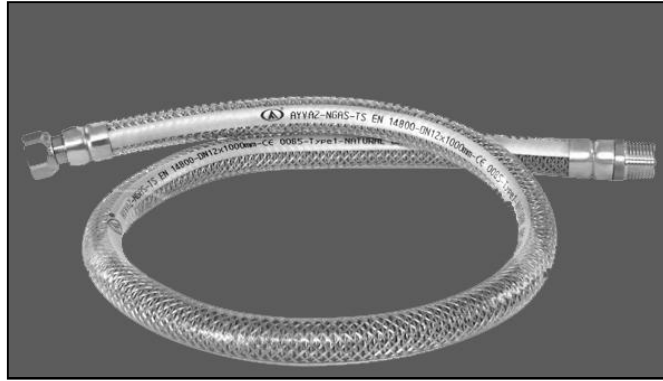
Lab/pilot ölçekte MBR sistemi için seçilen blowerın teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

|         |                 |
|---------|-----------------|
| Marka   | : Mapro         |
| Model   | : CL 30-Z HS    |
| Menşei  | : İtalya        |
| Güç KW  | : 0,4           |
| Gerilim | : 380 Volt      |
| Akım    | : 1,23-1,48 A.  |
| Ağırlık | : 10,9 Kg       |
| Devir   | : 2820 dev/dak. |
| Basınç  | : 2,24 psi      |

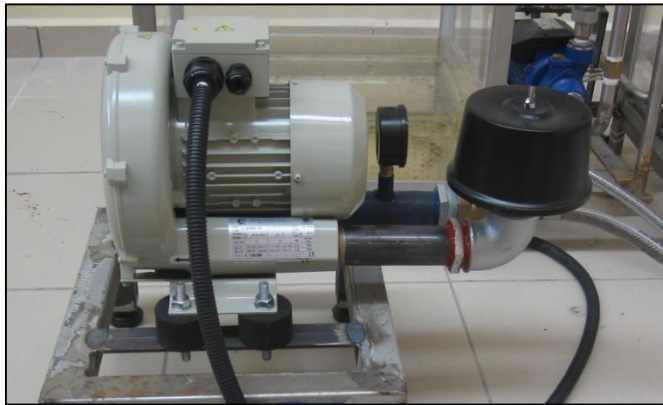
Seçilen blower 35x40 cm ebatlarında ve 15 cm yüksekliğinde 30x30 mm profilden imal edilen bir sehpa monte edilmiştir. Çalışma sırasında sarsıntı sönümlemesi için lastik takoz kullanılmıştır. Bowerdan elde edilen hava, 1/2" ölçüsünde paslanmaz çelikten imal edilmiş şeffaf PVC kaplamalı, rakorlu ve nipelli bağlantılı, TS-EN 14800 Ayvaz N-flex boru bağlantısı ile şartlandırıcı ve hava debimetresinden geçtikten sonra MBR tankına verilmektedir. Bağlantı borusu Şekil 7.8'de verilmiştir. Çizelge 7.2'de blowerın basınç miktarına göre hava kapasite değerleri, Şekil 7.9'da blowerın genel görüntüsü ve sehpa üzerindeki montaj görüntüleri verilmiştir.

**Çizelge 7.2.** Blowerın basınç miktarına göre hava kapasitesi.

| Çıkış basıncı (mbar)          | 0  | 50 | 75 | 100 | 125 | 130 | >130 |
|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|------|
| Akış hızı (m <sup>3</sup> /h) | 84 | 54 | 39 | 24  | 9   | 6   | 0    |



**Şekil 7.8.** TS-EN 14800 Ayvaz N-flex boru görüntüsü.



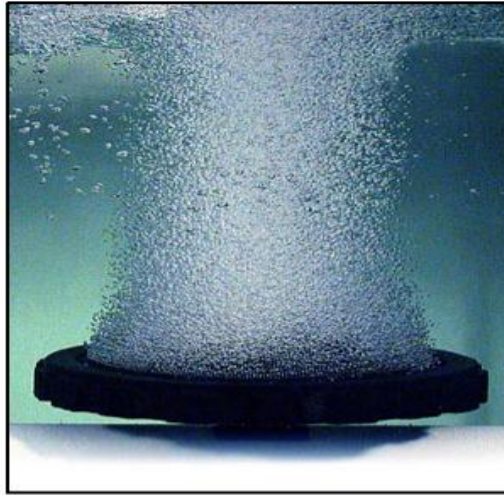
**Şekil 7.9.** Blowerın sehpa üzerindeki montaj görüntüsü.

#### 7.4 Difüzör

Biyolojik arıtma uygulanan tesislerinde mikroorganizmaların organik maddeleri enerjiye ve yeni mikroorganizmalara dönüştürebilmeleri için gerekli olan oksijen ihtiyacı, difüzör olarak adlandırılan ekipmanlarla yapılmaktadır. Membran arıtma sistemlerinde, membran modülünün altına yerleştirilen difüzörler, aynı zamanda membran filtre yüzeyinin temizlenmesinde de rol oynar. Difüzörler genelde mikroorganizmaların arıtım gerçekleştirdiği arıtma ünitesinde, zeminin dibine belirli aralıklarla yerleştirilirler. Hava, tankın içine yerleştirilen difüzörlerden geçerken ince kabarcıklar oluşturarak atıksu içinde yüksek oranda oksijen çözünmesini sağlar ve arıtma veriminin yükselmesinde etkili olur (Şen, 1997).

Tasarım ve üretimi gerçekleştirilen Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin kullanılan difüzör, 9" çapında (228,6 mm) disk formunda membranlı difüzördür. Net membran alanı 0,041 m<sup>2</sup>'dir. Her bir membranda mümkün olduğu kadar ince kabarcıkların oluşabilmesi için 6640 adet 1 mm. çapında kabarcık oluşturabilen delikler vardır. Difüzörlerde kullanılan standart membran malzemesi EPDM (Etilen- Propilen- Dien-

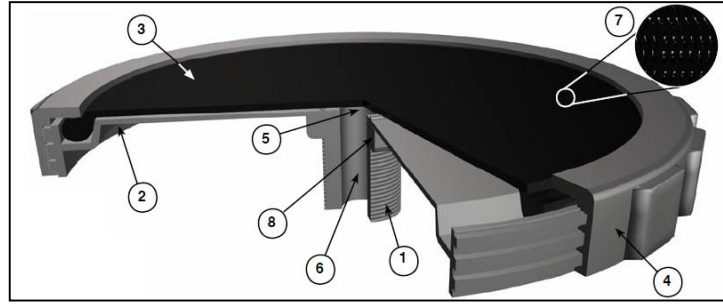
Monomer)' dir. Difüzör bağlantısı ¾" erkek NPT (National Pipe Taper- Piyasada Amerikan boru dişi terimiyle bilinen NPT dişler 60°'lik diş açısına sahip) vidalı bağlantıya sahiptir. Disk gövdeleri korozyona, UV ışınlarına ve ısıya dayanıklı PP (Polipropilen) malzemedен imal edilmişlerdir ve derin tank koşullarında çalışabilirler. Disk difüzör, üstün kalite EPDM membrandan yapılmıştır. Dahili çek valf sistemi sayesinde membranın dışındaki sıvının membranı aşp iletim hatları içine sızması engellenmiştir. İmalatta kullanılan difüzöre ait genel görüntü Şekil 7.10'da, montajlı görüntüsü Şekil 7.11'de ve teknik çizimi Şekil 7.12'de gösterilmiştir. Seçilen difüzöre ait teknik bilgiler Çizelge 7.3'de verilmiştir.



**Şekil 7.10.** Difüzörün genel görüntüsü.



**Şekil 7.11.** Difüzörün montaj sonrası görüntüsü.



Şekil 7.12. İnce kabarcıklı difüzörün kısımları.

- 1- ¾" Dişli bağlantı NPT (Erkek)
- 2- Difüzör gövdesi
- 3- Esnek membran yüzeyi
- 4- Membran tutucu halkası
- 5- Temel çekvalf özelliği
- 6- Hava girişi ağzı
- 7- Membrana açılan delikler
- 8- Altıgen başlı shaft

**Çizelge 7.3.** Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminde kullanılan disk difüzöre ait teknik bilgiler.

| Parametre | Max. Hava kapasitesi                                   | Tasarım Hava debisi | Tasarım çalışma basıncı | Difüzör çapı | Aktif yüzey alanı | Kuru ağırlık |
|-----------|--|---------------------|-------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Birim     | sm <sup>3</sup> /hr<br>(standart m <sup>3</sup> /saat) | sm <sup>3</sup> /hr | kPa                     | mm           | cm <sup>2</sup>   | kg           |
| Miktar    | 11,9   | 0,8-8,5             | 2,0-3,0                 | 277          | 380,9             | 0,7          |

### 7.5 Debimetre (Hava)

Sıvı ya da gazların hacimsel akış hızı (m<sup>3</sup>/sn) veya kütleli debisinin ölçülmesi (kg/sn), birçok parametrenin incelenmesi açısından, endüstride çeşitli işlemlerde ve laboratuvarlar çalışmalarında kullanılmaktadır. İşlem sürecinin kontrolü için, işleme giren ve çıkan madde miktarlarının bilinmesi gerekir. Ayrıca sonuçların yorumlanabilmesi ve karşılaştırılabilmesi için, yapılan deneylerde akış hızı ve debinin bilinmesi önemlidir. Günümüzde bu verilerin ölçülmesi için, farklı ölçme yöntemleri ile çalışan akış kontrol cihazları kullanılmaktadır. Herhangi bir işlemde debi ölçme işlemi için, ölçme yöntemi ve cihaz seçiminde öncelikle cihazın hassasiyeti, ölçüm aralığı, kullanım kolaylığı ve fiyatı olmak üzere farklı parametreler göz önünde bulundurulur.

Günümüzde imalat teknolojilerinin hızla gelişmesi mevcut cihazların giderek küçülmesine ve yeni teknolojik sistemlerin icat edilmesine olanak sağlamaktadır.

MEMS (Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler) olarak da bilinen yeni sistemler, içerisinde akışkanın dolaştığı farklı birimleri birbirine bağlayan mikrokanallar içermektedir. Mikrokanallarda tek fazlı zorlanmış akış etkin bir soğutma mekanizması olarak elektronik cihazlardan reaktör soğutma sistemlerine kadar birçok alanda kullanılmaktadır (Parlak vd., 2011).

Biyolojik arıtmada, mikroorganizmaların yaşamını sürdürmesi ve sudaki organik kirleticilerin CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüştürülmesinde, ortamda belli oranda çözülmüş oksijene ihtiyaç duyulmaktadır. Çözülmüş oksijen ihtiyacı, ortam dışarıdan hava verilmesi sureti ile sağlanmaktadır. İyi bir arıtma ortamı için 3-4 mg/L çözülmüş oksijen yeterli olmaktadır. İmalatı gerçekleştirilen lab/pilot ölçekte MBR sisteminde istenen değerdeki çözülmüş oksijen miktarını sabit tutmak için, blowerdan gelen hava, debimetrenin önünde yer alan hava şartlandırıcı ile ayarlanarak debimetre ile kontrol edilmektedir.

Sistem için gerekli olan hava akışını kontrol edecek debimetre, MEMS teknolojisi ile çalışmaktadır. Hava debimetresinin genel görüntüsü Şekil 7.13'de ve sistem üzerindeki montaj görüntüsü Şekil 7.14'de gösterilmiştir. MBR'de kullanılan debimetre, uzakdoğu menşeylidir. Siargo MF5700 serisi debimetre 4 adet AA pil ile ultra düşük güç tüketimi ile çalışma özelliğine sahiptir. Ayrıca AC adaptör ile de çalışmaktadır. Standart RS485 Modbus protokolü ve ağ bağlantısı ile uzaktan erişim sağlanabilmektedir.



Şekil 7.13. Hava debimetresinin genel görüntüsü.



**Şekil 7.14.** Hava debimetresinin montaj sonrası görüntüsü.

Kullanılan hava debimetresi, dahili veri depolama özelliğine sahiptir. Dijital göstergede, geçen havanın anlık ve toplam değerleri görülebilmektedir. Dijital gösterge 360<sup>0</sup> döndürülebilmektedir. Bu da debimetrenin montajında ve kullanımında esneklik sağlamaktadır. Debimetreye ait teknik bilgiler, Çizelge 7.4’de verilmiştir.

**Çizelge 7.4.** Hava debimetresi teknik bilgileri

| Parametre                         | Değer   | Birim  |
|-----------------------------------|---|--------|
| Ölçüm aralığı                     | 0-200   | SLPM   |
| Ters dönme oranı                  | 30:01:00  | %      |
| Doğruluk                          | $\pm(2,0+0,5 \text{ FS})$                                   | %      |
| Tekrarlama hassasiyeti            | 0,5   | %      |
| Devreye girme süresi              | $\leq 2$  | saniye |
| Güç kaynağı                       | 4 AA Pil ( LR6 ) / 5 - 10 Vdc (220 V<br>AC adaptör)         |        |
| Çıkış                             | RS485 Modbus (opsiyonel)                                    |        |
| Gösterge                          | LCD (Sıvı Kristal Ekran)                                    |        |
| Görüntülenen bilgi                | Anlık akış: SLPM; Toplam akış: NCM;<br>Pil durumu           |        |
| Pil ile kesintisiz çalışma süresi | > 60 gün  |        |
| Maksimum basınç                   | $\leq 0,8$  | MPa    |
| Basınç kaybı                      | < 2000  | Pa     |
| Çalışma sıcaklığı                 | -10 +55   | °C     |
| Depolama sıcaklığı                | -20 +65   | °C     |
| Nem                               | < 95% RH (Relatif Nem)(buzlanma<br>veya yoğunlaşma olmadan) |        |
| Tuş takımı                        | 3 tuş   |        |
| Kullanıcı fonksiyonları           | Şifre; alarm sınırı; toplam akış;<br>sıfırlama              |        |
| Kalibrasyon gazı                  | N, @20 °C.101,325 kPa                                       |        |
| Kullanıcı arayüzü bağlantısı      | mini USB  |        |
| DN                                | 12  | mm     |
| Mekanik bağlantı                  | NPT 1/2"  |        |
| Ağırlık                           | 350   | g      |

### 7.6 Hava Hazırlayıcı (Şartlandırıcı)

Pnömatik sistemlerde kullanılan basınçlı havanın elemanlara gönderilmeden önce içindeki neminin alınması, temizlenmesi ve basıncının düzenlenmesi gerekir. Şartlandırıcılar, bir filtre, bir yağlayıcı ve basınç regülatöründen oluşur. Filtre, havanın içindeki yabancı maddeleri ve su buharını ayrıştırarak sisteme sağlıklı bir şekilde verilmesini sağlar.

Biyolojik arıtımın gerçekleştiği tankta verilen havanın miktarını ayarlamak için Osaka OPT 3042 FR-L 1/2" marka şartlandırıcı kullanılmıştır. Üzerinde bir adet

manometre mevcuttur. Şartlandırıcının genel görüntüsü Şekil 7.15’de gösterilmiştir. Şartlandırıcının teknik özellikleri aşağıda verilmiştir;

|                   |              |
|-------------------|--------------|
| Hava girişi       | : 1/2"       |
| Filtre çapı       | : 20µ        |
| Çalışma basıncı   | : 05-9,9 atü |
| Çalışma ısısı     | : 5-60°C     |
| Su kapasitesi     | : 80 ml      |
| Hava geçirgenliği | : 2200 L/dk  |

Şartlandırıcı hemen hava debimetresin ön tarafına bağlanmıştır. Hava debimetresinden geçen hava miktarı gözlemlenerek şartlandırıcı manüel olarak ayarlanmaktadır. Şartlandırıcının Lab/pilot ölçekte MBR sistemi üzerindeki montaj görüntüsü Şekil 7.16’de gösterilmiştir.



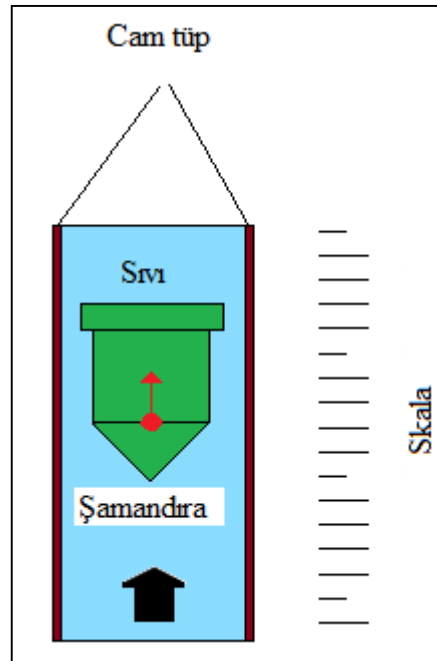
**Şekil 7.15.** Hava şartlandırıcının genel görüntüsü.



**Şekil 7.16.** Hava şartlandırıcı MBR üzerindeki montajlı görünümü.

### 7.7 Debimetre (Su)

MBR imalatında, sıvı akışını kontrol etmek için, cam tüplü şamandıralı debimetre kullanılmıştır. Debimetreler, Lonca A.Ş'nin (İstanbul/Türkiye) Elorion markası ile üretimini yaptığı EF 301 modelidir. Sıvı akış ölçümü, cam tüp içerisinde sürtünmesiz olarak serbestçe hareket eden şamandıranın akışkan tarafından itilerek konum değiştirmesi ile gerçekleşir. Şamandıranın konum değiştirme miktarı, akış miktarı, şamandıranın ağırlığı ile akışkanın yoğunluğu ve viskozitesine bağlıdır. Cam tüplü debimetrenin şematik görünümü Şekil 7.17'de verilmiştir.



**Şekil 7.17.** Cam tüplü şamandıralı debimetre şematik görünümü.

MBR sisteminde, atıksu tankından biyolojik arıtımın gerçekleştirildiği tanka iletilen su hattına ve arıtılan suyu temiz su tankına aktarım yapan su hattına olmak üzere 2 adet debimetre kullanılmıştır. Akış kontrolü, debimetrenin önüne monte edilen, küresel valf ile sağlanmıştır. Debimetrelerin genel görüntüsü Şekil 7.18'de ve sisteme monte edilmiş görüntüsü Şekil 7.19'da verilmiştir. Debimetre ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 7.5'de verilmiştir.



**Şekil 7.18.** Şamandıralı debimetre genel görüntüsü.



**Şekil 7.19** Debimetrenin montaj sonrası görüntüsü.

**Çizelge 7.5.** Debimetre teknik bilgileri.

|                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| Akışkan                 | Su                          |
| Maks. çalışma basıncı   | 7 ila 15 bar                |
| Maks. çalışma sıcaklığı | 150 °C                      |
| Ölçüm tüpü              | Borosilikat cam             |
| Şamandıra               | AISI 316 Paslanmaz çelik    |
| Şamandıra tutucu        | PTFE (Politetrafloroetilen) |
| Bağlantılar             | AISI 316 Paslanmaz çelik    |
| Muhafaza                | Boyalı Saç                  |
| Gövde                   | SS 316 Paslanmaz çelik      |
| Hassasiyet              | +/- % 1                     |
| Boy                     | 408                         |
| Skala uzunluğu          | 310                         |
| Bağlantı                | R 1/2"                      |
| Ölçüm aralığı           | 63-630 L/saat               |

### 7.8 İletkenlik Tip Seviye Kontrol Şalteri

Seviye kontrolü, maddenin seviyesinin, referans nokta ile istenilen seviyede veya istenen seviyeler arasında tutulmasıdır. Seviye kontrolü yapılacak maddenin seviyesinin değişimi çeşitli yöntemlerle veya algılayıcılarla sürekli olarak ölçülür. Bu ölçülen bilgiler bir sisteme veya kontrolöre gönderilir. Sistem veya kontrolörde belirlenmiş programa göre seviye istenilen değerlerde tutulur (Ceylan, 2007).

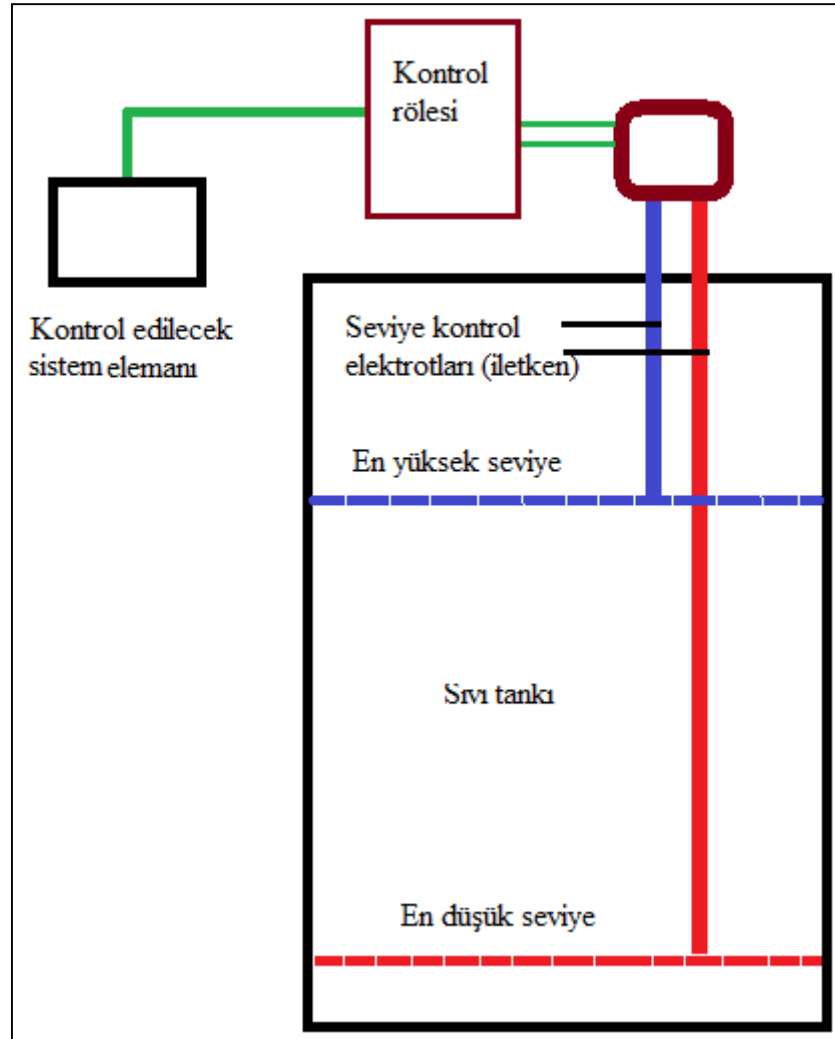
Seviye ölçüm teknikleri içinde seviyesi ölçülecek cismin yapısı, temiz, yapışkan olması ya da sıvılar için devamlı gazlaşan tipte olmasına göre değişik yöntemler geliştirilmiştir. Her yöntemin üstün tarafları vardır. Ancak ölçümleri sınırlayan parametreler her cihazın her yerde kullanımını engellemektedir (Ceylan, 2007).

Seviye ölçüm yöntemlerini 7 ana başlıkta sınıflayabiliriz.

- Görüntülü Seviye Ölçüm Yöntemleri
- Kuvvetle Seviye Ölçüm Yöntemleri
- Basınç İle Seviye Ölçümü
- Elektriksel Yöntemlerle Seviye Ölçümü
  - Isıl kütle ile seviye ölçümü
  - Kapasitif yöntem ile seviye ölçümü
  - İletkenlik tip seviye ölçümü
- Elektromekanik Yöntemlerle Seviye Ölçümü
- Optik Yöntemlerle Seviye Ölçümü

- Görüntülü Seviye Ölçüm Yöntemleri

İletkenlik tip seviye şalterleri ile sıvı seviyesi kontrolü, esas olarak düşük voltaj ile (genellikle 20 V'tan düşük) elektrik akımını iletebilen malzemelerin iletkenliğinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Sıvının kontrolü için 2, 3 veya daha fazla elektrottan oluşan seviye kontrol şalterleri, algılanacak sıvı içerisine yerleştirilir. Kontrolü yapılacak sıvının, istenen alt ve üst seviyeleri belirlenir. Elektrotların uzunlukları belirlenen bu seviyelerde ayarlanır. Kontrolü gerçekleştirilecek sıvı elektrotlara ulaştığında, elektrotlar ile temas eder ve elde edilen sinyal, röle devresi tarafından değerlendirilir. Röle devresi istenilen çalışma şekline bağlı olarak diğer devre elemanlarını kumanda eder (bir su pompasını veya oransal vanayı) ve böylece sıvı seviyesinin istenilen düzeyde kalması güvenli bir biçimde sağlanır. İletkenlik tip sıvı seviye kontrol yönteminin maliyeti düşüktür ve basit bir yapıya sahiptir. İletkenlik tip seviye kontrolünün şematik görünümü Şekil 7.20'de gösterilmiştir.



**Şekil 7.20.** İletkenlik tip seviye kontrolü şematik görünümü.

Lab/pilot ölçekte MBR sisteminde biyolojik arıtımın gerçekleştirildiği tanktaki ve atıksu besleme tankında, suyun seviyesini kontrol etmek amacıyla 2 adet iletkenlik tip seviye kontrol elektrodu kullanılmıştır. Tankların yapımında iletkenlik göstermeyen pleksiglass malzeme kullanıldığı için, 3 elektrotlu cihaz kullanılmıştır. Kullanılan seviye kontrol cihazında, en yüksek seviye, en düşük seviye ve şase olmak üzere 3 adet elektrot bulunmaktadır.

İletkenlik tip seviye şalterleri, ELC markası ile üretim yapan Lonca A.Ş.'den (İstanbul/Türkiye) tedarik edilmiştir. Elektrotların her biri 1 m olarak alınmış ve boyları tanklarda istenen su seviyesine göre ayarlanmıştır. Seviye şalterinin genel görünümü Şekil 7.21'de gösterilmiştir.



**Şekil 7.21.** İletkenlik tip seviye şalterinin genel görünümü.

Şalterin kablo uçları, kumanda panosuna monte edilen sıvı seviye kontrol rölesine bağlanmıştır. Röle çıkışları kontaktörler vasıtasıyla su pompasının çalışmasını kontrol etmektedir. Seviye kontrol şalterine ait teknik bilgiler Çizelge 7.6'da verilmiştir.

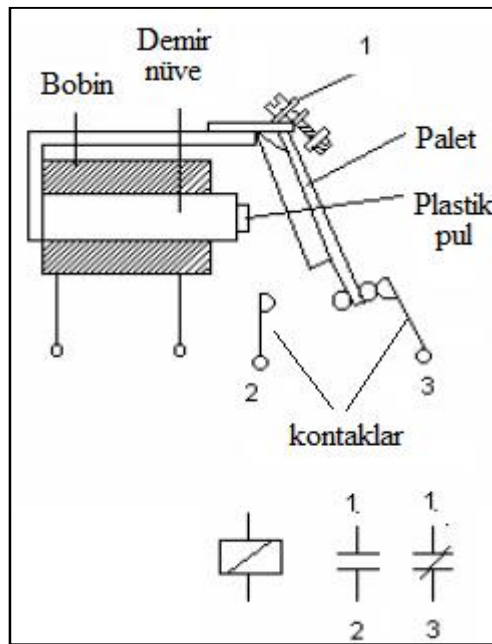
**Çizelge 7.6.** Seviye kontrol şalteri teknik bilgileri.

| Parametre               | Özellik/Değer        |
|-------------------------|----------------------|
| Elektrot malzemesi      | Paslanmaz çelik      |
| Elektrom izolasyonu     | Özel                 |
| Bağlantı malzemesi      | Delrin               |
| Muhafaza                | Delrin               |
| Maks. çalışma sıcaklığı | Maks. 60 °C          |
| Maks. çalışma basıncı   | 6 Bar                |
| Elektrot sayısı         | 3                    |
| Prob voltajı            | 6 V AC               |
| Mekanik bağlantı        | R 1"                 |
| Elektrik bağlantısı     | PG7 (Polyamid Gland) |

### 7.9 Seviye Kontrol Cihazı (Röle)

Ufak güçteki elektromanyetik anahtarlara, röle adı verilir. Röleler elektromıknatıs, palet ve kontaklar olmak üzere üç kısımdan oluşurlar. Elektromıknatıs, demir nüve ve üzerine sarılmış bobinden meydana gelir. Bobini doğru akıma bağlanan

rölelerde, demir nüve yumuşak demirden ve bir parça olarak yapılır. Bu rölelerde artık mıknatısiyet nedeniyle paletin demir nüveye yapışık kalması, nüvenin ön yüzüne konmuş küçük bir plastik pulla önlenir. Bobini alternatif akıma bağlanan rölelerde, demir nüve sac paketinden yapılır. Alternatif akımın değer ve yön değiştirmesi, rölelerde titreşime neden olur. Bobini alternatif akıma bağlanan bir rölenin titreşim yapması, demir nüvenin ön yüzünde açılmış oyuğa yerleştirilen bir bakır halkayla önlenir. Demir nüve üzerinde bulunan bobin, bir veya daha fazla sargıdan oluşur. Röle bobininde birden fazla sargının bulunması, rölenin değişik gerilimlerde kullanılmasını sağlar. Röledeki kontaklar palet aracılığı ile açılır ve kapanırlar. Normal durumda palet, yay veya yerçekimi nedeniyle, demir nüveden uzakta bulunur. Rölelerde normalde açık ve normalde kapalı olmak üzere iki çeşit kontak vardır. Bu kontakların yapımında gümüş, tungsten, pailadyurn metalleri ve bunların alaşımları kullanılır (Badur, 2001). Rölenin şematik görünümü Şekil 7.22’de gösterilmiştir.



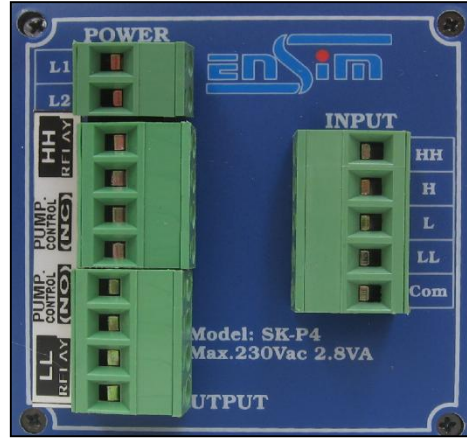
**Şekil 7.22.** Rölenin şematik görünümü (Badur, 2001).

Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin tanklarındaki su seviyelerini iletkenlik tip seviye şalterleri vasıtasıyla kontrol ederek, gerektiğinde su pompalarını otomatik olarak çalıştırıp durdurmak amacıyla 2 adet röle kullanılmıştır. Kontrol rölesinin genel görüntüsü Şekil 7.23’de ve elektrik devresi bağlantı şeması Şekil 7.24’de gösterilmiştir. Röleler, SK markası ile üretim yapan Lonca A.Ş.’den (İstanbul/Türkiye) tedarik edilmiştir. ELC iletkenlik tip seviye şalteri ile birlikte çalışan SK-P4 modeli röle, 220 Vac gerilim ile çalışmakta olup, görünür gücü 2,8 VA’dır. 1 adet 5 A Start-Stop rölesi, 2

adet 5 A Max-Min rölesi mevcuttur. Mikroişlemci tabanlıdır. Elektrik kesilip geldiğinde kaldığı konumdan çalışmaya devam etmektedir. Seviye kontrol cihazı, 4 adet elektrottan gelen giriş bilgisini kontrol edebilmektedir. Şekil 7.24’de gösterilen bağlantı şemasında L1 ve L2 bağlantıları 220 V gerilim için, HH bağlantısı; kontrol edilen sıvı maksimum seviyenin üzerine çıktığında, LL bağlantısı; kontrol edilen sıvı minimum seviyenin altına düştüğünde alarm vererek sistemi kontrol eder ve sesli olarak uyarır. H bağlantısı; belirlenen maksimum sıvı seviyesini, L bağlantısı ise belirlenen minimum seviyeyi kontrol ederek kontak çıkışı verir. Com bağlantısı şase için kullanılmaktadır. 2 adet çıkış kontağı mevcut olup, NC (Normalde Kapalı) ve NO (Normalde Açık) kontaklarıdır. Röle çıkışları (NO-NC), kontaktörler vasıtasıyla su pompalarını kontrol etmektedir. İmalatı gerçekleştirilen MBR sisteminde, H ve L bağlantıları kullanılmıştır (Start-Stop). MBR kontrol panosunda yer alan Pompa-1 rölesi, atıksuyu biyolojik arıtımın gerçekleştiği havalandırma tankına aktaran pompanın kontrolünde, Pompa-2 rölesi, havalandırma tankından biyolojik olarak arıtılmış suyu membran filtreden çekerek temiz su tankına aktaran pompanın kontrolünde kullanılmıştır.



Şekil 7.23. Kontrol rölesinin genel görüntüsü.



Şekil 7.24. Bağlantı şeması.

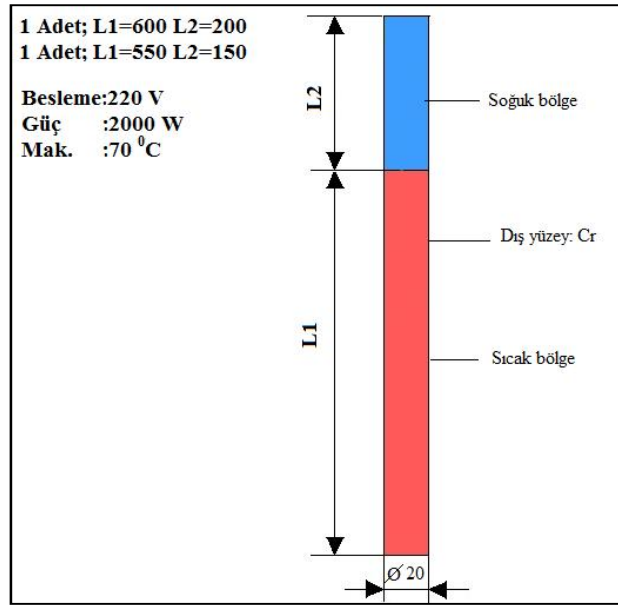
### 7.10 Fişek Tipi Isıtıcı (Rezistans)

Gerek sanayide gerekse ev ve ofislerde sıvıların ısıtılmasında rezistanslı ısıtma yöntemi yoğun olarak kullanılmaktadır. Termosifonlardaki suyun ısıtılması, ani su ısıtıcılardaki suyun ısıtılması, elektrikli yağlı radyatörlerdeki sıvının ısıtılması hep bu yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemle sıvının içine yerleştirilen çeşitli güç, şekil ve boyutlardaki rezistans tüpleri doğrudan şebeke gerilimi ile enerjilendirilerek ısıtılmakta, ısıtılan rezistansın ısının sıvı tarafından alınmasıyla da istenilen sıvı ısınması sağlanmaktadır (Yıldız ve Alan, 2006).

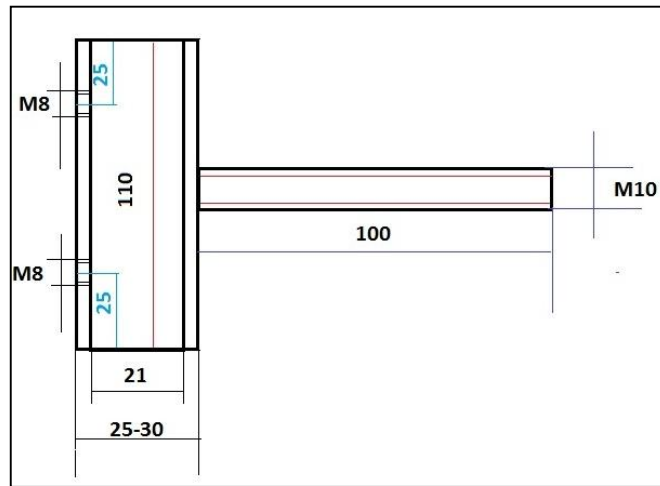
Mikroorganizmaların büyümesi için uygun çevresel şartlar; pH ve sıcaklık kontrolü, besi maddesi ve eser element ilavesi, oksijen ilavesi veya ortamdan uzaklaştırılması ve uygun karıştırma dır. Bu çevre şartlarının kontrolü, mikroorganizmaların büyümesi için gerekli uygun çevre ortamını sağlar. Mikroorganizmaların metabolizma ile ilgili faaliyetlerinin tümü kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Kimyasal tepkimeler gibi, mikroorganizmaların meydana getirdiği tepkimeler de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık yalnız metabolik aktiviteleri etkilemekle kalmaz biyolojik çamurun çökme özelliği, gaz transfer hızı gibi faktörleri de etkiler (Öztürk vd., 2005).

İmalatı yapılan Lab/pilot ölçekte MBR sisteminde atıksuyun biyolojik arıtımının gerçekleştiği tanklar için Şekil 7.25’de gösterilen teknik özelliklerde 2 adet fişek tipi rezistans ısıtıcı (Isımak Rezistans) Isı San. Tic. A.Ş’ye (İstanbul) özel olarak imal ettirilmiştir. Sıcaklığı kontrol etmek için ısıtıcılara Fe-Konstantan (konstantan, %40-45 Ni ve % 5-60 arasında Cu bulunan termoçift) termokupul yerleştirilmiştir. Isıtıcılar tanklara, Şekil 7.26’da gösterilen bağlantı parçaları ile monte edilmiş ve MBR kontrol

panosuna monte edilen dijital göstergeli analog termostatlar ile kontrol edilmektedir.



Şekil 7.25. Rezistanslı fişek ısıtıcı teknik çizim görüntüsü.

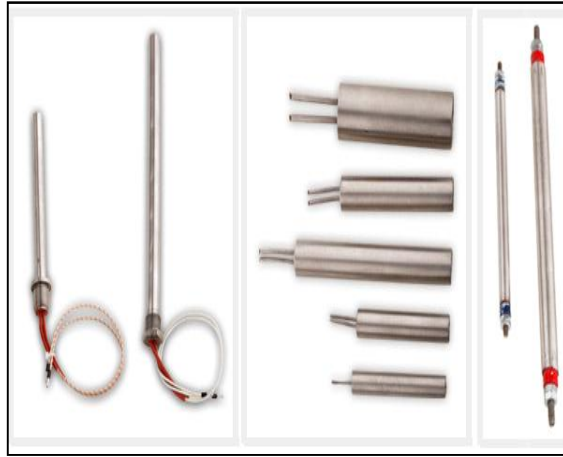


Şekil 7.26. Isıtıcı bağlantı parçası görüntüsü.

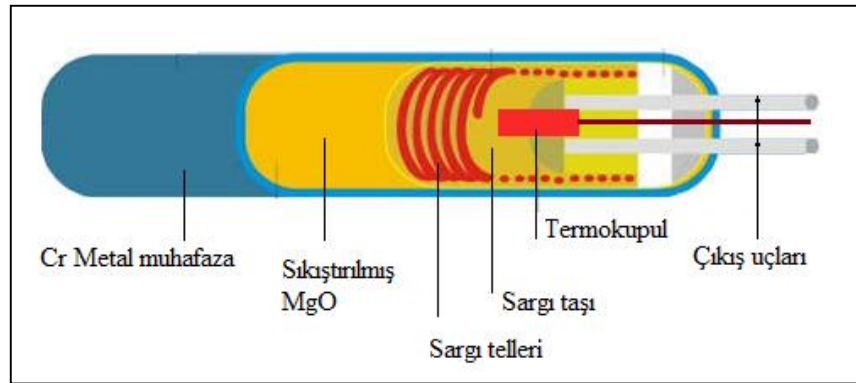
Isıtıcılar, dijital termostata girilen sıcaklık set değerine göre ON/OFF şeklinde çalışmaktadır. Fişek tipi ısıtıcının genel görüntüsü Şekil 7.27’de verilmiştir. Isıtıcının şematik görüntüsü Şekil 7.28’de gösterilmiştir.

Termokupul, farklı iki metal çiftin bir araya getirilmesi ile elde edilir. Temas noktaları ısıtıldığında diğer uçlarından sıcaklıkla orantılı bir gerilim elde edilir. Orantı katsayıları, kullanılan metallere bağlıdır. Bağlantı uçlarının sıcaklığının sabit kalması gerekir. Bu ekleme soğuk eklem adı verilir. Bu algılayıcıların geniş bir çalışma aralığı vardır ve yüksek sıcaklık uygulamaları için idealdirler. Soy metal alaşımlarından yapılmış olan termokupullar 1700 °C’ ye kadar olan sıcaklıkları izleme ve kontrol için kullanılabilirler. Piyasada en çok kullanılan termokupul telleri; Fe-konstantan,

Cu-Kostantan, Alumel-Kromel, Pt-Pt (radyum)'dur. Bunlar derece başına 40-50 mikrovoltluk gerilim oluştururlar (Artuğ ve Uzun, 2011).



Şekil 7.27. Fişek tipi ısıtıcı genel görüntüsü.



Şekil 7.28. Fişek tipi ısıtıcı şematik görünümü.

### 7.11 Sıcaklık Kontrol Cihazı (Termostat)

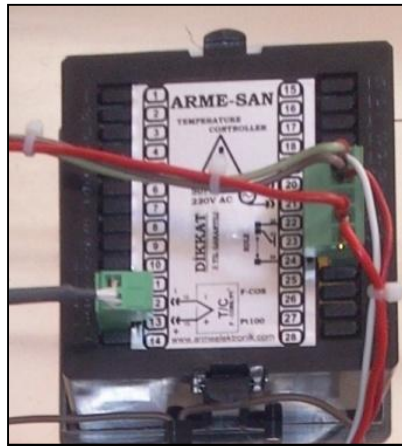
Günümüzde, endüstride otomatik ölçme ve kontrol sistemleri, gelişen teknolojiyle beraber yaygın olarak kullanılmaktadır. Kontrol, kullandığımız cihazları istenilen belirli bir duruma yönlendirme, işleyişine müdahale etmektir. Otomatik kontrol sistemi ise insan faktörünü ortadan kaldırarak bu kontrol işlemi denetleyici bir birime yaptırmaktadır. Fiziksel ortam değişikliklerini (ısı, ışık, basınç, ses, vb.) bizim yerimize algılayan cihazlara algılayıcı (sensör), algıladığı bilgiyi elektrik enerjisine çeviren cihazlara dönüştürücü (transdüser) denir. Algılayıcılardan alınan veriler elektrik işaretine dönüştürüldükten sonra elektronik devreler tarafından yorumlanarak mekanik aletler kumanda edilebilir (Artuğ ve Uzun, 2011).

Lab/pilot ölçekte MBR sisteminde sıcaklığı kontrol etmek amacıyla, Armesan Isı Kontrol San. ve Tic. A.Ş. tarafından (İstanbul/Türkiye) üretilen ARM496 modeli dijital göstergeli termostat kullanılmıştır. Termostat, 3 haneli gösterge, tek kontak, Fe-Const

termokupul giriş, dokunmatik ayarlı sıcaklık kontrol cihazıdır. Set değeri, dijital olarak izlenebilmektedir. Termostat, MBR kontrol panosuna monte edilmiştir. Termostatın genel goruntüsü Şekil 7.29’de ve elektrik bağlantı Şeması Şekil 7.30’da gosterilmiştir.



Şekil 7.29. Termostatın genel goruntüsü.

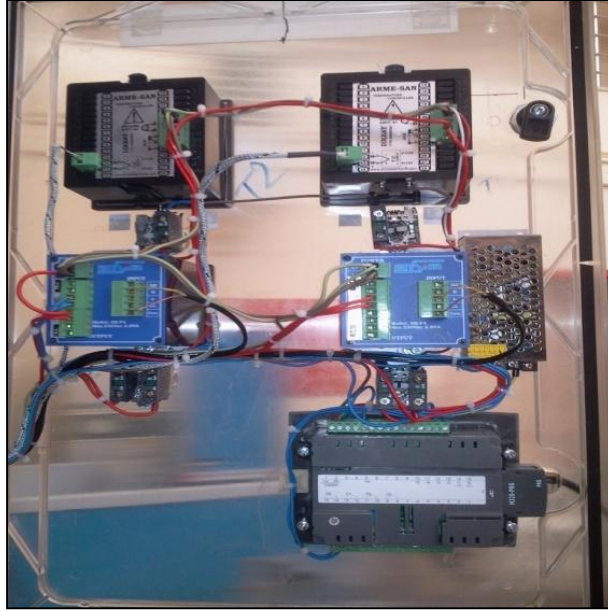


Şekil 7.30. Bağlantı Şeması

### 7.12 Kumanda ve Kontrol Panosu

MBR’nin kumanda ve kontrolü için 450x600x200 mm olulerinde Şeffaf kapaklı polikarbonattan imal edilmiş pano kullanılmıştır. Panonun içerisine yerleştirilen elektrik kumanda elemanları, panoya monte edilen 2 adet metal raya bağlanmışlardır. Kumanda elemanlarına bağlanacak kablolar için 30x30 PVC kanal kullanılmıştır. Kontrol panosunda, su pompalarını ve rezistanslı ısıtıcıları kontrol etmek için 4 adet Siemens marka kontaktr, su pompalarını korumak için 2 adet, blower’ı korumak için 1 adet Siemens marka termik manyetik Şalter; ısıtıcılar için 2 adet Siemens marka Şalter, 26 adet klamens, su pompalarını otomatik ve manel olarak çalıştırmak için 2 adet 3 konumlu anahtar, ısıtıcıları açıp-kapatmak için 2 adet 2 konumlu anahtar, panonun gelen enerjiyi kontrol etmek için 1 adet 3 fazlı paket (pako) Şalter kullanılmıştır. PLC

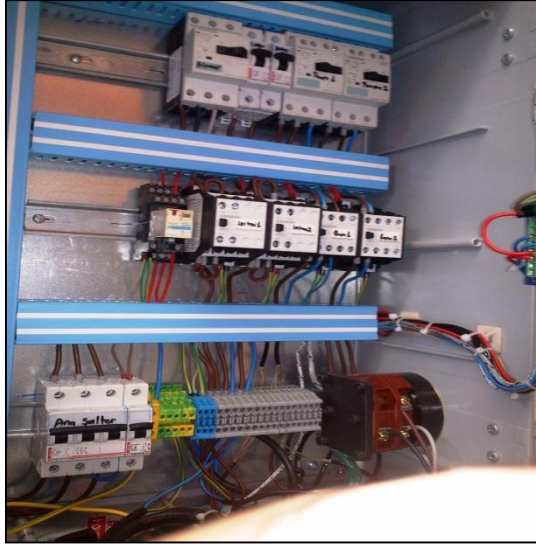
(Programlanabilir Lojik Kontrol), Su seviye kontrol röleleri, termostatlar, pompa ve termostat anahtarları, ölçülerine göre işaretlenip dekupaj ile kesilerek Şekil 7.31’de gösterildiği gibi panonun kapağına monte edilmiştir. MBR kontrol panosunun dış görüntüsü Şekil 7.32’de, iç görüntüsü 7.33’de gösterilmiştir.



Şekil 7.31. Kontrol elemanlarının monte edilmiş görüntüsü.



Şekil 7.32. MBR kontrol panosunun dış görüntüsü.



**Şekil 7.33.** Panonun iç görüntüsü.

### 7.13 Atıksu Tankı Ön Filtreleme Elemanları

Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin girişinde bulunan ön filtreleme elemanları, atıksu içerisindeki kaba partiküllerin sisteme girişini engellemek için kullanılmıştır. Atıksu tankından MBR tankına (havalandırma tankı) suyun pompalanmasını sağlayan atıksu pompalarının tıkanmasına neden olabilecek büyüklükteki partiküller böylece uzaklaştırılmaktadır. Bu filtreler belirli aralıklarda elle temizlenmelidir. Filtre elemanları ½” ölçüsündedir. Pompa-1'in emiş hattı üzerine monte edilmiştir. Ön filtreleme parçalarının demonte görüntüsü Şekil 7.34'de ve montajlı görüntüsü Şekil 7.35'de gösterilmiştir.



**Şekil 7.34.** Ön filtre parçalarının demonte görüntüsü.

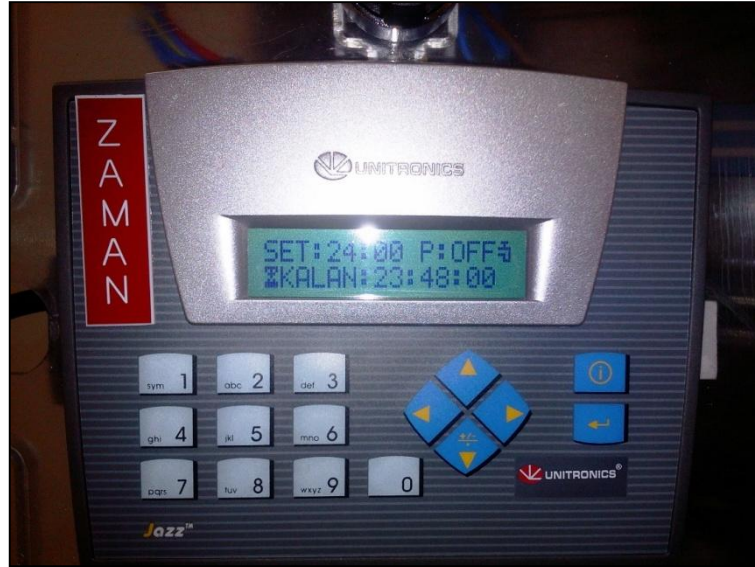


**Şekil 7.35.** Ön filtre parçalarının montaj sonrası görüntüsü.

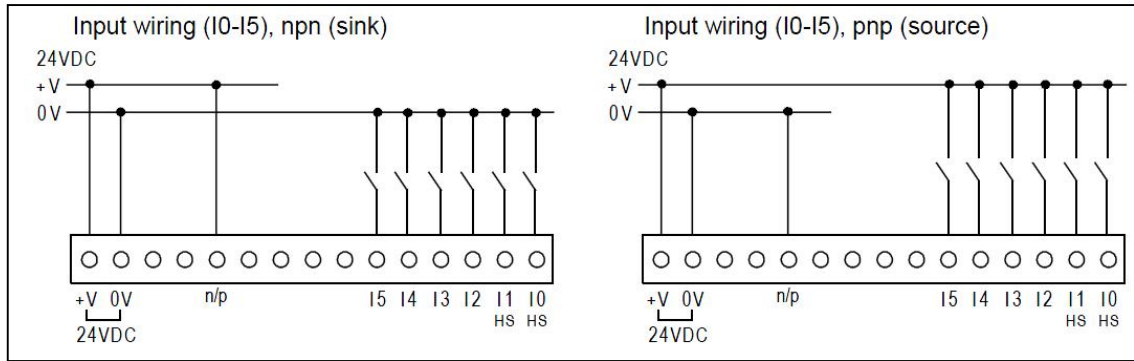
#### **7.14 PLC (Programmable Logic Controller - Programlanabilir Lojik Kontrol)**

PLC'ler endüstriyel otomasyon sistemlerinde doğrudan kullanıma uygun özel giriş ve çıkış birimleri ile donatılmışlardır. Girişe basınç, seviye, sıcaklık algılayıcıları ve buton gibi iki değerli lojik bilgisi taşıyan elemanlar, çıkışa ise kontaktör, selenoid valf gibi kumanda devre elemanlarının sürücü elemanları doğrudan bağlanabilir (Ateş ve Bayındır, 2002).

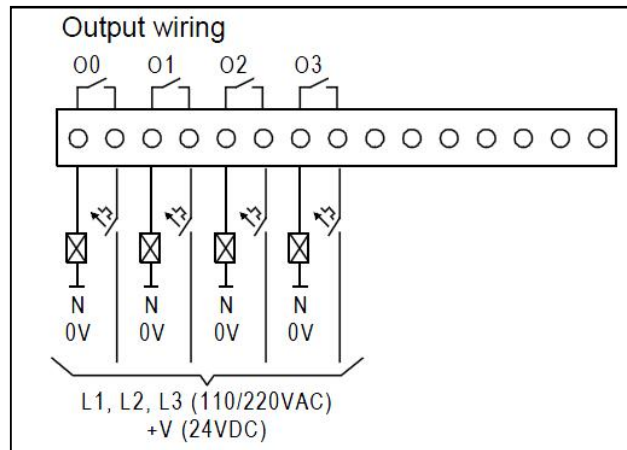
MBR'de arıtma işlemi genelde bekletmeli olarak gerçekleşmektedir. Mikroorganizmalar tarafından belli bir zaman zarfında arıtımı gerçekleştirilen suyun membran filtrelerden geçirilerek sistemden alınması gerekmektedir. Optimum arıtma süresi belirlendikten sonra, arıtılmış suyun otomatik olarak pompa vasıtasıyla çekilmesi için PLC kullanılmıştır. Cihaz, Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin kumanda panosuna monte edilmiştir. PLC'ye ait görüntü Şekil 7.36'da verilmiştir. Unitronics Jazz JZ10 model PLC, 6 adet dijital giriş, 4 dijital çıkış adresine sahiptir. 24 V DC gerilimi ile çalışmakta olup bunun için panoya, 24 V DC çıkış veren güç kaynağı monte edilmiştir. PLC'nin npn ve pnp kablo giriş bağlantı şemaları Şekil 7.37'de verilmiştir. Cihazın dijital çıkış bağlantı şeması Şekil 7.38'de verilmiştir.



Şekil 7.36. PLC genel görüntüsü.



Şekil 7.37. PLC'nin npn ve pnp kablo giriş bağlantı şemaları.



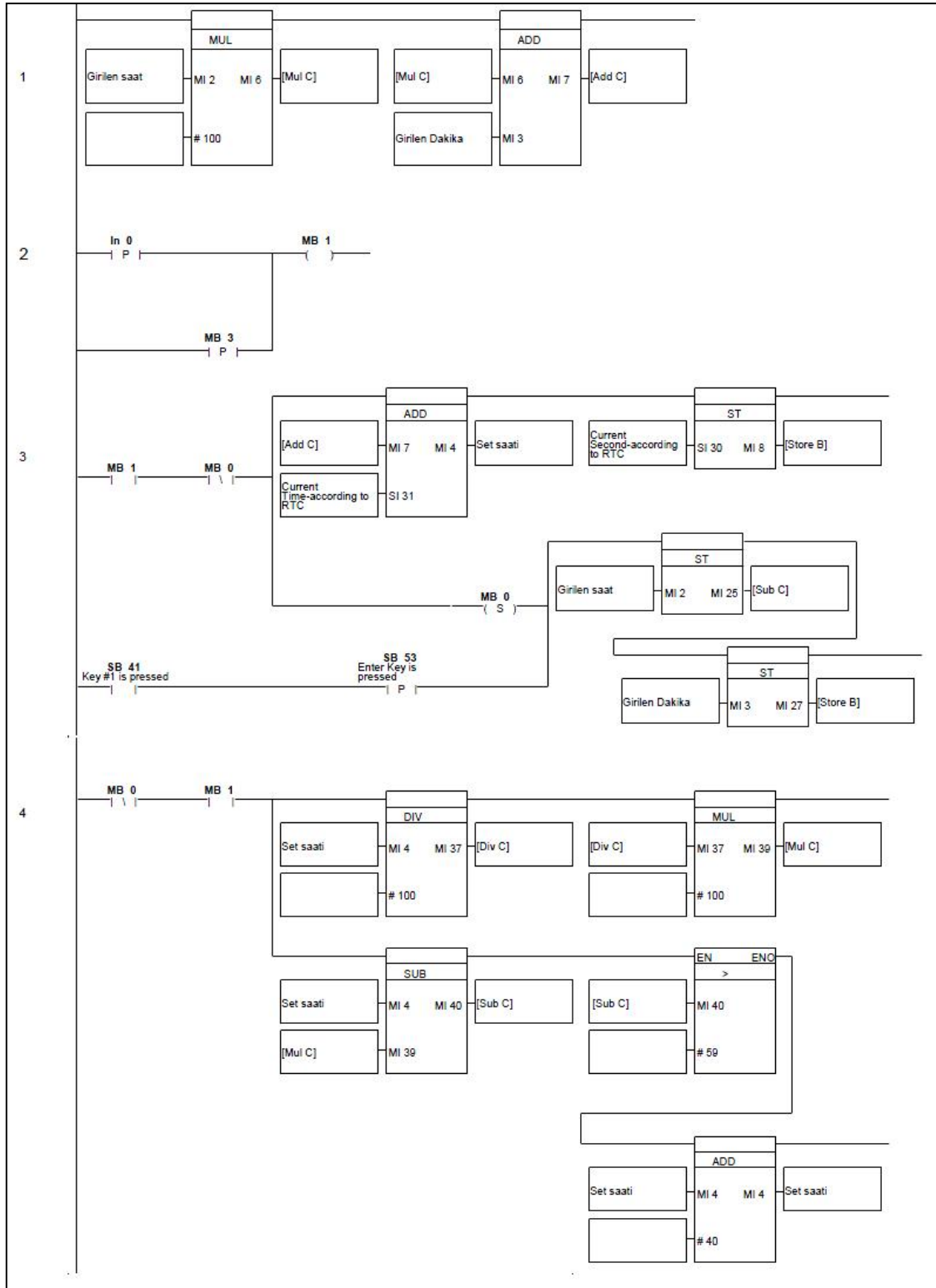
Şekil 7.38. PLC'nin çıkış bağlantı şeması.

PLC'nin çıkışları Pompa-2'yi kontrol eden kontaktöre bağlanmıştır. PLC'nin programlanması, Unitronics firmasının ücretsiz olarak sunduğu U90Ladder V6.2.1'de yapılmıştır. Programlamada, 4 tane ekran tasarlanmıştır. Bunlar, saat giriş ekranı, dakika giriş ekranı, gerçek zaman tarih-saat ekranı ve durum ekranıdır. Veri girişleri PLC'nin

üzerinde yer alan tuş takımından yapılmaktadır. Programlamada kullanılan değişkenler; girilen saat ve girilen dakikadır. PLC'nin gerçek zaman saati değerlerinden yararlanılarak gerekli hesaplama ile girilen süre kadar geriye sayım yapılmaktadır. PLC 1 dakika ile 99 saat arasında süre girilebilecek şekilde programlanmıştır. Belirlenen sınırlar içerisinde istenen saat ve dakika değeri girilebilmektedir.

Geri sayım başladıktan sonra, süreyi sıfırlanmak için 1+Enter tuş kombinasyonu, süreyi tekrar başlatmak için 4+Enter tuş kombinasyonu tanımlanmıştır. Saat ve dakika girişi için sağ yön tuşu, saat ve dakika girişlerinin tamamlanması için enter tuşu tanımlanmıştır.

Biyolojik arıtma, elektrik enerjisinden bağımsız gerçekleştiği için, elektrik kesilmeleri prosesi etkilememelidir. Dolayısıyla, geri sayım işlemi başladıktan sonra elektrik kesilse de geri sayma işlemi devam etmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu da PLC'nin dahili güç kaynağı (pil) sayesinde sağlanmaktadır. PLC'nin programlaması da bu mantık ile yapılmıştır. Enerji kesilmesinden etkilenmemesi için tamsayı değerlerden saat dönüşümü yapılacak şekilde programlanmıştır. Program 15 adımdan oluşmaktadır. Örnek olarak Ladder (merdiven) diyagramının ilk 4 adımı Şekil 7.39'da verilmiştir.

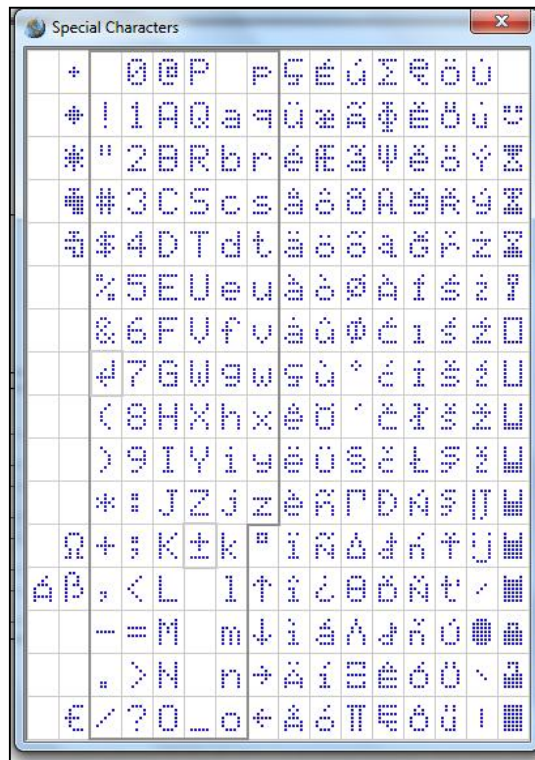


Şekil 7.39. Programa ait Ladder (merdiven) diyagramı (ilk 4 adım).

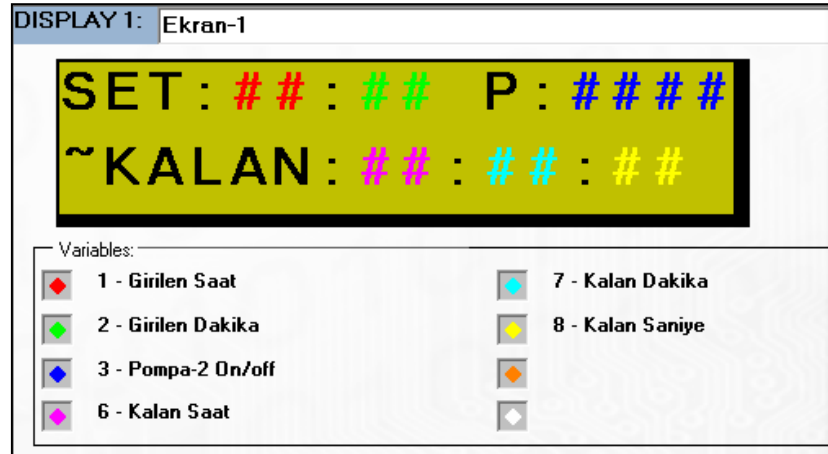
Programlama işlemi tamamlandıktan sonra RS485 bağlantısı ile hazırlanan program PLC'ye yüklenmiştir. Değişik zaman aralıkları girilerek yazılan program test edilmiştir. Tespit edilen problemler giderilmiş ve istenen çalışma şekli sağlanmıştır.

Sistemin çalışma sırasında, süre bitiminde elde edilen çıkış değeri kontaktör aracılığıyla Pompa-2'yi çalıştırmaktadır. Pompanın durdurulması, seviye kontrol şalteri tarafından sağlanmaktadır. Su seviyesi daha önce belirlenen en alt seviyeye geldiğinde Pompa-2 otomatik olarak devreden çıkmakta ve yine otomatik olarak atıksu pompası (Pompa-1) devreye girerek MBR tankına(havalandırma tankı) suyu aktarmaktadır. MBR tankındaki(havalandırma tankı) su seviyesi, daha önce belirlenen en üst seviyeye ulaştığında, seviye kontrol şalteri tarafından Pompa-1 otomatik olarak durdurulmaktadır. Pompa-1'in durmasıyla birlikte, seviye şalterinden alınan sinyal ile PLC otomatik olarak resetlenerek girilen süre tekrar geri saymaya başlamaktadır.

Ekranında 2 satırda, 16 karakter toplam 32 karakter görüntülenebilmektedir. Ekranında harf ve rakamların yanı sıra Şekil 7.40'da verilen özel karakterler de görüntülenebilmektedir. Ladder (merdiven) programında ekran görüntüsü Şekil 7.41'de verilmiştir.



Şekil 7.40. Ekranda görüntülenebilen özel karakterler.



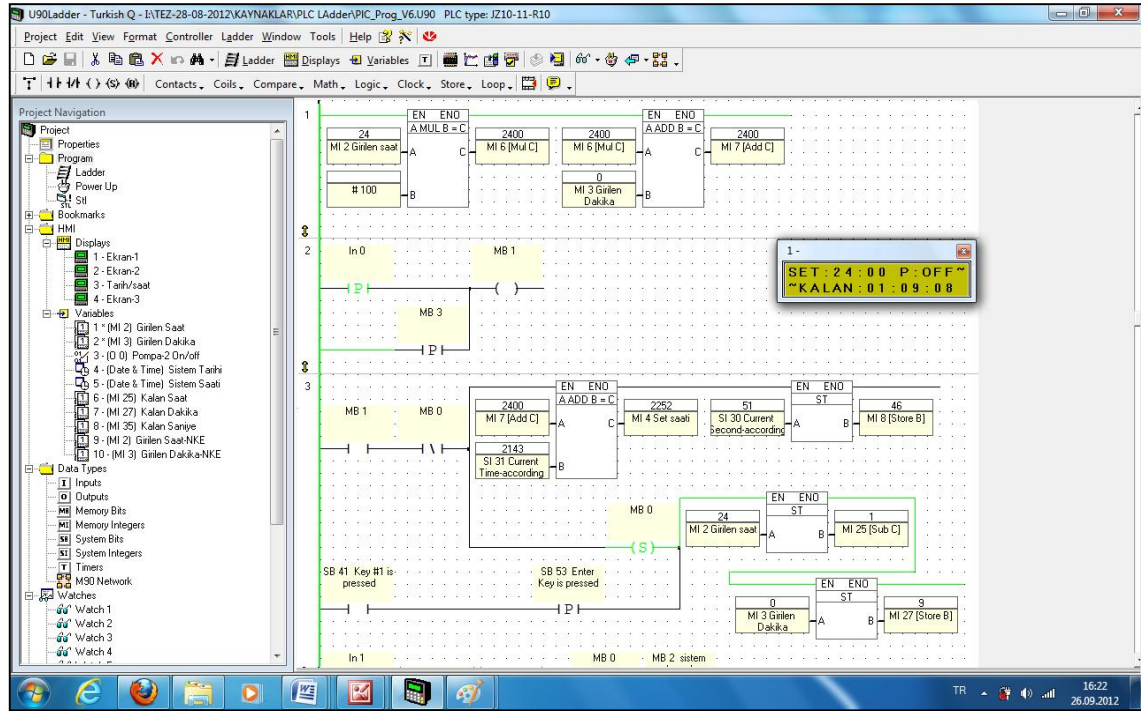
Şekil 7.41. Ladder (merdiven) programında PLC ekran görüntüsü.

Ekranın 1. satırında girilen set süresi saat ve dakika (hh:mm) olarak, Pompa-1'in durumu (P:ON/OFF); 2. Satırda ise kalan süre saat, dakika ve saniye (hh:mm:ss) olarak görülebilmektedir. PLC'nin gerçek çalışma görüntüsü Şekil 7.42'de gösterilmiştir.



Şekil 7.42. PLC'nin gerçek çalışma görüntüsü.

PCL programlama programının online durumdaki ekran görüntüsü 7.43'de verilmiştir.



Şekil 7.43. PLC programlama programının online ekran görüntüsü.

### 7.15 Pompa

Pompalar, sıvılara hidrolik enerji kazandırarak bir yerden başka bir yere iletilmesini sağlayan makinalardır. Pompalar hacimsel (volumetrik) ve santrifüj (rotodinamik) olmak üzere ikiye ayrılır. Pompalar yüksek debi değerlerine ulaşabilmekle beraber, basınçları sınırlıdır. Pompa çarkı tarafından suya verilen kinetik enerji, sıvı çarktan ayrıldıktan sonra yayıcı ve salyangoz içerisinde basınç enerjisine dönüştürülür.

İmalatı gerçekleştirilen lab/pilot ölçekte MBR sisteminde, atıksuyun biyolojik arıtımın gerçekleştiği havalandırma tankına iletilmesi ve arıtılmış suyun havalandırma tankından temiz su tankına aktarılması için 2 adet periferik santrifüj pompa kullanılmıştır. Periferik pompaların gövdeleri genellikle dökümden üretilir ve motorları 220 Volt (monofaze) gerilim ile çalışmaktadır. Bu pompalarda, düşük motor gücü ile yüksek basınç elde edilebilmektedir. Kullanılan pompalara ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir;

Marka : Water Sound

Menşei :Uzakdoğu

Model :WS-1

Tipi :PM-45

Güç HP :0,5  
 Güç KW :0,37  
 Gerilim :220 Volt  
 Koruma :Termik  
 Pompa Girişi :1  
 Pompa Çıkışı :1

Seçilen santrifüj pompanın toplam manometrik basma yüksekliği/debi ilişkisi Çizelge 7.7’de verilmiştir.

**Çizelge 7.7.** Sistem toplam manometrik basma yüksekliği/Debi (Hm).

|                           |     |     |     |   |   |
|---------------------------|-----|-----|-----|---|---|
| <b>Hm</b>                 | 24  | 18  | 10  | 3 | 0 |
| <b>Debi (Ton / Saat )</b> | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 2 | 3 |

Kullanılan Santrifüj pompalarına ait resim Şekil 7.44’de verilmiştir.



**Şekil 7.44.** Santrifüj pompanın görüntüsü.

### 7.16 Su İletimi Bağlantı Boruları

MBR’nin su iletim sisteminde ½” AISI 304 paslanmaz çelik boru kullanılmıştır. Boruların birleştirmeleri argon kaynağı ile gerçekleştirilmiştir..

Paslanmaz çelikler; içerisinde en az %10,5 oranında (ağırlıkça) krom içeren demir esaslı alaşım olarak tanımlanırlar. İçerdikleri diğer katkı elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır. Bunlar sırası ile östenitik paslanmaz çelikler, ferritik paslanmaz çelikler, martenzitik paslanmaz çelikler, çift bazlı paslanmaz çelikler ve çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler 200 ve 300 serilerini içerirler ve 304 bunların içinde en yoğun olarak kullanılanıdır. Temel alaşım elemanı krom ve nikeldir. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540 °C'a kadar ki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler. Bu grupta yer alan malzemelerin başında 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 gelmektedir (Aydın vd., 2010).

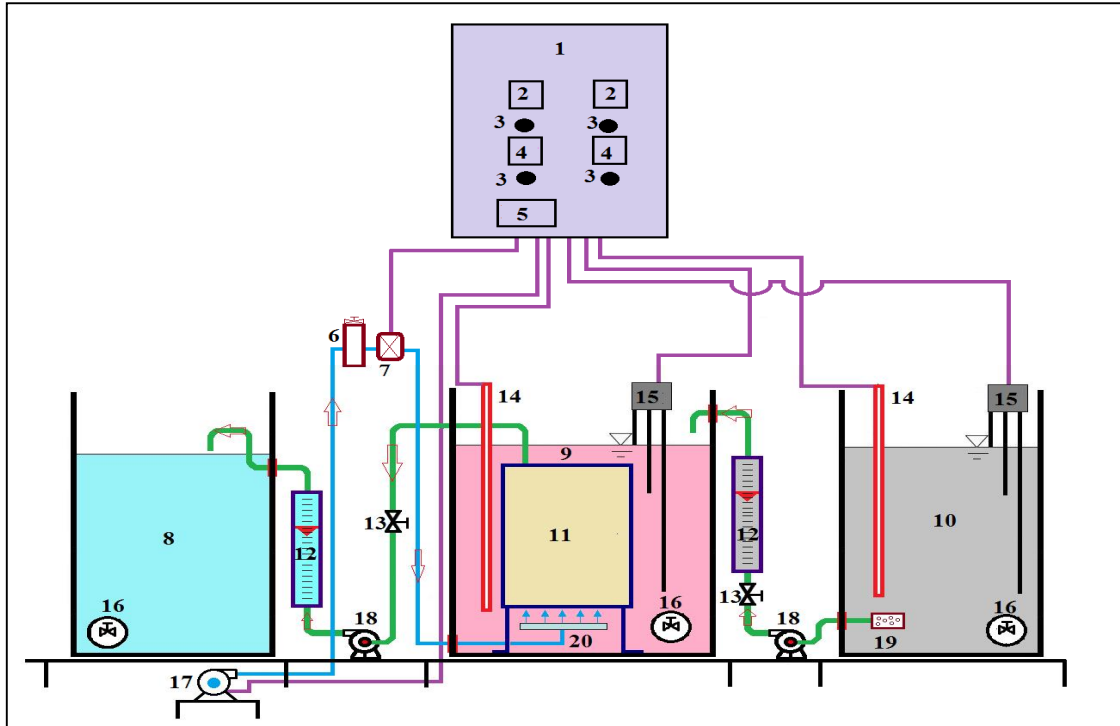
AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 7.8’de verilmiştir.

**Çizelge 7.8.** AISI 304 Östenitik Paslanmaz malzemenin kimyasal bileşimi (% Ağırlık)  
(Tekaslan vd., 2008).

| <b>C</b>  | <b>Si</b> | <b>Mn</b> | <b>P</b>  | <b>S</b> | <b>Cr</b> | <b>Mo</b> | <b>Ni</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| <0,0050   | 0,3885    | 2,173     | >0,0960   | 0,0344   | 17,67     | 0,2983    | 14,71     |
| <b>Al</b> | <b>Cu</b> | <b>Nb</b> | <b>Ti</b> | <b>V</b> | <b>Bg</b> | <b>Fe</b> |           |
| 0,0145    | 0,0806    | <0,0050   | <0,0010   | 0,0457   | 61,7      | 61,70     |           |

## 8. İMALATI TAMAMLANAN LAB/PİLOT ÖLÇEKTE MBR'NİN DEVREYE ALINMASI VE YAPILAN DENEYSEL ARITIM ÇALIŞMALARI

Deneysel arıtım çalışmalarının gerçekleştirildiği imalatı tamamlanan Lab/Pilot Ölçekte dahili MBR Sisteminin şematik çizimi Şekil 8.1'de verilmektedir.



Şekil 8.1. İmalatı tamamlanan Lab/Pilot ölçekte dahili MBR sisteminin şematik çizimi.

- |                           |                       |                                 |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1- MBR Kontrol panosu     | 8- Arıtılmış su tankı | 15- Su seviye kontrol elektrodu |
| 2- Dijital termostat      | 9- Havalandırma tankı | 16- Tahliye valfi               |
| 3- Şalter                 | 10- Atıksu tankı      | 17- Blower                      |
| 4- Seviye kontrol şalteri | 11- Membran modülü    | 18- Pompa                       |
| 5- PLC                    | 12- Su debimetresi    | 19- Kaba filtre                 |
| 6- Hava şartlandırıcı     | 13- Valf              | 20- İnce kabarcıklı difüzör     |
| 7- Hava debimetresi       | 14- Rezistans ısıtıcı |                                 |

Deneysel çalışmalar 2 farklı deney koşullarında gerçekleştirilmiştir. I. Deneysel arıtım çalışmaları laboratuarda hazırlanan simüle tekstil atıksuyunun Bilecik ilindeki bir gıda işletmesinin biyolojik atıksu arıtım tesisinden alınan aktif granül çamur kullanılarak arıtım çalışmalarından oluşmaktadır. II. Deneysel çalışmalarda kullanılan tekstil atıksuyu, İnegöl (Bursa) Organize Sanayi Bölgesinde kumaş boyama faaliyeti gösteren bir tekstil işletmesinin boyama proses bitiminde, makine çıkışından direkt olarak alınmıştır.

## 8.1 Lab/Pilot ölçekte MBR'nin Devreye Alınma Aşamasında Yapılan I.Deneysel Çalışmalar

Havalandırma tankı önce temiz su ile doldurularak, havalandırıcı çalıştırılmış ve kabarcıkların düzgün dağılımı ve sızıntı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Daha sonra havalandırma tankı Bilecik İlindeki bir Gıda İşletmesinin biyolojik atıksu arıtım tesisinden alınan aktif granül çamur ile doldurulmuştur. Granül aktif çamurun MBR'deki görüntüsü Şekil 8.2'de verilmiştir. I. deneysel çalışmalarda Lab/Pilot ölçekte MBR sistemi çizelge 8.2'de bileşimi verilen sentetik atıksu ile beslenmiştir.



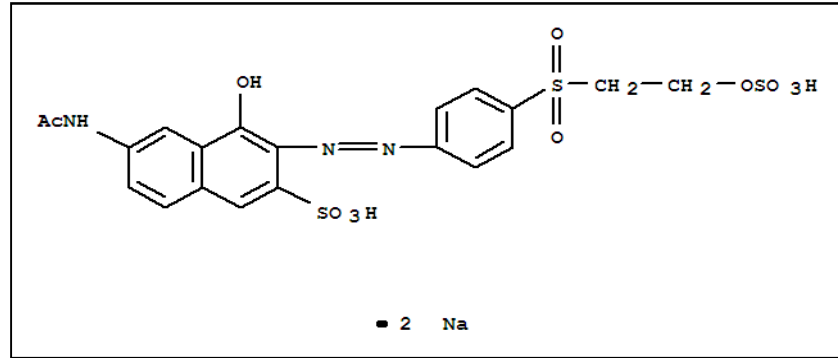
**Şekil 8.2.** Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminde aktif granül çamurun görünümü.

Granül çamur herhangi bir taşıyıcı malzemeye gerek duymadan çoğalabilen, kompakt ve yoğun biyolojik agregattır. Granül çamur bu yoğun yapısında farklı bakteri türleri içerirler. Bu bakteriler kompleks atıksuların arıtılmasında farklı görevler gerçekleştirirler. Muhteşem çökebilme kabiliyeti ayrıca granül çamurun çıkış suyundan ayrılmasını kolaylaştırır. Büyük atık su debilerine dayanıklıdır. Bakteriler ve enzimler atık suda boya gideriminde etkin rol oynarlar. Aktif çamur sistemiyle tekstil atıksuyu arıtımının mekanizmasının iyi anlaşılabilmesi için mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve moleküler bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Deneysel çalışmada kullanılan simüle tekstil atıksuyu çizelge 8.1' de özellikleri belirtilen Everzol Orange 3R reaktif boyası ve tekstil endüstrisi atık sularında bulunan diğer kimyasal maddelerin ilave edilmesiyle oluşturulmuştur. Everzol Orange 3R'nin açık formülü Şekil 8.3'de gösterilmiştir.

**Çizelge 8.1.** Everzol Brilliant Orange 3R'nin özellikleri.

|                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>Formül:</b>                | $C_{20}H_{17}N_3Na_2O_{11}S_3$ |
| <b>Mol Ağırlığı (g/mol):</b>  | 617,53                         |
| <b>Maks. Dalga Boyu(nm) :</b> | 492,7                          |

**Şekil 8.3.** Everzol Orange 3R'nin açık formülü.

Hazırlanan sentetik atıksu, sisteme verilmeden önce distile su ile 1/5 oranında seyreltilmiştir. Sentetik atıksu, pompa ile havalandırma tankına verilmiş ve arıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Arıtma süresince, havalandırma tankındaki AKM, renk, çözülmüş oksijen, pH ve KOİ değerleri belirlenmiştir. Çalışmada 10 günlük arıtım verileri değerlendirilmiştir. Deneysel ölçümler için bu zaman zarfında 1, 3 ,5 ,7 ve 10. gün numune alımı yapılmış ve numunelerin alındığı gün deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Simüle atıksu oluşturmak için kullanılan boyar madde, kimyasal maddeler ve 1 L'deki miktarları çizelge 8.2' de gösterilmiştir.

**Çizelge 8.1.** Simüle tekstil atıksu bileşimi.

| Madde   | Miktar (mg/L) |
|---|---------------|
| CaCl <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O               | 0,85          |
| MgSO <sub>4</sub> . H <sub>2</sub> O              | 0,85          |
| NH <sub>4</sub> (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) | 8,5           |
| FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O              | 0,17          |
| CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O              | 0,17          |
| Glikoz  | 17            |
| Everzol Orange 3R                                 | 8,5           |
| NaOH  | 153           |
| NaCl  | 255           |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                   | 170           |
| NaHCO <sub>3</sub>                                | 170           |

## 8.2 Lab/Pilot ölçekte MBR'nin Devreye Alınma Aşamasında Yapılan II. Deneysel Çalışmalar

Deneylerde kullanılan tekstil atıksuyu, İnegöl (Bursa) Organize Sanayi Bölgesinde kumaş boyama faaliyeti gösteren bir tekstil işletmesinin, boyama proses bitiminde direkt olarak makine çıkışından 1 m<sup>3</sup>'lük PVC tankına dalgıç pompa yardımı ile alınmıştır. İşletmede kullanılan tekstil boyama reçeteleri Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4'de verilmiştir. Proses sonu atılan atıksuyunun bileşimine ait kirlilik yükleri ise Çizelge 8.5'de verilmiştir.

**Çizelge 8.2.** I.Boyama makinesine ait boyama reçetesinin bileşimi.

| Boyar Madde/Kimyasal Adı   | Miktarı | Birim |
|----------------------------|---------|-------|
| Verolan NCB (İyon tutucu)  | 1       | g/L   |
| Jakazol Yellow CE New      | 1,2     | %     |
| Jakazol Red JG             | 2,2     | %     |
| Jakofix Blue JRF           | 0,05    | %     |
| Rafine Sıvı Tuz            | 80      | g/L   |
| Soda (NaHCO <sub>3</sub> ) | 20      | g/L   |
| Kostik (NaOH)              | 0,5     | g/L   |

**Çizelge 8.3.** II. Boyama makinesine ait boyama reçetenin bileşimi.

| Boyar Madde/Kimyasal Adı   | Miktarı | Birim |
|----------------------------|---------|-------|
| Verolan NCB (İyon tutucu)  | 1       | gr/L  |
| Drimaren Red CL-5B         | 0,17    | %     |
| Drimaren Scarlet HF-3G     | 0,2     | %     |
| Rafine Sıvı Tuz            | 60      | gr/L  |
| Soda (NaHCO <sub>3</sub> ) | 12      | gr/L  |
| Kostik (NaOH)              | 0,5     | gr/L  |

**Çizelge 8.4.** II. Deneysel çalışmada kullanılan tekstil atıksuyunun kirlilik yükleri.

| Parametre                           | Miktar | Birim |
|-------------------------------------|--------|-------|
| Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)     | 4092   | mg/L  |
| Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) | *      | mg/L  |
| Toplam Fosfor                       | 10,7   | mg/L  |
| pH                                  | 10,82  | -     |
| Toplam Azot                         | 18,1   | mg/L  |
| Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM)      | 200    | mg/L  |
| Askıda Katı Madde (AKM)             | 292    | mg/L  |
| Sıcaklık                            | 38,6   | °C    |
| İletkenlik                          | 59600  | µS/cm |

\*- İletkenlik değeri çok yüksek olması nedeniyle BOİ<sub>5</sub> sonucu tespit edilememiştir.

Çizelge 8.5’de Kirlilik yükleri belirlenmiş tekstil atıksuyu sisteme verilmeden önce distile su ile 1/5 oranında seyreltilmiştir. Daha sonra pompa ile membran modülü ve hava difüzörünün bulunduğu havalandırma tankına aktarılmıştır. Arıtma işlemi süresince, havalandırma tankındaki AKM, renk, çözülmüş oksijen, pH, sıcaklık, iletkenlik ve KOİ değerleri belirlenmiştir. Numunelerin analizleri alındığı gün gerçekleştirilmiştir.

### 8.3 Ölçülen Parametreler

#### 8.3.1 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

KOİ, su ve atıksuların karakterizasyonunda önemli ve çabuk sonuç veren bir parametredir. Bir suyun KOİ değeri, BOİ’den farklı olarak biyolojik yollarla ayrışmayan bazı maddeleri de içerebilmektedir. Bu sebeple KOİ değeri her zaman BOİ’ye eşit veya büyüktür. KOİ, organik maddelerin oksidasyon basamağının bir göstergesi olduğu için, biyokimyasal reaksiyonlardaki bileşenler arasında elektron eşdeğeri açısından bir denge kurulmasını sağlamaktadır.

KOİ, su numunesindeki organik maddenin, yüksek sıcaklıkta (150 °C) konsantre

sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) içinde potasyum dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) ile gümüş katalizör eşliğinde  $CO_2$  ve  $H_2O$ 'ya oksitlenmesi yoluyla ölçülmektedir. KOİ deneyi için kullanılan deney düzeneği Şekil 8.4'de gösterilmiştir.



**Şekil 8.4.** KOİ analizinde kullanılan deney düzeneği.

KOİ analizinde kullanılan çözeltiler aşağıdaki gibi hazırlanmıştır.

**a) Sülfürik asit çözeltisi ( $H_2SO_4$ ) (4 mol/L)**

20 mL  $H_2SO_4$  500 mL distile suya eklenir ve soğuduktan sonra litreye tamamlanır.

**b) Gümüşlü sülfürik asit reaktifi**

10 g gümüş sülfat ( $Ag_2SO_4$ ) 35 mL distile suya eklenir ve üzerine 965 mL sülfürik asit ilave edilerek gümüş sülfatın çözünmesi için 1-2 gün beklenir.

**c) Demir amonyum sülfat çözeltisi (FAS) (0,12 mol/L = 0,12 N)**

47 g  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  suda çözülür ve üzerine 20 mL sülfürik asit ilave eklenir ve soğutulur. Soğuduktan sonra distile suyla 1000 ml'ye tamamlanır.

Demir amonyum sülfat çözeltisi, kullanıldığı gün mutlaka standart dikromat çözeltisine karşı ayarlanmalı ve normalitesi bulunmalıdır. Bu standardizasyon işlemi aşağıdaki şekilde yapılır;

10 mL potasyum dikromat çözeltisi, 4 mol/L sülfürik asit çözeltisi (ayraç A) ile 100 ml'ye seyreltilir ve demir amonyum sülfat (FAS) çözeltisi ile titre edilir. Bu titrasyonsonucunda standart FAS'in normalitesi E.8.1'de verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\text{Standart FAS'ın normalitesi} = \frac{V_1 \cdot N_1}{V_2} = 10 \cdot \frac{0,24}{V_2} \quad (\text{E.8.1})$$

$V_1$  : Dikromat hacmi (mL)

$V_2$  : FAS sarfiyatı (mL)

$N_1$  : Standart potasyum dikromat çözeltisinin normalitesi (0,24 N)

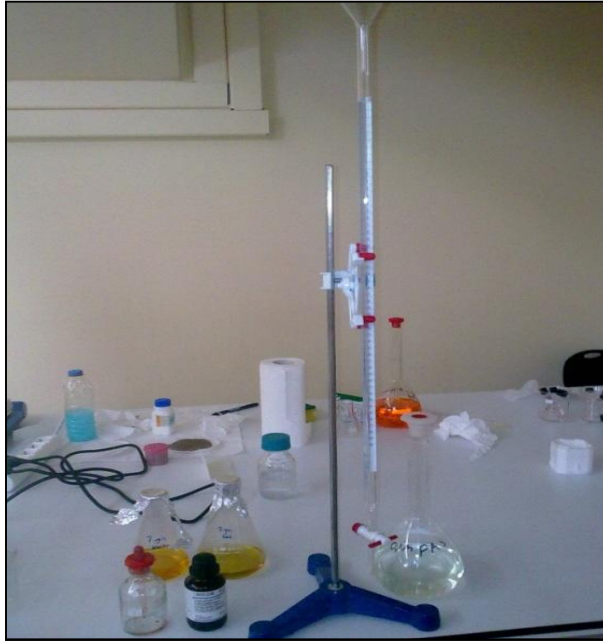
**d) Standart potasyum dikromat çözeltisi (0,040 mol/L = 0,24 N)**

80 g civa sülfat ( $HgSO_4$ ) 800 mL distile suda çözülerek üzerine 100 mL derişik sülfürik asit ilave edilir. Soğuduktan sonra, önceden 2 saat süreyle 103 °C'de kurutulmuş olan 11,768 g potasyum dikromat bu çözeltiliye eklenir ve distile su ile 1 litreye tamamlanır.

**e) Ferroin indikatör çözeltisi**

0,7 g  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  suda çözülür ve 1,5 g 1,10 fenantrolin monohidrat ilave edilerek çözüne dek çalkalanır, 100 mL ye distile suyla tamamlanır. Bu yöntem 30 mg/L'den yüksek KOİ değerine sahip çeşitli su örneklerine uygulanabilir. Bu yöntemle seyreltme işlemi yapılmaksızın belirlenebilen maksimum KOİ değeri 700 mg/L dir.

KOİ deneyinde kullanılan titrasyon düzeneği Şekil Şekil 8.5'de gösterilmiştir.



**Şekil 8.5.** KOİ deneyinde kullanılan titrasyon düzeneği.

Numune kabı iyice karıştırılarak 10 mL numune bir pipetle 250 mL'lik şilifli erlene aktarılır. Numunede KOİ'nin yüksek olduğu tahmin ediliyorsa, 350-700 mg/L KOİ içerecek hacimde numune alınır ve distile suyla 10 mL'ye tamamlanır. Çok yüksek seyreltmelerde balonjoje kullanılmalıdır.

Erlene birkaç tane temiz kaynama taşı (cam parçası) konularak, numunenin

üzerine 5 ml standart dikromat çözeltisi konur ve karıştırılır. Erlen musluk altında soğutularak ve çalkalanarak azar azar 15 mL gümüşlü sülfürik asit reaktifi ilave edilir. Erlen soğutucuya takılır ve soğutma suyu ve ısıtıcı açılır.

Erlen içeriği geri soğutma altında 2 saat süreyle kaynatılır. Reaksiyon sırasında soğutma suyu çıkışının fazla ısınmamasına dikkat edilmelidir. 2 saat sonunda ısıtıcı kapatılarak kaynamanın tamamen durması beklenir. Daha sonra 30 mL distile su ile soğutucunun içi şilifli erlenin içine yıkanır ve oda sıcaklığına kadar soğuması beklenir.

2-3 damla ferroin indikatörü ilave edilerek, standart demir amonyum çözeltisi ile renk mavi-yeşilden kiremit kırmızısı rengine dönene kadar titre edilir. Bu titrasyon sırasında renk değişiminin safhaları Şekil 8.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 8.6.** KOİ deneyinde renk değişimi safhaları.

Sonuç, E.8.2' de verilen aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$KOI = \frac{(A-B) \cdot N \cdot 8.100}{V_{\text{örnek}}} \quad (E.8.2)$$

A: Şahidin FAS sarfiyatı (mL)

B: Numunenin FAS sarfiyatı (mL)

N: FAS çözeltisinin normalitesi

### 8.3.2 Sıcaklık

Sıcaklık, bir cismin sıcaklığının ya da soğukluğunun bir ölçüsüdür. Sıcaklık doğrudan ölçülebilir bir değerdir. Sıcaklık ölçümünde termometre denilen cihaz kullanılabilir. Sıcaklık noktasal bir özelliktir. Laboratuvar şartlarında atık suyun sıcaklığını ölçmek için termometre kullanılmıştır. Birimi  $^{\circ}\text{C}$  dir. Sıcaklık ölçümü cihazın probunun numune içine daldırılması kısa bir süre bekletilmesi ile ölçülmektedir.

### 8.3.3 Çözünmüş Oksijen

Sudaki çözünmüş oksijen, suda yaşayan bitkilerin fotosentez olayı sonucu verdikleri oksijen ve havadaki oksijenden gelir. Oksijenin sudaki çözünürlüğü, havadaki oksijenin kısmi basıncı, suyun sıcaklığı ve suyun kapsamındaki minerallerin konsantrasyonuna bağlıdır. Çözünmüş oksijen, suda yaşayan organizmalar ve balıklar için gereklidir. Oksijenin sudaki çözünürlüğü mg/L olarak ölçülmüştür. Ölçüm aralığı (0-19.9 mg/L) arasındadır. Analizde HANNAHI 9146 model çözünmüş oksijen ölçüm cihazı kullanılmıştır.

### 8.3.4 pH

pH bir çözeltinin asitlik veya baziklik derecesini tarif eden ölçü birimidir. 0'dan 14'e kadar olan bir skalada ölçülür. Elektrometrik metoda (Standard Metot 4500-H<sup>+</sup>) göre çalışan Thermo marka pH metre ile ölçülmüştür.

### 8.3.5 Renk

Renk, organik bileşiğin yapısında yer alan ve kromofor grup adı verilen grupların özelliklerine bağlı olarak görünür ışığın belli dalga boyundaki kısımlarını absorblaması ve geri kalan dalga boylarını yansıtması sonucunda göz tarafından görülen karakteristik seklinde tanımlanabilir. Kromofor grupların görünür ışığı oluşturan dalga boylarında yuttuğu kısımlara absorplanan renk, yansıttığı kısımlara ise komplementer renk adları verilir. Çizelge 8.6'da absorplanan dalga boylarına göre yansıtılan (komplementer) renkler verilmiştir (Köseoğlu, 2004).

**Çizelge 8.5.** Işık absorpsiyonu ve renk.

| Absorplanan ışık |            | Bileşiğin rengi<br>(Komplementer renk) |
|------------------|------------|--|
| 400-440 nm       | Menekşe    | Sarı-Yeşil                             |
| 440-480 nm       | Mavi       | Sarı                                   |
| 480-490 nm       | Yeşil-Mavi | Turuncu                                |
| 490-500 nm       | Mavi-Yeşil | Kırmızı                                |
| 500-560 nm       | Yeşil      | Eflatun                                |
| 560-580 nm       | Sarı-Yeşil | Menekşe                                |
| 580-595 nm       | Sarı       | Mavi                                   |
| 595-605 nm       | Turuncu    | Yeşil-Mavi                             |
| 605-750 nm       | Kırmızı    | Mavi-Yeşil                             |

Renk, tekstil atık sularının en karakteristik parametresi ve en azından estetik ölçüler açısından en önemli kirleticilerinden birisidir. Koyu renkli sular, güneş

ışınlarının geçişini engelleyerek fotosentez olayını yavaşlatıp, sudaki çözünmüş oksijen miktarını düşürdüğünden atık suların renkli olarak deşarjı ekolojik dengenin bozulmasına ve canlıların ölümüne neden olurlar (Köseoğlu, 2004).

Spektrometrik metot da bir maddenin görüldüğü renginin komplementer rengindeki dalga boyu absorplanır ve spektrofotometre yardımıyla absorplanma miktarı tespit edilip renklilik miktarı hassas bir şekilde belirlenir. Spektrofotometrik metot, içme sularına, yüzeysel sulara, evsel ve endüstriyel atık sulara uygulanabilir (Köseoğlu, 2004).

Sularda renk, organik maddelerin suyla temasında çözünmeleriyle meydana gelir. Bu sular pek çok askıda madde ihtiva ederler. Spektrofotometre yardımıyla absorplama miktarı tespit edilir ve renklilik miktarı hassas bir şekilde belirlenir. 50 g tartılan Everzol reaktif orange 3R ismiyle bilinen boya 1000 mL'ye seyreltilerek çeşitli ppm değerlerinde çözeltileri hazırlanarak JASCO V-530 marka UV cihazı yardımıyla kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur. Belirli aralıklarla alınan numuneler NF 400 marka santrifüj cihazında 3000 rpm'de 15 dakikalık sürede santrifüj edildi. Santrifüj edilen numunelerin spektroskopisine 492,7 nm'de bakılarak aranan ppm değerine ulaşıldı. Bundan faydalanılarak, arıtılan suyun renk giderimi tayin edilmiştir. Şekil 8.7' de 7 gün boyunca arıtımı gerçekleştirilen simüle tekstil atıksuyunda gözlenebilen renk giderimi verilmektedir.



Şekil 8.7. Yedi günlük arıtımda gözlenen renk giderimi.

### 8.3.6 Askıda Katı Madde (AKM)

Standart Metot 2540'a göre tayin edilmiştir (APHA, 1995). İyice karıştırılan

numune sabit tartıma getirilmiş 0,45 µm'lik filtre kağıdından süzölmüştür. Filtre kağıdı 103-105 °C'de bir saat süreyle etüvde kurutulmuştur. Ağırlık farkı askıda katı miktarını verir. Desikatörde oda sıcaklığına soğutulup, tartılarak AKM konsantrasyonu belirlenmiştir.

### **8.3.7 Toplam Katı Madde (TKM)**

Analiz gravimetrik olduğu için kullanılan kapsül ağırlığının bilinmesi gerekir. Bu nedenle kullanılacak kapsül 1 saat etüvde 103-105<sup>0</sup> C 'de kurutulduktan sonra yarım saat desikatörde soğuması beklendi. Hassas terazide tartıldıktan sonra 10 mL atık su numunesi kapsüle alınarak tekrar etüvde tamamen kurutulması beklendikten sonra hesaplamaları yapılmıştır.

## 9. SONUÇLAR

Bu tasarım çalışmasında birinci adım Lab/Pilot Ölçekte MBR Sisteminin konfigürasyonunu belirlemek olmuştur. MBR sistemi olarak küçük, bitişik parçalardan oluşan düşük çalışma basıncı, geri atıksu çevrimi olmayan, düşük enerji tüketimli Dahili/Batık MBR tipi seçilmiştir. Membran modülünün alanı ve membran sayısı, hava miktarına göre blower sayısı tasarımın diğer basamaklarıdır. Tasarlanan sistem için  $N_s$  değeri  $0,35 \text{ kgKOİ/kgVSS.gün}$ , atıksudaki organik madde konsantrasyonu  $10000 \text{ mg/L}$  olarak belirlenmiştir. Tasarımda yapılan hesaplamalar için giriş  $\text{KOİ } 1500 \text{ mg/L}$ , çıkış  $\text{KOİ } 60 \text{ mg/L}$  ve günlük debi  $500 \text{ L.}$  varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tasarım hesaplamaları sonucunda belirlenen Lab/Pilot ölçekte MBR sistemin toplam reaktör hacmi  $206 \text{ L.}$ , membran modülünün alanı  $1,5 \text{ m}^2$ , kullanılacak membran kaseti sayısı 6 adet, havalandırma sisteminin tasarımında hesaplanan hava miktarı  $10 \text{ L./dak.}$ , hava miktarına göre blower ve difüzör sayısı 1'er adet olarak belirlenmiştir. Biyoreaktör olarak kullanılacak tanklar dikdörtgen prizma şeklinde tasarlanmış ve malzeme olarak Pleksiglass seçilerek imalatı gerçekleştirilmiştir. Atıksu tankı, membran biyoreaktör (havalandırma tankı) ve temiz su tankından oluşan Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminde, atıksu tankından biyolojik arıtımın gerçekleştirildiği havalandırma tankına iletilen su hattı ve arıtılan suyu temiz su tankına aktaran su hattına bağlanan toplam 2 adet debimetre kullanılmıştır. Akış kontrolü, debimetrenin önüne monte edilen, küresel valf ile sağlanmıştır. Biyolojik arıtımın gerçekleştiği tankta verilen havanın sistem için gerekli olan hava akışını kontrol edecek debimetre ve miktarını ayarlamak için Osaka OPT 3042 FR-L  $\frac{1}{2}$ " marka şartlandırıcı kullanılmıştır. Mikroorganizmaların metabolizma ile ilgili faaliyetlerinin tümü kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Kimyasal tepkimeler gibi, mikroorganizmaların meydana getirdiği tepkimeler de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık yalnız metabolik aktiviteleri etkilemekle kalmaz biyolojik çamurun çökme özelliği, gaz transfer hızı gibi faktörleri de etkiler. Lab/Pilot ölçekte MBR'de atıksuyun biyolojik arıtımının gerçekleştiği tanklar için 2 adet fişek tipi rezistans ısıtıcı (Isımak Rezistans) Isı San. Tic. A.Ş'ye (İstanbul) özel olarak imal ettirilmiştir. Sıcaklığı kontrol etmek için ısıtıcılara Fe-Konstantan (konstantan, %40-45 Ni ve %5-60 arasında Cu bulunan termoçift) termokupul yerleştirilmiştir. Isıtıcılar Lab/Pilot ölçekte MBR kontrol panosuna monte edilen dijital göstergeli analog termostatlar ile kontrol edilmektedir. Lab/Pilot ölçekte MBR'de biyolojik arıtımın

gerçekleştirildiği tanktaki ve atıksu besleme tankında, suyun seviyesini kontrol etmek amacıyla 2 adet iletkenlik tip seviye kontrol elektrodu kullanılmıştır. Atıksuyun biyolojik arıtımının gerçekleştiği havalandırma tankına iletilmesi ve arıtılmış suyun havalandırma tankından temiz su tankına aktarılması için 2 adet periferik santrifüj pompa kullanılmıştır. Tankların yapımında iletkenlik göstermeyen pleksiglass malzeme kullanıldığı için, 3 elektrotlu cihaz kullanılmıştır. Kullanılan seviye kontrol cihazında, en yüksek seviye, en düşük seviye ve şase olmak üzere 3 adet elektrot bulunmaktadır. MBR tanklarındaki su seviyelerini iletkenlik tip seviye şalterleri vasıtasıyla kontrol ederek, gerektiğinde su pompalarını otomatik olarak çalıştırıp durdurmak amacıyla 2 adet röle kullanılmıştır. MBR kontrol panosunda yer alan Pompa-1 rölesi, atıksuyu biyolojik arıtımın gerçekleştiği havalandırma tankına aktaran pompanın kontrolünde, Pompa-2 rölesi, havalandırma tankında biyolojik olarak arıtılmış suyu membran filtreden çekerek temiz su tankına aktaran pompanın kontrolünde kullanılmıştır.

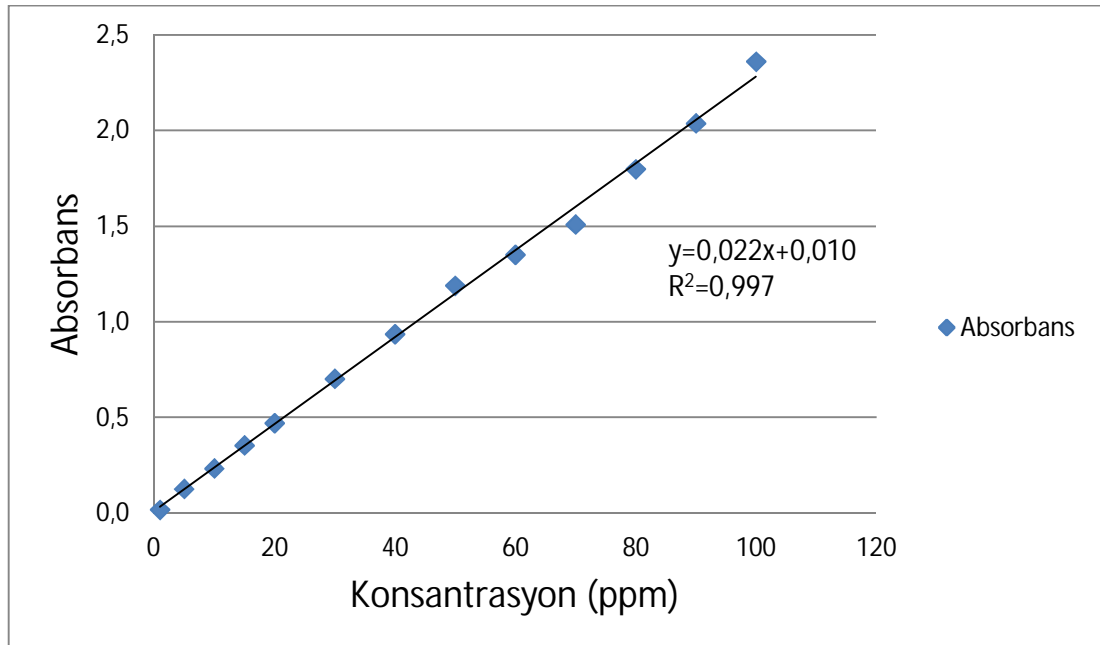
Deneysel çalışmalar 28-32 °C ortam sıcaklığında, 7-8 pH aralığında, 2-5 mg/L ÇO konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir.

2 farklı deney koşullarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan I. çalışmada 50 g Everzol reaktif orange 3R ismiyle bilinen boyanın 1000 mL'ye seyreltilerek çeşitli ppm değerlerinde çözeltileri hazırlanmıştır. Renk parametresi, UV spektrofotometre (UV/VIS) ile 492,7 nm'de nm dalga boyunda ölçülmüştür. Farklı konsantrasyondaki çözeltilerin JASCO V-530 marka UV cihazında ölçülen absorbans değerleri çizelge 9.1'de ve bu verilerin grafiksel gösterimi Şekil 9.1'de verilmiştir.

**Çizelge 9.1.** Renk giderimi için hazırlanan farklı ppm değerlerine sahip Everzol Orange 3R boyar maddesinin UV tablosu.

| Konsantrasyon (ppm) | Absorbans |
|---------------------|-----------|
| 1                   | 0,0203    |
| 5                   | 0,1291    |
| 10                  | 0,2361    |
| 15                  | 0,3569    |
| 20                  | 0,4723    |
| 30                  | 0,7046    |
| 40                  | 0,9369    |
| 50                  | 1,1904    |
| 60                  | 1,352     |
| 70                  | 1,5105    |
| 80                  | 1,7993    |
| 90                  | 2,0389    |
| 100                 | 2,361     |

Numunelerin JASCO V-530 marka UV cihazı ile yapılan analizlerinde belirlenen absorbans değerlerinin karşılık gelen konsantrasyon değerleri Şekil 9.1'deki grafikten okunmuştur.



**Şekil 9.1.** Everzol Orange 3R boyar maddesinin konsantrasyon-absorbans grafiği.

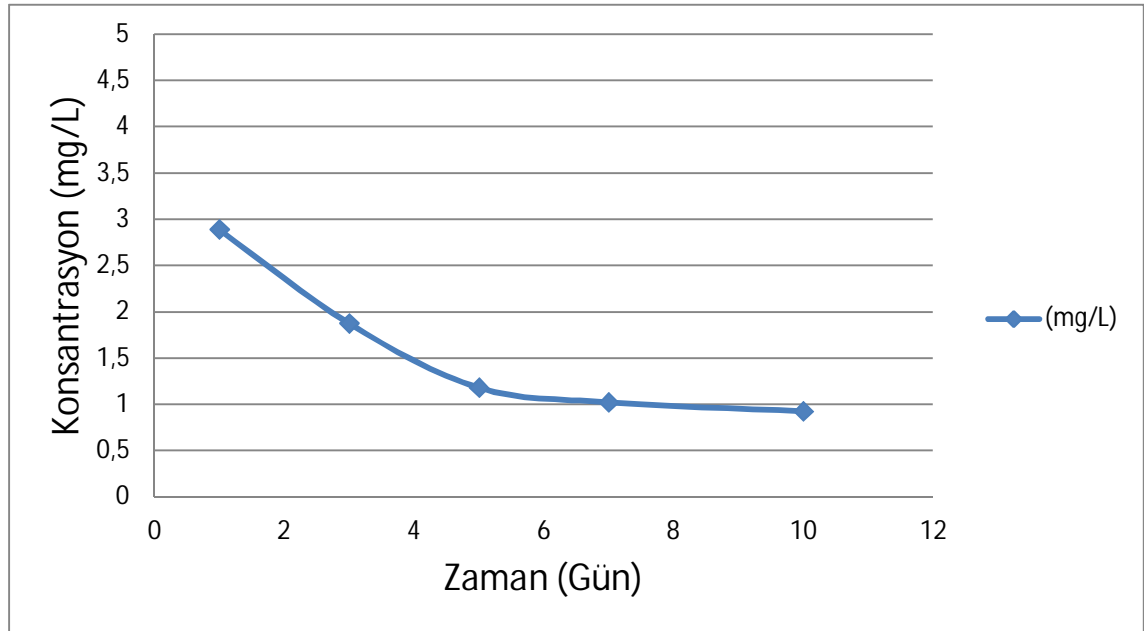
I. Deneysel çalışmada 10 günlük arıtım verileri değerlendirilmiştir. Deneysel ölçümler için bu zaman zarfında 1, 3, 5 ,7 ve 10. gün numune alımı yapılmış ve

numunelerin alındığı gün deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları çizelge 9.2’de verilmiştir.

**Çizelge 9.2.** 10 günlük işletim süresince ölçüm sonuçları.

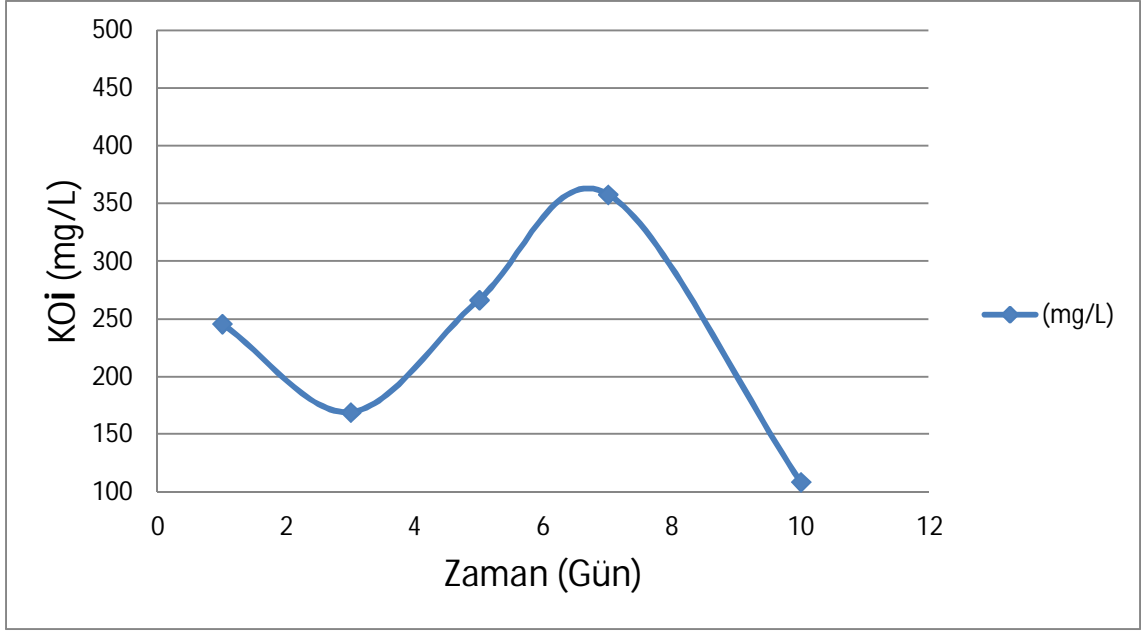
| Parametreler<br>Zaman (Gün) | pH   | Sıcaklık | Konsantrasyon<br>(ppm) | KOİ     | ÇO   | AKM   | TKM  |
|-----------------------------|------|----------|------------------------|---------|------|-------|------|
| 1.Gün                       | 9,29 | 28,5     | 2,8935                 | 245,950 | 2,25 | 53,7  | 1226 |
| 3.Gün                       | 8,73 | 29       | 1,8745                 | 169,291 | 2,94 | 212   | 1298 |
| 5.Gün                       | 8,2  | 29,2     | 1,1806                 | 266,667 | 1,09 | 41,6  | 1345 |
| 7.Gün                       | 8,17 | 29,5     | 1,022                  | 357,977 | 1,84 | 53,6  | 1350 |
| 10.Gün                      | 8,4  | 33,1     | 0,925                  | 108,949 | 2,64 | 255,8 | 1355 |

Arıtma süresince, havalandırma tankındaki, renk, KOİ, ÇO ve AKM değerlerindeki değişimler grafiksel olarak Şekil 9.2-6’da gösterilmektedir.



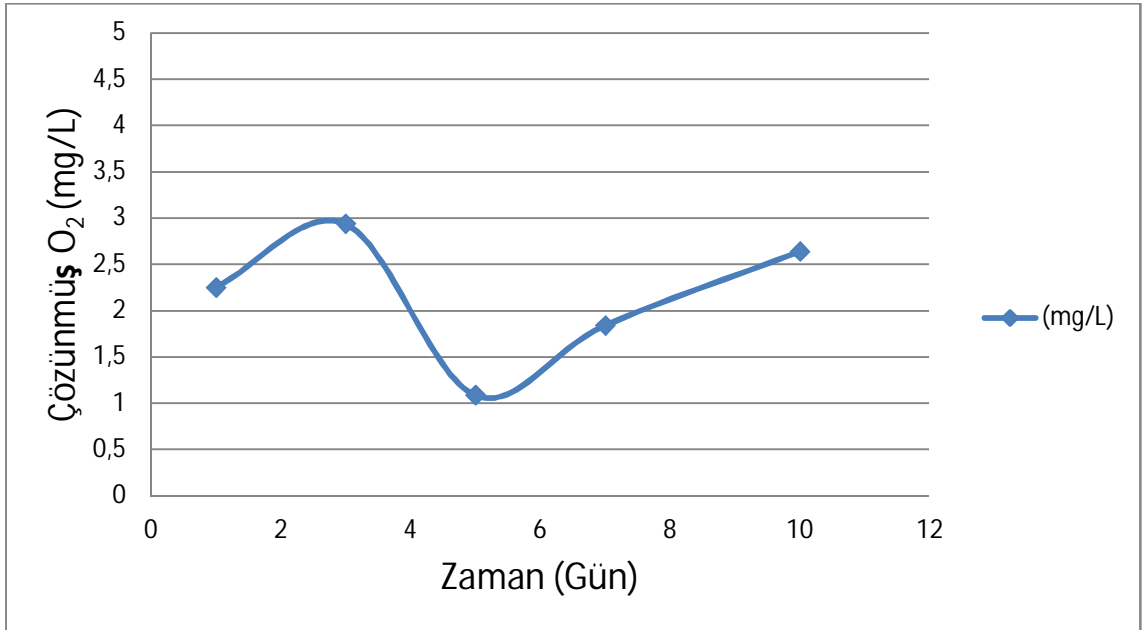
**Şekil 9.2.** Everzol Orange 3R boyar maddesinin konsantrasyonun zamanla değişimi.

Şekil 9.2’deki grafik incelendiğinde boya konsantrasyonunun zamanla azaldığı görülmektedir. 10 günlük arıtım sonucunda %68’lik bir renk giderimi sağlanmıştır.



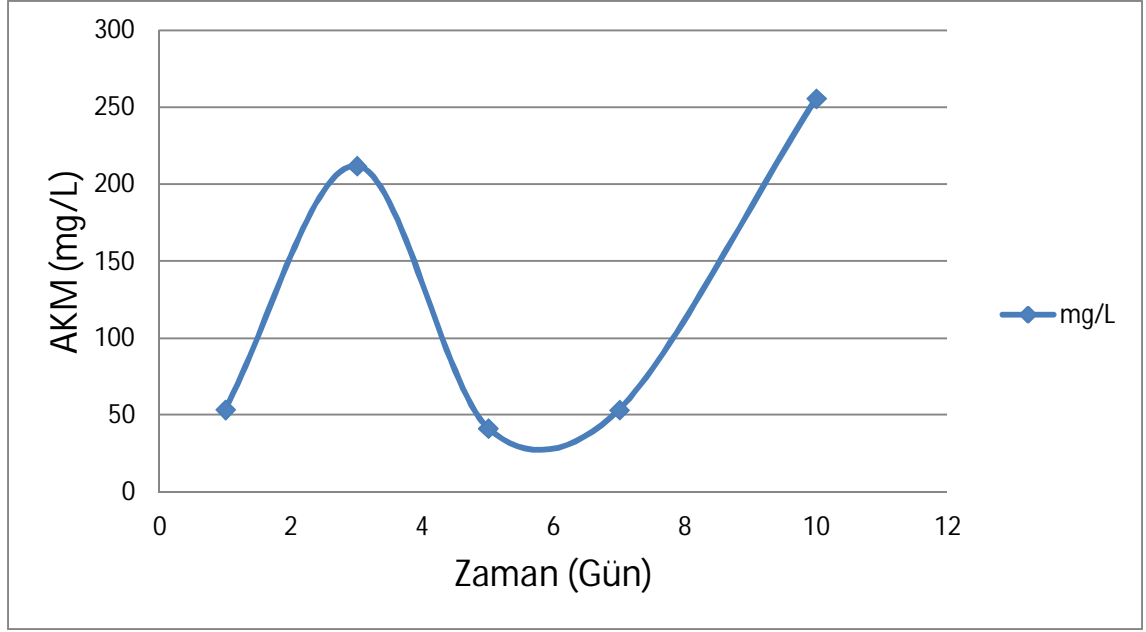
**Şekil 9.3.** Zamana karşılık KOİ parametresindeki değişim.

Şekil 9.3 incelendiğinde KOİ değerinde azalmalar ve artmalar görülmektedir. Giriş KOİ değeri ve çıkış KOİ değeri kıyaslandığında %55,6 civarlarında bir artım görülmektedir.



**Şekil 9.4.** Çözünmüş oksijen miktarının zamanla değişimi.

Şekil 9.4'e bakıldığında ise çözünmüş oksijen grafiğinin KOİ grafiğinin tersi olduğu görülmektedir. Bu durum karşısında çözünmüş oksijen değerindeki azalmanın KOİ giderimini olumsuz yönde etkilediği ve ÇO değerinin 2 mg/L altına düşmemesi gerektiği sonucuna varılabilir.



**Şekil 9.5.** Toplam askıda katı maddesinin zamanla değişimi.

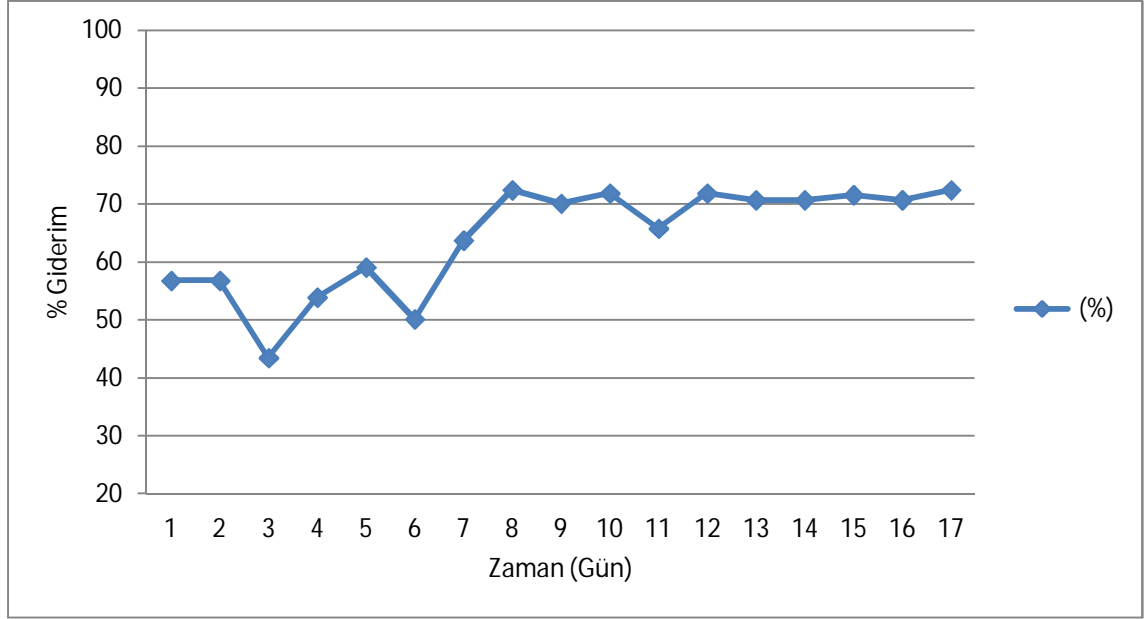
Çalışmanın ilk gününde, biyoreaktördeki biyokütle konsantrasyonu 53 mg MLSS/L iken işletmenin 10. gününde biyokütle konsantrasyonu 256 mg MLSS/L düzeyine ulaşmıştır. AKM grafiğinde görülen artış sistemde mikroorganizma sayısının arttığı ve atık suyla beslenerek çoğaldıklarının göstergesi olarak kabul edilebilir.

II. Deneysel çalışmada 17 günlük arıtım verileri değerlendirilmiştir. Deneysel ölçümler için bu zaman zarfında her gün numune alımı yapılmış ve numunelerin alındığı gün deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 9.3'de verilmiştir.

**Çizelge 9.3.** Deneysel analiz sonuçları.

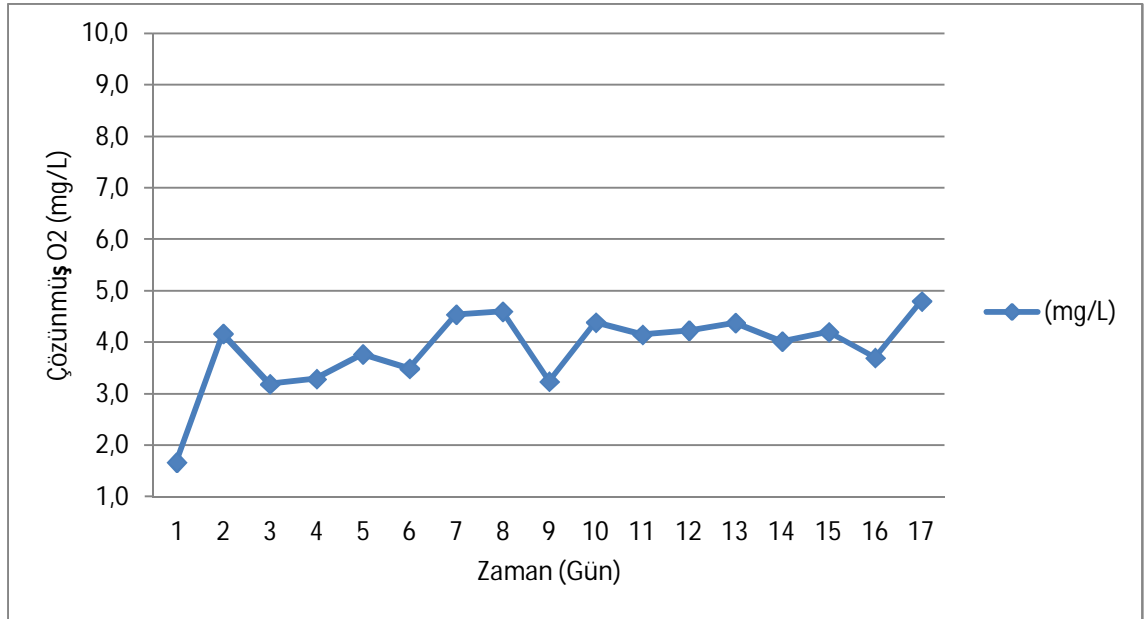
| Zaman<br>(Gün) | Parametre                      |      |                  |              |                       |               |                  |                     |
|----------------|--------------------------------|------|------------------|--------------|-----------------------|---------------|------------------|---------------------|
|                | KOİ<br>çıkış<br>suyu<br>(mg/L) | pH   | Sıcaklık<br>(°C) | ÇO<br>(mg/L) | İletkenlik<br>(µS/cm) | AKM<br>(mg/L) | Hava<br>(L/dak.) | KOİ Giderimi<br>(%) |
| 1              | 169                            | 8,27 | 26,6             | 1,7          | 10450                 | 9242          | 7,0              | 57                  |
| 2              | 169                            | 7,49 | 26,2             | 4,2          | 10360                 | 12032         | 7,0              | 57                  |
| 3              | 215                            | 7,15 | 26,0             | 3,2          | 10210                 | 10476         | 5,0              | 43                  |
| 4              | 179                            | 6,38 | 26,4             | 3,3          | 10850                 | 9814          | 6,1              | 54                  |
| 5              | 161                            | 6,90 | 26,8             | 3,8          | 10750                 | 9118          | 5,8              | 59                  |
| 6              | 192                            | 7,98 | 26,2             | 3,5          | 10650                 | 9976          | 5,7              | 50                  |
| 7              | 145                            | 6,81 | 27,4             | 4,5          | 10690                 | 11420         | 11,0             | 64                  |
| 8              | 115                            | 7,73 | 27,6             | 4,6          | 10190                 | 12898         | 13,0             | 72                  |
| 9              | 123                            | 7,57 | 28,2             | 3,2          | 10360                 | 11140         | 9,7              | 70                  |
| 10             | 117                            | 7,27 | 28,4             | 4,4          | 10480                 | 11390         | 9,9              | 72                  |
| 11             | 138                            | 7,09 | 27,3             | 4,2          | 10370                 | 11996         | 11,4             | 66                  |
| 12             | 117                            | 7,02 | 27,8             | 4,2          | 10240                 | 11662         | 10,1             | 72                  |
| 13             | 121                            | 6,86 | 27,9             | 4,4          | 10810                 | 11014         | 10,3             | 71                  |
| 14             | 121                            | 6,75 | 27,6             | 4,0          | 10920                 | 11300         | 10,6             | 71                  |
| 15             | 118                            | 6,59 | 27,0             | 4,2          | 10960                 | 9770          | 10,8             | 72                  |
| 16             | 121                            | 7,62 | 25,5             | 3,7          | 10690                 | 9812          | 10,4             | 71                  |
| 17             | 115                            | 8,05 | 26,1             | 4,8          | 10590                 | 10208         | 10,0             | 72                  |

Arıtma süresince KOİ giderimi (%), çözülmüş oksijen, AKM, hava miktarı ve iletkenlik değişimlerinin grafiksel gösterimleri Şekil 9.6-10'da verilmektedir.



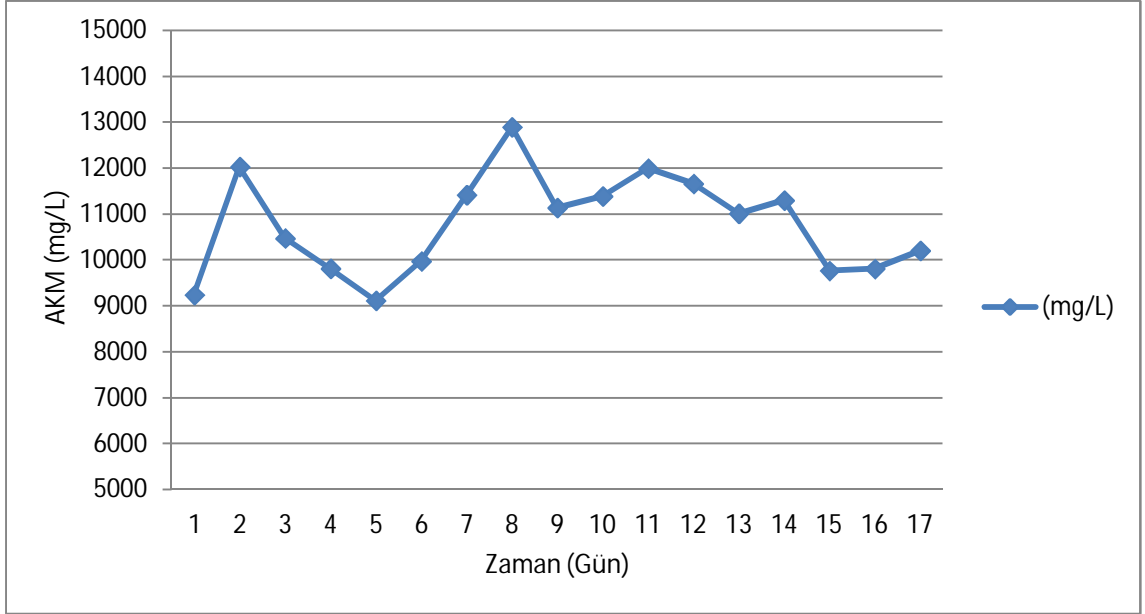
**Şekil 9.6.** KOİ giderim yüzdesi.

Şekil 9.6 incelendiğinde KOİ değerinde azalmalar ve artmalar görülmektedir. Giriş KOİ değeri ve çıkış KOİ değeri kıyaslandığında %72 civarlarında bir artırım görülmektedir.



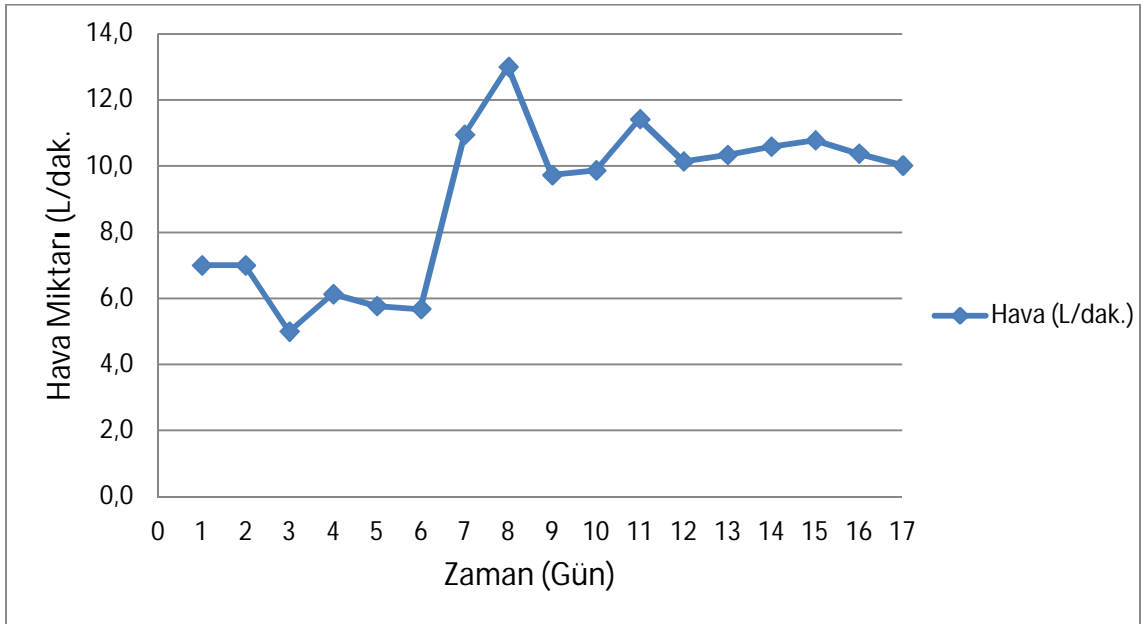
**Şekil 9.7.** Çözünmüş oksijen miktarının zamanla değişimi.

Şekil 9.7'deki grafik 17 günlük deney süresinde ÇO miktarını göstermektedir. ÇO miktarı, 1,7-4,8 mg/L aralığında değişim göstermiştir.



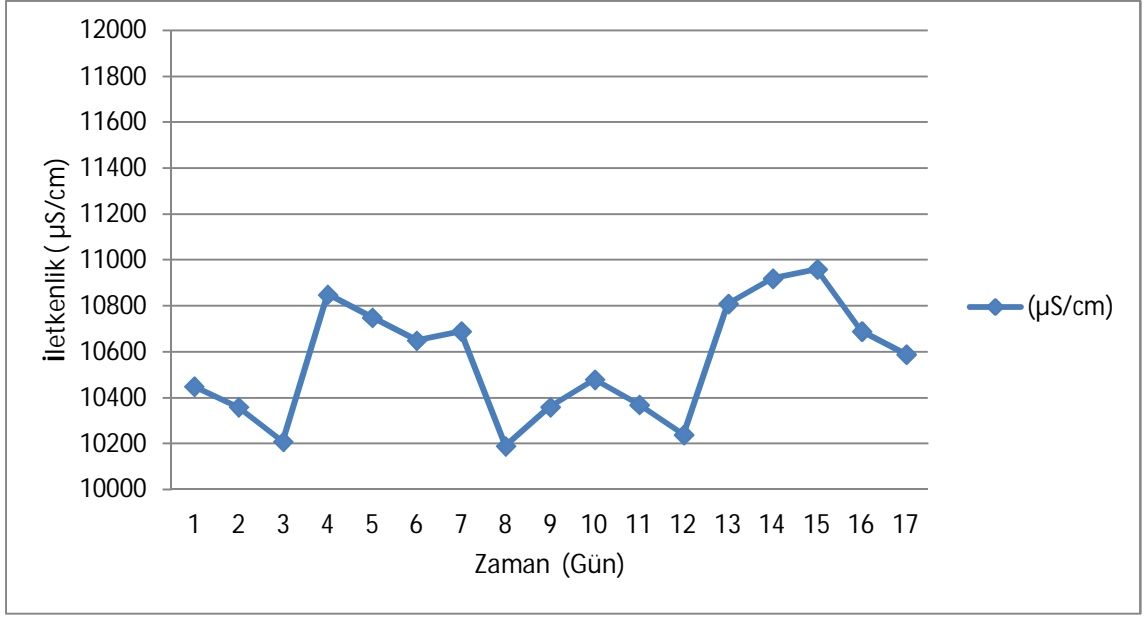
**Şekil 9.8.** Askıda katı madde miktarının zamanla değişimi.

MBR tankında toplam AKM 9000-12000 mg/L. arasında değişmiştir.



**Şekil 9.9.** Havalandırma tankına verilen hava (L/dak.).

II. deneysel çalışmada 10 L/dak. hava akış hızında ÇO konsantrasyonu 2-5 mg/L aralığında tutulmuştur.



**Şekil 9.10.** Havalandırma tankındaki arıtılan suyun iletkenlik değışimi.

Tekstil atık suyunun iletkenlik değeri 10500 µS/cm civarında seyretmiştir.

## 10. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı; öncelikle lab/pilot ölçekte bir MBR tasarlamak, imalatını gerçekleştirmek ve imalatı gerçekleştirilen MBR'nin devreye alınması sırasında tekstil atık suyunun deneysel arıtım çalışmalarını yaparak ön bir çalışma yapmaktır. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen lab/pilot ölçekte MBR sistemi 220 L'lik pleksiglas malzemeden imal edilmiş 1 adet havalandırma tankından (efektif hacmi yaklaşık 170 L'dir) ve 2 adet 145 litre kapasiteli besleme ve deşarj tankından oluşmaktadır. Membran modülü toplam 1,5 m<sup>2</sup> alana sahip olup, por büyüklüğü 0,08-0,3 µm olan 6 adet plaka-çerçeve tipi membran kasetinden (PVDF + PET) ibarettir ve membran modülü havalandırma tankına düşey olarak yerleştirilmiştir. Havalandırma, membran modülünün altına yerleştirilen disk formunda membranlı difizör ile sağlanmıştır. Difizör, aynı zamanda membranların üzerinde kek tabakası oluşumunun etkisini de azaltmaktadır. MBR panoya yerleştirilen kumanda elemanları ile kontrol edilmektedir. Daha sonraki çalışmalarda sisteme, pH metre, oransal valf ve suda çözülmüş oksijen ölçer vb. elektronik kontrol elemanları bağlanabilir ve tam otomasyonlu kontrol edilebilecek şekilde geliştirilebilir.

Aşılama için kullanılan aktif çamurun ortama alışma sürecinde yapılan bazı deneysel ölçümler yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşılamanın yapıldığı gün itibariyle ortandan numune alımı yapılmış ve numunelerin alındığı gün deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Arıtma veriminin tespit edilebilmesinde KOİ değeri en önemli parametredir. Sıcaklık ve pH değerlerinin uygun aralıklarda olması mikroorganizmaların canlılıklarının sürdürebilmeleri açısından önem taşımaktadır. Deneysel çalışma süresince, havalandırma tankındaki AKM (toplam askıda biyokütle), renk, ÇO, pH ve KOİ değerleri belirlenmiştir. Biyolojik olarak arıtılmış su membrandan vakum ile çekilerek hemen hemen tüm protozoa ve bakteri (5-6 log giderim) ve virüs (1-2 log) giderimi sağlanmıştır. Çıkış sularında toplam koliform bakterisine rastlanmaması, membran sistemlerinden elde edilen çıkış sularının herhangi bir dezenfeksiyon işlemini gerektirmemesi sistemi bu yönüyle de avantajlı kılmaktadır.

Literatürde yapılan daha uzun süreli çalışmalarda KOİ gideriminin %85-90'lara vardırılabildiği göze çarpar. Yapılan I. çalışma süresince kullanılan granül aktif çamur ile simüle tekstil atık suyunda yaklaşık %60'lık bir KOİ giderimi ve %68'lik bir renk giderimi sağlanmıştır. II. deneysel çalışmada arıtımı yapılan gerçek tekstil atık suyu

direkt olarak boyama makinesinden alınmıştır. Kirlilik yükleri belirlenmiş tekstil atıksuyu sisteme verilmeden önce distile su ile 1/5 oranında seyreltilmiştir. Daha sonra pompa ile membran modülü ve hava difüzörünün bulunduğu havalandırma tankına aktarılmıştır. Arıtım sonunda %72'lık bir KOİ giderimi sağlanabilmiştir. Tekstil atık suyunun iletkenlik değerinin 10500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  civarında olmasının mikroorganizmaların aktifliğini azalttığı ve arıtım verimini etkilediği düşünülmektedir.

MBR sistemi kullanılarak farklı endüstrilere ait atık suların arıtım çalışmaları gerçekleştirilebilir. Ayrıca arıtım veriminin artırılabilmesi açısından HRT, SRT, havalandırma süresi ve debisi gibi farklı parametreler çalışılabilir.

Son yıllarda özellikle beyaz çürükçül mantarlarla çok yüksek dekolorizasyon yüzdelerinin elde edilebildiği belirtilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar neticesinde; daha yüksek KOİ giderimi ve renk giderim verimine ulaşabilmek için bundan sonraki çalışmaların çok yüksek dekolorizasyon yüzdelerinin elde edilebildiği beyaz çürükçül funguslarla denenmesi planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Akçay, D., “Poli (Metil Metakrilat)/Bentonit Nanokompozitin Kütle Polimerizasyonu Yöntemiyle Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2006.
- Alan, G., Tercan, M., “Sıvı Filtrasyonunda Kullanılan Tekstiller”, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1): 47-53 (2012).
- Alkan, U., Erol Nalbur, B., Odabaş, E., “Tekstil Endüstrisi Atıksularının Ardışık Kesikli Reaktörler (Akr) İle Biyolojik Arıtılabilirliğinin İncelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11 ( 2): 77-82 (2006).
- Amaral, P.F.F., Fernandes, D.L.A., Tavares, A.P.M., Xavier, A.B.M.R., Cammarota, M.C., Coutinho, J.P.A., Coelho, M.A.Z., “Decolorization of Dyes From Textile Wastewater by *Trametes versicolor*”, *Environment Technology*, 25: 1313-1320 (2004)
- Arık, A.P., “Arıtma Prosesleri ve Ekipmanları Hakkında Genel Bilgiler”, *Makina ve Mühendis*, 35 (413): 15-21 (1994)
- Arslan, H., Özgün, H., Çakmakçı, M., Koyuncu, İ., “Tekstil Endüstrisinde Farklı Proses Atıksularının Arıtımında ve Geri Kazanılmasında Membran Uygulamaları”, *Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu*, İstanbul, 25-27 (2009).
- Artuğ, N.T., Tuncay Uzun, T., “LabVIEW ile Mikrodenetleyicili Bir Endüstriyel Otomatik Sıcaklık Kontrol Sistemi”, *Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, 254-258 (2011).
- Aslan, M., Hasar, H., Saatçi, Y., “Atıksuların Arıtılmasında Anaerobik Membran Biyoreaktörler”, *Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu*, İstanbul, 145-148 (2009).
- Atay, B., Erdem, S., Yılmaz, F., Elidüzgün, S., Köse, B., Erşahin, M.E., Özgün, H., Kayaalp, N., Altınbaş, M., Atay,Ş.D., Hoşhan, P., Eren, E., Sayılı, S., Kınacı, C., Koyuncu, İ., “Hidrokarbon İçeren Petrol ve Doğalgaz Üretim Atıksularının Membran Biyoreaktör (MBR) ile Arıtımı”, *İ.T.Ü. 12. Endüstriyel Kirletme Kontrolü Sempozyumu*, İstanbul, 175-181 (2010).
- Ateş, H., Bayındır, R., “PLC Kontrollü Sürtünme Kaynak Cihazı Tasarımı ve Uygulaması”, *Teknoloji*, 3-4: 97-104 (2002).

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Aya, H., Inoue, G., Okabe, T., Murayama, Y., “Development of Compact Wastewater Treatment Plants for Non-potable Water Reuse System”, *Water Reuse Symposium*, Washington, D.C., 456-475, (1981)
- Aydın, M., Uçar, M., Cengiz, A., “AISI304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kuru Tornalanabilmesine Kesme Parametrelerinin Etkisi”, *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 85-94 (2010).
- Babu, B.R., Parande, A.K., S. Raghu, Kumar, T.P., “Cotton Textile Processing: Waste Generation and Effluent Treatment”, *The Journal of Cotton Science*, 11, 141-153 (2007).
- Badur, Ö., “Elektrik Kumanda Devreleri”, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 2001.
- Büyükkamacı, N., “Su Yönetiminin Etkin Bileşeni: Yeniden Kullanım”, *TMMOB İzmir Kent Sempozyumu*, İzmir, 363-377 (2009).
- Ceylan, İ., “Mekanik Seviye Ölçüm Cihazı Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2007.
- Cripps C., Bumpus J.A., Aust S.D., “Biodegradation of Azo and Heterocyclic Dyes by *P. Chrysosporium*”, *Applied En. Microbiol*, 56 (4): 1114-1118 (1990).
- Çoban, S., “Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri”, *Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırm-Uygulama Merkezi Yayını-10*, İzmir, 1999.
- Davies, W.J., Le, M.S., Heath, C.R., “Intensified Activated Sludge Process With Submerged Membrane Microfiltration”, *Science and Technology*, 38 (4-5): 421-428 (1998).
- Dönmez, G., “Bioaccumulation of The Reactive Textile Dyes by *Candida tropicalis* Growing in Molasses Medium”, *Enzyme and Microbial Technology*, 30: 363-366, (2002).
- Farizoğlu, B., Keskinler, B., Yıldız, E., Çakıcı, A., “Peyniraltı Sularının Arıtıldığı Jet Loop Membran Biyoreaktörün Membran Filtrasyonu Özelliklerinin Araştırılması” *SKKD*, 14 (2): 1-8 (2004).
- Gander, M., Jefferson, B., Judd, S., “Aerobic MBRs for Domestic Wastewater Treatment: A Review with Cost Considerations”, *Separation and Purification Technology*, 18, 119-130 (2000).

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gökkuş, Ö., “Dispers Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularında Renk Giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, 2006.
- Gönüllü, M. T., “Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Cilt I, *Birsen Yayınevi, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 2004.
- Gunder B., Krauth K., , “Replacement of Secondary Clarification by Membrane Separation - Results with Plate and Hollow Fibre Modules”, *Water Science and Technology*, 38 (4-5): 383-393 (1998)
- Gürcüm, B.H., “Tekstil Malzeme Bilgisi”, *Grafiker Yayınları*, Ankara, 2005.
- Gürel, L., Büyükgüngör, H., “Atıksu Arıtımında Membran Biyoreaktörler”, *Su Kirlenmesi Kontrolü*, 21 (1): 13-23 (2011).
- Hanay, Ö., Hasar, H., , “Fenton Oksidasyon Prosesi İle Tekstil Endüstrisi Atıksuyunda Renk Giderimi”, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi*, 19 (4): 505-509 (2007).
- Hu, T.L., Wu, S.C., “Assessment of The Effect of Dye RP2B on The Growth of a Nitrogen Fixing Cyanobacterium”, *Anabaena sp. Bioresource Technology*, 77 (1): 93-95 (2001)
- Irwin, J., “On-site Wastewater Reclamation and Recycling”, *Water Environment and Technology*, 90-91 (1990)
- Ishida, H., Yamada, Y., Izumi, K., Moro, M., “Apparatus for treating Activated Sludge”, *European Patent Application No. 0510 328 A2*, Kubota Corporation, Japan, 1992
- Işık, M., Sponza, D.T., “Effect of Oxygen on Decolorization of Azo Dyes by *Escherichia coli* and *Pseudomonas sp.* and Fate of Aromatic Amines”, *Process Biochemistry*, 38: 1183-1192 (2003).
- İmer D.Y.K., Bayar, S., Dizge, N., Karagündüz, A., Bülent Keskinler, B., “Sürekli Aktif Çamur ve Jet-Loop Sistemlerinde Mikrofiltrasyon Membranların Kirlenme Özelliklerinin İncelenmesi”, *Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu (MEMTEK)*, İstanbul, 39-42 (2009).

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Jones, J.J. Falkinham III. J.O., “Decolorization of Malachite Green and Crystal Violet by Waterborne Pathogenic Mycobacteria”, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 47 (7): 2323-2326 (2003).
- Kaleli, B., “Atıksuların İleri Arıtımında Membran Proseslerinin Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2006.
- Kaykıoğlu, G., “Biyolojik Ön Arıtmalı Membran Sistemler ile Tekstil Atık Sularının Geri Kazanımı”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2010
- Kestioğlu, K., “Atıksu Arıtımında Biyokimyasal Prosesler Cilt-I”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını, Yayın No:170*, Bursa, 2001.
- Kestioğlu, K., Yalılı, M., “Yüksek KOİ İçerikli Tekstil Atıksularının Kimyasal Çökeltim ve Adsorpsiyon Yöntemleriyle Arıtılabilirliği”, *Ekoloji*, 15 (59): 27-31 (2006).
- Kestioğlu, K., Yalılı, M., Naharcı, B., “Yüksek KOİ İçeren Tekstil Atıksularının Fizikokimyasal, Ozon/UV ve Adsorpsiyon Yöntemleriyle Arıtılabilirliğinin Araştırılması”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10 (1): 23-32 (2005).
- Kitiş, M., Köseoğlu, H., Gül, N., Ekinci, F.Y., “Atıksu Arıtımı ve Geri Kazanımında Membran Bioreaktörleri”, *V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Ankara, 463-480 (2003).
- Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H., Bekaroğlu, Ş.Ş., “Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri- Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı”, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği*, Isparta, 2009
- Kocaer, F.O, Alkan, U., “Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7 (1): 47-55 (2002).
- Köseoğlu, G., Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Renk Sorununun İleri Aktif Çamurlu Ardışık Kesikli Biyoreaktör İle Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 2004.

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Köseoğlu, H., “Hibrit Siyanürleme ve Yüksek Basıncılı Membran Prosesi İle Madencilik Atıksularından Gümüş Geri Kazanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 2005.
- Köseoğlu, H., Yiğit, N.Ö., Iversen, V., Drews, A., Kraume, M., Kitiş, M., “Katyodik Polimerler Kullanarak Membran Biyoreaktörde (MBR) Tıkanmaların Azaltılması”, *İ.T.Ü. 11. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, İstanbul, 205-211 (2008).
- Krauth, K.H., Staab, K.F., “Pressurized Biomembrane Reactor for Wastewater Treatment”, *Hydrotop*, 94, 555-562 (1994).
- Kurama, H., J. Poetzschke, J., “İçme Sularından Amonyum İyonlarının Uzaklaştırılmasında Membran Filtrasyon Uygulaması”, *Ekoloji*, 11 (42): 45-48 (2002).
- Li Rosi, O., Casarci, M., Mattioli, D., De Florio, L., “Best available technique for water reuse in textile SMEs, (BATTLE LIFE Project)”, *Desalination*, 206: 614-619 (2007).
- Li, A., Kothari, D., Corrado, J.J., 1985, “Application of Membrane Anaerobic Reactor System for the Treatment of Industrial Wastewaters”, *Proc. of the 39<sup>th</sup> Purdue Industrial Waste Conf.*, Lafayette, India, 627-636 (1985).
- Li, N.N., Fane, A.G., Ho, W.S.W., Matsuura, T., “Advanced Membrane Technology And Applications”, *John Wiley & Sons, Inc.*, USA, 2008.
- Magara, Y., Nishimura, K., Itoh, M Tanaka, M., “Biological Denitrification System with Membrane Separation for Collective Human Excreta Treatment Plant”, *Water Science and Technology*, 25 (10): 241–251 (1992).
- Manem J, Sanderson R. “Membrane bioreactors. In: Water treatment: Membrane Processes”, *McGraw-Hill*, New York, 1996
- Metcalf and Eddy, “Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (4<sup>th</sup> internal edition)”, *New York: McGraw-Hill*, 2003.
- Ouyang, K., Liu, J., “Effect Of Sludge Retention Time On Sludge Characteristics And Membrane Fouling Of Membrane Bioreactor”, *Journal of Environmental Sciences*, 21 (10): 1329-1335 (2009).

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U., “Atıksu Arıtımının Esasları”, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, İstanbul, 2005.
- Özyonar, F., Karagözoğlu, B., “Mezbahane Atıksularından KOI, Yağ-Gres ve Bulanıklık Giderimi Üzerine Bir Çalışma: Kimyasal Koagülasyon Prosesiyle Ön Arıtımı”, *C. U. Fen Fakültesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 32 (1): 1-14 (2011).
- Pala, A., Erden, G., “Decolorization Of a Baker’s Yeast İndustry Effluent by Fenton Oxidation”, *Journal of Hazardous Materials*, B127: 141-148 (2005).
- Parlak, N., Gür, M., Engin, T., Küçük, H., “Mikroborularda Tek Fazlı Laminer Su Akışında Viskoz Isınma Etkisinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 31 (2): 1-11 (2011).
- Peng, J., Xue, G., “Mathematical Modeling of Hollow-fiber Membrane System in Biological Wastewater Treatment”, *Systemics, Cybernetics And Informatics*, 4 (1): 47-52 (2006).
- Prigione, V., Tigini, V., Pezzella C., Anastasi, A., Sannia, G., Varese G.C., “Decolourisation And Detoxification Of Textile Effluents By Fungal Biosorption”, *Water Research*, 42: 2911-2920 (2008).
- Rahman, M.M., Al-Malack, M.H., “Biochemical Kinetics of Cross flow Membrane Bioreactor Processes in the Treatment of Refinery Wastewater”, *Int. J. Environ. Res.*, 6 (1): 285-296, Winter (2012).
- Robinson, T. McMullan, G. Marchant, R. and Nigam, “Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Rewiev on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative”, *Bioresource Technology*, 77: 247-255 (2001).
- Ross, W.R., Barnard, J.P., Roux, J.L., Villiers, H.A., “Application of Ultrafiltration Membranes for Solid/Liquid Separation in Anaerobic Digestion Systems: The ADUF Proces”, *Water SA*, 16: 85-91 (1990).
- Roulet, R., “The Treatment of Wastewater Using an Activated Sludge Bioreactor Coupled with an Ultrafiltration Module”, *Proc. of Workshop on Selected Topics on Clean Technology*, Asian Institute of Tech., Bangkok, Thailand, 171-179 (1989)
- Rozzi, A., Antonelli, M., Arcari, M., “Membrane Treatment of Secondary Textile Effluents For Direct Reuse”, *Water Science and Technology*, 40(4-5): 409-416 (1999).

- Sabır, E.C., Sarpkaya, Ç., “Haşıl Prosesinin Önemi, Maliyet Analizi, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri”, *TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası Tekstil ve Mühendis Dergisi*, 83:8-13 (2011).
- Salt, Y., Dinçer, S., , “Özel Ayırma İşlemlerinde Bir Seçenek: Membran Prosesleri”, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma, 4 (2006).
- Samsunlu, A., “Atıksuların Arıtılması”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 2006.
- Samsunlu, A., “Çevre Mühendisliği Kimyası”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 2008.
- Sarıoğlu, M.M., “Carbon and Nitrogen Removal in Municipal and Industrial Wastewater Using Membrane Bioreactors”, M.Sc, *Istanbul Technical University Institute of Science and Technology*, İstanbul, 2007
- Savin, I.-I, B, B., Romen., “Wastewater Characteristics In Textile Finishing Mills”, *Environmental Engineering and Management Journal*, 7 (6): 859-864 (2008).
- Serindağ, O., Halefoğlu Y.Z., “Tekstil Kimyası”, *Nobel Tıp Kitabevi*, Adana, 2003.
- Shim, J.K., Yoo, I.K., Lee, Y.M., “Design and Operation Considerations For Wastewater Treatment Using A Flat Submerged Membrane Bioreactor”, *Process Biochemistry*, 38 (2): 279-285 (2002)
- Söğüt, O.Ö, Gümüş, D., Akgün, M., “Tekstil Atıksularının Arıtılmasına Alternatif Çözüm: Süperkritik Su Oksidasyonu”, *İ.T.Ü. 11. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 99-105 (2008).
- Stephenson, T., Simon, J., Jefferson, B., Brindle, K., “Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment”, *IWA Publishing*, London, England, 2000.
- Şen, Ş., “Kullanım Suları ve Atıksu Arıtma Sistemleri Tanıtımı, İşletilmesi”, *Çevre Enerji Kongresi Antalya Sempozyumu*, Antalya, 176-179 (1997).
- Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U., “AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüklerinin Araştırılması”, *BAÜ FBE Dergisi*, 10 (2): 3-12 (2008).
- Turan, M., Turan, A.Z., Cabiri, A., “Farklı İşletme Şartlarında Atıksu Arıtımında Membran Biyoreaktörlerin Kullanımının Değerlendirilmesi”, *İ.T.Ü. 12. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, İstanbul, 183-190 (2010).

**KAYNAKLAR (devam ediyor)**

- Ucun, H., Yıldız, E., Nuhoğlu, A., “Atıksuların Arıtılmasında Jet Loop Biyoreaktörler”, *İ.T.Ü. 11. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, İstanbul, 491-494 (2008).
- Ueda, T., Hata, K., Kikuoka, Y., “Treatment of Domestic Sewage from Rural Settlements by a Membrane Bioreactor”, *Water Science and Technology*, 34(9): 189-196 (1996).
- Ueda, T., Hata, K., Kikuoka, Y., Seino, O., “Effects of Aeration on Suction Pressure in A Submerged Membrane Bioreactor”, *Water Research.*, 31(3): 489-494 (1997).
- Uygur, A., Kargı, F., Başkaya, H.S., “Ardışık Zamanlı Kesikli Biyo-Reaktörde Biyolojik Nutrient Gideriminde Hidrolik Alıkonma Süresinin Optimizasyonu”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9 (1): 161-169 (2004).
- Wen, G., Ma, J., Zhang, L., Yu, G., “Membrane Contactors and Integrated Membrane Operations”, *Comprehensive Membrane Science and Engineering*, Drioli, E., Giorno, L., Elsevier, 1-257 (2010).
- Wu, J., Wang, T., “Ozonation of Aqueous Azo Dye In a Semi-Batch Reactor”, *Water Research*, 35 (4): 1093-1099 (2001).
- Xu, X.R., Li, H.B., Wang, W.H., Gu, J.D., “Degradation of dyes in aqueous solutions by the Fenton process”, *Chemosphere*, 57: 595-600 (2004).
- Yıldız, M.N., Alan, İ., “Sıvıların İndüksiyonla Isıtılması”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2: 45-50 (2006).
- Yılmaz, K., “Tekstil Endüstrisi Atıksularının Magnezyum Flokülasyonu İle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 2010.
- Yiğit, N.Ö., “Membran Biyoreaktörü İle (MBR) Evsel Atıksu Arıtımı”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 2007.
- Yoona, S.H., Kimb, H.S., Yeomb, I.T., “The Optimum Operational Condition of Membrane Bioreactor (MBR): Cost Estimation of Aeration and Sludge Treatment”, *Water Research*, 38 (1): 37-46 (2004).

**KAYNAKLAR (devam ediyor)**

Yusuff, R.O., Sonibare, J.A., "Characterization Of Textile Industries' Effluents In Kaduna, Nigeria And Pollution Implication", *Global Nest*, Int. J., 6 (3): 212-221 (2004).

## ÖZGEÇMİŞ

### **Kişisel Bilgiler**

Adı Soyadı : Kadir ÖZAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Pazaryeri, 02.01.1975

### **Eğitim Durumu**

Lisans Öğrenimi : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uşak Mühendislik Fakültesi,  
Tekstil Mühendisliği (2000)

### **İş Deneyimi**

Çalıştığı Kurumlar : 1) Dumlupınar Üniversitesi, Pazaryeri Meslek Yüksekokulu  
(2000-2007)  
2) Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Pazaryeri Meslek  
Yüksekokulu (2007-)

### **İletişim**

Adres : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Pazaryeri Meslek  
Yüksekokulu,  
Pazaryeri, BİLECİK  
Tel: : 0 228 214 16 45  
E-Posta Adresi : kadir.ozan@bilecik.edu.tr

**Tarih:** / /

**İmza**