

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOLOJİK ÖN ARITMALI MEMBRAN SİSTEMLER  
İLE TEKSTİL ATIKSULARININ GERİ KAZANIMI**

Çevre Yük. Müh. Gül KAYKIOĞLU

**Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanan**

**DOKTORA TEZİ**

|                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| <b>Tez Savunma Tarihi</b>   | : 04 Mart 2010                   |
| <b>Tez Danışmanı</b>        | : Yrd. Doç. Dr. Eyüp DEBİK (YTÜ) |
| <b>İkinci Tez Danışmanı</b> | : Doç Dr. İsmail KOYUNCU (İTÜ)   |
| <b>Jüri Üyeleri</b>         | : Prof. Dr. Ahmet DEMİR (YTÜ)    |
|                             | : Prof. Dr. Cumali KINACI (İTÜ)  |
|                             | : Prof. Dr. Recep İleri (SÜ)     |
|                             | : Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKÇI (YTÜ) |

**İSTANBUL, 2010**

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                           | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                                                       | iv    |
| KISALTMA LİSTESİ.....                                                                     | v     |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                        | viii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                                     | xi    |
| ÖNSÖZ.....                                                                                | xiii  |
| ÖZET.....                                                                                 | xiv   |
| ABSTRACT .....                                                                            | xv    |
| 1. GİRİŞ.....                                                                             | 1     |
| 1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....                                                      | 2     |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....                                                             | 4     |
| 2.1 Tekstil Endüstrisi Atıksuları .....                                                   | 4     |
| 2.2 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyarmadde Çeşitleri ve Çevresel Etkileri.....       | 6     |
| 2.3.1 Anaerobik Sistemlerin İşletmeye Alınması ve Proses Kontrolü .....                   | 10    |
| 2.3.2 Anaerobik Arıtma Sistemleri ve Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör (SGYAR) ..... | 14    |
| 2.3.3 Renk Gideriminde Anaerobik Reaktör Kullanımı.....                                   | 18    |
| 2.4 Membran Prosesler .....                                                               | 22    |
| 2.4.1 Sürücü Kuvveti Basınç Olan Membran Prosesler .....                                  | 23    |
| 2.4.1.1 Mikrofiltrasyon (MF).....                                                         | 23    |
| 2.4.1.2 Ultrafiltrasyon (UF) .....                                                        | 24    |
| 2.4.1.3 Nanofiltrasyon (NF) .....                                                         | 25    |
| 2.4.1.4 Ters osmoz (RO) .....                                                             | 26    |
| 2.4.2 Membran Performansı .....                                                           | 27    |
| 2.4.2.1 Akı .....                                                                         | 27    |
| 2.4.2.2 Giderme Verimi.....                                                               | 29    |
| 2.4.3 Konsantrasyon Polarizasyonu ve Tıkanma .....                                        | 29    |
| 2.4.3.1 Konsantrasyon Polarizasyonu .....                                                 | 30    |
| 2.4.3.2 Membran Tıkanması.....                                                            | 33    |
| 2.4.4 Atıksu Geri Kazanımında Membran Uygulamaları .....                                  | 33    |
| 3. DENEYSEL ÇALIŞMA .....                                                                 | 41    |
| 3.1 Deney Tesisatları ve Deneylerin Yapılışı .....                                        | 41    |
| 3.1.1 Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktörün Dizaynı ve İşletilmesi .....               | 41    |
| 3.1.2 Membran Sisteminin Kurulumu ve İşletmeye Alınması .....                             | 43    |
| 3.2 Denemelerde Kullanılan Atıksular .....                                                | 46    |
| 3.2.1 Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksuyu .....                                           | 46    |
| 3.2.2 Aerobik Arıtma Tesisi Çıkış Suyu .....                                              | 49    |
| 3.2.3 Laboratuvar Ölçekli SGYAR'e Ait Çıkış Suyu .....                                    | 50    |
| 3.3 İzlenen Parametreler .....                                                            | 50    |
| 3.4 Deneysel Çalışma Sistematigi.....                                                     | 51    |

|         |                                                                                                                                          |     |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.      | DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME.....                                                                                                    | 53  |
| 4.1     | SGYAR'ın Arıtma Performansı Sonuçları.....                                                                                               | 53  |
| 4.2     | Membran Çalışması Sonuçları .....                                                                                                        | 58  |
| 4.2.1   | SGYAR Çıkış Suyunun Membran Çalışması Sonuçları .....                                                                                    | 58  |
| 4.2.1.1 | 48 Saat Hidrolik Bekletme Süreli SGYAR Çıkış Suyunun Membran Çalışması Sonuçları .....                                                   | 58  |
| 4.2.1.2 | 24 Saat Hidrolik Bekletme Süreli SGYAR Çıkış Suyunun Membran Çalışması Sonuçları .....                                                   | 62  |
| 4.2.2   | Aerobik Arıtma Çıkış Suyunun Membran Çalışması Sonuçları .....                                                                           | 71  |
| 4.2.3   | Arıtılmamış Tekstil Atıksuyunun Membran Çalışması Sonuçları .....                                                                        | 80  |
| 4.3     | Geri Kazanım Değerlendirmesi.....                                                                                                        | 83  |
| 4.4     | Uzun Süreli Membran Denemeleri.....                                                                                                      | 85  |
| 4.4.1   | Süzüntü Sularındaki Giderme Verimleri .....                                                                                              | 91  |
| 5.      | KÜTLE TRANSFER KATSAYISININ BELİRLENMESİ.....                                                                                            | 97  |
| 5.1     | SGYAR (HBS= 24 saat) ve Aerobik Arıtma Tesisi Çıkış Suları İçin Membran Çalışması Sonucunda Elde Edilen Kütle Transfer Katsayıları ..... | 99  |
| 6.      | SONUÇ.....                                                                                                                               | 104 |
|         | KAYNAKLAR.....                                                                                                                           | 107 |
|         | ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                                                            | 116 |

## SİMGE LİSTESİ

|                     |                                     |
|---------------------|-------------------------------------|
| $\Delta P$          | Membrandaki basınç farkı            |
| $\Delta C$          | Konsantrasyon farkı                 |
| $\Delta T$          | Sıcaklık farkı                      |
| $\Delta E$          | Elektriksel potansiyel farkı        |
| $R$                 | Giderme verimi                      |
| $R_{göz}$           | Gözlenen giderme verimi             |
| $R_{gerçek}$        | Gerçek giderme verimi               |
| $J$                 | Akı                                 |
| $\mu$               | Akışkanın vizkozitesi               |
| $R_m$               | Membranın hidrolik direnci          |
| $L_v$               | Suyun geçirimlilik katsayısı        |
| $\Delta\pi, J_{ss}$ | Ozmotik basınç farkı                |
| $C_p$               | Süzüntü akımı konsantrasyonu        |
| $C_f$               | Besleme çözeltisinin konsantrasyonu |
| $C_m$               | Membran yüzeyindeki konsantrasyon   |
| $R_{cp}$            | Konsantrasyon polarizasyonu direnci |
| $R_g$               | Jel polarizasyonu direnci           |
| $R_p$               | Gözeneklerin tıkanma direnci        |
| $R_a$               | Adsorplanma direnci                 |
| $\delta$            | Sınır tabakası kalınlığı            |
| $D$                 | Difüzyon katsayısı                  |
| $k, B_s$            | Kütle transfer katsayısı            |
| $\sigma$            | Yansıtma katsayısı                  |

## KISALTMA LİSTESİ

|                                |                                           |
|--------------------------------|-------------------------------------------|
| KOİ                            | Kimyasal Oksijen İhtiyacı                 |
| KOİ <sub>gid</sub>             | Giderilen Kimyasal Oksijen İhtiyacı       |
| BOİ                            | Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı             |
| UYA                            | Uçucu Yağ Asitleri                        |
| TP                             | Toplam Fosfor                             |
| AKM                            | Askıda Katı Madde                         |
| HBS                            | Hidrolik Bekletme Süresi                  |
| HÇYR                           | Havasız Çamur Yataklı Reaktör             |
| UAKM                           | Uçucu Askıda Katı Madde                   |
| ATP                            | Adenozin trifosfat                        |
| ADP                            | Adenozin difosfat                         |
| SGYAR                          | Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör    |
| BTU                            | İngiliz termal birimi, 1 BTU = 0,293 Watt |
| E. coli                        | Escheria coli                             |
| $NH_4^+$                       | Amonyum iyonu                             |
| NH <sub>3</sub>                | Amonyak                                   |
| HAc                            | Asetik Asit                               |
| Y                              | Biyokütle dönüşüm hızı                    |
| F/M                            | Besin/Mikroorganizma oranı                |
| AKR                            | Ardışık Kesikli Reaktör                   |
| AKAR                           | Ardışık Kesikli Anaerobik Reaktör         |
| $HS^-$                         | Bisülfid                                  |
| N <sub>2</sub>                 | Azot                                      |
| P                              | Fosfor                                    |
| NO <sub>3</sub>                | Nitrat                                    |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  | Hidrojen Peroksit                         |
| CaCO <sub>3</sub>              | Kalsiyum Karbonat                         |
| SO <sub>4</sub>                | Sülfat                                    |
| H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Fosforik Asit                             |
| Na <sup>+</sup>                | Sodyum                                    |
| K <sup>+</sup>                 | Potasyum                                  |
| Mg <sup>+2</sup>               | Magnezyum                                 |
| S                              | Kükürt                                    |

|                    |                                           |
|--------------------|-------------------------------------------|
| Ni                 | Nikel                                     |
| Co                 | Kobalt                                    |
| Mo                 | Molibden                                  |
| Se                 | Selenyum                                  |
| W                  | Tungsten                                  |
| FeCl <sub>2</sub>  | Demir Klorür                              |
| CoCl <sub>2</sub>  | Kobalt Klorür                             |
| NiCl <sub>2</sub>  | Nikel Klorür                              |
| NaOH               | Sodyum Hidroksit                          |
| NaHCO <sub>3</sub> | Sodyum Bikarbonat                         |
| HCO <sub>3</sub>   | Bikarbonat                                |
| AOX                | Adsorplanabilen Klorlu Organik Bileşikler |
| MF                 | Mikrofiltrasyon                           |
| UF                 | Ultrafiltrasyon                           |
| NF                 | Nanofiltrasyon                            |
| RO                 | Ters osmoz                                |
| PTFE               | Politetrafluoroetilen                     |
| PVK                | Polivinilklorür                           |
| PAN                | Poliakrilonitril                          |
| PVA                | Polivinilalkol                            |
| PS                 | Polisülfon                                |
| PES                | Poliethersülfon                           |
| CA                 | Selüloz Asetat                            |
| CTA                | Selüloz Triasetat                         |
| PA                 | Poliamid                                  |
| MWCO               | Moleküler Ağırlık Engeleme Sınırı         |
| TDS                | Toplam Çözünmüş Katı Madde                |
| TOC                | Toplam Organik Karbon                     |
| Na <sup>+</sup>    | Sodyum                                    |
| Cl <sup>-</sup>    | Klorür                                    |
| Ca <sup>+2</sup>   | Kalsiyum                                  |
| CO <sub>3</sub>    | Karbonat                                  |
| NTU                | Bulanıklık birimi                         |
| NaCl               | Sodrumklorür                              |

|      |                                                    |
|------|----------------------------------------------------|
| PACl | Polialuminum Klorit                                |
| NF10 | Macrodyn-Nadir NP010 tipi nanofiltrasyon membranı  |
| NF30 | Macrodyn-Nadir NP030 tipi nanofiltrasyon membranı  |
| UF10 | Macrodyn-Nadir UC010 tipi ultrafiltrasyon membranı |
| UF30 | Macrodyn-Nadir UC030 tipi ultrafiltrasyon membranı |

## ŞEKİL LİSTESİ

|           | Sayfa                                                                                                                                                                                    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 2.1 | Anaerobik arıtma sürecinin safhaları ..... 8                                                                                                                                             |
| Şekil 2.2 | Anaerobik reaktör tipleri ..... 15                                                                                                                                                       |
| Şekil 2.3 | SGYAR'ın şematik görünüşü ..... 16                                                                                                                                                       |
| Şekil 2.4 | Membran ile arıtmanın şematik gösterimi ..... 23                                                                                                                                         |
| Şekil 2.5 | Osmoz olayının şematik gösterimi ..... 26                                                                                                                                                |
| Şekil 2.6 | Uygulanan basınca göre akının davranışı ..... 27                                                                                                                                         |
| Şekil 2.7 | Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri ..... 30                                                                                                                                  |
| Şekil 2.8 | Membran yüzeyinde konsantrasyon profili ..... 31                                                                                                                                         |
| Şekil 3.1 | Krom çelikten yapılmış anaerobik reaktör ..... 41                                                                                                                                        |
| Şekil 3.2 | SGYAR'ın şematik diyagramı ..... 42                                                                                                                                                      |
| Şekil 3.3 | Membran prosesinin akım şeması ..... 43                                                                                                                                                  |
| Şekil 3.4 | Membran deney tesisatı ..... 44                                                                                                                                                          |
| Şekil 3.5 | Kirlenmiş membran görüntüsü ..... 45                                                                                                                                                     |
| Şekil 3.6 | Distile suyu ile membranın kararlı hale gelmesi sırasında elde edilen basınç akı ilişkisi ..... 46                                                                                       |
| Şekil 3.7 | Çalışmada atıksuyu kullanılan tekstil fabrikasına ait proses akım şeması ..... 47                                                                                                        |
| Şekil 4.1 | SGYAR çıkışında elde edilen KOİ ve renk giderme verimleri ..... 53                                                                                                                       |
| Şekil 4.2 | SGYAR çıkışında pH değerinin haftalara göre değişimi ..... 57                                                                                                                            |
| Şekil 4.3 | SGYAR çıkışında alkalinite değerinin haftalara göre değişimi ..... 57                                                                                                                    |
| Şekil 4.4 | SGYAR ile 48 saat hidrolik bekletme süresinde arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçlarında süzüntü akısının zamana bağlı değişimi ..... 59                                 |
| Şekil 4.5 | SGYAR'de 48 saat hidrolik bekletme süresi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları ..... 60                                                                           |
| Şekil 4.6 | SGYAR ile 48 saat hidrolik bekletme süresi sonunda elde edilen çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen giderme verimleri ..... 62                                          |
| Şekil 4.7 | SGYAR ile 24 saat hidrolik bekletme süresinde arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçlarında süzüntü akısının zamana bağlı değişimi ..... 63                                 |
| Şekil 4.8 | SGYAR'de 24 saat hidrolik bekletme süresi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10, UF10+NF10 ve UF30+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri ..... 65 |



|            |                                                                                                                                                                                      |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.9  | SGYAR’de 24 saat hidrolik bekletme süresi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF30, UF10+NF30 ve UF30+NF30 uygulaması sonucunda akı değişimleri..... | 65 |
| Şekil 4.10 | SGYAR’ün 24 saat hidrolik bekletme süreli çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen KOİ giderme verimleri.....                                                         | 66 |
| Şekil 4.11 | SGYAR’ün 24 saat hidrolik bekletme süreli çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen renk giderme verimleri.....                                                        | 67 |
| Şekil 4.12 | SGYAR’ün 24 saat hidrolik bekletme süreli çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen iletkenlik giderme verimleri.....                                                  | 68 |
| Şekil 4.13 | Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun farklı membran basınçlarında süzüntü akısının zamana bağlı değişimi .....                                                       | 72 |
| Şekil 4.14 | Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10, UF10+NF10 ve UF30+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri .....   | 73 |
| Şekil 4.15 | Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF30, UF10+NF30 ve UF30+NF30 uygulaması sonucunda akı değişimleri .....   | 74 |
| Şekil 4.16 | Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun membran uygulamaları sonucunda elde edilen KOİ giderme verimleri.....                                       | 75 |
| Şekil 4.17 | Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun membran uygulamaları sonucunda elde edilen renk giderme verimleri.....                                      | 76 |
| Şekil 4.18 | Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun membran uygulamaları sonucunda elde edilen iletkenlik giderme verimleri .....                               | 77 |
| Şekil 4.19 | Arıtılmamış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçlarında süzüntü akısının zamana bağlı değişimi .....                                                                            | 80 |
| Şekil 4.20 | Arıtılmamış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10 ve UF10+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri.....                                                        | 81 |
| Şekil 4.21 | Arıtılmamış tekstil atıksuyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen giderme verimleri .....                                                                                    | 82 |
| Şekil 4.22 | Uzun süreli membran deneyleri sonucunda elde edilen akılar (10 bar, 300 L/st) .....                                                                                                  | 86 |
| Şekil 4.23 | NF10 ve NF30 deneyleri için 96 saat içerisinde meydana gelen akıdaki azalmanın mukayesesi.....                                                                                       | 88 |

|            |                                                                                                                                                                                                |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.24 | Aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun NF10 ve NF30 membranları ile uzun süreli deneyleri sırasında elde edilen akı azalması verilerinin karşılaştırılması.....                                   | 90 |
| Şekil 4.25 | Anerobik reaktör çıkış suyunun NF10 ve NF30 membranları ile uzun süreli deneyleri sırasında elde edilen akı azalması verilerinin karşılaştırılması.....                                        | 90 |
| Şekil 4.26 | Aerobik arıtma tesisi çıkış sularının NF10 ile uzun süreli çalışılması sonucunda elde edilen besleme ve süzüntü numunelerindeki KOİ, renk ve iletkenlik değerleri .....                        | 92 |
| Şekil 4.27 | Aerobik arıtma tesisi çıkış sularının NF30 ile uzun süreli çalışılması sonucunda elde edilen besleme ve süzüntü numunelerindeki KOİ, renk ve iletkenlik değerleri .....                        | 93 |
| Şekil 4.28 | Laboratuvar ölçekli anaerobik reaktör (SGYAR) çıkış sularının NF10 ile uzun süreli çalışılması sonucunda elde edilen besleme ve süzüntü numunelerindeki KOİ, renk ve iletkenlik değerleri..... | 94 |
| Şekil 4.29 | Laboratuvar ölçekli anaerobik reaktör (SGYAR) çıkış sularının NF30 ile uzun süreli çalışılması sonucunda elde edilen besleme ve süzüntü numunelerindeki KOİ, renk ve iletkenlik değerleri..... | 95 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

|             |                                                                                                                                                          |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 | Tekstil atıksularındaki başlıca kirlilik tipleri, kaynakları ve biyolojik arıtmadaki temel etkileri .....                                                | 5  |
| Çizelge 2.2 | Anaerobik arıtmada önemli bazı iz elementlerin konsantrasyonları .....                                                                                   | 12 |
| Çizelge 2.3 | Tekstil boyar maddelerinin gideriminde farklı anaerobik proseslerin performansı.....                                                                     | 22 |
| Çizelge 2.4 | Basınç sürücülü membran proseslerin özellikleri .....                                                                                                    | 23 |
| Çizelge 2.5 | Basınç kuveti altında çalışan membranlara ait, membran direnci ve basınç farklılığı değerleri .....                                                      | 28 |
| Çizelge 3.1 | Kullanılan membranlara ait teknik bilgiler .....                                                                                                         | 45 |
| Çizelge 3.2 | Distile suyu için membranların geçirimsilik katsayısı değerleri (Lp).....                                                                                | 46 |
| Çizelge 3.3 | Çalışmada atıksuyu kullanılan fabrikanın üretim ve atıksu miktarının alt prosesler bazında genel değerlendirilmesi .....                                 | 48 |
| Çizelge 3.4 | Çalışmada atıksuyu kullanılan tekstil endüstrisinin genel özellikleri.....                                                                               | 49 |
| Çizelge 3.5 | Çalışmada kullanılan pamuklu tekstil endüstrisi atıksuyunun karakteristikleri.....                                                                       | 49 |
| Çizelge 3.6 | Fabrikada mevcut arıtma tesisi çıkış suyu karakteristikleri .....                                                                                        | 50 |
| Çizelge 3.7 | Membran sistemle çalışma sistematigi ( Debi= 300 L/st; pH=7).....                                                                                        | 51 |
| Çizelge 4.2 | SGYAR’de hidrolik bekletme sürelerine göre elde edilen veriler .....                                                                                     | 56 |
| Çizelge 4.3 | Membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akışının artışı .....                                                                 | 59 |
| Çizelge 4.4 | SGYAR ile 48 saat hidrolik bekletme süresi sonunda elde edilen çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları ..... | 61 |
| Çizelge 4.5 | Membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akışının artışı .....                                                                 | 64 |
| Çizelge 4.6 | SGYAR ile 24 saat hidrolik bekletme süresi sonunda elde edilen çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları ..... | 69 |
| Çizelge 4.7 | Membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akışının artışı .....                                                                 | 71 |
| Çizelge 4.8 | Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları.....                          | 78 |

|              |                                                                                                                                            |     |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 4.9  | Tekstil atıksuyu için membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akısının artışı .....                             | 81  |
| Çizelge 4.10 | Arıtılmamış tekstil atıksuyunun membran çalışması sonucunda elde edilen analiz sonuçları.....                                              | 83  |
| Çizelge 4.11 | Literatüre göre tekstil endüstrisinde tekrar kullanılabilir suyun karakteristikleri.....                                                   | 84  |
| Çizelge 4.12 | Uzun süreli denemelerde elde edilen akılarının mukayesesi .....                                                                            | 87  |
| Çizelge 4.13 | Uzun süreli membran deneylerinde performans belirlenmesinde kullanılan eşitlikler .....                                                    | 88  |
| Çizelge 4.14 | Uzun süreli deneylerde elde edilen akı azalması, konsantrasyon polarizasyonu ve membran tıkanması.....                                     | 89  |
| Çizelge 5.1  | SGYAR (HBS= 24 saat) ile anaerobik olarak arıtılmış tekstil atıksuyu için 1/R ve 1/J grafiğinden elde edilen kütle transfer katsayısı..... | 101 |

## ÖNSÖZ

Doktora çalışmam boyunca bana destek olan, bilimsel araştırma prensipleri konusunda bana her türlü disiplini ve eğitimi vermeye çalışan, ileriki yaşamımda da kendime örnek almaktan mutluluk duyacağım; kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Eyüp DEBİK'e saygı ve şükranlarımı sunarım. Eşsiz bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen eş danışmanım Sayın Doç. Dr. İsmail KOYUNCU'ya, yine yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ahmet DEMİR ve Prof. Dr. Cumali KINACI'ya sonsuz teşekkürler ederim.

Doktora çalışmam süresince birlikte çalıştığımız ve birlikteliğimizden büyük keyif aldığım sevgili arkadaşlarım Çevre Yük. Müh. Aslı ÇOBAN'a ve Beril KAYACAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bana türlü zorluğun üstesinden gelmeyi öğretene, hangi durumda olursa olsun yardımlarını, desteklerini benden esirgemeyen ve her zaman onlara layık olmaya çalıştığım canım anneme, babama, kayınvalideme ve kardeşim Dr. Gürkan GÜRBÜZ'e sonsuz saygı, sevgilerimi sunar, teşekkürler ederim.

Sevgisini ve desteğini daima hissettiğim ve çalışmam boyunca gösterdiği özverilerin karşısında teşekkürün az geleceğine emin olduğum kıymetli eşim Dinçer KAYKIOĞLU'na ve de yaşamıyla hayat bulduğum bir tanecik canım oğlum Ata'ya yürek dolusu sevgilerimi ve şükranlarımı sunarım.

Bu tez oluşturulurken akademik çalışmaların yapılabilmesi için gerekli mali destek, TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y060 no'lu proje ve YTÜ-BAP (27-05-02-02) tarafından sağlanmıştır.

Gül KAYKIOĞLU

## ÖZET

Yapılan çalışmada, pamuklu tekstil endüstrisi dokunmuş kumaş terbiyesinden kaynaklanan atıksulardan renk ve KOİ giderimi ile suyun fabrikada tekrar kullanımının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör (SGYAR) kullanılarak pamuklu tekstil endüstrisine ait atıksularının 48 saat hidrolik bekleme süresi ve 1 kg/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemesi sonucunda maksimum KOİ ve renk giderimi sırasıyla, %72 ve %61 olarak elde edilmiştir. 24 saat hidrolik bekleme süresi ve 1,7 kg/m<sup>3</sup>.gün organik yükleme oranı sonucunda ise maksimum KOİ ve renk giderimi sırasıyla, %74 ve %57 olarak belirlenmiştir.

SGYAR çıkışından elde edilen sular UF ve NF membranlarla çalışılmış olup, literatürde belirtilen tekstil endüstrisi için tekrar kullanım limitlerini 24 saat hidrolik bekleme sürelili çalışmada yalnızca iletkenlik parametresi için az miktarda aşmış, KOİ ve renk parametreleri için sınır değerler içerisinde kalmıştır. Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suları da membran sistemlerle çalışılmış ve SGYAR'e benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, aerobik çıkış suları membran sistemden geçirildiğinde KOİ, renk ve iletkenlik parametreleri bakımından tekstil endüstrisinde herhangi bir amaçla kullanım limitleri içerisinde bulunmuştur. Diğer taraftan, hiçbir arıtmaya tabi tutulmamış tekstil endüstrisi atıksuyunun membran çalışması sonucunda tekrar kullanım için uygun sonuçlar elde edilememiştir.

Anaerobik ve aerobik olarak arıtılmış tekstil atıksuyunun NF10 ve NF30 membran kullanılarak uzun süreli filtrasyon çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda NF10 membran ile 24 saat sonunda yüksek akı azalmalarının meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum, membran gözeneklerinde çözünmüş organik maddelerin adsorplanması ile açıklanmaktadır. Bu durum, membran gözeneklerinde çözünmüş organik maddelerin adsorplanması ile açıklanabilmektedir. Bu çalışmada, süzüntü kalitesi ve akı bakımından, NF30'un geri kazanım için daha uygun olduğu söylenebilmektedir. Bu durum, kütle transfer katsayısı (Bs) hesaplanması ile de desteklenmiş ve NF30'un, özellikle KOİ ve iletkenlik giderme verimi bakımından NF10'a göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.

SGYAR pamuklu tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında, ekonomik oluşu, yüksek renk giderimi elde edilmesi ve diğer anaerobik reaktörlere göre düşük alıştırma dönemi gerekliliği gibi sebeplerle başarılı olarak değerlendirilmiştir. SGYAR'ün membran kombinasyonu ile kullanılması halinde arıtılmış tekstil atıksularının direkt tekstil endüstrisi proseslerinde olmasa da, başka çeşitli maksatlar için tekrar kullanımının mümkün olabileceği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Anaerobik arıtma, aerobik arıtma, membran sistemler, tekstil atıksuyu, geri kazanım, KOİ, renk

## ABSTRACT

In this study, reuse of wastewaters which originated from cotton textile industry is evaluated in terms of COD and color removal.

By using Static Granular Bed Reactor (SGBR); cotton textile industry wastewaters were treated with 72% COD and 61% color removal in 48 hour hydraulic retention time and 1 kg/m<sup>3</sup>.day organic load. After 24 hour hydraulic retention time and 1,7 kg/m<sup>3</sup>.day organic load; maximum COD and color removal has been observed as respectively 74% and 57%.

SGBR effluents which are studied in UF and NF membranes, it is determined that COD and color parameters are in limiting values for reuse of textile industry effluents according to the literature in 24 hour hydraulic retention time study. However, conductivity parameter is a little exceed. Similar results had been established for effluents from existing treatment plant in factory, which is an SBR system, and it is found to be in limiting values for any reuse intend in textile industry in terms of COD, color and conductivity parameters. After membrane studies for raw textile effluents, it is found out that the results are over valued for any reuse actions in textile industry.

Long-term experiment of aerobically and anaerobically pre-treated textile wastewater by NF10 and NF30 membranes have been also made. High flux decrease were identified at the end of 24 hours in the experiment by NF10. This situation in the membrane pores can be explained by adsorption of dissolved organic matters. In this study, NF30 can be said to be the more appropriate for reuse, permeate quality and flux in terms. This case, mass transfer coefficient (Bs) is also supported by calculation and removal rates of NF30, especially in terms of COD and conductivity were determined to be better to NF10.

SGBR is evaluated as successful to treat textile industry wastewaters due to this reasons; being affordable, high color removal and having lower breaking period according to other anaerobic reactors. By pretreatment and membrane combination, textile effluent can be reused in textile industry processes.

**Key words:** Anaerobic treatment, aerobic treatment, membrane systems, textile effluents, recycle, COD, color

## 1. GİRİŞ

Nüfus artışıyla birlikte endüstriyel alanlardaki yoğunlaşmalar artmakta, buna bağlı olarak hem su kullanımı hem de suların kirlenme ihtimali yükselmektedir. Bu sebeplerle, günümüzde atıksuların arıtılması konusunda daha sıkı çevre mevzuatları uygulanmaya başlanmış ve hatta atıksuların tekrar kullanımı ve geri kazanımı çalışmaları hız kazanmıştır.

Günümüzde, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde endüstriyel atıksulardan rengin azaltılması ve hatta atıksuların endüstriyel tesisin herhangi bir prosesinde tekrar kullanılabilmesi konusunda teşvikler yapılmakta ve bu konudaki çalışmalara ağırlık verilmektedir. Bu sebeple, fiziko-kimyasal, biyolojik metodlar ve bunların kombinasyonları gibi yeni atıksu arıtım metodları ile ilgili çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

### 1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Sınırlı olan temiz su kaynaklarının aşırı tüketimi ve üretimde kullanılan bu suyun atıksu şeklinde kontrolsüz olarak alıcı ortamlara deşarjı önemli çevresel etkilere sebep olmaktadır. Bu sebeple, atıksuların deşarj edilmeden önce uygun arıtma yöntemleriyle arıtılması gerekmektedir (De Floria vd., 2005). Fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri, tekstil endüstrisinden kirlilik konsantrasyonunun azaltılması ya da elimine edilmesi için kullanılmakta ve kanunların sınırladığı deşarj limitlerine uygun kalitede su deşarj edebilmektedir. Ancak, bu tip arıtmalar prosesin hiçbir basamağında suyun tekrar kullanımına izin vermemektedir. Biyolojik olarak arıtılmış tekstil atıksuyunda hala önemli miktarda kirleticiler bulunmaktadır. Bunlar, askıda katılar, KOİ, BOİ, yüksek pH ve oldukça güçlü renktir (Lopes vd., 2005; Marcucci vd., 2002; Fersi vd., 2005).

Tekstil endüstrisinde, özellikle de tekstil son işlemlerinde yıkama, ağartma, baskı, boyama gibi tekstil üretim proseslerinde yüksek kalitede su gereksinimi önemli bir faktördür. Tekstil firmaları genellikle yeterli su kaynağı bulamama sıkıntısı yaşamaktadırlar. Gelecekte, tekstil fabrikalarının birçoğu temiz su elde edebilmek için tekrar kullanımın gerekliliği ile karşılaşacaktır. Ancak geleneksel olarak kullanılan metotlarla istenilen su kalitesi elde edilememekte (Fersi vd., 2005) olup, daha ileri teknolojilerin düşük maliyetle kullanımı araştırılmaktadır.

Ülkemizde önümüzdeki yıllarda atıksulardan renk gideriminin zorunlu tutulması ihtimali yüksektir. Ayrıca, su kıtlığı, sıkı kanunlar ve su maliyetinin artması, atıksuların tekrar kullanımına karşı olan ilgiyi her geçen gün daha da arttırmaktadır.



Günümüzde, yoğun renk ve kirlilik yüküne sahip tekstil atıksularının arıtılması için daha çok aktif çamur sistemleri kullanılmaktadır. Ancak aktif çamur sistemleri, çamur kabarması, aşırı çamur üretimi, havalandırma için yüksek enerji ihtiyacı gibi olumsuzlukların dışında, atıksudaki rengin gideriminde de başarılı olamamaktadır. Ayrıca anaerobik arıtma sistemleri ile yapılan çalışmalara göre, tekstil atıksularından konvansiyonel yöntemlerle giderilemeyen yoğun renginin, yüksek verimle giderilebildiği görülmektedir. Bu sebeple, sabit granül yataklı anaerobik reaktör (SGYAR) ile tekstil atıksularının özellikle renk ve KOİ giderimi üzerinde çalışılmıştır. SGYAR ile daha önce birkaç atıksu ile çalışılmış olmakla birlikte, gerçek ölçekte uygulaması bulunmamaktadır. SGYAR sistemiyle yapılan önceki çalışmalarda, yüksek KOİ içeren atıksuların arıtımında yüksek giderme verimlerinin elde edilmesine dayanarak, çalışmada kullanılacak tekstil atıksuyu için de yüksek KOİ giderme verimine erişilebileceği düşünülmüştür.

Çalışmada, suların geri kazanımında kullanılan membran sistemlerin, SGYAR sisteminin ardından uygulanması ile tekstil atıksularının işletmede tekrar kullanılabilecek duruma getirilmesi araştırılmıştır. Böylece, tekstil endüstrileri için büyük miktarlarda ve kaliteli su ihtiyacı, ekonomik ve ekolojik anlamda karşılanmış olacaktır.

Çalışmanın amacı, dokunmuş kumaş terbiyesi sanayinden kaynaklanan atıksulardan renk ve KOİ gideriminin anaerobik şartlarda sağlanabilmesi ve suyun membran prosesi kullanılarak geri kazanımının değerlendirilmesidir. 2000 yılında geliştirilen ve henüz birkaç atıksuyun arıtımında laboratuvar ve pilot ölçekte denenilen bir anaerobik reaktör olan SGYAR'de arıtıma tabi tutulmuş olan atıksu, daha sonraki adımda Ultrafiltrasyon+Nanofiltrasyon (UF+NF) ünitelerinden oluşacak bir membran sisteme verilmiştir.

Ayrıca çalışmanın diğer kısmında, çalışmada kullanılan atıksuyun alındığı tekstil fabrikasının hiçbir arıtıma uğramamış atıksuyunun ve fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran uygulaması sonucunda, geri kazanım olanakları değerlendirilmiştir. Bu sayede, anaerobik ve aerobik arıtma tesisi çıkış sularının karşılaştırılması da yapılarak giderim verimleri kıyaslanmıştır.

Çalışmada kullanılan NF membranları ile uzun süreli (96 saat) denemeler de yapılarak, membranlarda meydana gelen ve membran seçiminde etkili olabilecek, tıkanma, akı azalması ve konsantrasyon polarizasyonu etkileri belirlenmiştir. KOİ, renk ve iletkenlik parametreleri için kütle transfer katsayısı hesabı da yapılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1 Tekstil Endüstrisi Atıksuları

Son yıllarda, tekstil ve boya endüstrilerinde meydana gelen teknolojik ilerlemelerle çok çeşitli özelliklere sahip ürünler elde edilmekle beraber, özellikle atıksuların deşarj edildiğı alıcı ortamlarda önemli çevresel problemler meydana gelmektedir. Boyama ve terbiye proseslerinde ve doğal elyafların yıkama ve ağartma basamaklarından oluşan atıksular, büyük miktarlarda ve değişik kompozisyonlarda olmaktadır.

Yıkama işlemi, ham elyafların daha kolay işlenmesini ve ıslanma kabiliyetinin gelişmesini sağlamaktadır. Kaynama noktasına yakın bir sıcaklıkta, genellikle NaOH kullanılarak yapılmaktadır. Elyaf üzerinde muhtemel yağ, mum ve diğer selüloz olmayan bileşikler ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Haşıl sökme, dokumanın ardından kumaştan haşılların giderilmesidir. Haşıl, dokuma tezgâhlarında aşınmaya karşı korunma ve iplikten kılların azaltılması için ipliğe eklenen kimyasallara verilen addır [1]. Haşıllama maddeleri, nişasta, nişasta eter, polivinil alkol ve poliakrilik olarak sayılabilmektedir. Haşıl giderme prosesinin özelliğı kullanılan haşıla bağılı olarak değişmektedir. Ancak, bu prosesin çıkış sularının sıcaklıkları ve organik madde konsantrasyonu yüksek olmaktadır. Pamuk elyafları, sarıya dönük kahverengi rengi ile üzerindeki atıkları ortamdan uzaklaştırmak için ağartma işlemi tabi tutulmaktadır (Eroğlu, 2003). Ağartma işlemi, güçlü oksitleyici maddeler olan klor, hipoklorit ve peroksitler ile yapılmaktadır. Merserizasyon prosesinde de, pamuklu iplik veya kumaşlar işlenmektedir. Düşük sıcaklıklarda (15°C) NaOH çözeltisi ile muamele edildikten sonraki adımda alkalinitenin giderilmesi için H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> veya HCl ile nötralizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Boyama işleminde, kumaşa veya ipliğe renk verilmesi sağlanmaktadır. Uygulanan boya çeşidine göre, boyanın fiske olması için kullanılacak yardımcı kimyasallar ve artık boya miktarları değişmektedir.

Tekstil endüstrisinde her 1 kg ürün başına yaklaşık olarak 40-65 l atıksu meydana gelmektedir (Manu ve Chaudhari, 2002). Bu atıksular, doğal elyafların, boyaların, proses yardımcıları ve ürünlerin çeşitliliğinden dolayı karmaşık kimyasal yapıda ve çeşitlilikte olmakta ve geleneksel arıtma tesisleriyle yeteri kadar arıtılamamaktadır.

Tekstil atıksularında bulunan; biyolojik olarak zor ayrışan organik maddeler, renk, toksik maddeler ve inhibitör bileşikler, adsorplanabilir klorlu bileşikler (AOX), pH ve tuzlar önemli kirleticilerdendir (Şen ve Demirer, 2003). Bir tekstil endüstrisinden gelen atıksular, yüksek görünürlükte renk, yaklaşık 800-1600 mg/l KOİ, alkalinite, 9-11 aralığında pH ve 6000-7000 mg/l toplam katılar ile karakterize edilmektedir (Manu ve Chaudhari, 2002).

Azo, antrakuinon ve indigo çekirdeğine sahip sentetik boyalar hidrofilik olmaları sebebiyle mikrobiyal parçalanmaya dirençli olduklarından konvansiyonel aerobik yöntemlerle ayrıştırılamamaktadırlar (Manu ve Chaudhari, 2002; Sponza vd., 2000). Yüksek KOİ değerine sahip bir tekstil atıksuyunun aerobik reaktörde arıtılması sırasında çamur kabarması, aşırı çamur üretimi, havalandırma için yüksek enerji ihtiyacı gibi problemlerle karşılaşmakta ve azo boyar maddelerinden kaynaklanan rengin gideriminde de başarılı olamamaktadır (Işık ve Sponza, 2004). Kimyasal ve fiziksel metotlar içeren koagülasyon-flokülasyon, fenton prosesi ( $H_2O_2+Fe^{+2}$ ) gibi ileri oksidasyon ve elektrokimyasal metotlar renk gideriminde etkili olmaktadır. Ancak, bu metotların pahalı olması ve fazla miktarda çamur oluşumu gibi dezavantajları bulunmaktadır. Aktif karbon gibi adsorbantların renk giderim amacıyla kullanıldığı adsorpsiyon prosesi de pahalı olması ve rejenerasyon ihtiyacı sebebiyle tercih edilmemektedir. Tekstil atıksularındaki başlıca kirlilik tipleri, kaynakları ve biyolojik arıtmadaki temel etkileri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Tekstil atıksularındaki başlıca kirlilik tipleri, kaynakları ve biyolojik arıtmadaki temel etkileri (Delée vd., 1998)

| Kirlilikler       | Başlıca Kimyasal Tipleri                                                                                             | Kaynaklandığı Ana Proses                                               | Biyolojik Arıtmadaki Temel Etkisi/İlgisi                                                     |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Organik yük       | Nişasta, enzimler, yağlar, parafin, yüzey aktif maddeler, asetik asit                                                | Haşıl sökme, Tarama, Yıkama, Boyama                                    | Fazla havalandırma ihtiyacı<br>Aktif çamur kabarma problemleri                               |
| Renk              | Boyalar, yün tarama kalıntıları                                                                                      | Boyama, Tarama                                                         | Aktif çamur tesislerinde yetersiz giderim                                                    |
| Nütrientler (N,P) | Amonyum tuzları, üre, fosfat bazlı tamponlar, tutucular                                                              | Boyama                                                                 | Anaerobik proseslerde giderilemezler.                                                        |
| pH ve tuz         | NaOH, mineral/organik asitler, NaCl, silikat, sülfat, karbonat                                                       | Tarama, Haşıl sökme, Ağartma, Merseerize etme<br>Boyama, Nötralizasyon | Biyoreaktörlerde inhibisyon                                                                  |
| Sülfür            | Sülfat, sülfür ve hidrosülfid tuzları, sülfürik asit                                                                 | Boyama                                                                 | Anaerobik reaktörlerde sülfat indirgenmesi                                                   |
| Toksik maddeler   | Ağır metaller, indirgeyici ve okside edici kimyasallar, biyositler, dördü amonyum tuzları                            | Haşıl sökme, Ağartma<br>Boyama, Bitirme/Apre                           | Biyoreaktörlerdeki hassas mikrobiyal grupların inhibisyonu                                   |
| İnatçı organikler | Yüzey aktif maddeler, boyalar, reçineler, sentetik tutkallar, klorlu organik bileşikler, taşıyıcı organik solventler | Tarama, Haşıl sökme<br>Ağartma, Boyama<br>Yıkama, Bitirme/Apre         | Biyoreaktörlerde yetersiz giderim.<br>Biyokütledeki olası birikimler inhibisyona sebep olur. |

## 2.2 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyarmadde Çeşitleri ve Çevresel Etkileri

Sentetik boyar maddeler, tekstil endüstrileri başta olmak üzere birçok endüstri sektöründe yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Dünyada yıllık tekstil üretimi 30 milyon tondur. Bunun yanında yılda ortalama  $7.10^5$  tonun üzerinde yaklaşık 10.000 farklı boya üretilmektedir. Ancak, üretilen boyaların % 10'u endüstriyel arıtma tesisi çıkış suları ile alıcı su ortamlarına verilerek çevresel tahribata sebep olmaktadır (Talarposhti vd., 2001; Sponza, 2000).

Boyalar farklı kimyasal yapılar içermektedirler (Talarposhti vd., 2001). Fakat genel olarak kromofor ve fonksiyon grubu olmak üzere iki bileşikten oluşmaktadırlar. Kromofor, boyanın rengi için önemli bir bileşiktir. Bir ya da birden çok bağ içermektedir. Bu bağlar değişkendir ve ışığı absorplayarak boyanın parlak renkli görünümünü sağlamaktadırlar. Boyalarda en yaygın kullanılan kromofor grubu, azo grubudur. Diğer önemli gruplar indigo ve sülfür içermektedir. Fonksiyonel grup boyanın pamuk ya da yün ipliğine bağlanmasını sağlamaktadır. Farklı tip tekstil materyallerinin boyanması için farklı tip fonksiyonel gruplar kullanılmaktadır (Sarioğlu ve Dean, 1998). Azo boyalar, dünyada %60-70 gibi bir kullanım oranına sahiptir ve pamuklu kumaş boyamada kullanılmaktadır. Bu boyalar, tipik olarak -N=N- şeklinde karakterize edilmektedir (Talarposhti vd., 2001; Işık ve Sponza, 2005; Şen ve Demirer, 2003; Manu ve Chaudhari, 2002). İndigo boyalar da, pamuklu kumaşları işleyen tekstil endüstrisinin önemli bir kısmını teşkil etmektedir. İndigonun en önemli tekstil uygulaması, kot kumaşların ve diğer mavi pamuklu giysilerin boyanmasıdır. İndigo boyalar suda çözünmediği için karmaşık bir uygulama prosedürüne sahiptir. Günümüzde bu boyanın kullanımı, boyanın indirgenerek suda çözünebilir (leuco indigo) hale dönüştürülmesi ile yapılmaktadır. Modern tekstil boyama proseslerinde, indigo boyaların indirgenmesi sodyum ditiyonit ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) gibi güçlü indirgenler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu durum, boyama banyoları çıkış suyu ve yıkama sularında ciddi kirlenme problemlerine sebep olmaktadır. Zira, indirgeyici maddeler sonuçta geri dönüştürülemeyen türlere yükseltgenmekte; sülfid, sülfat, tiosülfat ve toksik sülfid gibi maddeler boyama ünitelerinden gelen atıksuyu kirletmektedir. Ayrıca, yükseltgenme reaksiyonlarına hassas boyama banyolarının kararlı hale getirilmesi için kullanılan indirgeyici maddelerin gereğinden fazla kullanılması sonucunda da atıksularda, aerobik arıtım sürecini olumsuz yönde etkileyecek düzeyde ditiyonit bulunabilmektedir (Uzal vd., 2005; Sponza vd., 2000).

Boyalar yalnızca estetik problemlere değil, biyolojik girişimlere, ışığa, sıcaklığa ve oksidasyona direnç gösterirler. Renkleri, biyolojik olarak parçalanmamaları ve canlılar üzerinde potansiyel toksisite oluşturmaları nedeni ile atıksu arıtımında problem yaratmaktadır

(Talarposhti vd., 2001; Işık ve Sponza, 2005; Şen ve Demirer, 2003; Manu ve Chaudhari, 2002; Kapdan ve Öztekin, 2003). Reaktif boyaların hidrolizi kolaydır, fakat kumaşa tutunamayan miktarları oldukça fazladır. Başlangıçtaki boya miktarının %40'ı kumaşa fiks edilmeden kalmakta ve atıksuya geçmektedir (Şen ve Demirer, 2003; Manu ve Chaudhari, 2002). Tekstil atıksularının KOİ derişimleri genellikle 1000 mg/l civarında değişirken, içindeki boyar madde derişimi maksimum 200-400 mg/l civarında olmaktadır (Işık ve Sponza, 2004).

Tekstil endüstrilerinde kumaşa bağlanmamış kalıntı boyalar da atıksularda rengin artışına neden olurlar (Sponza vd., 2000). Tekstil endüstrisinde Türkiye'de mevcut arıtma prosesleri istenen renk ve KOİ giderimini sağlayamamakta ve alıcı ortam deşarj limitleri aşılmaktadır. Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde renk standardı olmadığından boyar maddeleri içeren arıtma tesisi çıkış suları alıcı ortam kalite ve görüntüsünü estetik açıdan bozmaktadır (Sponza vd., 2000). Doğal su kütleleri içerisinde rengin varlığı nedeniyle estetik bozulma meydana gelmekte ve çözünmüş oksijenin geçirimsizliği engellenmektedir. Su kütlelerinde çözünmüş oksijenin azalması su ortamında hayatı ciddi şekilde etkilemektedir.

Tekstil akımlarının arıtılması ve tekrar kullanılabilmesi için denemesi yapılmış konvansiyonel yöntemlerle (ozonlama, ağartma, hidrojen peroksit/UV, elektrokimyasal teknikler vb.) atıksudan renk giderimi yeterli olamamaktadır. Bunun sebebi de, çoğu tekstil boyalarının parçalanmaya dirençli aromatik moleküler yapıya sahip olmasıdır. Bu aromatik moleküller; ışığa, oksidasyon ajanları ve aerobik parçalanmaya karşı stabildir (Marcucci vd., 2002; Fersi vd., 2005).

Boyalı atıksuların uygun bir arıtmaya tabi tutulmadan deşarj edilmesi, alıcı ortamlarda istenmeyen değişimlere neden olmaktadır. Artan renk konsantrasyonu, yalnızca evsel ve endüstriyel kullanımını azaltmamakta, aynı zamanda ışık geçirgenliğinin azalmasına ve bu sebeple de akuatik bitki büyümeleri ile kendi kendini temizleme prosesini sınırlamaktadır. Ayrıca; boyalı atıksular, verildiği alıcı ortamlarda mevcut balık yaşamı için de olumsuz etkiler meydana getirmektedir. (Akbari vd., 2002). Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların çevre kaynaklarına minimum zarar vermesi; hem proses içinde su kullanımının azaltılması hem de su arıtımında alternatif yöntemler kullanılarak geri kazanımın sağlanması ile mümkün olabilmektedir (De Floria vd., 2005).

Boyalar genellikle aerobik şartlar altında giderilmeye karşı oldukça dayanıklıdırlar. Klasik aktif çamur sistemlerinde boyar madde giderimi öncelikle ön çöktürme tankında gerçekleşir. Temel boya giderimi ise biyolojik çamura adsorpsiyon ile gerçekleşir. Ancak reaktif boyalar

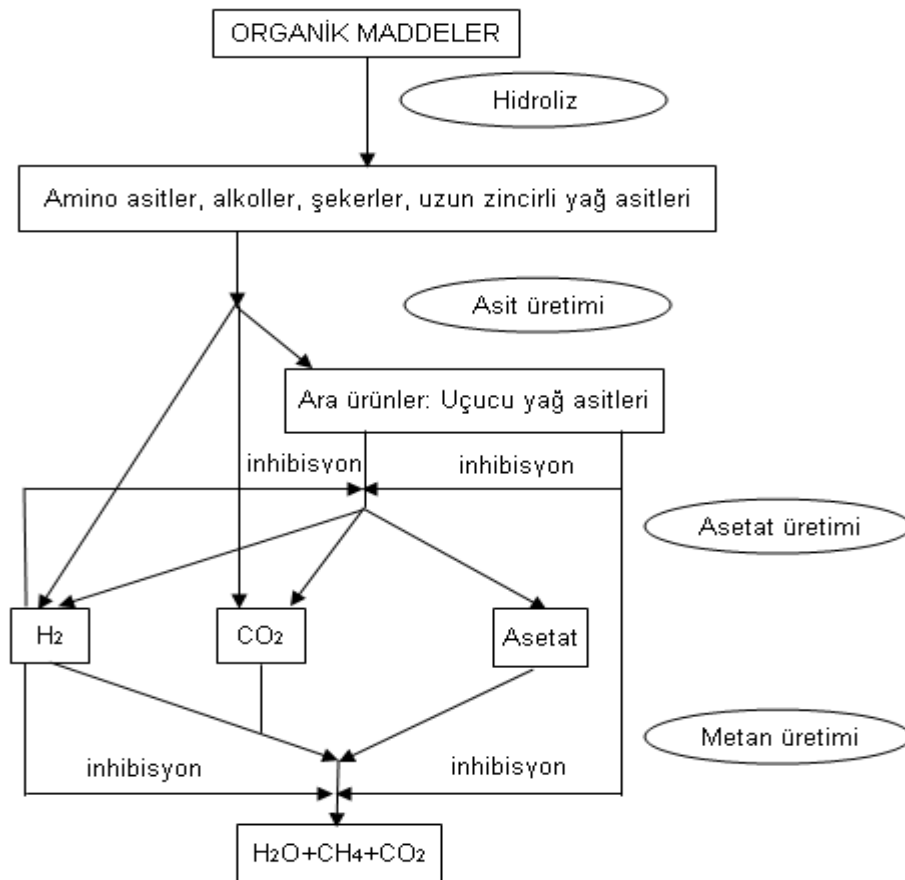
biyolojik çamura çok az adsorbe olurlar. Dolayısıyla deşarj edilen atıksudaki kalıntı rengin asıl kaynağı bu boyalar olmaktadır.

Tekstil atıksularından renk giderimi amacıyla anaerobik sistemlerin kullanıldığı birçok çalışmada olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmalara göre, tekstil atıksularından konvansiyonel yöntemlerle giderilemeyen yoğun renk, anaerobik arıtma sistemleri ile yüksek verimle giderilebilmektedir.

### 2.3 Anaerobik Arıtma

Anaerobik arıtma, biyolojik olarak ayrışabilen organik ve inorganik maddelerin, oksijenin yokluğunda mikroorganizmaların yardımıyla parçalanarak,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ve  $\text{NH}_3$  gibi nihai ürünlere dönüştürülmesidir. Aerobik sistemlerdeki enerji ihtiyaçları, yatırım ve işletme maliyetlerinin fazlalığı sebebiyle anaerobik arıtma sistemlerine olan ilgide artış meydana gelmiş ve kullanım alanları çeşitlenmiştir. Anaerobik arıtma sistemleri yalnızca çamur çürütme amacıyla değil atıksu arıtımında da kullanılmaya başlanmıştır.

Tekstil atıksularından renk ve KOİ gideriminde de başarılı bir şekilde kullanılabilen anaerobik arıtma sistemlerinin safhalarını üç aşamada değerlendirmek mümkün olabilmektedir. Bunlar; hidroliz, asit üretimi ve metan üretimi safhalarıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Anaerobik arıtma sürecinin safhaları (Bouallagui vd., 2005)

Anaerobik arıtmanın hidroliz safhasında; asit ve metan üretimi safhaları için hazırlık amacıyla yüksek yoğunluklu organik maddeler düşük yoğunluklu organik maddelere ayrıştırılmaktadır. Bu safha hücrelerin dış enzimleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla enzimlerin çalışma şartlarını etkileyen faktörler bu safhanın hızını da etkilemektedir. Hidrolik bekletme süresi, ortamın pH'sı ve sıcaklığı hidroliz safhasının hızını etkileyen faktörlerdir. Hidrolik bekletme süresi yeterli olmadığında organik maddelerin hidrolizi tam olarak gerçekleşmemektedir. Dolayısıyla bir sonraki safha olan asit üretimi safhasında asit bakterilerinin uçucu asitlere dönüştüreceği basit yapılu organik maddelerin miktarı yetersiz olmuş olmaktadır. Bu da daha az organik madde giderimine ve daha az metan üretimine sebep olmaktadır.

Asit üretimi safhasında hidroliz ürünleri öncelikle ara ürün olan uçucu yağ asitlerine sonra da asetik asite dönüştürülmektedir. Reaktördeki işletme şartlarının kararlı olmaması halinde, hidroliz ürünleri asetik asit yanında propiyonik, butirik, izobutirik, valerik ve izo valerik asit gibi iki karbonludan daha yüksek yağ asitlerine dönüştürülmektedir. Asit üretimi safhasında rol alan iki farklı bakteri grubundan birinci grup bakteriler (fermantasyon veya asidojenik bakteriler) organik polimerlerin hidrolizinde ve sonrasında da açığa çıkan hidroliz ürünlerinin organik asit ve solventlere dönüştürülmesinde rol alırlar. Asidojenik bakteri türlerinden bazıları (asetojenler) karbonhidratları kullanarak asetik asit üretirler. Asetik asit bakterileri çoğalmaları için gerekli olan enerjiyi, organik asit ve solventlerin asetik asit,  $H_2$  ve  $CO_2$ 'e parçalanması sonucu açığa çıkan enerjiden sağlarlar. Asetik asit üreten bakteriler sadece  $H_2$  kullanan mikroorganizma alt grupları ile birlikte yaşarlar. Asetik asit bakterileri aynı zamanda  $H_2$  üreten asetojenik bakteriler olarak da anılmaktadır (Öztürk, 2007).

Metan üretimi safhasında metanojenler vasıtasıyla asetatın parçalanmasından ve/veya hidrojen ve karbondioksitin sentezinden metan oluşmaktadır. Metan iki şekilde oluşmasına karşın, oluşan metanın % 70'i asetik asitin parçalanmasından meydana gelmektedir. Metan üretimi süreci asit üretimi sürecine göre yavaştır. Dolayısıyla bu safha arıtmada hız sınırlayıcı faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bazen hidroliz safhası da hız sınırlayıcı olabilmektedir (Öztürk, 2007).

### 2.3.1 Anaerobik Sistemlerin İşletmeye Alınması ve Proses Kontrolü

Diğer arıtma sistemlerine göre birçok avantaja sahip olmasına rağmen anaerobik arıtma sistemlerinin işletmeye alma süreci uzun ve proses kontrolü zordur. Ancak, sistem kararlı hale ulaştıktan sonra oldukça iyi verimler elde edilmektedir.

İşletmeye alma döneminin süresi hedeflenen hacimsel organik yüke göre değişir. Düşük hızlı reaktörlerde işletmeye alma süresi, daha düşük biyokütle konsantrasyonlarında (1-5 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün) ve daha kısa sürelerde tamamlanır. Buna karşılık yüksek hızlı anaerobik sistemler için daha yüksek biyokütle konsantrasyonlarına (5-25 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün) ihtiyaç vardır. F/M oranı 0,5-1 kg BOİ<sub>5</sub>/kg UKM-gün için düşük ve yüksek hızlı anaerobik reaktörlerde olması gereken aktif biyokütle konsantrasyonları sırasıyla 2.000-10.000 mg/L ve 10.000-50.000 mg/L arasında olmalıdır.

Bütün biyolojik reaktörlerde olduğu gibi anaerobik arıtmada da biyokütle birikim hızı, biyokütle dönüşüm hızı olan Y parametresine bağlıdır. Düşük biyokütle sentezi (Y), aşırı özellikleri ve biyokütle birikme verimi gibi çeşitli sebeplere bağlı olmaktadır. Yüksek hızlı anaerobik sistemlerde kararlı hale ulaşılabilmesi için 2-12 ay gibi uzun süreler gerekebilmektedir. Termofilik arıtma sistemlerinde Y değerinin daha küçük olması sebebiyle bu süre daha da uzayabilmektedir (Öztürk, 2007).

İşletmeye alma süresinin uzun sürmesinin en büyük sebebi mikroorganizmaların arıtılacak atığa uyum sağlamasıdır. Eğer mikroorganizma arıtılacak atığa uygun ise, bu süre oldukça kısalmaktadır. Dolayısıyla anaerobik arıtmada atığa uygun mikroorganizma topluluğunun bulunması oldukça önemlidir. Eğer kullanılan mikroorganizma arıtılacak atığa uyum sağlamakta zorlanıyorsa evsel atıksu arıtma tesisi çürütücüsünden veya Imhoff tankından alınan çamurla veya hayvan gübresi ile aşılama yapılabilmektedir. Ayrıca, işletmeye alma süresinin kısaltılabilmesi için bu dönemdeki biyokütle kaybının minimum seviyede tutulması gerekmektedir. Bu amaçla yüksek oranda geri devir uygulanabilir veya sistemi terk eden biyokütle bir ultrafiltrasyon biriminde tutularak geri kazanılıp, sisteme geri verilebilmektedir. Ayrıca, biyokütle kaybının elimine edilmesi maksadıyla reaktöre zenginleştirilmiş özel hazır anaerobik mikroorganizma kültürleri de ilave edilebilmektedir.

Alıştırma evresi, 0,1 kg KOİ/kg UAKM-gün veya 1-2 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün'lük bir organik yük ile başlatılmalıdır. Mümkünse reaktördeki UAKM konsantrasyonu 10-20 kg/m<sup>3</sup> olacak şekilde veya reaktör hacminin asgari % 15-20'sine eşit hacimde aşırı çamuru temin edilmelidir. Gaz debisi arttıkça organik yükün de kademeli olarak arttırılması gerekmektedir. Eğer şartlar



uygun ve herhangi bir kararsızlık durumu söz konusu değil ise organik yükleme her hafta % 50 oranında arttırılabilmektedir.

Anaerobik arıtma için uygun çalışma şartları şu şekildedir:

- Atığın iz element bakımından yeterli olması gerekmektedir.
- Atık içerisinde bağlı oksijen bileşikleri bulunmamalıdır.
- Atığın KOİ/N/P oranı 300/5/1 olmalıdır.
- Atığın pH'sı 6,5-8,2 arasında olmalıdır.
- Sıcaklık mezofilik reaktörler için 35 °C, termofilik reaktörler için ise 55 °C olmalıdır.
- Alkalinite 1000-4000 mg CaCO<sub>3</sub>/L olmalıdır. 2000 mg CaCO<sub>3</sub>/L ideal alkalinitedir.
- Toplam uçucu yağ asiti, asetik asit olarak 1000-1500 mg/L'den küçük olmalıdır.
- Toplam uçucu yağ asiti / alkalinite oranı 0,1'den küçük olmalıdır. Ancak 0,3'e kadar sistem bozulmadan çalışabilmektedir.

Anaerobik arıtmada çamur yaşı yani biyokütle miktarı arttıkça düşük sıcaklığa karşı tolerans da o derece artar. Anaerobik arıtmada sıcaklığın olabildiğince sabit tutulması ve gün içinde 2 °C'den fazla değişmemesi gerekmektedir. Çoğalma hızları daha yüksek olan asit bakterileri sıcaklık değişimlerine daha çabuk uyum sağlamaktadırlar. Ancak metan arkeleri bu değişime aynı hızla uyum gösteremedikleri için sistemde dengesizlik ve uçucu yağ asiti birikimi gözlenebilmektedir (Öztürk, 2007).

Anaerobik arıtmada oksijen toksik etki yapar. Anaerobik arıtmada kararlılığın sağlanabilmesi için serbest oksijenin yanı sıra bağlı oksijen de ortamda bulunmamalıdır. Her iki formdaki oksijen de arıtma performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Eğer arıtılacak olan atık bağlı oksijen bileşiklerini içeriyorsa gerekli ön arıtma yapılarak anaerobik sistem verimi arttırılabilmektedir.

Anaerobik arıtma sistemlerinde başlıca enerji kaynağı olarak asetik asit ve hidrojeni kullanan metan arkeleri ve sülfür bakterileri yarış halinde olabilmektedir. Sülfat gideren mikroorganizmalar termodinamik olarak metan arkelerine göre daha avantajlı olduklarından, metan üretimine doğru olan elektron akışını sülfat giderimine doğru çevirebilmektedir. Bu durum, reaktördeki metan üretiminin düşmesine yol açmaktadır. Sülfat gideren mikroorganizmalar pH ve sıcaklık değişimlerine daha dayanıklıdır. Oluşan hidrojen sülfür yüksek konsantrasyonlarda anaerobik arıtmayı inhibe edebilmektedir.  $KOİ/SO_4 \leq 10$  olduğunda inhibisyon önemli ölçüde önlenmektedir. Anaerobik arıtmada sülfür bakterileri tarafından giderilen her kg sülfat başına 0,67 kg KOİ harcanmakta ve metan üretiminde bununla orantılı bir düşme gözlenmektedir (Öztürk, 2007).

Arıtılacak atığın KOİ/N/P oranının, 300/5/1 veya 500/5/1 olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir. Eğer bu oran sağlanamıyorsa reaktöre üre,  $H_3PO_4$  veya amonyum dibazik fosfat gibi kimyasal maddelerle destek verilmesi uygun olmaktadır. Kararlı işletme hallerinde KOİ/N/P oranı 700/5/1 olarak uygulanabilmektedir (Speece, 1995).

Anaerobik arıtmada bütün şartlar sağlandığı halde beklenen arıtma performansı gerçekleşmiyor ise makronutrientler kadar önemli olan Na, K, Mg, Fe, S, Ni, Co, Mo, Se ve W gibi iz elementlerin yeterli miktarda olup olmadığı kontrol edilmelidir. Çizelge 2.2’de anaerobik arıtmada önemli bazı iz elementlerin konsantrasyonları verilmiştir. Eğer iz element eksikliği söz konusu ise bu durumda Fe, Co ve Ni gibi üç önemli iz elementin reaktörde 0,1 mg/L seviyesi elde edilecek miktarda özel bir formül (1 mg  $FeCl_2$ /L-reaktör, 0,1 mg  $CoCl_2$ /L-reaktör, 0,1 mg  $NiCl_2$ /L-reaktör) ile dozlanması gerekebilmektedir (Öztürk, 2007).

Çizelge 2.2 Anaerobik arıtmada önemli bazı iz elementlerin konsantrasyonları (Coşkun, 2006)

| İz elementler | Reaktördeki Konsantrasyonları (mg/L) |
|---------------|--------------------------------------|
| S             | 4                                    |
| Ca            | 3                                    |
| Mg            | 3                                    |
| Fe            | 0,5                                  |
| Ni            | <0,01                                |
| K             | 555                                  |
| Zn            | 0,05                                 |

Anaerobik reaktörler alıştırma devresinde sıcaklık, pH, debi ve atık kompozisyonundaki ani değişikliklere maruz kalmaması gerekmektedir. Bu durum, metan üretiminde düşüş ve uçucu yağ asidi konsantrasyonunda artış ile sonuçlanabilmektedir. Toplam uçucu yağ asiti değeri 1.000-1.500 mg/L’yi aşmış ise, organik yükün azaltılması gerekmektedir. Anaerobik reaktörlerde toplam uçucu yağ asiti birikmesinin temel sebepleri arasında iz element eksikliği, inhibisyon etkisi, aşırı organik yükleme, hidrolik kısa devre, N veya P yetersizliği,  $H_2$  kısmi basıncının yüksek oluşu ve tek kademeli tam karışımli reaktör hali sayılabilmektedir (Öztürk, 2007).

Anaerobik arıtmada herhangi bir kararsızlığın meydana gelmemesi için toplam uçucu yağ asiti/alkalinite oranı 0,1’i geçmemelidir. Bu oran yaklaşık 0,3 olduğunda, sebebi araştırılmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Anaerobik arıtmada sistemin kararlılığının bozulması toplam uçucu yağ asiti konsantrasyonunun yükselmesi ile başlayan bir olaylar zinciridir. Uçucu yağ asiti birikmesini pH'daki düşüş takip eder. Daha sonra yaklaşık bir gün sonra da alkalinite de ani bir düşüş meydana gelir. Bunlara bağlı olarak gaz üretimi yavaşlar ve gaz debisinde bir azalma ve gazdaki metan yüzdesinde bir düşüş gözlenir. Sonuç olarak; sistemin KOİ giderme verimi, dolayısıyla da arıtma verimi düşer (Öztürk, 2007).

Kararsızlık gözlenen bir anaerobik reaktörde bazı durumlarda gerekli önlemler alınsa bile sistemdeki uçucu asit konsantrasyonunda düşme olmayabilmektedir. Bu, reaktörde biriken uçucu asidin propiyonik asit ağırlıklı olduğunu göstermektedir. Böyle durumlarda, reaktördeki uçucu asidin yıkanmasını sağlamak amacıyla sistemin iyice seyreltilmiş atık ve hatta bazen yangın suyu ile beslenmesi yoluna gidilebilmektedir. Reaktördeki uçucu asit konsantrasyonu asetik asit ağırlıklı ise organik yükün azaltılması veya beslemenin durdurulması ile birlikte uçucu asitler mikroorganizmalarca hızlı bir şekilde tüketilerek normal seviyelere düşmektedir. Uçucu asit konsantrasyonu normale döndükten sonra organik yük yeniden kademeli olarak arttırılarak sistemin normal işletme yüküyle çalışması sağlanabilmektedir (Debik vd., 2008).

Atıksuyun yüksek amonyum ve/veya protein içeriği anaerobik arıtmada inhibisyona sebep olan önemli bir faktörlerdendir. Optimum şartlarda,  $8.500 \text{ mgNH}_4^+-\text{N/L}$  gibi yüksek değerlerde bile (pH=7'de  $84 \text{ mg NH}_3-\text{N/L}$ ) herhangi bir inhibisyon olmadan anaerobik arıtma mümkün olabilmektedir. Ancak pH>7,5 ve artan sıcaklıklarda  $\text{NH}_3$  inhibisyonu önemlidir. Dolayısıyla inhibisyona sebep olan bu maddelerin kaynağında kontrolü, seyreltilmesi ve/veya mikroorganizmaların bu maddelere alışmaları için yeterli sürenin sağlanması oldukça önemli olmaktadır.

Anaerobik bir arıtma sisteminde kararsızlıkların en erken sürede fark edilebilmesi için arıtma süreci sürekli olarak kontrol edilmelidir. Bu kontrollerde izlenmesi gereken en önemli parametreler sıcaklık, pH ve gaz debisidir. Alkalinite ölçümü günlük olarak yapılmalı ve haftada 3 kere de toplam uçucu yağ asiti, gaz kompozisyonu ile organik yük, KOİ ve arıtma verimi kontrol edilmelidir. Bu parametrelere ek olarak özellikle çamur yaşı ve atık kompozisyonunun da kontrolü gerekebilir. Anaerobik arıtmada bir kararsızlık söz konusu olduğunda toplam uçucu yağ asiti ve %  $\text{CO}_2$  değerlerinde artış, pH, alkalinite, gaz debisi ve %  $\text{CH}_4$  değerlerinde bir azalma gözlenmektedir.

Anaerobik reaktörlerde sistemin kararlılığının bozulması sonucu pH düşüşleri meydana gelebilir. Bu sorunu aşmak için ilk akla gelen kimyasal kireçtir. Ancak kireç pH'nın 6,5 ve

daha altına düşmesi halinde uygulanmalıdır. Çünkü pH'nın 6,5'ten büyük olması halinde kirecin sudaki çözünürlüğü düşer ve  $\text{CaCO}_3$  olarak çökelir. Ayrıca kireç ortamdaki fosforu bağlayarak nütrient eksikliğine de sebep olur. Bu sebeplerle endüstriyel anaerobik arıtma tesislerinde kireç ile pH kontrolü mecbur kalınmadıkça tercih edilmemektedir (Öztürk, 2007).

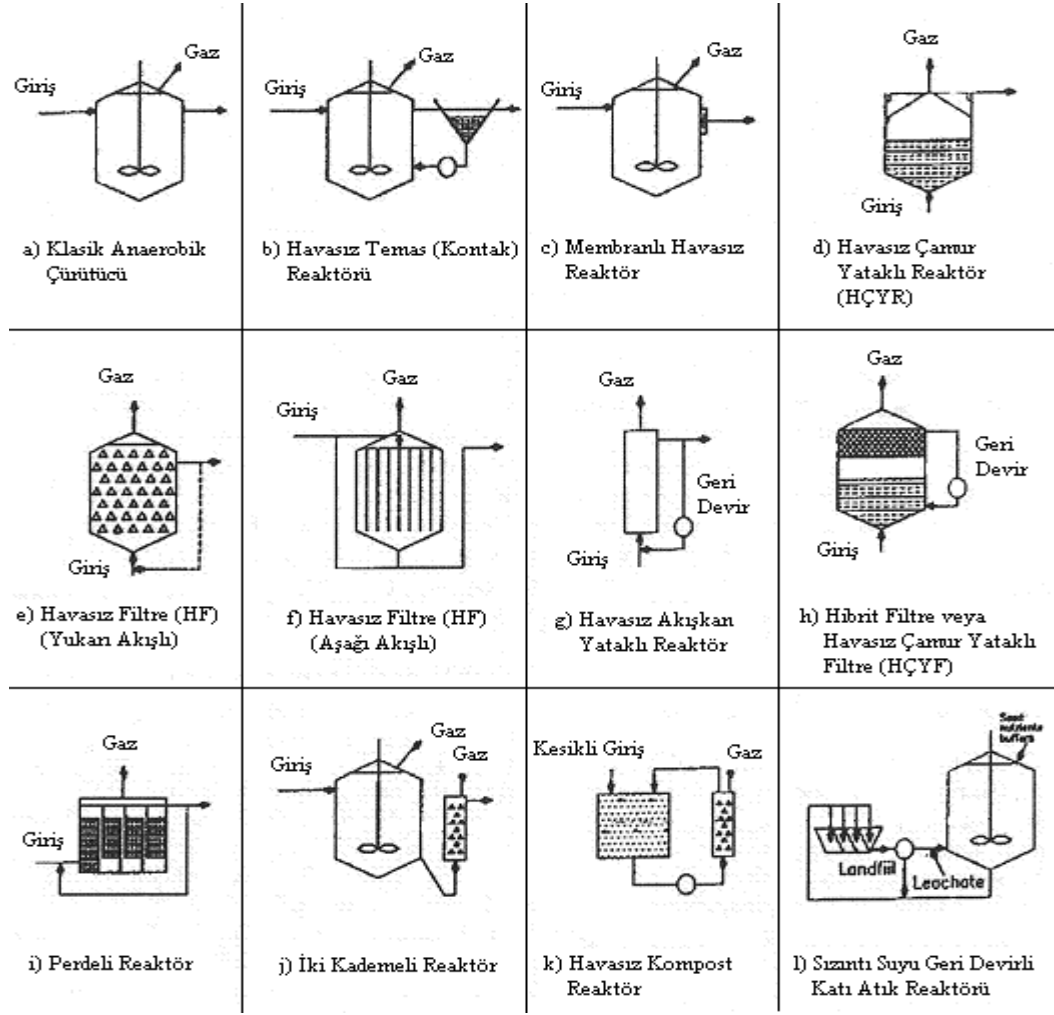
Endüstride kullanılan anaerobik reaktörlerde pH kontrolü, pH kontrol probu ile otomatik olarak sağlanmaktadır. Ayarlama için genellikle NaOH ve  $\text{NaHCO}_3$  birlikte kullanılmaktadır. NaOH, pH'nın normal değerlerin altına düşmesini önlemek için,  $\text{NaHCO}_3$  ise bikarbonat alkalinitesi vermek için kullanılmaktadır. Suya ilave alkalinite vermek için  $\text{NaHCO}_3$  kullanılmasının sebebi, suda herhangi bir çökelti meydana getirmesidir.

Anaerobik reaktörler, gaz debisi ve metan yüzdesi izlenerek iyi bir şekilde değerlendirilebilmektedir. İyi işletilen reaktörlerde normalde metan yüzdesi % 70'in üzerindedir. Bu değer altındaki değerler stabilitenin bozulduğunun göstergesidir. Atık ne kadar seyreltik ise metan yüzdesi de o oranda yüksek olmaktadır. Bunun nedeni de, oluşan karbondioksitin bir kısmının suda çözünerek sistemi terk etmesidir.

### **2.3.2 Anaerobik Arıtma Sistemleri ve Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör (SGYAR)**

Anaerobik arıtmanın son yıllarda atıksu arıtımı ve kompost sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlamasıyla birlikte birçok anaerobik reaktör tipi de geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları Şekil 2.2'de verilmiştir.

Bunların yanı sıra yeni tip reaktörler geliştirilmeye de devam edilmektedir. Bu çalışmada, 2000 yılında Iowa State Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Biyoteknoloji laboratuvarında geliştirilmiş anaerobik arıtma prosesi olan Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör (SGYAR) (Şekil 2.3) kullanılmıştır (USA Patent No:6,709,591). SGYAR halen yaygın bir şekilde kullanımı bulunmayan ancak, yapılan çalışmalar sonucunda çok yüksek KOI giderimi sağlaması sebebiyle araştırmacıların dikkatini çeken, alternatif bir anaerobik arıtma metodudur.

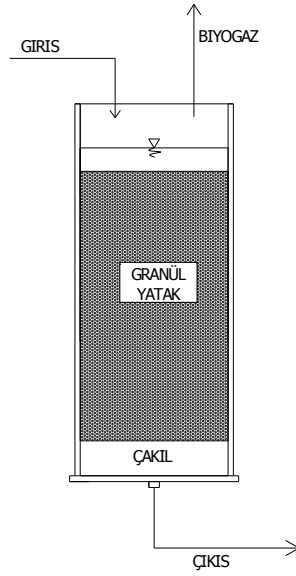


Şekil 2.2 Anaerobik reaktör tipleri (Öztürk, 2007)

SGYAR sisteminde atıksu girişi reaktörün üst kısmından, arıtılmış su çıkışı ise reaktörün alt kısmından gerçekleşmektedir. Gazın toplanması için reaktörün üst bölgesinde boşluk bırakılmakta olup, oluşan gaz reaktörün üst kısmından alınmaktadır. Böylece atıksu ve gaz çıkış yönlerinin farklı olması sebebiyle, bazı reaktörlerde sıklıkla karşılaşılan gazın ve çıkış suyunun ayrılma gücü ortadan kaldırılmıştır.

Diğer anaerobik sistemlere kıyasla SGYAR sistemlerde, önemli oranda enerji sarfıyatı gerektiren karıştırma işlemi olmaması nedeniyle düşük enerji ihtiyacına ve dolayısıyla düşük işletme maliyetine gerek duyulmaktadır. SGYAR sisteminde karışım, oluşan gazın aşağıdan yukarı doğru hareketi ile doğal olarak sağlanmaktadır.

SGYAR sistemlerinde karşılaşılan en önemli problem granül yataкта ve taban drenajında meydana gelebilecek tıkanmalardır. Bu tıkanma problemi, üretilen gazın ya da çıkış suyunun reaktöre geri beslenmesi ile kolaylıkla çözümlenebilmektedir.



Şekil 2.3 SGYAR'ın şematik görünüşü

SGYAR sistemlerinde kullanılacak granülün seçimi de oldukça önemlidir. Düşük yoğunluklu granül kullanılması durumunda verimin düşmesi ve granülün yüzmesi gibi problemlerle karşılaşılabilmesi sebebiyle, seçilen granülün yüksek yoğunluğa sahip olması tercih edilmektedir. İşletmeye alma döneminde çok fazla granül gerekmesi nedeniyle granül maliyeti önemli miktarları bulabilmektedir.

SGYAR sistemlerde granüllerin adaptasyon süresi yaklaşık bir ay gibi kısa bir zaman iken, diğer reaktörlerde ise bu süre birkaç ayı bulabilmektedir. Ayrıca, granüller hafiflediğinde dahi, diğer reaktörlerde görülen biyokütle kaçıışı bu reaktörlerde görülmemektedir. SGYAR tipi sistemlerde, diğer reaktörlere göre çok yüksek çamur yaşı kullanılması sebebiyle, yüksek hidrolik ve organik yüklere dayanıklı olmaktadır.

SGYAR sistemleri henüz yaygın olarak kullanılmamakla beraber üzerinde bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bazıları SGYAR tipi sistemleri geliştirmeye yönelikken, bazıları ise SGYAR tipi sistemleri diğer tip anaerobik sistemlerle karşılaştırmıştır.

Jung ve diğerleri (2002) yaptıkları çalışmada; SGYAR ve Ardışık Kesikli Anaerobik Reaktörü (AKAR), gıda endüstrisi atıksularının arıtılmasını amaçlayarak çeşitli hidrolik ve organik yüklerde karşılaştırmalarını yapmışlardır. SGYAR'ın, KOİ giderme verimi, çıkış suyundaki askıda katı madde konsantrasyonu ve artan organik yüklere uyum sağlama açısından AKAR sistemine göre daha başarılı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, hidrolik

bekletme süresinin 24 saatin altında olması durumunda aradaki performans farkının daha belirgin olduğunu ifade etmişlerdir.

Evans ve Ellis (2004)'in yaptığı çalışmada da, çeşitli hidrolik bekletme sürelerinde SGYAR ve Havasız Çamur Yataklı Reaktörün (HÇYR) karşılaştırılması yapılmıştır. 8 saatlik hidrolik bekletme süresinin sonunda KOİ giderme verimi, SGYAR'de ortalama %90,7, HÇYR'de ise ortalama %77,5 olduğunu bulmuşlardır. 8 saatlik bekletme süresinde SGYAR sisteminin HÇYR sistemine nazaran daha başarılı olduğu, 16 ve 24 saatlik bekletme sürelerinde ise, her iki reaktörde benzer sonuçların elde edildiğini belirtmişlerdir.

Mach ve Ellis (2001), farklı yükseklik ve çapta iki adet SGYAR sisteminin arıtma performanslarının birbirleriyle ve diğer reaktörlerle karşılaştırılmasını yapmışlardır. Reaktörlerin birincisi (SGYAR 1) 101 mm iç çapa ve 135 mm granül yüksekliğine, ikincisi (SGYAR 2) ise 64 mm iç çap ve 432 mm granül yüksekliğine sahiptir. Sonuç olarak, SGYAR sistemlerinin hidrolik bekletme süresi değişimlerine karşı kararlı olduğunu ve çıkış uçucu yağ asidi konsantrasyonlarının düşük olduğunu bulmuşlardır. SGYAR sistemlerinde organik ve hidrolik yüklerin değişmesi durumunda bile sistemden fazla biyokütle kaçıışı olmadığını belirtmişlerdir. SGYAR sistemlerinde granüllerin çaplarının önemli bir unsur olması nedeniyle yaptıkları ölçümler sonucunda, başlangıçta granüllerin yaklaşık %60'ının çapının 0,7-1,0 mm arasında, sekiz hafta sonunda ise granüllerin %89'unun çapının 1,0 m'den daha büyük olduğunu saptamışlardır. Buna bağlı olarak, granül büyümesi ile reaktördeki yatak seviyesi de yükselmiştir. Bu olay SGYAR 2'de daha büyük olmuş ve yatak yüksekliği 127 mm artmıştır. Granül büyümesi ile hem verimin arttığı hem de tıkanma probleminin azaldığını belirtmişlerdir. SGYAR 2 çıkışında, daha düşük askıda katı madde, uçucu yağ asidi konsantrasyonları ile KOİ giderme verimi bakımından daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Çalışmada ayrıca, SGYAR'ün etkili hacminin tamamında granül kullanılması nedeniyle, HÇYR ve AKAR'e göre daha büyük katı bekleme sürelerinin kullanımının mevcut olduğunu vurgulamışlardır.

Debik vd. (2005), yeni bir sistem olan SGYAR'nin değişik atıksu tiplerinde performansını görebilmek amacıyla SGYAR sisteminde sızıntı sularını arıtmışlar ve SGYAR tipi sistemlerin sızıntı sularının arıtımında iyi bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir.

Debik ve Coşkun (2009) çalışmalarında, iki adet SGYAR'den birincisinde yatak malzemesi olarak tamamen granül kullanırken, diğer reaktörde ise yatak malzemesi olarak %25'lik alt kısımda granül, üst kısımda anaerobik arıtma çamuru kullanmıştır. Bu iki reaktörün hem diğer anaerobik arıtma tipleri ile mukayesesi, hem de birbirleriyle mukayesesi yapılmıştır. İşletme

periyodu boyunca tavuk kesimhanesi atıksularında SGYAR ile ortalama olarak %94'lük bir KOİ giderme verimi elde edilmiştir. Diğer reaktörlerle yapılan mukayeselere göre SGYAR'deki 5,84 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün organik yük değerinde elde edilen %97'lik giderme veriminin oldukça başarılı bir değer olduğu ifade edilmiştir. Hidrolik bekletme süresinin azalması ile birlikte debinin artışı SGYAR'de tıkanmayı arttıran bir unsur olmamış, aksine oluşan gazın miktarının artışıyla meydana gelen granül hareketi sebebiyle reaktörün drene edebilme kabiliyeti daha da artmıştır. Bu verilere göre SGYAR'nün yüksek organik kirliliğe sahip atıksuların arıtımında başarılı bir şekilde uygulanabileceği ifade edilerek, SGYAR'ın iyi bir anaerobik arıtma alternatifi olarak kullanılabileceği ortaya konmaktadır.

### 2.3.3 Renk Gideriminde Anaerobik Reaktör Kullanımı

Anaerobik arıtma sistemleri kullanarak tekstil atıksularından renk giderimi konusunda birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Biyolojik olarak boyar maddelerin parçalanması amacıyla, aerobik/anaerobik bakteri türleri ile beyaz çürükçül küfler kullanılabilmektedir. Yapılan çalışmalara göre, *Phanerachyta cryosporium*, *Coriolus versicolor* gibi beyaz çürükçül küflerle yüksek renk giderim verimleri elde edilebilmektedir. Ancak, aerobik sistemlerle gerçekleşen renk giderimi, boyar maddenin bakteri üzerine adsorpsiyonu yolu ile gerçekleştiğinden etkili bir yöntem olmamaktadır. Ayrıca, özel besin ihtiyacı gereksinimi, çevre şartlarına karşı hassas olmaları ve düşük pH değerlerinde (pH=4,5) renk giderimi yapmaları nedeniyle arıtma tesislerinde uygulanabilirliği zor olmaktadır (Manu ve Chaudhari, 2002; Kapdan ve Alparslan, 2004). Ancak, boyaların renk giderimi anaerobik şartlar altında oldukça yüksek verimlerle sağlanabilmektedir (Manu ve Chaudhari, 2002; Işık ve Sponza, 2003).

Işık ve Sponza (2003), tekstil endüstrisinde kullanılan iki azo boyanın (Congo Red (CR) ve Direkt Black 38 (DB38)) parçalanması için iki fakültatif mikroorganizma (*Escherichia coli* ve *Pseudomonas sp.*) kullanarak, anaerobik ve aerobik şartlar altında çalışmışlardır. CR ve DB38 boyalarından meydana gelen renklerin, anaerobik şartlar altında *E-coli* kullanımı sonucunda, sırasıyla %98 ve %72 ve *Pseudomonas sp.* kullanımı sonucunda ise sırasıyla %100 ve %83 verimle giderildiğini tespit etmişlerdir. Anaerobik şartlar altında elde edilen bu yüksek giderme verimlerine rağmen, aerobik inkübasyon sonucunda renk giderimi olmadığı belirtilmiştir.

Çetin ve Dönmez (2005) tarafından yapılan çalışmada, tekstil boya atıksularından izole edilerek melasda büyütülmüş karışık kültürleri, kesikli bir anaerobik sistemde kullanarak tekstil atıksularından renk giderimi için optimum şartları belirlemişlerdir. Çalışılan bütün



boya numunelerinden rengin giderimi için optimum pH değeri 8 olarak tespit edilmiştir. 24 saatlik inkübasyon süresi sonunda, karışık kültürlerin en yüksek renk giderme verimi Reaktif Red RB için %94,9, Reaktif Black B için %91, Remazol Blue için %63,6 olarak bulunmuştur. 12 saat inkübasyon süresi ve 35°C’de Reaktif Red RB için renk giderimi %82-98 civarında elde edilmiştir. Bu çalışma ile, anaerobik şartlar altında karışık kültürlerin atıksulardan reaktif boya gideriminde etkili olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Kapdan ve Öztekin (2003), kesikli beslemeli reaktörde fakültatif anaerobik bakterileri 1-5 mg/l aşırı konsantrasyonuyla kullanmışlar ve Reaktif Orange 16 boyasının renginin oda sıcaklığında (19 °C) ve nötr pH’da %90 verimle giderildiğini bulmuşlardır.

Işık (2004), pilot ölçekli HÇYR’de tuzluluk konsantrasyonunun, renk ve KOİ giderimi üzerine etkisini araştırmıştır. Tuz konsantrasyonunun artmasının metan oluşumu ve KOİ giderim verimini etkilediğini ancak, renk gideriminde olumsuz bir etki meydana getirmediğini belirlemiştir. Çalışmada, 20 saat hidrolik bekletme süresi (HBS) kullanılmış olup, tuz konsantrasyonu artırıldığında KOİ giderim verimi %80’den %18’e düşerken, renk giderimi %100 olarak gözlenmiştir.

Talarposhti ve diğerlerinin çalışmasında (2001), mezofilik HÇYR’e 1.000 mg/l boya verilmesi halinde %90 giderim verimi elde edilmiştir. Ancak, girişteki boya konsantrasyonunun artmasıyla birlikte renk giderme veriminin düştüğü ve bu problemin HBS’nin artırılması ile giderildiği belirtilmiştir.

Santos ve diğerleri (2005), sentetik olarak hazırlanmış tekstil endüstrisi atıksuyunu HÇYR’de farklı HBS ile çalışmışlar ve HBS’nin 100 saatten 6 saate inmesi halinde KOİ giderme verimi %80’den %59’a düşerken, renk giderme veriminin %90’dan %96’ya yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Manu ve Chaudhari (2002) çalışmalarında, anaerobik şartlar altında, 24-28 °C sıcaklık ve 10 günlük HBS kullanarak, 100 mg/l Orange II ve Reaktif Black 3HN’nin %99 üzerinde bir verimle giderildiğini tespit etmişlerdir. Boyasız atıksuyun beslenmesi halinde KOİ giderimi %95 iken, Orange II’li atıksuda %92 ve Reaktif Black 3HN’li atıksuda %94 civarında elde etmişlerdir. Boya konsantrasyonunun 400 mg/l’sine kadar metanojenik aktivite etkilenmezken, daha yüksek boya konsantrasyonlarında inhibisyon meydana gelebileceği belirtilmiştir.

Şen ve Demirer (2003), pamuklu tekstil atıksuyunun arıtılabilirliğini yatak malzemesi olarak ponza taşı kullanılan akışkan yataklı anaerobik reaktörde incelemişlerdir. 24 saatlik HBS ve 3 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün’lük organik yükleme ile %82 KOİ, %94 BOİ ve %59 renk giderim verimi

elde edilmiştir. Giriş atıksuyuna 2 g/l kadar C kaynağı verilmesinin renk giderme verimini artırdığı, 2 g/l'nin üzerindeki C kaynağı ilavesinin renk giderimine herhangi bir katkısının olmadığı görülmüştür.

Sponza ve diğerleri (2000), anaerobik ve granül çamur kültürlerinde, indigo boyar maddesi kullanan tekstil endüstrisi atıksuyundan %100 renk giderimi elde etmişlerdir. Ancak, KOİ gideriminin, düşük çamur yaşında (20 gün), 50 günlük çamur yaşına göre daha düşük olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, yüksek çamur yaşlarında %70 KOİ giderimi sağlandığı rapor edilmiştir.

Kapdan ve Alparslan (2004), mevcut bir aerobik tesis ile anaerobik-aerobik ardışık reaktör sisteminin renk giderimini mukayese etmeyi amaçlayan bir çalışma yapmışlar ve anaerobik-aerobik ardışık sistem ile renk gideriminde %60'lık bir iyileşme sağlandığını tespit etmişlerdir. Mevcut sistemin hidrolik bekleme süresinin 36 saat, ardışık sistemin hidrolik bekleme süresinin ise 10 saat olduğu belirtilerek, ardışık sistemin daha avantajlı olduğu vurgulanmıştır.

Kapdan ve diğerleri (2003), 1.000-8.000 mg KOİ/L ve 50-400 mg/L arasında boyar madde konsantrasyonu içeren tekstil endüstrisi atıksuyunun, ardışık anaerobik-aerobik sistem ile oda sıcaklığında (19-22 °C) fakültatif mikroorganizmalar kullanarak arıtılabilirliğini araştırmışlardır. En yüksek verimi, 18 saat HBS'nde, 3000 mg/L başlangıç KOİ konsantrasyonu ve 100 mg/L boyar madde konsantrasyonu ile elde etmişlerdir. Anaerobik reaktörde %85 renk giderimi elde edilirken, aerobik şartlar altında renk giderimini %15 gibi önemsiz değerlerde bulmuşlar, buna karşılık aerobik aşamada %90 KOİ giderim verimi gözlemlemişlerdir.

Sandhya ve Swaminathan çalışmalarında (2006), yukarı akışlı anaerobik sabit yataklı hibrit reaktörde uygun yatak malzemesi ve uygun mikroorganizma ile biyolojik arıtmanın verimini araştırmışlar ve tekstil atıksuları için, KOİ ve renk giderimini sırasıyla %84,80 ve %90 olarak bulmuşlardır. Reaktör, 1,038 – 8,21 g KOİ/m<sup>3</sup>gün yükleme oranlarında işletilmiş ve en yüksek yükleme oranlarında %81,8 KOİ ve %86,22 renk giderimi elde edilmiştir.

Işık ve Sponza (2005) çalışmalarında simüle edilmiş tekstil atıksuyunu, laboratuvar ölçekli yukarı akışlı çamur yataklı reaktörde farklı hidrolik bekleme sürelerinde arıtmaya çalışmışlardır. Boya giderimi sırasında reaktörün substrat giderim kinetikleri bulunmaya çalışılmıştır. HBS'nin 100 saatten 6 saate indirilmesi ile KOİ giderim veriminin %80'den %29,5'e düştüğünü renk gideriminin ise %90 ile %95 arasında değiştiğini gözlemişlerdir.

Kim ve arkadaşları (2006), gerçek tekstil atıksuyu ve C.I. Reaktif Black 5 disazo boyanın renk gideriminde karbon kaynağının anaerobik sistem üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Proseste, sülfite ilave edilmeden renk giderimi 72 saat HBS ve 35°C’de %94 civarında elde edilirken sülfite dışardan ilavesi ile mikrobiyal renk gideriminin arttığı tespit edilmiştir. Metanolün ilave substrat olarak kullanılması halinde glikoza göre 2-3 kat daha düşük verim elde edilmiştir.

Araştırmacıların yaptıkları çalışmalara göre, tekstil boyar maddelerinin gideriminde anaerobik reaktörlerin performansı özet olarak Çizelge 2.3’te verilmiştir.

#### **2.4 Membran Prosesler**

Sıvı ya da gazlardan, katıların ve değişik boyutlardaki partiküllerin ayrılması filtrasyon yöntemiyle mümkün olabilmektedir. Membran prosesler, sıvı ya da gaz akımlardan çözünmüş maddelerin de ayrılmasını mümkün kılmaktadır.

Membran teknolojisi ile ilgili, 1960’lı yıllarda öncelikle deniz suyundan içme suyu elde etmek için, daha sonra da su kaynaklarını koruma ve arttırma bilinci ile endüstriyel alanlarda ve atıksuların arıtılması konusunda yoğun çalışmalar yapılmıştır. Başarılı ayırma teknolojisi ve diğer arıtma yöntemlerine göre üstünlükleri nedeniyle kullanım alanları ve membran teknolojilerine duyulan ilgi her geçen gün artmaktadır.

Membran prosesleri ile kesintisiz ve otomatik işletme imkânı sağlanabilmekte, faz ya da sıcaklık değişimlerinden etkilenmemekte, az enerji kullanılmakta, belirli boyut sınıflandırması olmamakta, modüler olarak tasarımları yapılabilmekte, kirleticinin formu ve kimyası üzerinde etki yapmamakta, kimyasal katkı ihtiyacı bulunmamakta, yer ihtiyacı az olmakta, çok yüksek konsantrasyonlarda uygulanabilmekte, taşınabilir olmakta, herhangi bir inşaat gerektirmemekte ve maliyeti de gün geçtikçe daha da düşmektedir (Koyuncu, 2001).

Membran prosesler günümüzde oldukça önemli bir konuma gelmiş olup, çok çeşitli amaçlar için endüstrilerde kullanım alanı bulmuştur. Gıda, metalurji, kâğıt, tekstil, ilaç, otomotiv, biyoteknoloji ve kimya en çok kullanıma sahip endüstrilerdir.

Membranlar genel olarak;

1. Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partiküllerin filtrasyonu,
2. Sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayrırımı,
3. İyonik türlerin ayrırımı,
4. Sulardan ve diğer sıvılardan bütün askıda katı veya çözünmüş maddelerin ayrırımı,
5. Konsantre çözelti elde etmek,

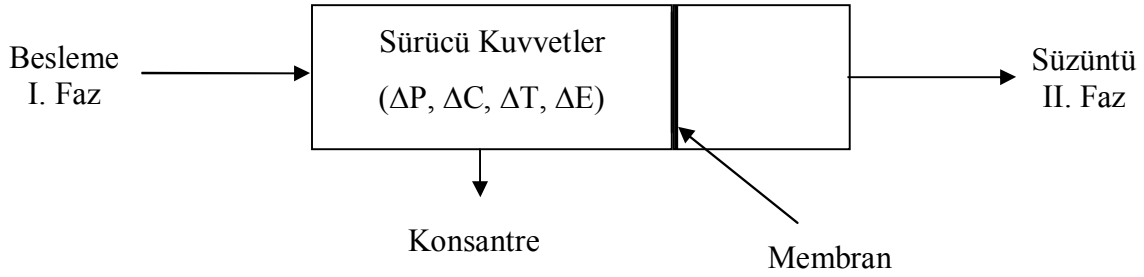
gibi amaçlar için kullanılırlar (Koyuncu, 1997).

Çizelge 2.3 Tekstil boyar maddelerinin gideriminde farklı anaerobik proseslerin performansı  
(Kaykioğlu ve Debik, 2006)

| Boya                                                                                                                          | Boya Tipi        | Reaktör Tipi                   | Boya Kons.mg/l           | HBS     | Renk Giderimi         | Kaynak                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------|---------|-----------------------|------------------------------|
| Congo Red<br>Direct Black 38                                                                                                  | Azo              | Kesikli<br>(Esherichia coli)   | 100                      | 5 gün   | %98<br>%72            | Işık ve Sponza (2003)        |
| Congo Red<br>Direct Black 38                                                                                                  | Azo              | Kesikli<br>(Pseudomonas sp.)   | 100                      | 5 gün   | %100<br>%83           | Işık ve Sponza (2003)        |
| Red RBN                                                                                                                       | Azo              | Kesikli<br>(Proteus mirabilis) | 100                      | 20 saat | %95                   | Chen vd. (1999)              |
| Acide Orange 7<br>Direct Red 254                                                                                              | Monoazo<br>Diazo | HÇYR                           | 60                       | 24 saat | %92                   | Br'as vd. (2005)             |
| Reaktif Red RB<br>Reaktif Black B<br>Remazol Blue                                                                             | Reaktif          | Kesikli                        | 953.2<br>864.9<br>1031.3 | 24 saat | %94.9<br>%91<br>%63.6 | Çetin ve Donmez (2005)       |
| Reaktif Orange 16                                                                                                             | Reaktif          | Kesikli                        | 350                      | 6 saat  | %80-98                | Kapdan ve Oztekin (2003)     |
| Reaktif Black 5<br>Direct Red 28<br>Direct Black 38<br>Direct Brown 2<br>Direct Yellow 12                                     | Azo              | HÇYR                           | 250                      | 20 saat | ~%100                 | Işık (2004)                  |
| Basic Yellow 28<br>Basic Yellow 21<br>Basic Red 18.1<br>Basic Violet Red 16<br>Basic Red 46<br>Basic Blue 16<br>Basic Blue 41 | Azo              | HÇYR                           | 1000                     | 5 gün   | %90                   | Talarposhti vd. (2001)       |
| Orange II<br>Reaktif Black 3HN                                                                                                | Reaktif          | Kesikli                        | 100                      | 10 gün  | %99                   | Manu ve Chaudhari (2002)     |
| Reactive Red 195,<br>Sumifix Supra Br Red<br>3BF                                                                              | Monoazo          | Anaerobik–Aerobik<br>AKR       | 100                      | 18 saat | %85                   | Kapdan vd. (2003)            |
| Bisazo vinilsülfonil,<br>anthraquinon<br>vinilsülfonil,<br>anthraquinon<br>monoklorotriazenil                                 |                  | Anaerobik–Aerobik<br>AKR       | 20                       | 18 saat | %63<br>%64<br>%66     | Panswad ve Luangdilok (2000) |
| Tekstil atıksuyu                                                                                                              | İndigo           | Kesikli                        | 100                      | 13 gün  | ~%100                 | Sponza vd.(2000)             |
| Tekstil atıksuyu                                                                                                              | Reaktif          | Akışkan yataklı                | 20                       | 24 saat | %59                   | Şen ve Demirer (2003)        |

Birçok farklı yapıda ve teknikte geliştirilen membranlar, belirli basınç altında seçici bir bariyer görevi görmektedir (Cheryan, 1998). Membrana giren besleme akımından çözünmüş ve partiküler maddeler ayrılmaktadır. Ayırma işleminde, besleme çözeltisi sürücü kuvvetlerin

( $\Delta P$ ,  $\Delta C$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta E$ ) etkisiyle membran yüzeyinden süzülerek membranın diğer tarafına geçmektedir. Bunun sonucunda da, besleme akımı süzüntü ve konsantre akım olmak üzere iki ayrı akım olarak membrandan çıkmaktadır (Yalçın, 1998; Koyuncu, 2001). Membrandan geçen akım süzüntü, geçemeyen akım ise konsantre akımı olarak adlandırılmaktadır Şekil 2.4 bu akımları şematik olarak göstermektedir.



Şekil 2.4 Membran ile arıtmanın şematik gösterimi

Sürücü kuvvet uygulaması ile membrandan süzüntü tarafına doğru bir geçiş gerçekleşebilmektedir. Membran proseslerin en çok kullanılanları basınç uygulamalı olanlarıdır. Bunlar boşluk büyüklüklerine bağlı olarak ters osmoz (RO), nanofiltrasyon (NF), ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF)'dan oluşmaktadır. Basınç kuvveti altında çalışan membran proseslere ait özellikler Çizelge 2.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.4 Basınç sürücülü membran proseslerin özellikleri (Scott, 1995)

| Membran Proses  | Membran Tipi                         | Uygulanan Basınç Türü           | Uygulamalar                                             | Membran Kalınlığı    |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|
| Mikrofiltrasyon | Simetrik ve asimetrik, mikroboşluklu | Hidrostatik basınç (<2 bar)     | Partikül ayırımı, Steril Filtrasyonu                    | 10-150 $\mu\text{m}$ |
| Ultrafiltrasyon | Asimetrik, mikroboşluklu             | Hidrostatik basınç (1-8 bar)    | Makromoleküllerin ayırımı                               | 0,1-1 $\mu\text{m}$  |
| Nanofiltrasyon  | Asimetrik                            | Hidrostatik basınç (10-30 bar)  | Küçük organik bileşiklerin ve seçilmiş tuzların ayırımı | 0,1-1 $\mu\text{m}$  |
| Ters Osmoz      | Asimetrik, ince filmlili kompozit    | Hidrostatik basınç (10-100 bar) | Küçük moleküler ağırlıklı çözünmüş maddelerin ayırımı   | 0,1-1 $\mu\text{m}$  |

## 2.4.1 Sürücü Kuvveti Basınç Olan Membran Prosesler

### 2.4.1.1 Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon genellikle 0,05- 5  $\mu\text{m}$  arasındaki gözenek boyutları ile karakterize edilmekte olup, daha çok su ortamında partiküler maddelerin, mikroorganizmaların, virüslerin ve

koloidal maddelerin giderilmesi maksadıyla kullanılmaktadır (Kural, 2000; Kayar, 2003). Membran direnci düşük olduğu için düşük basınç altında işletilmekte ve ortalama olarak 2 bar'a kadar olana basınçlarda çalıştırılmaktadır (Koyuncu, 2001). Eczacılık, gıda ve kimya endüstrilerinde bazı değerli maddelerin konsantre hale getirilmesinde çokça kullanılmıştır (Kural, 2000). Mikrofiltrasyonda, akımın membran yüzeyine paralel olarak uygulanması nedeniyle, membrandan geçemeyen konsantre kısım, membran üzerinde birikmektedir. Böylece belirli bir zaman sonra membran yüzeyinde meydana gelen direnç artmaktadır. Membran filtrasyonunda akı değeri azalmakta ve ekonomik olmayan bir konuma gelmektedir. Bu durumda, membranın temizlenmesi ya da membranın yenilenmesi yoluna gidilmektedir (Koyuncu, 2001).

Membran seçimi de oldukça önemli olmaktadır. Membran materyali, temizleme işleminde kullanılan kimyasal maddeye dirençli olmalı, besleme akımında bulunan maddelerin bu materyale adsorpsiyon eğilimi olmamalı, geniş bir pH aralığında çalışmaya uygunluk göstermeli ve birçok kimyasala dayanıklı olmalıdır (Kural, 2000).

Günümüzde yaşanan ve gelecekte de daha fazla hissedilebileceği öngörülen su kıtlığı nedeniyle su geri kazanımı konusunda RO ve NF membranlarla yapılan çalışmalar artış göstermiştir. MF membranları, RO ve NF membranları öncesinde ön arıtma elemanı olarak başarılı bir şekilde kullanılabilir. Böylece, membranların daha ekonomik kullanımı söz konusu olabilmektedir. (Koyuncu, 2001)

Bunun yanında, mikrofiltrasyon membranları, saflaştırma, ayırma (meyve suları, şarap ve bira ham maddeleri), sterilizasyon ve konsantre etme işlemlerinde kullanılabilir (Koyuncu, 2001).

#### **2.4.1.2 Ultrafiltrasyon (UF)**

Ultrafiltrasyon, fonksiyon dağılımı mikrofiltrasyon ile nanofiltrasyon arasında kalan membran proseslerdir. Ultrafiltrasyon membranı delik çapı, 0,05-1 nm arasında değişmektedir. Ultrafiltrasyonla besleme çözeltisindeki makro moleküller ve kolloidler tutulur. Ultrafiltrasyonda tutma, moleküler büyüklüğe bağlı olmakla beraber, şekle ve iyonik yüke de bağlıdır, fakat iyonik olmayan maddeleri de alıkoyar. Maddelerin iyonize olma seviyeleri moleküler ağırlık engelleme sınırı olan MWCO ile ifade edilir. Belirli bir MWCO değerinin altındaki maddeler membranda tutulamaz. Her membran için tanımlanan MWCO değeri farklıdır. Bu değer, çalışma koşullarına, besleme çözeltisinin kimyasal içeriğine ve moleküler özelliğe bağlı olarak değişebilir. Ultrafiltrasyon membranlar tarafından, moleküler ağırlıkları

1.000-1.000.000 arasında değişen maddeler tutulur. (Scott, 1995; Koyuncu, 1997). UF membranları üst tabaka kalınlığı, 50-250  $\mu$  arasında değişen ve yüksek geçirgenlik ve seçiciliği olan bir alt tabaka ile desteklenmiştir. Uygulanan basınç 1-10 bar arasında değişmektedir. İlk olarak üretilen ultrafiltrasyon membranları polimerik ve organik yapıya sahip ise de şimdi, seramik membranlar da geliştirilmiştir.

Ultrafiltrasyon membranları genellikle yatay akışlı olarak işletilir. Akım membran yüzeyine paraleldir ve membran yüzeyindeki konsantrasyon artışı süpürme ile azaltılabilir. Bu durumda akı azalması minimuma indirilerek membranın ekonomik ömrü arttırılabilir. Yatay akış ile membranın devamlı surette temizlenmesi ve dolayısıyla temizlik için gerekli kimyasal madde ihtiyacı da azaltılmış olur. Ultrafiltrasyon proseslerinde, konsantrasyon polarizasyonu, jel tabakası oluşumu, tıkanma gibi faktörler nedeniyle, artan basınç ile akı asimtotik bir değere ulaşma eğilimi içindedir. Fakat proses suları ile çalışıldığında membran üzerinde zamanla birikme meydana geldiği için akı belli bir basınç değerinden sonra sabitleşmektedir.

UF başlıca, gıda, içecek, metalurji, tekstil (indigo), eczacılık, otomotiv, su arıtımı vb. birçok endüstriyel alanda ve atıksuyun arıtılmasında, ön arıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır (Koyuncu, 2001).

#### **2.4.1.3 Nanofiltrasyon (NF)**

Nanofiltrasyon membranları, ters osmoz gibi moleküler ağırlıkları düşük inorganik tuzların, glikoz, sakaroz gibi küçük organik moleküllerin (çapı 0,001  $\mu$ m'den büyük maddelerin gideriminde) çözeltiden ayrılması amacıyla kullanılmaktadır. Gözenek çapları bakımından ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları arasında kalmaktadır. Nanofiltrasyon membranlarının MWCO değeri, 100-300 aralığında değişmektedir. Nanofiltrasyon membranları, ters osmozdan daha düşük basınçlarda (10-20 bar) çalışmaktadır. Membranlarda,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  gibi tek değerlikli iyonların tutulma oranı düşük iken,  $Ca^{+2}$ ,  $CO_3^{-2}$  gibi çok değerlikli iyonların tutulma oranı çok yüksektir. Buna ek olarak mikrokirleticilerin, herbisitlerin, insektisitlerin ve pestisitlerin, şeker ve boya maddeleri gibi düşük moleküler ağırlığa sahip mikro çözünürlerin de tutulma oranları çok yüksektir (Kural, 2000; Koyuncu, 2001)

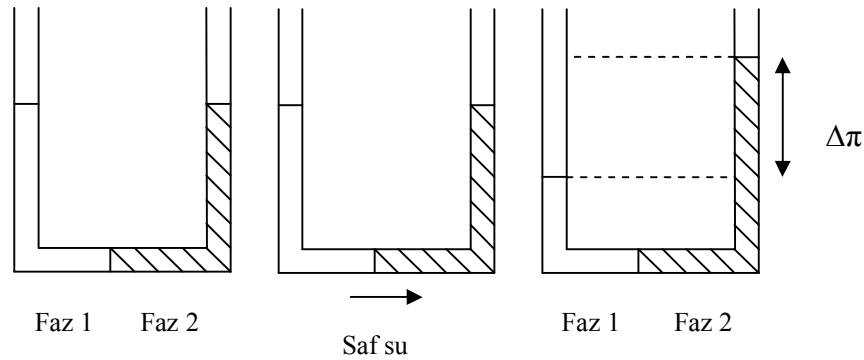
Nanofiltrasyon membranları, yüzeysel sulardan sertlik gideriminde, organik madde gideriminde, kuyu sularından TDS ve nitrat gideriminde ve ayrıca pestisit gideriminde de kullanılmaktadır (Koyuncu, 2001).

Nanofiltrasyon membranlarının endüstride; tuzlu peynir sularının arıtımında, süt endüstrisi atıksularının geri kazanılmasında, tekstil endüstrisinde renk ve TOC gideriminde, gıda ve eczacılıkta organik maddelerin konsantre edilmesi ve tuz giderilmesinde kullanımı mümkün olabilmektedir (Koyuncu 2001).

#### 2.4.1.4 Ters osmoz (RO)

Ters osmoz membranları molekül ağırlığı çok düşük olan bütün çözünmüş organik ve inorganik maddeleri çözeltiden ayırmak amacıyla kullanılmaktadır. Ters osmoz 0,0001 ile 0,001  $\mu$  (1-10<sup>0</sup> Å) arasındaki partikülleri tutabilmektedir (Kural, 2000).

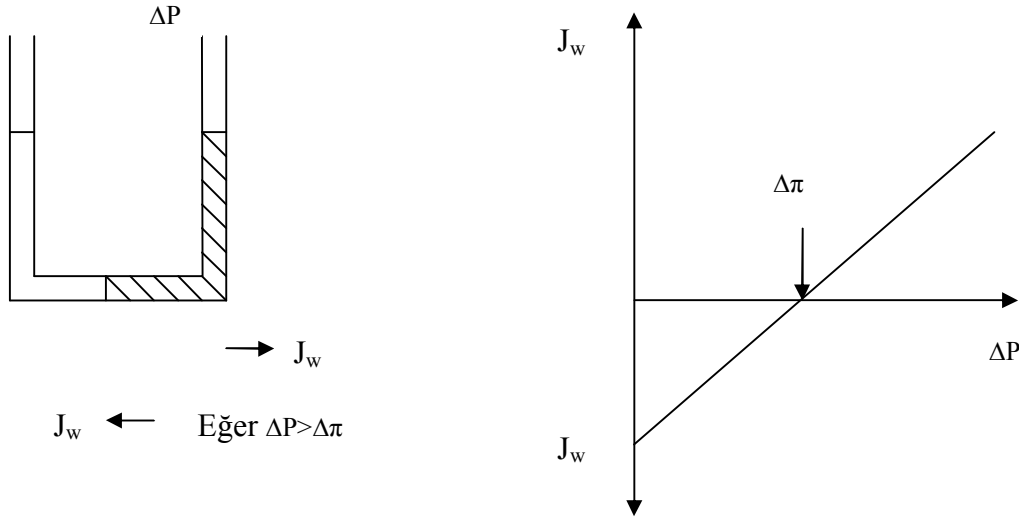
Ters osmoz membranların çalışma prensibi doğal durumda meydana gelen osmoz olayının tersi olarak ifade edilebilmektedir. Ozmotik basınç, konsantrasyonları farklı iki ayrı çözeltinin (saf su-tuzlu su) yarı geçirgen bir membran tarafından ayrılmasıyla ortaya çıkmaktadır. Osmoz olayında saf su yarı geçirgen membrandan geçerek tuzlu su ortamına yani az yoğun ortamdaki çok yoğun ortama doğru akmaktadır. Bu akım, iki bölme arasındaki konsantrasyon farkı sıfıra düşene kadar devam etmektedir (Kural, 2000). Suyun membran içinden geçerek tuzlu su ortamına transferi, buradaki basıncı ozmotik basınç olarak tanımlanan bir basınç değeri kadar yükseltmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Osmoz olayının şematik gösterimi

Ters osmozda meydana gelen kütle transferi olayı, konsantre çözeltiye çözeltinin ozmotik basıncının üstünde bir basınç uygulanması ile meydana gelmektedir. Bu durumda su, konsantre taraftan saf su tarafına doğru akmakta ve aralarında büyük konsantrasyon farkı bulunan iki ayrı faz meydana gelmektedir. Eğer konsantre kısma uygulanan basınç, ozmotik basınçtan düşük olursa su akışı seyreltik taraftan derişik tarafa akmaya devam edecektir (Kural, 2000). Meydana gelen su akışının uygulanan basıncın fonksiyonu olduğu Şekil 2.6'da görülebilmektedir.





Şekil 2.6 Uygulanan basınca göre akının davranışı (Mulder, 1996)

Ters osmoz membranlarında, 30-100 bar arasında değişen yüksek basınçların uygulanması gerekmektedir. Günümüzde, membranlarda gerçekleştirilen gelişmeler ile uygulanan basınç besleme suyuna bağlı olarak 10 bar'a kadar düşürülmüştür (Koyuncu, 2001).

Genel olarak kullanılan ters osmoz membranları asimetrik veya kompozit yapıda olmaktadır. Başlangıçta sadece deniz suyu ve kuyu suyu arıtımında kullanılan ters osmoz prosesleri zamanla endüstrilerde farklı proseslerde kullanılmaya başlanmıştır (Kural, 2000). Ters osmoz prosesi tekstil atıksularından renk giderimi, elektro kaplama endüstrisinde metal geri kazanımı, mezbaa atıksularının arıtımı, gıda endüstrisinde geri kazanım, sızıntı suyu arıtımında, kâğıt endüstrisinde renk giderimi, demir çelik endüstrisinde, madencilikte, tarımsal drenaj sularının tekrar kullanılması vb. birçok endüstride kullanılmaktadır (Koyuncu, 2001).

#### 2.4.2 Membran Performansı

İdeal bir membranda, yüksek akı ve seçicilik ya da yüksek giderme verimleri istenmektedir (Mulder, 1996). Membranların performansı, akı ve giderme verimi şeklinde ifade edilmektedir.

##### 2.4.2.1 Akı

Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır. Akı,  $m^3/m^2.sn$  veya  $L/m^2.st$  gibi birimlerle ifade edilmektedir (Mulder, 1996). Membran filtrasyonunda, membrandan geçen akım, membrana uygulanan basınç ( $\Delta P$ ) ile orantılıdır. Membrandan geçen akımın miktarı, Darcy kanununa göre,

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_m} \quad (2.1)$$

ile tanımlanmaktadır. Burada,

$J$  : Akı,

$\Delta P$  : Membrandaki basınç farkı,

$\mu$  : Akışkanın vizkozitesi,

$R_m$  : Membranın hidrolik direnci,

olarak tanımlanmaktadır. Tersinir olmayan proseslerin termodinamiğinin kullanıldığı, Kedem-Katchalsky denkleminde akı,

$$J_v \propto L_v \cdot (\Delta P - \sigma \cdot \Delta \pi) \quad (2.2)$$

ile ifade edilmektedir. Burada  $L_v$  suyun geçirimsizlik katsayısı ve  $(\Delta P - \sigma \cdot \Delta \pi)$  terimi ise net basınç farkını ifade etmektedir.  $\Delta \pi$ , ozmotik basınç farklılığını ve  $\sigma$  ise giderme veriminin alabileceği maksimum değeri tanımlamaktadır.  $\sigma$  değeri ayrıca birleşim etkisi olarak da tanımlanmaktadır. Dolayısıyla yukarıdaki denklemde elde edilen ifade ile Darcy kanunundan yola çıkılarak yazılan denklem ifadesi ile benzerlik göstermektedir. Buna göre denklem tekrar düzenlenirse,

$$J_v = \frac{(\Delta P - \sigma \cdot \Delta \pi)}{\mu \cdot R_m} \quad (2.3)$$

ifadesi elde edilmektedir (Koyuncu, 2001).

Büyük moleküllerin ve kolloidlerin ozmotik basıncı çok küçük olmaktadır. Dolayısıyla, büyük moleküllerin ve kolloidlerin tutulduğu mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranlarında, ozmotik basınç ihmal edilmektedir. Çizelge 2.5'te ters osmoz (RO), nanofiltrasyon (NF), ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) membranları için, membran direnç ve basınç farklılığı için literatürden alınan tahmini değerler verilmiştir (Koyuncu, 2001).

Çizelge 2.5 Basınç kuveti altında çalışan membranlara ait, membran direnci ve basınç farklılığı değerleri (Wiesner ve Aptel, 1996)

| Membran türü    | Membran direnci ( $m^{-1}$ ) | Basınç farklılığı ( $\Delta P$ ) (bar) |
|-----------------|------------------------------|----------------------------------------|
| Ters osmoz      | $10^{10}$                    | 8-80                                   |
| Nanofiltrasyon  | $10^8$                       | 3,5-10                                 |
| Ultrafiltrasyon | $10^7$                       | 0,5-7,7                                |
| Mikrofiltrasyon | $10^6$                       | 0,3-3                                  |

#### 2.4.2.2 Giderme Verimi

Membran tarafından tutulan kısmın ölçüsü giderme verimi (  $R$  ) terimi ile ifade edilmektedir.  $R$ , 0 ile 1 arasında değişen boyutsuz bir büyüklüktür. “0” bütün çözünmüş maddelerin membrandan geçtiğini, “1” ise membranın hiçbir madde geçişine izin vermediğini göstermektedir (Koyuncu, 2001; Kural, 2000).

Giderme verimleri iki çeşit olmaktadır. Bunlar, gözlenen giderme verimi ( $R_{\text{gözlenen}}$ ) ve gerçek giderme verimi ( $R_{\text{gerçek}}$ )’dir. Gözlenen giderme verimi, elde edilen süzüntü akımı konsantrasyonu ile besleme akımı konsantrasyonu arasındaki giderme verimini ifade etmektedir. Gerçek giderme verimi ise, elde edilen süzüntü akımı konsantrasyonu ile çözeltinin membran yüzeyindeki konsantrasyonundan yola çıkılarak hesaplanan giderme verimini ifade etmektedir.

$$R_o(\%) = \frac{C_f - C_p}{C_f} = 1 - \frac{C_p}{C_f} \quad (2.4)$$

$$R_g(\%) = \frac{C_m - C_p}{C_m} = 1 - \frac{C_p}{C_m} \quad (2.5)$$

Burada,

$R_o$  : Gözlenen giderme verimi,

$R_g$  : Gerçek giderme verimi,

$C_p$  : Süzüntü akımı konsantrasyonunu,

$C_f$  : Besleme çözeltisinin konsantrasyonu,

$C_m$  : Membran yüzeyindeki konsantrasyonunu,

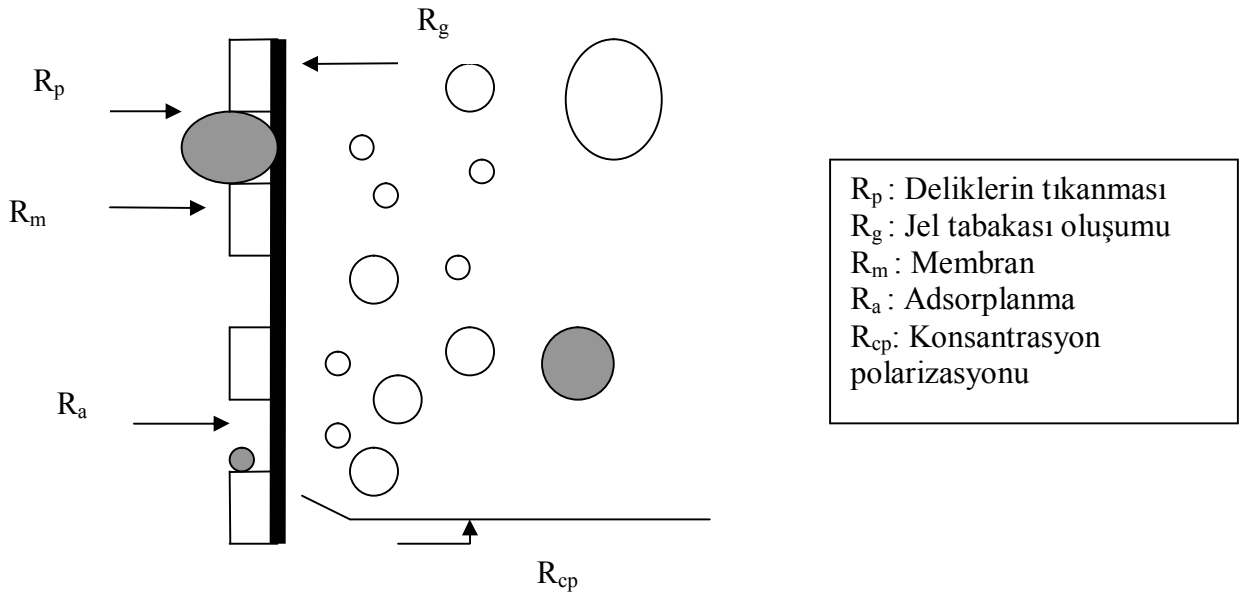
ifade etmektedir (Koyuncu, 2001; Kural, 2000).

#### 2.4.3 Konsantrasyon Polarizasyonu ve Tıkanma

Membran proseslerle yapılan çalışmalar sırasında, membran performansında zamanla çok büyük değişiklikler kaydedilebilmektedir. Bu durum, genellikle akıda meydana gelen azalma şeklinde görülebilmektedir (Mulder, 1996).

Akıda meydana gelen azalma, birçok faktör tarafından ortaya çıkabilmektedir. Bunlar; konsantrasyon polarizasyonu, adsorpsiyon, jel tabakası formasyonu ve gözeneklerin tıkanması şeklinde ifade edilebilmektedir. Özellikle makromoleküller ve partiküler maddeler, polarizasyon ve tıkanmaya sebep olmaktadır. Polarizasyon ve tıkanma, membran yüzeyinde ilave bir bariyer oluşturarak, membranın direncini artırmaktadır (Koyuncu,2001; Kural, 2000).

Membran proseslerde, akışkana karşı meydana gelen tek direnç membran direncidir ( $R_m$ ). Ancak, membran çözünmüş maddeleri geri çevirirken, membran yakınlığında çözünmüş madde konsantrasyonunda artış meydana getirmektedir. Bu durumda da ilave olarak, konsantrasyon polarizasyonu direnci ( $R_{cp}$ ) olarak adlandırılan bir direnç meydana getirmektedir. Zamanla meydana gelen konsantrasyon artışı da artmakta ve jel polarizasyonu ( $R_g$ ) olarak isimlendirilen bir direnç daha oluşmaktadır. Boşluklu membranlarda görülen gözeneklerin tıkanması da bir direnç ( $R_p$ ) meydana getirmektedir. Ayrıca, membran gözenek üzerinde kirleticilerin adsorplanması ve boşluk çapının azalması sonucunda da direnç ( $R_a$ ) meydana gelmektedir (Mulder, 1996; Koyuncu, 1997) (Şekil 2.7). Şekilde membran yüzeyinde oluşan ve akı düşmesine neden olan direnç türleri gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri (Mulder, 1996)

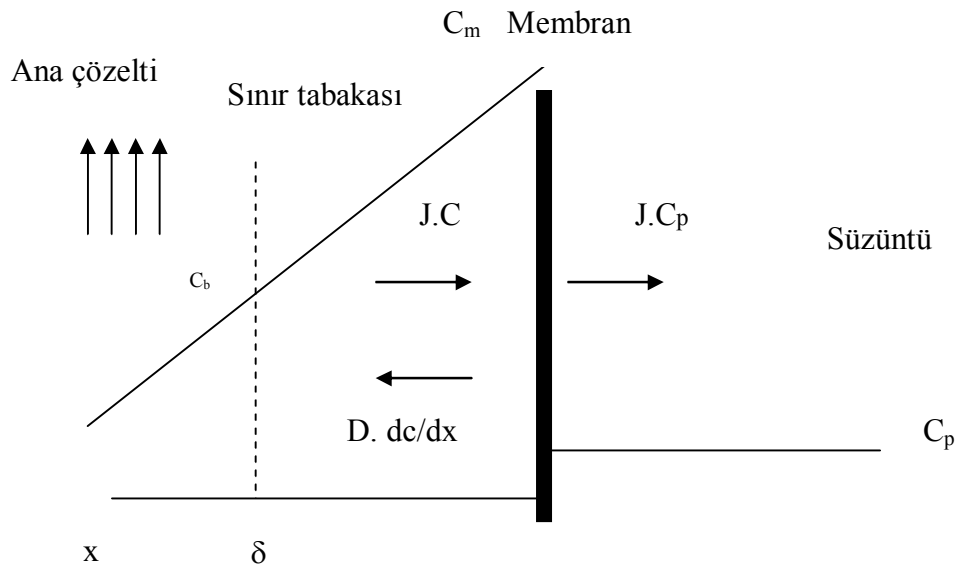
#### 2.4.3.1 Konsantrasyon Polarizasyonu

Membran tarafından tutulan maddeler, membran yüzeyinde konsantrasyon artışına sebep olmaktadır. Yatay akışlı bir membran prosesinde, membran yüzeyinde akışkanın hızının azalması söz konusudur. Bunun sebebi de, vizkoziteden dolayı oluşan kayma gerilmesi olarak açıklanabilmektedir (Koyuncu, 2001). Bu durumda membran yüzeyindeki konsantrasyon, besleme akımındaki konsantrasyon değerinden yüksek olmaktadır. Belirli bir zaman sonra membran yüzeyindeki konsantrasyon birikmesi geri difüze olarak kararlı hale gelmektedir. Böylece her iki yöndeki difüzivite birbirine eşitlenmektedir (Kural, 2000). Yüzeyde akışkan hızı sıfır olmakta ve sınır tabakası teşekkül etmektedir. Oluşan sınır tabakasındaki

konsantrasyon artışı, konsantrasyon polarizasyonu olarak adlandırılmaktadır (Koyuncu, 2001).

Konsantrasyon polarizasyonunun etkileri, membran yüzeyinde ozmotik basıncın artması ve akının azalması, membran yüzeyindeki konsantrasyon artışıyla membran deliklerinin tıkanması ve böylece akı miktarının azalması, membran arıtma veriminin değişmesi şeklinde ifade edilebilmektedir (Yalçın, 1998; Kural, 2000).

Membran yüzeyindeki konsantrasyon, membrandan  $\delta$  kadar mesafede  $C_b$  konsantrasyonu ile tam karışımli olarak aktığı değerinden, membrana doğru yaklaştıkça maksimum konsantrasyon ( $C_m$ ) değerine çıkmaktadır. Bu sınır tabakası içindeki akışkanın kirlilik yükü,  $J.C$  ile belirtilmektedir. Çözelti içindeki maddelerin hepsi membran tarafından tutulamaması nedeniyle, membrandan geçen akışkanın yükü  $J.C_p$  ile ifade edilmektedir. Aynı zamanda membran yüzeyinde meydana gelen birikme, geriye doğru difüzyon akımının oluşmasını sağlamaktadır (Scott,1996; Mulder,1996; Kural, 2000; Koyuncu, 2001). Membran yüzeyinde konsantrasyon profili Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Membran yüzeyinde konsantrasyon profili (Mulder, 1996)

Kararlı durumda membrandaki kütle denklemi,

$$J.C + D.\frac{dC}{dx} = J.C_p \quad (2.6)$$

ile ifade edilmektedir.

$$x=0 \text{ için, } C=C_m \quad (2.7)$$

$$x=\delta \text{ için, } C=C_b \quad (2.8)$$

sınır şartlarında, denklemin integrasyonu ile,

$$J(C_p - C) = D \frac{dC}{dx} \quad (2.9)$$

$$\int_0^\delta J \cdot dx = D \int_{C_m}^{C_b} \frac{dC}{C_p - C} \quad (2.10)$$

$$\frac{C_m - C_p}{C_b - C_p} = e^{\frac{J \cdot \delta}{D}} \quad (2.11)$$

bağıntısı elde edilmektedir. Burada;

D: Difüzyon katsayısı,

$\delta$  : Sınır tabakası kalınlığını ifade etmektedir. Kütle transfer katsayısı (k),

$$k = \frac{D}{\delta} \quad (2.12)$$

ile ifade edilebilmektedir. Gerçek giderme verimi ( $R_g$ );

$$R_g = 1 - \frac{C_p}{C_m} \quad (2.13)$$

ile gösterilip, denklem düzenlenirse,

$$\frac{C_m}{C_b} = \frac{\exp\left(\frac{J}{k}\right)}{R + (1 - R) \cdot \exp\left(\frac{J}{k}\right)} \quad (2.14)$$

denklemini oluşmaktadır. Burada;

$C_m$  : Membran yüzeyindeki konsantrasyonu,

$C_b$  : Besleme çözeltisindeki konsantrasyonu,

$C_m/C_b$ : Konsantrasyon polarizasyonu modülü olarak tanımlanabilmektedir (Koyuncu,2001).

$C_m/C_b$  oranı, artan tutma oranı ( $R$ ) ve azalan kütle transfer katsayısı ile artar. Yüksek k değeri, konsantrasyon polarizasyonunun düşük olduğunu gösterir (Kural, 2000). Çözelti içindeki bütün maddelerin membran tarafından %100 tutulması durumunda ( ideal durum,  $R=1$  ve  $C_p=0$ ) denklem şu hali almaktadır.

$$\frac{C_m}{C_b} = \exp\left(\frac{J}{k}\right) \quad (2.15)$$

$C_m/C_b$  oranı, sınır tabakası kalınlığı ve akı ile birlikte ekponansiyel olarak artmakta ve artan çözünmüş madde difüzyon hızı ile birlikte azalmaktadır (Koyuncu, 2001).

Konsantrasyon polarizasyonu oluşumunu azaltmak ve kütle transferini arttırmak için, besleme kanalında yatay akış hızının artırılması ve türbülanslı akımların oluşturulması gerekmektedir (Kural, 2000).

Konsantrasyon polarizasyonunun oluşturduğu en büyük sorun, membranda tıkanmaya sebep olmasıdır ve sıklıkla ultrafiltrasyon membranlarında bu problemle karşılaşılmaktadır. Ultrafiltrasyon membranlarındaki konsantrasyon polarizasyonu, makromoleküllerin düşük difüzyon hızı ve düşük akı miktarları nedeniyle önemli olmaktadır (Koyuncu, 2001).

#### **2.4.3.2 Membran Tıkanması**

Membrana beslenen suda mevcut olan çözünmüş, kolloidal ve süspansiyon maddelerin membran yüzeyinde birikmesi ve adsorpsiyon gibi çeşitli etkenlerle membran gözeneklerini kapatması sonucunda membranlarda tıkanma gözlemlenebilmektedir. Akıda azalma ve membran performansında düşme meydana getiren tıkanmayı engellemek için ön arıtma uygulaması önerilmektedir. Membran prosesin yapısı ve besleme suyunun karakteristiklerine bağlı olarak uygun ön arıtma metodu değerlendirilmelidir. Besleme suyunun membrana verilmeden önce 5-10 $\mu$  gözenek çaplı kartuş filtrelerden geçirilmesi ön arıtma seçeneklerindendir. Ayrıca, dikey akışlı filtrasyon yerine yatay akışlı filtrasyon uygulanması, membranın kararlı akı değeri ile uzun süre, yüksek performansta çalışabilmesine imkân sağlamaktadır (Kural, 2000).

#### **2.4.4 Atıksu Geri Kazanımında Membran Uygulamaları**

Tekstil endüstrilerinin bol miktarda su tüketimi ve yıkama, ağartma, baskı, boyama gibi tekstil üretim proseslerinde yüksek kaliteli su gereksinimi sebebiyle bu endüstride suyun geri kazanımı ve tekrar kullanımı önemli bir konudur (Baburşah vd., 2006; Fersi vd., 2005). Gelecekte, mevcut yöntemlerin etkin bir arıtma sağlayamaması ve deşarj standartlarının giderek ağırlaşması sebebiyle ozonlama ve membran prosesleri gibi ileri arıtma yöntemlerine olan ihtiyaç daha da fazla artacaktır. Tek başına veya birlikte kullanılan konvansiyonel yöntemler temel olarak deşarj standartlarını sağlamaya yönelik olarak uygulanmaktadır (Çapar vd., 2004). Ozonla kimyasal oksidasyon ya da UV-radyasyon ve ozon ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kombinasyonları da oldukça verimli bir şekilde kullanılmakta, ancak bu prosesler yüksek

maliyetlere sebep olmaktadır (Bes-Pia vd., 2003) . Bu sebeple membran teknolojileri, çeşitli tekstil atıksularının arıtımında gerçekçi ve fizibil bir seçenek olmaktadır (De Floria vd., 2005). Geri dönüşüm sistemi ile bazı proseslerin suyu kullanılırken, hem proses suyu ihtiyacı karşılanmakta, hem de atıksu deşarjı azalmaktadır. Membran filtrasyon sistemleri, boyalar ve diğer kimyasal maddelerin hiçbir kimyasal ya da fiziksel deformasyona uğramadan geri kazanımını da mümkün kılabilir. Böylece, endüstriyel kirlilik kontrolü ve su kaynaklarının korunması da sağlanmaktadır. Bu bağlamda, membran sistemler, hem ekonomik, hem de ekolojik yararlar sağlayabilmektedir (Baburşah vd., 2006; Lopes vd., 2005; Akbari vd., 2002).

Boyalı tekstil atıksularının membran prosesleri ile arıtılmasının konvansiyonel yöntemlerle arıtmaya göre en önemli avantajı boyanın sürekli olarak arıtılabilmesi ve konsantre edilerek atıksudan ayrılmasının mümkün olmasıdır (Kocaer ve Alkan, 2002). Membran sistemler kullanılarak atıksu deşarjı %63 oranında azaltılabilmekte ve geri kazanılan su birçok proseste kullanılabilmektedir (Baburşah vd., 2006). Geri kazanım ve tekrar kullanım yoluyla yeraltı suyu rezervlerinin daha az kullanılması da sağlanmaktadır. Bu çevresel faydalar, çoğu zaman membran sistemlerinin başlangıçtaki yüksek yatırım maliyetini telafi edecek düzeyde olmaktadır.

Tekstil atıksularının geri kazanımında membran sistemlerinin kullanımı halinde tekrar kullanım sisteminin geri ödeme periyodu için 2 yıldan daha düşük bir zaman dilimi yeterli olmaktadır (Koyuncu vd., 2004).

Bazı araştırmacıların yaptıkları çalışmalara göre, ultrafiltrasyon (UF), yüksek molekül ağırlıklı ve çözünemeyen boyalar (indigo, dispers), yardımcı kimyasallar (polivinil alkol) ve su geri kazanımı için başarılı bir şekilde uygulanmakla beraber, düşük molekül ağırlıklı ve çözünebilen boyaların (asit, direkt, reaktif, bazik vb.) gideriminde kullanılamamaktadır. Bu nedenle UF'den elde edilen süzütünün direkt olarak tekrar kullanımı mümkün olmamakta ve bunun için de nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (RO) ile tekrar filtrasyonu gerekmektedir (Akbari vd., 2002; Tang ve Chen, 2002; Barredo-Damas vd., 2006). RO membranlarının çoğu iyonik türler için %90'nın üzerinde verim göstermekte ve yüksek kalitede bir süzüntü eldesi sağlamaktadır. Boya banyoları çıkış sularındaki boyalar ve yardımcı kimyasallar tek bir basamakta giderilebilmekle beraber yüksek ozmotik basınç farklılığı ters osmoz uygulamalarını sınırlandırmaktadır (Kocaer ve Alkan, 2002). Diğer taraftan, RO kullanımında yüksek tabakalaşma problemi oluşmakta ve bu da düşük akı ile düşük ayırmaya sebep olmaktadır (Tang ve Chen, 2002).



NF membranlar, düşük moleköl ağırlıklı organik bileşiklerin (200-1.000 g/mol) ve iki değerlikli tuzların (yumuşatmada etkili) ayırımını başarı ile sağlamaktadır. Ayrıca, NF membranlar negatif yüzeysel yüklerinden dolayı iyon seçicidir. Yani, çok değerlikli anyonlar tek değerlikli anyonlara göre daha iyi tutulurlar. Membranların bu karakteristiğine bağlı olarak boyalı atıksularda bulunan bir kısım yardımcı kimyasallar membrandan geçebilmektedir (Kocaer ve Alkan, 2002; Koyuncu vd., 2004).

Çeşitli araştırmalara göre, NF için kütle transferini kontrol için 3 ana parametre vardır. NF'nin sahip olduğu küçük por çapları sebebiyle, NF'de kütle transfer mekanizması difüzyon ve konveksiyondur. Buna ek olarak, aktif membran yüzeyi, negatif yüklü kimyasal grupları içerir. Bu sebeple, kütle transferi elektrik alanda iyonların taşınımı yoluyla da olmaktadır. Kütle transferi sırasında difüzyon, konveksiyon ve iyon değişimi mekanizmaları olmasına rağmen, genellikle bunlardan biri daha baskındır. Baskın olan türü, membran karakteristiği ve çözeltinin özelliği belirler. (Tang ve Chen, 2002). Atıksulardan boya giderimi için NF kullanımında boyanın tipi ve işletme şartları etkili olup %98'in üzerinde renk giderimi sağlanabilmektedir (Ku vd., 2005).

Qin vd. (2007), çeşitli NF tipleri kullanarak bir boyama tesisinden kaynaklanan atıksuların geri kazanımı için fizibilite çalışması yapmışlar ve NE 70 tip membran ile boya gideriminde %99,1 verim elde edilebildiğini belirtmişlerdir. Arıtılmış suyun kalitesini türbidite, sertlik, TOC ve renk için sırasıyla 2 NTU, 60 mg/lit CaCO<sub>3</sub>, 10 mg/lit ve 5 HU olarak tesbit etmişler ve bu değerlerin boyama prosesi gereksinimini karşılayabileceğini belirtmişlerdir.

NF membranların, boyalı atıksu arıtımında geniş çaplı kabul edilirliliği söz konusu olmuştur. NF membranlar boyaların ve diğer organik maddelerin giderimini yapabilirken, NaCl ve diğer tek değerli tuzları membrandan geçirmektedir. Bu da, boya banyosunda süzöntü suyunun tekrar kullanımına izin vermektedir (Koyuncu vd., 2004).

Petrinic vd. (2007), sentetik olarak hazırladıkları reaktif boya baskı atıksuyundan, NF membran kullanarak renk, Na<sup>+</sup> ve KOİ giderimini incelemişlerdir. Farklı çapraz akış hızları (0,4-0,6 ve 0,8 m/sn) ve basınç (2-15 bar) uygulanan çalışmada kullanılan 4 boyanın her biri için yüksek boya (%99,4-99,9) ve elektrolit (%63-73) giderim verimi elde etmişlerdir. Organik maddelerin giderimi basınca bağlı olarak %20-50 olmakla beraber, yüksek basınçta, yüksek çapraz akış hızları kullanılarak yüksek giderme verimi elde etmişlerdir. Süzöntü akısında, konsantrasyon polarizasyonu ve boya adsorpsiyonu nedeniyle %50 civarında azalma meydana geldiğini ve akı azalmasının, işletme şartlarının değiştirilmesi ile minimize edilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, çapraz akış hızının artmasıyla akının arttığını

vurgulamışlardır. Başka bir çalışmada (Tang ve Chen, 2002), reaktif boya ve NaCl çözeltisinden oluşan sentetik tekstil atıksu kullanarak, ince film kompozit polisülfone NF membranına çapraz akış hızı, başlangıç boya konsantrasyonu, besleme basıncı ve elektrolit konsantrasyonu gibi parametrelerin etkisini incelemişlerdir. Suda NaCl'un bulunması sebebiyle oluşan ozmotik basınçtan akının etkilendiği, fakat bunun boya konsantrasyonunun giderimine etkisinin önemli miktarda olmadığını tespit etmişlerdir. 500 kPa ve altındaki düşük basınçlarda gerçekleştirilen çalışmada %98 boya giderimi ile %14'den düşük NaCl giderimi elde edilmiştir. Böylece, yüksek kaliteye sahip su geri kazanılabilmekte ve membran temizlendikten sonra ortalama su akısının %99'u kadar akıyı geçirebilmektedir. NF prosesi ile KOİ %90'ın üzerinde giderilebilmekte ve elde edilen süzüntü proseste tekrar kullanılabilmektedir (Zylla vd., 2006).

Sungpet vd. (2004) asit ve reaktif boyama işletmesi yıkama akımlarından gelen sıcak suyun geri kazanımında MPF-34 (MWCO 200) ve MPF-36 (MWCO 1000) tip NF membranlarını 60°C'de 10 bar'da test etmişlerdir. Asit boya ve asetik asit içeren beslemelerde her iki membranın da boyayı %99'dan fazla giderebildiği bulunurken MPF 36 ile daha yüksek akılar kullanılabilmektedir. Asit boyalar için elde edilen bu verime rağmen reaktif boyalar için %90 giderim verimi sağlanmıştır. Sonuç olarak, çalışmada MPF-36 tip NF membranın yüksek işletme sıcaklıklarında yüksek akı ile giderim sağlayabildiği ve atıksudan enerjinin geri kazanımını mümkün kılması sebebiyle önemli bir alternatif olduğu çalışmada vurgulanmıştır. Lopes vd. (2005) ise spiral sargılı DK 1073 tip membranla %99 civarında renk giderimi ve %87 KOİ giderimi elde etmişlerdir.

Bütün membran prosesler için, en önemli problem, membran yüzeyinde moleküllerin birikimi sebebiyle süzüntü akısının azalmasıdır (Akbari vd., 2002). Akı azalması iki ayrı sebeple gerçekleşmektedir. Bunlar; konsantrasyon polarizasyonu ve yüzeyde biriken maddeler sebebiyle solvent aktivitesinin azalmasıdır. Membran filtrasyonun tüm çeşitlerinde membranın seçici davranması sebebiyle membran yüzeyine yakın kısımlarında bir konsantrasyon artışı (konsantrasyon polarizasyonu) görülür. Bunun sonucunda askıda katı maddeler membran yüzeyinde bir tabaka oluştururlar (fouling). Çözülmüş maddeler sebebiyle tabaka oluşumu ise ancak çözünme sınırının (doygunluk) aşılmasıyla başlar (Tang ve Chan, 2002). Membran temelli sistemlerin kullanım ömrünün belirlenmesinde tabakalaşma kritik faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu, sistemlerin sürekli işletilmesi durumunda önemli bir problem olmaktadır. Bu problemin giderilmesi türbülanslı akım rejimi kullanılarak sağlanabilmektedir (Petricic vd., 2007; Fersi vd., 2005). Membran proseslerde bu problemin diğer bir çözüm yöntemi için ön arıtma sisteminin seçimi anahtar rol oynamaktadır (Baburşah

vd., 2006). Ön arıtma ile membrandaki tabakalaşma ve modüllerin zarar görmesi engellenmiş olabilmektedir (Marcucci vd., 2002). Önemli ön arıtma metotları; biyolojik parçalama, koagülasyon-flokülasyon, mikrofiltrasyon (MF) ve UF olarak ifade edilmektedir (Uzal vd., 2006). Tekstil boyama endüstrisi atıksularında yüksek miktarda bulunan organik bileşikler ve yüksek tuz konsantrasyonlarının yüksek miktarda tabakalaşmaya sebep olacağı unutulmamalı (Van der Brugge vd., 2004) ve gerekli teknik önlemler alınmalıdır. Tabakalaşma probleminin giderilmesinde bir yöntem olarak MF membranının ön arıtma amacıyla kullanılması gerek NF membran sistemi öncesinde (Kaleli, 2006), gerekse RO sistemi öncesinde (Sostar-Türk vd., 2005) iyi sonuçlar vermiştir. Hatta bazı çalışmalarda 1,2 µm'den küçük por çapına sahip MF'nin yalnız başına indigo boyaların yeterli miktarda giderimini sağladığı, ancak KOİ gideriminin çok düşük olduğu ifade edilerek MF'nin indigo boyama atıksularının ön arıtımı için bir alternatif olabileceği vurgulanmıştır (Uzal vd., 2006).

Membran sistemlerin işletilmesinde çapraz akış hızı, kritik işletme parametresidir. Membran yüzeyine yapışık tabakanın inceliği başlangıçta çapraz akış hızıyla kontrol edilebilmektedir. Artan hız genellikle kek direncinin düşmesi ve kek atılması sebebiyle akıyı arttırmaktadır. En yüksek akış hızında, en yüksek basınç, tabakalaşmanın azalmasıyla başarılabilmektedir. Gözlenen en yüksek çapraz akış hızları da artan akıları meydana getirmekte ve bu hızlar konsantrasyon polarizasyonu tabakasını küçük tutmayı sağlamaktadır. Böylece süzüntü akısı sınırlanmamış olmaktadır (Petrinic vd., 2007). Değişik işletme basınçlarında ( $\Delta P = 3, 5, 7, 9, 11$  bar) yapılan çalışmalar, basıncın artmasıyla orantılı olarak süzüntü akısının arttığını göstermiştir (Fersi vd., 2005). NF'de membranın karşısında oluşan ozmotik basınçta iyonik türlerin birikimi söz konusu olmaktadır. Ozmotik basınç akının azalmasına neden olmaktadır. Fakat bu olay kütle transferine karşı direncin artmasından ziyade itici gücün azalmasına neden olmaktadır. Bu, su akısı için aşağıdaki eşitlik tarafından açıklanabilir (Petrinic vd., 2007; Spiegler ve Kedem, 1996).

$$J_{ss} = L_p(\Delta P - \sigma \Delta \pi_{mem}) \quad (2.16)$$

$J_{ss}$  : Ozmotik basınç

$L_p$  : Su permeabilitesi

$\Delta P$  : Transmembran basıncı

$\sigma$  : Yansıtma katsayısı

$\Delta \pi_{mem}$ : Ozmotik basınç (membranın karşısındaki konsantrasyon farkı nedeniyle)

$$\sigma = 1 - C_p / C_m \quad (2.17)$$

$C_p$  : Süzüntü konsantrasyonu

$C_m$  : Membran yüzeyindeki konsantrasyon

Yansıtma katsayısı, membran tarafından en gerçek tuz giderimini göstermektedir. RO ayrımı için  $\sigma = 0,98$ 'den büyüktür ve bire eşit kabul edilir. Gerçek elektrolit giderimi 0,98'den önemli miktarda düşük olduğu zaman yansıtma katsayısı, beklenen transmembran ozmotik basıncı kadar olmalıdır. Bu durumda;

$$\Delta\pi_{mem} = \Delta P - J_{ss}/L_p \quad (2.18)$$

olarak düzenlenebilir.

Membran sistemlerin işletilmesinde dikkat çeken bir diğer husus atıksu kirlilik yüklerindeki değişikliklerin membran sistemlerinin performansında meydana getirdiği olumsuz etkilerdir (Baburşah vd., 2006). Qin vd. (2007), boya makinelerinde meydana gelen akımların kalitesinin oldukça çeşitli olduğunu ve boya makinelerinden ayrılmış akımlar yerine bütün fabrikadan çıkan akımların arıtılmasının maliyetinin oldukça farklı olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sonucu destekleyen bir diğer çalışma Akbari vd. (2002) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, yedi çeşit boya ve Desal 5DK membran (MWCO 150-300 g/mol) kullanılarak pH ve tuzun boya giderme verimine etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; yüksek molekül ağırlıklı boyaların giderimi %100 olarak bulunurken anyonik boyalar için pH 3-6 da düşük giderme verimleri elde edilmiş olup, katyonik boyalarda daha da düşük giderme verimleri gözlenmiştir. Ayrıca, tuzun akının normalden fazla azalmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Ranganathan vd. (2007) yaptıkları çalışmada, tekstil boyama prosesinde boya banyosu suları ve yıkama sularının ayrı ayrı arıtılarak tesiste tekrar kullanılabilmesi üzerine odaklanmışlardır. Boya banyosu suları kum filtre ve NF'den geçirildikten sonra boyama prosesinde kullanılabilirken fizikokimyasal ve biyolojik ünite proseslerinin art arda kullanımıyla arıtılmış yıkama suları ise iki aşamalı RO'dan geçirilerek geri kazanılmıştır.

Membran teknolojileri hibrit proseslerde önemli rol oynamaktadır. Bunun sebebi, ayırım proseslerinin fiziksel yapısı ve membran proseslerinin modüler dizaynıdır. Bu sistemler, aktif çamur ve kimyasal oksidasyon gibi birçok geleneksel metotla kombine edildiği zaman iyi sonuçlar elde edilebilmektedir (Bruggen vd., 2004). Örneğin; Baburşah vd. (2006), tekstil atıksularının tekrar kullanımı için yaptıkları çalışmada, 1.000 m<sup>3</sup>/gün'lük biyolojik arıtma tesisi çıkışına kum filtresi, UF ve RO içeren bir geri kazanım sistemi önermişlerdir. Sistemin, incelenen parametreler için (KOİ, AKM, iletkenlik, bulanıklık, sertlik, sülfür, sülfat, renk) %90'ın üzerinde giderme verimi sağladığı gözlenmiştir. Marcucci vd. (2002) ise biyolojik aktif çamur tesisinden gelen tekstil atıksuları için NF ve MF membranları kullanmışlardır. NF için ön arıtma olarak, kum filtreleri ve MF kullanılmıştır. Kum filtresi ve MF kullanımı; askıda katı madde ve bulanıklık gideriminde önemli rol oynamış KOİ gideriminde ise %30

oranında etkili olmuştur. NF uygulamasından sonra KOİ giderimi (%100) tamamlanmış ve renk de %81 oranında giderilmiştir. Çok az miktarda boya içeren NF süzöntüsünün bütün üretim basamaklarında tekrar kullanılabilecek niteliğe sahip olduğu gözlenmiştir.

Fersi vd. (2005), aktif çamur yöntemiyle biyolojik olarak arıtılmış tekstil endüstrisi atıksularının ön arıtımında MF kullanımının uygun bir yaklaşım olacağını ifade etmişlerdir. Direkt UF ve MF+UF uygulamaları arasında karşılaştırma yapıldığında, MF+UF kullanımının süzöntü kalitesini oldukça arttırdığını vurgulamışlardır. Bes-Pia vd. (2003)'de baskı, boyama ve son işlem endüstrisi atıksularının tekrar kullanımı için NF ile fizikokimyasal arıtmanın kombinasyonunun uygunluğunu araştırmışlardır. Fizikokimyasal arıtma iki koagülantın ( $Al^{+3}$  ve  $Fe^{+2}$  içeren) farklı kimyasal konsantrasyonları ve pH değerleri uygulanarak jar test denemeleri ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, fizikokimyasal olarak arıtılmış atıksu ile NF denemeleri, farklı işletme basınçları ve çapraz akış hızlarında çalışılmıştır. Süzöntü KOİ'sinin 100 mg/l'den düşük ve iletkenlik 1.000  $\mu s/cm$ 'den düşük olduğunun gösterildiği çalışmada fizikokimyasal arıtma ve NF kombinasyonunun endüstride tekrar kullanıma yetecek kalitede su eldesi sağlanabileceği ifade edilmiştir.

Çapar vd. (2004), bir halı yıkama fabrikasına ait baskı boyama atıksularının geri kazanımı için alum ile kimyasal çöktürme işlemi uygulamasının ardından NF ve UF prosesleri denemişlerdir. Renk ve bulanıklıkta bütün membranlarla %90' ın üzerinde giderim elde edilirken, KOİ' de farklı sonuçlar gözlenmiştir. NF membranı ile 490 kPa basınç farkı altında %99,5 oranında KOİ giderimi sağlanırken, UF membranlar ile en çok %25 giderime ulaşılmıştır. Akı azalmaları ise NF prosesinde %23 iken, UF de %11-35 arasında değişmiştir. Çalışmanın diğer aşamasında asit boyama atıksuları için kimyasal çöktürmeden sonra en uygun ön arıtma işleminin %82 renk ve %77 bulanıklık giderimi ile MF olduğunu belirlemişlerdir. Daha sonra uygulanan NF prosesinde ise baskı boyama atıksuyunda elde edilen yüksek giderme verimlerine ulaşamamışlardır. Elde edilen süzöntü suyunun geri kazanım kriterlerini sağlamaması nedeniyle, ikinci ve üçüncü kademe NF işlemleri uygulamışlar ve %94 KOİ giderimi sağlamışlardır. Tek kademe NF prosesi ile asidik pH'da %59 olarak gerçekleşen KOİ giderimi, nötr pH da %97'ye yükselmiş bu da, pH' ın NF prosesleri için önemli bir parametre olduğunu göstermiştir.

Choo vd. (2007), tekstil akımlarının tekrar kullanılabilmesi için koagülasyon ve UF sisteminde koagülasyon kimyasallarının değişik tiplerini (poliamin, alum, polialuminium klorit (PACl) ve demir tuzları) araştırmışlar ve bütün uygulamalarda UF sistemle %97 türbidite giderimi elde etmişlerdir. Tabakalaşma derecesinin kullanılan koagülantın tipine bağlı olduğu

ve özellikle polimerik koagülantların tabakalaşmayı artırırken inorganik koagülantların tabakalaşmada azalmaya yardımcı olduğu ifade edilmiştir.

Membran biyoreaktörler de, tekstil endüstrisi atıksularının arıtımı, hatta suların tamamının tekrar kullanımı için oldukça başarılı kullanımlara sahiptir. Örneğin; Badani vd. (2005), tekstil endüstrisi atıklarının arıtımı için membran biyoreaktörü kullanarak, çalışılan bütün çamur yaşlarında KOİ ortalama %97, amonyak azotu %70 ve renk %70 mertebelerinde giderilmiştir. Yine Schoeberl vd. (2005), NF'lu membran biyoreaktör kullanarak tekstil atıksuyunun tekrar kullanım ihtiyacını karşılayabilecek şekilde arıtılabileceğini göstermişlerdir. Ancak, burada yüksek maliyet ve teknik deneyim sebebiyle çeşitli zorlukların olabileceği ve bundan dolayı son deşarja NF uygulamasının daha uygun olacağı ifade edilmiştir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 3.1 Deney Tesisatları ve Deneylerin Yapılışı

##### 3.1.1 Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktörün Dizaynı ve İşletilmesi

Çalışmada kullanılan sabit granül yataklı anaerobik reaktör (SGYAR) krom çelik malzemeden silindirik olarak yapılmıştır (Şekil 3.1).

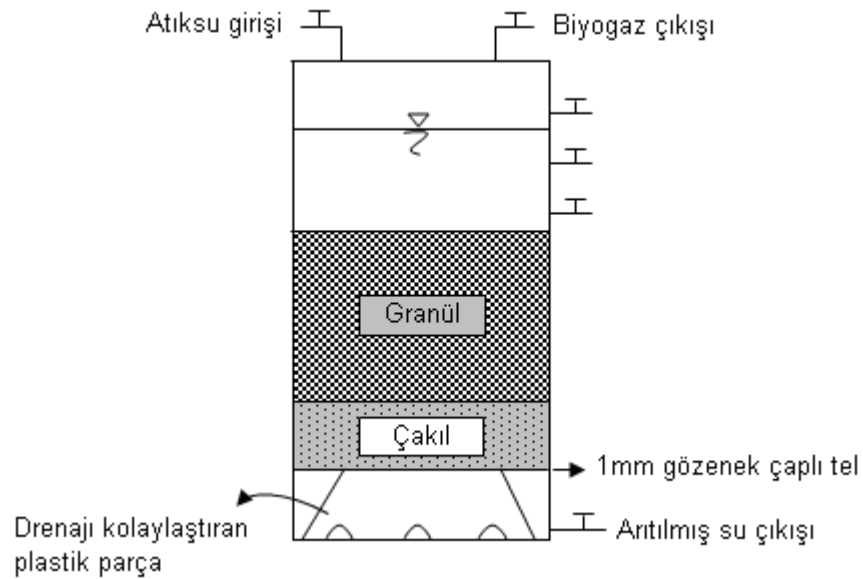


Şekil 3.1 Krom çelikten yapılmış anaerobik reaktör

Atıksu reaktörün üst kısmından beslenmekte, arıtılmış su ise reaktörün alt kısmından deşarj edilmektedir. Gazın toplanması için reaktörün üst bölgesinde boşluk bırakılmış olup, oluşan gaz reaktörün üst kısmından alınmaktadır. Reaktörün aktif hacmi 3 L'dir. Gerektiğinde granül deşarjı yapmak için reaktörün yan yüzeyinde üç adet ve arıtılan suyun çıkışı için alt kısımda bir adet çıkış borusu bulunmaktadır. Reaktördeki granülün kaçışını önlemek için reaktör tabanına 3 mm çaplı çakıl konulmuştur. Çakıl tabakasının alt kısmında reaktörden hem çakılların ve hem de granüllerin kaçışını önlemek amacıyla 1 mm gözenek çaplı elek bulunmaktadır. Yatak malzemesi olarak tamamen anaerobik granül kullanılmıştır. SGYAR'e ait şematik gösterim Şekil 3.2'de verilmiştir. Anaerobik granül, civardaki bir yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik (UASB) arıtma tesisinden temin edilmiştir. Reaktöre günlük olarak beslenen atıksu debisi zaman ayarlı peristaltik pompa ile sağlanmıştır. Reaktör oda sıcaklığında çalıştırılmıştır. Herhangi bir kaçak problemine karşı reaktörde gerekli önlemler alınmıştır.

Bu çalışmada SGYAR'ın kullanılmasının en önemli nedenleri aşağıdaki gibi sayılabilir.

- Anaerobik arıtma sitemleriyle tekstil atıksularından renk ve KOİ gideriminin başarı ile yapılabilmesi,
- Daha önce yapılan çalışmalarda, SGYAR ile yüksek organik yüke sahip atıksulardan yüksek KOİ giderme verimleri elde edilmiş olması,
- Karıştırma gereksinimi olmaması nedeniyle, diğer anaerobik sitemlerden daha ekonomik olabilmesi,
- Alıştırma döneminin diğer anaerobik sistemlere göre kısa olması,
- SGYAR'ın geliştirilmeye açık olması,
- SGYAR ile daha önce tekstil atıksularının arıtımı üzerine herhangi bir çalışma yapılmamış olmasıdır.



Şekil 3.2 SGYAR'ın şematik diyagramı

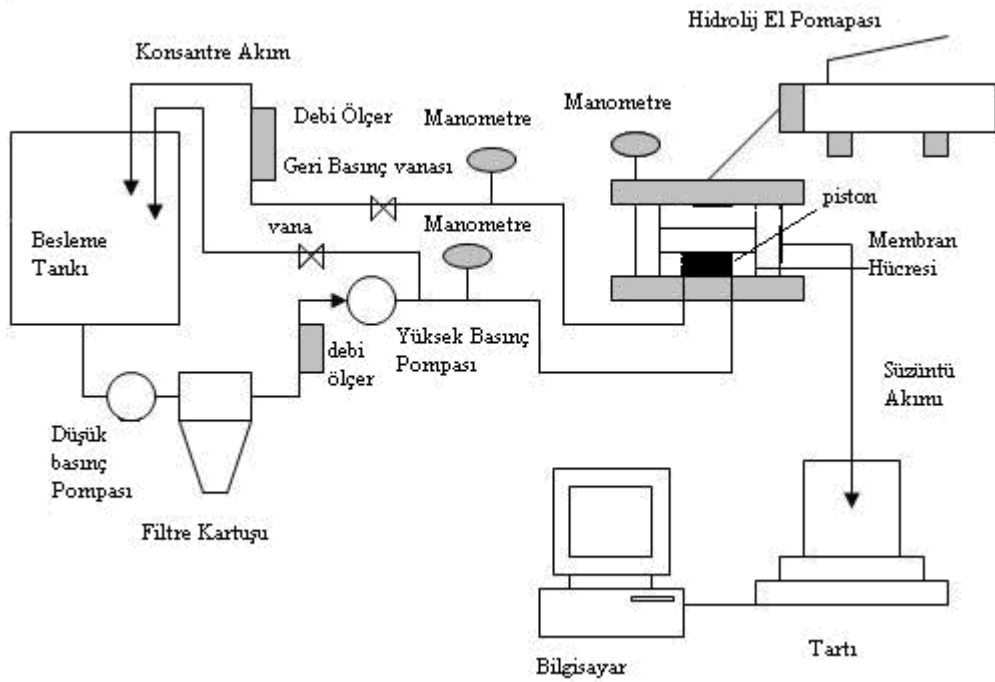
Krom çelikten yaptırılmış olan anaerobik reaktöre besleme, 2.000 mg/l KOİ eşdeğerli süt tozu çözeltisi ile hidrolik bekletme süresi 48 saat olacak şekilde başlatılmıştır. Kararlı hale gelen anaerobik reaktöre gerçek tekstil atıksuyu beslemesi yapılmıştır. Bu besleme periyodunda organik yükleme oranı 1 kg/m<sup>3</sup>.gün olmuştur. Çalışma 24 saatlik hidrolik bekletme süresinde de gerçekleştirilmiş olup, organik yükleme oranı yaklaşık 1,7 kg/m<sup>3</sup>.gün olarak gerçekleştirilmiştir.



Anaerobik reaktöre atıksu beslemesi yapılmadan önce pH ayarlaması ve KOİ/Azot/Fosfor (C/N/P) oranı 300/5/1 olacak şekilde nütrient dengelemesi yapılmıştır. Alkalinite miktarları girişte 1.000-1.500 mg/L olacak şekilde tutulmaya çalışılmıştır. Reaktör çıkışından numune alınarak ve gaz ölçümleri yapılarak reaktör verimi kontrol edilmiştir.

### 3.1.2 Membran Sisteminin Kurulumu ve  iletmeye Alınması

Deneylerde kullanılan laboratuvar ölçekli membran tesisi OSMONICS marka membran hücresi içermektedir. Paslanmaz  elikten imal edilmiş bu tesis üç fazlı akım ile çalışan bir yüksek basınç pompasına sahiptir. Tesis, yüksek basınç pompası, ince kartuş filtre, membranının yerleştirildiği membran hücresi, membran hücre muhafazası, membrana hücresine giriş ve çıkışta olmak üzere manometreler, yüksek basınç ayar vanası, soğutma sistemi, hidrolik el pompası ve besleme tankı ünitelerinden meydana gelmektedir. Membran prosesine ait akım şeması şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Membran prosesinin akım şeması

Membran hücresi alttan basınç uygulanarak sıkıştırılmakta ve bu şekilde, uygulanan besleme akımındaki basın a dayanıklı olması sağlanmaktadır. Membran hücre muhafazasındaki piston sistemine uygulanan basınç hidrolik el pompası ile gerçekleştirilmektedir. Tesis, besleme tankı içerisine ve membran konsantre hattı üzerine yerleştirilen iki soğutma tertibatına

sahiptir. Soğutma tertibatı ile çalışılan suyun sıcaklığı oda sıcaklığında sabit tutulmaya çalışılmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Membran deney tesisatı

Membran tesisinde tanktaki besleme suyu ilk olarak pompa aracılığı ile kartuş filtreye gönderilmekte, kartuş filtreden geçen akım daha sonra membran hücresine girmektedir. Membran hücresinde akım konsantre akım ve süzüntü akımı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Konsantre akım besleme tankına geri devrettirilirken, süzüntü akımı akıyı belirlemek için ayrı bir beherde toplanmaktadır.

Çalışmada akı ölçümü bilgisayara bağlı bir tartı aracılığı ile yapılmıştır. Zamana bağlı olarak elde edilen süzüntü akımı bilgisayara bağlanan bir terazi vasıtasıyla olmuştur. Deneyler, UF membranlar için 3 bar, NF membranlar için ise 4, 6, 8 ve 10 bar basınçta gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kirlenmiş membran görüntüsü Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Kirlenmiş membran görüntüsü

Membran sistemde; toplam alanı yaklaşık 0,014 m<sup>2</sup> olan, ticari adı NP010 (NF10) ve NP030 (NF 30) nanofiltrasyon membranları ve ticari adı UC010 (UF 10) ve UC030 (UF 30) olan ultrafiltrasyon membranları kullanılmıştır. Membranlara ait teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

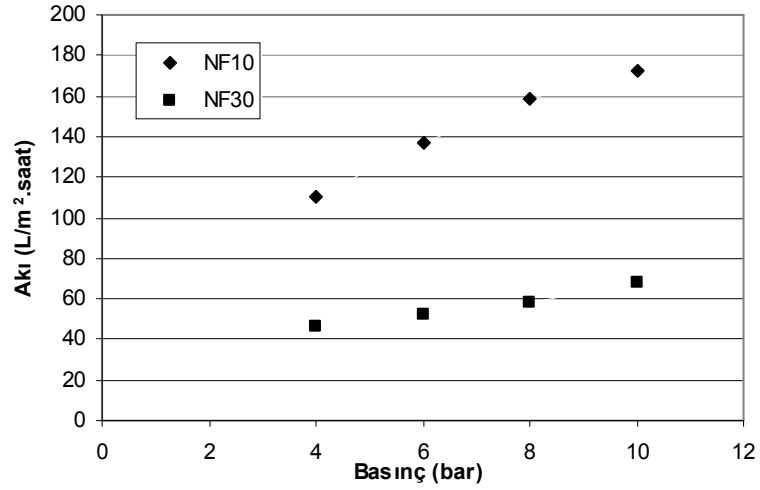
Çizelge 3.1 Kullanılan membranlara ait teknik bilgiler

| Memb. tipi     | Üretici Firma   | Materyal                 | Membran Özelliği | MWCO, kDa | <sup>a</sup> M.İ.B., bar | <sup>b</sup> M.İ.S., C° | Çalışma Verim                          |                       |                    |
|----------------|-----------------|--------------------------|------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------------|-----------------------|--------------------|
|                |                 |                          |                  |           |                          |                         | Çözelti                                | Molekül ağırlığı (Da) | Giderme verimi (%) |
| NP 010 (NF 10) | Macrodyn® Nadir | Polietersülfon           | Hidrofilik       | -         | 40                       | 95                      | NaCl (%0.5)                            | 58                    | 5-15               |
|                |                 |                          |                  |           |                          |                         | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%0.5) | 142                   | 25-55              |
|                |                 |                          |                  |           |                          |                         | Laktoz (%4)                            | 342                   | 25-45              |
| NP 030 (NF 30) | Macrodyn® Nadir | Dayanıklı Polietersülfon | Hidrofilik       | -         | 40                       | 95                      | NaCl (%0.5)                            | 58                    | 25-35              |
|                |                 |                          |                  |           |                          |                         | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%0.5) | 142                   | 80-95              |
|                |                 |                          |                  |           |                          |                         | Laktoz (%4)                            | 342                   | 70-90              |
| UC 010 (UF 10) | Macrodyn® Nadir | Selüloz                  | -                | 10        | 3                        | 55                      | Dekstran T10(%1)                       | 10.000                | 70-85              |
|                |                 |                          |                  |           |                          |                         | Bovine Serum Alb. (%0.15)              | 67.000                | >99                |
|                |                 |                          |                  |           |                          |                         | β-lakta glubolin (%0.05)               | 36.560                | 85-95              |
| UC 030 (UF 30) | Macrodyn® Nadir | Selüloz                  | -                | 30        | 3                        | 55                      | PVP K30 (%2)                           | 45.000                | 80-88              |
|                |                 |                          |                  |           |                          |                         | Bovine Serum Alb. (%0.15)              | 67.000                | >98                |
|                |                 |                          |                  |           |                          |                         | Dekstran T500 %1                       | 500.000               | >99                |

<sup>a</sup>Maksimum işletme basıncı,

<sup>b</sup>Maksimum işletme sıcaklığı.

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan membranların temiz su akılarının hesaplanması ve membranların kararlı akı durumuna gelebilmesi için membranlar distile su ile basınçlandırılmıştır. Membranlar distile suyu ile değişik basınçlarda çalıştırılmış, geçirimsilik katsayıları ( $L_p$ ) hesaplanmış ve basınç-akı grafiği çizilmiştir. Saf suyun ozmotik basıncının sıfır ve basınç ile su akısı arasında lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu durumda basınç-akı grafiğinin eğiminden  $L_p$  değeri bulunmuştur. Şekil 3.6’da, çalışmada kullanılan NF membranların distile suyla yapılan deneylerinden elde edilen basınç-akı grafiği gösterilmiştir. UF membranlarında distile su denemeleri yalnızca 3 bar basınç altında gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlara göre NF ve UF membranları için hesaplanan geçirimsilik katsayıları Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.6 Distile suyu ile membranın kararlı hale gelmesi sırasında elde edilen basınç akı ilişkisi

Çizelge 3.2 Distile suyu için membranların geçirimsilik katsayısı değerleri ( $L_p$ )

| Membran tipi                     | NF 10 | NF 30 | UF 10 | UF 30 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $L_p$ , L/m <sup>2</sup> .st/bar | 20,8  | 7,33  | 34    | 130,4 |

### 3.2 Denemelerde Kullanılan Atıksular

#### 3.2.1 Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksuyu

Çalışmada kullanılan atıksu, dokunmuş kumaş terbiyesi yapan bir fabrikadan temin edilmiştir. İşletmede çoğunlukla reaktif boyalar olmak üzere kükürtlü boyalar ve indigo boyalar ile pamuklu kumaş boyaması yapılmaktadır. Çalışılan fabrikaya ait proses akım şeması Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Çalışmada atıksuyu kullanılan tekstil fabrikasına ait proses akım şeması

Tesiste atıksu oluşturan kaynaklar; haşıllama, haşıl sökme, boyama, yıkama, merserizasyon ve kasarlama (ağartma) adımlarıdır.

Çalışmada atıksuyu kullanılan fabrikanın üretim ve atıksu miktarının alt prosesler bazında genel değerlendirilmesi Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Çalışmada atıksuyu kullanılan fabrikanın üretim ve atıksu miktarının alt prosesler bazında genel değerlendirilmesi

| Prosesler                               | Ortalama üretim | Genel üretim bazında prosesin üretimdeki yüzdesi | Atıksu oluşumu      | Toplam atıksu bazında prosesin atıksu oluşumu içindeki yüzdesi | Kullanılan kimyasal maddeler                                     |
|-----------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                         | m/gün           | %                                                | m <sup>3</sup> /gün | %                                                              |                                                                  |
| <b>ÖN TERBİYE (KASARLAMA) PROSESİ</b>   |                 |                                                  |                     |                                                                |                                                                  |
| Yakma                                   | 40 000          | 23,6                                             | 0,01                | 0,001                                                          | -                                                                |
| Haşıl sökme                             |                 |                                                  | 2,60                | 0,218                                                          | NaOH, haşıl sökücü, ıslatıcı                                     |
| Yıkama tekneleri-1                      |                 |                                                  | 28,40               | 2,383                                                          | -                                                                |
| Sıkma silindiri                         |                 |                                                  | 0,20                | 0,017                                                          | -                                                                |
| Dipsat (ağartma)                        |                 |                                                  | 240,39              | 20,167                                                         | NaOH, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Beyazlatıcılar (ağartıcılar) |
| Yıkama tekneleri 2                      |                 |                                                  | 28,40               | 2,383                                                          | -                                                                |
| ARA TOPLAM                              | 40 000          | 23,6                                             | 300,00              | 25                                                             |                                                                  |
| <b>MERSERİZASYON PROSESİ</b>            |                 |                                                  |                     |                                                                |                                                                  |
| Merserizasyon                           | 40 000          | 23,6                                             | 158,8               | 13,317                                                         | NaOH                                                             |
| Soguk su ile durulama                   |                 |                                                  | 3,00                | 0,252                                                          | -                                                                |
| Asetik asitle asitleme                  |                 |                                                  | 0,60                | 0,050                                                          | Asetik asit                                                      |
| Durulama                                |                 |                                                  | 0,60                | 0,050                                                          | -                                                                |
| ARA TOPLAM                              | 40 000          | 23,6                                             | 163,0               | 13,669                                                         |                                                                  |
| <b>REAKTİF BOYA İLE BOYAMA PROSESİ</b>  |                 |                                                  |                     |                                                                |                                                                  |
| Boyama kazanı                           | 40 000          | 23,6                                             | 30,6                | 2,566                                                          | Asetik asit, boya                                                |
| Yıkama makinası                         |                 |                                                  | 250,0               | 20,964                                                         | -                                                                |
| Apre-ikmal                              |                 |                                                  | 0,6                 | 0,050                                                          | Yumuşatıcılar                                                    |
| Sanfor makinası                         |                 |                                                  | 15,0                | 1,258                                                          | -                                                                |
| ARA TOPLAM                              | 40 000          | 23,6                                             | 296,2               | 24,839                                                         |                                                                  |
| <b>KÜKÜRTLÜ BOYA İLE BOYAMA PROSESİ</b> |                 |                                                  |                     |                                                                |                                                                  |
| Boya kazanı (buhar. kazanı)             | 40 000          | 23,6                                             | 30,6                | 2,566                                                          | Boya                                                             |
| Şok su teknesi (temaşı sog. suyu)       |                 |                                                  | 0,6                 | 0,050                                                          | -                                                                |
| Yıkama makinası                         |                 |                                                  | 250,0               | 20,964                                                         | Asetik asit                                                      |
| Apre-ikmal                              |                 |                                                  | 0,6                 | 0,050                                                          | yumuşatıcılar                                                    |
| Sanfor makinası                         |                 |                                                  | 15,0                | 1,258                                                          | -                                                                |
| ARA TOPLAM                              | 40 000          | 23,6                                             | 296,8               | 24,889                                                         |                                                                  |
| <b>İNDİGO BOYAMA PROSESİ</b>            |                 |                                                  |                     |                                                                |                                                                  |
| Yıkama 1                                | 9600            | 5,6                                              | 64,0                | 5,367                                                          | -                                                                |
| Yıkama 2                                |                 |                                                  | 64,0                | 5,367                                                          | -                                                                |
| ARA TOPLAM                              | 9 600           | 5,6                                              | 12,0                | 10,734                                                         | -                                                                |
| <b>EVSEL ATIKSU</b>                     |                 |                                                  |                     |                                                                |                                                                  |
| Kişi                                    |                 |                                                  | 8,5                 | 0,713                                                          | 85 kişi (100 L/N.gün)                                            |
| GENEL TOPLAM                            | 169 600         | 100                                              | 1.192,5             | 100                                                            |                                                                  |

Fabrikada fikse malzemesi olarak sodyum klorür (NaCl) ve üre kullanılmaktadır. Bu fabrikada oluşan evsel ve endüstriyel atıksular halen bir ardışık kesikli aerobik arıtma tesisi ile arıtılmaktadır. Atıksuyun yalnızca %1’lik bir kısmı evsel atıksulardan oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan tekstil fabrikasına ait genel özellikler Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Çalışmada atıksuyu kullanılan tekstil endüstrisinin genel özellikleri

|                          |                                        |
|--------------------------|----------------------------------------|
| Elyaf tipi               | Pamuk (%95), polyester (%5)            |
| Boya tipi                | Reaktif, indigo, kükürt                |
| Fiksasyon maddesi        | NaCl , üre                             |
| Atıksu arıtma tipi       | Ardışık kesikli aerobik reaktör (AKAR) |
| Arıtma tesisi kapasitesi | 3.000 m <sup>3</sup> /gün              |

Çalışmada kullanılan pamuklu tekstil endüstrisi atıksuyunun çalışma süresince yapılan analizleri sonucu elde edilen karakteristikleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Çalışmada kullanılan pamuklu tekstil endüstrisi atıksuyunun karakteristikleri

| Atıksu                             | pH   | KOI,mg/L  | BOİ <sub>5</sub> ,<br>mg/L | AKM,mg/L | NH <sub>3</sub> -<br>N,mg/L | TP,mg/L | Sülfat,mg/L | T.<br>Cr,mg/L |
|------------------------------------|------|-----------|----------------------------|----------|-----------------------------|---------|-------------|---------------|
| Arıtılmamış<br>Tekstil<br>Atıksuyu | 12±1 | 1.950±400 | 600±140                    | 200±65   | 14±2,3                      | 1,6±1   | 250±50      | <0,01         |

### 3.2.2 Aerobik Arıtma Tesisi Çıkış Suyu

Yapılan çalışmada, fabrikada halen çalışır durumda bulunan ardışık kesikli aerobik arıtma sistemine ait çıkış suları da membran sistemlerde kullanılarak, geri kazanım için uygunluğu değerlendirilmiştir. Mevcut arıtmada 4 adet biyolojik havalandırma havuzu bulunmaktadır. Biyolojik arıtma için gerekli oksijen 4 adet aeratör aracılığıyla suya verilirken, aynı zamanda havuzda tam karışım da sağlanmaktadır. Atıksuyun içindeki organik maddeler bir dizi biyokimyasal reaksiyon sonucu aktif çamur adı verilen mikroorganizmalar topluluğu tarafından biyolojik olarak parçalandıktan sonra çöktürme fazı gerçekleştirilmektedir. Çöktürme fazını takiben arıtılmış su hava kontrollü vana aracılığıyla son noktaya deşarj edilmektedir. Sistemde oluşan biyolojik çamur ise çamur pompaları aracılığıyla çamur susuzlaştırma ünitesine verilmektedir. Biyolojik çamur öncelikle çamur yoğunlaştırma ünitesinde mekanik yoğunlaştırıcı aracılığıyla yoğunlaştırma işlemine tabi tutulmakta, daha sonra bir adet yüksek basınçlı piston pompa ile filtre prese verilip susuzlaştırılarak kek haline getirilerek uzaklaştırılmaktadır. Filtrat suyu bir adet atıksu pompası ile biyolojik arıtmaya geri

devrettirilmektedir. Presleme işleminde ayrıca polimer dozlaması yapılmaktadır. Fabrikaya ait arıtma tesisi deşarj suyu karakteristikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Fabrikada mevcut arıtma tesisi çıkış suyu karakteristikleri

| Atıksu                             | pH      | KOİ,mg/L | AKM,mg/L | NH <sub>3</sub> -N,mg/L | TP,mg/L  | Sülfat,mg/L | T. Cr,mg/L |
|------------------------------------|---------|----------|----------|-------------------------|----------|-------------|------------|
| Aerobik Arıtılmış Tekstil Atıksuyu | 7,1±0,3 | 450±200  | 70±10    | 47,6±5                  | 0,41±0,1 | 370±20      | <0,01      |

### 3.2.3 Laboratuvar Ölçekli SGYAR’e Ait Çıkış Suyu

Tekstil endüstrisi atıksuyunun laboratuvar ölçekli SGYAR ile farklı hidrolik bekletme sürelerinde arıtılması sonucunda elde edilen deşarj suyu da, membran çalışması sırasında kullanılarak, geri kazanım için uygunluğu konusunda değerlendirme yapılmıştır. SGYAR’e ait çıkış suyu karakteristikleri çalışmanın 4. Bölüm’ünde verilmiştir.

### 3.3 İzlenen Parametreler

Anaerobik reaktörün performansının belirlenmesi maksadıyla reaktörün giriş ve çıkışından alınan numunelerde; KOİ, AKM, renk (fotometrik metot, Merck SQ-118), TKN, amonyum azotu, toplam fosfor, ortofosfat, pH, alkalinite, uçucu yağ asitleri ve üretilen metan miktarı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca atıksu karakteristiklerini belirlemek maksadıyla, endüstriden her numune alındığında; toplam krom, sülfür ve fenol ölçümleri de yapılmıştır.

Membrana beslenen suyun ve süzöntü suyunun kalitesini belirlemek amacıyla, alkalinite, KOİ, iletkenlik, TDS, renk (fotometrik metot, Merck SQ-118), toplam sertlik, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> ve Mg<sup>+2</sup> parametreleri ölçülmüştür. Yapılan analizlerde standart metotlar takip edilmiştir (APHA ve AWWA, 2005).

Gaz miktarları reaktörün gaz çıkışlarına bağlı olan Ritter marka gaz ölçer ile yapılarak, ölçüm sonuçlarının çok kısa zaman dilimlerinde ml birimi ile bilgisayara otomatik olarak kaydedilmesine çalışılmıştır. Ancak, gaz debisinin düşük olması sebebiyle gaz ölçer verimli olarak kullanılamamıştır. Üretilen gazın bir gaz torbasında toplanmasının ardından, periyodik olarak gaz ölçerde hacmi belirlenebilmiştir.

Akı ölçümü bilgisayara bağlı bir hassas terazi aracılığıyla yapılmıştır. Süzöntü akımı, terazide toplanmış ağırlık cinsinden okunmuştur. Birimi gr/dak cinsinden elde edilen bu veriler,

$$Akı (J_v) (L/m^2.st) = (gr/dak * 0,001 L/gr(su yoğunluğu) * 60 dak/st) / 0,014 m^2 (membran alanı)$$



şeklinde hesaplanarak grafikler oluşturulmuştur.

### 3.4 Deneysel Çalışma Sistematiği

Deneysel çalışmanın birinci bölümünde pamuklu tekstil boyaması yapan fabrikadan temin edilen atıksuyun karakteristikleri belirlenerek, SGYAR ile 24 saat ve 48 saat hidrolik bekletme sürelerinde çalışmasından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu aşamada, SGYAR ile tekstil atıksularından özellikle KOİ ve renk giderimi başarısı üzerine değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, SGYAR'den her iki hidrolik bekletme süresi sonunda toplanan çıkış suları, UF ve NF membran sistemler ile çalışılarak geri kazanım imkânları araştırılmıştır.

İki tip UF ve iki tip NF membran kullanılmıştır. UF membranlar için basınç 3 bar, NF membranları için ise basınç 4, 6, 8 ve 10 bar olacak şekilde çalışılmıştır. Membran çalışmaları sırasında debi 300 L/st ve sıcaklık 25 °C'de sabit tutulmuştur. Kullanılan atıksuların pH değerleri yaklaşık 7 değerinde tutulmuştur.

Geri kazanım değerlendirmesinin daha objektif olabilmesi için membran çalışmaları arıtılmamış tekstil atıksuyu ve fabrikada mevcut aerobik prosesle arıtılmış tekstil atıksuyu ile de gerçekleştirilmiştir. Membran filtrasyon çalışmaları sırasında takip edilmiş olan deneysel çalışma sistematiği Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Membran sistemle çalışma sistematiği ( Debi= 300 L/st; pH=7)

| Membran Tipi                       |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| UF10                               | NF10                               | UF10+NF10                          | UF30                               | NF30                               | UF30+NF30                          | UF30+NF10                          | UF10+NF30                          |
| Basınç (bar)                       |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |
| 3                                  | 4-6-8-10                           | 4-6-8-10                           | 3                                  | 4-6-8-10                           | 4-6-8-10                           | 4-6-8-10                           | 4-6-8-10                           |
| Arıtılmamış tekstil atıksuyu       | Arıtılmamış tekstil atıksuyu       | Arıtılmamış tekstil atıksuyu       |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |
| SGYAR çıkışı (HBS=48 s)            | SGYAR çıkışı (HBS=48 s)            | SGYAR çıkışı (HBS=48 s)            |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |
| SGYAR çıkışı (HBS=24 s)            | SGYAR çıkışı (HBS=24 s)            | SGYAR çıkışı (HBS=24 s)            | SGYAR çıkışı (HBS=24s)             | SGYAR çıkışı (HBS=24s)             | SGYAR çıkışı (HBS=24 s)            | SGYAR çıkışı (HBS=24 s)            | SGYAR çıkışı (HBS=24 s)            |
| Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu | Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu | Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu | Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu | Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu | Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu | Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu | Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu |

Çalışmanın üçüncü aşamasında, laboratuvar ölçekli anaerobik reaktör ve tam ölçekli aerobik arıtma tesisi çıkış sularının NF10 ve NF30 karşısındaki tıkanma, konsantrasyon polarizasyonu ve akı azalma performansını değerlendirmek için uzun süreli deneyler yapılmıştır. Deneyler sabit debi (300 L/st), sabit basınçta (10 bar) ve sabit sıcaklıkta (25 °C), 96 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Besleme haznesi ve süzöntüden her 24 saatte bir alınan numunelerle ve akı ölçümleriyle değerlendirme yapılmıştır.

Membran çalışmaları sonucunda elde edilen akı ve giderme verimleri sonuçları kullanılarak,  $1/R$  ve  $1/J_v$  arasındaki ilişkiden  $KO_I$ , renk ve iletkenlik parametreleri için kütle transfer katsayıları hesaplanmıştır.

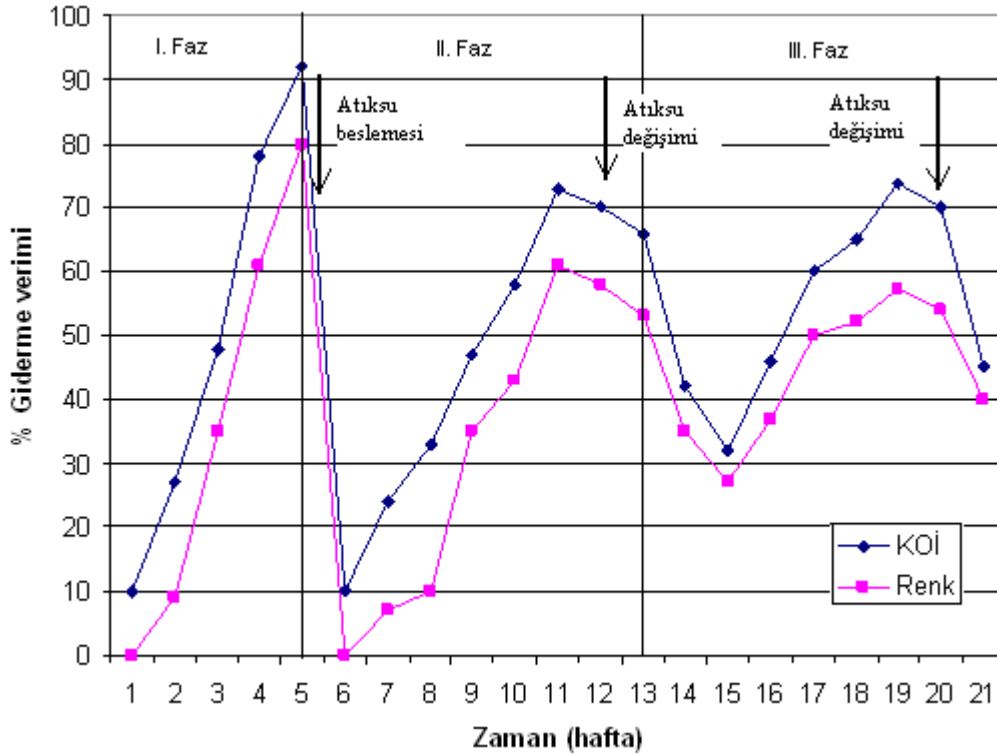
## 4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

### 4.1 SGYAR'ın Arıtma Performansı Sonuçları

SGYAR ile 48 saat ve 24 saat hidrolik bekletme sürelerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar üç ayrı faz olarak değerlendirilerek grafiklendirilmiştir. I. faz, reaktörün süt tozu çözeltisi ile alıştırma dönemini içeren 5 haftayı içine almaktadır. II. faz 48 saat ve III. faz 24 saat hidrolik bekletme süresinde çalışma süreçlerinden oluşmaktadır. Değerlendirmeye alınan toplam çalışma süresi 21 haftadır.

Şekil 4.1'de SGYAR ile yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen KOİ ve renk giderme verimleri gösterilmektedir. Buna göre, süt tozu çözeltisi ile yapılan çalışma sürecinde (I. Faz) 5. haftada %92 KOİ ve %80 renk giderme verimi elde edilmiştir. Süt tozu çözeltisi ile endüstriden temin edilen granüllerin ortam şartlarına alıştırılması dönemi 5 hafta devam etmiştir.

Reaktöre ilk atıksu beslemesi 6. haftada 48 saat hidrolik bekletme süresiyle gerçekleşmiştir. Atıksu beslenmeye başlandığı ilk haftada, KOİ ve renk giderme verimlerinde ani bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu düşüş, reaktördeki mikroorganizmaların atıksuya alışma süreci olarak değerlendirilebilmektedir. KOİ giderme verimleri başlangıçta %10 seviyelerine kadar inmiştir. İlerleyen haftalarda giderme verimlerinde artış gözlenmiştir.



Şekil 4.1 SGYAR çıkışında elde edilen KOİ ve renk giderme verimleri

Fabrikanın üretim prosesinde kullanılan kimyasallar ve boya hammaddelerinin sürekli farklılık göstermesi, fabrikadan belirli aralıklarla (1,5-2 ay) alınan numunelerin her dönemde farklı karakterde olmasına sebep olmuştur. Bu farklı karakterdeki atıksular da numunenin değiştirildiği dönemlerde reaktörün performansı üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmiştir. Reaktöre beslenen atıksuyun KOİ değeri yaklaşık 2000 mg/L olacak şekilde ayarlama yapılmıştır. Giderme verimleri atıksuyun değiştiği her dönemde düşmüş, atıksuya alışma süreci yeniden başlamıştır.

Anaerobik arıtma ve diğer bütün biyolojik arıtma sistemlerinde çalışılan atıksularda BOİ/KOİ oranının yüksek olması arzu edilen bir durumdur. Çalışmada kullanılan tekstil atıksuyunda yapılan analizler sonucunda BOİ/KOİ (~600mg/L / ~1950mg/L) oranının 0,3 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu da atıksu içerisinde biyolojik olarak zor ayrışabilen maddelerin olduğunun bir göstergesi olmaktadır.

SGYAR'de gerçek tekstil atıksularının 48 saat hidrolik bekleme süresi ve 1 kg/m<sup>3</sup>.gün organik yükleme oranı sonucu maksimum %72 KOİ ve %61 renk giderimi elde edilmiş, bu giderim verimleri gerek atıksuyun BOİ/KOİ oranının düşük olması sebebiyle, gerekse literatür sonuçlarına (%60-90 KOİ ve % 50-99 renk giderimi) göre tatmin edici olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 4.1'de atıksu beslemesi sırasında SGYAR çıkışından 11 ve 12. haftalarda alınan numunelerin analiz sonucu ile beslemede kullanılan ham tekstil atıksuyuna ait analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği deşarj limitleri sınır değerlerinin üzerinde görülmüştür. Sınır değerlerin üzerindeki parametreler Çizelge 4.1'de koyu renkli olarak gösterilmiştir.

Şekil 4.1'de, III. Faz olarak gösterilen çalışma aralığında SGYAR, 24 saat hidrolik bekletme süresinde çalıştırılmıştır. KOİ ve renk giderimi bu fazın başlangıcında %30 seviyelerinde olmuştur. 24 saat hidrolik bekletme süresine adaptasyon sağlandıkça giderme verimlerinde artış görülmektedir. SGYAR'de gerçek tekstil atıksularının 24 saat hidrolik bekleme süresi ve 1,7 kg/m<sup>3</sup>.gün organik yükleme oranı sonucu maksimum %74 KOİ ve %57 renk giderimi elde edilmiştir. 24 saat hidrolik bekletme süresi için; 48 saat hidrolik bekletme süresi ile çalıştırılmış SGYAR'den elde edilen çıkış suyu ile benzer sonuçlar vermiştir. KOİ gideriminde %2 lik bir artış görülse de, renk giderimi %4 oranında azalmıştır. Bu durumun, beslenen atıksu karakteristiğinin değişkenliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.1'de atıksu beslemesi sırasında SGYAR çıkışından 19 ve 20. haftalarda alınan numunelerin analiz sonucu ile beslemede kullanılan ham tekstil atıksuyuna ait analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği deşarj limitleri sınır

değerlerinin üzerinde görülmüştür. Sınır değerlerin üzerindeki parametreler Çizelge 4.1’de koyu renkli olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 48 ve 24 saat hidrolik bekletme sürelerinde çalıştırılan SGYAR’e beslenen tekstil atıksuyu ve anaerobik reaktör çıkış suyu karakteristiği

| Parametre     | Birim | HBS=48 saat<br>II. Faz                                        |                            | HBS=24 saat<br>III.Faz                                           |                            | SKKY<br>10.2 (Tekstil<br>Sanayi -<br>Dokunmuş<br>Kumaş<br>Terbiyesi ve<br>Benzerleri)<br>2 saatlik<br>numune |
|---------------|-------|---------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               |       | Çalışmada<br>kullanılan tekstil<br>atıksuyu<br>karakteristiği | Anaerobik<br>arıtma çıkışı | Çalışmada<br>kullanılan<br>tekstil<br>atıksuyu<br>karakteristiği | Anaerobik<br>arıtma çıkışı |                                                                                                              |
| KOİ           | mg/L  | 2.300±400                                                     | <b>630±10</b>              | 1.660±300                                                        | <b>440±10</b>              | 400                                                                                                          |
| Renk          | Hz    | 775±175                                                       | 300±100                    | 820±70                                                           | 350±20                     |                                                                                                              |
| pH            |       | 12±1                                                          | 7,2±0,5                    | 12±1                                                             | 7,2±0,5                    | 6-9                                                                                                          |
| AKM           | mg/L  | 300±100                                                       | <b>250±50</b>              | 150±100                                                          | <b>130±50</b>              | 140                                                                                                          |
| Amonyum Azotu | mg/L  | 30±10                                                         | <b>15±3</b>                | 10 ±2                                                            | <b>13,2±3</b>              | 5                                                                                                            |
| TKN           | mg/L  | 80±40                                                         | 20,4±10                    | 35±10                                                            | 38±12                      |                                                                                                              |
| Toplam Fosfor | mg/L  | 1,75±1                                                        | 0,38±0,2                   | 1,55±1                                                           | 0,5±0,3                    |                                                                                                              |
| Ortofosfat    | mg/L  | <0,1                                                          | <0,1                       | <0,1                                                             | <0,1                       |                                                                                                              |
| Fenol         | mg/L  | 2,35±2                                                        | 0,5                        | 1,85±1                                                           | 0,5                        | 1                                                                                                            |
| Sülfür        | mg/L  | 0,99                                                          | <0,02                      | 0,8                                                              | <0,02                      | 0,1                                                                                                          |
| Sülfid        | mg/L  | 7,5                                                           | <b>1,3±0,5</b>             | 2,8                                                              | <b>1,2±0,1</b>             | 1                                                                                                            |
| Sülfat        | mg/L  | 300±100                                                       | 250±100                    | 150±100                                                          | 150±100                    |                                                                                                              |
| T.Cr          | mg/L  | <0,01                                                         | <0,01                      | <0,01                                                            | <0,01                      | 2                                                                                                            |

SGYAR çıkışında AKM miktarı da çoğunlukla limit değerlerin üzerinde bulunmuştur. Yalnızca 24 saat hidrolik bekletme süresinde AKM miktarı sınır değerinin biraz altında bulunmuştur. AKM’nin yüksek olmasının sebebi, reaktörden parçalanmış granül kaçıışı olarak düşünülmektedir. Amonyum azotu konsantrasyonu da anaerobik arıtma çıkışında Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği sınır değerlerinden daha yüksek olarak gözlenmiştir. Giderimin az olması anaerobik reaktörde normal olarak karşılanmaktadır. Anaerobik reaktörlerde, azotlu bileşiklerin fermentasyonu sonucunda formik, asetik, propiyonik ve laktik asit gibi yağ asitleri ile CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> gibi gazlar oluşmaktadır. Bu reaktörlerde beklenen amonyak azotu giderim oranı yaklaşık % 10 dur (Öztürk, 2007).

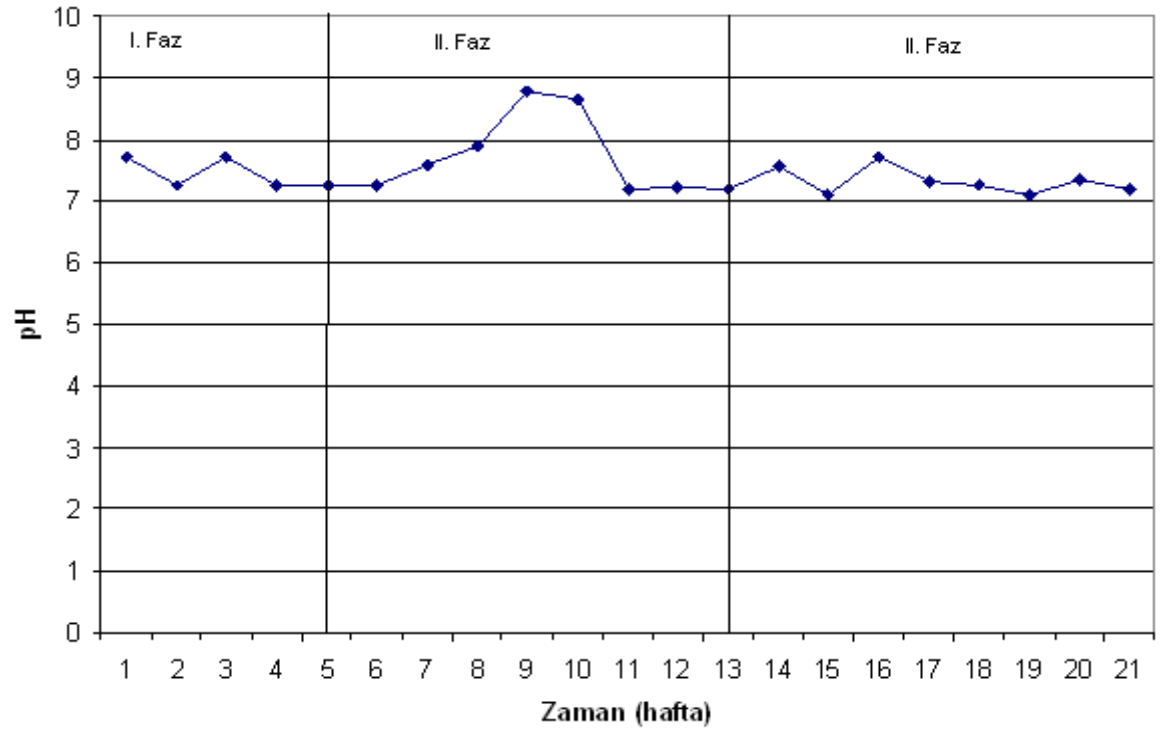
SGYAR’de yüksek giderme verimi elde edilen; 48 saat hidrolik bekletme süresi için 11 ve 12. haftalara ait veriler ile 24 saatlik hidrolik bekletme süresi için 19 ve 20. haftalarda elde edilen veriler Çizelge 4.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2 SGYAR’de hidrolik bekletme sürelerine göre elde edilen veriler

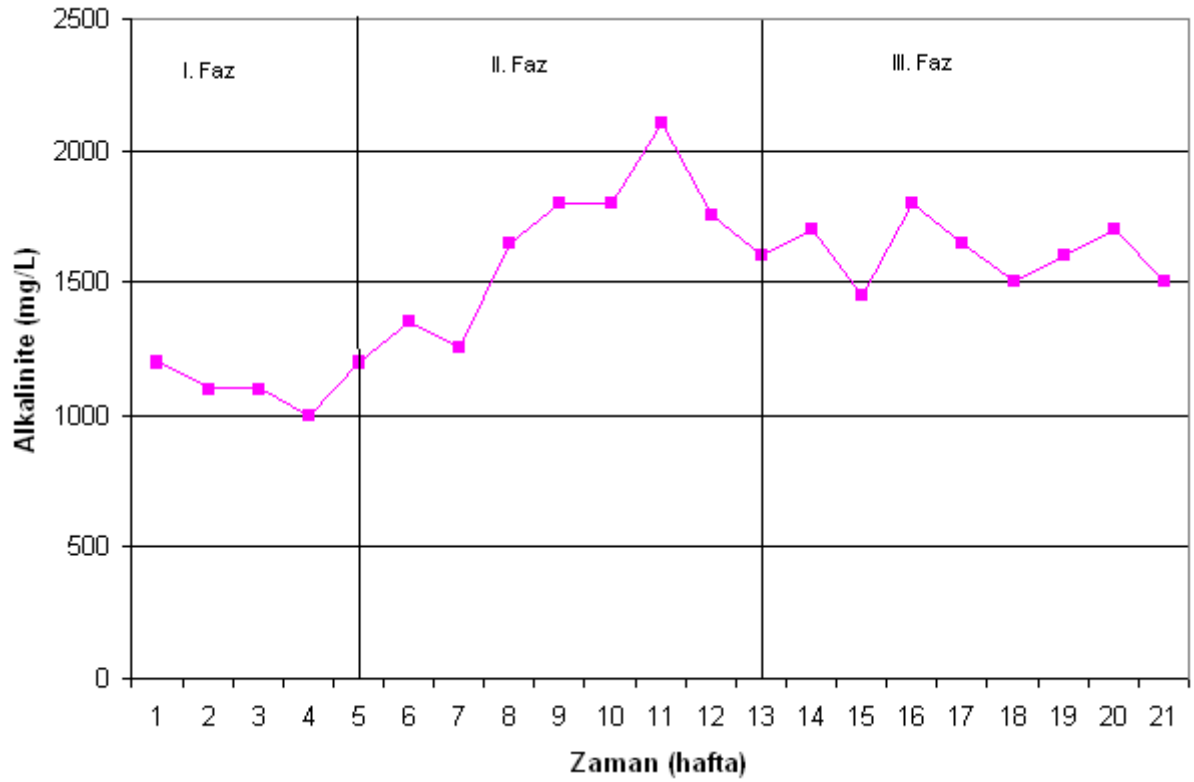
| Parametre                                          | Hidrolik Bekleme Süresi<br>(48 saat) | Hidrolik Bekleme Süresi<br>(24 saat) |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| pH                                                 | 7,2 ± 0,5                            | 7,1 ± 0,2                            |
| Toplam Uçucu Yağ Asidi (mgCH <sub>3</sub> COOH /L) | 550 ± 106                            | 275± 110                             |
| Alkalinite (mgCaCO <sub>3</sub> /L)                | 2.125 ± 50                           | 1.650± 50                            |
| TUA/Alkalinite                                     | 0,25 ± 0,1                           | 0,23± 0,1                            |
| Çıkış KOİ (mg/L)                                   | 630 ± 10                             | 440± 5                               |
| KOİ giderimi (%)                                   | 70,35 ± 2,5                          | 73,49± 0,3                           |
| Renk Giderimi (%)                                  | 62,5 ± 5                             | 57,4± 1                              |
| Toplam Gaz Üretimi (mL/gün)                        | 1.028 ± 248                          | 1.327±280                            |
| Metan Gazı Üretimi (mL/gün)                        | 754 ± 75                             | 942±30                               |
| Metan Yüzdesi (%)                                  | 67 ± 2,2                             | 68± 3                                |

Şekil 4.2’de 1. haftadan 21. haftaya kadar pH’nın değişimi verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, 21 hafta boyunca pH genellikle 7-8 arasında değişmektedir. Ancak 9 ve 10. haftalarda pH 8 değerinin üzerine çıkmıştır. Beslenen atıksuyun içindeki organik maddelerin hidroliz safhasının yavaş gerçekleşerek hidrolizin asit ve metan üretimi safhaları için sınırlayıcı bir faktör olarak gelişmesinin bunun sebebi olduğu düşünülmektedir. Çünkü hidroliz safhası tam gerçekleşmediğinde asit üretimi safhası da bundan olumsuz etkilenmekte ve pH’ı bir miktar yükslebilmektedir. CO<sub>2</sub> ve UYA (uçucu yağ asiti) gibi bileşenler düşük pH oluşumuna sebep olurken, protein parçalanması sebebiyle oluşan amonyum gibi alkalinite üreten katyonlar ve sabunların parçalanmasından oluşan sodyum, alkalinite ve pH’nın yükselmesine sebep olabilmektedirler.

Şekil 4.3’te de 1. haftadan 21. haftaya kadar alkalinitenin değişimi verilmektedir. Buna göre, alkalinite değeri çalışma periyodu içerisinde anaerobik arıtma prosesleri için uygun aralıklarda seyretmektedir.



Şekil 4.2 SGYAR çıkışında pH değerinin haftalara göre değişimi



Şekil 4.3 SGYAR çıkışında alkalinite değerinin haftalara göre değişimi

## 4.2 Membran Çalışması Sonuçları

Membran çalışmasında; SGYAR'ın çıkış suyundaki kirleticilerin membran filtrasyonu uygulamasından sonraki giderim verimi ve atıksuyun tekrar kullanım olanakları araştırılmıştır. Ayrıca, fabrikanın mevcut aerobik arıtma tesisinden temin edilen aerobik arıtma çıkış suyu ve hiçbir arıtma uygulanmamış gerçek tekstil atıksuyu da membran filtrasyondan geçirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak geri kazanım olanakları her üç atıksu için de değerlendirilmiştir.

Atıksular, yalnızca NF, yalnızca UF ve ön arıtma olarak UF ardından da NF uygulaması yapılarak incelenmiştir. Denemelerde 2 farklı UF membranı (UF10 ve UF30) ve iki farklı NF membranı (NF10 ve NF30) kullanılmıştır. Farklı membran basınçlarında denemeler yapılmıştır. UF için 3 bar, NF için ise 4, 6, 8 ve 10 bar basınçlarda çalışılmıştır. Çalışma boyunca membran prosesinde sıcaklık 25 °C'de sabit tutulmuştur. Pompa debisi 300 lt/st olarak ayarlanmıştır. Arıtılmamış (ham) tekstil atıksuyunun pH'ını nötralize etmek için H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılmıştır.

Membranların performansları, farklı membran basınçlarında öncelikle süzüntü akısı, renk ve KOİ giderim verimi ile belirlenmiştir.

### 4.2.1 SGYAR Çıkış Suyunun Membran Çalışması Sonuçları

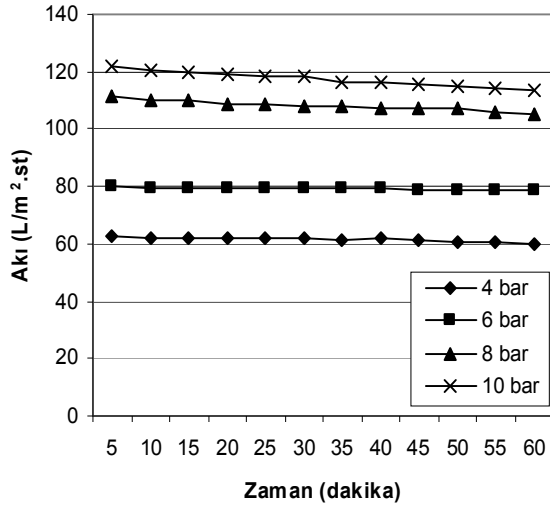
SGYAR'de 48 saat ve 24 saat hidrolik bekletme sürelerinde en yüksek giderme verimlerinin elde edildiği zaman aralığında toplanan çıkış suları ile membran sistemlerde çalışılmıştır.

#### 4.2.1.1 48 Saat Hidrolik Bekletme Süreli SGYAR Çıkış Suyunun Membran Çalışması Sonuçları

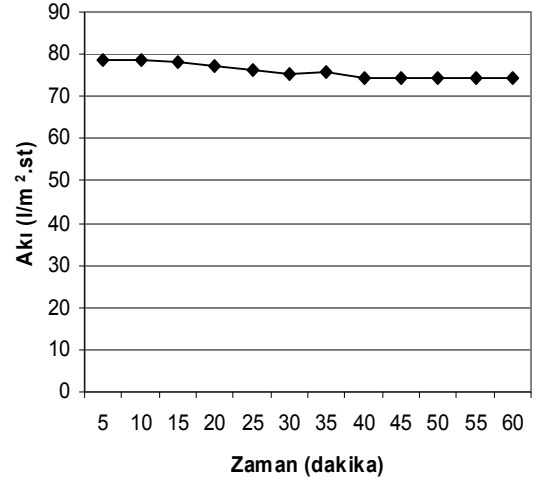
##### - Akı

Zamana bağlı akı değişim grafiklerinden (Şekil 4.4) de görüldüğü gibi, 60 dakika içerisinde akı değerlerinde az miktarlarda da olsa azalma söz konusu olmuştur. Süzüntü akısı membran proseslerde dizayn ve ekonomik fizibilite anlamında önemli bir parametredir. Membran yüzeyinde organik ve inorganik moleküllerin birikimi, süzüntü akılarının azalmasında başlıca etkindir. Bu birikim “fouling” olarak adlandırılmaktadır. Membran yüzeyine yakın filtrat ve besleme çözeltisi arasında bir ozmotik basınç oluşması nedeniyle oluştuğu düşünülen bu durumun etkisi, basıncın arttırılmasıyla azaltılabilmektedir. Nitekim, membran basıncının arttırılmasıyla süzüntü akısındaki artış Çizelge 4.3'de açık bir şekilde gözlemlenebilmektedir.

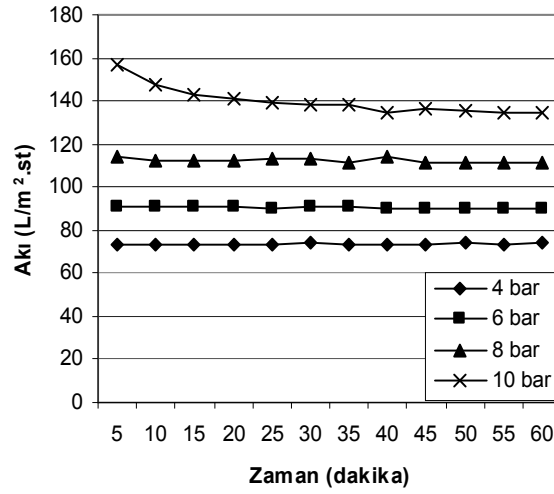




a)NF10



b)UF10



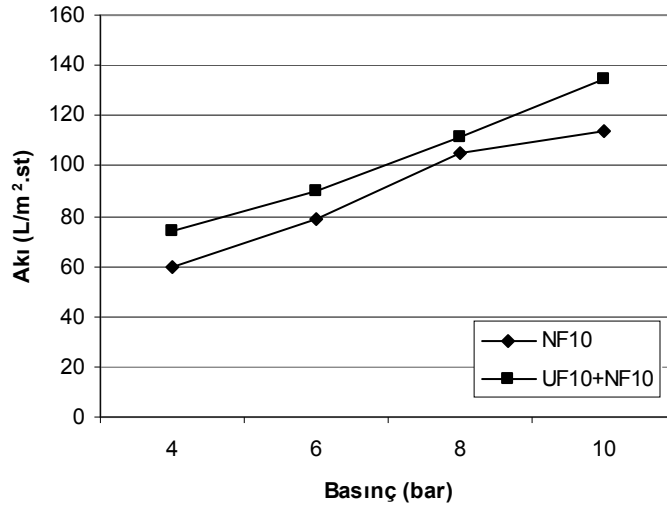
c)UF10+NF10

Şekil 4.4 SGYAR ile 48 saat hidrolik bekletme süresinde arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçlarında süzüntü akısının zamana bağlı değişimi

Çizelge 4.3 Membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akısının artışı

| Membran                              | Basınç (bar) |      |      |       |
|--------------------------------------|--------------|------|------|-------|
|                                      | 3            | 4    | 6    | 8     |
| SGYAR çıkışı (HBS=48 saat)           |              |      |      |       |
| Süzüntü akısı (L/m <sup>2</sup> .st) |              |      |      |       |
| UF10                                 | 74,2         |      |      |       |
| NF10                                 |              | 60,0 | 78,6 | 105,0 |
| UF10+NF10                            |              | 73,8 | 90,2 | 111,5 |

SGYAR'e ait 48 saat hidrolik bekletme süreli çıkış suyuna, 10 bar basınç altında NF 10 uygulaması sonunda 113,5 L/m<sup>2</sup>.st, 3 bar basınç altında UF 10 uygulaması sonucunda 74,2 L/m<sup>2</sup>.st, UF10'dan sonra NF10 ile 10 bar basınç altında (UF10+NF10) ise, 134,3 L/m<sup>2</sup>.st akı elde edilmiştir. Belirtilen akı değerleri, çalışılan atıksu için elde edilen en yüksek akı sonuçlarıdır. Sonuçlara göre; UF membranların ön arıtma olarak uygulandığı UF10+NF10 uygulamasında en yüksek akı değeri elde edilmiştir. UF uygulamasının süzöntü akısını olumlu yönde etkilediği ve akıya göre NF için bir ön arıtma olabileceği Şekil 4.5'te görülebilmektedir.



Şekil 4.5 SGYAR'de 48 saat hidrolik bekletme süresi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10 ve UF10+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri

#### - Süzöntü Suyu Analiz Sonuçları

SGYAR ile 48 saat hidrolik bekletme süresi sonunda elde edilen çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzöntü suyu analiz sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Hidrolik bekletme süresi 48 saat olan SGYAR'ün membran çalışması için toplanan çıkış suyunda KOİ değeri 630 mg/L'dir. UF 10 uygulaması sonucunda yaklaşık %40 oranında oldukça düşük bir KOİ giderme verimi söz konusudur. NF10 ve UF10+NF10 uygulaması sonucunda elde edilen giderme verimleri arasında büyük bir farklılık görülmemiştir. 10 bar basınç uygulanması durumunda her iki durumda da 95 mg/l KOİ değeri ile yaklaşık %85 giderme verimi elde edilmiştir (Şekil 4.6).

Çizelge 4.4 SGYAR ile 48 saat hidrolik bekletme süresi sonunda elde edilen çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları

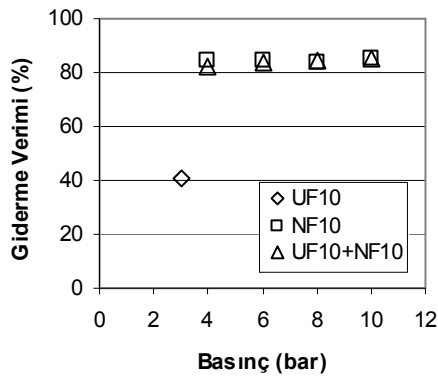
| Parametre                                          |                         | Mem.<br>Gir.<br>Atıksu<br>Num. | NF 10           |       |       |        | UF 10 | UF10 + NF10 |       |       |        |
|----------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|-------|--------|-------|-------------|-------|-------|--------|
|                                                    |                         |                                | Membran Basıncı |       |       |        |       |             |       |       |        |
|                                                    |                         |                                | 4 bar           | 6 bar | 8 bar | 10 bar | 3 bar | 4 bar       | 6 bar | 8 bar | 10 bar |
| SGYAR ile Artırılmış Tekstil Atıksuyu<br>(48 saat) | KOİ, mg/L               | 630                            | 100             | 96    | 103.8 | 95     | 373   | 113         | 101   | 96    | 95     |
|                                                    | Renk, Hz                | 400                            | 60              | 56    | 52    | 51     | 250   | 62          | 60    | 60    | 60     |
|                                                    | İletkenlik, ms/cm       | 9,87                           | 5,86            | 5,60  | 5,19  | 5,35   | 8,30  | 6,00        | 5,87  | 5,92  | 5,62   |
|                                                    | Sertlik, g/L            | 220                            | 190             | 170   | 140   | 130    | 220   | 150         | 140   | 135   | 130    |
|                                                    | Ca <sup>+2</sup> , mg/L | 70                             | 60              | 50    | 50    | 50     | 70    | 50          | 40    | 40    | 35     |
|                                                    | Mg <sup>+2</sup> , mg/L | 150                            | 130             | 120   | 90    | 80     | 150   | 100         | 100   | 95    | 95     |
|                                                    | Cl <sup>-</sup> , mg/L  | 400                            | 250             | 225   | 175   | 125    | 175   | 175         | 170   | 150   | 150    |
|                                                    | K <sup>+</sup> , mg/L   | 170                            | 140             | 140   | 140   | 130    | 160   | 130         | 130   | 130   | 110    |
|                                                    | Alkalinite, mg/L        | 2.000                          | 1.900           | 1.800 | 1.700 | 1.750  | 1.950 | 1.550       | 1.500 | 1.500 | 1.400  |
|                                                    | Tuzluluk, ppt           | 6,02                           | 4,06            | 3,86  | 3,63  | 3,57   | 5,30  | 3,7         | 3,56  | 3,57  | 3,14   |
|                                                    | TDS, g/L                | 6,45                           | 4,16            | 3,92  | 3,71  | 3,57   | 5,83  | 3,83        | 3,70  | 3,72  | 3,63   |

Renk parametresi girişte 400 Hz iken, UF 10 uygulanması durumunda 250 Hz'e düşmüştür. NF 10 uygulanması ile 10 bar basınç uygulaması sonucunda %87,25 ile en yüksek renk giderimi elde edilmiştir (51 Hz). UF10+NF10 uygulaması sonucunda bütün basınçlarda renk değerleri 60 Hz'in altına indirilememiştir.

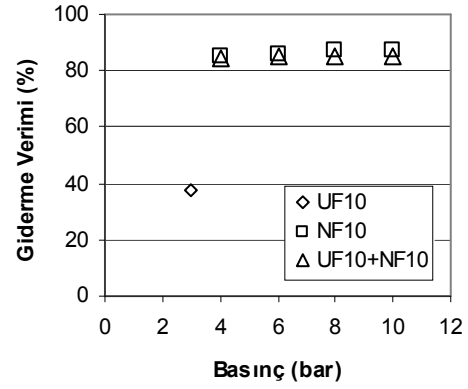
Alkalinite değeri için en yüksek giderme verimi %30 oranında olmuş ve UF10+NF10 (10bar) uygulamasında elde edilmiştir.

Sertlik değeri, UF10 uygulaması ile hiçbir değişikliğe uğramazken, 10 bar basınç altında NF10 uygulaması ile UF10+NF10 uygulaması arasında hiçbir fark görülememiştir. Her iki çalışma sonucunda da yaklaşık %41 giderme verimi elde edilmiştir.

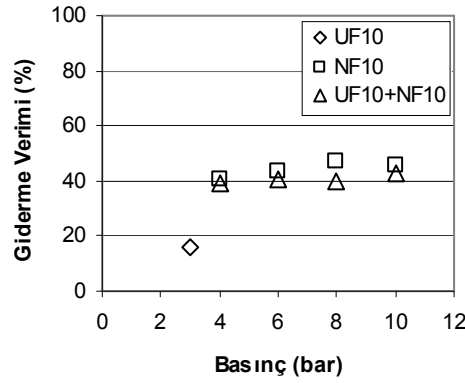
İletkenlik için, UF10 uygulaması ile iyi giderme verimi elde edilemezken, 8 bar NF 10 uygulanması ile en düşük değer elde edilmiştir (5,19 mS/cm).



a) KOİ



b) Renk



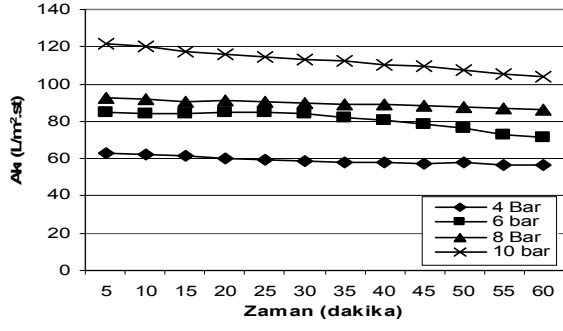
c) İletkenlik

Şekil 4.6 SGYAR ile 48 saat hidrolik bekletme süresi sonunda elde edilen çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen giderme verimleri

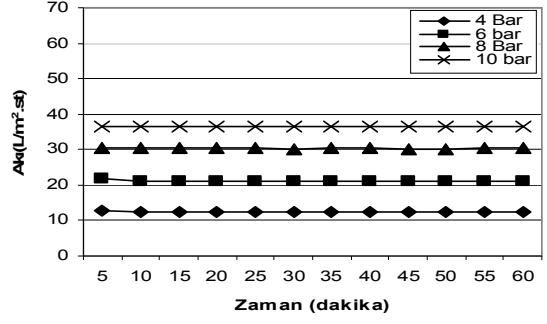
#### 4.2.1.2 24 Saat Hidrolik Bekletme Süreli SGYAR Çıkış Suyunun Membran Çalışması Sonuçları

##### - Akı

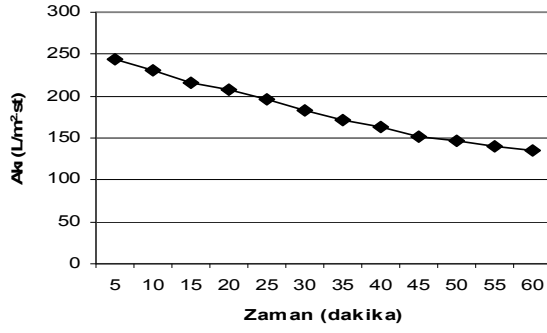
Zamana bağlı akı değişim grafiklerinden (Şekil 4.7) de görüldüğü gibi, 60 dakika içerisinde akı değerlerinde azalma söz konusu olmuştur. Bu durum membran yüzeyinde meydana gelen organik ve inorganik maddelerin birikiminden kaynaklanabilmektedir. Membran basıncının artırılmasıyla süzüntü akısındaki artış Çizelge 4.5’de gözlemlenebilmektedir.



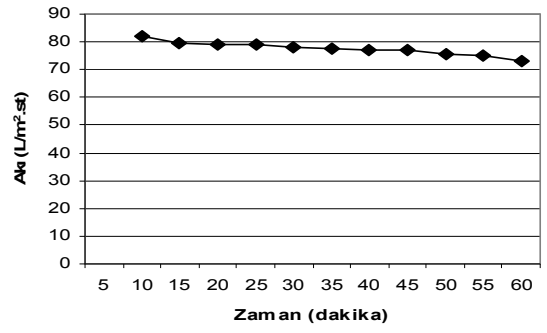
a) NF 10



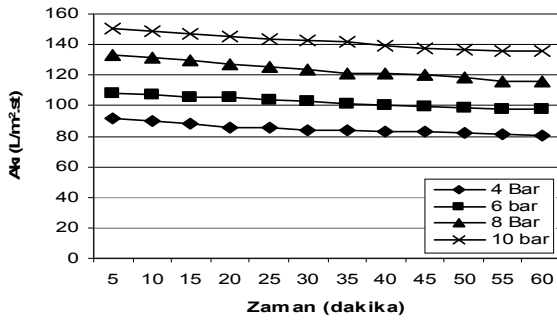
b) NF 30



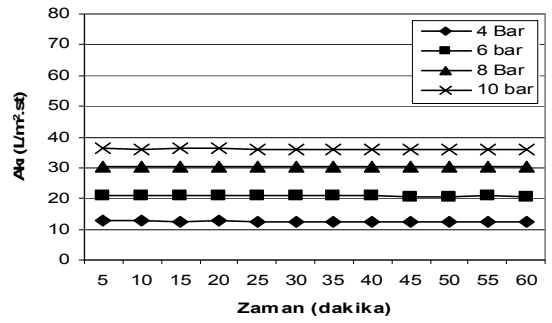
c) UF 30



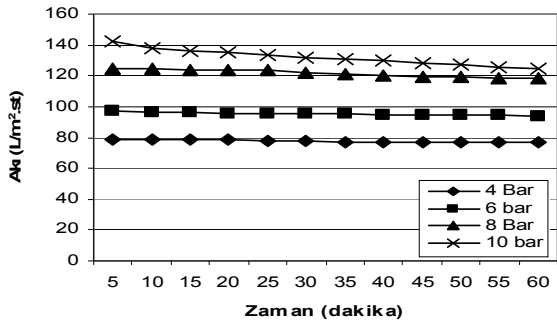
d) UF 10



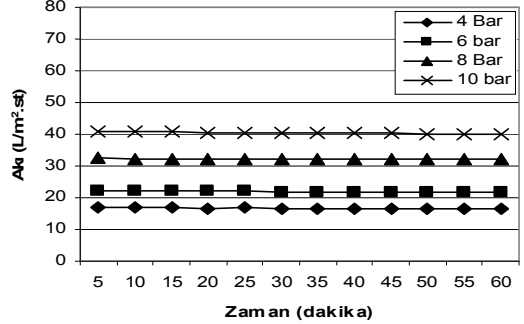
e) UF30+NF10



f) UF30+NF30



g) UF10+ NF10



h) UF10+NF30

Şekil 4.7 SGYAR ile 24 saat hidrolik bekletme süresinde arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçlarında süzöntü akısının zamana bağlı değişimi

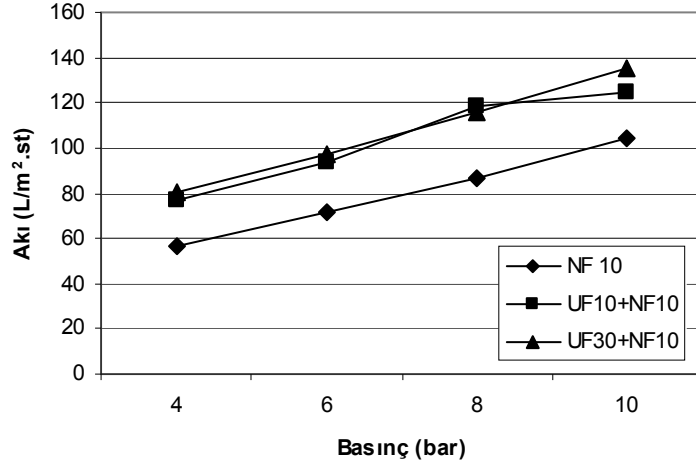
UF 10 ile UF 30 membranları arasındaki akı farkı yaklaşık %46 olup, UF 30 membran ile daha yüksek akı elde edilmiştir.

NF 10 membran ile elde edilen maksimum akı 10 bar basınç altında 104,1 L/m<sup>2</sup>.st, NF 30 membran ile elde edilen maksimum akı 10 bar basınç altında 36,4 L/m<sup>2</sup>.st'tir. NF 10 ve NF 30 membralarının akı sonuçları kıyaslandığında aralarında yaklaşık %65 lik bir fark olduğu görülmektedir. NF 10 ile elde edilen akılar daha yüksektir.

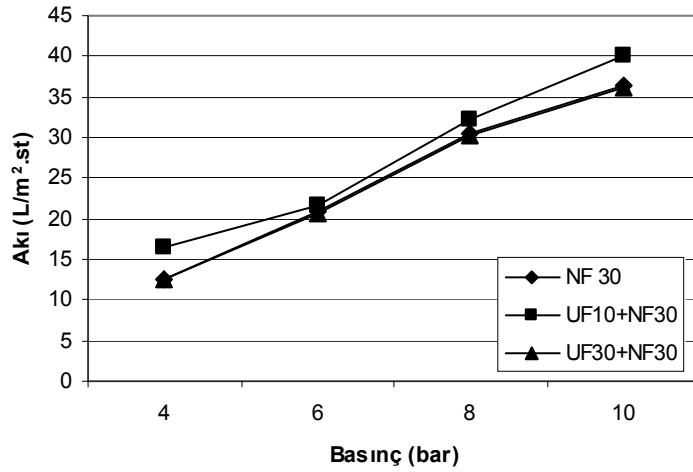
Çizelge 4.5 Membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akısının artışı

| Membran    | Basınç (bar)                         |      |      |       |       |
|------------|--------------------------------------|------|------|-------|-------|
|            | 3                                    | 4    | 6    | 8     | 10    |
|            | SGYAR çıkışı (HBS=24 saat)           |      |      |       |       |
|            | Süzüntü akısı (L/m <sup>2</sup> .st) |      |      |       |       |
| UF10       | 73,1                                 |      |      |       |       |
| UF30       | 134,8                                |      |      |       |       |
| NF10       |                                      | 56,4 | 71,6 | 86,4  | 104,1 |
| NF30       |                                      | 12,5 | 21,0 | 30,4  | 36,4  |
| UF10+ NF10 |                                      | 76,7 | 94,0 | 118,5 | 124,8 |
| UF10+NF30  |                                      | 16,5 | 21,6 | 32,2  | 40,0  |
| UF30+NF10  |                                      | 80,8 | 97,3 | 115,8 | 135,4 |
| UF30+NF30  |                                      | 12,5 | 20,7 | 30,2  | 36,1  |

UF 30'un ön arıtma olarak uygulandığı durumda, NF 10 ile birlikte 4 bar basınç altında minimum 80,8 L/m<sup>2</sup>.st, 10 bar basınç altında maksimum 135,4 L/m<sup>2</sup>.st'lik akı elde edilmiştir. NF 30 ile birlikte ise, 4 bar basınç altında minimum 12,5 L/m<sup>2</sup>.st ve 10 bar basınç altında maksimum 36,1 L/m<sup>2</sup>.st akı bulunmuştur. Bu durumda, UF 30'un ön arıtma olarak uygulanması ile NF 10 uygulamaları sonucunda akı değerinde yaklaşık %30 luk bir artış görülmüştür. UF30+NF10 ve UF10+NF10 çalışmalarının diğer basınç uygulamalarında yaklaşık aynı sonuçların olduğu tespit edilmiştir. Ancak, UF30+NF30 uygulamasında, yalnızca NF30 uygulaması sonucunda elde edilen akılara benzer akılar tespit edilmiştir. Bu durumda, UF 30'un ön arıtma olarak kullanılması akı bazında herhangi bir katkı sağlamamıştır. UF10+NF30 uygulamasında akı artışı söz konusu olmuştur. (Şekil 4.8-4.9).



Şekil 4.8 SGYAR’de 24 saat hidrolik bekletme süresi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10, UF10+NF10 ve UF30+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri



Şekil 4.9 SGYAR’de 24 saat hidrolik bekletme süresi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF30, UF10+NF30 ve UF30+NF30 uygulaması sonucunda akı değişimleri

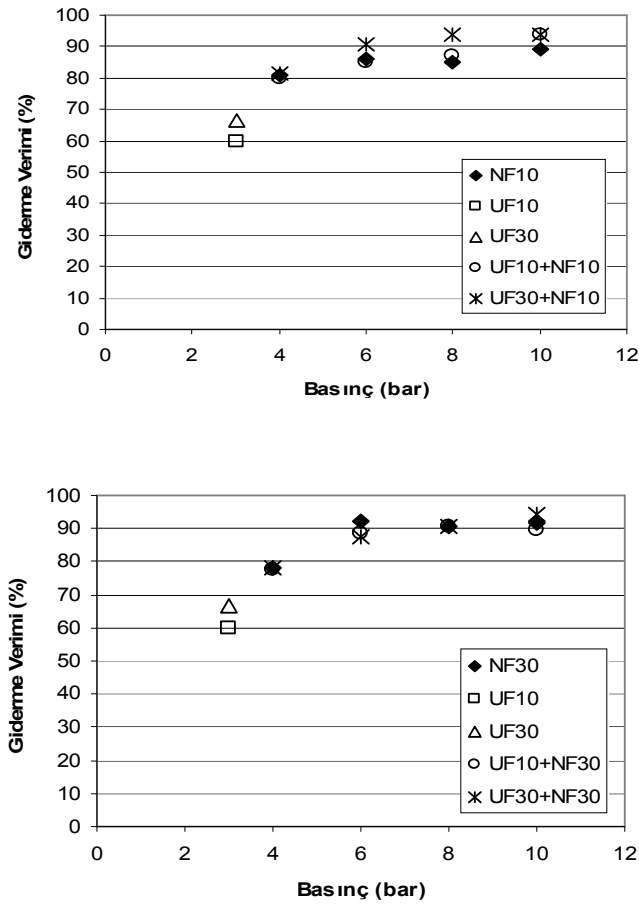
#### - Süzüntü Suyu Analiz Sonuçları

SGYAR’de 24 saat hidrolik bekletme süresi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun membran uygulaması sonunda elde edilen analiz sonuçları Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Membran çalışması için besleme suyu olarak toplanan çıkış suyunda KOİ değeri 438 mg/L dir. UF10 ve UF30 uygulamaları sonucunda sırasıyla yaklaşık %60 ve %67 KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. NF10 uygulamasında 4 bar basınç altında 84 mg/L KOİ elde edilirken, 10 bar

basınç altında 48 mg/L değeri ile %89 KOİ giderimi bulunmuştur. NF30 uygulaması sonucunda 6,8 ve 10 bar basınç altında yaklaşık olarak %91 değerinde birbirine çok yakın KOİ giderme verimleri elde edilmiştir. UF10'un NF10 için ön artıma olarak uygulanması ile KOİ giderme verimlerinde büyük farklılıklar tespit edilmemiştir. Ancak, yalnız NF10 uygulanması durumunda 48 mg/L olan KOİ değeri 28 mg/L'ye düşerek toplamda %93 KOİ giderimi sağlamıştır. UF10 membranının NF10 için ön arıtma olarak kullanımının KOİ giderimi bakımından büyük farklılıklar sağlamadığı görülmüştür.

UF10'un NF30'un başlangıcında ön artıma olarak kullanımı sonucunda, yalnızca NF30 uygulaması ile elde edilmiş KOİ giderme değerlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. UF10+NF30 uygulaması ile 40 mg/L KOİ değeri ile yaklaşık %91 verim elde edilmiştir.

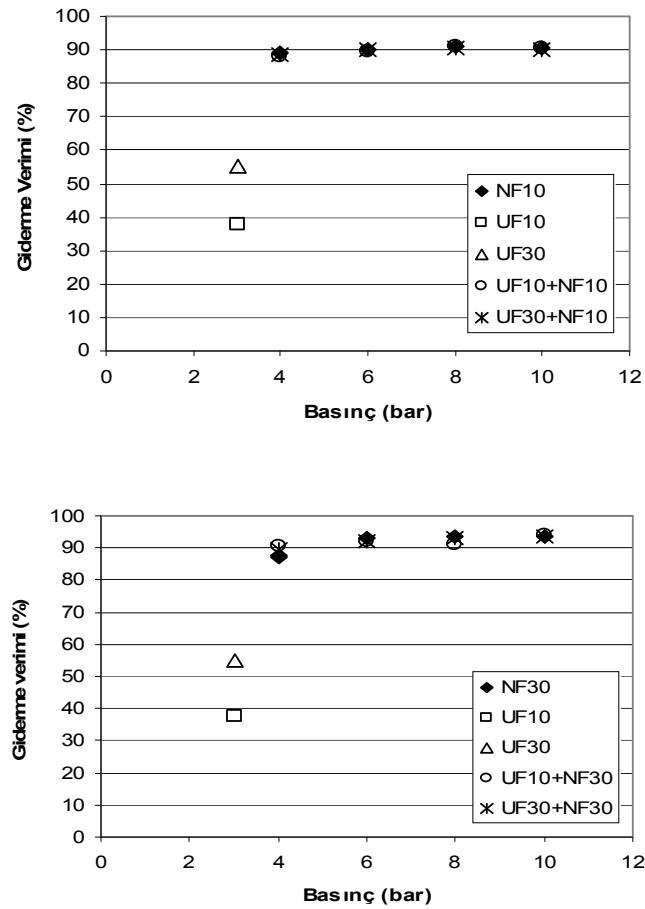
UF30'un ön arıtma olarak kullanıldığı NF10 ve NF30 uygulamalarında yalnızca NF10 uygulamasına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Her ikisinin de KOİ giderme verimleri 10 bar basınç altında maksimum %94'e ulaşmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 SGYAR'ün 24 saat hidrolik bekletme süreli çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen KOİ giderme verimleri



SGYAR'ın 24 saat hidrolik bekletme süresi ile çalıştırılması sonucunda elde edilen membran besleme suyunda renk değeri 350 Hz olarak belirlenmiştir. UF10 ve UF30 membranlarında elde edilen renk giderme verimleri sırasıyla, %38 ve %55'dir. NF10 uygulamasında, maksimum renk giderimi 8 bar basınç altında yaklaşık %91 olarak belirlenmiştir. NF30 uygulamasında renk giderme verimi 10 bar basınç altında yaklaşık %94 olarak bulunmuştur (Şekil 4.11). UF10'un NF10 ve NF30 için ön arıtma olarak uygulanması sonucunda, yalnızca NF10 ve yalnızca NF30 uygulamaları ile elde edilmiş renk giderme verimlerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. UF30'un ön arıtma olarak kullanıldığı NF10 ve NF30 uygulamalarında renk giderim veriminde UF30'un herhangi bir etkisinin olmadığı ve yalnızca NF10 ve NF30 uygulamalarına benzer renk giderme verimleri elde edildiği görülmüştür. Literatürde UF membranların, yüksek molekül ağırlıklı ve çözünmemiş boyaların (indigo, dispers), yardımcı kimyasalların ve suyun tekrar kullanımı için başarılı bir şekilde uygulandığı, ancak düşük molekül ağırlıklı ve çözünebilir boyaların (asit, reaktif, bazik vb.) giderilemediği belirtilmektedir.

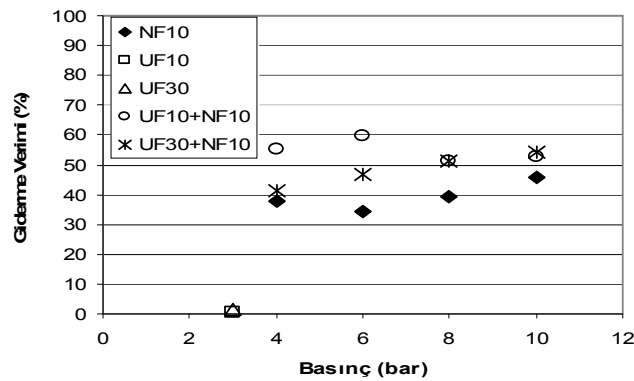
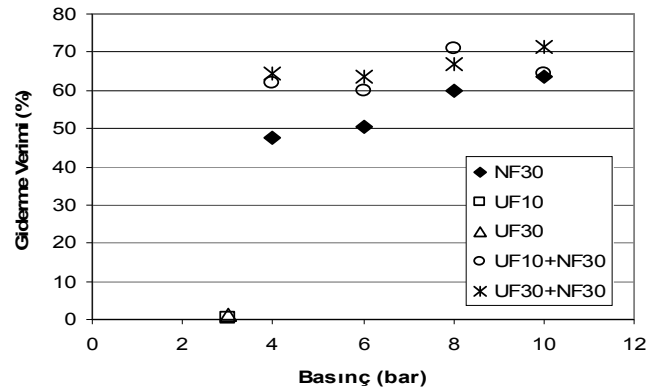


Şekil 4.11 SGYAR'ın 24 saat hidrolik bekletme süreli çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen renk giderme verimleri

Besleme suyunda iletkenlik konsantrasyonu 11,32 mS/cm'dir (Çizelge 4.6). UF10 ve UF30 uygulamaları sonucunda iletkenlik değerinde büyük değişiklikler kaydedilmemiştir. Buna göre, iletkenlik gideriminde UF etkili olmamıştır denilebilir. NF10 uygulamasında iletkenlik değeri 7,053 ile 6,122 mS/cm arasında değişmektedir. Maksimum iletkenlik giderimi 10 bar basınç altında %46 olarak gerçekleşmiştir. NF30 uygulamasında iletkenlik NF10'a göre daha az olarak belirlenmiş olup, 5,934 ile 4,104 mS/cm arasında değişmektedir. Maksimum iletkenlik giderimi %64'dir. UF10'un ön arıtma olarak kullanıldığı NF10 uygulamasında, yalnızca NF10 uygulamasına göre daha düşük iletkenlik konsantrasyonları belirlenmiştir. En yüksek iletkenlik giderimi 6 bar basınç altında %60 olarak tespit edilmiştir. UF10+NF30 uygulamasında da iletkenlik giderimi %71 olmuştur.

UF30'un ön arıtma olarak kullanıldığı NF10 uygulamasında en düşük iletkenlik değeri, 10 bar basınç altında 5,183 mS/cm ile %54 giderim verimi ile elde edilmiştir.

UF30+NF30 uygulamasında da %71 iletkenlik giderme verimi tespit edilmiştir. İletkenlik gideriminde UF uygulamaları NF10 için %8-14, NF30 için %7 katkıda bulunmuştur (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 SGYAR'ün 24 saat hidrolik bekletme süreli çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen iletkenlik giderme verimleri

Çizelge 4.6 SGYAR ile 24 saat hidrolik bekletme süresi sonunda elde edilen çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları

| Parametre               | Giren Num. | NF10   |       |       |        | NF30  |       |       |        | UF10+NF10 |       |       |        |
|-------------------------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-----------|-------|-------|--------|
|                         |            | Basınç |       |       |        |       |       |       |        |           |       |       |        |
|                         |            | 4 bar  | 6 bar | 8 bar | 10 bar | 4 bar | 6 bar | 8 bar | 10 bar | 4 bar     | 6 bar | 8 bar | 10 bar |
| KOİ, mg/L               | 438        | 84     | 60    | 65    | 48     | 95    | 35    | 40    | 36     | 87        | 65    | 56    | 28     |
| Renk, Hz                | 350        | 38     | 35    | 32    | 33     | 45    | 25    | 23    | 22     | 41        | 36    | 32    | 33     |
| İletkenlik,mS/cm        | 11,32      | 7,053  | 7,427 | 6,881 | 6,122  | 5,934 | 5,62  | 4,527 | 4,104  | 5,042     | 4,536 | 5,541 | 5,374  |
| Sertlik, mg/L           | 340        | 60     | 60    | 65    | 55     | 55    | 50    | 40    | 30     | 70        | 60    | 60    | 50     |
| Ca <sup>+2</sup> ,mg/L  | 230        | 40     | 35    | 30    | 20     | 35    | 25    | 15    | 20     | 50        | 55    | 40    | 25     |
| Mg <sup>+2</sup> , mg/L | 110        | 20     | 25    | 35    | 35     | 20    | 25    | 25    | 10     | 20        | 5     | 20    | 25     |
| Cl <sup>-</sup> , mg/L  | 200        | 135    | 130   | 125   | 125    | 137,5 | 140   | 140   | 135    | 115       | 115   | 112,5 | 110    |
| K <sup>+</sup> , mg/L   | 85         | 35     | 30    | 25    | 30     | 40    | 35    | 35    | 30     | 35        | 35    | 30    | 30     |
| Alkalinite, mg/L        | 2.070      | 978    | 948   | 895   | 910    | 1.030 | 1.003 | 860   | 845    | 838       | 803   | 780   | 760    |
| Tuzluluk, ppt           | 5,938      | 3,937  | 3,754 | 3,371 | 3,361  | 3,29  | 2,889 | 2,428 | 2,218  | 3,52      | 3,3   | 3,121 | 2,888  |
| TDS, g/L                | 7,04       | 4,324  | 4,294 | 3,82  | 3,756  | 3,828 | 3,316 | 2,932 | 2,637  | 3,861     | 3,57  | 3,34  | 3,108  |

Çizelge 4.6 SGYAR ile 24 saat hidrolik bekletme süresi sonunda elde edilen çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları (devamı)

| Parametre               | UF10+NF30 |       |       |        | UF10  | UF30  | UF30+NF10 |       |       |        | UF30+NF30 |       |       |        |
|-------------------------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------|-----------|-------|-------|--------|
|                         | Basınç    |       |       |        |       |       |           |       |       |        |           |       |       |        |
|                         | 4 bar     | 6 bar | 8 bar | 10 bar | 3 bar | 3 bar | 4 bar     | 6 bar | 8 bar | 10 bar | 4 bar     | 6 bar | 8 bar | 10 bar |
| KOİ, mg/L               | 97        | 50    | 40    | 45     | 175   | 146   | 82        | 40    | 28    | 26     | 95        | 54    | 40    | 26     |
| Renk, Hz                | 33        | 28    | 32    | 21     | 218   | 157   | 40        | 35    | 33    | 34     | 37        | 27    | 25    | 23     |
| İletkenlik,mS/cm        | 4,288     | 4,559 | 3,268 | 4,019  | 11,28 | 11,17 | 6,647     | 6,036 | 5,508 | 5,183  | 4,044     | 4,118 | 3,739 | 3,261  |
| Sertlik, mg/L           | 90        | 60    | 40    | 40     | 175   | 145   | 80        | 65    | 60    | 55     | 75        | 70    | 50    | 45     |
| Ca <sup>+2</sup> , mg/L | 40        | 30    | 25    | 20     | 80    | 85    | 40        | 40    | 35    | 25     | 55        | 60    | 30    | 30     |
| Mg <sup>+2</sup> , mg/L | 50        | 30    | 15    | 20     | 95    | 60    | 40        | 25    | 25    | 30     | 20        | 10    | 20    | 15     |
| Cl <sup>-</sup> , mg/L  | 120       | 115   | 120   | 122,5  | 140   | 145   | 95        | 85    | 90    | 85     | 125       | 110   | 115   | 115    |
| K <sup>+</sup> , mg/L   | 35        | 30    | 30    | 30     | 50    | 55    | 35        | 30    | 35    | 30     | 30        | 35    | 35    | 30     |
| Alkalinite, mg/L        | 868       | 838   | 760   | 695    | 940   | 993   | 843       | 823   | 830   | 793    | 155       | 1033  | 935   | 878    |
| Tuzluluk, ppt           | 3,046     | 2,797 | 2,395 | 2,221  | 6,869 | 6,397 | 3,495     | 3,223 | 2,955 | 2,822  | 2,971     | 2,946 | 2,618 | 2,352  |
| TDS, g/L                | 2,984     | 2,752 | 1,965 | 2,411  | 7,448 | 6,928 | 4,077     | 3,667 | 3,431 | 3,218  | 2,439     | 2,483 | 2,247 | 1,984  |

#### 4.2.2 Aerobik Arıtma Çıkış Suyunun Membran Çalışması Sonuçları

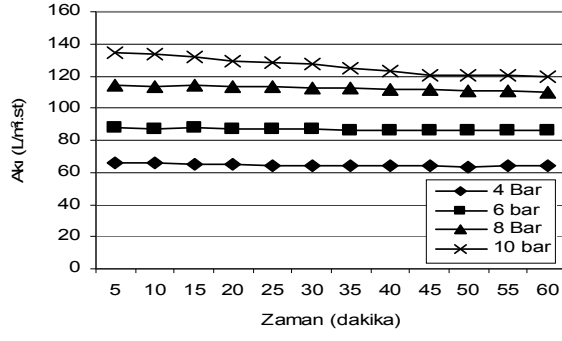
##### - Akı

Çalışılan fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun besleme suyu olarak kullanıldığı 60 dakikalık membran çalışmasında elde edilen süzüntü akılarına ait sonuçlar Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

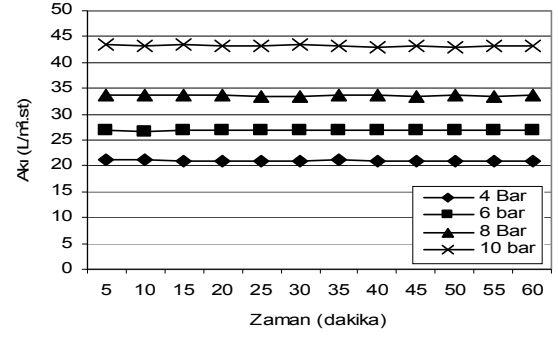
Şekil 4.13'ten de görüleceği gibi 60 dakika içerisinde akıda bir miktar azalma olmuştur. Membran basıncının artmasıyla süzüntü akısındaki artış Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akısının artışı

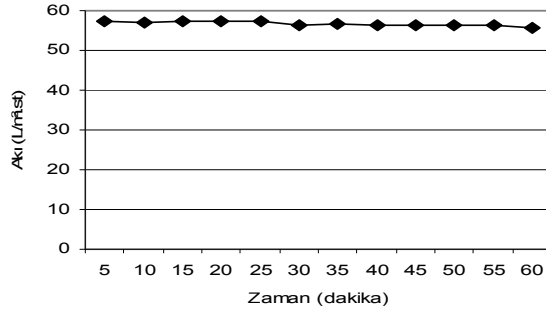
| Membran                              | Basınç (bar) |      |       |       |       |
|--------------------------------------|--------------|------|-------|-------|-------|
|                                      | 3            | 4    | 6     | 8     | 10    |
| Aerobik arıtma tesisi çıkışı         |              |      |       |       |       |
| Süzüntü akısı (L/m <sup>2</sup> .st) |              |      |       |       |       |
| UF10                                 | 55,8         |      |       |       |       |
| UF30                                 | 90,1         |      |       |       |       |
| NF10                                 |              | 63,9 | 86,0  | 109,7 | 119,6 |
| NF30                                 |              | 21,0 | 26,9  | 33,6  | 43,1  |
| UF10+ NF10                           |              | 76,7 | 104,2 | 116,9 | 123,6 |
| UF10+NF30                            |              | 31,2 | 38,3  | 51,0  | 65,7  |
| UF30+NF10                            |              | 79,7 | 114,5 | 139,7 | 168,1 |
| UF30+NF30                            |              | 23,0 | 30,4  | 44,6  | 51,0  |



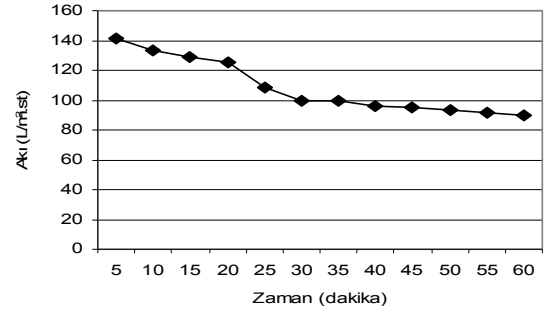
a)NF10



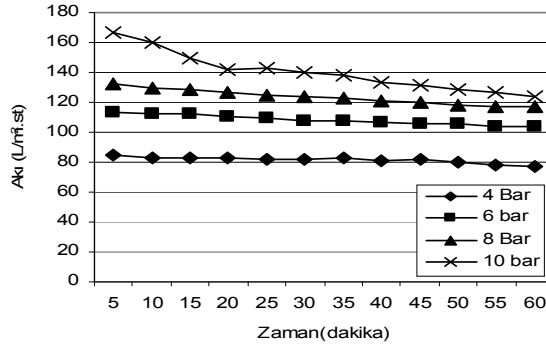
b)NF30



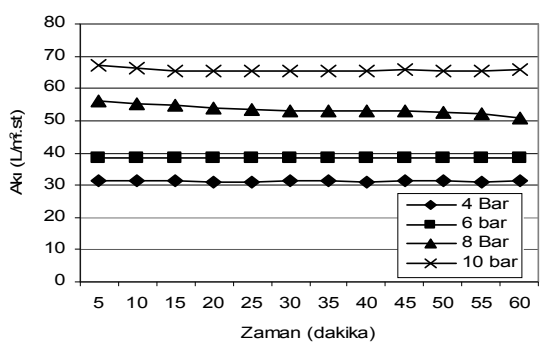
c)UF10



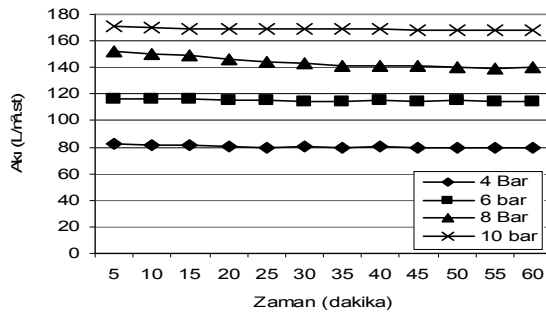
d) UF30



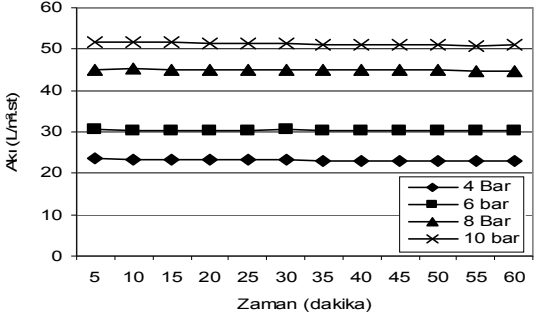
e)UF10+NF10



f)UF10+NF30



g) UF30+NF10

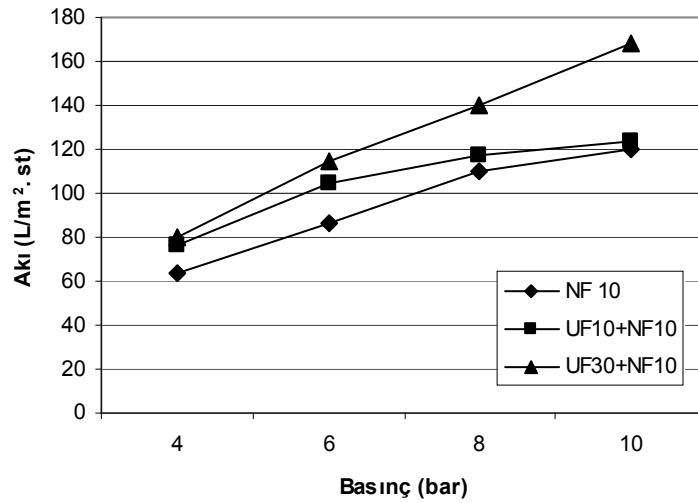


h) UF30+NF30

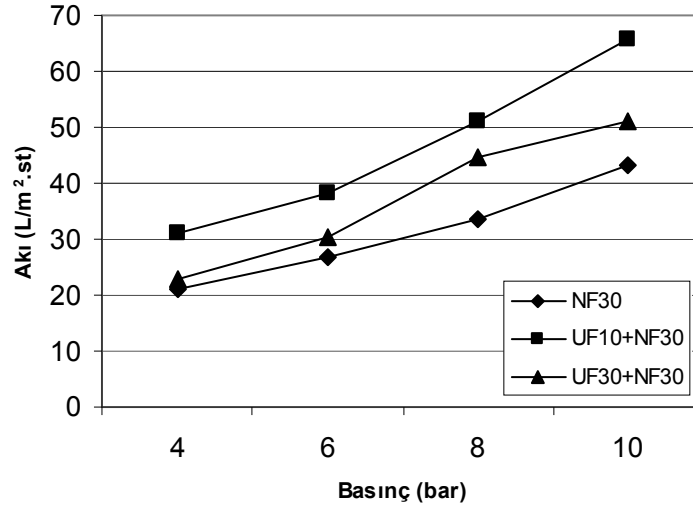
Şekil 4.13 Fabrikada mevcut aerobik artıma tesisi çıkış suyunun farklı membran basınçlarında süzüntü akısının zamana bağlı değişimi

UF10 ile UF30 membranları arasındaki akı farkı yaklaşık %38 olup, UF30 membran ile daha yüksek akı elde edilmiştir. NF10 ve NF30 uygulamaları ile elde edilen maksimum akı sırasıyla, 10 bar basınç altında 119,6 L/m<sup>2</sup>.st ve 43,1 L/m<sup>2</sup>.st'dir. NF10 ve NF30 membranlarının akı sonuçları kıyaslandığında, aralarında yaklaşık %64'lük bir fark olduğu görülmektedir. NF10 ile elde edilen akılar daha yüksektir. UF30'un ön arıtma olarak uygulandığı durumda, NF10 ile birlikte 4 bar basınç altında 79,7 L/m<sup>2</sup>.st ile minimum akı, 10 bar basınç altında 168,1 L/m<sup>2</sup>.st maksimum akı elde edilmiştir. UF30'un ön arıtma olarak uygulanmasının ardından NF30 uygulaması ile ise; 4 bar basınç altında 23,0 L/m<sup>2</sup>.st ile minimum akı, 10 bar basınç altında 51,0 L/m<sup>2</sup>.st akı bulunmuştur. Bu durumda, UF30'un ön arıtma olarak uygulanması ile NF10 uygulamaları sonucunda %29'luk bir artış görülmüştür.

UF30+NF30 uygulaması ile akıda ciddi bir artış tespit edilmemiş, maksimum akı artışı %15 olmuştur. UF membranların ön arıtma olarak kullanılması ile NF uygulaması sonunda akıda meydana gelen artış Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te gösterilmektedir.



Şekil 4.14 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10, UF10+NF10 ve UF30+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri

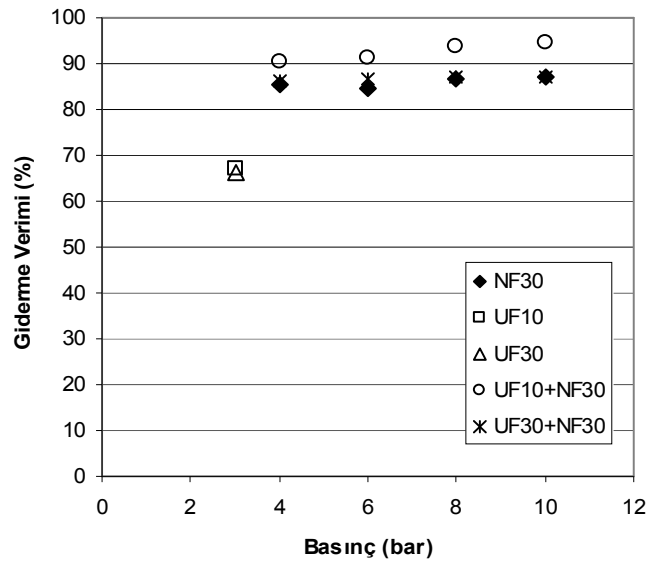
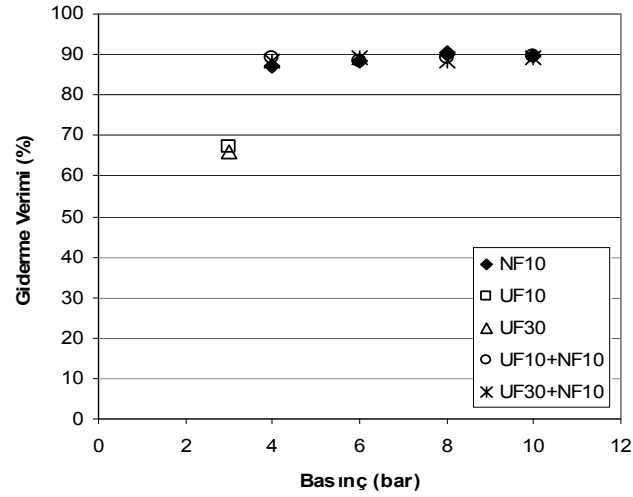


Şekil 4.15 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF30, UF10+NF30 ve UF30+NF30 uygulaması sonucunda akı değişimleri

#### - Süzüntü Suyu Analiz Sonuçları

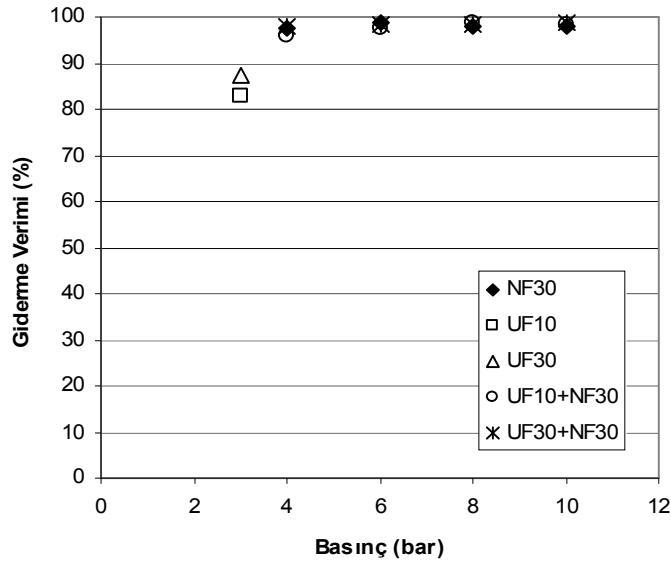
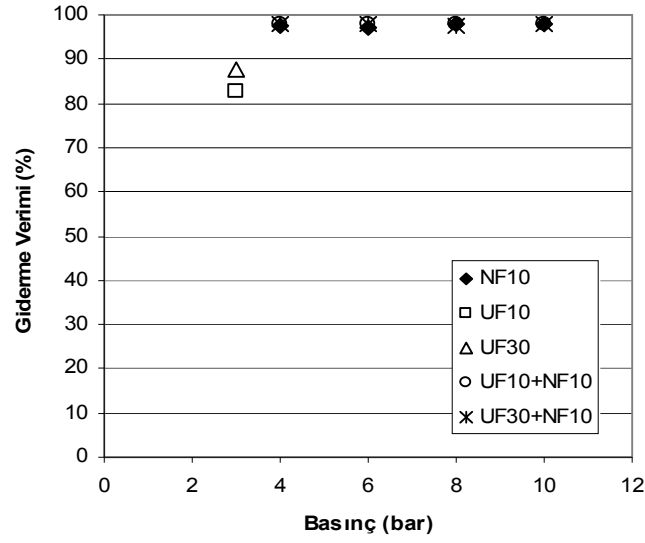
Çalışılan fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun membran uygulaması sonunda elde edilen analiz sonuçları Çizelge 4.8’de gösterilmiştir. Membran çalışması için besleme suyu olarak toplanan çıkış suyunda KOİ değeri 274 mg/L dir. UF10 ve NF30 uygulamaları sonucunda sırasıyla yaklaşık %67 ve %66 KOİ giderme verimi elde edilmiştir. NF10 uygulamasında, 4 bar basınç altında 35 mg/L KOİ değeri elde edilirken, 10 bar basınç altında 28 mg/L değeri ile %90 KOİ giderimi bulunmuştur. NF30 uygulaması sonucunda, 4 bar basınç altında 40 mg/L KOİ değeri elde edilirken, 10 barbasınç altında 35 mg/L ile %87 KOİ giderimi tespit edilmiştir (Şekil 4.16). UF10 ve UF30’un NF10 için ön arıtma olarak uygulanması ile KOİ giderim verimlerinde de, uygulanan basınçlar arasında ve yalnızca NF10 uygulaması ile elde edilen KOİ giderme verimleri arasında ciddi farklar görülmemiştir. UF10+NF30 uygulamasında ise 8 ve 10 bar basınç altında maksimum giderim olarak yaklaşık %94 değeri bulunmuştur. UF30+NF30 uygulaması ile yalnızca NF30 uygulaması sonucunda elde edilen KOİ giderme verimleri arasında da belirgin bir fark görülmemiştir.





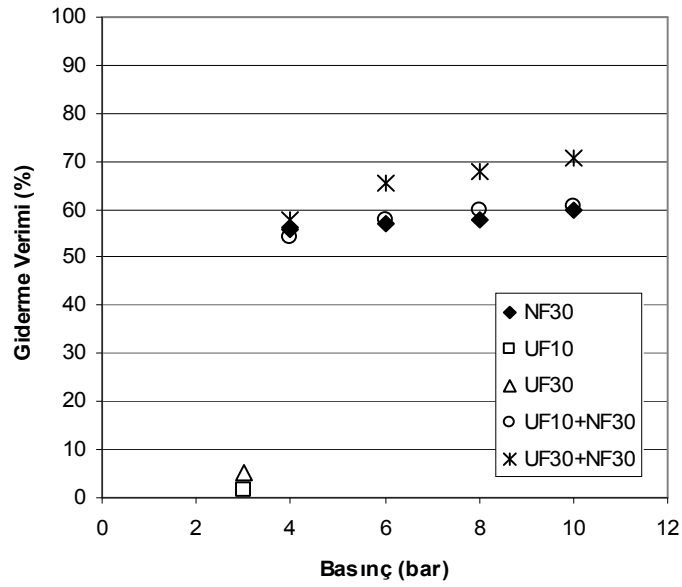
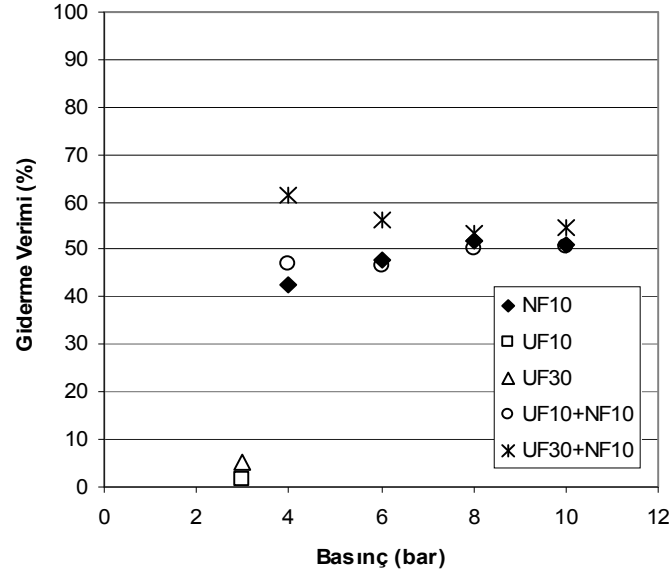
Şekil 4.16 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun membran uygulamaları sonucunda elde edilen KOİ giderme verimleri

Membran çalışması için kullanılan besleme suyunda mevcut renk 760 Hz olarak tespit edilmiştir. NF10 ve NF30 uygulamalarında 10 bar basınç altında yaklaşık %98 renk giderme verimi elde edilmiştir (Şekil 4.17). UF10 uygulaması ile %83, UF30 uygulaması ile de %88 renk giderme verimine ulaşılmıştır. UF10 ve UF30'un ön arıtma olarak kullanıldığı NF10 uygulamaları ile yalnız NF10 uygulaması arasında renk giderimi bakımından fark görülmemiştir. UF10 ve UF30'un ön arıtma olarak kullanıldığı NF30 uygulamalarında ise, %99 giderme verimine ulaşılmıştır. Bu durumda, UF membranların ön arıtma olarak kullanılması sırasında renk gideriminde etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.17 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun membran uygulamaları sonucunda elde edilen renk giderme verimleri

Membran çalışmasında kullanılan besleme suyunda iletkenlik değeri 5,285 mS/cm'dir. NF10 uygulaması ile iletkenlik değerinde %52, NF30 ile %60 giderme verimine ulaşılmıştır (Şekil 4.18). UF10 ve UF30 uygulamaları ile belirgin bir iletkenlik giderimi söz konusu olmamıştır. UF10 ve UF30'un ön arıtma olarak kullanıldığı diğer uygulamalarda, yalnız NF uygulamaları ile elde edilen iletkenlik değerleri arasında ciddi farklılıklar tespit edilememiştir.



Şekil 4.18 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun membran uygulamaları sonucunda elde edilen iletkenlik giderme verimleri

Çizelge 4.8 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları

| Parametre               | Giren Num. | NF10   |       |       |        | NF30  |       |       |        | UF10+NF10 |       |       |        |
|-------------------------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-----------|-------|-------|--------|
|                         |            | Basınç |       |       |        |       |       |       |        |           |       |       |        |
|                         |            | 4 bar  | 6 bar | 8 bar | 10 bar | 4 bar | 6 bar | 8 bar | 10 bar | 4 bar     | 6 bar | 8 bar | 10 bar |
| KOİ, mg/L               | 274        | 35     | 32    | 26    | 28     | 400   | 42    | 37    | 35     | 30        | 32    | 30    | 28     |
| Renk, Hz                | 760        | 20     | 21    | 16    | 15     | 18    | 10    | 14    | 14     | 17        | 17    | 16    | 16     |
| İletkenlik,mS/cm        | 5,285      | 3,035  | 2,767 | 2,549 | 2,592  | 2,34  | 2,272 | 2,227 | 2,123  | 2,809     | 2,824 | 2,637 | 2,609  |
| Sertlik, mg/L           | 250        | 34     | 30    | 30    | 30     | 24    | 22    | 20    | 22     | 32        | 34    | 32    | 30     |
| Ca <sup>+2</sup> , mg/L | 90         | 20     | 15    | 15    | 12,5   | 12,5  | 15    | 12,5  | 15     | 20        | 20    | 17,5  | 20     |
| Mg <sup>+2</sup> , mg/L | 160        | 14     | 15    | 15    | 17,5   | 11,5  | 7     | 7,5   | 7      | 12        | 14    | 14,5  | 10     |
| Cl <sup>-</sup> , mg/L  | 375        | 140    | 125   | 130   | 130    | 140   | 135   | 130   | 125    | 140       | 133   | 133   | 125    |
| K <sup>+</sup> , mg/L   | 70         | 30     | 30    | 25    | 25     | 30    | 30    | 25    | 25     | 30        | 30    | 25    | 25     |
| Alkalinite, mg/L        | 430        | 410    | 390   | 416   | 358    | 408   | 398   | 376   | 344    | 348       | 332   | 306   | 300    |
| Tuzluluk, ppt           | 2,889      | 1,582  | 1,423 | 1,319 | 1,323  | 1,195 | 1,179 | 1,133 | 1,108  | 1,448     | 1,435 | 1,366 | 1,347  |
| TDS, g/L                | 3,321      | 1,75   | 1,6   | 1,533 | 1,505  | 1,425 | 1,308 | 1,337 | 1,3    | 1,632     | 1,656 | 1,549 | 1,517  |

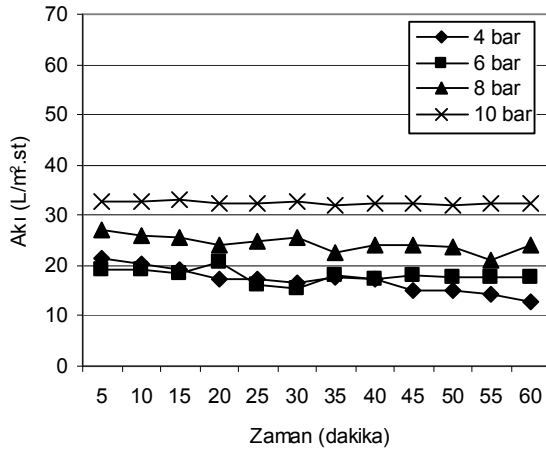
Çizelge 4.8 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları  
(devamı)

| Parametre               | UF10+NF30 |       |       |        | UF10  | UF30  | UF30+NF10 |       |       |        | UF30+NF30 |       |       |        |
|-------------------------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------|-----------|-------|-------|--------|
|                         | Basınç    |       |       |        |       |       |           |       |       |        |           |       |       |        |
|                         | 4 bar     | 6 bar | 8 bar | 10 bar | 3 bar | 3 bar | 4 bar     | 6 bar | 8 bar | 10 bar | 4 bar     | 6 bar | 8 bar | 10 bar |
| KOİ, mg/L               | 26        | 24    | 17    | 15     | 90    | 93    | 32        | 30    | 32    | 30     | 38        | 37    | 35    | 35     |
| Renk, Hz                | 30        | 18    | 10    | 11     | 130   | 95    | 17        | 16    | 18    | 17     | 15        | 11    | 11    | 10     |
| İletkenlik,mS/cm        | 2,428     | 2,229 | 2,124 | 2,08   | 5,185 | 5,004 | 2,0423    | 2,314 | 2,458 | 2,406  | 2,223     | 1,835 | 1,697 | 1,553  |
| Sertlik, mg/L           | 24        | 26    | 24    | 24     | 110   | 84    | 30        | 28    | 26    | 24     | 18        | 18    | 16    | 18     |
| Ca <sup>+2</sup> , mg/L | 17,5      | 15    | 12,5  | 17,5   | 75    | 65    | 17,5      | 20    | 22,5  | 22,5   | 15        | 15    | 12,5  | 12,5   |
| Mg <sup>+2</sup> , mg/L | 6,5       | 11    | 11,5  | 6,5    | 35    | 19    | 12,5      | 8     | 3,5   | 1,5    | 3         | 3     | 3,5   | 5,5    |
| Cl <sup>-</sup> , mg/L  | 143       | 138   | 125   | 125    | 145   | 150   | 138       | 135   | 130   | 130    | 145       | 145   | 140   | 128    |
| K <sup>+</sup> , mg/L   | 30        | 30    | 25    | 25     | 50    | 55    | 35        | 30    | 30    | 25     | 30        | 30    | 25    | 25     |
| Alkalinite, mg/L        | 332       | 306   | 296   | 288    | 392   | 340   | 308       | 304   | 274   | 284    | 328       | 300   | 260   | 250    |
| Tuzluluk, ppt           | 1,25      | 1,252 | 1,104 | 1,185  | 3,436 | 2,826 | 1,307     | 1,259 | 1,239 | 1,232  | 1,101     | 0,986 | 0,876 | 0,793  |
| TDS, g/L                | 1,445     | 1,429 | 1,307 | 1,321  | 3,473 | 3,13  | 1,495     | 1,434 | 1,397 | 1,45   | 1,362     | 1,224 | 1,045 | 0,963  |

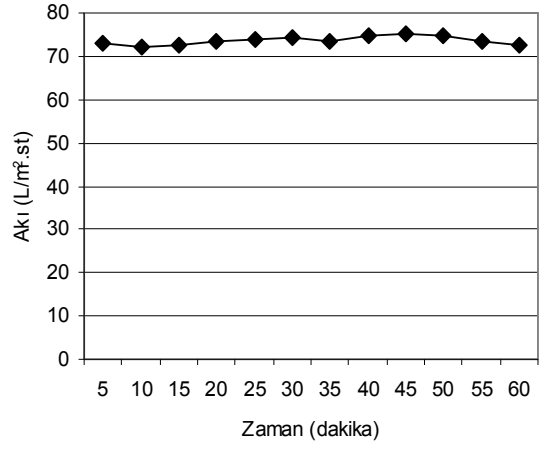
#### 4.2.3 Arıtılmamış Tekstil Atıksuyunun Membran Çalışması Sonuçları

##### - Akı

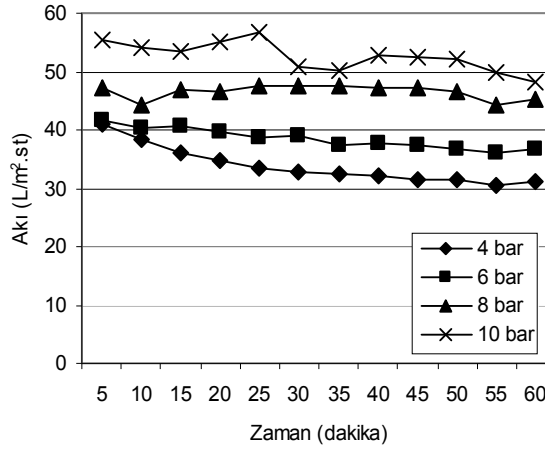
Pamuklu tekstil endüstrisinden temin edilen arıtılmamış atıksuyun kullanıldığı 60 dakikalık membran çalışmasında elde edilen süzöntü akılarına ait sonuçlar Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



a) NF10



b)UF10



c) UF10+NF10

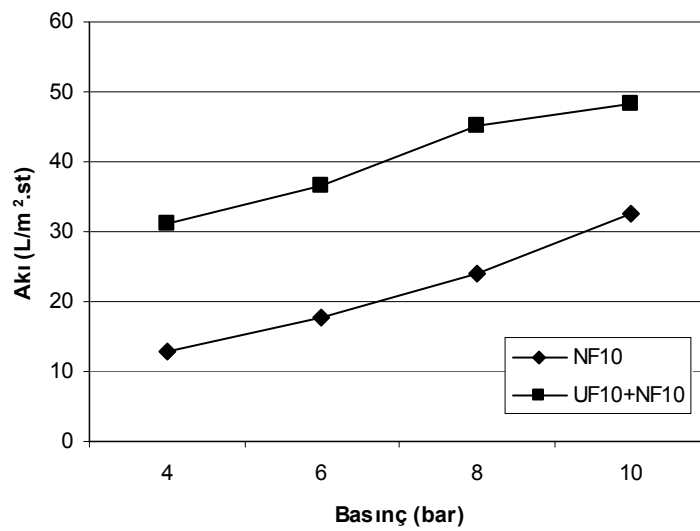
Şekil 4.19 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçlarında süzöntü akısının zamana bağlı değişimi

Şekilden de görüleceği gibi 60 dakika içerisinde akıda bir miktar azalma olmuştur. Membran basıncının artmasıyla süzüntü akısındaki artış Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 Tekstil atıksuyu için membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akısının artışı

| Membran   | Basınç (bar)                                                         |      |      |      |      |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|           | 3                                                                    | 4    | 6    | 8    | 10   |
|           | Arıtılmamış tekstil atıksuyu<br>Süzüntü akısı (L/m <sup>2</sup> .st) |      |      |      |      |
| UF10      | 72,5                                                                 |      |      |      |      |
| NF10      |                                                                      | 13,0 | 17,8 | 24   | 32,5 |
| UF10+NF10 |                                                                      | 31,1 | 36,6 | 45,2 | 48,3 |

Pamuklu tekstil endüstrisine ait arıtılmamış atıksuya 10 bar basınç altında NF10 uygulanması sonucunda 32,5 L/m<sup>2</sup>.st, 3 bar basınç altında UF10 uygulanması sonucunda 72,5 L/m<sup>2</sup>.st ve 10 bar basınç altında UF10+NF10 uygulaması sonucunda da 48,3 L/m<sup>2</sup>.st akı elde edilmiştir (Şekil 4.20). Belirtilen akı değerleri çalışılan atıksu için elde edilen en yüksek akı sonuçlarıdır. Sonuçlara göre, UF membranların ön arıtma olarak uygulanmasının akıyı olumlu yönde etkilediği ve NF için iyi bir ön arıtma olabileceği Şekil 4.20’den görülebilmektedir. Ancak, diğer atıksularla yapılan membran uygulamaları ile elde edilen akı değerlerine göre oldukça düşük akılar elde edilmiştir. Bunun çok yüksek çözünmüş organik ve inorganik madde varlığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

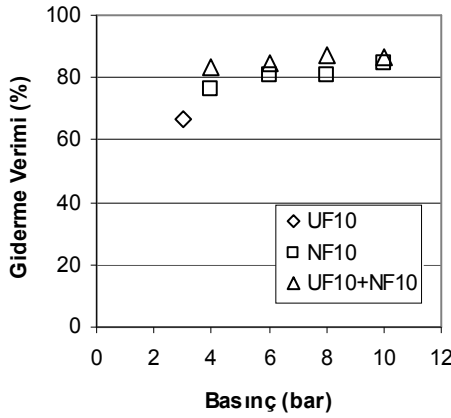


Şekil 4.20 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10 ve UF10+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri

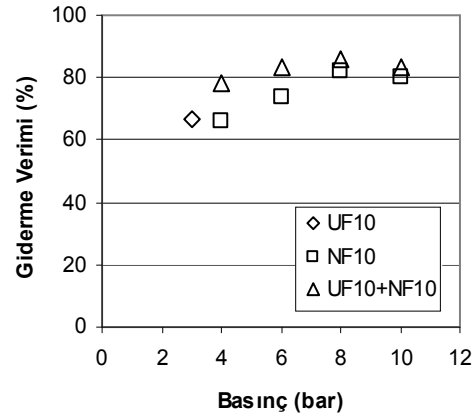
### - Süzüntü Suyu Analiz Sonuçları

Pamuklu tekstil endüstrisinden temin edilen arıtılmamış atıksuyuna membran uygulaması sonunda elde edilen süzöntü suyu analiz sonuçları Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Membran çalışması için besleme suyu olarak kullanılan atıksuda KOİ değeri 1944 mg/L dir. UF10 uygulaması sonucunda yaklaşık %67 oranında KOİ giderim verimi elde edilmiştir. NF10 uygulaması sonucunda, 10 bar basınç altında 300 mg/L KOİ değeri ile %85 giderme verimine ulaşılmıştır.

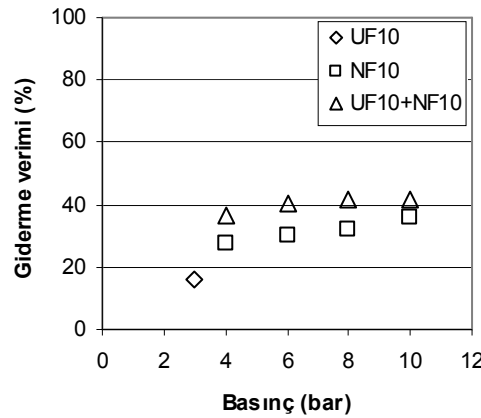
UF10+NF10 uygulamasında da, 8 ve 10 bar basınç altında yaklaşık aynı KOİ değerlerine ulaşılarak %87 giderme verimi bulunmuştur. UF10 membranların ön arıtma olarak kullanılması durumunda KOİ giderimine önemli bir katkısının olmadığı görülmüştür (Şekil 4.21).



a)KOİ



b)Renk



c) İletkenlik

Şekil 4.21 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen giderme verimleri



Renk parametresi girişte 604 Hz iken, UF10 uygulaması sonucunda 202 Hz'e düşmüştür. NF10 uygulaması sonucunda, maksimum renk giderimi 8 bar basınç altında %82 oranında tespit edilmiştir. UF10+NF10 uygulamasında ise maksimum renk giderimi 8 bar basınç altında %86 olarak belirlenmiştir.

İletkenlik değeri, başlangıçta 18,94 mS/cm iken, NF10 uygulamasında 10 bar basınç altında %37, UF10 uygulamasında %16, UF10+NF10 uygulamasında 8 bar basınç altında, 11,02 mS/cm ile %42 giderim verimi elde edilmiştir. UF membranı uygulaması iletkenlik değerinin gideriminde %5'lik bir etkiye sahip olmuştur.

Çizelge 4.10 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun membran çalışması sonucunda elde edilen analiz sonuçları

| Parametre                    |                         | Mem.<br>Gir.<br>Atık.<br>Num. | NF10            |       |       |        | UF10  | UF10 + NF10 |       |       |        |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------|-------|-------|--------|-------|-------------|-------|-------|--------|
|                              |                         |                               | Membran Basıncı |       |       |        |       |             |       |       |        |
|                              |                         |                               | 4 bar           | 6 bar | 8 bar | 10 bar | 3 bar | 4 bar       | 6 bar | 8 bar | 10 bar |
| Arıtılmamış Tekstil Atıksuyu | KOİ, mg/L               | 1944                          | 460             | 370   | 350   | 300    | 650   | 320         | 300   | 250   | 260    |
|                              | Renk, Hz                | 604                           | 207             | 157   | 107   | 121    | 202   | 131         | 102   | 87    | 102    |
|                              | İletkenlik,<br>mS/cm    | 18,94                         | 13,72           | 13,22 | 12,82 | 12,18  | 15,87 | 12,05       | 11,23 | 11,02 | 11,08  |
|                              | Sertlik, mg/L           | 240                           | 170             | 110   | 120   | 160    | 180   | 160         | 150   | 150   | 140    |
|                              | Ca <sup>+2</sup> , mg/L | 110                           | 70              | 60    | 70    | 70     | 90    | 80          | 70    | 70    | 80     |
|                              | Mg <sup>+2</sup> , mg/L | 130                           | 100             | 50    | 50    | 90     | 90    | 80          | 80    | 80    | 60     |
|                              | Cl <sup>-</sup> , mg/L  | 150                           | 150             | 125   | 125   | 125    | 175   | 125         | 125   | 125   | 125    |
|                              | K <sup>+</sup> , mg/L   | 200                           | 180             | 170   | 160   | 160    | 150   | 150         | 130   | 100   | 100    |
|                              | Alkalinite,<br>mg/L     | 700                           | 1.050           | 1.150 | 900   | 1.000  | 1.250 | 1.150       | 1.000 | 1.000 | 1000   |
|                              | Tuzluluk, ppt           | 10,00                         | 7,34            | 6,86  | 6,66  | 6,2    | 9,39  | 7,3         | 6,85  | 6,65  | 6,6    |
| TDS, g/L                     | 11,90                   | 9,84                          | 9,46            | 9,21  | 9,01  | 11,38  | 8,94  | 8,61        | 8,38  | 8,30  |        |

### 4.3 Geri Kazanım Değerlendirmesi

Tekstil endüstrisinde çok çeşitli prosesler bulunması sebebiyle çok farklı kalitede sulara ihtiyaç duyulabilmektedir. Geri kazanılmaya çalışılan suların kalitelerine göre prosesleri belirlemek de bu anlamda zor olmaktadır. Literatürde de tekstil endüstrisinde kullanılan su kalitesi ile ilgili net bir bilgi bulunmamaktadır. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda tekstil endüstrisinde tekrar kullanılabilir suyun karakteristikleri Çizelge 4.11'de özetlenmiştir. Çizelge 4.11'e göre, genel olarak tekstil endüstrisine verilecek sular maksimum 218 mg/L KOİ, 2350 µS/cm iletkenlik ve 30 Pt-Co renk içermesi uygun görülmektedir.

Laboratuvar ölçekli SGYAR'ın ve çalışılan fabrikada mevcut olan aerobik arıtma tesislerinin biyolojik ön arıtma olarak kullanıldığı membran denemeleri ile elde edilen süzüntü suyu analizlerine göre tekstil endüstrisinde tekrar kullanım olanakları Çizelge 4.11'e göre değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Membran çalışmalarının tamamında yalnız UF uygulamaları sonunda elde edilen sonuçlar oldukça yüksek bulunduğundan geri kazanım değerlendirmeleri NF ve UF+NF uygulamaları için yapılmıştır.

SGYAR'ın 48 saat hidrolik bekletme süresi sonunda elde edilen çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen KOİ değerleri 113 mg/L ile 95 mg/L arasındadır. En başarılı KOİ giderimi NF10 ve UF10+NF10 uygulamalarında 10 bar basınç altında gerçekleşmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11'e göre uygun olarak kabul edilebilmektedir. Renk değeri 62 Hz ile 51 Hz arasında olup, tekrar kullanım için uygun bulunmamaktadır (Uzal, 2007). İletkenlik değeri ise, 6,00 mS/cm ile 5,19 mS/cm arasındadır. İletkenlik sonuçları tekrar kullanım için uygun olmamaktadır.

Çizelge 4.11 Literatüre göre tekstil endüstrisinde tekrar kullanılabilir suyun karakteristikleri

| Kaynak                               | Parametre |                   |                            | Tekrar Kullanım Kriteri                                                           |
|--------------------------------------|-----------|-------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                                      | KOİ, mg/L | İletkenlik, µS/cm | Renk                       |                                                                                   |
| Li ve Zhao, 1999                     | 0-160     | 800-2.200         | 0-2 Lovibond               | Reaktif ve asit boyama proseslerinde tekrar kullanım                              |
| Rozzi vd., 1999                      | 30        | 1.800             | 0.01 (426 nm)              | Sentetik elyaf boyaması                                                           |
| Rozzi vd., 1999                      | <10       | <40               | Renksiz                    | Tekstil fabrikaları için tekrar kullanım                                          |
| Goodman ve Porter, 1980 (Uzal, 2007) | 178-218   | 1.650-2.200       | 20-30 Pt-Co                | %100 pamuklu kumaşın reaktif boyama prosesi için tekrar kullanım                  |
| Brik vd., 2006                       | <30       | <1.800            | <1m <sup>-1</sup> (426 nm) | Tekstil endüstrisinde tekrar kullanım için genel kriterler                        |
| Gozalvez-Zafrilla vd., 2008          | <20       | <500              | -                          | Tekstil endüstrisinde tekrar kullanım suyu için spesifikasyonlar                  |
| Lu vd., 2009                         | <50       | -                 | -                          | Boyama ve baskı prosesleri için tekrar kullanım                                   |
| Comodo vd., 1993                     | 40        | 2.000             | 0,02 (426 nm)              | Düşük kalitede yün boyama için tekrar kullanım                                    |
| Ciardelli vd., 2001                  | 34        | 35                | 0,002 (420 nm)             | Tekstil fabrikalarını bütün prosesleri için uygun su kalite özellikleri           |
| Marcucci vd., 2001                   | 8-10      | 330-2.350         | -                          | Doğal ve sentetik iplik boyama ve açık renklilerin yıkanması için tekrar kullanım |
| Bes-Pia vd., 2005, 2003              | 100       | 1.000             | -                          | Ağartma prosesinde tekrar kullanım için yeterli kalite                            |

SGYAR'ın 24 saat hidrolik bekletme süresi sonunda elde edilen çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda KOİ değeri 97 mg/L ile 26 mg/L arasında tespit edilmiştir. En başarılı KOİ giderimi UF10+NF10, UF30+NF10 ve UF30+NF30 uygulamalarında 10 bar basınç altında elde edilmiştir. Bu sonuçlar, KOİ değeri bakımından suyun tekstil endüstrisinde tekrar kullanımına uygun kabul edilebilmektedir. Renk değeri 41 ile 21 Hz arasında bulunmuştur. En düşük renk sonuçları NF30 ve UF10+NF30 uygulamalarında 10 bar basınç altında elde edilmiştir. Renk değerlerinin Çizelge 4.11 ile karşılaştırılması yapıldığında tekrar kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. İletkenlik sonuçları da 7,427 mS/cm ile 3,261 mS/cm arasındadır. UF10+NF30 ve UF30+NF30 uygulamalarında sırasıyla 8 ve 10 bar basınç altında en düşük iletkenlik değeri elde edilmiştir. İletkenlik sonuçlarına göre; elde edilen süzüntü suyu Çizelge 4.11'deki tekrar kullanım kriterlerine uygun değildir (Marcucci vd., 2001).

Aerobik olarak arıtılmış tekstil atıksuyunun membran çalışmaları sonucunda, KOİ değerleri 42 mg/L ile 15 mg/L arasında olmuştur. En iyi KOİ giderimi UF10+NF30 uygulamasında 8 ve 10 bar basınç altında gerçekleşmiştir. Elde edilen süzüntü suları tekrar kullanıma uygundur. Renk değerleri de tekrar kullanıma uygun olup, 30 Hz ile 10 Hz arasındadır. NF30, UF10+NF30 ve UF30+NF30 uygulamalarında sırasıyla 6,8-10 ve 6-8-10 bar basınçlar altında en düşük renk değerlerine ulaşılmıştır. İletkenlik sonuçları 3,035 mS/cm ile 1,553 mS/cm arasında olup, tekrar kullanım için kabul edilebilmektedir. En başarılı iletkenlik sonuçları NF30, UF30+NF30 ve UF10+NF30 uygulamalarında 6,8 ve 10 bar basınçlar altında elde edilmiştir.

Arıtılmamış tekstil atıksuyu ile yapılan membran denemeleri sonucunda ise, KOİ değeri 460 mg/L ile 300 mg/L, renk 207 Hz ile 87 Hz ve iletkenlik ise 13,72 mS/cm ile 11,02 mS/cm arasında olup, geri kazanıma uygun olmayan oldukça yüksek değerler elde edilmiştir.

Elde edilen analiz sonuçları ve değerlendirmeler ışığında yalnızca, aerobik arıtma uygulanmış tekstil atıksuyunun özellikle NF30 ve UF10+NF30, UF30+NF30 uygulamaları sonucunda tekrar kullanıma uygun su elde edilebilmektedir. SGYAR çıkış suyunun membran süzüntü suyu sonuçlarında özellikle iletkenlik değerleri yüksektir.

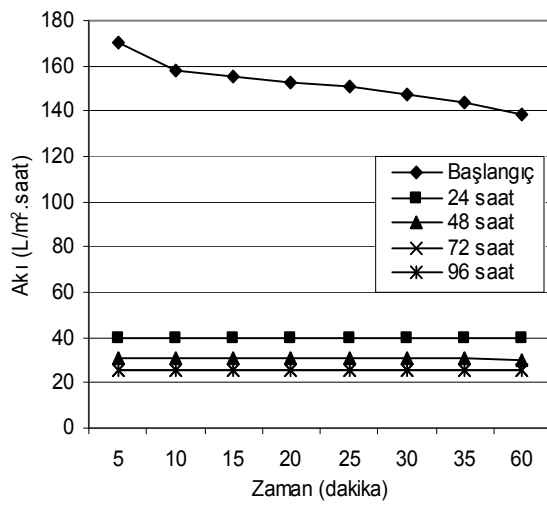
#### **4.4 Uzun Süreli Membran Denemeleri**

Laboratuvar ölçekli anaerobik reaktör ve tam ölçekli aerobik arıtma tesisi çıkış sularının NF10 ve NF30 karşısındaki performansını toplam akı azalması, tıkanma, konsantrasyon polarizasyonu ve süzüntü suyu kalitesi bakımından değerlendirmek için uzun süreli deneyler

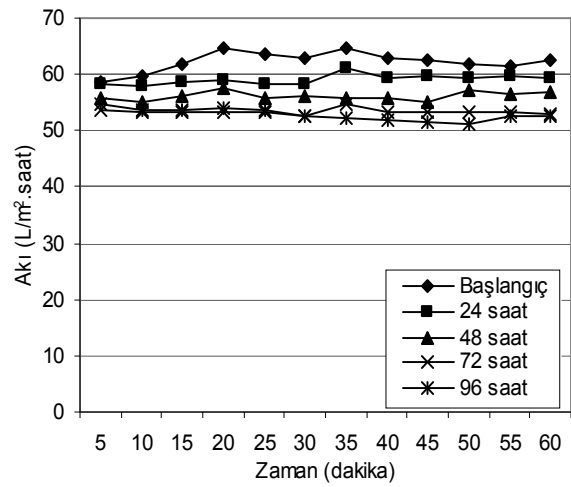
yapılmıştır. Deneyler sabit debi (300 L/st), sabit basınçta (10 bar) ve sabit sıcaklıkta (25 °C) gerçekleştirilmiştir. NF uygulamalarından önce atıksular UF10 membranlardan geçirilmiştir.

Membran performanslarının belirlenmesinde başlıca değerlendirme parametresi akı olması nedeniyle her bir uygulama sonucundaki akı değerleri belirlenmiştir.

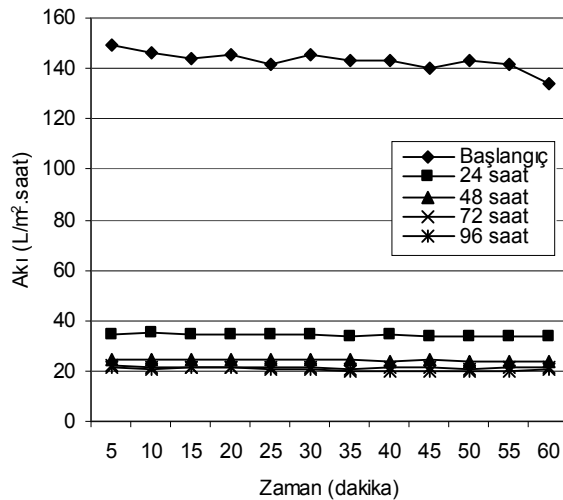
Anaerobik reaktör ve aerobik arıtma tesisi çıkış suları ile yapılan uzun süreli membran deneyleri sonucunda elde edilen akılara ait grafikler Şekil 4.22’de verilmiştir. Her 24 saatlik zaman dilimlerinde akılardaki düşme Şekil 4.22’de belirgin bir şekilde görülebilmektedir.



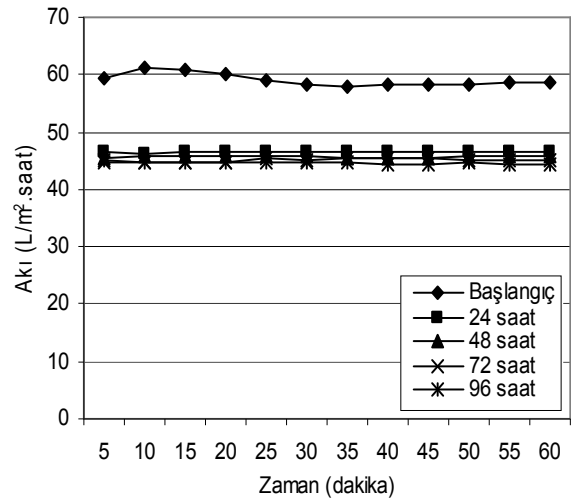
a) UF10+NF10 (Aerobik)



b) UF10+NF30 (Aerobik)



c) UF10+NF10 (Anaerobik)



d) UF10+NF30 (Anerobik)

Şekil 4.22 Uzun süreli membran deneyleri sonucunda elde edilen akılar (10 bar, 300 L/st)

Anaerobik reaktör ve aerobik arıtma tesisi çıkış sularının çalışıldığı membran deneylerinde, başlangıçtan 96 saat sonuna kadar elde edilen akıların mukayesesi Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12 Uzun süreli denemelerde elde edilen akıların mukayesesi

|           | Aerobik (L/m <sup>2</sup> .st) |           | Anaerobik (L/m <sup>2</sup> .st) |           |
|-----------|--------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
|           | UF10+NF10                      | UF10+NF30 | UF10+NF10                        | UF10+NF30 |
| Başlangıç | 138,9                          | 62,4      | 133,7                            | 58,5      |
| 24 saat   | 39,3                           | 59,3      | 33,4                             | 46,5      |
| 48 saat   | 30,2                           | 56,9      | 24                               | 45,8      |
| 72 saat   | 25,4                           | 52,9      | 21,3                             | 45,2      |
| 96 saat   | 25,2                           | 52,7      | 20,3                             | 44,4      |

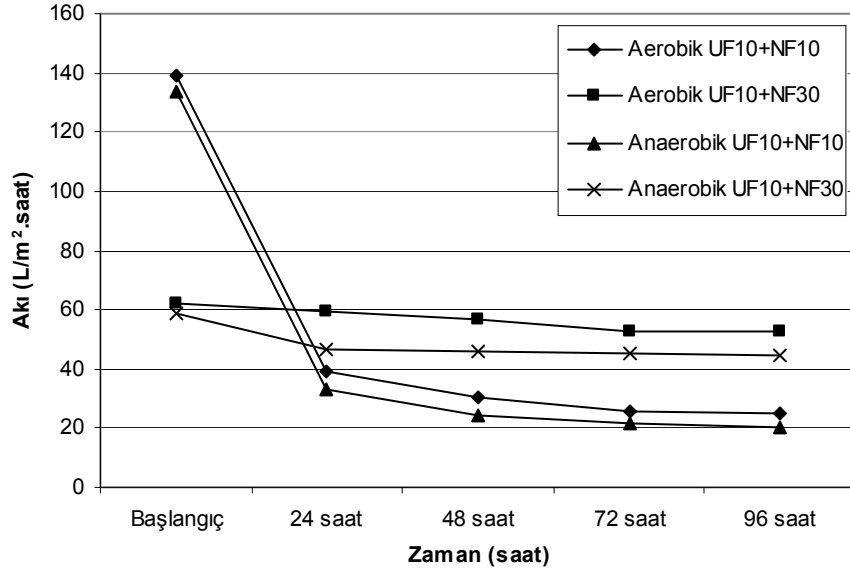
Buna göre, her iki atıksu için de UF10 uygulamasının ardından NF10 deneylerinde başlangıçta oldukça yüksek akılar elde edilmiştir. Başlangıç akıları, aerobik atıksu için 138,9 L/m<sup>2</sup>.st, anaerobik çıkış suyu için ise 133,7 L/m<sup>2</sup>.st olarak elde edilmiştir. UF10 uygulamasının ardından NF30 uygulaması sonucunda da 62,4 L/m<sup>2</sup>.st ve 58,5 L/m<sup>2</sup>.st olarak tespit edilen akılardan aerobik çıkıştan elde edilen akı daha yüksektir. Ancak, NF10 ile elde edilen başlangıç akı performansları 24 saat sonra ciddi bir şekilde düşüş göstermiş ve aerobik çıkış suyu için 39,3 L/m<sup>2</sup>.st, anaerobik çıkış suyu için ise 33,4 L/m<sup>2</sup>.st seviyelerin düşmüştür. NF30 denemelerinde de başlangıç akısına göre düşüş kaydedilmiş, ancak tespit edilen düşüş NF10’daki kadar önemli düzeyde gerçekleşmemiştir. 48 saat sonucunda da tüm uygulamalardaki akılarda bir miktar düşme gözlenmiştir (Şekil 4.23). NF10 ile yapılan uzun süreli denemelerde elde edilen akı azalması NF30’a göre daha yüksek tespit edilmiştir. Bunun sebebi, daha iri gözenekli olan NF10 membranların gözeneklerinde zamanla birikimin meydana gelmesi, daha ince gözenekli NF30 membranında ise gözeneklerde birikimin gerçekleşmemesi ve akış hızıyla membran yüzeyinde tutunmanın olmaması şeklinde izah edilebilir. 72 saat ve 96 saat sonunda deneylerde elde edilen akılarda tüm uygulamalar için hemen hemen hiç düşme tespit edilmemiştir. 96 saat sonundaki akı durumu baz alındığında NF30 membranları ile daha yüksek akı elde edildiği belirlenmiştir. Buna göre, anaerobik çıkıştan elde edilen akılar NF10 ve NF30 için sırasıyla 20,3 L/m<sup>2</sup>.st ve 44,4 L/m<sup>2</sup>.st; aerobik çıkıştan elde edilen akılar NF10 ve NF30 için sırasıyla 25,2 L/m<sup>2</sup>.st ve 52,7 L/m<sup>2</sup>.st şeklindedir.

Membran tıkanmasını izlemek için distile su ile de seri çalışmalar yapılmıştır. Distile su deneyleri; denemelere başlamadan önce ve denemeler başladıktan 96 saat sonra membran yıkaması öncesinde ve sonrasında yapılmıştır. Membran yıkama işlemi önce düşük pH’da

HNO<sub>3</sub> ve yüksek pH'da NaOH çözeltileri içerisinde 1 saat bekletilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Toplam akı azalması, konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmanın belirlenmesi için kullanılan eşitlikler Çizelge 4.13'de özetlenmiştir.

Yapılan distile suyu denemeleri ve 96 saat membran uygulamalarının başında ve sonunda elde edilen akılara göre elde edilen akı azalması sonuçları Çizelge 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.23 NF10 ve NF30 deneyleri için 96 saat içinde meydana gelen akıdaki azalmanın mukayesesi

Çizelge 4.13 Uzun süreli membran deneylerinde performans belirlenmesinde kullanılan eşitlikler

| Süzüntü Akısı (L/m <sup>2</sup> .st) |                  |                  | Akı Azalması (%) |                                                       |                                                       |                                                        |                                                        |                                                        |
|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Saf Su                               |                  |                  | Atıksu           | Toplam                                                | Kon. Pol.                                             | Tıkanma                                                |                                                        |                                                        |
| Baş.                                 | Final            | Tem.             |                  |                                                       |                                                       | Toplam                                                 | Geri Dön. Olan                                         | Geri Dön. Olmayan                                      |
| J <sub>cwi</sub>                     | J <sub>cwf</sub> | J <sub>cwc</sub> | J <sub>ww</sub>  | (J <sub>cwi</sub> -J <sub>ww</sub> )/J <sub>cwi</sub> | (J <sub>cwf</sub> -J <sub>ww</sub> )/J <sub>cwf</sub> | (J <sub>cwi</sub> -J <sub>cwf</sub> )/J <sub>cwi</sub> | (J <sub>cwc</sub> -J <sub>cwf</sub> )/J <sub>cwc</sub> | (J <sub>cwi</sub> -J <sub>cwc</sub> )/J <sub>cwi</sub> |

Çizelge 4.14'e göre, aerobik arıtma tesisi çıkışının deneylerinde elde edilen akı miktarları, anaerobik çıkış suyuna göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, daha önce yapılan 60 dakikalık akı deneylerinde de aynı şekilde tespit edilmiştir. Bunun nedeninin de anaerobik reaktör çıkışından gelebilecek mikroorganizma faaliyetleri sebebiyle oluşan çözünmüş maddelerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Çizelge 4.14 incelendiğinde en yüksek akı azalmasının her iki atıksu için de NF10 membranlarında olduğu görülmektedir. Aerobik arıtma tesisi çıkış suyu için %85,4, anaerobik

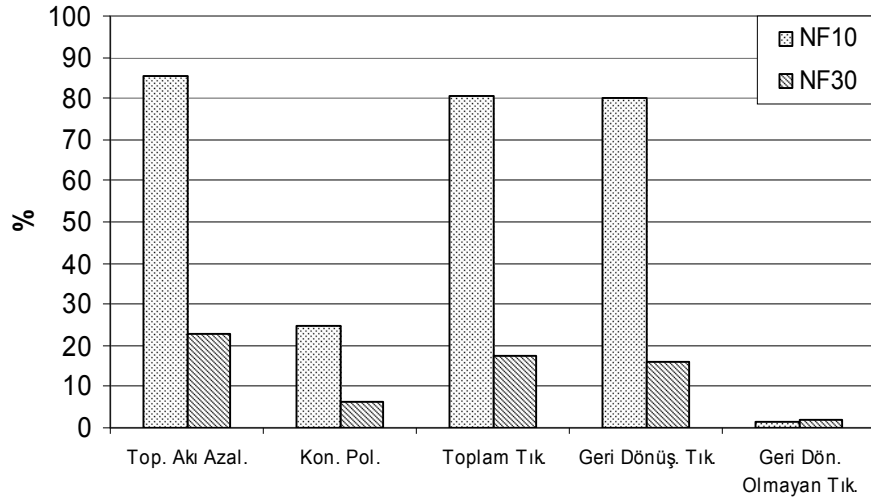
reaktör çıkış suyu için ise %88,2 akı azalması tespit edilmiştir. NF30 ile elde edilen akı azalması aerobik ve anaerobikte sırasıyla %22,7 ve %34,9 olarak belirlenmiştir. Akı değerinin, membran sistemlerinin işletilmesi ve dizaynında en önemli parametrelerden biri olduğu dikkate alındığında, NF10 membranlarında yaşanan yüksek akı düşüşü olumlu karşılanmamaktadır. Her bir atıksu için uzun süreli deneylerde elde edilen akı azalmalarının karşılaştırılması Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.14 Uzun süreli deneylerde elde edilen akı azalması, konsantrasyon polarizasyonu ve membran tıkanması

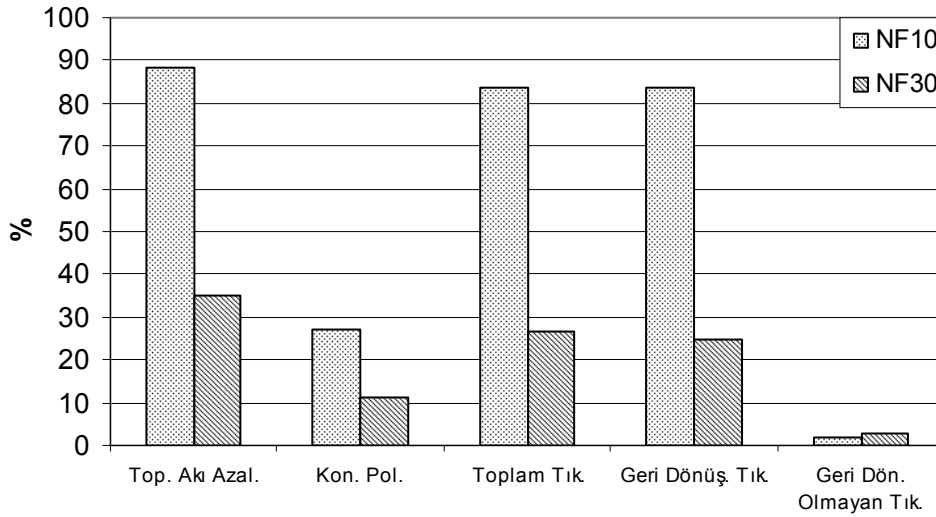
| Kull. Atıksu                     | Mem. | Süzüntü Akısı (L/m <sup>2</sup> .st) |       |       | Akı Azalması (%) |        |           |         |                |                   |
|----------------------------------|------|--------------------------------------|-------|-------|------------------|--------|-----------|---------|----------------|-------------------|
|                                  |      | Saf Su                               |       |       | Atıksu           | Toplam | Kon. Pol. | Tıkanma |                |                   |
|                                  |      | Baş.                                 | Final | Tem.  |                  |        |           | Toplam  | Geri Dön. Olan | Geri Dön. Olmayan |
| Aerobik arıtma tesisi çıkışı     | NF10 | 172,2                                | 33,4  | 169,8 | 25,2             | 85,4   | 24,6      | 80,6    | 80,3           | 1,4               |
| Aerobik arıtma tesisi çıkışı     | NF30 | 68,2                                 | 56,2  | 66,8  | 52,7             | 22,7   | 6,2       | 17,6    | 15,9           | 2,1               |
| Anaerobik (SGYAR) reaktör çıkışı | NF10 | 172,2                                | 27,8  | 169,1 | 20,3             | 88,2   | 27,0      | 83,9    | 83,6           | 1,8               |
| Anaerobik (SGYAR) reaktör çıkışı | NF30 | 68,2                                 | 49,9  | 66,3  | 44,4             | 34,9   | 11,0      | 26,8    | 24,7           | 2,8               |

Membrandan çözünmüş madde geçişi gerçekleşirken, membran üzerinde yaşanan konsantrasyon artışı konsantrasyon polarizasyonu olarak adlandırılmaktadır. Konsantrasyon polarizasyonu değerleri NF10 membranlarında aerobik çıkış suyu için %24,6, anaerobik çıkış suyu için ise %27,0 olarak belirlenmiştir. NF30 membran denemelerinde elde edilen konsantrasyon polarizasyonu ise NF10 membrana göre daha düşük olup, aerobik çıkış suyu için %6,2, anaerobik çıkış suyu için %11,0 olarak gerçekleşmiştir.

Membranlarda meydana gelen tıkanma sebebiyle oluşan akı azalması NF10 membranlarda NF30 mebranlara göre daha yüksek mertebelerde bulunmuştur. NF10 membran ile aerobik için %80,6, anaerobik için %83,9 tıkanma sebebiyle toplam akı azalması meydana gelirken, NF30 membran ile aerobik için %17,6, anaerobik için ise %26,8 akı azalması oluşmuştur. Membranların yıkanması sonucunda geri dönüşümü olan akı azalması NF10 için, %80,3 ve %83,6, NF30 için ise %15,9 ve %24,7 seviyelerindedir. Geri dönüşümü olmayan tıkanmalar nedeniyle oluşan akı azalması ise NF10 için %1,4 ve %1,8, NF30 için ise %2,1 ve %2,8 şeklinde bulunmuştur.



Şekil 4.24 Aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun NF10 ve NF30 membranları ile uzun süreli deneyleri sırasında elde edilen akı azalması verilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.25 Anerobik reaktör çıkış suyunun NF10 ve NF30 membranları ile uzun süreli deneyleri sırasında elde edilen akı azalması verilerinin karşılaştırılması

Pamuklu tekstil endüstrisi atıksularının arıtımı için 48 saat ve 24 saat hidrolik bekletme sürelerinde çalıştırılan laboratuvar ölçekli SGYAR çıkış suyu ile fabrikada mevcut bulunan aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun uzun süreli membran çalışmaları sonucunda elde edilen akı azalması ve tıkanma oranları karşılaştırılacak olursa, aerobik arıtmanın daha iyi sonuçlar verdiği görülebilmektedir. Bu durumun, SGYAR çıkış suyundaki fazla miktardaki çözünmüş organik madde varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çözünmüş organik maddeler; hümitik maddeler, polisakkaritler, amino asitler, proteinler, yağ asitleri, fenoller, karboksilik asitler, kinin, ligninler, karbonhidratlar, alkoller, reçinelerden oluşmaktadır (Zularisam vd., 2006). SGYAR çıkışından parçalanmış anaerobik granül kaçıışı da söz konusu olabilmektedir.

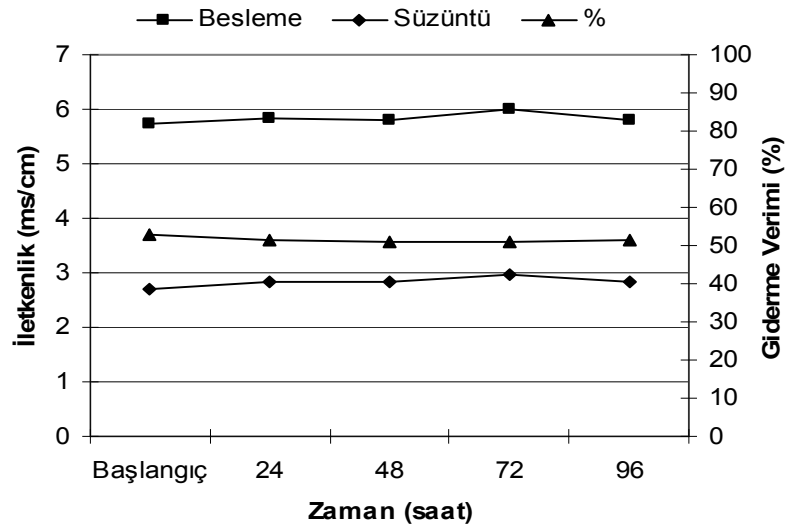
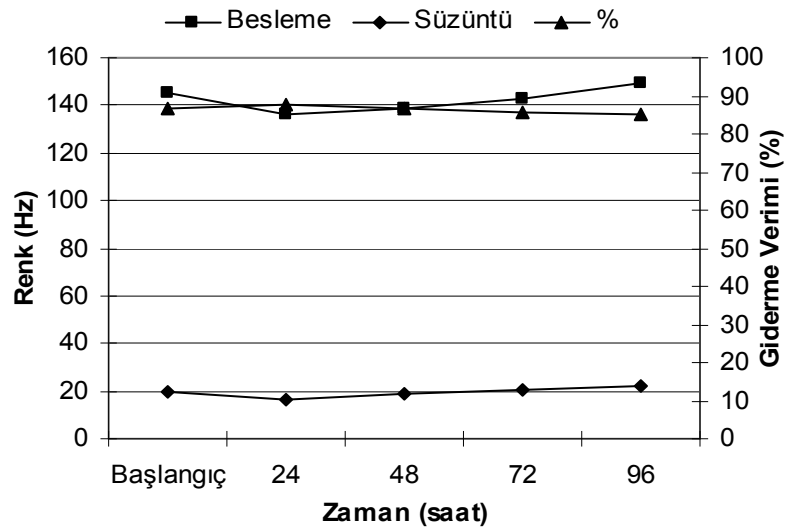
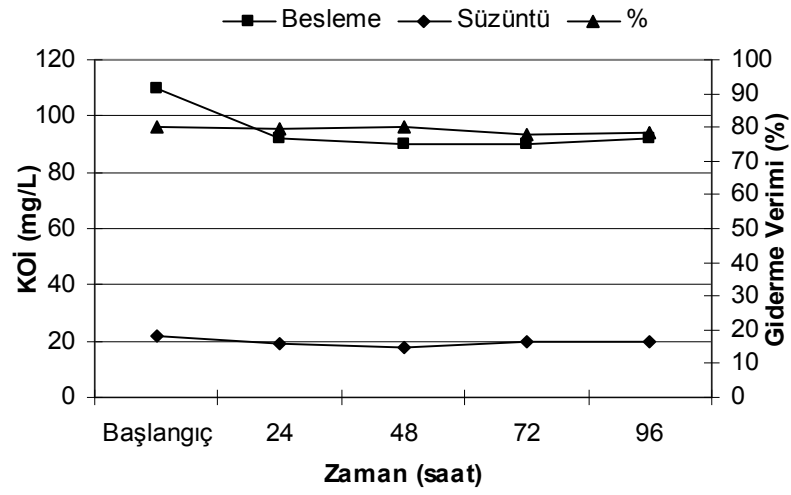


Ayrıca, aerobik arıtma sistemlerinde giderilemeyen rengin, anaerobik arıtma sistemlerinde boyar maddelerin bir kısmının aromatik aminlere dönüşmesi suretiyle giderildiği bilinmektedir (Işık ve Sponza, 2005, 2004; Manu ve Chaudhari, 2002; Kapdan ve Öztekin, 2003). Anaerobik koşullar altında oluşan ara ürünler daha ileri bir kademeye ayrışmamakta, ancak aerobik koşullar altında oluşan aromatik bileşikler hidroksil (OH<sup>-</sup>) grubunun ayrılması yolu ile parçalanabilmektedir. Azo boyar maddeleri içeren atıksuların renklerinin giderilmesi amacıyla, önce azo köprüsünün parçalanmasını sağlayan anaerobik koşulların oluşturulması ve sonrasında ise anaerobik arıtma sonucu oluşan ve aromatik aminlerin ayrıştırılması için aerobik koşulların sağlanması gerekmektedir (Işık ve Sponza, 2003; Kapdan ve Alparslan, 2004). Bu nedenle, azo boyaların çoğu için ardışık anaerobik/aerobik arıtım prosesleri gerekmekte, böylece yalnız azo boyaların indirgenmesi değil, aynı zamanda onların parçalanma ürünlerinin mineralizasyonu da sağlanmış olmaktadır (Santos vd., 2004).

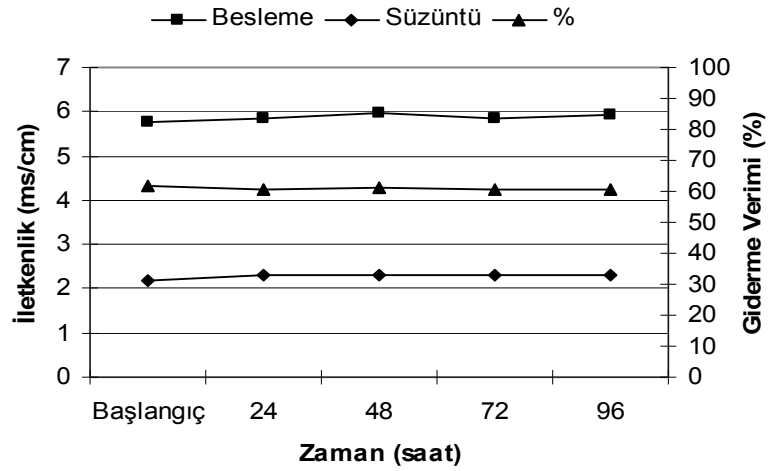
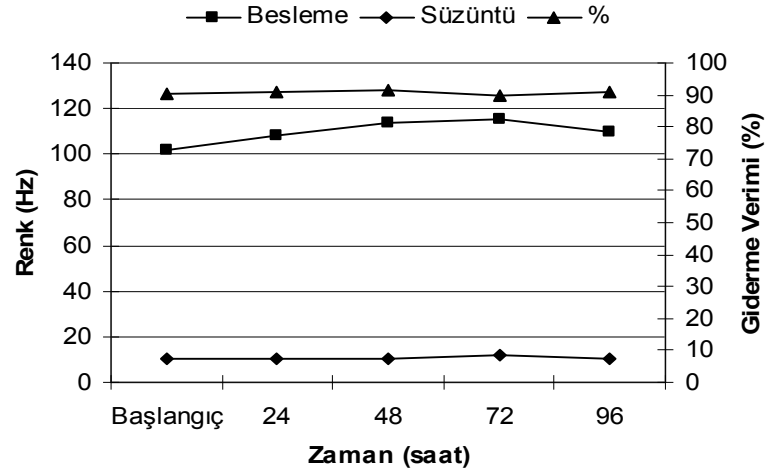
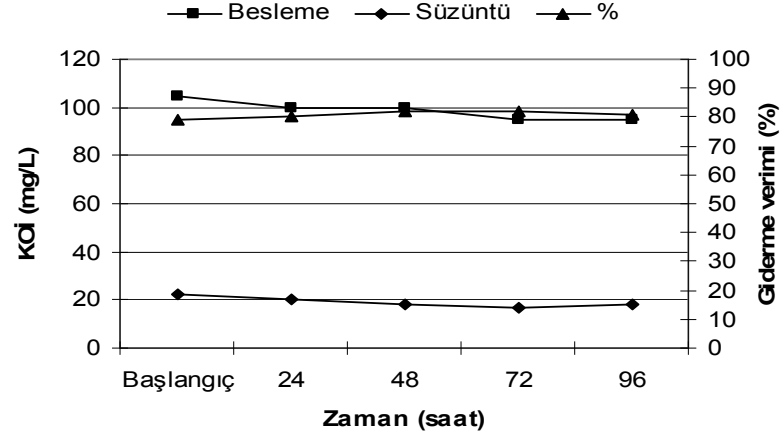
Anaerobik arıtma sistemlerinde oluşan bu aromatik aminler boyut olarak boyar maddelere oranla daha küçük olmaktadır. Örneğin; monoetanolamin'in molekül ağırlığı 61,06 g/mol iken, boyamada kullanılan boyar maddelerin molekül ağırlıkları 10 kat daha büyük olabilmektedir. Dolayısıyla, aerobik arıtma sistemlerinde parçalanmayan boyar maddeler NF membranlar ile tutulabilirken, anaerobik arıtmada olduğu tahmin edilen aminler membranlar tarafından tutulamamaktadırlar. Hem parçalanmış granül kaçışı, hem de aromatik amin oluşumu nedeniyle anaerobik arıtmanın membran denemelerinin aerobik arıtma kadar başarılı olamadığı ifade edilebilmektedir. Bu tespitin kesinlik kazanması için anaerobik ve aerobik arıtmalara ait çıkış sularında çözünmüş organik maddelerin tayin edilmesi ya da membran yüzeyindeki organik maddelerin belirlenmesi ile ilgili çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

#### **4.4.1 Süzüntü Sularındaki Giderme Verimleri**

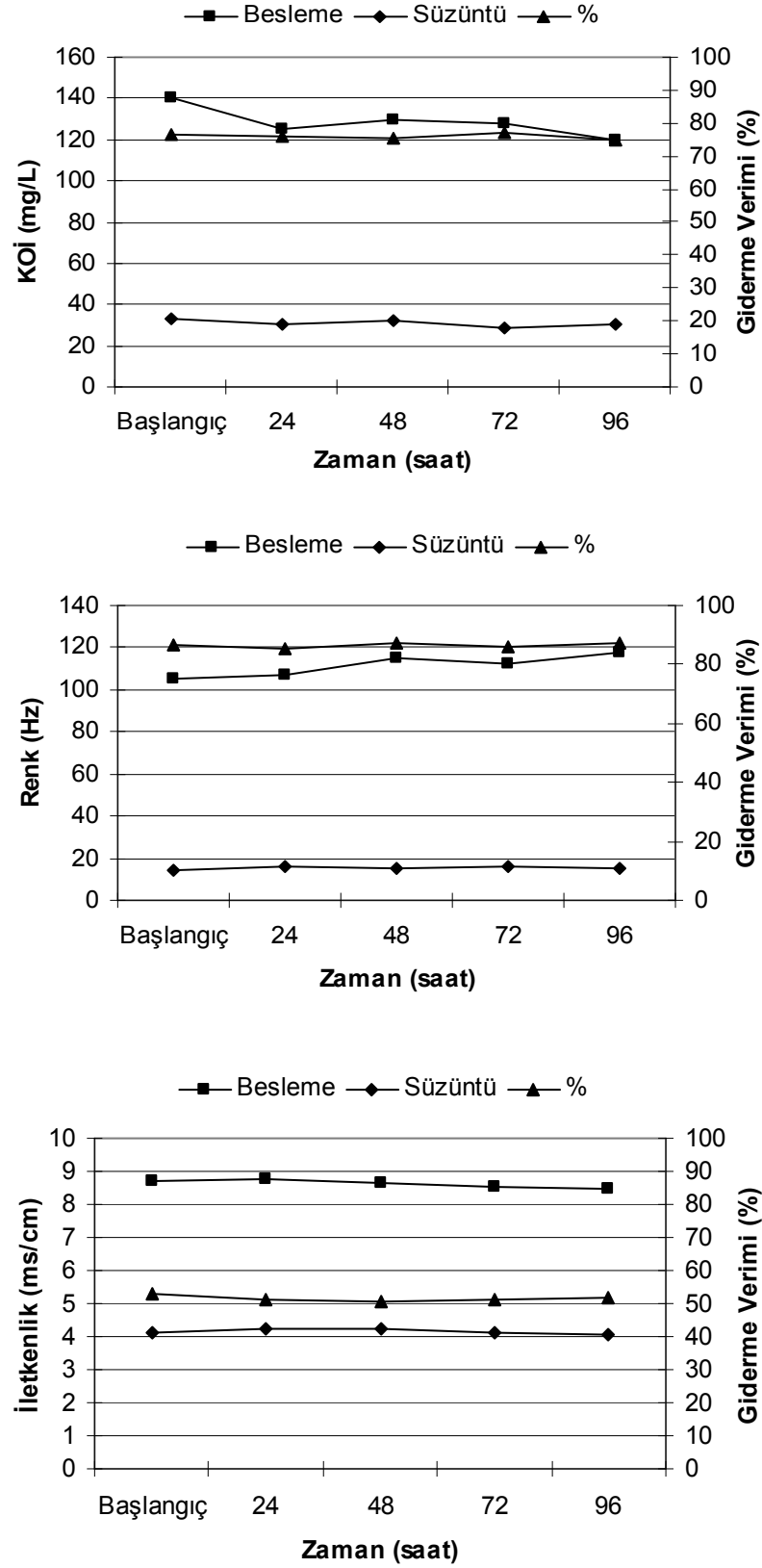
Uzun süreli deneyler sonucunda elde edilen süzüntü sularındaki KOİ, renk ve iletkenlik parametreleri belirlenerek, giderme verimleri değerlendirilmiştir. Bu amaçla, akı ölçülen her 24 saatlik zaman diliminde besleme tankı ve süzüntü suyundan numuneler alınmıştır. Alınan numunelerden elde edilen analiz sonuçları Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da gösterilmiştir.



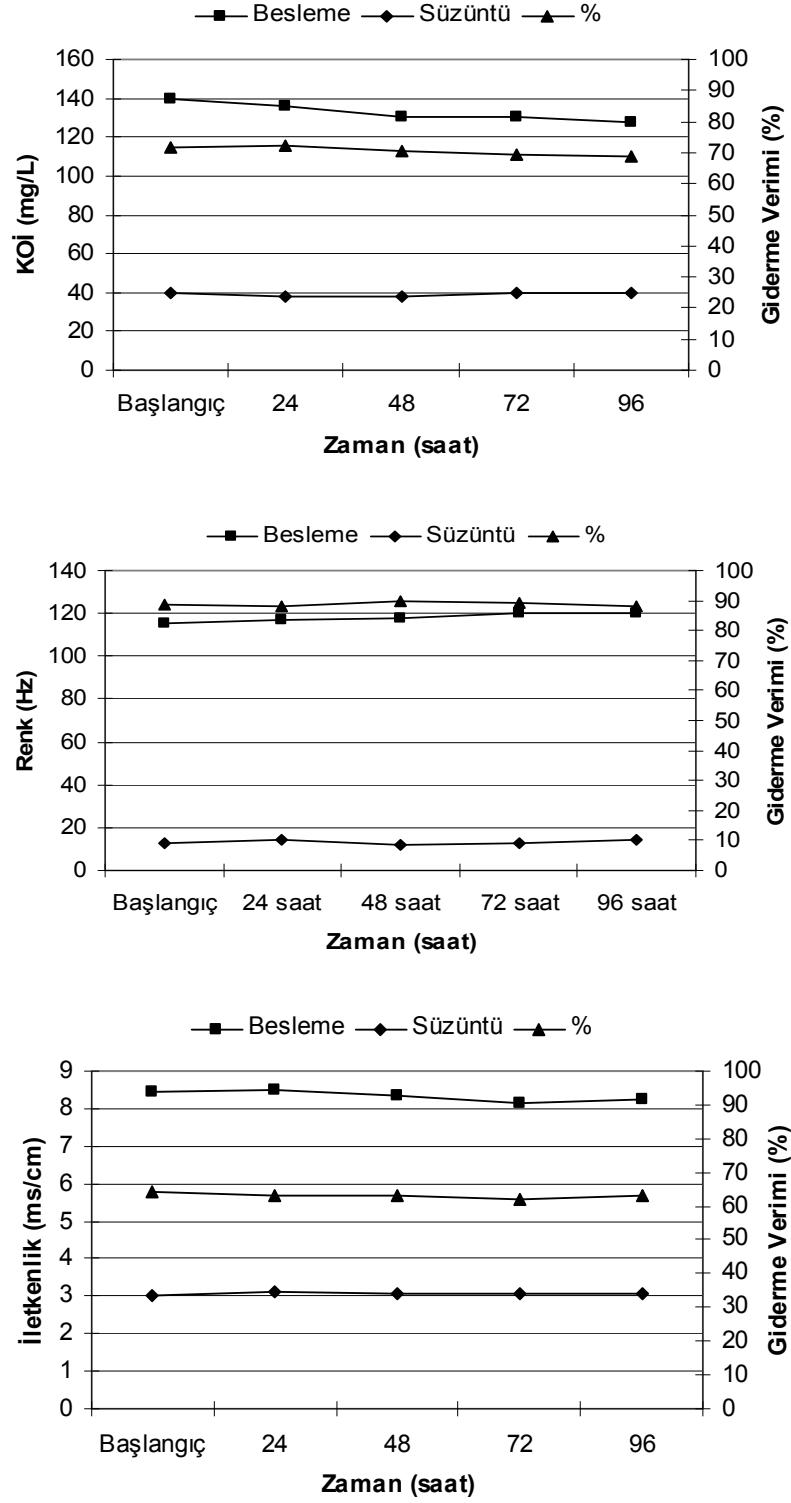
Şekil 4.26 Aerobik arıtma tesisi çıkış sularının NF10 ile uzun süreli çalışılması sonucunda elde edilen besleme ve süzöntü numunelerindeki KOİ, renk ve iletkenlik değerleri



Şekil 4.27 Aerobik arıtma tesisi çıkış sularının NF30 ile uzun süreli çalışılması sonucunda elde edilen besleme ve süzüntü numunelerindeki KOİ, renk ve iletkenlik değerleri



Şekil 4.28 Laboratuvar ölçekli anaerobik reaktör (SGYAR) çıkış sularının NF10 ile uzun süreli çalışılması sonucunda elde edilen besleme ve süzüntü numunelerindeki KOİ, renk ve iletkenlik değerleri



Şekil 4.29 Laboratuvar ölçekli anaerobik reaktör (SGYAR) çıkış sularının NF30 ile uzun süreli çalışılması sonucunda elde edilen besleme ve süzüntü numunelerindeki KOİ, renk ve iletkenlik değerleri

Uzun süreli deneyler sırasında, deneylerin başlangıcında ve her 24 saatte bir besleme haznesinden de numuneler alınmıştır. Aerobik arıtma tesisi çıkış sularının, 96 saat süren NF10 membran deneyleri sürecinde her 24 saatte bir elde edilen süzüntü suyundaki giderme verimleri KOİ için, %80 ile %78 arasında, renk %87 ile %85 arasında ve iletkenlik %53 ile %51 arasında değişmiştir. Aerobik arıtma tesisi çıkış sularının NF30 membran ile gerçekleştirilen uzun süreli deneyleri sonucunda da, %79 ile %82 arasında KOİ giderimi, %90 ile %91 arasında renk giderimi ve %62 ile %60 arasında ise iletkenlik giderimi elde edilmiştir.

Laboratuvar ölçekli olarak çalıştırılan SGYAR çıkış suyunun NF10 membran ile uzun süreli denemeleri sonucunda KOİ giderme verimi %75 ile %76 arasında, renk giderme verimi %85 ile %87 arasında ve iletkenlik giderme verimi ise %53 ile %51 aralığında tespit edilmiştir. Anaerobik reaktör çıkış suyunun NF30 ile uzun süreli deneyler sonucunda da, % 72 ile %69 arasında KOİ giderme verimi, %88 ile %90 arasında renk giderme verimi ve %62 ile %64 arasında iletkenlik giderme verimi elde edilmiştir. Giderme verimindeki zamana bağlı gerçekleşen azalmalar, çalışılan zaman dilimi içerisinde önemli olarak değerlendirilmemektedir.

Besleme haznesinde ilk 24 saat içerisinde KOİ konsantrasyonu bakımından bir miktar azalma, renk konsantrasyonu bakımından da çok önemli olmayacak düzeyde artış tespit edilmiştir. Besleme suyunun geri devrettirilmesi nedeniyle bu durum olağan karşılanmaktadır. İletkenlik değeri için zamana bağlı olarak ciddi bir değişiklik göstermemiştir.

NF10 ve NF30 membranların uzun süreli çalışması sonucunda, her iki atıksu için de NF 30 membranların akı azalması ve süzüntü suyu kalitesi bakımından uygulamada en uygun membran olacağı sonucuna varılmıştır.

## 5. KÜTLE TRANSFER KATSAYISININ BELİRLENMESİ

Membran proseslerde, dolayısıyla NF membranlarda kütle transferi, tersinir olmayan proseslerin termodinamiği kullanılarak açıklanabilmektedir (Koyuncu, 2001 ve Koyuncu vd., 2000). Tersinir olmayan proseslerde, (sabit sürücü kuvvet uygulandığı sürece) devamlı olarak serbest enerji kaybolmakta ve entropi oluşmaktadır. Sürücü kuvvetin etkisiyle membrandan devamlı olarak akım geçmesi örnek olarak gösterilebilmektedir (Koyuncu, 2001).

Kedem ve Katchalsky (1963),  $J_v$  (hacimsel akı) ve çözünen madde akısını ( $J_s$ ) ilişkilendirerek aşağıdaki eşitlikleri elde etmişlerdir.

$$J_v = L_p(\Delta P - \sigma \Delta \pi) \quad (5.1)$$

$$J_s = P_s \Delta c + (1 - \sigma) c J_v \quad (5.2)$$

Akılar, üç membran parametresi ile ilişkilidir. Bunlar,  $\sigma$ ,  $P_s$  ve  $L_p$ ; sırasıyla, yansıtma katsayısı, çözünen madde geçirgenliği ve saf su geçirgenliğidir (Ballet vd., 2004).

(5.2) eşitliğinden görüldüğü gibi çözünen madde akısı, difüzyon ve konvektif terimlerinin bir özeti. Membranın her iki tarafındaki konsantrasyon farkı difüzyon taşımaya neden olmaktadır.

Speigler-Kedem yaklaşımı, membran ve çözeltide çözünen madde arasında hiçbir elektrostatik etkileşimin olmadığı durumda uygulanmaktadır. Bu durum, RO membran gibi yüklü olmayan membranlarda ya da nötral çözeltilerde (organik) olduğunda gerçekleşmektedir. Bazı araştırmacılar, NF membranla (NF membran yüklü olmasına rağmen) elektrolit gideriminde bu modeli kullanmışlardır. Bu modelde membran efektif yüküne ve besleme çözeltisine bağlı olarak  $\sigma$  ve  $P_s$  parametreleri belirlenmiştir.

Speigler/Kedem, giderme oranı ile ilgili aşağıdaki eşitliği belirleyerek, giderme oranı ile hidrodinamik akı arasındaki ilişkiyi belirlemişlerdir (Balet vd. 2004).

$$R_{obs} = \frac{\sigma(1-F)}{1-\sigma F} \quad (5.3)$$

$$F = \exp\left(\frac{-(1-\sigma)J_v}{P_s}\right) \quad (5.4)$$

$R_{obs}$ ; gözlenen giderme verimi,  $J_v$  ise su akısıdır. Artan su akısıyla giderme verimi artarmaktadır.  $\sigma$  ve  $P_s$  değerleri deneysel verilerden elde edilebilmektedir.

Aynı şekilde, geri dönüşümü olmayan proseslerin termodinamiğinden Speigler/Kedem modeli aşağıdaki eşitliği de vermektedir (Koyuncu vd., 2001).

$$R = 1 - \left[ \frac{1 - \sigma}{1 - \sigma \cdot \exp((\sigma - 1) \cdot J_v / P)} \right] \quad (5.5)$$

$R$  : Gerçek giderme verimi

$P$  : Çözeltinin permeabilite parametresi (=w.R.T)

$\sigma$  : Yansıtma katsayısı

$J_v$  : Çözeltinin hacimsel akısını ifade etmektedir (Schirg vd., 1992).

(5.6) eşitliğinden,

$$R = \frac{J_v}{J_v + \left(\frac{P}{\sigma}\right)} \quad (5.6)$$

ve

$$R = \frac{J_v}{J_v + B} \quad (5.7)$$

Eğer  $\sigma$  değeri 1'e eşit ise,  $B$  de  $P$ 'ye eşittir. Diğer taraftan, eğer  $J_v \rightarrow \infty$  ise,  $R$  değeri  $\sigma$ 'ya yaklaşır.  $\sigma$  değeri,  $R$  ve  $\frac{1}{J_v}$  arasındaki ilişkiden elde edilebilmektedir (Koyuncu vd., 2001).

Kedem-Katchalsky modelinden Pusch (1977) tarafından bulunan eşitliğe (5.8) göre  $\sigma$  parametresi belirlenebilmektedir.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\sigma} + \left( \frac{L_D}{L_p} - \sigma^2 \right) \cdot \frac{L_p \cdot \pi_1}{\sigma \cdot J_v} = A_1 + A_2 \cdot \left( \frac{1}{J_v} \right) \quad (5.8)$$

$L_D$  ; ozmotik geçirimsizlik katsayısını ifade etmektedir.

Pusch (1986) çalışmasında  $(1/R)$  ve  $(1/J_v)$  arasındaki lineer bağıntıyı,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\sigma} + \left[ \frac{\left( \frac{L\pi}{L_p - \sigma^2} \right) L_p \pi}{\sigma} \right] \frac{1}{J_v} \quad (5.9)$$

şeklinde tanımlamıştır.

$\frac{1}{R}$  ve  $\frac{1}{J_v}$  değerleri arasındaki ilişki,  $\sigma$  değerinin hesaplanmasına izin vermektedir.

Marinos ve Selleck (1992),  $R$  ve  $J_v$  arasındaki ilişkiyi,

$$\frac{C_p}{C_f - C_p} = \frac{1 - \sigma}{2\sigma} + \frac{B}{\sigma} \left( \frac{1}{J_v} \right) \quad (5.10)$$



olarak tanımlamıştır (Koyuncu, 2001).

$R$  ve  $J_v$  arasındaki ilişki, diğer bir model tarafından da tasvir edilebilmektedir (Nernst-Planck eşitliği). Bu modele göre,  $R$  aşağıdaki gibi formüle edilmektedir (Timmer vd., 1997).

$$R_1 = \frac{R_{s1, J_w} \cdot J_w}{J_w + B_{s1, J_w}} \quad (5.11)$$

Burada  $R_{s1}$  ve  $B_{s1}$ , toplam giderme ve kütle transfer parametresidir.  $R_{s1}$  ve  $B_{s1}$ , membran geçirgenliğinin, komponentin yükünün ve yansıtma sabitinin bir fonksiyonudur ve birimi  $L/m^2 \cdot st$ 'tir. Denklem tekrar düzenlenirse,

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{B_{s1}}{R_{s1}} \cdot \frac{1}{J_v} \quad (5.12)$$

halini almaktadır (Koyuncu vd., 2001) .

Çalışmada, verilerin değerlendirilmesi için bu yaklaşım kullanılacaktır.

Koyuncu vd., (2001) çalışmalarında tekstil akımlarının boyahane atıksularını pilot ölçekli NF membran sistemle değerlendirmişlerdir. Artan basınç ile birlikte süzüntüdeki iletkenlik konsantrasyonunda düşme, giderme veriminde artış belirlemişlerdir. Bu durumu kütle transfer katsayısı hesabı ile destekleyebilmek için  $1/R$  ve  $1/J_v$  arasındaki ilişkiden iletkenlik için kütle transfer katsayısını (5.12)'ye göre hesaplamışlardır. Sonuç olarak, artan basınçla birlikte kütle transfer katsayısı değerlerinde artış tespit etmişlerdir.

Chen vd. (1997), ağartma ve boyama endüstrisi atıksularının geri kazanımı ile ilgili çalışmalarında, artan transmembran basınçlarına karşılık KOİ gideriminde de bir miktar artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu artışı, KOİ transfer modelinin analizi ile değerlendirmişlerdir. Bunun için, (5.12) eşitliğini kullanmışlardır. Transmembran basıncında gerçekleştirilen artış, süzüntü akısını arttırmaktadır.

Ancak, Chakraborty vd. (2003) yaptıkları çalışmaya göre de, artan işletme basıncıyla, yüksek basınç ile NF boyunca daha fazla çözünmüş madde geçişi olması nedeniyle KOİ gideriminin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, KOİ giderimi ve işletme basıncı arasında yapılacak çalışmalara daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır.

## **5.1 SGYAR (HBS= 24 saat) ve Aerobik Arıtma Tesisi Çıkış Suları İçin Membran Çalışması Sonucunda Elde Edilen Kütle Transfer Katsayıları**

24 saat hidrolik bekletme süreli laboratuvar ölçekli SGYAR ve çıkış suyunun NF10 ve NF30 membran çalışmaları sonunda elde edilen giderme verimlerine göre oluşturulan  $1/R$ 'ye

karşılık 1/J grafiği Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Grafiğe göre hesaplanan Bs (kütle transfer katsayısı) değerleri de Çizelge 5.1’de verilmiştir. Elde edilebilecek maksimum giderme verimlerini temsil eden Rs değerleri KOİ ve renk için oldukça yüksek, ancak iletkenlik parametreleri için 0,66 (NF10) ve 0,73 (NF30) olarak hesaplanmıştır. Bs değerleri NF10 uygulamalarında NF30 uygulamalarına göre daha yüksek elde edilmiştir. NF10 uygulamasında özellikle KOİ ve iletkenlik parametrelerinin Bs değerleri ciddi düzeyde yüksek bulunmuştur. Kütle transfer katsayısının büyük olması membran yüzeyinden daha fazla madde geçişini, küçük olması ise daha fazla madde tutulmasını ifade etmektedir. Dolayısıyla elde edilen Bs katsayıları da, NF30 membranlarının NF 10 membranlarına göre özellikle KOİ ve iletkenlik parametreleri açısından daha iyi kalitede süzüntü suyu verebileceğini göstermiştir.

Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen giderme verimlerine göre oluşturulan 1/R’ye karşılık 1/J grafiği Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Elde edilen grafiğe göre hesaplanan Bs değerleri Çizelge 5.1’de belirtilmiştir. Rs değerleri 0,64 ile 1,00 arasında elde edilmiştir. Bs değerleri, SGYAR için elde edilen sonuçlara benzerlik göstermekle birlikte daha düşük hesaplanmıştır. KOİ ve iletkenlik için elde edilen Bs değerleri NF10 membranlarında NF30’a göre daha yüksektir. Renk değerinde ise Bs değerleri bakımından her iki membran arasında ciddi bir fark belirlenmemiştir.

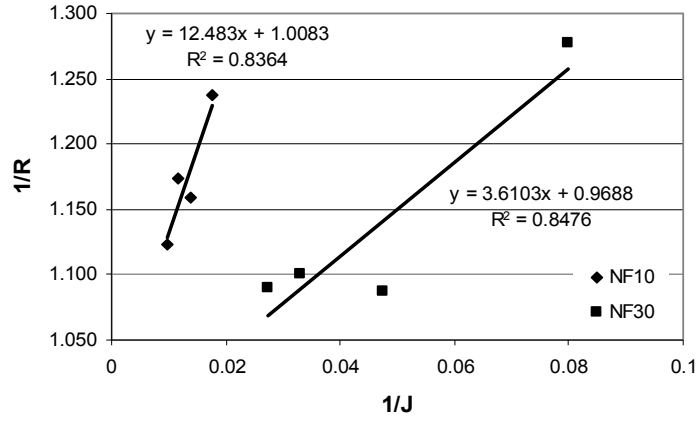
Aerobik arıtma tesisi çıkış sularının kullanıldığı membran denemelerinde elde edilen Bs değerleri SGYAR’e kıyasla daha düşüktür. Dolayısıyla çıkış suyu kaliteleri de SGYAR’e göre bir miktar daha iyi olmaktadır. Aynı zamanda, aerobik arıtma tesisi çıkış suları ile elde edilen akı değerleri de SGYAR’e göre daha yüksek elde edilmiştir. Bu durum, SGYAR çıkışındaki çözünmüş organik maddelerin varlığından kaynaklanabilmektedir. Aerobik arıtma tesisi çıkış suyu ile membran denemelerinde belirlenen akı artışına bağlı olarak Bs değerlerinde azalma meydana gelmektedir.

SGYAR çıkış suyu ve fabrikaya ait tam ölçekli aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun, NF10 ve NF30 denemelerinde elde edilen KOİ, renk ve iletkenlik giderme verimleri sonuçları kullanarak yapılan model çalışmasında, Nernst-Planck eşitliği kullanılmıştır. Sonuç olarak, çalışmada artan basınçla birlikte giderme verimlerinde artış görülmesi nedeniyle Nernst-Planck eşitliğine uyumlu bulunmuş, hesaplamalar sonucunda elde edilen Bs değerleri çalışılan atıksular ve membran çeşitleri için kabul edilebilir olmuştur. Kütle transfer katsayılarına göre

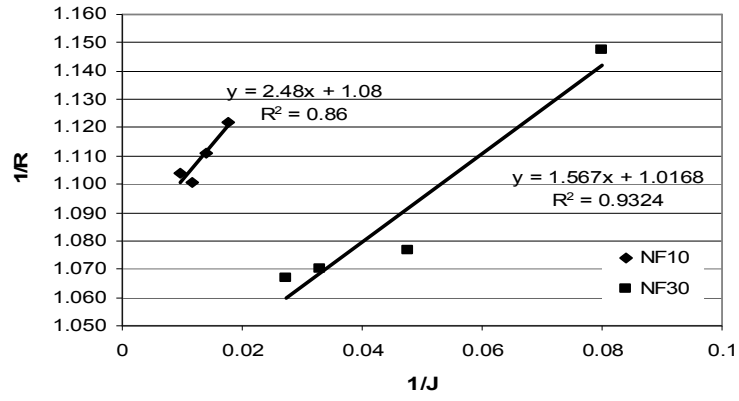
NF30 membranların, her iki atıksu için en uygun membran olduğu değerlendirilmesi yapılabilmektedir.

Çizelge 5.1 SGYAR (HBS= 24 saat) ile anaerobik olarak arıtılmış tekstil atıksuyu için 1/R ve 1/J grafiğinden elde edilen kütle transfer katsayısı

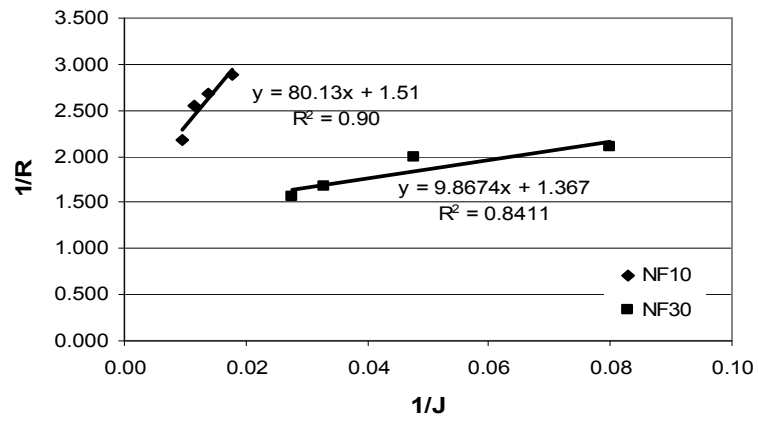
| <i>Kullanılan Atıksu</i> |                      | <b>SGYAR (HBS= 24 saat)</b>  |             |           |              |           |
|--------------------------|----------------------|------------------------------|-------------|-----------|--------------|-----------|
| <b>KOI</b>               | <b>Eğim Denklemi</b> | <b>R<sup>2</sup></b>         | <b>1/Rs</b> | <b>Rs</b> | <b>Bs/Rs</b> | <b>Bs</b> |
| NF10                     | y=12,483x+1,0083     | 0,84                         | 1,01        | 0,99      | 12,48        | 12,38     |
| NF30                     | y=3,6103x+0,9688     | 0,85                         | 0,97        | 1,03      | 3,61         | 3,73      |
| <b>Renk</b>              |                      |                              |             |           |              |           |
| NF10                     | y=2,4796x+1,0766     | 0,86                         | 1,08        | 0,93      | 2,48         | 2,30      |
| NF30                     | y=1,567x+1,0168      | 0,93                         | 1,02        | 0,98      | 1,57         | 1,54      |
| <b>İletkenlik</b>        |                      |                              |             |           |              |           |
| NF10                     | y=80,128x+1,5121     | 0,90                         | 1,51        | 0,66      | 80,13        | 52,99     |
| NF30                     | y=9,8674x+1,367      | 0,84                         | 1,37        | 0,73      | 9,87         | 7,22      |
| <i>Kullanılan Atıksu</i> |                      | <b>Aerobik Arıtma Tesisi</b> |             |           |              |           |
| <b>KOI</b>               | <b>Eğim Denklemi</b> | <b>R<sup>2</sup></b>         | <b>1/Rs</b> | <b>Rs</b> | <b>Bs/Rs</b> | <b>Bs</b> |
| NF10                     | y=5,3102x+1,0649     | 0,88                         | 1,06        | 0,94      | 5,31         | 4,99      |
| NF30                     | y=1,3141x+1,186      | 0,83                         | 1,12        | 0,89      | 1,31         | 1,17      |
| <b>Renk</b>              |                      |                              |             |           |              |           |
| NF10                     | y=0,9256x+1,0131     | 0,93                         | 1,01        | 0,99      | 0,93         | 0,91      |
| NF30                     | y=0,4644x+1,0018     | 0,99                         | 1,00        | 1,00      | 0,46         | 0,46      |
| <b>İletkenlik</b>        |                      |                              |             |           |              |           |
| NF10                     | y=57,06x+1,45        | 0,97                         | 1,45        | 0,69      | 57,06        | 39,35     |
| NF30                     | y=4,812x+1,5714      | 0,95                         | 1,57        | 0,64      | 4,81         | 3,06      |



a) KOİ

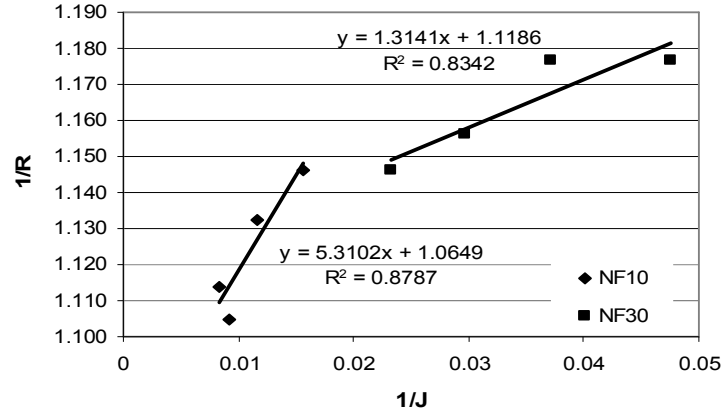


b) Renk

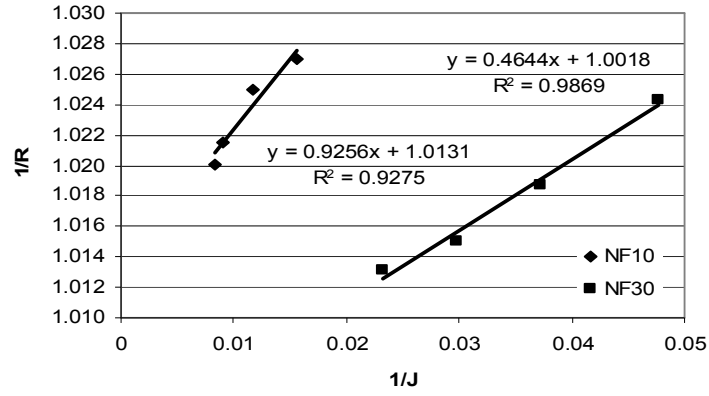


c) İletkenlik

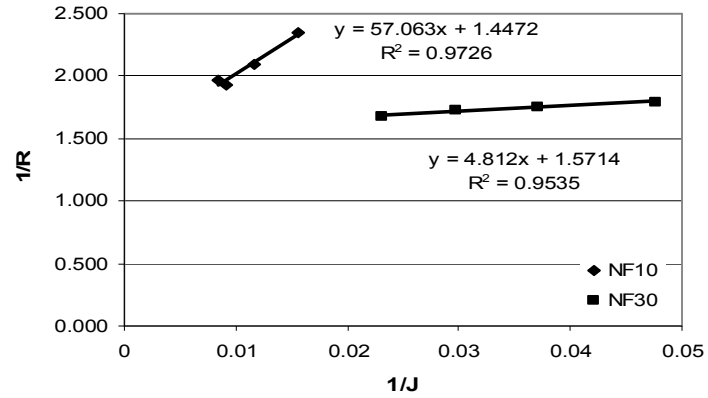
Şekil 5.1 SGYAR (HBS=24 saat) arıtılmış tekstil atıksuyuna farklı basınçlarda uygulanan NF10 ve NF30 denemelerine göre giderme verimi ve akı arasındaki ilişki



a) KOİ



b) Renk



c) İletkenlik

Şekil 5.2 Aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyuna farklı basınçlarda uygulanan NF10 ve NF30 denemelerine göre giderme verimi ve akı arasındaki ilişki

## 6. SONUÇ

Tekstil atıksularının anaerobik ve aerobik ön arıtmadan sonra membran prosesleri ile geri kazanımının araştırıldığı çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör (SGYAR) kullanılarak pamuklu tekstil endüstrisine ait atıksuların 48 saat hidrolik bekleme süresi ve 1 kg/m<sup>3</sup>.gün organik yüklemesi sonucunda maksimum KOİ ve renk giderimi sırasıyla, %72 ve %61 olarak elde edilmiştir. 24 saat hidrolik bekleme süresi ve 1,7 kg/m<sup>3</sup>.gün organik yükleme oranı sonucunda ise maksimum KOİ ve renk giderimi sırasıyla, %74 ve %57 olarak belirlenmiştir. Her iki uygulama arasında giderme verimleri anlamında çok büyük farklılıklar olmamakla beraber, 24 saat hidrolik bekleme süreli uygulama KOİ giderimi bakımından, 48 saat hidrolik bekleme süreli uygulama ise renk giderimi bakımından önemli sayılamayacak üstünlükler göstermiştir. Gerek KOİ ve gerekse renk giderim verimi bu reaktör tipinin tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında ekonomik bir alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ancak, deşarj limitlerinin sağlanabilmesi için SGYAR'den sonra ilave bir arıtma kademesinin yapılması gerekliliği de bu çalışmanın sonuçları ile görülmüştür.
- SGYAR ile elde edilmiş olan giderme verimleri, hem atıksuyun BOİ/KOİ oranının (yaklaşık 0,3) düşük olması sebebiyle, hem de literatür sonuçlarına göre tatmin edici bulunmuştur.
- Literatür verilerine ve fabrikadaki mevcut ardışık kesikli aerobik reaktör (AKAR) çıkışından elde edilen analiz sonuçlarına göre; SGYAR ile elde edilen yaklaşık %60 oranındaki renk giderimi oldukça başarılı olarak değerlendirilmiştir.
- SGYAR'ü diğer anaerobik reaktörlerden ayıran en belirgin özellik alıştırma döneminin kısa olmasıdır. Nitekim, tekstil atıksuyunun kullanıldığı bu çalışmada da 5 haftalık alıştırma dönemi yeterli olmuştur. Ancak, atıksuyun kimyasal özelliklerinin değişmesi reaktörde elde edilen giderme verimlerini olumsuz etkileyebilmektedir.
- SGYAR çıkışındaki atıksuda, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği deşarj standartlarının üzerindeki parametreler için yapılabilecek ileri arıtma sistemleriyle sular hem deşarj edilebilecek kalite standartlarına ulaşabilecek, hem de çeşitli amaçlar için tekrar kullanılabilecektir.

- Çalışmada iki farklı UF ve iki farklı NF membranı, farklı basınçlar altında çalıştırılmıştır. Membran basıncının artmasına bağlı olarak süzüntü akısında artış gözlemlenmiştir.
- Membran denemelerinin her birinde 60 dakikalık çalışma süresi boyunca akı değerlerinde az miktarda da olsa azalma söz konusu olmuştur.
- Elde edilen sonuçların ışığında UF membranların ön arıtma olarak kullanıldığı UF+NF uygulamalarında akıda belirgin artışlar tespit edilmiştir. Bu durum, UF membranların NF için ön arıtma olarak kullanılmasının uygun olacağı sonucunu doğurmuştur.
- 24 saat hidrolik bekleme süreli SGYAR çıkış suyunun membran uygulamaları sonucunda UF10 ile UF30 membranları arasındaki akı farkı yaklaşık %46 olup, UF30 membran ile daha yüksek akı elde edilmiştir. Aynı şekilde, aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran uygulamaları sonucunda da, UF30 membranı ile UF10'a göre %38 daha fazla akı ölçülmüştür.
- 60 dakikalık denemeler sonucunda, NF10 ve NF30 membranlar arasında da yaklaşık %65 lik akı farkı tespit edilmiş olup, NF10 membranlar ile daha yüksek akı elde edilmiştir.
- Çalışmada, NF membranlar kullanılarak maksimum %99 renk ve %97 KOİ giderimi elde edilmiştir.
- Membranlarla yapılan uzun süreli denemeler sonucunda, hem aerobik hem de anaerobik reaktöre ait atıksular için en yüksek akı azalmasının NF10 membranlarında olduğu görülmüştür. Aerobik arıtma tesisi çıkış suyu için %85,4, anaerobik reaktör çıkış suyu için ise %88,2 akı azalması tespit edilmiştir. NF30 ile elde edilen akı azalması aerobik ve anaerobikte sırasıyla %22,7 ve %34,9 olarak belirlenmiştir.
- Uzun süreli denemeler sonucunda, NF10 membranlarında ilk 24 saat içerisinde oldukça yüksek akı azalması tespit edilmiştir. İlerleyen 24 saatlik zaman dilimlerinde akı azalması, ilk 24 saat içerisindeki gibi keskin olmamıştır. NF30 membranlarında böyle bir akı azalması gözlenmemiş olup, akının düzenli olarak azalmaya devam ettiği görülmüştür.
- Konsantrasyon polarizasyonu değerleri NF10 membranlarında aerobik çıkış suyu için %24,6, anaerobik çıkış suyu için ise %27,0 olarak belirlenmiştir. NF30 membran denemelerinde elde edilen konsantrasyon polarizasyonu ise NF10 membrana göre daha düşük olup, aerobik çıkış suyu için %6,2, anaerobik çıkış suyu için %11,0 olmuştur.

- NF10 ve NF30 membranların uzun süreli çalışması sonucunda, her iki atıksu için de NF 30 membranların akı azalması ve süzüntü suyu kalitesi bakımından uygulamada en uygun membran olacağı kanaatine varılmıştır.
- SGYAR çıkış suyuna membran uygulaması sonucunda elde edilen süzüntü suyu, KOİ ve renk parametreleri bakımından literatürde verilen tekstil endüstrisinde tekrar kullanım emniyet sınırlarına uygun olmakla beraber, iletkenlik parametresi bir miktar üzerinde olduğu için tekrar kullanıma uygun bulunmamıştır.
- Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen su; KOİ, renk ve iletkenlik parametreleri bakımından literatürde verilen tekstil endüstrisinde geri kazanım için uygun kriterleri sağladığı belirlenmiştir. Özellikle NF30 ve UF10+NF30, UF30+NF30 uygulamaları sonucunda elde edilen süzüntü suları tekrar kullanıma uygun olarak değerlendirilmiştir.
- Arıtılmamış tekstil atıksuyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu çok yüksek miktarlarda KOİ, renk ve iletkenlik içerdiğinden tekrar kullanıma uygun bulunmamaktadır.
- SGYAR çıkış suyu ve fabrikaya ait tam ölçekli aerobik arıtma tesisi çıkış suyu, NF10 ve NF30 denemeleri sonucunda elde edilen KOİ, renk ve iletkenlik giderme verimleri sonuçları kullanılarak yapılan model çalışmasında, Nernst-Planck eşitliğiyle bulunan  $B_s$  (kütle transfer katsayısı) değerleri giderme verimleri ile uyumlu bulunmuştur. NF30 membranları, NF10 membranlarına göre daha düşük kütle transfer katsayısına sahip olup, tekstil atıksularının geri kazanımı için uygun olduğu ortaya konmuştur.

Sonuç olarak,

SGYAR, pamuklu tekstil endüstrisi atıksularından renk ve KOİ giderimi bazında başarılı olarak değerlendirilerek, önümüzdeki yıllarda deşarj standartlarına renk parametresinin eklenebilmesi ihtimali sebebiyle, aerobik arıtma sistemlerine göre öne çıkacak iyi bir alternatif olabilecektir. Diğer taraftan, membran kullanımı ile birlikte SGYAR sisteminin kullanılması halinde endüstriyel proseste her aşamada olmasa dahi özellikle ön yıkama işlemlerinde kısmi olarak geri kazanımın mümkün olduğu kanaatine varılmıştır.

Biyolojik sistemlerle elde edilen çıkış suyunun hem deşarj limitlerini sağlamaması sebebiyle ileri arıtıma ihtiyaç duyulması hem de ileri ki yıllarda suyun tekrar kullanım gerekliliğinin artması düşüncesiyle, UF ve NF membranların kullanımının biyolojik bir ön arıtmadan sonra daha uygun olacağı yapılan çalışma sonuçlarıyla ortaya konmuştur.



## KAYNAKLAR

- Al-Degs Y., Kharaisheh MAM., Allen SJ. vd. (2000) "Effect of carbon surface chemistry on the removal of reactive dyes from textile effluent", *Water Res.*, 34, 927–935.
- Akbari A., Remigy J.C., Aptel P. (2002) "Treatment of textile dye effluent using a polyamid-based nanofiltration membrane" *Chemical Engineering and Processing*, 41, 601-609.
- APHA, AWWA, and WPCF (2005) "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 20th Ed., Washington, D.C.
- Baban A., Yediler A., Ciliz N.K., Kettrup A. (2004) "Biodegradability oriented treatability studies on high strength segregated wastewater of a woolen textile dyeing plant" *Chemosphere*, 57, 731-738.
- Baburşah S., Çakmakçı M., Kınacı C. (2006) "Analysis and monitoring: costing textile effluent recovery and reuse" *Filtration + Separation*, 26-30.
- Badani Z.B., Ait-Amar H., Si-Salah A., Brik M., Fuchs W. (2005) "Treatment of textile wastewater by membrane bioreactor and reuse" *Desalination*, 185, 411-417.
- Bali U., Atalkaya E.C., Sengul F. (2004) "Photodegradation of Reactive Black 5, Direct Red 28 and Direct Yellow 12 using UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>: a comparative study", *J. Hazard. Mater.*, 114, 159–166.
- Ballet G.T., Gzara L., Hafiane A., Dhahbi M. (2004) "Transport coefficients and cadmium salt rejection in nanofiltration membrane" *Desalination*, 167, 369-376.
- Barredo-Damas S., Alcaina-Miranda M.I., Iborra-Clar M.I., Bes-Pia A., Mendoza-Roca J.A., Iborra-Clar A. (2006) "Study of the UF process as pretreatment of NF membranes for textile wastewater reuse" *Desalination* 200, 745-747.
- Bes-Pia A., Iborra-Clar M.I., Iborra-Clar A., Mendoza-Roca J.A., Cuarteres-Urbe B., Alcaina-Miranda M.I. (2005) "Nanofiltration of textile industry wastewater using a physicochemical process as a pre-treatment" *Desalination*, 178, 343-349.
- Bes-Pia A., Mendoza-Roca J.A., Alcaina-Miranda M.I., Iborra-Clar A., Iborra-Clar M.I. (2003) "Combination of physico-chemical treatment and nanofiltration to reuse wastewater of a printing, dyeing and finishing textile industry" *Desalination*, 157, 73-80.
- Bouallagui, H., Touhami, Y., Cheikh, B.R., et al. (2005) "Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes" *Process Biochemistry*, 40, 989-995.
- Br'as R., Ferra M.I.A., Gomes A., et al., (2005) "Monoazo and diazo dye decolourisation studies in a methanogenic UASB reactor" *Journal of Biotechnology*, 115, 57–66.
- Brik M., Schoeberl P., Chamam B., Braun R. and Fuchs W. (2006) "Advanced treatment of textile wastewater towards reuse using a membrane bioreactor" *Process Biochemistry*, 41(8), 1751-1757.

Bruggen B.V., Cornellis G., Vandecasteele C., Devreese I. (2005) "Fouling of nanofiltration and ultrafiltration membranes applied for wastewater regeneration in the textile industry" *Desalination*, 175, 111-119.

Bruggen B.V., Curcio E., Drioli E. (2004) "Process intensification in the textile industry: the role of membrane technology" *Journal of Environmental Management*, 73, 267-274.

Cervantes F.J., Van der Zee F.P., Lettinga G., et.al. (2001) "Enhanced decolourisation of Acid Orange 7 in a continuous UASB reactor with quinones as redox mediators", *Water Sci. Technol.*, 44, 123-128.

Chakraborty S., Purkait M.K., DasGupta S., De S. and Basu J.K. (2003) "Nanofiltration of textile plant effluent for color removal and reduction in COD" *Sep. Purif. Technol.*, 31, 141-151.

Chen G., . Chai X, Yue P.L. and Mi Y. (1997) "Treatment of textile desizing wastewater by pilot scale nano-filtration membrane separation" *J. Membr. Sci.*, 127, 93-99.

Chen KC., Huang WT., Wu JY., Houng JY. (1999) "Microbial decolorization of azo dyes by *Proteus mirabilis*", *J Ind Microbiol Biotechnol.*, 23(1), 686-690.

Cheryan M. (1998) "Ultrafiltration and Microfiltration Handbook" Technomic Publishing Company, Lancaster

Choo K.-H., Choi S.-J., Hwang E.-D. (2007) "Effect of coagulant types on textile wastewater reclamation in a combined coagulation/ultrafiltration system" 202, 262-270.

Chu W., Ma C. (2000) "Quantitative prediction of direct and indirect dye ozonation kinetics", *Water Res.*, 34, 3153-3160.

Chung KT., Stevens SE. (1993) "Degradation of Azo Dyes by Environmental Microorganisms and Helminths", *Environ Toxicol Chem.*, 12, 2121-2132.

Ciardelli G., Corsi L., and Marcucci M. (2000). "Membrane separation for wastewater reuse in the textile industry" *Resources Conservation and Recycling*, 31, 189-197.

Comodo N., Masotti N., Sacco C. and Tedioli G. (1993) "Wastewater treatment with ozone for industrial and agricultural reuse (in Italian)" ANDIS Biennial Conference, Palermo (Italy), 21-23 Sept., 458-465.

Contois D.E. (1959) "Kinetics of bacterial growth: relationship between population density and space growth rate of continuous cultures" *J. Gen. Microbiol*, 21, 40-50.

Coşkun T. (2006) "Tavuk Kesimhanesi Atıksularının Yeni Geliştirilen Bir Anaerobik Reaktörle Arıtımı" YÜTÜ Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Çapar G., Yetiş Ü., Yılmaz L. (2004) "Halı boyama atıksularının membran prosesleri ile arıtımı" *SKKD Cilt 14, sayı 2*, 9-15.

Çetin D. ve Donmez G., (2005) "Decolorization of reactive dyes by mixed cultures isolated from textile effluent under anaerobic conditions", *Enzyme and Microbial Technology*.

- Çoban A. (2009) “Tekstil Atıksularının Anaerobik Arıtımı (renk ve KOİ giderimi)” YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Daneshvar N., Sorkhabi H.A., Tizpar A. (2003) "Decolorization of Orange II by electrocoagulation method", *Separat. Purific. Technol.*, 31, 153–162.
- Debik, E. (2008) “Anaerobik Arıtma Teknolojileri Lisansüstü Ders Notları” Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Debik, E., Manav, N., Coşkun, T. (2008) “Biyolojik Temel İşlemler Ders Notları” Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Debik E., Park J. Ve Ellis T.G. (2005), “Leachate Treatment Using The Static Granular Bed Reactor”, 78 th Annual Water Environment Federation Annual Technical Exhibition and Conference, 29 Oct.-2 Nov. 2005, Washington, D.C.
- Debik E. ve Coşkun T. (2009) “Use of the Static Granular Bed Reactor (SGBR) with anaerobic sludge to treat poultry slaughterhouse wastewater and kinetic modeling” *Bioresource Technology*, 100, 11, 2777-2782.
- Delée, W., O’Neill, C., Hawkes, F.R., et al., (1998), “Anaerobic Treatment of Textile Effluents: a Review”, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 73: 323-335.
- EPA (1997) Office of Compliance Sector Notebook Project: "Profile of the textile industry", EAA/310-R-97-009.
- Eroğlu E. (2003) “Tekstil Endüstrisi Atıksularının Özellikleri ve Arıtılması” Lisans Tezi, YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Evans, E.A. ve Ellis T.G. (2005) “78 th Annual Water Environment Federation Annual Technical Exhibition and Conference” 29 Oct.-2 Nov., Washington, D.C.
- Fersi C., Gzara L., Dhahbi M. (2005) “Treatment of textile effluents by membrane technologies” *Desalination*, 185, 399-409.
- Florio L., Giordano A., Mattioli D. (2005) “Nanofiltration of low-contaminated textile rinsing effluents for on-site treatment and reuse” *Desalination*, 181, 283-292.
- Gozálvez-Zafrilla M., Sanz-Escribano D., Lora-García J., León Hidalgo M.C. (2008) “Nanofiltration of secondary effluent for wastewater reuse in the textile industry”, *Desalination*, 222, 272–279.
- Hasar H. (2001) “Batık Membran-Aktif Çamur Sistemlerinin Arıtma Kapasitesinin Geliştirilmesi ve Modellenmesi” Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hasar H., Kınacı C., Ünlü A. (2002) “Viability of microbial mass in a submerged membrane bioreactor” *Desalination*, 150, 263-268.
- Hu TL. (2001) "Kinetic of azo reductase and assessment of toxicity of metabolic products from azo dyes by *Pseudomonas luteola*" *Water Sci Technol.*, 43(2) 261-269.

Hulshoff Pol L.W., de Castro Lopes S.I., lettinga G., Lens P.N.L. (2004) "Anaerobic sludge granulation" Waste Research, 38, 1376-1389.

Işık M. (2004)"Efficiency of simulated textile wastewater decolorization process based on the methanogenic activity of upflow anaerobic sludge blanket reactor in salt inhibition condition", Enzyme and Microbial Technology, 35, 399-404.

Işık M., Sponza D.T. (2003) "Effect of oxygen on decolorization of azo dyes by Escherichia coli and Pseudomonas sp. and fate of aromatic amines" Process Biochemistry, 38, 1183-1192.

Işık M., Sponza D.T. (2004) "Simüle tekstil atıksuyunun anaerobik/aerobik arıtımı", Ekoloji Dergisi, 14, 53,1-8.

Işık M., Sponza D.T. (2005) "Substrate removal kinetics in an upflow anaerobic sludge blanket reactor decolorising simulated textile wastewater" Process Biochemistry, 40, 1189-1198.

Jung J., Mach K.F., Ellis T.G., Roth M.J. ve Park K.Y. (2002) "Anaerobic Treatment of Packing Plant Wastewater; A Comparision Study of the Anaerobic Sequencing Batch Reactor and the Static Granular Bed Reactor" Final Report to the Hormel Foods Corporation, 10 Oct., Iowa.

Kaleli B. (2006) "Atıksuların ileri arıtımında membran proseslerin kullanımının araştırılması, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kapdan I.K. (2005) "Kinetic analysis of dyestuff and COD removal from synthetic wastewater in an anaerobic packed column reactor" Process Biochemistry 40, 2545-2550.

Kapdan İ.K., Tekol M., Sengul F. (2003) "Decolorization of simulated textile wastewater in an anaerobic-aerobic sequential treatment system" Process Biochemistry, 38, 1031-1037.

Kapdan İ.K.,Oztekin R.(2003) "Decolorization of textile dyestuff Reactive Orange 16 in fed-batch reactor under anaerobic condition" Enzyme and Microbial Technology, 33, 231-235.

Kapdan İ.K.,Alparslan S.(2004) "Tekstil endüstrisi atıksularından anaerobik-aerobik ardışık reaktör sisteminde KOI ve renk giderimi" ÇEVRE 2004 I. Ulusal Çevre Kongresi Cumhuriyet Üniversitesi, 217-223.

Kapdan I.K.,Kargi F. (2002) "Simultaneous biodegradation and adsorption of textile dyestuff in an activated sludge unit" Process Biochem., 37, 973-981.

Kayar M. (2003) "Membran Filtrasyonu Yöntemi ile Atık Sularda Renk Giderimi" Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

Kaykıoğlu G., Debik E. (2006) "Anaerobik arıtım prosesleri ile tekstil atıksularından renk giderimi" Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2006/4, 59-68.

Kedem O. ve Katchalsky A. (1963) "Permeability of composite membranes, Part I: Electric current, volume flow and flow of solute through membranes" Trans. Faraday Soc., 59 1918-1930.

Ketelsen H., Windel M.S. (1999) "Adsorption of brilliant blue FCF by soils", *Geoderma*, 90, 31–145.

Kim S-Y., An J-Y., Kim B-W. (2006) "The effects of reductant and carbon source on the microbial decolorization of azo dyes in an anaerobic sludge process" *Dyes and Pigments* xx 1-8.

Kim T.H., Park C., Shin E.B., et al. (2004) "Decolorization of disperse and reactive dye solutions using ferric chloride" *Desalination*, 161, 49–58.

Kocaer O. ve Alkan U. (2002) "Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri" *Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1, 47-55.

Koyuncu I., Topacık D., Yuksel E. (2004) "Reuse of reactive dyehouse wastewater by nanofiltration: process water quality and economical implications" *Separation and Purification Technology*, 36, 77-85.

Koyuncu İ., Kural E., Topacık D. (2001) "Pilot scale nanofiltration membrane separation for waste management in textile industry" *Water Sci. and Tech.*, 43 (10), 233-240.

Koyuncu İ. (2001) "Nanofiltrasyon Membranları ile Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi" *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi*,

Koyuncu İ. (1997) "Membran Teknolojisinin Çevre Mühendisliğinde Kullanım Potansiyeli ve Ters Osmoz ile Amonyum İyonu Giderimi" *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi*, İstanbul.

Ku Y., Lee P.-L., Wang W.-Y. (2005) "Removal of acidic dyestuffs in aqueous solution by nanofiltration" *J. Membr. Sci.*, 250, 159-165.

Kural E. (2000) "Tekstil Boyahane Atıksularının Nanofiltrasyon Membranları ile Geri Kazanımı ve Renk Giderimi" *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.

Lau Woei-Jye, Ismail A.F. (2009) "Polymeric nanofiltration membranes for textile dye wastewater treatment: Preparation, performance evaluation, transport modelling, and fouling control — a review" *Desalination*, 245, 321–348.

Li X.Z. and Zhao Y.G. (1999) "Advanced treatment of dyeing wastewater for reuse" *Water Science and Technology*, 39, 10-11, 249-255.

Lopes C.N., Petrus J.C.C., Riella H.G. (2005) "Color and COD retention by nanofiltration membranes" *Desalination*, 172, 77-83.

Lourenço ND., Novais JM., Pinheiro HM. (2001) "Effect of some operational parameters on textile dye biodegradation in a sequential batch reactor" *J. Biotechnol.*, 89, 163-174.

Lu X., Liu L., Yang B., Chen J. (2009) "Reuse of printing and dyeing wastewater in processes assessed by pilot-scale test using combined biological process and sub-filter technology" *Journal of Cleaner Production*, 17, 111–114.

Mach K.F. ve Ellis T.G. (2001) "Performance Evaluations of Two Static Granular Bed Reactor" *IWA 9 th World Congress on Anaerobic Digestion*, 2-6 Sep. 2001, Antwerp.

Manu B., Chaudhari S. (2002) "Anaerobic decolorisation of simulated textile wastewater containing azo dyes" *Bioresource Technology*, 82, 225-231.

Marcucci M., Ciardelli G., Matteucci A., Ranieri L., Russo M. (2002) "Experimental campaigns on textile wastewater for reuse by means of different membrane processes" *Desalination*, 149, 137-143.

Marcucci M., Nosenzo G., Caponelli G., Ciabatti I., Carrieri D. ve Ciardelli G. (2001) "Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane Technologies" *Desalination*, 13, 75-82.

Mulder M. (1996) "Basic Principles of membrane Technology" Second Edition, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Nicolet L., Rott V. (1999) "Recirculation of powdered activated carbon for the adsorption of dyes in municipal wastewater treatment plants" *Water Sci Technol.*, 40, 191-198.

Öztürk İ. (1999) "Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları" Su Vakfı, İstanbul.

Öztürk, İ. (2007) "Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları" Su Vakfı, İstanbul.

Panswad T., Luangdilok W. (2000) "Decolorization of reactive dyes with different molecular structures under different environmental conditions" *Wat. Res.*, 34, 17, 4177- 4184.

Petricic I., Andersen N.P.R., Sostar-Turk S., Le Marechal A.M. (2007) "The removal of reactive dye printing compounds using nanofiltration" *Dyes and Pigments*, 7, 512-518.

Pusch W. (1977) "Determination of transport parameters of synthetic membranes by hyperfiltration experiments, Part I: Derivation of transport relationship from linear relations of thermodynamics of irreversible process" *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.*, 81(3), 269-276.

Pusch W. (1986) "Chapter 1.4 Measurement techniques of transport through membranes" *Desalination*, 59, 105-198.

Qin J.-J., Oo M.H., Kekre K.A. (2007) "Nanofiltration for recovering wastewater from a specific dyeing facility" *Separation and Purification Technology*, 56, 199-203.

Ranganathan K., Karunakaran K., Sharma D.C. (2007) "Recycling of wastewaters of textile dyeing industries using advanced treatment technology and cost analysis-Case studies" *Resources, Conservation and Recycling*, 50, 306-318.

Rathi A., Rajor H.K., Sharma R.K. (2003) "Photodegradation of Direct Yellow-12 using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>" *J. Hazard. Mater.*, 102, 231-241.

Razo-Flores E., Luijten M., Donlon B.A., et.al. (1997) "Biodegradation of selected azo dye under methanogenic conditions" *Water Sci Technol.*, 36 (6/7), 65-72.

Rozzi A., Malpei F., Bonomo L. And Bianchi R. (1999). "Textile wastewater reuse in Northern Italy (Como)" *Wat. Sci. Tech.*, 39(5), 121-128.

Sandhya S., Swaminathan K. (2006) "Kinetic analysis of treatment of textile wastewater in hybrid column upflow anaerobic fixed bed reactor" *Chemical Engineering Journal*, 122, 87-92.

Sani RK., Banerjee UC. (1999) "Decolorization of triphenylmethane dyes and textile and dye-stuff effluent by *Kurthia* sp. " *Enzyme Microb Technol.*, 24, 433-437.

Santos AB., Bisschops I.A.E., Cervantes F. J., vd. (2005) "The transformation and toxicity of anthraquinone dyes during thermophilic (55 °C) and mesophilic (30 °C) anaerobic treatments" *Journal of Biotechnology*, 115, 345–353.

Santos A., Bisschops I.A.E., Cervantes F.J., vd. (2004) "Effect of different redox mediators during thermophilic azo dye reduction by anaerobic granular sludge and comparative study between mesophilic (30 °C) and thermophilic (55 °C) treatments for decolourisation of textile wastewaters" *Chemosphere*, 55, 1149–1157.

Sarıoğlu M., Dean C. (1998) "Tekstil atıksularından renk giderimi için UASB (Yukarı akışlı çamur yatağı) reaktörünün kullanılması örneği" *İ.T.Ü. 6. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, 3-5 Haziran 1998, 37-42.

Scott K. (1996) "Industrial Membrane Separation Technology" edited by Scott K. And Hughen R., Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, Great Britain.

Schirg P., Widmer F. (1992) "Characterization nanofiltration membranes for the separation of aqueous dye-salt solutions" *Desalination*, 89, 89-107.

Schoeberl P., Brik M., Braun R., Fuchs W. (2005) "Treatment and recycling of textile wastewater-case study and development of a recycling concept" *Desalination*, 171, 173-183.

Selcuk H. (2005) "Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes" *Dyes Pigments*, 64, 217–222.

Speece, R.E. (1995) "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater" Vanderbilt University, Tennessee.

Spiegler K.S., Kedem O. (1996) "Thermodynamics of hyperfiltration (reverse osmosis): Criteria for efficient membranes" *Desalination*, 1, 311-326.

Sponza D. T. (2001) "Anaerobic granule formation and tetrachloroethylene (TCE) removal in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor" *Enzyme and Microbial Technology*, 29, 417-427.

Sponza D., Şık M., Atalay H. (2000) "İndigo boyar maddelerinin anaerobik arıtılabilirliklerinin incelenmesi", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Mühendislik Dergisi*, Cilt: 2 Sayı: 3, 23-34 Ekim 2000.

Sponza D.T., Işık M. (2002) "Decolorization and azo dye degradation by anaerobic/aerobic sequential process" *Enzyme Microb Technol.*, 31(2), 102-110.

Sostar-Turk S., Simonic M., Petrinic I. (2005) "Wastewater treatment after reactive printing" *Dyes and Pigments*, 64, 147-152.

Sungpet A., Jiratananon R., Luangsowan P. (2004) "Treatment of effluents from textile-rinsing operations by thermally stable nanofiltration membranes" *Desalination*, 160, 75-81.

Şen S.,Demirer G.N. (2003) "Anaerobic treatment of real textile wastewater with a fluidized bedreactor" *Water Research*, 37 ,1868–1878.

Talarposhti A.M.,Donnelly T.,Anderson G.K. (2001) "Colour removal from a simulated dye wastewater using a two-phase anaerobic packed bed reactor " *Wat. Res.* Vol. 35, No. 2, 425-432.

Tan BT.,Teng TT.,Omar AK. (2000) "Removal of dyes and industrial dye wastes by magnesium chloride " *Water Res.*, 34, 597–601.

Tan L, Sudan RG. (1992) "Removing color from a groundwater source", *J Am Water Works Assoc.*, 84, 79–87.

Tang C. ve Chen V. (2002) "Nanofiltration of textile wastewater for water reuse" *Desalination*, 143, 11-20.

Timmer J.M.K., Kromkamp J. Ve Robbertsan T. (1994) "Lactic acid separation from fermentation broths by reverse osmosis and nanofiltration" *Journal of Membrane Sci.*, 92, 185-197.

Uzal N., Yılmaz L., Yetiş U. (2006) "Microfiltration: a pretreatment alternative for indigo dyeing textile wastewater" *Desalination*, 199, 515-517.

Uzal N.,Yılmaz L.,Yetiş Ü. (2005) "İndigo boyama atıklarının ön arıtımı: Kimyasal çöktürme ve ön filtrasyon süreçlerinin karşılaştırması" 6. Ulusal Çevre Müh. Kongresi, 429-437, Kasım 2005.

Wiesner, M.R. ve Aptel P. (1996) "Mass Transport and Permeate Flux and Fouling in Pressure-Driven Processes In Water Treatment Membrane Processes" Edited by J. Mallevialle, P.E. Odendoal and M. R. Wiesner. New York, NJ.: McGraw-Hill.

Yalçın F. (1998) "Membran Proseslerle Endüstriyel Atıksulardan Renk Giderimi" İTÜ Fen Bilimleri Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Zee VFP.,Lettinga G.,Field JA. (2001) "Azo dye decolorization by anaerobic granular sludge" *Chemosphere*, 44,1169-1176.

Zissi U.,Lyberatos G. (1996) "Azo dye biodegradation under anoxic conditions" *Water Sci Technol.*, 34 (5/6), 495-500.

Zularisam A.W., Ismail A.F. and Salim Razman (2006) "Behaviours of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment-a review" *Desalination*, 194, (1-3), 211-231.



Zylla R., Sojka-Ledakowicz J., Stelmach E., Ledokowicz S. (2006) “Coupling of membrane filtration with biological methods for textile wastewater treatments” *Desalination*, 198, 316-325.

**İnternet Kaynakları:**

[1] <http://www.bcm.org.tr/pdf>

## ÖZGEÇMİŞ

|                             |             |                                                                                |
|-----------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Doğum tarihi                | 02.08.1976  |                                                                                |
| Doğum yeri                  | İstanbul    |                                                                                |
| Lise                        | 1990-1993   | Tekirdağ Tuğlacılar Lisesi                                                     |
| Lisans                      | 1993-1997   | Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fak.<br>Çevre Mühendisliği Bölümü        |
| Yüksek Lisans               | 2001-2003   | Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fak.<br>Çevre Mühendisliği Bölümü        |
| Doktora                     | 2005-2009   | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Çevre Müh. Anabilim Dalı |
| <b>Çalıştığı kurum(lar)</b> |             |                                                                                |
|                             | 1997-1999   | Tekirdağ İl Çevre Müdürlüğü Çevre Koruma Vakfı                                 |
|                             | 1999-2001   | Tekirdağ Belediye Başkanlığı                                                   |
|                             | 2001-2006   | Trakya Üniversitesi Çorlu Müh. Fak. (Arş. Gör.)                                |
|                             | 2006- ..... | Namık Kemal Üni. Çorlu Müh.Fak.(Arş. Gör.)                                     |