

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKMEK MAYASI ENDÜSTRİSİ SEPERASYON PROSESİ  
ATIKSULARINDA MEMBRAN PROSESLER İLE RENK GİDERİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ülkü PAK**

**Anabilim Dalı : Çevre Bilimleri ve Mühendisliği**

**Programı : Çevre Bilimleri ve Mühendisliği**

**HAZİRAN 2011**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKMEK MAYASI ENDÜSTRİSİ SEPERASYON PROSESİ  
ATIKSULARINDA MEMBRAN PROSESLER İLE RENK GİDERİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ülkü PAK  
(501091759)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.05.2011**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 06.06.2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK (İTÜ)  
Eş Danışman : Doç. Dr. Mustafa TÜRKER (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İsmail KOYUNCU (İTÜ)  
Doç. Dr. H. Güçlü İNSEL (İTÜ)  
Doç. Dr. Bülent MERTOĞLU (MÜ)**

**HAZİRAN 2011**



*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Tez konusu seçimimde ve çalışmam süresince bana yol gösterip çalışmamın her adımında yardımcı olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK'e,

Tez çalışmalarımın başından sonuna kadar her türlü destek ve yardımda bulunan, en zorlandığım günlerde dahi çözüm geliştiren kıymetli hocam Prof. Dr. İsmail KOYUNCU'ya,

Karşılaştığım her türlü sorunda görüşlerini aldığım, fikir danıştığım eş danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa TÜRKER'e,

Çalışmam süresince büyük yardımlarını gördüğüm Tuğba ÜNAL'a ve Katı Atık Laboratuvarı'nda çalışan arkadaşlarıma,

teşekkür ederim.

Hayatımın her anında; ilgisini, hoşgörüsünü, sabrını hissettiğim ve daima, verdiğim kararlarda benim yanımda olan anneme, babama ve kardeşime şükranlarımı sunarım.

Haziran 2011

Ülkü PAK  
(Çevre Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                         | <u>Sayfa</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>ÖNSÖZ.....</b>                                                                       | <b>v</b>     |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                                | <b>vii</b>   |
| <b>KISALTMALAR .....</b>                                                                | <b>xi</b>    |
| <b>ÇİZELGE LİSTESİ.....</b>                                                             | <b>xiii</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>                                                               | <b>xv</b>    |
| <b>ÖZET.....</b>                                                                        | <b>xxiii</b> |
| <b>SUMMARY .....</b>                                                                    | <b>xxv</b>   |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                                    | <b>1</b>     |
| 1.1 Konunun Anlam ve Önemi .....                                                        | 1            |
| 1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....                                                     | 2            |
| <b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>                                                    | <b>5</b>     |
| 2.1 Ekmek Mayası Endüstrisi Atıksuları ve Arıtma Yöntemleri.....                        | 5            |
| 2.1.1 Maya endüstrisinin Türkiye ve Dünya'daki durumu .....                             | 5            |
| 2.1.2 Maya üretimi.....                                                                 | 6            |
| 2.1.2.1 Kullanılan hammaddeler ve yardımcı kimyasallar .....                            | 7            |
| 2.1.2.2 Maya üretimini etkileyen faktörler .....                                        | 9            |
| 2.1.2.3 Üretim prosesi ve işlemler .....                                                | 10           |
| 2.1.2.4 Ürün oluşumu ve paketlenme .....                                                | 13           |
| 2.1.3 Maya endüstrisi emisyonları.....                                                  | 16           |
| 2.1.4 Maya atıksularının özellikleri ve arıtma yöntemleri.....                          | 16           |
| 2.1.4.1 Maya üretiminde su kullanımı .....                                              | 16           |
| 2.1.4.2 Temel kirletici parametreler ve maya atıksularının özellikleri .....            | 17           |
| 2.1.4.3 Maya atıksuları deşarj limitleri .....                                          | 18           |
| 2.2 Maya Endüstrisi Atıksularında Renk Problemi ve Renk Giderme Yöntemleri. 19          |              |
| 2.2.1 Atıksularda renk problemi .....                                                   | 19           |
| 2.2.1.1 Rengin tanımı.....                                                              | 19           |
| 2.2.1.2 Rengin önemi .....                                                              | 20           |
| 2.2.1.3 Renk ölçüm yöntemleri.....                                                      | 22           |
| 2.2.2 Maya atıksularından renk giderim yöntemleri.....                                  | 26           |
| 2.2.2.1 Fiziksel yöntemler.....                                                         | 26           |
| 2.2.2.2 Kimyasal yöntemler .....                                                        | 28           |
| 2.2.2.3 Biyolojik yöntemler .....                                                       | 30           |
| 2.2.3 Maya atıksularının arıtımı için yapılmış çalışmalar .....                         | 30           |
| 2.2.4 Membran teknolojisi .....                                                         | 35           |
| 2.2.4.1 Membranların mekanizması.....                                                   | 36           |
| 2.2.4.2 Membran performansı.....                                                        | 39           |
| 2.2.4.3 Membran performansına etki eden faktörler.....                                  | 40           |
| 2.2.4.4 Membranlarda sınıflandırma ve kullanılan malzemeler .....                       | 42           |
| 2.2.4.5 Membran prosesler.....                                                          | 45           |
| 2.2.4.6 Membran teknolojilerinin işletme parametreleri açısından değerlendirilmesi..... | 51           |
| 2.2.4.7 Konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanma .....                                    | 53           |

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. MATERYAL ve METODLAR .....</b>                                                           | <b>59</b> |
| 3.1 Deney Tesisatının Tanıtımı.....                                                            | 59        |
| 3.2 Deney Tesisatında Kullanılan Membranlara Ait Teknik Bilgiler.....                          | 65        |
| 3.3 Deneylerde Kullanılan Atıksular ve Gözlemlenen Parametreler .....                          | 71        |
| <b>4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI.....</b>                                                      | <b>75</b> |
| 4.1 Karakterizasyon Çalışması.....                                                             | 75        |
| 4.2 Dane Boyut Dağılım Analizi .....                                                           | 78        |
| 4.2.1 Dane boyut dağılımına göre KOİ sonuçları .....                                           | 80        |
| 4.2.2 Dane boyut dağılımına göre renk ölçümü sonuçları .....                                   | 81        |
| 4.3 UF Membranı ile Ön Arıtmalı Yapılan Çalışmalar .....                                       | 83        |
| 4.3.1 Akı değerleri .....                                                                      | 83        |
| 4.3.2 Arıtılmış su kalitesi parametreleri.....                                                 | 87        |
| 4.3.2.1 İletkenlik .....                                                                       | 87        |
| 4.3.2.2 Tuzluluk .....                                                                         | 90        |
| 4.3.2.3 Toplam çözünmüş madde (TÇM) .....                                                      | 92        |
| 4.3.2.4 pH.....                                                                                | 95        |
| 4.3.2.5 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) .....                                                  | 96        |
| 4.3.2.6 Renk .....                                                                             | 98        |
| 4.4 MV020T (0,2µm) Membranı ile Ön Arıtmalı Yapılan Çalışmalar .....                           | 102       |
| 4.4.1 Akı değerleri .....                                                                      | 102       |
| 4.4.2 Arıtılmış su kalitesi parametreleri.....                                                 | 107       |
| 4.4.2.1 İletkenlik .....                                                                       | 107       |
| 4.4.2.2 Tuzluluk .....                                                                         | 110       |
| 4.4.2.3 Toplam çözünmüş madde (TÇM) .....                                                      | 112       |
| 4.4.2.4 pH.....                                                                                | 114       |
| 4.4.2.5 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) .....                                                  | 116       |
| 4.4.2.6 Renk .....                                                                             | 117       |
| 4.5 MP005 ile Ön Arıtmalı Yapılan Çalışmalar .....                                             | 123       |
| 4.5.1 Akı değerleri .....                                                                      | 123       |
| 4.5.2 Arıtılmış su kalitesi parametreleri.....                                                 | 128       |
| 4.5.2.1 İletkenlik .....                                                                       | 128       |
| 4.5.2.2 Tuzluluk .....                                                                         | 131       |
| 4.5.2.3 Toplam çözünmüş madde (TÇM) .....                                                      | 133       |
| 4.5.2.4 pH.....                                                                                | 135       |
| 4.5.2.5 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) .....                                                  | 137       |
| 4.5.2.6 Renk .....                                                                             | 139       |
| 4.6 Ön Arıtmasız Yapılan Çalışmalar .....                                                      | 145       |
| 4.6.1 Akı değerleri .....                                                                      | 145       |
| 4.6.2 Arıtılmış su kalitesi parametreleri.....                                                 | 148       |
| 4.6.2.1 İletkenlik .....                                                                       | 149       |
| 4.6.2.2 Tuzluluk .....                                                                         | 151       |
| 4.6.2.3 Toplam çözünmüş madde (TÇM) .....                                                      | 152       |
| 4.6.2.4 pH.....                                                                                | 154       |
| 4.6.2.5 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) .....                                                  | 156       |
| 4.6.2.6 Renk .....                                                                             | 157       |
| 4.7 Akı Geri Kazanım Çalışmaları.....                                                          | 160       |
| 4.8 Yapılan Bütün Deney Sonuçlarının Kıyaslanması ve Optimum Arıtma Sisteminin Seçilmesi ..... | 162       |
| 4.9 Optimum Arıtmadan Elde Edilen Süzüntünün Karakterizasyonu .....                            | 167       |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b> | <b>171</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>              | <b>175</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                | <b>181</b> |



## KISALTMALAR

|                         |                                           |
|-------------------------|-------------------------------------------|
| <b>ABS</b>              | : Absorbans                               |
| <b>AKM</b>              | : Askıda Katı Madde                       |
| <b>BOİ<sub>5</sub></b>  | : Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı           |
| <b>BW</b>               | : Kuyu Suyu Ters Osmoz Membranı           |
| <b>DO</b>               | : Çözünmüş Oksijen                        |
| <b>G</b>                | : Gaz                                     |
| <b>KOİ</b>              | : Kimyasal Oksijen İhtiyacı               |
| <b>KOİ<sub>ç</sub></b>  | : Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı      |
| <b>KOİ<sub>t</sub></b>  | : Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı        |
| <b>MF</b>               | : Mikrofiltrasyon                         |
| <b>MP005</b>            | : 0,05 Mikronluk Mikrofiltrasyon Membranı |
| <b>MWCO</b>             | : Moleküler Ağırlık Engelleme Sınırı      |
| <b>MV020T</b>           | : 0,2 Mikronluk Mikrofiltrasyon Membranı  |
| <b>NF</b>               | : Nanofiltrasyon                          |
| <b>NF90</b>             | : Bir Çeşit Nanofiltrasyon Membranı       |
| <b>NF270</b>            | : Bir Çeşit Nanofiltrasyon Membranı       |
| <b>NH<sub>3</sub></b>   | : Amonyak                                 |
| <b>NH<sub>4</sub>-N</b> | : Amonyum azotu                           |
| <b>NO<sub>2</sub>-N</b> | : Nitrit                                  |
| <b>NO<sub>3</sub>-N</b> | : Nitrat                                  |
| <b>PO<sub>4</sub>-P</b> | : Fosfat                                  |
| <b>Pt-Co</b>            | : Platin-Kobalt                           |
| <b>RES</b>              | : Renklilik Sayısı                        |
| <b>RO</b>               | : Ters Osmoz                              |
| <b>S</b>                | : Sıvı                                    |
| <b>SEM</b>              | : Taramalı Elektron Mikroskobu            |
| <b>SKKY</b>             | : Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği        |
| <b>SW</b>               | : Deniz Suyu Ters Osmoz Membranı          |
| <b>TÇK</b>              | : Toplam Çözünmüş Katı                    |
| <b>TÇM</b>              | : Toplam Çözünmüş Madde                   |
| <b>THM</b>              | : Trihalometan                            |
| <b>TKN</b>              | : Toplam Kjeldahl Azotu                   |
| <b>TN</b>               | : Toplam Azot                             |
| <b>TO</b>               | : Ters Osmoz                              |
| <b>TOK</b>              | : Toplam Organik Karbon                   |
| <b>TP</b>               | : Toplam Fosfor                           |
| <b>UAKM</b>             | : Uçucu Askıda Katı Madde                 |
| <b>UC100T</b>           | : Ultrafiltrasyon Membranı                |
| <b>UF</b>               | : Ultrafiltrasyon                         |
| <b>XLE</b>              | : Bir Ters Osmoz Membran Çeşidi           |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 2.1: Ekmek mayasının yaklaşık % bileşimi.....                                                                          | 7   |
| Çizelge 2.2: Atıksu Karakterizasyonunda Kullanılan Temel Kirletici Parametreler                                                | 17  |
| Çizelge 2.3: Anaerobik girişi, çıkışı ve aerobik girişi, çıkışı maya atıksuyu özellikleri (Pala vd., 2005) .....               | 18  |
| Çizelge 2.4: Maya endüstrisi atıksuyu alıcı ortama deşarj standartları .....                                                   | 19  |
| Çizelge 2.5: Işık absorpsiyonu ve renk.....                                                                                    | 20  |
| Çizelge 2.6: Membran proseslerin sürücü kuvvetlere göre sınıflandırılması .....                                                | 38  |
| Çizelge 2.7: Basınç sürücülü membran proseslerin özellikleri (Scott, 1995).....                                                | 38  |
| Çizelge 2.8: Organik Membran Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Karşılaştırılması .....                                        | 44  |
| Çizelge 2.9: İnorganik Membran Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Karşılaştırılması .....                                      | 45  |
| Çizelge 2.10: Organik ve İnorganik Yapılı Membranların Karşılaştırılması .....                                                 | 45  |
| Çizelge 2.11: Membran Proseslerin İşletme Parametrelerine Göre Sınıflandırılması (Arslan, 2000).....                           | 52  |
| Çizelge 2.12: Membranların Üretim Şekillerine ve İşletme Parametrelerine Göre Karşılaştırılması (Arslan, 2000) .....           | 52  |
| Çizelge 2.13: Membran Proseslerde Tipik Basınç ve Geri Kazanımlar .....                                                        | 52  |
| Çizelge 3.1: Deneylerde kullanılan MF membranların özellikleri .....                                                           | 65  |
| Çizelge 3.2: Deneylerde kullanılan UF membranının özellikleri.....                                                             | 66  |
| Çizelge 3.3: Deneylerde kullanılan NF membranların özellikleri .....                                                           | 67  |
| Çizelge 3.4: Deneylerde kullanılan TO membranların özellikleri.....                                                            | 68  |
| Çizelge 3.5: Ekmek mayası fabrikası atıksu arıtma tesisi seperasyon atıksularının arıtımı için uygulanan deney planı. ....     | 69  |
| Çizelge 4.1: Çalışma kapsamında ölçülen parametreler ve ölçüm teknikleri.....                                                  | 75  |
| Çizelge 4.2: Maya seperasyon prosesinden alınan atıksu örneğinin karakterizasyonu.....                                         | 76  |
| Çizelge 4.3: Yapılan çalışmanın atıksu karakterizasyonunun literatür ile karşılaştırılması. ....                               | 77  |
| Çizelge 4.4: Dane boyut analizi için kullanılan membran tipleri ve MWCO aralıkları. ....                                       | 79  |
| Çizelge 4.5: Dane boyut dağılımına göre KOİ sonuçları .....                                                                    | 80  |
| Çizelge 4.6: Filtrasyon sonrası elde edilen süzüntünün RES değerleri ve Pt-Co biriminde renk ölçüm sonuçları.....              | 82  |
| Çizelge 4.7: Tek tek ya da kombine olarak uygulanan arıtma sonucunda akı elde edilen sistemlerde geri kazanım çalışmaları..... | 161 |
| Çizelge 4.8: Ortalama akı ve akı azalması değerleri. ....                                                                      | 162 |
| Çizelge 4.9: Tüm deney sistemlerinden elde edilen süzüntü ve KOİ değerleri.....                                                | 163 |
| Çizelge 4.10: Deney çalışmaları sonrası elde edilen süzüntü akımlarının renk giderim verimleri. ....                           | 165 |

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 4.11:</b> Tüm deney sistemlerinden elde edilen süzüntü akımlarının TÇM, iletkenlik, tuzluluk, pH ve sıcaklık ölçüm sonuçları. ....   | 165 |
| <b>Çizelge 4.12:</b> Tüm deney sistemlerinden elde edilen konsantre akımlarının TÇM, iletkenlik, tuzluluk, pH ve sıcaklık ölçüm sonuçları. .... | 166 |
| <b>Çizelge 4.13:</b> Tüm deney sistemlerinden elde edilen süzüntü akımlarının TÇM, iletkenlik ve tuzluluk giderim verimleri. ....               | 166 |
| <b>Çizelge 4.14:</b> UF+NF270 optimum arıtma koşulu için karakterizasyon çalışması sonuçları.....                                               | 168 |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Ekmek mayası üretiminin süreç akış diyagramı .....                                                                                                          | 11 |
| Şekil 2.2: Maya üretim prosesi genel akım şeması (Öztürk vd., 2010).....                                                                                               | 13 |
| Şekil 2.3: Krem maya görünümü.....                                                                                                                                     | 14 |
| Şekil 2.4: Pres maya görünümü .....                                                                                                                                    | 15 |
| Şekil 2.5: Aktif kuru maya görünümü .....                                                                                                                              | 15 |
| Şekil 2.6: İstant kuru maya görünümü.....                                                                                                                              | 16 |
| Şekil 2.7: Görünür Spektrum (Nanometre dalga boyunda).....                                                                                                             | 20 |
| Şekil 2.8: Membran giriş ve çıkış akımları (a) yatay akışlı, (b) dik akışlı filtrasyon                                                                                 | 37 |
| Şekil 2.9: Membran ile arıtmanın şematik görünümü .....                                                                                                                | 37 |
| Şekil 2.10: Simetrik Membranların Yapısı.....                                                                                                                          | 42 |
| Şekil 2.11: Asimetrik Membranların Yapısı.....                                                                                                                         | 43 |
| Şekil 2.12: Kompozit Membranların Yapısı.....                                                                                                                          | 43 |
| Şekil 2.13: Osmoz olayının şematik gösterimi .....                                                                                                                     | 50 |
| Şekil 2.14: Uygulanan basınca göre akının davranışı (Mulder, 1996) .....                                                                                               | 50 |
| Şekil 2.15: Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri (Mulder, 1996).....                                                                                         | 53 |
| Şekil 2.16: Membran yüzeyinde konsantrasyon profili (Mulder, 1996) .....                                                                                               | 54 |
| Şekil 3.1: Deneysel düzeneğe ait ekipmanlar .....                                                                                                                      | 60 |
| Şekil 3.2: Deney düzeneğinin akış şeması (Koyuncu, 2001) .....                                                                                                         | 61 |
| Şekil 3.3: Laboratuvar ölçekli basınçlı membran sisteminin genel görünüm .....                                                                                         | 62 |
| Şekil 3.4: Membran hücresinin çeşitli görünümleri. ....                                                                                                                | 64 |
| Şekil 3.5: Arıtma sonrası kirlenmiş bir membran (a) ve kartuş filtre (b) görünümü. ....                                                                                | 65 |
| Şekil 3.6: Kullanılan membran boyutu görüntüsü.....                                                                                                                    | 66 |
| Şekil 3.7: Ön arıtma amaçlı kullanılan membranların SEM görüntüleri .....                                                                                              | 67 |
| Şekil 3.8: İleri arıtma amaçlı kullanılan membranların SEM görüntüleri .....                                                                                           | 68 |
| Şekil 3.9: Ekmek mayası fabrikası atıksu arıtma tesisi seperasyon atıksularının<br>arıtılabilirlik çalışmalarında uygulanan arıtma aşamaları. ....                     | 70 |
| Şekil 3.10: Bilgisayara bağlı terazi ve süzüntü kabının görüntüsü.....                                                                                                 | 71 |
| Şekil 3.11: Kullanılan pH metrenin görüntüsü.....                                                                                                                      | 72 |
| Şekil 3.12: Hach Marka, DR 2800 spektrofotometre .....                                                                                                                 | 72 |
| Şekil 4.1: Filtrasyon sisteminin akım şeması (1.Filtrasyon hücresi, 2. Manyetik<br>karıştırıcı, 3. Basınç ayarlayıcılı azot gazı tüpü).....                            | 78 |
| Şekil 4.2: Filtrasyon Hücresi. ....                                                                                                                                    | 79 |
| Şekil 4.3: Kullanılan membran gözenek büyüklüğüne bağlı KOİ değişim grafiği. ..                                                                                        | 81 |
| Şekil 4.4: RES ve Pt-Co karşılaştırılması .....                                                                                                                        | 83 |
| Şekil 4.5: UC100T membranı ile elde edilen akı değerleri. ....                                                                                                         | 83 |
| Şekil 4.6: Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UC100T membranı ile arıtımı<br>sonucu oluşan kek tabakasının görünümü.....                                              | 84 |
| Şekil 4.7: UF ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve<br>15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman<br>grafiği. .... | 84 |

|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.8:</b> UF ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği. ....                   | 85 |
| <b>Şekil 4.9:</b> UF ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF90 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği. ....                     | 85 |
| <b>Şekil 4.10:</b> UF ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna XLE ve BW30 membranlarının 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği. .... | 86 |
| <b>Şekil 4.11:</b> UF membranıyla 2 bar basınçta gerçekleştirilen ön arıtma sonrası uygulanan ileri arıtma membranlarında oluşan kek tabakası görünüşleri.                                 | 87 |
| <b>Şekil 4.12:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve UC100T membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen iletkenlik değeri. ....                                                        | 88 |
| <b>Şekil 4.13:</b> UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzüntülerinde ölçülen iletkenlik değerleri. ....                                | 88 |
| <b>Şekil 4.14:</b> UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen iletkenlik değerleri. ....                       | 89 |
| <b>Şekil 4.15:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve UC100T membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen tuzluluk değeri. ....                                                          | 90 |
| <b>Şekil 4.16:</b> UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzüntülerinde ölçülen tuzluluk değerleri. ....                                  | 91 |
| <b>Şekil 4.17:</b> UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen tuzluluk değerleri. ....                         | 92 |
| <b>Şekil 4.18:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve UC100T membranı ile elde edilen süzüntü akımında ölçülen TÇM değeri ve giderim yüzdesi. ....                                     | 93 |
| <b>Şekil 4.19:</b> UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzüntülerinde ölçülen TÇM değerleri ve giderim verimleri. ....                  | 93 |
| <b>Şekil 4.20:</b> UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen TÇM değerleri..                                  | 94 |
| <b>Şekil 4.21:</b> UF ön arıtmalı sistemde, ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzüntülerinde ölçülen pH değerleri. ....                                   | 95 |
| <b>Şekil 4.22:</b> UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen pH değerleri. ....                               | 96 |
| <b>Şekil 4.23:</b> Ham atıksuda, UC100T membranı süzüntüsünde ve farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 membranı süzüntü numunelerinde ölçülen KOİ değerleri ve giderim verimleri. ....  | 96 |
| <b>Şekil 4.24:</b> Ham atıksuda, UC100T membranı konsantre numunesi ve farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 membranı konsantre numunelerinde ölçülen KOİ değerleri. ....               | 97 |
| <b>Şekil 4.25:</b> Ham atıksuda ve UC100T membranıyla arıtım sonucu elde edilen süzüntü akımında ölçülmüş renk değerleri ve giderim verimleri (436, 525 ve 620 nm dalga boylarında).....   | 98 |
| <b>Şekil 4.26:</b> Ham atıksuda ve UC100T membranı ile arıtım sonucu elde edilen süzüntü akımında ölçülmüş Pt-Co biriminde renk değerleri. ....                                            | 99 |
| <b>Şekil 4.27:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UC100T membranı ile arıtımı ile elde edilen konsantre ve süzüntünün görünümü. ....                                                  | 99 |

|                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.28:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UF membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzüntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda renk ölçüm sonuçları. ....               | 100 |
| <b>Şekil 4.29:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UF membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzüntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda renk giderim verimleri.....              | 100 |
| <b>Şekil 4.30:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UC100T membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımı ile elde edilen konsantre ve süzüntünün görünümü. ....                                            | 101 |
| <b>Şekil 4.31:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UF membranı ile ön arıtım sonrası süzüntü numunesinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri. ...                                                                          | 101 |
| <b>Şekil 4.32:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UF membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzüntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri ve giderim yüzdeleri. .... | 102 |
| <b>Şekil 4.33:</b> MV020T membranı ile elde edilen akı değerleri. ....                                                                                                                                                          | 103 |
| <b>Şekil 4.34:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranı ile arıtımı sonucu oluşan kek tabakasının görünümü.....                                                                                                  | 103 |
| <b>Şekil 4.35:</b> MV020T ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği. ....                                                    | 104 |
| <b>Şekil 4.36:</b> MV020T ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği. ....                                                   | 104 |
| <b>Şekil 4.37:</b> UF ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF90 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.....                                                          | 105 |
| <b>Şekil 4.38:</b> MF 0,2 mikronluk membranla ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna XLE ve BW30 membranlarının 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği. ....              | 106 |
| <b>Şekil 4.39:</b> MF 0,2 mikronluk membran ile 1 bar basınçta gerçekleştirilen ön arıtma sonrası uygulanan ileri arıtma membranlarında oluşan kek tabakası görünimleri.....                                                    | 107 |
| <b>Şekil 4.40:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MV020T membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen iletkenlik değeri. ....                                                                                             | 108 |
| <b>Şekil 4.41:</b> MV020T ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzüntülerinde ölçülen iletkenlik değerleri. ....                                                                 | 108 |
| <b>Şekil 4.42:</b> MV020T membranı ile ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen iletkenlik değerleri. ....                                           | 109 |
| <b>Şekil 4.43:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MV020T membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen tuzluluk değeri ve giderim yüzdesi. ....                                                                            | 110 |
| <b>Şekil 4.44:</b> MF 0,2µm ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzüntülerinde ölçülen tuzluluk değerleri ve giderim verimleri. ....                                        | 111 |
| <b>Şekil 4.45:</b> MF 0,2 µm ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen tuzluluk değerleri. ....                                                   | 111 |
| <b>Şekil 4.46:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MV020T membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen TÇM değeri ve giderim yüzdesi. ....                                                                                 | 112 |

|                                                                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.47:</b> MF 0,2µm membranıyla ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen TÇM değerleri ve giderim verimleri.....                       | 113 |
| <b>Şekil 4.48:</b> MF 0,2µm membranıyla ön arıtılmış ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen TÇM değerleri. ....                                          | 114 |
| <b>Şekil 4.49:</b> MF 0,2µm ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen pH değerleri. ....                                                            | 115 |
| <b>Şekil 4.50:</b> MF 0,2µm ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen pH değerleri. ....                                               | 115 |
| <b>Şekil 4.51:</b> Ham atıksuda, MV020T membranı süzöntüsünde ve farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 membranı süzöntü numunelerinde ölçülen KOİ değerleri ve giderim verimleri. ....                            | 116 |
| <b>Şekil 4.52:</b> Ham atıksuda, MV020T membranı konsantre numunesi ve farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 membranı konsantre numunelerinde ölçülen KOİ değerleri. ....                                         | 117 |
| <b>Şekil 4.53:</b> Ham atıksuda ve MV020T membranıyla arıtım sonucu elde edilen süzöntü akımında ölçülmüş renk değerleri ve giderim verimleri (436, 525 ve 620 nm dalga boylarında). ....                            | 118 |
| <b>Şekil 4.54:</b> Ham atıksuda ve MV020T membranı ile arıtım sonucu elde edilen süzöntü akımında ölçülmüş Pt-Co biriminde renk değerleri. ....                                                                      | 118 |
| <b>Şekil 4.55:</b> MV020T membranı ile arıtım sonucu elde edilen süzöntü akımında ölçülmüş Pt-Co biriminde renk değerleri ve renk giderim verimleri.....                                                             | 119 |
| <b>Şekil 4.56:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranı ile arıtımı ile elde edilen konsantre ve süzöntünün görünümü. ....                                                                            | 119 |
| <b>Şekil 4.57:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MF 0,2µm membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzöntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda ölçüm sonuçları. ....   | 120 |
| <b>Şekil 4.58:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MF 0,2µm membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzöntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda giderim verimleri. .... | 120 |
| <b>Şekil 4.59:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımı ile elde edilen konsantre ve süzöntünün görünümü.....                                  | 121 |
| <b>Şekil 4.60:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranı ile ön arıtım sonrası süzöntü numunesinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri. ...                                                           | 122 |
| <b>Şekil 4.61:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranı ile ön arıtım sonrası süzöntü numunesinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri ve renk giderim verimleri. ....                                | 122 |
| <b>Şekil 4.62:</b> MP005 membranı ile elde edilen akı değerleri.....                                                                                                                                                 | 123 |
| <b>Şekil 4.63:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranıyla arıtımı sonucu oluşan kek tabakasının görünümü. ....                                                                                        | 124 |
| <b>Şekil 4.64:</b> UF ön arıtılmış atıksuyun süzöntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.....                                              | 124 |
| <b>Şekil 4.65:</b> UF ön arıtılmış atıksuyun süzöntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği.....                                             | 125 |

|                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.66:</b> MP005 ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF90 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği. ....                      | 126 |
| <b>Şekil 4.67:</b> UF ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna XLE ve BW30 membranlarının 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği. ....      | 127 |
| <b>Şekil 4.68:</b> MF 0,05 mikronluk membran ile 1 bar basınçta gerçekleştirilen ön arıtma sonrası uygulanan ileri arıtma membranlarında oluşan kek tabakası görünüşleri. ....                  | 128 |
| <b>Şekil 4.69:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MP005 membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen iletkenlik değeri. ....                                                              | 129 |
| <b>Şekil 4.70:</b> MP005 ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzüntülerinde ölçülen iletkenlik değerleri. ....                              | 129 |
| <b>Şekil 4.71:</b> MP005 ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen iletkenlik değerleri. ....                     | 130 |
| <b>Şekil 4.72:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MP005 membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen tuzluluk değeri ve giderim yüzdesi. ....                                             | 131 |
| <b>Şekil 4.73:</b> MP005 ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzüntülerinde ölçülen tuzluluk değerleri ve giderim verimleri. ....           | 132 |
| <b>Şekil 4.74:</b> MP005 ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen tuzluluk değerleri. ....                       | 132 |
| <b>Şekil 4.75:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MP005 membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen TÇM değeri ve giderim yüzdesi. ....                                                  | 133 |
| <b>Şekil 4.76:</b> MP005 membranıyla ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzüntülerinde ölçülen TÇM değerleri ve giderim verimleri. ....    | 134 |
| <b>Şekil 4.77:</b> MP005 membranıyla ön arıtılmış ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen TÇM değerleri. ....                        | 135 |
| <b>Şekil 4.78:</b> MP005 membranıyla ön arıtılmış atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranlar ile ileri arıtmadan elde edilen süzüntü akımlarında ölçülen pH değerleri. ....   | 136 |
| <b>Şekil 4.79:</b> MP005 membranıyla ön arıtılmış atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranlar ile ileri arıtmadan elde edilen konsantre akımlarında ölçülen pH değerleri. .... | 136 |
| <b>Şekil 4.80:</b> Ham atıksuda, MP005 membranı süzüntüsünde ve farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 membranı süzüntü numunelerinde ölçülen KOİ değerleri ve giderim verimleri. ....        | 137 |
| <b>Şekil 4.81:</b> Ham atıksuyun, MP005 membranıyla ön arıtım sonrası oluşan konsantre akımının ve MP005 membranıyla kombine arıtmalar sonrası konsantre akımlarının KOİ değerleri. ....        | 138 |
| <b>Şekil 4.82:</b> Ham atıksuda ve MP005 membranıyla ön arıtım sonucu elde edilen süzüntü akımında absorban renk değerleri ve giderim verimleri (436, 525 ve 620 nm dalga boylarında). ....     | 139 |
| <b>Şekil 4.83:</b> Ham atıksuda ve MP005 membranı ile ön arıtım sonucu elde edilen süzüntü akımında Pt-Co biriminde renk değerleri. ....                                                        | 140 |

|                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.84:</b> MP005 membranı ile ileri arıtım sonucu elde edilen süzüntü akımlarında Pt-Co biriminde ölçülen renk değerleri ve giderim verimleri. ....                                                           | 140 |
| <b>Şekil 4.85:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranı ile ön arıtım sonrası elde edilen süzüntü ve konsantre akımının görüntüsü. ....                                                                 | 141 |
| <b>Şekil 4.86:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzüntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda ölçüm sonuçları. ....       | 142 |
| <b>Şekil 4.87:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membran ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzüntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda renk giderim verimleri. .... | 142 |
| <b>Şekil 4.88:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranı ile ön arıtım sonrası NF270 ve BW30 membranlarıyla ileri arıtım sonrası elde edilen konsantre ve süzüntü numunelerinin görünümü. ....           | 143 |
| <b>Şekil 4.89:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranı ile ön arıtım sonrası süzüntü numunesinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri. ...                                                             | 144 |
| <b>Şekil 4.90:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranı ile ön arıtım sonrası süzüntü numunesinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri ve renk giderim verimleri. ....                                  | 144 |
| <b>Şekil 4.91:</b> Ön arıtma uygulanmadan atıksuyun NF 270 membranından 12 ve 15 bar basınçlarda geçirilmesi ile oluşan akı-zaman grafiği. ....                                                                       | 145 |
| <b>Şekil 4.92:</b> Ön arıtma uygulanmadan atıksuyun NF 270 membranından 12 ve 15 bar basınçlarda geçirilmesi ile oluşan akı-basınç grafiği. ....                                                                      | 146 |
| <b>Şekil 4.93:</b> Ön arıtılmamış atıksuyun doğrudan NF90 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği. ....                                                      | 146 |
| <b>Şekil 4.94:</b> Ön arıtım uygulanmadan atıksuyun XLE ve BW30 membranlarıyla 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği. ....                                     | 147 |
| <b>Şekil 4.95:</b> Ön arıtım uygulanmadan atıksuyun BW30 membranı ile 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği. ....                                              | 148 |
| <b>Şekil 4.96:</b> NF ve TO membranları ile gerçekleştirilen ileri arıtma sonrası membran yüzeyinde oluşan kek tabakası görüntüleri. ....                                                                             | 148 |
| <b>Şekil 4.97:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunda NF ve TO membranları ile doğrudan ileri arıtımla elde edilen süzüntüde ölçülen iletkenlik değerleri ve giderim yüzdeleri. ....                                 | 149 |
| <b>Şekil 4.98:</b> Ön arıtılmadan sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen iletkenlik değerleri. ....                                              | 150 |
| <b>Şekil 4.99:</b> Ön arıtmasız sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen tuzluluk değerleri ve giderim verimleri. ....                                      | 151 |
| <b>Şekil 4.100:</b> Ön arıtmasız sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantrelerinde ölçülen tuzluluk değerleri ve giderim verimleri. ....                                   | 152 |
| <b>Şekil 4.101:</b> Atıksuyun doğrudan NF ve TO membranlarına verilmesi ile elde edilen süzüntü akımında TÇM değerleri ve giderim yüzdeleri. ....                                                                     | 153 |
| <b>Şekil 4.102:</b> Atıksuyun doğrudan NF ve TO membranlarına verilmesi ile elde edilen konsantre akımında TÇM değerleri ve giderim yüzdeleri. ....                                                                   | 154 |

|                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.103:</b> Atıksuyun doğrudan NF ve TO membranlarına verilmesi ile süzüntü akımında elde edilen pH değerleri. ....                                                               | 155 |
| <b>Şekil 4.104:</b> Atıksuyun doğrudan NF ve TO membranlarına verilmesi ile elde edilen konsantre akımında pH değerleri. ....                                                             | 155 |
| <b>Şekil 4.105:</b> Atıksuya doğrudan ileri arıtım uygulanması ile süzüntü elde edilen arıtmaların süzüntü numunelerinde KOİ değerleri ve giderim yüzdeleri.....                          | 156 |
| <b>Şekil 4.106:</b> Atıksuya doğrudan ileri arıtım uygulanması ile süzüntü elde edilen arıtmaların konsantre numunelerinde KOİ değerleri ve giderim yüzdeleri.....                        | 157 |
| <b>Şekil 4.107:</b> Ön arıtılmadan ileri arıtmaya verilen atıksuyun filtrasyonu sonrası elde edilen süzüntü akımında absorbans renk değerleri (436, 525 ve 620 nm dalga boylarında). .... | 158 |
| <b>Şekil 4.108:</b> Ön arıtılmadan ileri arıtmaya verilen atıksuyun filtrasyonu sonrası elde edilen süzüntü akımında renk giderim verimleri (436, 525 ve 620 nm dalga boylarında). ....   | 158 |
| <b>Şekil 4.109:</b> Ön arıtılmadan ileri arıtım uygulanan atıksuda elde edilen süzüntü akımlarında Pt-Co biriminde ölçülen renk değerleri ve giderim verimleri.....                       | 159 |
| <b>Şekil 4.110:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun ileri arıtım sonrası elde edilen süzüntü ve konsantre akımlarının görüntüsü. ....                                                 | 159 |
| <b>Şekil 4.111:</b> Maya seperasyon prosesi atıksuyunun doğrudan ileri arıtımından elde edilen süzüntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri ve giderim verimleri. ....      | 160 |
| <b>Şekil 4.112:</b> Membran filtrasyon akımlarının şematik gösterimi .....                                                                                                                | 161 |
| <b>Şekil 4.113:</b> Optimum arıtma sonrası elde edilen akı geri kazanımı ve karakterizasyonun özet gösterimi.....                                                                         | 169 |



## **EKMEK MAYASI ENDÜSTRİSİ SEPERASYON PROSESİ ATIKSULARINDA MEMBRAN PROSESLER İLE RENK GİDERİMİ**

### **ÖZET**

Maya endüstrisi atıksuları; yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), azot, koyu renk ve biyolojik olarak parçalanamayan organik bileşik gibi çok çeşitli kirleticiler içermektedir. Kirliliği oluşturan bu maddelerin atıksudan, bilinen proseslerle gideriminin zor olduğu yapılan çalışmalar ile kanıtlanmıştır. Son yıllarda, atıksularında renk sorunu olan endüstrilerde konvansiyonel parametreler yanında rengin de izne tabi kritik parametre olması eğilimi gözlenmektedir. Ekmek mayası proses atıksuları, ana hammadde olarak kullanılan melastan gelen koyu kahverengi renkte atıksulardır. Bu çalışmada Marmara Bölgesi'nde faaliyette bulunan büyük bir ekmek mayası üretim tesisi atıksularında, membran prosesler ile renk giderimi araştırılmıştır. Arıtma işlemi, renkli maddeleri atıktan ayırmayı amaçlayan, değişik büyüklüklerdeki mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) membranlarını içermektedir.

Deneyisel çalışmalar dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada ekmek mayası endüstrisi atıksuyu öncelikle UF(UCT 100) membranından geçirilmiştir. UF çıkışında toplanan süzüntü ise ayrı ayrı NF90, NF270, BW30 ve XLE membranlarına verilmiştir. İkinci aşamada ise ekmek mayası endüstrisi atıksuyu önce MF(0,2µm) membranından, süzüntüsü de ayrı ayrı NF90, NF270, BW30 ve XLE membranlarından geçirilmiştir. Üçüncü aşamada ise ekmek mayası endüstrisi atıksuyu önce MF(0,05µm) membranından, süzüntüsü de ayrı ayrı NF90, NF270, BW30 ve XLE membranlarından geçirilmiştir. Dördüncü aşamada, ekmek mayası endüstrisi atıksuyu herhangi bir ön arıtma işlemi yapılmadan NF90, NF270, BW30 ve XLE membranlarından ayrı ayrı geçirilmiştir. NF membranları ile yapılan denemeler 12 ve 15 barlarda, TO membranları ile yapılan deneyler ise 15,20,25 ve 30 bar basınç altında çalıştırılmıştır. Her deneme sonunda süzüntüden ve konsantreden numune alınmıştır. Ayrıca her bir periyot için akı-zaman profilleri belirlenmiştir. Deneyler esnasında akı değerleri ve süzüntüden alınan anlık numunelerin akı, Renk , Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) , pH, sıcaklık, tuzluluk ve iletkenlik değişimleri izlenmiştir. Toplam süzüntülerde ise Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Çözünmüş Madde (TÇM), iletkenlik, tuzluluk, pH, BOİ<sub>5</sub>, AKM, UAKM ve renk ölçümleri yapılarak, her bir membran prosesinin giderim verimleri belirlenmiştir.

Ekmek mayası endüstrisi atıksularıyla yapılan çalışmalarda en yüksek giderim verimleri UF + NF270 kombinasyonu ile 15 bar basınçta elde edilmiştir. Ultrafiltrasyon ile ön arıtılmış atıksuyun 15 bar basınç altında ileri arıtımı ile kombine arıtmalar arasında en yüksek akı verimi elde edilmiştir. Renklilik Sayısı (RES) parametresinde 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarında sırasıyla 5.5 m<sup>-1</sup>, 3 m<sup>-1</sup>, 1.5 m<sup>-1</sup> değerleri elde edilmiş ve Avrupa Normunda belirtilen limit değerlere ulaşılmıştır. Renk ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %99 ve %75 olarak

bulunmuştur. İletkenlik, tuzluluk ve TÇM giderme verimi ise sırasıyla; 14%, 20% ve 19% olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre rengi giderilmiş süzöntüde tuzluluk yüksek, konsantre kısmında ise KOİ yüksek oranda bulunmaktadır. Süzöntü suyu maya üretiminde yeniden kullanılabilir , konsantre akımı da evaporasyon ünitesinde hayvan yemi olan vinas üretimi için kullanılabilir. Maya üretiminde su ve tuz ihtiyacı arıtma sonunda yeniden kullanım ile tesise tasarruf sağlayacaktır. Ayrıca kirlilik yükü fazla olan konsantre kısım da yeniden kullanılarak deşarjından oluşacak sıkıntı önlenecektir.

.

## **DECOLORIZATION OF BAKER'S YEAST INDUSTRY'S SEPERATION WASTEWATER BY MEMBRANE PROCESSES**

### **SUMMARY**

The effluent of baker's yeast industry includes high concentration of chemical oxygen demand (COD), nitrogen, dark color and nonbiodegradable organic compounds. The difficulty of removing these pollutants from wastewater by conventional processes has been proved with the pre-studies. In recent years, for the industries which has color problem in their wastewaters, color besides conventional parameters is a new tendency for permission. Baker's yeast processing wastewater is dark brown color causes from the main raw material molasses used in the industry. In this study, wastewater of one of the large baker's yeast production plants wastewaters operating in the Marmara region, the color removal was investigated with membrane processes. The treatment scheme to remove colorants from the effluent includes microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO) membranes with different molecular weight cut-off's (MWCO).

Laboratory tests were done in four steps. On the first step, baker's yeast industry wastewater was passed through the UF (UCT100) membrane. The permeate collected from UF outlet was given to NF90, NF270, BW30 and XLE membranes seperately. On the second step, baker's yeast industry wastewater was fed to MF(0,02) membrane and the permeate was given to NF90, NF270, BW30 and XLE membranes seperately. On the third step, baker's yeast industry wastewater was fed to MF(0,05) membrane and the permeate was given to NF90, NF270, BW30 and XLE membranes seperately. On the forth step, raw baker's yeast wastewater was fed only to NF90, NF270, BW30 and XLE membranes seperately. Experiments with NF membranes were done in 12 and 15 bars without pretreatment and the experiments brought up for RO under 15,20,25,30 bars. During these tests, the flux values, with Chemical Oxygen Demand (COD), pH, temperature, salinity, Total Dissolved Solids (TDS), RES and conductivity changes of the instant samples were followed. Also Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>), Suspended Solid (SS), Volatile Suspended Solid (VSS), salinity, conductivity, Total Dissolved Solids (TDS), pH and color values were measured in composite permeates and each membrane process' removal efficiency was determined.

In studies with bakers yeast industry wastewater, the best removal efficiency was reached by UF + NF270 combination under pressure of 15 bar. The highest flux yield was obtained with advanced treatment of pre-treated wastewaters with ultrafiltration under 15 bar pressure. RES parameter values were obtained in wave lenght of 436 nm, 525 nm and 620 nm in sequence ,5 m<sup>-1</sup> ,3 m<sup>-1</sup> ,1,5 m<sup>-1</sup> and limit values of European Norm was obtained. Color and COD removal efficieny were obtained in sequence; 99% and 75%. Conductivty, salinity and TDS removal efficiency were obtained in the sequence of; 14%, 20% and 19%.

According to these results, permeate without color has high salinity and concentrate has high rate of COD. Permeate flow can be used in production of baker's yeast and concentrated flow can be used in evaporation process to make vinasse. Water and salt necessity can be provide by re-use of permeate in bakers yeast production. Also re-using of concantare in evaporation process to make vinasse can be eliminate high strenght of effluent.

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Konunun Anlam ve Önemi

Endüstrileşme ve nüfus artışının günümüzde büyük bir hız kazanması ile temiz su kaynakları giderek azalmaktadır. Endüstrilerde kullanılan su miktarının çok fazla olması ve üretilen atıksu miktarının artması ile birlikte gittikçe daha sıkı hale getirilmekte olan çevre mevzuatı doğrultusunda, ileri arıtma teknolojileri geliştirilmektedir.

Ekmek mayası, *Saccharomyces cerevisiae*'nin aerobik şartlarda fermentasyon ile çoğaltılmak suretiyle elde edilmektedir. Ülkemizde ekmek mayası üretiminde kullanılan hammadde yaklaşık olarak %50 civarında şeker ihtiva eden ve şeker endüstrisinin bir yan ürünü veya atık maddesi durumundaki şeker pancarı melasıdır. Maya üretimi başlıca melas hazırlama, fermentasyon, maya ayırma ve maya sütü biriktirme, süzme ve kurutma proseslerini kapsamaktadır. Maya üretimi esnasında oluşan en kirli proses atıksuları başlıca maya seperatörleri ve döner filtre birimlerinden kaynaklanmaktadır.

Ekmek mayası endüstrisi atıksuları, düşük pH, yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), koyu kahverengi rengi, yüksek konsantrasyonda azot içermesi gibi özelliklerle karakterize edilir. Kirliliği oluşturan bu maddelerin atıksudan, bilinen prosesler ile gideriminin zor olduğu yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır.

Ekmek mayası endüstrisi atıksularındaki koyu kahverengi rengi, melasta bulunan yüksek molekül ağırlıklı melanoidin türü bileşiklerin üretim aşamaları sırasında atıksuya geçmesi ile oluşur. Son yıllarda renk, yüzeysel su kütleleri için çok önemli bir kalite parametresi olarak izlenmeye başlanmıştır. Konu, AB üyelik sürecindeki ülkemiz bakımından da kritik önem taşımaktadır.

## 1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada Marmara Bölgesi'nde faaliyette bulunan büyük bir ekmek mayası üretim tesisi atıksularında, membran prosesler ile renk giderimi araştırılmıştır. Arıtma işlemi, renkli maddeleri atıktan ayırmayı amaçlayan, değişik büyüklüklerdeki mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) membranlarını içermektedir.

Bu çalışmada mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (RO) prosesleri, tek tek uygulanarak veya kombine edilerek, maya endüstrisi atıksularının ileri arıtımı ve renk giderimi araştırılmıştır.

DeneySEL çalışmalar dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada ekmek mayası endüstrisi atıksuyu öncelikle UF(UC100T) membranından geçirilmiştir. UF çıkışında toplanan süzüntü ise ayrı ayrı NF90, NF270, BW30 ve XLE membranlarına verilmiştir. İkinci aşamada ise ekmek mayası endüstrisi atıksuyu önce MF(0,2µm) membranından, süzüntüsü de ayrı ayrı NF90, NF270, BW30 ve XLE membranlarından geçirilmiştir. Üçüncü aşamada ise ekmek mayası endüstrisi atıksuyu önce MF(0,05µm) membranından, süzüntüsü de ayrı ayrı NF90, NF270, BW30 ve XLE membranlarından geçirilmiştir. Dördüncü aşamada, ekmek mayası endüstrisi atıksuyu herhangi bir ön arıtma işlemi yapılmadan NF90, NF270, BW30 ve XLE membranlarından ayrı ayrı geçirilmiştir. NF membranları ile yapılan denemeler 12 ve 15 barlarda, TO membranları ile yapılan deneyler ise 15,20,25 ve 30 bar basınç altında çalıştırılmıştır. Her deneme sonunda süzüntüden ve konsantreden numune alınmıştır. Ayrıca her bir periyot için akı değişimleri hesaplanmıştır.

Deneylerde kullanılan membran sistemi laboratuvar ölçekli olup, membran üreticisi OSMONICS firmasından temin edilmiştir. Membran tesisi, laboratuvar ortamında farklı özelliklerdeki membranların performansı ve verimlerinin test edilmesi amacı ile kurulan bir tesistir. Sistem hem düşük basınçta (0-2 bar aralığı) hem de yüksek basınçta (70 bar) çalıştırılabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Deneyler esnasında akı değerleri, süzüntüden ve konsantre akımından alınan anlık numunelerin renk, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), pH, sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik, toplam çözünmüş madde (TÇM) değişimleri izlenmiş ve akı geri kazanımı çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonunda en uygun membran sistem dizisi ile

optimum kararlı durum performansı ve tasarım/işletme verileri ortaya konmuştur. Optimum arıtma için seçilen sistemin szntsnde ise kimyasal oksijen ihtiyaı (KOİ), toplam çözünmüş madde (TM), iletkenlik, tuzluluk, pH, biyokimyasal oksijen ihtiyaı (BOİ5), askıda katı madde (AKM), uçucu askıda katı madde (UAKM) ve renk ölçümleri yapılarak giderim verimi belirlenmiştir. Konsantre fazını evaporasyon ünitesine verebilmek için gerekli kriterler incelenmiştir. Sznt fazında ise maya üretiminde yeniden kullanımı araştırılmıştır.



## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

### **2.1 Ekmek Mayası Endüstrisi Atıksuları ve Arıtma Yöntemleri**

#### **2.1.1 Maya endüstrisinin Türkiye ve Dünya'daki durumu**

Türkiye'de maya üretimi İzmir, İzmit, Düzce, Bandırma, Lüleburgaz, Adana ve Amasya illerindeki 4 şirkete ait 7 adet ekmek mayası fabrikasında yapılmaktadır. Bu işletmeler ülkenin her bölgesine satış hizmeti sunmaktadırlar. Toplam üretim 160.000 ton/yıl civarında olup bunun 100.000 tonu iç piyasada tüketilmektedir. Türkiye’de katkı ve maya sektöründe tüm seviyelerdeki personel istihdamının 10.000 kişi dolayında olduğu tahmin edilmektedir. Gıda katkı maddeleri ve işlem yardımcılarının, dünya ticaretinde önemli bir yer tutan ve zaman içerisinde bu yeri artması beklenen ürünler olmaları, ülkemizde bu konuda halen az sayıda işletme bulunması, katkı maddeleri ve işlem yardımcılarının ağırlıkla ithal olması, bu dalın potansiyel bir yatırım ve istihdam alanı olduğunu düşündürmektedir (Maya Sektör Raporu, 2008).

Ülkemiz 2006 yılında 5 milyon 634 bin dolar, 2007 yılında ise 6 milyon 838 bin dolarlık maya ithalatı gerçekleşmiştir. Maya ithalatımızın büyük bir kısmını İngiltere’den yapmaktayız. İngiltere’den yapılan maya ithalatında birim fiyatı pek çok ülkeye göre daha düşüktür. İngiltere’yi Danimarka ve Fransa izlemektedir. İthalat yaptığımız diğer ülkeler ise; A.B.D., Belçika, Avusturya, Çin Halk Cumhuriyeti, Rusya, Almanya, Güney Afrika Cumhuriyeti, Kanada, Tayvan, İsviçre, Japonya, Meksika gibi sıralanabilir. Canlı maya ihracatında 110 milyon 719 bin dolarlık (2005 yılı değeri) ihracat ile dünyada ilk sırada yer almaktadır. Dünya canlı maya ithalatında 3. sırada yer alan Cezayir, yurt dışı talebinin büyük bir kısmını (%63) ülkemizden karşılamaktadır (2005 verilerine dayanılarak hesaplanmıştır). Cezayir’in ardından Rusya %10,5’lik pay ile 2. sırada yer almaktadır. Maya ihracatımız son 3 yıldır hem değer bazında hem de miktar bazında sürekli artış göstermiştir (Maya Sektör Raporu, 2008).

Dünya canlı maya ithalatında söz sahibi ülkeler ABD, Fransa, Cezayir, Hollanda, Brezilya, İspanya, Almanya, İngiltere, İtalya, Filipinler, Japonya, Güney Kore, Çek Cumhuriyeti, Suudi Arabistan ve Yunanistan olarak sıralanabilir. DTM veri tabanından alınan bilgilere göre 2006 yılında ABD, Fransa ve Cezayir en fazla maya ithalatı gerçekleştiren ilk üç ülke konumundadır. Bu üç ülke maya ithalatında 2004 ve 2005 yıllarında da ilk üç sırada yer almaktadır. 2006 yılında 2005 yılına oranla maya ithalatında birim fiyatların yükseldiği belirtilmektedir. Verilere göre mayayı en pahalıya ithal eden ülkenin Japonya, en düşük fiyata ithal eden ülkenin ise Fransa'dır (Maya Sektör Raporu, 2008).

### **2.1.2 Maya üretimi**

Temel besin maddesi ve iyi bir enerji kaynağı olması nedeni ile ekmek, gıda tüketiminde çok önemli bir konuma sahiptir. Dünyada günlük kalorinin büyük bir kısmı hububat ürünlerinden karşılanmaktadır. Türkiye'de kişi başına ortalama ekmek tüketimi yıllık olarak 180-210 kg, günlük olarak ise 300-500 gram arasında olduğu ifade edilmektedir.

Ekmek üretiminde undan sonra en önemli girdi ekmek mayasıdır. Türkiye'de ekmek yapımında %3-4 oranında yaş maya katılmaktadır. Türkiye'de günlük ekmek tüketiminin yaklaşık olarak 28 000 ton olduğu varsayılırsa; günlük ekmek yapımında ihtiyaç duyulan yaş maya miktarı 590 ton civarında olduğu söylenebilir.

Mikroorganizmalar binlerce yıl önceden besin olarak kullanılmaktadır. Çeşitli meyvelerin fermente edilerek şarapçılıkta, biracılıkta kullanımı, sütün yoğurt ve peynir yapımında kullanımı ilk akla gelen mikroorganizma uygulamalarıdır. Maya da insanlık tarihi boyunca üzerinde en çok çalışmanın yapıldığı, alkollü içecek üretimi ve ekmek hamuru kabartmada kullanılan eski bir mikroorganizmadır. Toprakta, bitkilerde ve hatta havada dahi bulunabilen canlı bir hücredir.

Teknik ekmek mayası üretimine 1800'lü yıllarda ilk kez Hollanda'da başlanmıştır. Bilimsel anlamda mikrobiyolojinin Pastör'ün 1867'de maya fermentasyonunu konu alan çalışmasıyla başladığı kabul edilmektedir. Daha sonra Robert Koch ve Emil Christian Hansen'in çalışmaları bu alanda yapılmış ilk endüstriyel biyoteknolojik çalışmalardır. Başlangıçta sıvı olarak kullanılan maya, daha sonra suyu alınarak kıvamlı ve su içeriği %75 olan kalıplar haline getirilmiştir. Modern anlamda, 1940'larda penisilin üretimi ve büyük fermentörlerin geliştirilmesi, sürekli

fermentasyonlar, immobilize enzim ve hücre proseslerinin gelişimi ile biyoteknolojik gelişmeler devam etmiştir (Keuler, 1993).

#### 2.1.2.1 Kullanılan hammaddeler ve yardımcı kimyasallar

Ekmek mayası üretiminde kullanılan maddeler saf maya kültürü ve melaslardır. Günümüzde yaklaşık olarak 600 adet maya türü olmasına rağmen bunlardan sadece birkaçı ticari öneme sahiptir. Ekmek mayası tek hücreli canlılar grubunda olup, “*Saccharomyces cerevisiae*” suşunun saflaştırılması sonucu elde edilir (Stone, 1998). Yaş mayanın üretiminde kullanılan *Saccharomyces cerevisiae*'nin mayanın stoplazmik membranının yaklaşık %49'u protein, %45'i yağ ve %6'sı da nem ve minerallerdir. Maya üzerinde bulunan gözeneklerin büyüklüğü 0,42 nm.dir (Kutay, 2001). Diğer maya türleri, kuru maya üretimi için gereklidir. Genel olarak toplam üretimin yaklaşık %85'i yaş (krem) maya ve %15'i kuru mayadır. Yaş ve kuru maya benzer yollarla üretilir, ancak kuru maya farklı maya soyundan geliştirilir ve proses sonrasında kurutulur. Aktif ve instant olmak üzere iki çeşit kuru maya üretilir. Bu iki çeşit kuru maya arasındaki ana fark; aktif kuru maya ılık suda çözünürken instant kuru mayanın çözünmemesidir (Safriet, 1994).

Ekmek mayasının yaklaşık olarak bileşimi Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1:** Ekmek mayasının yaklaşık % bileşimi.

|                 | % Bileşim |
|-----------------|-----------|
| Nem             | 2-5       |
| Ham Protein     | 50-52     |
| Protein         | 42-46     |
| Nükleik Asit    | 6-8       |
| Mineraller      | 7-8       |
| Lipidler        | 4-7       |
| Karbonhidratlar | 30-37     |

Ekmek mayası üretiminde hammadde olarak 1920'li yıllardan önce sadece nişastalı maddeler kullanılırken, 1930'lu yıllardan sonra şeker pancarı melası kullanılmaya başlanmıştır. Bunda en büyük etken şeker pancarı melasının maliyetinin daha düşük olmasıdır. Günümüzde ise nişastalı maddelerin yerini tamamen melaslar almıştır. Şeker kamışı ve şeker pancarı melaları, maya büyümesi için temel karbon kaynağıdır. Melas; içinden ekonomik olarak daha fazla şeker alınamayan şeker fabrikalarının yan ürünü olup, kristalizasyon aşamasından sonra elde edilen koyu

kahve renkli bir sıvıdır. Melaslar sakkaroz, glikoz, früktoz oluşumunda mayalanabilen şekerlerin ağırlıkça %45-55'ini içerir (Safriet,1994). Şeker kamışı ve pancar melaslarının çeşidi ve miktarı melasların çeşidine, fiyatlara, inhibitör ve toksinlere bağlıdır. Genellikle şeker kamışı ve pancar melasları içeren karışım mayalanmada kullanılmaktadır. İlk önce melas karışımı karıştırılırken alkali bakteri oluşumunu sağlamak için pH 4,5-5 arasında ayarlanır. Çünkü çözeltinin alkalileşmesi durumunda bakteri oluşabilir. Maya büyümesi ile aynı şartlar altında bakteri büyümesi de olabileceğinden pH izlenmesi çok önemlidir. Melas karışımından çamurlar giderilir ve yüksek basınçlı buhar ile sterilize edilir. Bu işlem ile melas karışımı temizlenmekte ve yüksek basınçta strelize edilmektedir. Strelizasyondan önce sulandırılmakta ve mayalanma sağlanıncaya kadar tanklarda tutulmaktadır.

Maya üretiminde ayrıca bazı besin elementleri ve vitaminlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Besin ve mineral ihtiyaçları azot, fosfat, potasyum, magnezyum, kalsiyum, demir, bakır, molibden ve mangandır.

Melastaki fosfatlar mayanın ihtiyacını yeterince karşılayamamaktadır. Fosfor eksikliği mayanın verimini düşürür ve mayanın dayanıksız olmasına neden olur. bu durumda fosfat, fosforik asit ya da fosfat tuzları formunda ortama ilave edilir. Ticari üretimlerde amonyum fosfat tercih edilmektedir. Mayanın polifosfat formundaki fosforu kullanması çok zor olduğundan tercih edilmemektedir.

Melasta bulunan magnezyum miktarı da maya üretimi için yeterli değildir. Maya ortamda bulunan magnezyumun ortalama %70 kadarını kullanabilmektedir. Bu nedenle maya üretimi için ortama magnezyum ilavesi gerekmektedir. Magnezyum ortama magnezyum tuzları formunda ilave edilmektedir.

Melasta bulunan azotlu madde miktarı maya üretimi için ihtiyaç duyulan miktarın çok azını karşılamaktadır. Normal şartlar altında azot ihtiyacı amonyum tuzları, amonyak çözeltisi ya da susuz amonyağın hammaddeye ilavesi ile karşılanabilmektedir. Azot kaynağı olarak kullanılabilecek amonyum tuzları; %20-21 azot ihtiva eden amonyum sülfat, %18-21 azot ihtiva eden %20-25 konsantrasyonda  $NH_3$  ve %26 azot ihtiva eden amonyum klorür ve diamonyum fosfattır. Azotlu maddelerin besin ortamına ilavesi, şeker ilavesi kadar hassasiyet taşımaz. Azotlu maddelerin tamamı fermentasyonun başında ortama ilave edilebilir.

Melasta bulunan kalsiyum, potasyum, sodyum ve sülfat maya üretimi için yeterlidir. Üretim için ihtiyaç duyulan demir, çinko, bakır gibi iz elementlerin de melastan ve işletme suyundan karşılandığı bilinmektedir.

Bazı vitaminler de maya üretimi için gereklidir (biotin, inositol, pantotenik asit, tiyamin vb.). Verimli maya üretimi için biyotin, pentatonik asit ve inozitole ihtiyaç duyulur. İnozitole ve pentatonik asit maya üretimi için melasta yeterli miktarda bulunmaktadır. Biyotin ise bazen eksikliği söz konusu olabilmektedir. Bu durumda biyotin eksikliğini gidermek için bir gram maya kuru maddesi için 1,25 µg biyotin ilavesinin en yüksek verimi sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca biyotin eksikliği söz konusu olduğunda bu eksikliği gidermek amacıyla şeker pancarı melası ile biyotin içeriği oldukça yüksek olan (65 µg) şeker kamışı melasını karıştırmak iyi bir çözüm olabilmektedir.

Tiyamin ve piridoksin, melasta eksikliği durumunda ilave edilen vitaminlerdir. Genellikle maya üretimi için melasta yeterli miktarda bulunmaktadırlar. Tiyamin genellikle hammaddeye ilave edilir. Tiyamin, hamur fermentasyonunu hızlandırıcı etkiye sahip olduğundan gereken miktardan fazla olarak ortama ilave edilebilmektedir. Piridoksin ise hamur kabartma gücünü arttırıcı etkiye sahip bir vitamindir.

#### **2.1.2.2 Maya üretimini etkileyen faktörler**

Ekmek mayası "*Saccharomyces cerevisiae*" aerobik ve anaerobik metabolizmaya sahip bir mikroorganizmadır. *Saccharomyces cerevisiae*, aerobik koşullarda üreme, anaerobik koşullarda ise fermentasyon gerçekleştirir. Ekmek mayası üretimi, mikroorganizmaların kendi kendisini yeniden yapmasına dayanır. Bu nedenle ortamın sürekli havalandırılması ve gerekli besin maddelerinin ilave edilmesi gerekmektedir. *Saccharomyces cerevisiae*'nin oksijen ihtiyacı 500-600 ml O<sub>2</sub>/g kuru maddedir. Kuvvetli karıştırma, havalandırmanın verimini arttırmaktadır. Maya üretiminde havalandırma için harcanan enerji maliyeti, maya üretim maliyetinin ortalama %10-20'sini oluşturmaktadır.

Mayanın oksijenli ortamda üretimi sadece besin bileşenlerine bağlı olmamakla birlikte dikkat edilmesi gereken bazı durumlar vardır. Mayanın gelişimini önleyici etkisinden dolayı ortama verilecek şeker miktarı 300 mg/l'nin üzerinde olmamalıdır. Ayrıca mayanın gelişme hızı da belli bir düzeyin üzerine çıkmamalıdır. Eğer gelişme

hızı çok yüksek olursa aerobik fermentasyon oluşur ve maya verimi düşer. Ortama verilecek havanın iyi bir şekilde dağıtılması maya verimi açısından çok önemlidir. Bu nedenle havanın fermentöre girdiği noktada mekanik karıştırıcıların kullanılması ile ortama verilen oksijenin %45 kadarı gaz fazdan sıvı faza geçmesi sağlanır.

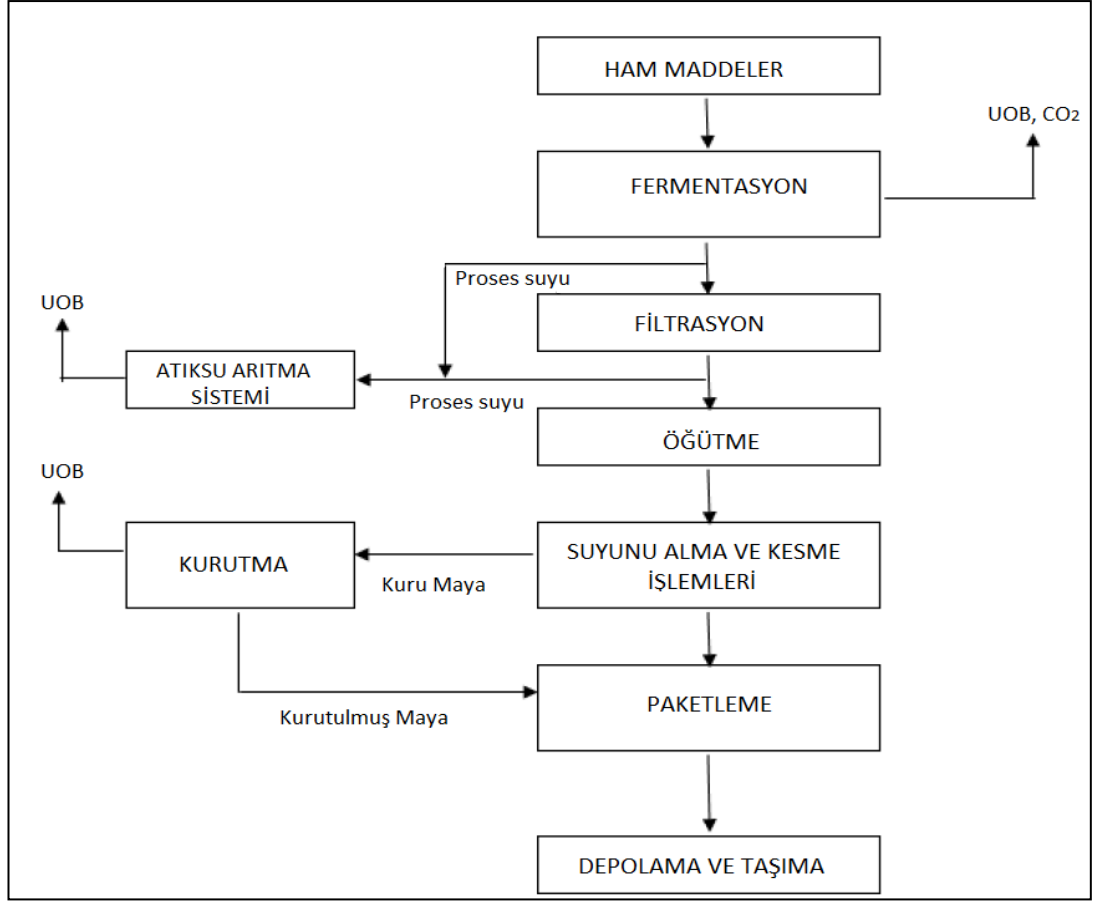
Aşırı köpürme maya üretimi sırasında karşılaşılan en büyük sorunlardan biridir. Bunu önleyebilmek için birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır. Onodera ve ark. (1993), köpük giderici maddelerin, çözünmüş oksijen miktarını azaltmak yolu ile inhibe edilebileceğini belirtmişlerdir. Bunu önlemek için ise havalandırma ve karıştırma hızının artırılması gerektiğini bildirmişlerdir. Köpük giderici madde olarak soya yağı, zeytin yağı, ayçiçek yağı, alifatik alkoller, heksadekanol, tetradekanol ve parafin yağı gibi maddeler kullanılabilir. Köpük giderici maddeler kullanılabilmektedir.

Ekmek mayası üretiminde pH da üretimi etkileyen faktörlerden birisidir. Ekmek mayası 3,5-6,0 pH aralığında üreyebilmekte, en yüksek verim ise pH 4,5-5,0 aralığında elde edilmektedir. Düşük pH'larda maya, melastaki renk pigmentlerini daha çok absorbe ettiği için maya rengi daha koyu olur. Üretim aşamasında, fermentasyonun sonlarına doğru pH artırılarak daha açık renkli ürün elde edilebilmektedir.

Maya üretim hızını etkileyen faktörlerden bir diğeri de sıcaklıktır. Yapılan çalışmalara göre mayanın en yüksek üreme hızının 30-36°C aralığında olduğu belirtilmiştir. Ticari üretimlerde, verim düşük sıcaklıklarda daha yüksek olduğundan dolayı genellikle fermentasyon 30 °C'de gerçekleştirilmektedir.

### **2.1.2.3 Üretim prosesi ve işlemler**

Maya hücreleri, fermentasyon tankları içinde geliştirilirler. Maya fermentasyon tankları, aerobik şartlar altında (serbest oksijen veya aşırı hava ortamı) işletilirler, çünkü anaerobik (oksijensiz) şartlarda, fermente olabilen şekerler, etanol ve karbondioksit oluşumunda tükenirler. Bu da maya üretim verimini düşürmekte ve düşük kalitede maya üretimine neden olmaktadır (Safriet, 1994). Ekmek mayası üretiminin süreç akış diyagramı aşağıda verilmiştir.



**Şekil 2.1:** Ekmek mayası üretiminin süreç akış diyagramı.

Maya üretimi bir dizi fermentasyon aşamasından meydana gelmektedir. Bu aşamalar sırasıyla; eğik agar, aşı balonu, pür kültür fermentasyonu, ana maya fermentasyonu, ekim maya fermentasyonu ve ticari maya fermentasyonudur.

- Eğik Agar

Maya üretiminin başlangıcı laboratuarda yapılmaktadır. İlk aşama olan eğik agarda mayanın gelişmesi için gerekli olan besin maddeleri eklenip maya gelişimi sağlanmaktadır.

- Aşı Balonu

Eğik agarda geliştirilen maya ikinci aşama olarak aşı balonuna aktarılır. Bu aşamada maya için gerekli olan tuzlar, şeker ve oksijen ilave edilerek gelişime bırakılmaktadır. Eğik agar ve aşı balonu aşamaları aşılama prosesini oluşturmaktadır.

- Pür Kültür Fermentasyonu

Üçüncü aşama pür kültür fermentasyonudur. Bu aşamada fermentasyonun gerçekleştirildiği fermentöre üretimin hammaddesi olan melas, gerekli nütrientler,

tuzlar ve su ilave edilmektedir. Fermentör steril edildikten sonra aşı balonunda geliştirilmiş maya fermentöre aşılanmaktadır.

- Ana Maya Fermentasyonu

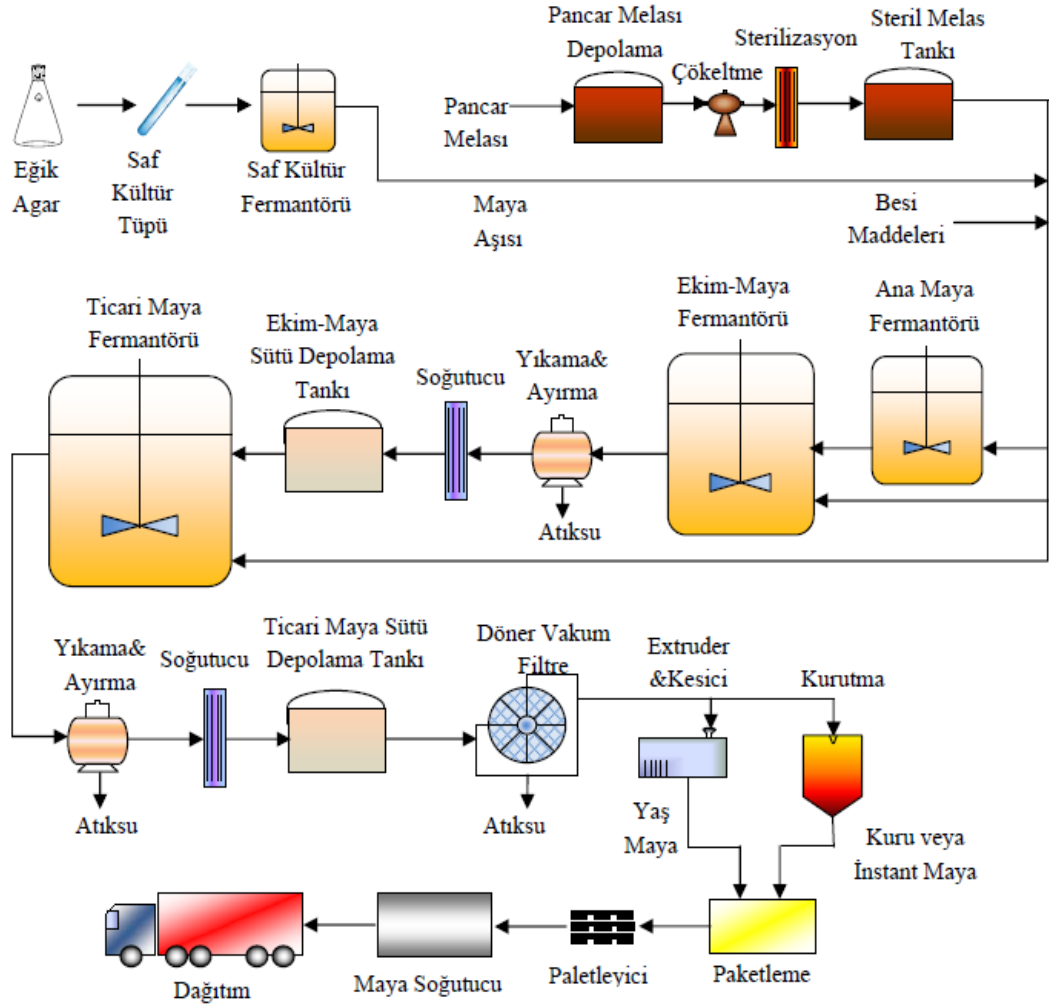
Maya üretiminin dördüncü aşaması ana maya fermentasyonudur. Ana maya fermentasyonu için gerekli olan nütrientler ve su önceden fermentöre ilave edilerek pür kültür fermentasyonda olduğu gibi yine sistem sterilize edilir. Daha sonra pür kültür fermentasyonundan elde edilen mayanın bir kısmı ana maya fermentörüne aktarılmaktadır.

- Ekim Maya Fermentasyonu

Beşinci aşama olan ekim maya fermentasyonunda, ana maya fermentasyonundan sonra elde edilen mayanın bir kısmı fermentöre aktarılmaktadır. Bu işlem sonunda elde edilen maya seperatörler yardımı ile fermentasyon ortamından ayrılmaktadır. Maya böylelikle ekim maya sütü olarak adlandırılan hale getirilmiş olmaktadır.

- Ticari Maya Fermentasyonu

Ticari maya fermentasyonu son aşamadır. Bu aşamada maya üretiminin yanı sıra maya kalitesinin artırılması da amaçlanmaktadır. son fermentör ticari ölçekte olup yüksek oranda havalandırma ve melas ve diğer besin elementlerinin ilavesi için gerekli donanımına sahiptir. İşlem süresi 11-15 saattir. Gerekli melas ilavesinden sonra 0,5-1,5 saat havalandırma yapılarak mayaların depo stabilitesi artırılır. Bu aşamada mayaya kurutma ve paketlemeye hazır olmasını sağlayacak nitelikler kazandırılır. Aşağıda maya üretim prosesinin genel akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Maya üretim prosesi genel akım şeması (Öztürk vd., 2010).

#### 2.1.2.4 Ürün oluşumu ve paketleme

Üretilen maya, santrifüj maya ayırıcıları ile ticari fermentörden alınır. Üretilen %4–5 kuru madde içerikli maya çözeltisi separatörlerde süzildükten sonra %18–22 kuru madde içeren maya sütü elde edilmektedir. Maya sütünün kuru madde içeriği döner vakum filtrelerde %30-33'e yükseltilmektedir. Böylece yaş maya üretilmiş olur. Talebe göre yaş mayanın kurutulması yoluyla kuru madde içeriği %90-96'ya yükseltilerek kuru maya ve instant maya gibi ürünler de elde edilebilmektedir.

Yaş Maya ve Kuru Maya olmak üzere 2 çeşit ekmek mayası türü vardır. Bunlardan da yaş maya Taze krem/sıvı maya ve Yaş pres maya, kuru maya ise Aktif kuru maya ve Çözülebilir (instant) kuru maya olmak üzere üretim yöntemlerine göre sınıflandırılabilir. Krem Maya üretiminde; kesikli sistemde kademeli olarak maya çoğaltması tamamlandıktan sonra, maya hücreleri ortamdaki organik atık maddeden ayrıştırılmak suretiyle santrifüj yöntemiyle yıkanıp konsantre hale getirilir,

soğutularak krem tanklarında muhafaza edilir. Mayanın geleneksel şekli olan yaş pres maya yapımı için kuru madde miktarını % 30'a çıkarmak üzere krem mayanın suyu uzaklaştırılır. Homojen bir şekilde istenilen blok formatında ekstruderden geçirilir. Gıdaya uygun ambalaj kağıdı ile paketlenir.

- Yaş Maya

#### Taze Krem / Sıvı Maya

Ticari maya fermentasyonu sonucu elde edilen ticari maya sütünün döner vakum filtreden geçirilip kuru madde muhtevasının %30-33'e yükseltilmesiyle elde edilen üründür. Krem maya, normal sıvı-işleme ekipmanları ile pompalanabilir ve miktarı ölçülebilir (Narlin Gıda Turizm İthalat İhracat San. Ve Tic. Ltd. Şti. Maya Üretim Tesisi Nihai Çed Raporu, 2010).



**Şekil 2.3:** Krem maya görünümü.

#### Yaş Pres Maya

Mayanın geleneksel şekli olan yaş pres maya yapımı için kuru madde miktarını %30'a çıkarmak üzere krem mayanın suyu uzaklaştırılır. Homojen bir şekilde istenilen blok formatında ekstrude edilir. Gıdaya uygun ambalaj kağıdı ile paketlenir. Yaş maya raf ömrünün kısa olması nedeniyle ambalajı üzerinde belirtilen muhafaza sıcaklığına dikkat edilmelidir. (En uygun ortam: 0-4°C'deki kuru ve temiz ortamdır.)



**Şekil 2.4:** Pres maya görünümü.

- Kuru Maya

#### Aktif Kuru Maya

Kuru aktif maya %92-94 kuru madde miktarına kurutulmuş yaş pres mayadır. Düşük nem içeriği nedeniyle kararlı olmakla birlikte oda rutubetini absorbe edebilir. Kullanmadan önce 35-40°C sıcaklıkta suda 10-15 dakika bekletilmesi gerekmektedir. Soğuk su kullanıldığında maya aktivitesi azalacağı gibi, tersi durumunda, yüksek sıcaklıklarda denatürasyondan dolayı maya aktivitesi yok olabilir (Narlin Gıda Turizm İthalat İhracat San. Ve Tic. Ltd. Şti. Maya Üretim Tesisi Nihai Çed Raporu, 2010).



**Şekil 2.5:** Aktif kuru maya görünümü.

#### İnstant Kuru Maya

Yaş mayanın kurutma işlemi ile kuru madde muhtevasının %90–96'ya yükseltilmesiyle elde edilen üründür. Kararlılığını uzun süre koruyabilmesi ve nem

değişmelerinin önlenmesi için vakum altında paketlenmiştir. Paketi açtıktan sonra buzdolabı koşullarında kapalı bir kaptaki saklanmalı ve 3-5 gün içerisinde kullanılmalıdır (Narlin Gıda Turizm İthalat İhracat San. Ve Tic. Ltd. Şti. Maya Üretim Tesisi Nihai Çed Raporu, 2010).



**Şekil 2.6:** İstant kuru maya görünümü.

### **2.1.3 Maya endüstrisi emisyonları**

Fermentasyon sürecinin yan ürünü olarak uçucu organik bileşik emisyonları oluşmaktadır. Oluşan en önemli iki ana uçucu bileşik etanol ve asetaldehitir. Bunların dışında oluşan diğer yan ürünler; bütanol, organik asitler, izopropil alkol ve asetatlardır. Toplam uçucu organik bileşik emisyonlarının %80-90 kadarı etanol ve kalan %10-20 kadarı ise alkol ve asetaldehitleri içerir. Asetaldehit zararlı hava kirliliğine yol açmaktadır. Uçucu yan ürünlerin oluşmasının nedeni fermentörde aşırı şekerin ilavesinde ya da fermentöre yetersiz oksijen verilmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun sonucunda anaerobik fermentasyon meydana gelir, alkol ve karbondioksitteki aşırı şeker çöker. Anaerobik mayalanma oluştuğunda glikozun 1 molünden 2 mol etanol ve 2 mol karbondioksit oluşmaktadır. Bu durumda etanol artmakta, maya ise azalmaktadır. Buna engel olabilmek için her aşamada fermentöre yeterli oksijen ile melas karışımının verilip etanol oluşumu engellenmelidir.

### **2.1.4 Maya atıksularının özellikleri ve arıtma yöntemleri**

#### **2.1.4.1 Maya üretiminde su kullanımı**

Maya üretiminde önemli miktarda ve yüksek kalitede su kullanılmaktadır. Su; fermentasyon prosesinin her aşamasında ve sonrasında, hammadde olan melasın

temizlenmesi ve sterilize edilmesinde, filtreleme, karıştırma, ekstrüzyon ve kesme aşamalarında ve üretim alanlarının ve donanımın temizliğinde kullanılmaktadır.

#### 2.1.4.2 Temel kirletici parametreler ve maya atıksularının özellikleri

Maya endüstrisi atıksuları, düşük pH'a ve yüksek seviyede organik kirliliğe sahip, yüksek KOİ, koyu renkli ve yüksek azot konsantrasyonu ile karakterize edilmektedir. Renkli bileşikler genellikle yüksek molekül ağırlıklı melanoidin türü bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Melanoidin bileşikleri ise ekmek mayası endüstrisinde hammadde olarak kullanılan melastan üretimdeki çeşitli işlemler sonucunda atıksuya geçmektedir.

Maya endüstrisinde temel kirletici parametreler KOİ, AKM, BOİ, toplam azot, bulanıklıktır. Atıksu karakterizasyonunda kullanılan parametreler Çizelge 2.2'de verilmiştir. (Tünay,1996)

**Çizelge 2.2:** Atıksu Karakterizasyonunda Kullanılan Temel Kirletici Parametreler.

| Fiziksel Parametreler | Kimyasal Parametreler  | Biyolojik Parametreler       | Deşarj Bilgileri           |
|-----------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Renk                  | pH                     | BOİ <sub>5</sub>             | Ortalama günlük akış oranı |
| Koku                  | KOİ                    | Patojenik mikro organizmalar | Sürekli max. akış oranı    |
| Radyoaktivite         | TOK                    |                              | Akış değişimi max. oranı   |
|                       | İnorganik bileşenler   |                              |                            |
|                       | Klor ihtiyacı          |                              |                            |
|                       | Yağ                    |                              |                            |
| Sıcaklık              | Hidrokarbon            | Toksisite                    |                            |
|                       | Fenol                  |                              |                            |
| AKM                   | Toplam çözünmüş tuzlar |                              |                            |
| DO                    | Sülfatlar              |                              |                            |
| Köpük                 | Azot ve fosfor         |                              |                            |
|                       | Sertlik                |                              |                            |
| Korozyon              |                        |                              |                            |
| Bulanıklık            |                        |                              |                            |

Ekmek mayası endüstrisi çıkışları çeşitli kirleticiler içermektedir. Aşağıda verilen tabloda maya atıksuları ile yapılan bir çalışma sonucunda elde edilen ekmek mayası çıkış sularının özellikleri verilmiştir. Çalışmaya göre renk değeri ölçülmemekle beraber, çıkış suyu her zaman çok koyu renktedir (Pala vd.,2005).

**Çizelge 2.3:** Anaerobik girişi, çıkışı ve aerobik girişi, çıkışı maya atıksuyu özellikleri (Pala vd., 2005).

| Maya Atıksuyu Özellikleri |                                        |                                   |                |
|---------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Parametreler              | Proses Çıkış Suları (Anaerobik Girişi) | Anaerobik Çıkışı (Aerobik Girişi) | Aerobik Çıkışı |
| pH                        | 5,9-6,12                               | 7,6-8                             | 7,6-8          |
| KOİ (mg/l)                | 20100-22122                            | 3746-4400                         | 601-899        |
| BOİ <sub>5</sub> (mg/l)   | 14120-15420                            | 2250-3004                         | 90-148         |
| Yağ ve Gres (mg/l)        | 9-10                                   | 9-10                              | 9-10           |

Genellikle ekmek mayası endüstrisinde üç çeşit atıksu bulunmaktadır. Bunlar;

- Yüksek Kirlilikte Atıksular: KOİ değeri 8000-10000 mg/l'den yüksek olan atıksular yüksek kirlilikte atıksular olarak ifade edilmektedir. Üretim sürecinde mayanın saflaştırılması, santrifüjlenmesi ve filtrasyon gibi işlemler sonucunda elde edilen ve yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı olan koyu renkli atıksulardır. Döner filtre yıkama, evaporasyon tesisi yıkama ve melas tankı yıkama suları yüksek kirlilikte atıksulardır.
- Orta Kirlilikte Atıksular: KOİ değeri 500-3000 mg/l aralığında olan atıksular orta kirlilikte atıksular olarak sınıflandırılırlar. Evaporasyon kondensatı, fabrika kesonuna gelen proses ve yıkama suları bu kategoride bulunmaktadır.
- Düşük Kirlilikte Atıksular: KOİ değeri 100 mg/l'den düşük olan atıksular bu sınıfta yer almaktadır. Bu tip atıksular daha az kimyasal oksijen ihtiyacı olan ve daha açık renkte atıksulardır. Üretim sürecinde çeşitli yıkama işlemleri sonrasında, ekipman durulama, kazan blöfleri , soğutma suyu taşkınları düşük kirlilikte atıksular olarak ifade edilmektedir.

#### 2.1.4.3 Maya atıksuları deşarj limitleri

Tesis, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (31 Aralık 2004)'ne göre Gıda Sanayi kategorisi Maya Üretimi alt kategorisine girmektedir. Yönetmeliğe göre maya atıksularının alıcı ortamlara deşarj standartlarında kısıtlama getirilen parametreler; KOİ, AKM, pH, yağ ve gres parametreleridir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde sektör bazında çeşitli maya endüstrileri için alıcı ortama deşarj standartları Çizelge 2.4'te verilmiştir. Bu yönetmelik, 31 Aralık 2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmi gazetede yayınlanmıştır.

**Çizelge 2.4:** Maya endüstrisi atıksuyu alıcı ortama deşarj standartları.

| Parametre                       | Birim  | Kompozit Numune (2 Saatlik) | Kompozit Numune (24 Saatlik) |
|---------------------------------|--------|-----------------------------|------------------------------|
| Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) | (mg/l) | 1200                        | 1000                         |
| Askıda Katı Madde (AKM)         | (mg/l) | 200                         | 100                          |
| Yağ ve Gres                     | (mg/l) | 60                          | 30                           |
| pH                              | -      | 6-9                         | 6-9                          |

## 2.2 Maya Endüstrisi Atıksularında Renk Problemi ve Renk Giderme Yöntemleri

### 2.2.1 Atıksularda renk problemi

Endüstriyel atıksularda problem olarak karşımıza çıkan parametrelerden birisi renktir. Renkli atıksular tekstil, boya ve vernik, mürekkep, plastikler, kağıt hamuru ve kağıt, kozmetikler, tabakhaneler, deri ve gıda endüstrilerinden kaynaklanmaktadır (Görün, 2010).

#### 2.2.1.1 Rengin tanımı

Renk, organik bileşiğin yapısında yer alan ve "kromofor grup" adı verilen grupların özelliklerine bağılı olarak görünür ışığın belli dalga boyundaki kısımlarını yutması ve geri kalan dalga boylarını yansıtması sonucunda göz tarafından görülen karakteristik şeklinde ifade edilebilir. Kromofor grupların görünür ışığı oluşturan dalga boylarında yuttuğu kısımlara "absorplanan renk", yansıttığı kısımlara ise "komplementer renk" adları verilir (Köseoğlu, 2004).

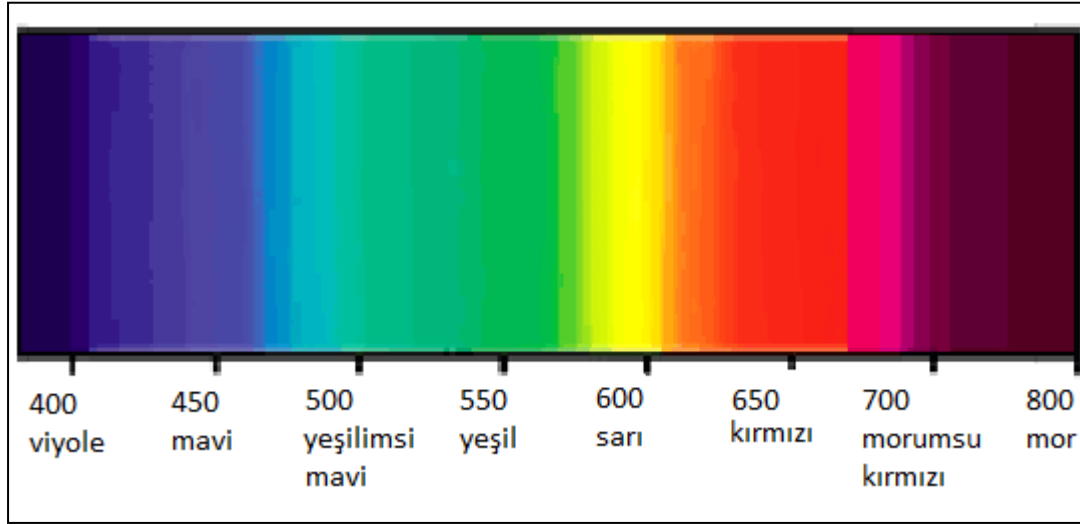
Renk, ışığa bağılı bir kavramdır. Işığın olmadığı karanlık bir yerde cisimlerin renklerini fark etmek mümkün değildir. Gözümüz sadece ışığa karşı duyarlı olduğundan, ancak ışığın varlığında renkler fark edilebilir. Renk kelimesi ise subjektif bir kavram olup birçok anlamda kullanılabilir (Gönder, 2004).

Psikolojik renk, insan beyninde uyandırılan bir duygu olarak ifade edilebilir. Fizyolojik renk, farklı ışık türlerinin (örn. Güneş ışığı, elektrik lambası vs.) gözümüzün retinasında ve görme sinirlerinde oluşturduğu fizyolojik olaylar topluluğudur. Fiziksel renk ise belirli bir ışığın hangi dalga boylarını hangi oranda

içerdiğinin ölçü ve rakamlarla kesin olarak belirtilmesidir. Fiziksel renk, spektroskopik yöntemlerle ölçülmektedir (Gönder, 2004).

**Çizelge 2.5:** Işık absorpsiyonu ve renk.

| Absorplanan Işık |                | Bileşiğin Rengi (komplementer renk) |
|------------------|----------------|-------------------------------------|
| 400-440 nm       | Viyole         | Sarımsı yeşil                       |
| 440-480 nm       | Mavi           | Sarı                                |
| 480-490 nm       | Yeşilimsi mavi | Turuncu                             |
| 490-500 nm       | Mavimsi yeşil  | Kırmızı                             |
| 500-560 nm       | Yeşil          | Eflatun                             |
| 560-580 nm       | Sarımsı yeşil  | Viyole                              |
| 580-595 nm       | Sarı           | Mavi                                |
| 595-605 nm       | Turuncu        | Yeşilimsi mavi                      |
| 605-750 nm       | Kırmızı        | Mavimsi yeşil                       |



**Şekil 2.7:** Görünür Spektrum (Nanometre dalga boyunda).

Görünen ışık 400 - 750 nm dalga boyunda olup, elektromagnetik spektrumun çok küçük bir kısmını oluşturur. Sarı renkli görünen maddede mavi ışığın dalga boyu ( $\lambda=440-480$  nm), yeşil renkli görünen maddede kırmızı ışığın dalga boyu ( $\lambda=605-750$  nm) absorplanmıştır.

### 2.2.1.2 Rengin önemi

Endüstriyel atıksularda problem olarak karşımıza çıkan parametrelerden birisi renktir. Renkli atıksular tekstil, boya ve vernik, mürekkep, plastikler, kağıt hamuru ve kağıt, kozmetikler, tabakhaneler, deri ve gıda endüstrilerinden kaynaklanmaktadır.

Ekmek mayası endüstrisi atıkları, yüksek biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve koyu kahverengi rengi nedeniyle önemli bir kirlilik

kaynağıdır. Bu endüstride kullanılan şeker pancarı melasları yüksek moleküler ağırlıklı melonoidin tipindeki koyu kahverengi renklendiriciler içermektedirler.

Melanoidin pigmenti alkol damıtma veya ticari maya üretimi sonucunda çıkan, melas içeren atık sulara bulunan koyu kahve renkli, yapısı karmaşık olan biyopolimerdir. Melanoidinler doğal olarak gıda ve içeceklerde de yaygın olarak bulunmaktadır (Painter, 1998). Yüksek oranda renk veren bu bileşiklerin parçalanması oldukça zordur (Miyata, 2000). Organik maddelerde bulunan amino ve karbonil grupları arasındaki maillard reaksiyonlarının sonucunda oluşur. İçerisinde melas gibi yüksek oranda renk içeren atık sular göl, nehir, deniz gibi ortamlara deşarj edildiğinde, alıcı ortamların bulanıklılığını arttırarak, güneş ışığının suyun içerisine girişini azaltırlar. Bunun sonucunda sudaki yaşam fotosentez aktivitesi ve buna bağlı olarak çözünür oksijen konsantrasyonunun azalması nedeniyle zarar görür (Kumar ve diğ., 1997). Toprağa atıldığı zaman da toprağın alkalinitesini azaltarak, o alanda vejetasyonun zarar görmesine neden olduğu gibi tohumların çimlenmesi üzerine de negatif etki yapmaktadır (Agarwal ve Pandey, 1994).

Bu endüstrinin atıksularının anaerobik-aerobik arıtma kombinasyonu sonrasında proses suyundaki KOİ giderimi büyük ölçüde sağlanmış olsa bile atıksudaki renk ve koku (bozuk yumurta ve lağım kokusuna benzeyen spesifik bir koku) giderilmiş olmamaktadır. Bu koyu renk, maya üretiminin hammaddesi olan melastan kaynaklanmaktadır. Yeterli renk ve koku giderimi sağlanamadığı durumlarda, maya atıksuları alıcı su ortamlarında birikerek suyun hem estetik görünümü bozar hem de ışık geçirgenliğini azaltır. Işık geçirgenliğinin azalması ve çözünmüş oksijen miktarının düşmesi canlıların yok olmasına sebep olmakla beraber suyun yeniden kullanım imkanlarını da kısıtlamaktadır.

Renk, atıksu deşarjında mevcut standartlara göre sınırlayıcı bir parametre olmamakla birlikte estetik açıdan bir problem yarattığı gibi suyun yeniden kullanım imkanını da kısıtlamaktadır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından verilmiş olan kıyasal deşarj standartında renk için açık denizlere deşarj sırasında maksimum 1:40 seyrelmede renk oluşmaması, kapalı alanlarda ise 1:20 seyrelmede renk oluşmaması istenmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde ise Avrupa Normu EN ISO 7887 çerçevesinde endüstriyel atıksular için de renk parametresi ve sınırları verilmektedir (Mahramanlıoğlu ve diğ., 2006)

Türkiye’de yasal mevzuatta renk parametresi bazı yönetmeliklerde yer almaktadır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)’nde Bölüm 6’da verilen “Alıcı Su Ortamına Atıksu Deşarj İzni” ile ilgili maddelerden Madde 37’de renk parametresine değinilmektedir. Bu maddeye göre: Alıcı su ortamında renk parametresi 300 birim (Pt –Co) den fazla ölçülür ise ortama deşarj yapan ilgili işletmelerin sektör tablolarındaki analizler yeniden yapılır. Yapılan analiz sonucunda sektör tablosunda belirtilen parametrelerde istenilen limitlerin sağlanmaması halinde gerekli işlem yapılır. Ayrıca, SKKY Yönetmeliği gereğince (Ekler-Tablo 1), alıcı su ortamına deşarj edilen suyun rengi alıcının sınıfına göre 5 (Sınıf I), 50 (Sınıf II), 300 (Sınıf III) Pt –Co’ dan yüksek olmamalıdır.

24 Nisan 2011 tarih ve 27914 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde değişiklik yapılmasına dair yönetmelikte renk parametresine sınır getiren bir tablo eklenmiştir. Sınırlandırmaya göre renk değeri 2 saatlik kompozit numune için 280 Pt-Co, 24 saatlik kompozit numune için ise 260 Pt-Co'u geçmemelidir.

Renk, yasal açıdan çoğu zaman bir problem teşkil etmemekle birlikte estetik açıdan sorun oluşturduğu için arıtma tesisi çıkışı deşarj sularının renkli olması istenmeyen bir durumdur.

### **2.2.1.3 Renk ölçüm yöntemleri**

İki tür renk kavramı vardır:

Gerçek renk: Atıksu numunesi içindeki bulanıklık oluşturuıcı partiküllerin doğurduğu rengin önüne geçilmesi için santrifüj ve filtrasyon tatbik edilmiş numudeki renktir. Gerçek renk organik maddelerden kaynaklanır.

Zahiri renk: Santrifüj veya filtrasyon yapılmaksızın doğrudan ölçülen renktir. Zahiri renge askıda kolloidal katılar sebep olmaktadır. Endüstriyel atıksularda her iki renk türü de ölçülmelidir.

Standart çözeltilerle mukayese (görsel mukayese) metodu, arazi metodu ve renk ölçme cihazları (spektrofotometre) ile renk tayini yapılmaktadır. Endüstriyel atıksularda kirlenmeler farklı renkler üretebileceği için bu tip suların renk tayini ölçme cihazları ile yapılmalıdır (Barlas, 1999).

- Görsel Karşılaştırma Metodu

Rengin, numunenin bilinen konsantrasyonlardaki renk çözeltileri ile görsel olarak karşılaştırılması sonucu "mg/l Pt-birimi" şeklinde tespit edilir. Karşılaştırma işlemi özel olarak yapılmış ve uygun bir şekilde kalibre edilmiş renkli cam disklerle yapılır. Platin-Kobalt (Hazen Metodu) metodu standart bir metottur. 1 mg/L platin ile üretilen renk, standart renk birimi olarak kabul edilir. Ölçümlerde 500 mg/L platin için  $K_2PtCl_6$  (Potasyumkloroplatinat)'dan stok çözelti hazırlanır. Uygun tonu sağlamak için kobalt klorür eklenir. Stok çözeltinin rengi 500 birimdir. Çalışma standartları bu çözelti seyreltilerek hazırlanır. Standart çözeltiler, "Nessler Tüpleri" olarak adlandırılan camdan yapılmış renk karşılaştırma tüplerine konur. 0'dan 70'e kadar olan tonlarda çalışılır. Eğer numune 70 birimden fazla renge sahipse, ölçüm numunenin distile su ile seyreltilmesinden sonra yapılır ve sonuçlar seyrelme göz önüne alınarak hesaplanır (Barlas, 1999).

Platin-kobalt metodu, içilebilir suların ve doğal maddelerin oluşturduğu rengi içeren sularda yapılan renk ölçümlerinde kullanılır. Aşırı renkli ve endüstriyel atıksular için uygulanabilir değildir (Barlas, 1999). Çok hafif bir bulanıklık bile, görülen rengin gerçek renkten çok büyük çıkmasına neden olur. Bu nedenle bulanıklık, gerçek rengin ölçümünden önce giderilmelidir. Suyun renk değeri, pH'daki artışa bağlıdır. Renk değerleri kaydedilirken, tespit edilen her renk için pH değeri belirtilmelidir (Barlas, 1999). Bu yöntemde çevre kirlетici metaller kullanıldığı için özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde Hazen yöntemi terk edilmektedir.

- Spektrofotometrik Yöntem

Bir çözeltinin rengi demek, bunun içinden geçen ışığın fiziksel ya da çoğunlukla psikolojik rengi demektir. bu metotta, bir maddenin görüldüğü renginin komplementer rengindeki dalga boyu absorplanır ve spektrofotometre yardımı ile adsorplanma miktarı tespit edilip renklilik miktarı hassas bir şekilde belirlenir (Barlas, 1999).

Bir su numunesinin renginin şiddeti, en yüksek absorpsiyonlarının görüldüğü dalga boylarındaki ışık absorpsiyonları ile karakterize edilir ve ekstinksiyonun bir spektrofotometre yardımıyla ölçülmesiyle de niceleyici olarak belirlenir. Genel olarak sarı-kahverengi renge çalan suların çoğu ve evsel atık su arıtma tesislerinin çıkış suları kesin ve belirli ekstinksiyon maksimumları göstermezler. Bu tip suların

renklerini belirleyebilmek için belirli dalga boylarında ölçümler yapılır. Endüstriyel atık suların rengini Avrupa Normuna göre belirleyebilmek için görünür ışık spektrumu içinde yer alan üç dalga boyu seçilmiştir (Barlas, 1999). (  $\lambda(1)= 436$  nm,  $\lambda(2)= 525$  nm ve  $\lambda(3)= 620$  nm )

$\lambda =436$  nm (Hg 436 nm)'de ölçüm zorunludur.  $\lambda(2)$  ve  $\lambda(3)$  dalga boylarında ise belirlenen değerlerde çok az sapmalar olabilir. Karakterizasyonun daha iyi olması içim ekstinksiyon maksimumuna yakın değerlerde de ölçüm yapılması faydalı olabilir (Barlas, 1999).

- Tristumulus Filtre Metodu

Filtre Fotometresi içindeki fotoelektrik pil ve özel ışık kaynağı ile donatılmış üç adet tristumulus filtresi, genel kontrol amaçlarına uygun renk verileri oluşturmak için kullanılır. Çözeltilerden geçen tristumulus ışığının yüzdesi her üç adet filtre için de belirlenir. Belirlenen transmittans değerleri trikromatik sabitlere ve renk karakteristiği değerlerine dönüştürülür. Bu yöntem içme sularına, yüzeysel sulara, evsel ve endüstriyel atıksulara uygulanabilir. Bazı durumlar dışında spektrofotometrik yöntemle benzer sonuçlar verir (Barlas, 1999).

- ADMI Tristumulus Filtre Metodu

Bu metod tristumulus metodunun geliştirilmesiyle elde edilmiştir. Bu yöntemle numunenin rengi renk tonuna bağlı olarak, Adams-Nickerson tarafından bulunmuş olan formül yardımıyla numuneler arasındaki renk farklılıkları hesaplanarak belirlenir. Örneğin iki numunenin rengi görsel olarak birbirinin aynısıysa ADMI renk değerleri de aynı olacaktır. Yöntemin modifikasyonu Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü tarafından yapılmıştır (Barlas, 1999).

- Renklilik Sayısı Metodu

Hazen (Pt-Co) renk ölçüm yöntemi sadece doğal suların renk ölçümünde kullanılabilmektedir. Hekzakloroplatinat standart çözeltisiyle numunenin gözle karşılaştırılmasıyla rengin “mg/L Pt-Birimi” şeklinde belirlendiği bu yöntemde çevre kirleticiler metaller kullanıldığı için özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde Hazen yöntemi terk edilmektedir. 1994 yılında yayınlanan uluslararası Avrupa Normu EN ISO 7887'ye göre doğal sular ve açık renkli endüstriyel atıksuların rengi optik bir cihaz yardımıyla ölçülmektedir. Burada söz konusu olan, numunenin 0.45  $\mu$ m membran filtreden süzülmesinden sonra ölçülen “gerçek renk” tir.

Bir su numunesinin renginin şiddeti, en yüksek absorpsiyonlarının görüldüğü dalga boylarındaki ışık absorpsiyonları ile karakterize edilir ve ekstinksiyonun bir spektrofotometre yardımıyla ölçülmesiyle de kantitatif olarak belirlenir. Genel olarak sarı-kahverengi renge çalan suların çoğu ve evsel atıksu arıtma tesislerinin çıkış suları  $\lambda=436$  nm boyunda ölçülürler. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin çıkış suları kesin ve belirli ekstinksiyon maksimumları göstermezler. Bu tip suların renklerini belirleyebilmek için belirli dalga boylarında ölçümler yapılır. Endüstriyel atıksuların rengini yukarıda verilen uluslararası norma göre belirleyebilmek için görünür ışık spektrumu içinde yer alan üç dalga boyu seçilmiştir:

$$\lambda (1) = 436 \text{ nm}$$

$$\lambda (2) = 525 \text{ nm}$$

$$\lambda (3) = 620 \text{ nm}$$

$\lambda=436$  nm (Hg 436 nm)'de ölçüm zorunludur.  $\lambda (2)$  ve  $\lambda (3)$  dalga boylarında ise belirlenen değerlerde çok az sapmalar olabilir. Karakterizasyonun daha iyi olması için ekstinksiyon maksimumuna yakın değerlerde de ölçüm yapılması faydalı olabilir (Barlas, 1999).

Ölçümden önce çözünmemiş maddelerin girişimini önlemek için su numunesi filtre edilmelidir. Fakat filtrasyonun kendisi de bazı istenmeyen durumlara neden olabilir (örnek: Hava ile temas sonucu oluşabilecek çökelmeler). Demir ve mangan bileşikleri filtre tarafından tutulabilir veya bu esnada renkli bir oksidasyon basamağına yükseltgenebilirler. Çok ince kolloidlerin var olması durumunda berrak bir süzüntü elde edilemeyebilir. Bu durumda sonuçlar verilirken kolloid partiküllerin varlığından da bahsedilmelidir (Barlas, 1999).

Ölçüm yapılan spektrofotometrik cihaz 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarında ölçümlere uygun olmalıdır. Spektrofotometre işletmeye alınır. Su numunesi ölçümden önce 0.45  $\mu\text{m}$  membran filtreden süzülür. Su numunesi, spektrofotometre küvetine konur. Karşılaştırma küvetine de, optikçe saf su konur. Doğal sular, 436 nm'de optikçe saf suya karşı ölçülürler. Doğal sular gerektiğinde, endüstriyel atıksular ise mutlaka 525 nm ve 620 nm'de de ölçülürler. Avrupa Normuna göre belirlenen limitler, 436 nm için 7  $\text{m}^{-1}$ , 525 nm için 5 $\text{m}^{-1}$ , 620 nm için 3  $\text{m}^{-1}$ 'dir (Barlas, 1999).

Spektral Absorpsiyon değeri  $\alpha$  ( $\lambda$ ), EN ISO 7887 tarafından belirtilen Denklem (2.1) ile hesaplanır.

$$\alpha = \frac{A}{d} \times f \quad (2.1)$$

A:  $\lambda$  dalga boyunda su numunesinin ekstinksiyonu

d: Numunenin kalınlığı (küvet genişliği, mm)

f : Spektral Absorpsiyon değerini  $m^{-1}$  biriminde elde etmek için faktör,

burada  $f = 1000$

Yukarıdaki ifadelerden bir renk parametresi olan RES elde edilmiştir. RES değeri denklem (2.2) ile hesaplanır.

$$RES = 100. (E\lambda/d) \quad (2.2)$$

$E\lambda$  : Ekstinksiyon (belirli dalga boyunda)

d : Su numunesi kalınlığı (cm)

Bu durumda RES birimi  $m^{-1}$  olmaktadır. Tüm bu ifadelerde Lambert-Beer Kanunu geçerlidir (Barlas, 1999).

## 2.2.2 Maya atıksularından renk giderim yöntemleri

### 2.2.2.1 Fiziksel yöntemler

- Aktif Karbon Adsorpsiyonu

Adsorpsiyon, bir ara kesit veya yüzey üzerinde maddenin birikimi ve değişiminin arttırılması olayıdır. Yüzeyde tutulan madde “adsorblanan”, yüzeyinde tutulan madde ise “adsorban” dır. Absorpsiyon olayı, Van der Waals kuvveti denilen moleküller arası çekimden kaynaklanmaktadır.

Aktif karbon adsorpsiyonu, evsel ve endüstriyel atık sulardan bazı inorganik ve organik maddelerin uzaklaştırılması için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir. Aktif karbon adsorpsiyonu ile tanin, lignin, eter, proteinsi maddeler, renk ve koku oluşturan organik maddeler, metilen mavisi aktif maddeler, pestisitler ve bazı toksik iz elementler uzaklaştırılmaktadır (Gönüllü, 2004).

Aktif karbon ile adsorbsiyon olayını etkileyen faktörler; aktif karbonun özelliği, absorbe edilen maddenin özelliği ve konsantrasyonu ve atıksuyun özelliğidir. Aktif karbon, toz veya granül halde atıksuya uygulanabilmektedir. Granül aktif karbon kullanılması daha yaygın bir uygulamadır. Atıksu granül karbon yatakları üzerinden geçirilir. Karbon adsorplama kapasitesi dolduktan sonra kolondan alınır ve rejenere edilir. Granül aktif karbondaki seçilen hammaddenin yapısal olarak daha kuvvetli olması gerekmektedir. Toz halde süspansiyon olarak kullanılan aktif karbon kullanıldıktan sonra partiküller çöktürülerek atıksudan ayrılır (Gönüllü, 2004).

- İyon Değişimi

Bir karışımdaki iyonları tutarak bunların yerine bünyelerindeki iyonları veren malzemeler iyon değiştiricilerdir. İyon değişimi öncesinde AKM, kolloidler atıksudan uzaklaştırılmalıdır. İyon değiştiriciler, çözünür olmayan katı maddenin yüzeyindeki anyon veya katyonun, çözeltideki benzer yüklü iyon ile yer değiştirmesi ilkesine dayanır. Belli başlı iki iyon değiştirici grup vardır. Bunlar fonksiyonel grupları, sulu ortamdaki katyonlarla reaksiyona girebilen katyon değiştiriciler (  $R - H^+$  ) ve fonksiyonel grupları, sulu ortamdaki anyonlar ile reaksiyona girebilen anyon değiştiricilerdir (  $R - OH^-$  ).

Reçineler sentetik ve doğal reçineler olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal reçinelere örnek olarak zeolit verilebilir. Sentetik reçineler, birbirine bağlı polimer zincirlerden oluşan ve iyonların bu zincirlere kovalent bağlarla tutulduğu katı malzemelerdir. İyon değiştirme sisteminde atıksu, mevcut değişim bölgeleri doygunluğa erişene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçer. Yöntemin avantajları, rejenerasyonla adsorban kaybının bulunmaması, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesidir. En büyük dezavantaj ise yöntemin maliyetidir. Renk gideriminde iyon değiştiricilerin kullanılması henüz yeterince yaygın değildir. Bunun ana nedeni, iyon değiştiricilerle arıtılarak olumlu sonuç alınan atıksu sınıfının kısıtlı olduğu düşüncesidir (Kocaer ve Alkan, 2002).

- Membran Filtrasyon

Membran, iki fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan ince ve geçirgen bir tabaka olarak ifade edilir. Membranların sayesinde sağlanan seçici kütle transferleri konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla

gerçekleşmektedir. Ayrılacak maddelerin büyüklükleri ve kimyasal özellikleri, uygulanacak membranın gözenek çapını belirlemektedir (Gönüllü, 2004). Gözenek çaplarına göre membranlar mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters ozmos olmak üzere dörde ayrılır. Gözenek çapı küçüldükçe uygulanacak basınç artmaktadır (Gönüllü, 2004). İşletim şekline göre; dik akışlı ve çapraz akış ile işletilirler. Çapraz akış daha çok tercih edilmektedir. Çünkü çapraz akışlar filtrenin temizlenmesine yardımcı olur ve filtre daha geç tıkanır. Membran proseslerde kimyasal madde kullanımı yok denecek kadar azdır. Enerji maliyeti düşüktür. Kolayca nakledilen sistemlerdir. Membran proseslerinde membranlar sınırlı kullanım ömrüne sahiptir ve periyodik olarak değiştirilmektedirler. Bu durum proseslerin maliyetlerini arttırmaktadır.

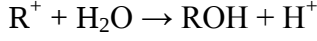
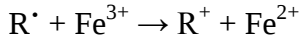
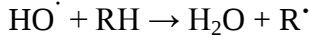
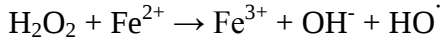
- Elektrokoagülasyon

Elektrokoagülasyon yöntemi son on yılda gelişmiş ülkelerde endüstriyel atıksuların arıtımı için gittikçe artarak kullanılmaya başlanmış olan bir yöntemdir. Basit ve etkili bir yöntem olmasının yanı sıra ayrıca kimyasal madde ilavesi söz konusu olmadığından ikincil kirlilik problemi ile karşılaşmaz, basit ekipman, daha az iş gücü ve daha küçük alanlarda uygulanabilir. Ülkemizde ise bu prosesin uygulanabilmesi için en önemli sorun elektrik pahalı olduğu için elektrik sarfıyatı nedeniyle ortaya çıkan maliyetlerdir (Orkun ve diğ., 2007). Elektrokoagülasyon yöntemi tekstil atık sularında, gıda endüstrisi atık sularında, restoran atık sularında, arsenik gideriminde, ağır metal gideriminde başarı ile uygulanmaktadır (Mollah ve diğ., 2004).

#### **2.2.2.2 Kimyasal yöntemler**

- Fenton Prosesi

Fenton prosesi  $\text{OH}^\cdot$  radikalleri ile atıksuların renklerinin ve organik madde içeriklerinin giderilmesinde giderek artan ölçüde kullanılan bir ileri arıtım prosesidir. Bu proseste  $\text{OH}^\cdot$  radikali üreten  $\text{Fe}^{2+}$  iyonları ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  karışımı kullanılmaktadır.  $\text{Fe}^{2+}$  iyonları ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  asidik koşullar altında organik madde içeren sulu bir sisteme eklenirse aşağıdaki redoks reaksiyonları meydana gelir (Gönder ve Barlas , 2003).



Bu prosesin atıksu arıtımındaki başarısı yüksek oksidasyon potansiyeline sahip  $\text{OH}^\bullet$  radikallerinin oluşumuna dayanmaktadır. Oluşan  $\text{OH}^\bullet$  radikalleri RH gibi organik maddelerle hızlı ve etkili bir şekilde tepkimeye girerler. Fenton prosesi oksidasyon ve koagülasyon proseslerini birleştirmiş olmasından dolayı çift arıtım etkisine sahiptir (Gönder ve Barlas, 2003).

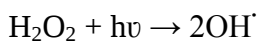
- Ozonlama ile Renk Giderimi

Ozon ( $\text{O}_3$ ) oksijenin üç atomlu bir allotropudur. Oksijenden 1,5 kat daha yoğundur ve 12,5 kez daha fazla çözünmektedir. Aşırı reaktif ve dengesiz olduğundan gerektiği yerde üretilmelidir. Ozonun oksidasyon potansiyeli 2,07 V'dir. Yarı ömrü suda 20°C'de 20 dakika, havada ise 3 gündür. Ozonlama ile renk gideriminde etkili başlıca faktörler; pH, sıcaklık, mekanik karıştırma, atıksu bileşenleri ve ozon dozudur.

Ozonla renk gideriminde düşük ve yüksek pH'larda, nötr ortama göre daha yüksek verim alınmaktadır. Mekanik karıştırma kütle transferini arttırmakta ve verimi yükseltmektedir. Ozon dozundaki artış etkinliği arttırmakta ve sıcaklığın artmasıyla ozon çözünürlüğünün azalmasına karşın reaksiyon hızı artmakta verim çok fazla değişmemektedir. Bunun yanında atıksuda bulunabilecek diğer maddeler ozonu tüketerek ozonlama verimini düşürmektedir (Eren ve Anış, 2006).

- UV /  $\text{H}_2\text{O}_2$  Prosesi

Bu yöntem atıksudaki renge sebep olan maddeleri hidrojen peroksit varlığında UV radyasyonu ile  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$ 'a dönüştürür. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil radikallerinin oluşmasıyla meydana gelir. Yani, UV ışığı hidrojen peroksiti aktive ederek iki hidroksil radikaline parçalanmasını sağlar.



Böylece organik maddenin kimyasal oksidasyonu gerçekleşir. Fotokimyasal yöntemlerde UV radyasyonu genellikle civa ark lambalarıyla sağlanmaktadır. Renk

veren maddenin giderim hızı, UV radyasyonunun şiddetine, pH'a ve renk veren maddenin bağlıdır (Robinson ve diğ., 2001).

### **2.2.2.3 Biyolojik yöntemler**

Melas içeren atıksuların arıtımı için genellikle biyolojik arıtma sistemlerinden uzun havalandırmalı aktif çamur prosesleri kullanılmaktadır. Fakat alışlagelmiş biyolojik arıtma sistemleri istenilen ölçüde renk gideriminde başarılı olamamaktadır. Ancak renk bileşenlerini parçalayabilen aerobik ve anaerobik bakteri türlerinin izole edilmesiyle biyolojik yöntemler tekrar önem kazanmaktadır (Kapdan ve diğ., 2000).

### **2.2.3 Maya atıksularının arıtımı için yapılmış çalışmalar**

Önemli endüstrilerden biri olan maya endüstrisi atıksuları, yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), yüksek biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), koyu renk ve biyolojik olarak parçalanamayan organik bileşiklerle karakterize edilen çok çeşitli kirlilikler içerdiğinden biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Bilindiği üzere, biyolojik arıtma yöntemleri, atıksulardaki organik bileşikleri gidermek için uygulanan en yaygın yöntemlerdir. Fakat, bu biyolojik arıtma yöntemleri atıksulardaki refraktör organiklerin ve rengin giderilmesinde yeterli olmayabilmektedir. Bu nedenle atıksulardaki refraktör organiklerin gideriminde deşarj kriterlerini sağlamak için bu yöntemlerin geliştirilmesi veya farklı yöntemlerin araştırmaları yapılmaktadır. Ayrıca, bu endüstrinin atıksularının anaerobik-aerobik arıtma kombinasyonu sonrasında proses suyundaki KOİ giderimi büyük ölçüde sağlanmış olsa bile atıksudaki renk ve giderilmiş olmamaktadır. Bu koyu renk, maya üretiminin hammaddesi olan melastan kaynaklanmaktadır. Yeterli renk giderimi sağlanamadığı durumlarda, maya atıksuları alıcı su ortamlarında birikerek suyun hem estetik görünümü bozar hem de ışık geçirgenliğini azaltır. Işık geçirgenliğinin azalması ve çözünmüş oksijen miktarının düşmesi canlıların yok olmasına sebep olmakla beraber suyun yeniden kullanım imkanlarını da kısıtlamaktadır.

Maya sanayi atıksuları ile yürütülen bir çalışmada ters osmoz membranları ile başta renk olmak üzere, KOİ, amonyak ve iletkenlik parametrelerinde %80-99 giderme verimi elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda, ters osmoz membranlarıyla yaklaşık olarak %15-20 geri kazanım elde edilmiştir. Renk değeri 4500-5200 Pt-Co, KOİ değeri 2400-3300 mg/L, amonyak değeri 400-680 mg/L, iletkenlik değeri 6310-10100 µS/cm arasında değişen maya fabrikası atıksularında ultrafiltrasyon ve BW

membranları ile bu parametreler, 10-70 Pt-Co, 10-100 mg/L, 45-60 mg/L ve 100-1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'e düşürülmüştür. SW membranıyla BW membranına göre daha yüksek verim elde edilmiştir. Ultrafiltrasyon ve SW membranına verilen atıksuda renk, KOİ ve amonyak değerleri sırasıyla; 130 Pt-Co, 47 mg/L ve 45 mg/L'ye indirilmiştir. Renk giderimi %97-98, KOİ giderimi % 98-99 ve amonyak giderimi %93 olarak gerçekleşmiştir (Yalçın, 1998).

Aynı çalışmada, aerobik arıtma tesisi çıkış suyu SW membranına doğrudan verildiğinde renk 4600 Pt-Co değerinden 10 Pt-Co değerine, KOİ değeri 2470 mg/L'den 10 mg/L'ye, amonyak değeri ise 686 mg/L'den 60 mg/L'ye düşmüştür. SW membranı ile giderme verimi renk ve KOİ parametrelerinde %99'un üzerinde gerçekleşirken amonyak giderimi %91 oranında olmuştur. BW membranına ham atıksu doğrudan verildiğinde ise renk değeri 70 Pt-Co değerine, KOİ değeri 37 mg/L'ye, amonyak ise 91 mg/L değerine düşürülmüştür. BW membranında renk, KOİ ve amonyak giderme verimi sırasıyla %98, % 98-99 ve %80 olmuştur (Yalçın, 1998).

Melashlı atıksularda membran filtrasyon tekniği kullanılarak renk giderimi çalışmaları, değişik molekül ağırlığındaki maddelere karşı geçirgenliği olan membran filtreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Atıksu 200.000-300.000 Da aralığında membran filtreden geçirildiğinde %56 renk giderimi sağlanmıştır. 40.000 Da 'lık membran filtreden geçirildiğinde renk giderimi %74 gerçekleşmiştir. 20.000 Da'luk membran filtreden geçirilen atıksuda renk giderimi % 78 civarında gerçekleşmiştir. Son olarak atıksuyun 10.000 Da'luk membran filtreden geçirilmesiyle % 85 civarında gerçekleşmiştir. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi etkin bir renk giderimi için kullanılması gereken membran geçirgenliği 40.000 dalton ve altıdır (Saeki ve diğ., 1992).

Ultrafiltrasyon ile ön arıtım filtrasyon kapasitesinde önemlidir. Ultrafiltrasyon ön arıtmalı SW membranının akısı  $38 \text{ L}/\text{m}^2 \cdot \text{saat}$  iken UF ön arıtımsız SW ve BW membran akıları sırasıyla  $19 \text{ L}/\text{m}^2 \cdot \text{saat}$  ve  $5,27 \text{ L}/\text{m}^2 \cdot \text{saat}$  olarak bulunmuştur. İletkenlik giderimi de UF ön arıtımsız SW ve BW membranlarında 400-500 ve 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  iken UF ön arıtmalı bu değerler 100-150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  'e kadar düşmüştür. İletkenlik giderimi basınçla ilişkilidir. BW membranı ile 10 barlık arıtmada iletkenlik değeri 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  iken 25 barda 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olarak gözlenmiştir. Düzce fabrikası aerobik arıtma çıkış suyunun membran ile arıtımında BW ve SW membranları

kullanılmıştır. Akıda düşüş ve membran tıkanması gözlenmemiştir. İletkenlik 3000-3300 $\mu$ S/cm den %95 ten fazla giderilmiştir (Koyuncu ve diğ., 1999).

Yüksek konsantrasyonlu organik maddeler içeren maya fermentasyonu atıksuları kolaylıkla arıtilamamaktadır. Etkili bir arıtım için iki aşamalı (anaerobik+aerobik) arıtım sistemi kullanılmaktadır. KOİ gideriminin büyük bir kısmı anaerobik işlem sonunda giderilmektedir. Bu arıtmanın etkinliği için matematik model kurulmaya çalışılmıştır (Deveci, 2000).

Çok dirençli bir atıksu olan maya üretimi atıksudaki KOİ giderimi için modifiye edilmiş döner biyolojik kontaktörlerin uygulanabilirliği üzerinde yapılan araştırmaya göre sistem, yüksek arıtım verimine ulaşmış olup KOİ giderim verimi %95 (KOİ: 472 mg/l ve yüzey hidrolik yükü: 6 l/m<sup>2</sup>) değeri elde edilmiştir. Yüzey hidrolik yükü: 11,9 l/m<sup>2</sup> olduğunda ise KOİ giderim verimi %58,6' ya düşmektedir (Nahid ve diğ., 2001).

Biyolojik olarak ön arıtıma tabi tutulmuş maya endüstrisi çıkış suyundaki renk ve KOİ giderimi için Fenton prosesi ile kimyasal oksidasyonun etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre, KOİ ve renk giderim verimliliği, sırasıyla, yaklaşık %86 ve %92 olarak 30 dakikalık reaksiyon süresi için tespit edilmiştir. Ayrıca, Fenton oksidasyon prosesi ile maya atıksuyundaki çözünmüş ve mikrobiyal olarak çözünmeyen (inert halde) KOİ içeren organiklerin pek çoğunu giderme yeterliliğine sahip olduğu raporlanmıştır (Altınbaş ve diğ., 2002).

Ekmek mayası endüstrisi biyolojik işlem görmüş atıksuyunun ozonasyon ve Fenton oksidasyonu ile arıtımını çalışmışlardır. Ozonasyon çalışması 15 psi basınçta ve oda sıcaklığında pH 8 alınarak oluşturulmuş ve reaksiyon 80 dk. sürmüştür. Ozonasyon çalışmasında % 43 KOİ ve % 96 renk giderilmiştir. Fenton oksidasyonu çalışması ise oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş ve reaksiyon 30 dk. sürmüştür. pH, % 98'lik sülfirik asitle 4'e ayarlanmıştır. Reaksiyon sonunda % 96 KOİ ve % 94 renk giderilmiştir (Altınbaş ve diğ., 2003).

Bir başka çalışmada, biyolojik olarak anaerobik-aerobik ön arıtılmış maya endüstrisi atıksularında kimyasal oksidasyon ve adsorpsiyon metotları uygulanarak KOİ, renk, TOK, aromatik bileşikler ve spektral absorbans giderimi incelenmiştir. Bu çalışmada ilk bölümde, maya endüstrisi atıksularından KOİ, renk, TOK, aromatik bileşikler ve absorbans giderimi amacıyla uygulanan kimyasal oksidasyon prosesleri hidrojen

peroksit ( $H_2O_2$ ), Fenton ( $H_2O_2+Fe_2(SO_4)_3$ ) ve potasyum permanganat ( $KMnO_4$ ) oksidasyonu ile yürütülmüştür.  $H_2O_2$  oksidasyonunda optimum doz 1000 mg/l, optimum pH:3, optimum reaksiyon zamanı 30 dakika bulunmuştur. Tanımlanan optimum koşullarda maksimum KOİ giderimi 58%, maximum renk giderimi 51%, maximum TOC giderimi %50, maximum aromatik bileşiklerin giderimi UV254 de %59 olarak bulunmuştur. Fenton oksidasyonunda, 1200 mg/l  $Fe^{+2}$ , 1000 mg/l  $H_2O_2$  ilavesinde, pH:4'de, ve 30 dakikada reaksiyon süresinde, maksimum KOİ giderimi %88, maximum renk giderimi %99, maximum TOK giderimi %90 maximum aromatik bileşiklerin giderimi UV254 de %94 olarak bulunmuştur.  $KMnO_4$  oksidasyonu çalışmalarında, optimum doz 700 mg/l, optimum pH:8, optimum reaksiyon süresi 60 dakika bulunmuştur. Tanımlanan optimum koşullarda maksimum KOİ giderimi %65, maximum renk giderimi %79, maximum TOK giderimi %64, maximum aromatik bileşiklerin giderimi UV254 de %71 olarak bulunmuştur (Erden, 2003).

Aynı çalışmada, biyolojik olarak ön arıtılmış maya endüstrisi atıksularına adsorbsiyon prosesi uygulanarak; KOİ, renk, TOK, aromatik bileşikler ve değişik dalga boylarında absorbans giderimleri araştırılmıştır. Çalışmada sorbent olarak linyit kömürü, mangal kömürü, zeolit, toz aktif karbon (pürolit), perlit, uçucu kül, mısır koçanı, toz aktif karbon (410 S/PW), yağı alınmış pirinadan elde edilen toz aktif karbon, magnetit, odun külü ve kaolin kullanılmıştır. Farklı dozajlarda uygulanmış sorbentlerin her dozu için KOİ, renk, TOK, aromatik bileşikler ve değişik dalga boylarında absorbans giderimleri belirlenmiştir. Giderme verimleri göz önüne alınarak biyolojik olarak ön arıtılmış maya endüstrisi atıksuyu için en uygun sorbentler toz aktif karbon (410 S/PW) ve pürolit olarak bulunmuştur. Her iki sorbent için de optimum doz 10g/l olarak tanımlanmıştır. Toz aktif karbonun bu dozunda, %88 KOİ, %100 renk, %92 TOK %99 aromatik bileşiklerin giderme verimine ulaşılmıştır. Pürolitin aynı dozu kullanıldığında ise KOİ, renk, TOK ve aromatik bileşiklerin giderme verimi sırasıyla %78, %100, %83 ve %97 olarak bulunmuştur. Sorbentlerin adsorpsiyon karakteristiklerini tanımlamak için Langmuir ve Freundlich adsorbsiyon izotermi kullanılmıştır (Erden, 2003).

Maya endüstrisi proses çıkış suyundan renk giderimi sağlamak amacı ile membran bazlı arıtım sistemleri-mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membranları- ile çalışılmıştır. Ayrıca optik yoğunluk, renk ve KOİ giderimi üzerinde

ön arıtım metotlarından koagülasyon ve kaba filtrasyonun etkileri de incelenmiştir. Bu araştırma çalışmaları neticesinde, 4000 mg/l giriş KOİ, 11000 Pt-Co renk değerinde ve 2,39 optik yoğunluk değerine sahip maya endüstrisi atıksuyunun mikrofiltrasyon ve nanofiltrasyon membran kombinasyonu ile başarılı olarak arıtıldığı görülmüştür. KOİ, renk ve optik yoğunluk giderim değerleri, sırası ile, %72, %89 ve %94 olarak tespit edilmiştir. Permeatın renksiz olduğu görülmüştür. Spesifik olan bu suda koagülasyon ve klasik filtrelemenin, ön arıtım aşaması olarak etkili olmadığı tespit edilmiştir (Mutlu ve diğ., 2001).

Şeker pancarı melasından ekmek mayası üreten Pakmaya İzmit Fabrikası'nda atıksuyun anaerobik-aerobik arıtma işlemlerini çalışmışlardır. Anaerobik reaktörlerde, mezofilik anaerobik adımında ortalama % 75 KOİ giderilmiştir. Günlük biyogaz üretim hızı 20000 m<sup>3</sup> /gün'dür. Biyogaz dönüşüm verimi giderilen KOİ'nin kilogramı başına 0,65 m<sup>3</sup>'tür. Kazan dairelerinde kullanılan biyo gaz enerji üretimi, fabrikanın toplam enerji ihtiyacının % 35'idir. Aerobik adım uygulandığında ve aktif çamur sisteminin havalandırması olarak çalıştırıldığında % 60-75 KOİ giderilmiştir (Öztürk ve diğ., 1995).

Yüksek miktarda organik ve inorganik maddeler içeren ekmek mayası atıksuyunun mezofilik koşullarda çalışan hibrid ve anaerobik filtre ile arıtımını çalışmışlardır. Atık KOİ'si 11000–88000 mg/l ve yüksek sülfat konsantrasyonlarına sahiptir. Anaerobik filtre için KOİ giderimi ve CH<sub>4</sub> oluşumu % 67 ve 0,207 m<sup>3</sup>/kg KOİgiderilen'dir. Hibrit için % 65 ve 0.208 m<sup>3</sup>/kg KOİgiderilen'dir (Van der Merve ve diğ., 1993).

Ekmek mayası endüstrisi atık suyuna membran ve ozon teknolojisi yöntemini uygulamışlardır. Membran çalışmalarından ultrafiltrasyon ve ters osmoz sisteminin KOİ, renk NH<sub>3</sub>-N ve iletkenliğin giderilmesinde çok etkili olduğu görülmüştür (Sevimli ve diğ., 2001).

Biyolojik işlem yapılmış atıksuda rengin ve çözünmüş organik karbonun (ÇOK) giderilmesi için Fenton oksidasyonu sürecini uygulamışlardır. Bunun için pH'ı 7,28 olan ekmek mayası atıksuyu % 95-98'lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'le pH 4'e ayarlanmıştır. Reaksiyon 30 dk sürmüş ve 120 rpm. de karıştırma yapılmıştır. Reaksiyon 20°C'de gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sonunda % 99 renk, %90 ÇOK ve % 88 KOİ giderilmiştir (Pala ve diğ., 2005).

Ekmek mayası endüstrisi atıksuyunda hidrojen peroksit ve foto-fenton'da UV'nin kullanılmasıyla ileri oksidasyon sürecini uygulamışlardır. Deneysel çalışmada süreç değişkenlerini (pH, oksidant miktarı, irradiation zamanı) belirlemede Box-Wilson deney tasarım yöntemi kullanılmıştır. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sürecinde optimum hidrojen peroksit konsantrasyonu 5 mM ve irradiation zamanı pH 3'te 50 dk. olarak alınmıştır, % 54,5 renk giderilmiştir. Foto-fenton prosesi uygulamasında ise maksimum renk giderme % 96,4'tür (Çatalkaya ve Şengül, 2006).

Foto-oksidasyon süreci ile ekmek mayası endüstrisi atıksuyunda renk giderimini ve atıksuyun biyolojik parçalanabilirliğine etkisini incelemiştir. En yüksek renk giderim verimi UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> ' de % 60.98 olarak gözlenmiştir. UV/ TiO<sub>2</sub>'de ışınlanma süresi ve katalizör miktarının optimizasyonu BOİ/KOİ oranına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Biyolojik olarak arıtılabilirlikteki iyileşme (BOİ/KOİ) 2 saat sonra 0.11'den 0.18'e çıkmıştır. Ham atıksuyun reaksiyon hız sabiti başlangıçta 0,167 gün<sup>-1</sup> iken 3 saat foto-katalizlenmiş atık suda 0,201 gün<sup>-1</sup>'e çıkmıştır (Can, 2003).

Tekstil, süt ve süt ürünleri, şeker ve un endüstrisi atıksularının karışımından oluşan atıksuda ozonlama işlemi ile renk ve KOİ giderme verimlerini araştırmışlardır. Çalışmada 25°C sıcaklık ve pH=8 koşullarında, 10 dakika uygulanan 300 mg/sa dozajındaki ozonlama işlemi ile renkte %100, KOİ'de %96 giderme verimi elde edilmiştir (Yaşar ve diğ., 2006).

#### **2.2.4 Membran teknolojisi**

Endüstrileşmenin ve nüfus artışının büyük hız kazandığı dünyamızda, su kaynakları giderek azalmakta ve kirlenmektedir. Kullanım alanı giderek artan ve özellikle endüstriyel atıksu arıtımı, geri kazanımı ve yeniden kullanımı konularında membran teknolojisi önem kazanmıştır.

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.

Çevre kirliliğini oluşturan en büyük potansiyel endüstrilerdir. Endüstriyel üretim esnasında ve sonrasında çevre kirliliğine neden olan değişik özellikte atıklar oluşmaktadır. Endüstriyel gelişme ve üretime paralel olarak, oluşacak atıkların en

aza indirilmesi için yeni teknolojilere ve ileri arıtım tekniklerine başvurulması gerekmektedir.

Membran teknolojileri; nehir, gol, deniz ve kuyulardan içme ve kullanım sularının elde edilmesinden, çeşitli endüstriyel proseslere su teminine, atıksuların deşarj kriterlerine uygun arıtılmasından, proseslerde kullanılan kimyasal madde geri kazanımına kadar çok değişik alanlarda kullanılabilen son dönem arıtma yöntemlerinin başında gelmektedir. Atıksuların ileri arıtılması amacıyla membran teknolojileri diğer arıtma proseslerine tercih edilmektedir. Bunun en önemli nedenleri, sürekli geliştirilen bir teknolojiye sahip olması, diğer ayırma teknikleriyle karşılaştırıldığında düşük enerji ihtiyacı gerektirmeleri, kesikli ve sürekli işletilebilmeleri, sıcaklık değişimlerinden fazla etkilenmemeleri, modüler olarak tasarımlarının yapılabilmesi ve fazla yer kaplamaması, taşınabilir olması, çok yüksek konsantrasyonlarda bile çalışabilmesi, yüksek kalitede çıkış suyu standartları sağlamaları, çevresel etkilerinin olmaması, ilk yatırım ve işletme maliyetinin düşük olması gibi nedenlerden dolayı kullanım alanları ve membran teknolojilerine duyulan ilgi her geçen gün artmaktadır.

#### **2.2.4.1 Membranların mekanizması**

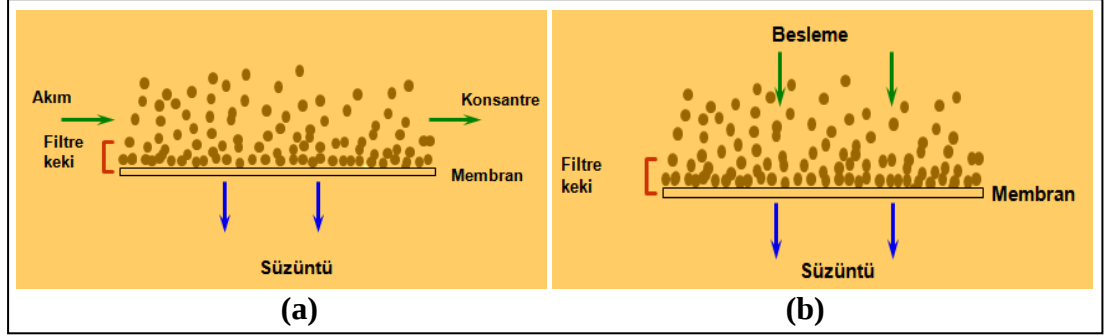
Membran, belirli türlerin hareketini kısıtlayan, metal, inorganik veya organik polimerlerden yapılan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzemedir. Membranlar, karışım halindeki pek çok maddenin ayrılması maksadı ile kullanılır (gaz ayırımı, katı\sıvı ve sıvı\sıvı ayırımı gibi). Bunlar genel olarak:

- Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partiküllerin filtrasyonu,
- Sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin (iyon boyutu da dahil olmak üzere) ayırımı,
- Sadece iyonik türlerin ayırımı,
- Sulardan veya diğer sıvılardan bütün askıda katı veya çözünmüş maddelerin ayırımı,

olarak sınıflandırılabilir.

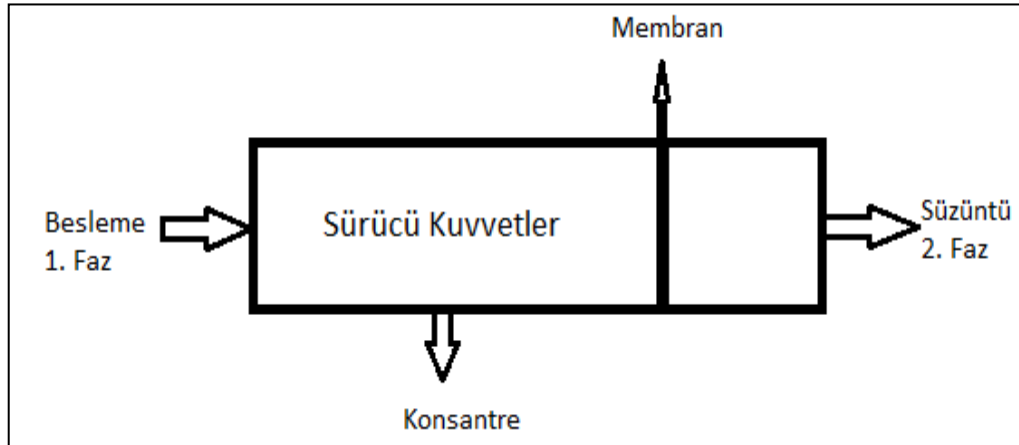
Membran proseslerin iki tür çalıştırma prensibi vardır: (a) dik akışlı (dead-end) filtrasyon, (b) yatay akışlı (çapraz akış) filtrasyondur. Membran prosesler, bileşik ve çözünmüş maddeleri büyüklüğüne göre ayırır. Genellikle membran prosesler, yatay

( apraz) akışlı olarak çalıştırıldığı zaman 10  m nin altındaki askıda maddeleri ve    eltileri ayırabilir. Membrandan geçemeyen partikül veya     nm ş maddeler membran yüzeyine paralel olarak akan konsantre kısım ile beraber sürekli olarak alınırlar. Membrandan geçen kısım ise, s z nt  olarak adlandırılır.



**Şekil 2.8:** Membran giriş ve çıkış akımları (a) yatay akışlı, (b) dik akışlı filtrasyon.

Her membran proses kendine has özelliklere sahip olup, kullandıkları membranların özelliklerine ve kullandıkları itici (sürücü) kuvvetlerin türüne göre sınıflandırılabilir. Membranlara uygulanan sürücü kuvvetler; basınç farklılığı ( $\Delta P$ ), konsantrasyon farklılığı ( $\Delta C$ ), sıcaklık farklılığı ( $\Delta T$ ) ve elektriksel potansiyel farklılığı ( $\Delta E$ ) olarak sıralanabilir.



**Şekil 2.9:** Membran ile arıtmanın şematik görünümü.

**Çizelge 2.6:** Membran proseslerin sürücü kuvvetlere göre sınıflandırılması.

| Membran prosesler    | Faz 1 | Faz 2 | Sürücü Kuvveti      |
|----------------------|-------|-------|---------------------|
| Mikrofiltrasyon      | S     | S     | $\Delta P$          |
| Ultrafiltrasyon      | S     | S     | $\Delta P$          |
| Nanofiltrasyon       | S     | S     | $\Delta P$          |
| Ters Osmoz           | S     | S     | $\Delta P$          |
| Gaz ayırma           | G     | G     | $\Delta P$          |
| Diyaliz              | S     | S     | $\Delta C$          |
| Osmoz                | S     | S     | $\Delta C$          |
| Pervaporasyon        | S     | G     | $\Delta P$          |
| Elektrodiyaliz       | S     | S     | $\Delta E$          |
| Termo-osmoz          | S     | S     | $\Delta T/\Delta P$ |
| Membran distilasyonu | S     | S     | $\Delta T/\Delta P$ |

Sürücü kuvvet uygulaması ile membrandan süzüntü tarafına doğru bir geçiş gerçekleşebilmektedir. Membran proseslerin en çok kullanılanları basınç uygulamalı olanlardır. 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 2.7'de özetlenmiştir.

**Çizelge 2.7:** Basınç sürücülü membran proseslerin özellikleri (Scott, 1995).

| Membran Prosesler | Membran Tipi                         | Faz 2                           | Uygulamalar                                             | Membran Kalınlığı |
|-------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------|
| Mikrofiltrasyon   | Simetrik ve asimetrik, mikroboşluklu | Hidrostatik basınç (<2 bar)     | Partikül ayırımı, Steril filtrasyon                     | 10-150 $\mu m$    |
| Ultrafiltrasyon   | Asimetrik, mikroboşluklu             | Hidrostatik basınç (1-8 bar)    | Makromoleküllerin ayırımı                               | 0,1-1 $\mu m$     |
| Nanofiltrasyon    | Asimetrik                            | Hidrostatik basınç (10-30 bar)  | Küçük organik bileşiklerin ve seçilmiş tuzların ayırımı | 0,1-1 $\mu m$     |
| Ters Osmoz        | Asimetrik, ince filmli kompozit      | Hidrostatik basınç (10-100 bar) | Küçük moleküler ağırlıklı çözünmüş maddelerin ayırımı   | 0,1-1 $\mu m$     |

#### 2.2.4.2 Membran performansı

Membran performansı; akı, giderme verimi ve geri kazanım ile ifade edilmektedir. Membranın seçiciliği, membrandan geçenlerin ölçüsü, alıkonma ise membrandan geçemeyen kısmın ölçüsüdür. İdeal bir membranda, yüksek seçicilik (alıkoyma) ile yüksek akı istenir (Mulder, 1996).

- Akı

Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır. Akı,  $m^3/m^2.gün$  veya  $L/m^2.saat$  birimleriyle ifade edilir. Membrandan geçen akım, membrana uygulanan basınç ( $\Delta P$ ) ile doğru orantılıdır. Akı miktarı Darcy kanununa göre aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Koyuncu, 2001);

$$J = \frac{\Delta P}{\mu . R_m} \quad (2.3)$$

J : Akı

$\Delta P$ : Membrandaki basınç farkı

$\mu$ :Akışkanın vizkositesi

$R_m$ :Membrandaki hidrolik direnci göstermektedir.

- Giderme Verimi

Giderme verimi, membran tarafından alıkoyulan kısmın ölçüsüdür. Membranın giderme verimi “R” ile ifade edilmektedir. R birimsiz bir büyüklüktür ve 0-1 arasında değişir. “0” değeri, bütün çözünmüş maddelerin membrandan geçtiğini, “1” değeri ise membranın hiçbir madde geçişine izin vermediğini gösterir.

Membran sisteminde, gözlenen giderme verimi ( $R_o$ ) ve gerçek giderme verimi ( $R_g$ ) olmak üzere iki çeşit giderme verimi vardır. Gözlenen giderme verimi, süzüntü akımı konsantrasyonunun besleme akımı konsantrasyonuna oranını ifade eder (Denklem 2.4). Gerçek giderme verimi ise süzüntü akımı konsantrasyonu ile çözeltinin membran yüzeyindeki konsantrasyonundan yola çıkılarak hesaplanan giderim verimini ifade etmektedir (Denklem 2.5) (Koyuncu, 2001).

$$R_o(\%) = \frac{C_b - C_s}{C_b} = 1 - \frac{C_s}{C_b} \quad (2.4)$$

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

Denklem 2.4 ve Denklem 2.5'te  $C_s$  süzüntü akımı konsantrasyonunu,  $C_b$  besleme suyu konsantrasyonunu ve  $C_m$  membran yüzeyindeki konsantrasyonu göstermektedir.

- Geri Kazanım

Membranda geri kazanım ( $y$ ), süzüntü akımının, besleme akımına oranıdır. Geri kazanım değeri aşağıdaki ifade ile gösterilir:

$$y = \frac{Q_b - Q_k}{Q_b} = \frac{Q_s}{Q_b} \quad (2.6)$$

$Q_b$  : Besleme suyu debisi

$Q_k$  : Konsantre kısmın debisi

$Q_s$  : Süzüntü kısmın debisi

#### 2.2.4.3 Membran performansına etki eden faktörler

Membran performansına, çalışma şartlarının, kullanılan membran tipinin ve sistem tasarımının çok büyük etkisi vardır. Kullanılacak membran tipi belirlenirken göz önünde bulundurulması gereken bir çok değişken vardır. Bunlar;

- Basınca Dayanıklılık: Her bir membran türü için ayrı basınçlar uygulanmaktadır. Düşük basınçtan yüksek basınca doğru membran prosesler; mikrofiltrasyon (< 2 bar), ultrafiltrasyon (1 - 10 bar), nanofiltrasyon (10 - 30 bar), ters ozmoz (10 - 100 bar) olarak sınıflandırılır. Uygulanan basınç ne kadar fazla ise akı da o kadar fazladır. Ancak membrana uygulanabilecek basınç limitlidir. Aralıkta verilen değerlerden yüksek basınç uygulamaları, membranların yapılarını bozmaktadır.

- Sıcaklığa Dayanıklılık: Sıcaklık, plastik malzemenin performansını etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Ters osmoz sistemi, ultrafiltrasyona göre daha hassastır ve ters osmoz prosesinde sistem verimliliği açısından 25 °C sıcaklıkta çalışılır. Sıcaklıktaki her bir 1°C'lik artış ile membranın akı değeri, % 3–5 civarında artmaktadır. Optimum çalışma sıcaklığı çeşitli soğutma sistemleri yardımıyla belirli aralıklarda tutulmaya çalışılmalıdır. Akı besleme atıksuyu sıcaklığı ile artar. En çok kullanılan membran türü olan ve maliyeti diğerlerine göre daha düşük olan selüloz asetat membranlarının 35 – 40 °C' ye kadar dayanıklılığı vardır. Diğer bir membran türü olan seramik membranlara uygulanan sıcaklık, 800 °C' ye kadar çıkabilmektedir (Barlas, 2002).

- Kimyasal Uygunluk: Membran polimerleri kimyasal olarak çözeltiye uygun ve dayanıklı olmalıdır. Çözelti içindeki kimyasal maddelere göre, membranda performans düşüklüğü meydana gelir. Selüloz asetat özellikle klor karşı dayanıksızdır. Bu sebepten bu tip membranların besleme suyunda klor olmamalıdır.
- pH' ye Dayanıklılık: Asitlik ve bazikliğin bir belirtisi olan pH, membranın ömrü ve performansı açısından önemlidir. Genelde kullanılan pH aralığı 2 - 8' dir. Selüloz asetat membranları pH' ya çok hassastırlar ve kullanılan pH aralığı 4 – 6' dır. Yüksek pH' larda membran kullanımı sınırlıdır (Barlas, 2002).
- Debi : Özellikle kütle transfer kontrollü bölgede, membran performansı açısından önemli rol oynamaktadır. Membran yüzeyinde oluşturulan karışım, yüzeyde oluşan kek tabakasının hidrolik direncini ve konsantrasyon polarizasyonu tabakasının kalınlığını azaltmaktadır.
- Mekanik Kararlılık: Kırılgan membran yüzeyinin yüksek basınçlardan minimum şekilde etkilenmesi için, yüksek basınçların kullanıldığı membranların mekanik dayanıklılığının da yüksek olması gerekir.
- Konsantrasyon : Membrana giriş suyu konsantrasyon değerinin, membran performansı üzerinde büyük etkisi olmaktadır. Giriş konsantrasyonu arttıkça, ozmotik basınçta meydana gelen artışa bağlı olarak membrana uygulanan net basınç azalmakta, bunun sonucu olarak da, giderme verimi düşmektedir. Uygulanan basınç arttırılarak bu oranın dengelenmesi sağlanabilir.
- Ekonomik Özellikler: Genel olarak membranlar yüksek geçirgenlik, iyi seçicilik, kararlı işletme özelliğine sahip olmalı ve düşük maliyet gerektirmelidir.
- Membran diziliş yoğunluğu: Birim hacme yerleştirilebilecek membran alanı olarak tanımlanır. Bu faktör ne kadar büyükse sistemden çıkan toplam akı da o kadar büyük olur.
- Geri kazanım faktörü: Sistemin kapasitesini gösterir, uygulamada ulaşılan maksimum değer % 80'dir. Daha yüksek geri kazanım faktörüne proses suyunda daha fazla tuz konsantrasyonu olduğunda ulaşılır. Yüksek konsantrasyonlarda membranın yüzeyinde çökme fazla olur, dolayısıyla işletme veriminin düşmesine neden olmaktadır.

- Tuzun geri alınması: Atıksudaki tuzun geri kazanılması, kullanılan membranın tipi, karakteri ve atıksudaki tuzun konsantrasyon dağılımına bağlıdır.
- Ön arıtma: Membran sistemlerinin Toplam Çözünmüş Katı (TÇK) miktarı 10.000 mg/l'nin üstündeki besleme akımlarına doğrudan uygulanması uygun değildir. Bunun dışında kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat, demir oksit ve hidroksitleri, mangan ve silikon, baryum ve stronsiyum sülfat, çinko sülfür ve kalsiyum fosfat gibi tabakalaşma yapan maddelerin ön arıtma ile kontrol altına alınmaları gerekir. Bu maddeler pH ayarlaması kimyasal arıtım, çöktürme, inhibisyon ve filtrasyon gibi yöntemlerle kontrol altına alınabilirler. Organik kalıntılar ve bakteri filtrasyon, karbonla ön arıtım ve klorlama ile kontrol edilebilir. Yağ ve gres ise membranın yüzeyini saracağından ve tıkanmaya neden olacağından membran prosesi öncesi giderilmelidir.

#### 2.2.4.4 Membranlarda sınıflandırma ve kullanılan malzemeler

Membranlarda sınıflandırma genel olarak; membranın geometrisine, ayırma mekanizmasına, morfolojisine ve kimyasal yapısına göre yapılabilir.

- Membranlarda Geometriye Göre Sınıflandırma

Geometrilere göre membranlar levha ve silindirik tarzlı olmak üzere sınıflandırılırlar. Levha membranlar, spiral sargılı ve plaka-çerçeve şeklinde bulunmaktadır. Silindirik tarzdaki membranlar ise tübüler, boşluklu elyaf ve kapiler şeklinde bulunmaktadır.

- Membranlarda Morfolojiye Göre Sınıflandırma

Simetrik Membranlar: Simetrik membranlar çok küçük gözenekli olup membran kesiti içindeki geçirgenlikleri sabittir. Yapılarındaki yoğunluk nedeniyle geçirgenlikleri düşük olduğundan bu tür membranların ticari olarak kullanım alanı dardır. Simetrik membrana ait gösterim Şekil 2.10'da verilmiştir.



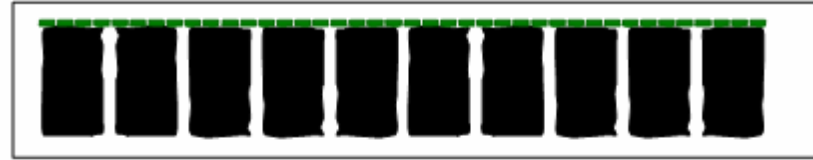
Şekil 2.10: Simetrik membranların yapısı.

Asimetrik Membranlar: Asimetrik terimi membran yapısının çapraz kesitinde önemli değişimler olduğunu göstermektedir (Pinto ve diğ., 1999). Asimetrik membrana ait yapı Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.11:** Asimetrik membranların yapısı.

İnce filmlı Kompozit Membranlar: İnce filmlı kompozit membranlar asimetrik membranların en üst kısmına, ince bir tabakanın yerleştirilmesi ile oluşturulur. İnce tabaka, toplam membran kalınlığının yaklaşık olarak %1’i kadardır. Kompozit membranlar yoğun membranlar olarak da tanımlanmaktadır. Bir membranda taşınım hızı membran kalınlığıyla ters orantılıdır. Ekonomik nedenlerden dolayı yüksek taşınım hızı istendiği için membran mümkün olduğunca ince olmalıdır. Geleneksel film imalat teknolojisi yaklaşık 20  $\mu\text{m}$  kalınlığa kadar mekanik açıdan güçlü ve hatasız film üretimi gerçekleştirebilmektedir. Çok daha ince bir film tabakası kullanabilmek için hazırlanan kompozit asimetrik membranlar çok daha fazla kalın gözenekli bir yapıyla desteklenmiş son derece ince bir yüzey tabakasından oluşmaktadır. Kompozit membranlara ait yapı Şekil 2.12’de verilmiştir.



**Şekil 2.12:** Kompozit membranların yapısı.

Simetrik membranların (boşluklu veya boşluksuz) kalınlıkları 10-200  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Asimetrik membranlar, üniform olmayan bir yapıya sahip olup, bu membranların geliştirilmesiyle, su ve atıksu arıtımında membranların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bir asimetrik membranın kalınlığı yaklaşık olarak 10 - 200  $\mu\text{m}$  arasında olup, 50 - 150  $\mu\text{m}$  arasında boşluklu bir alt tabaka (porozlu destek tabakası) ve 0.1 - 0.5  $\mu\text{m}$  kalınlığında oldukça yoğun bir üst katmandan (kabuk tabaka) oluşur. Asıl ayırma işlemi üst tabakada meydana gelir.

- Membranlarda Ayırma Mekanizmalarına Göre Sınıflandırma

Membranlar ayırma mekanizmalarına göre porlu, porsuz ve iyon değiştirici membranlar olarak sınıflandırılırlar. Porlu membranlarda konvektif madde taşınımı, porsuz membranlarda çözünme-difüzyon modeli, iyon değiştirici membranlarda ise elektrokimyasal etkiler söz konusudur.

Boşluklu (porozlu) membranlar da, boşluklardan meydana gelir; mikrofiltrasyon için kullanılan membranların boşluk çapları, 0.1-10 µm ve ultrafiltrasyon için 2-10 µm dir. Konsantrasyon polarizasyonu, bu membranların en önemli problemidir. Membranların tıkanmaya karşı direnci ve tıkanmadan sonra kolay temizlenebilme özelliği, membran seçiminde önemli bir faktördür. Boşluksuz membranlar ise, ters osmoz ve nanofiltrasyonda kullanılırlar. Bunlar kompozit veya asimetrik membranlar olup, bu filtrasyonda, çözünmüş iyonik maddeler tutulur.

- Membranlarda Kimyasal Yapıya Göre Sınıflandırma

Organik Membranlar: Organik membranlar yaygın olarak atıksu arıtımında kullanılmaktadır ve çeşitli aromatik poliamid, polisülfon, selüloz asetat ve polipropilen malzemeden üretilmektedir (Cardew ve diğ., 1998; Fried, 2003; Scott, 1995). Bu materyallere ait karşılaştırma Çizelde 2.8'de verilmiştir.

**Çizelge 2.8:** Organik Membran Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Karşılaştırılması.

| Malzeme              | Uygulamalar    | İşletme Sıcaklığı (°C) | pH   |
|----------------------|----------------|------------------------|------|
| Selüloz asetat       | RO, NF, UF, MF | 50                     | 3-7  |
| Aromatik poliamid    | RO, NF, UF, MF | 0-80                   | 3-11 |
| Florokarbon          | RO, NF, UF, MF | 130-150                | 1-14 |
| Poliamidler          | RO, NF, UF,    | 40                     | 2-8  |
| Polisülfon           | UF, MF         | 80-100                 | 1-13 |
| Polivinilidin florit | NF, UF, MF     | 130-150                | 1-13 |

İnorganik Membranlar: İnorganik membranlar ise daha çok alumina, borosilikat cam ve seramik, pirolize zirkonya/paslanmaz çelik ve zirkonya/karbon alaşım yapılı membranlar olup, yüksek konsantrasyona sahip atıksularda ve madde geri kazanımında kullanılmaktadır. Bu materyallerin çeşitli faktörlere göre karşılaştırılması Çizelge 2.9'da verilmiştir.

**Çizelge 2.9:** İnorganik Membran Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Karşılaştırılması.

| Malzeme         | Uygulamalar | Maksimum İşletme Sıcaklığı (°C) | pH   |
|-----------------|-------------|---------------------------------|------|
| Alümina         | MF          | > 900                           | 0-13 |
| Paslanmaz Çelik | MF          | > 400                           | 4-11 |
| Zirkon          | UF, MF      | 400                             | 1-13 |
| Gümüş           | MF          | 370                             | 1-13 |

Membran üretiminde kullanılan organik ve inorganik materyallerin çeşitli faktörlere göre karşılaştırılması Çizelge 2.10'da verilmiştir.

**Çizelge 2.10:** Organik ve İnorganik Yapılı Membranların Karşılaştırılması.

| Parametre              | Organik                                | İnorganik                |
|------------------------|----------------------------------------|--------------------------|
| Sıcaklığa Dayanım (°C) | 0-150                                  | 0-900                    |
| pH Limitleri           | 1-12                                   | 1-13                     |
| Mikrobiyal Dayanım     | Dayanıksız                             | Dayanıklı                |
| Kimyasal Dayanım       | Organik solventler içinde stabil değil | Kimyasal stabilitesi iyi |
| Mekanik Stabilitate    | Kırılgan değil                         | Sert ve kolay kırılır    |
| Basınç Dayanımı        | Yüksek basınca dayanımı az             | Yüksek basınca dayanıklı |
| Maliyet                | Düşük                                  | Pahalı                   |
| Membran Ömrü           | Kısa                                   | Uzun                     |
| Akı                    | Yüksek                                 | Yüksek                   |

İnorganik membranların en büyük dezavantajları organik malzemelere göre daha kolay kırılabilimleri ve pahalı olmalarıdır. Bu yüzden geniş kullanım alanına sahip değildir.

Membran üretiminde kullanılan malzemeler genellikle kullanılacak prosesin türüne ve elde edilmek istenen suyun kalitesine göre farklılık göstermektedir. Su ve atıksu arıtımında kullanılan membranlar; 0,20-0,25 µm kalınlıkta ince bir film tabakasından ve bunu destekleyen 100 µm kalınlıkta daha geçirgen bir yapıdan oluşmaktadır. En yaygın olarak üretilen membranlar; spiral sarımlı, boşluklu elyaf ve tübüler membranlardır (Cardew ve diğ., 1998; Fried, 2003).

#### 2.2.4.5 Membran prosesler

Genel olarak uygulanan membran prosesler; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz, elektrodializ, gaz ayırma, dializ, osmoz, pervoparasyon, termo-osmoz ve membran distilasyonudur. Bu proseslerden su ve atıksu arıtımında

ve geri kazanımında en çok kullanılan membran prosesler ise mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmozdur.

Bir membranın ayırma özelliği nominal gözenek çapı veya moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) bazında belirlenir. Mikrofiltrasyon membranlar gözenek çapları ile sınıflandırılır (Ör: 0.01 µm veya 0.1 µm gibi). Ultrafiltrasyon membranları moleküler ağırlık engelleme sınırı ile sınıflandırılır (10000 veya 100000 MWCO gibi). Nanofiltrasyon membranlar genellikle % NaCl veya MgSO<sub>4</sub> giderme verimi ile sınıflandırılır. Ayrıca moleküler ağırlık engelleme sınırı da kullanılmaktadır. Ters osmoz membranlar sodyum, klorür, kalsiyum ve sülfat gibi iyon boyutundaki maddeleri giderebilmektedir. Ters osmoz membranları genellikle % NaCl giderme verimi ile sınıflandırılır. Elektrodializ, pervaporasyon ve membran distilasyonu gibi diğer membran prosesler mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve ters osmozdaki basınca karşılık sürücü kuvvet olarak sırasıyla elektriksel potansiyel, konsantrasyon veya sıcaklık gradyanını kullanılmaktadırlar. Ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz tam ölçekli arıtma ve su ve kimyasalların geri kazanımı için uygulanmaktadır. Membran seçimi uygun yapıldığı takdirde ön arıtma olarak filtrasyon uygulanması ve düzenli temizleme işlemleri ile membranın tıkanma riski azalmaktadır.

Membran hazırlamada gerçekleştirilen çalışmalar ultrafiltrasyonun uygulanabilir bir proses olmasının önünü açmıştır. Ters osmoz membranlarda selüloz asetat kullanımı hakim olmakta, ultrafiltrasyon membranlarda ise çok çeşitli sentetik polimerler kullanılmaktadır. Birçoğu, organik çözücüye karşı direnci yüksek ve sıcaklık ve pH'a hassasiyeti düşük olan membranlardır. Polisülfon, selüloz asetat, poliamid veya polikarbonat gibi organik polimerlerden yapılan membranlar en yaygın olarak kullanılmaktadır ve ayırma karakteristikleri ve modül dizaynında yüksek esnekliğe sahiptirler. Aynı polimerler çeşitli hazırlama yöntemleri uygulanarak farklı gözenek boyutuna sahip membranların yapımında kullanılabilirler. Moleküler ağırlık engelleme sınırı proses veriminin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte şekil, boyut ve uygulanabilirlik (esneklik) de önemli parametrelerdir (Babürşah, 2004).

- Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon, basınç kuvveti altında çalışan ve en az verimliliğin gözlemlendiği membrandır. Gözenek çapı, 0.05 ile 5 µm arasında değişmektedir. Mikrofiltrasyon

daha çok su ortamında partiküler maddelerin, mikroorganizmaların, virüslerin ve kolloidal maddelerin giderilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Mikroorganizmaların mikrofiltrasyon ile büyük oranda tutulmaları, daha az dezenfektant ihtiyacını ve dolayısıyla, daha az dezenfeksiyon yan ürünü oluşumunu sağlamaktadır. Bu yöntem ile çözünmüş maddeler giderilemez. Membran direnci düşük olduğu için, düşük basınç altında işletilmekte ve ortalama olarak 0,7-2 bar'a kadar olan basınçlarda çalıştırıldığı zaman optimum verim alınmaktadır. Geniş bir pH aralığında (1-13) ve yüksek sıcaklıktaki çözeltiler ile çalışmaya uygun olup, oksidantlara karşı da dirençlidirler.

Mikrofiltrasyon uygulamasında en büyük sorun membran yüzeyinde zamanla oluşan tıkanma ve konsantrasyon polarizasyonudur. Membrandan geçemeyen konsantre kısım membran üzerinde birikir ve zamanla membran üzerindeki direnç artar. Tıkanma dolayısıyla akıda azalma meydana gelir. Tıkanma ve konsantrasyon polarizasyonunu önlemek için membran modülü düzenli aralıklar ile temizlenmelidir ya da membran değiştirilmelidir.

Arıtma sistemlerinde kullanılan kimyasal maddelerin oluşturduğu toksik etkilerden dolayı, son yıllarda kimyasal madde kullanımına sınırlandırma getirme eğilimi hız kazanmıştır. Mikrofiltrasyon uygulamalarında arıtma sırasında herhangi bir kimyasal madde kullanımı söz konusu değildir. Mikrofiltrasyon membranları nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları öncesinde suların geri kazanılması konusunda ön arıtım elemanı olarak kullanılırlar. Ayrıca, mikrofiltrasyon membranları; saflaştırma, ayırma, sterilizasyon ve konsantre etme işlemlerinde kullanılabilmektedirler.

- Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon membranları 1930'lu yıllardan beri kullanılmaktadır. Ultrafiltrasyon membranı gözenek çapı 0,05-1 nm arasında değişmektedir. Tipik olarak Ultrafiltrasyon (UF) 10 ile 1000 Angstrom arasında değişiklik gösteren gözenek büyüklüğüne ve 300 ile 500.000 Dalton arası ağırlığındaki molekülleri tutabilirler. Ultrafiltrasyon yüksek molekül ağırlığına sahip çözünmüş maddeleri, kolloidleri, mikroorganizmaları ve askıda katı maddeleri çözeltilerden ayırma özelliğine sahip olup, düşük basınçta çalışan bir membran ayırma prosesidir. Ultrafiltrasyonda tutma, moleküler büyüklüğe bağlı olmakla beraber, şekle ve iyonik yüke de bağlıdır, fakat iyonik olmayan maddeleri de alıkoyar. Maddelerin tutulma 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. İşletme basıncı 0,1-5 bar arasında değişmektedir. İşletme açısından mikrofiltrasyona benzemektedir.

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.

Ultrafiltrasyon membranları, içme suyunda ileri arıtma amaçlı da kullanılmaktadır. Klorlama ile insanlarda kanserojenik etki yapan THM' ler oluşmaktadır. Dolayısıyla, THM oluşumuna sebep olan organik maddeler klorlama öncesinde tutulmalıdır. UF membranları bu amaçla kullanıldığı takdirde, THM oluşumu, % 20 – 50 arasında azalmaktadır. UF membranları, bakteri ve virüs giderimi açısından da oldukça güvenlidir. İçme suyu tesislerinde kurulan tam ölçekli UF proseslerinde elde edilen sularda hiçbir mikroorganizmaya rastlanmamıştır. UF membranları, RO membranları öncesinde ön arıtma amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Dolayısıyla RO membranlarının ömürleri artmaktadır. UF sistemlerinin, RO öncesinde ön arıtma amaçlı olarak kullanılmasının faydaları şu şekilde özetlenebilir;

1. Sürekli ve kolay otomatik işletme imkanının olması
2. RO membranları için daha iyi kalitede su üretmesi
3. Kimyasal madde ilavesi gerektirmemesi
4. Fazla yer kaplamaması.

- Nanofiltrasyon (NF)

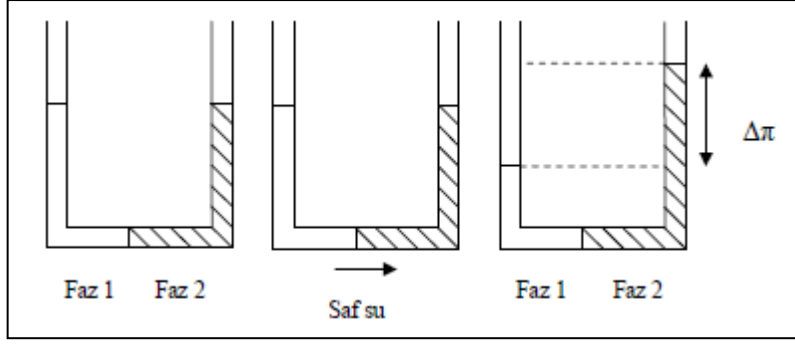
Nanofiltrasyon membranlarının kullanımı ince filmli selüloz olmayan membranlarda son yıllarda meydana gelen gelişme ile artmıştır. Nanofiltrasyon membranları ile moleküler ağırlıkları düşük inorganik tuzların, glikoz, sakaroz gibi küçük organik moleküllerin çözültiden ayrılması amacıyla kullanılmaktadır. Gözenek boyut dağılımı bakımından ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları arasında kalmaktadır. Nanofiltrasyon membranlarının MWCO değeri, 100-300 aralığında değişmektedir. Nanofiltrasyon membranları, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membranlarından yüksek, ters osmozdan ise daha düşük basınçlarda çalışmaktadır. Membranlarda,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  gibi tek değerlikli iyonların tutulma oranı düşük iken,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$  gibi çok değerlikli iyonların tutulma oranı çok yüksektir. Ayrıca mikrokirleticilerin, herbisitlerin, insektisitlerin ve pestisitlerin, şeker ve boya maddeleri gibi düşük moleküler ağırlığa sahip mikro çözümlerin de tutulma oranları çok yüksektir (Kural, 2000; Koyuncu, 2001)

Nanofiltrasyon membranları, yüzeysel sulardan sertlik gideriminde, organik madde gideriminde, kuyu sularından TÇM ve nitrat gideriminde kullanılmaktadır (Koyuncu, 2001).

Nanofiltrasyon membranlarının endüstride; tuzlu peynir sularının arıtımında, atıksularının geri kazanılmasında, renk ve TOK gideriminde, organik maddelerin konsantre edilmesi ve tuz giderilmesinde kullanımı mümkün olabilmektedir (Koyuncu 2001).

- Ters Osmoz

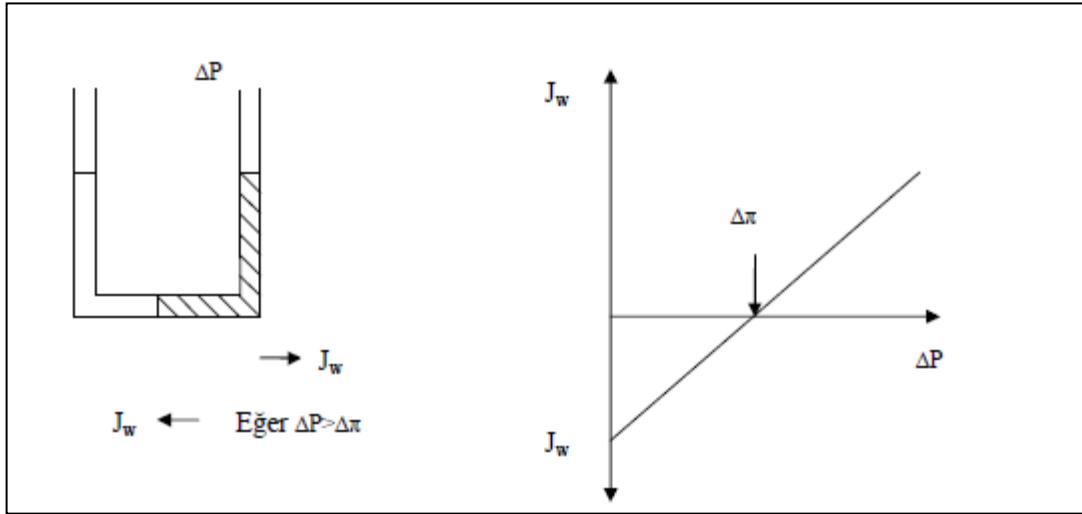
Suyun doğal şartlarda yarı geçirgen membrandan geçerek tuzlu su ortamına yani az yoğun ortamdan çok yoğun ortama doğru akması durumu osmoz olarak tanımlanmaktadır. Bu akım, iki bölme arasındaki konsantrasyon farkı sıfıra düşene kadar devam etmektedir (Kural, 2000). Suyun membran içinden geçerek tuzlu su ortamına geçişi, buradaki basıncı osmotik basınç olarak tanımlanan bir basınç değeri kadar yükseltmektedir (Şekil 2.13).



**Şekil 2.13:** Osmoz olayının şematik gösterimi.

Ters osmozda meydana gelen kütle transferi olayı, konsantre çözeltiliye çözeltinin osmotik 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, osmotik basınçtan düşük olursa su akışı seyreltik taraftan derişik tarafa akmaya devam edecektir (Kural, 2000).

Meydana gelen su akışının uygulanan basıncın fonksiyonu olduğu Şekil 2.14'te görülebilmektedir.



**Şekil 2.14:** Uygulanan basınca göre akının davranışı (Mulder, 1996).

Ters osmoz sistemlerde yarı geçirgen membran kullanılmaktadır. Suyun membrandan süzülebilen kısmı büyük ölçüde saflaştırılırken, diğer taraftaki konsantre hale gelmiş safsızlıklar ayrılmaktadır. Ters osmoz sistemlerde genellikle yatay akışlı filtrasyon prensibi kullanılmaktadır. Yatay akışın membran yüzeyinde sürekli bir temizleme etkisi bulunmaktadır.

Ters osmoz membranlarında, 30-100 bar arasında değişen yüksek basınçların uygulanması gerekmektedir. Ters osmoz membranları genellikle asimetrik veya kompozit yapıda olmaktadır. Kullanılan membranlar, kimyasal ve biyolojik etkilere, yüksek sıcaklık ve geniş pH aralıklarına, uzun çalışma sürelerine ve yüksek klor değerlerine dayanıklı olmalıdır.

Ters osmoz membranlarının gözenek çapı diğer membran türlerine göre çok daha küçük olduğundan dolayı, tıkanma olasılıkları daha yüksektir. Bu nedenle ters osmoz işleminden önce iyi bir ön arıtma yapılması gerekmektedir. Ters osmoz membranları ile, membran prosesleri içerisinde en ileri ve en yüksek giderme verimlerinde iyon ve katyonları, tüm çözünmüş maddeleri ve metal iyonlarını sudan giderilebilmektedir.

Ters osmoz membranları başlangıçta yalnızca deniz suyu ve kuyu suyu arıtımında kullanılmıştır. Ters osmoz membranları genellikle; çeşitli endüstrilerde renk giderimi (tekstil, maya, deri, kağıt vb.), endüstriyel atıksularının arıtımı (mezbaha, tekstil, maya vb.), endüstrisilerde geri kazanım (gıda, elektro kaplama vb.) , sızıntı suyu arıtımı, madencilik, ilaç üretimi, tarımsal drenaj sularının yeniden kullanılması, değerli metallerin geri kazanımı gibi birçok endüstride yaygın olarak tercih edilmektedir.

Ters ozmoz, ayrıca, tuz giderimi ile proses suyu eldesinde, deniz suyundan içme suyu eldesinde, atıksulardan, sorun yaratan iyonların uzaklaştırılmasında da sıklıkla kullanılmaktadır.

#### **2.2.4.6 Membran teknolojilerinin işletme parametreleri açısından değerlendirilmesi**

Membran teknolojileri, kullanım alanları, arıtma kalitesi; kapasite, akı, uzaklaştırma yüzdesi ve geri kazanım oranı gibi farklı parametrelere göre seçilmektedir. Bunlarla ilgili dizayn bilgileri kullanılan membran teknolojisi, işletme basınçları ve buna bağlı harcanan enerji ile doğrudan alakalıdır. Membranların işletme parametrelerine göre karşılaştırılması Çizelge 2.11'de verilmiştir.

**Çizelge 2.11:** Membran proseslerin işletme parametrelerine göre sınıflandırılması (Arslan, 2000).

| Membran Teknolojisi | İşletme Basıncı (bar) | Enerji Tüketimi (kWsa/m <sup>3</sup> ) | Akı (L/m <sup>2</sup> *gün) | Geri Kazanım Oranı(%) |
|---------------------|-----------------------|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Mikrofiltrasyon     | 1                     | 0,4                                    | 405-1600                    | 94-98                 |
| Ultrafiltrasyon     | 5,25                  | 3                                      | 405-815                     | 70-80                 |
| Nanofiltrasyon      | 8,75                  | 5,3                                    | 200-815                     | 80-85                 |
| Ters Osmoz          | 15,75                 | 10,2                                   | 320-490                     | 70-85                 |

Membranların üretim şekillerine ve işletme şartlarına göre karşılaştırılması Çizelge 2.12'de verilmiştir.

**Çizelge 2.12:** Membranların üretim Şekillerine ve işletme parametrelerine göre karşılaştırılması (Arslan, 2000).

| Membran Teknolojisi | Çalışma Aralığı (µm) | İşletme Basıncı (bar) | Kullanılan Malzeme                                         | Membran Özellikleri                              |          |
|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|
|                     |                      |                       |                                                            | Tip                                              | Geometri |
| Mikrofiltrasyon     | 0,1-2                | 0,5-1                 | Polipropilen, akrilonitril, naylon ve politetrafloroetilen | Spiral sarımlı, boşluklu elyaf, plaka ve çerçeve |          |
| Ultrafiltrasyon     | 0,005-0,2            | 0,7-7                 | Selüloz asetat, aromatik poliyamid                         | Spiral sarımlı, boşluklu elyaf, plaka ve çerçeve |          |
| Nanofiltrasyon      | 0,001-0,01           | 5-10                  | Selüloz asetat, aromatik poliyamid                         | Spiral sarımlı, boşluklu elyaf                   |          |
| Ters Osmoz          | 0,0001-0,001         | 8,5-70                | Selüloz asetat, aromatik poliyamid                         | Spiral sarımlı, boşluklu elyaf                   |          |

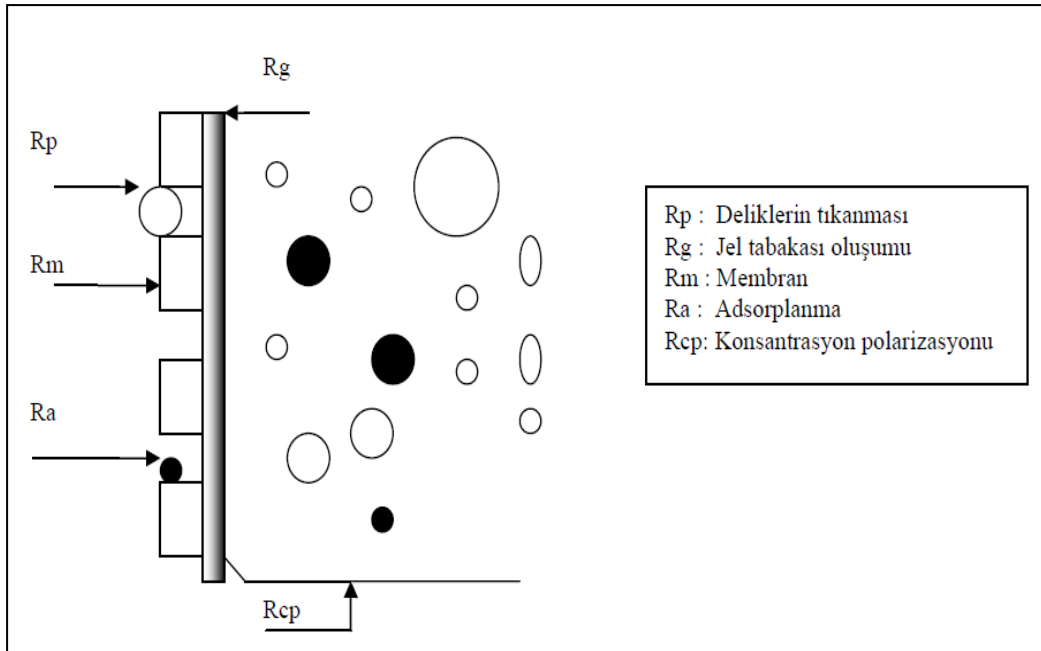
**Çizelge 2.13:** Membran proseslerde tipik basınç ve geri kazanımlar.

| Membran Prosesler | Tipik ΔP, kPa | Tipik ΔP, psi | Geri Kazanım, % |
|-------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Ters Osmoz        | 800 - 8000    | 100 - 1000    | 20-80           |
| Nanofiltrasyon    | 350-1000      | 50 - 150      | 60-90           |
| Ultrafiltrasyon   | 50-700        | 10 - 100      | 80-95+          |
| Mikrofiltrasyon   | 30-300        | 5 - 50        | 80-95+          |

#### 2.2.4.7 Konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanma

Polarizasyon ve tıkanma membran sisteminin ideal durumunda akıda azalmaya neden olarak bir düşüş meydana getirir. Özellikle makromoleküller ve partiküler maddeler, polarizasyon ve tıkanmaya sebep olur. Akıda düşüş meydana getiren polarizasyon ve tıkanma, membran yüzeyinde ilave bir bariyer oluşturarak membranın direncini artırmaktadır (Mulder, 1996).

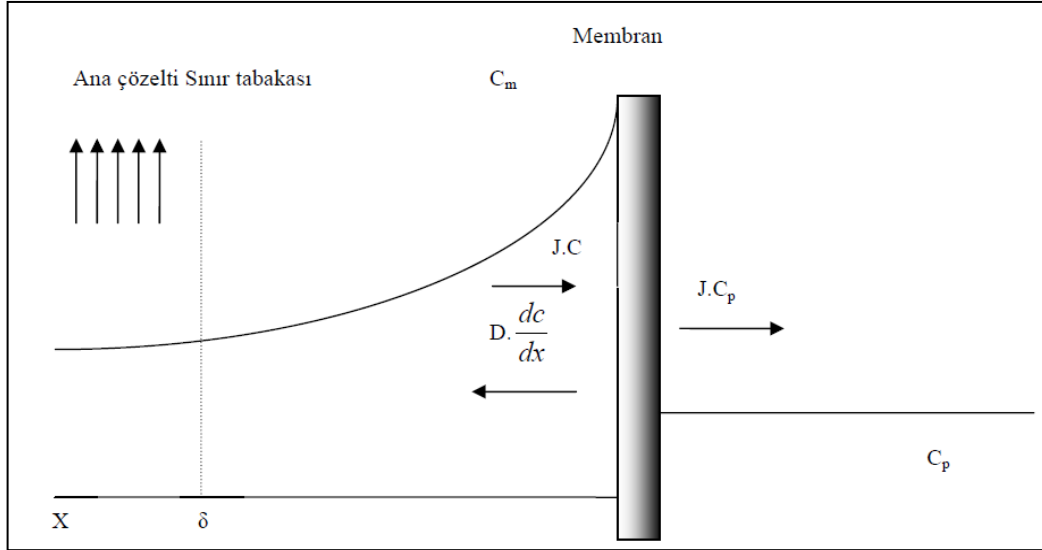
İdeal bir durumda akışkana karşı oluşan tek direnç,  $R_m$  ile ifade edilen membran direncidir. Membran, çözelti içindeki çözünmüş maddeleri geri çevirdiğinden, membran yakınında çözünmüş madde konsantrasyonunda artış meydana gelmektedir. Bu da konsantrasyon polarizasyonu direnci ( $R_{cp}$ ) olarak adlandırılan ek bir dirence sebep olmaktadır. Zamanla membran kenarında meydana gelen konsantrasyon artışı daha da yükselmektedir. Bunun sonucu jel polarizasyonu ( $R_g$ ) olarak adlandırılan bir direnç daha oluşmaktadır. Diğer bir direnç türü özellikle boşluklu membranlarda membran deliklerinin tıkanmasıyla oluşan direnç ( $R_p$ ) türüdür. Son olarak oluşan bu direnç membran boşlukları üzerinde kirleticilerin adsorplanması ile oluşmaktadır. Aynı zamanda membran delikleri üzerinde konsantrasyon artışı boşluk çapının daralmasına da sebep olmaktadır. Bu da ( $R_a$ ) ile gösterilmektedir (Şekil 2.15) (Koyuncu, 1997).



Şekil 2.15: Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri (Mulder, 1996).

Membranlar seçici geçirgen yapıya sahip olduklarından, besleme çözeltisi içindeki maddelerin (tuzların) membrandan geçişini engellerken, çözücü formundaki suyun

membranın öbür tarafına geçmesine izin verirler. Böylece membranın bir tarafında yüksek konsantrasyonlu, diğer tarafında ise (süzüntü kısmı) çok düşük konsantrasyonlu akımlar oluşur. Membran prosese verilen besleme akımı devam ettikçe membran tarafından tutulan maddeler, membran yüzeyinde birikerek yüksek konsantrasyon artışına sebep olurlar. Bu olay, membran yüzeyindeki tuzların konsantrasyonunun aşırı artışı anlamına gelen “konsantrasyon polarizasyonu” olarak adlandırılır. Bu durumda membran yüzeyindeki konsantrasyon, besleme akımındaki konsantrasyon değerinden yüksek olur (Slater ve diğ., 1985). Bir süre sonra membran yüzeyindeki konsantrasyon birikmesi geri difüze olmaya başlar. Durum daha kararlı hal alır ve iki yöndeki difüzyon birbirine eşitlenir. Böylece, membran yüzeyinde oluşan konsantrasyon profili, sınır tabakası içinde gözlemlenir (Şekil 2.16).



**Şekil 2.16:** Membran yüzeyinde konsantrasyon profili (Mulder, 1996).

Konsantrasyon polarizasyonun 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.
- Membran kirlenmesi, olarak sıralanabilir (Yalçın, 1998).

Membrandan  $\delta$  kadar mesafede,  $C_b$  konsantrasyonlu, tam karışımli akım olduğu varsayılırsa, membrana doğru yaklaştıkça, sınır tabakası oluşumu gözlenecektir. Konsantrasyon bu sınır tabakası içinde, membran yüzeyine yaklaştıkça tam karışımli olan  $C_b$  konsantrasyon değlerinden bir maksimuma,  $C_m$  konsantrasyon değlerine çıkar. Bu tabaka içinde akışın yükü  $J \cdot C$  ile belirtilir. Çözelti içindeki maddelerin hepsinin membran tarafından % 100 tutulması halinde, membrandan geçen akışın yükü  $J \cdot C_p$  ile ifade edilir. Membran yüzeyinde meydana gelen birikme, geriye doğru difüzyon akımının oluşmasını sağlar. Kararlı durumda membrandaki kütle denklemi (Mulder, 1996);

$$J \cdot C + D \frac{dC}{dX} = J \cdot C_p \quad (2.7)$$

ile belirtilir. Sınır şartlarında,

$$X=0 \text{ için, } C = C_m$$

$$X= \delta \text{ için, } C = C_b, \text{ olur.}$$

(2.7) denkleminin tekrar düzeltilmesi ve integrasyonu sonucunda;

$$J \cdot C + D \frac{dC}{dX} = J \cdot C_p \quad (2.8)$$

ile belirtilir. Sınır şartlarında,

$$X= 0 \quad C = C_m$$

$$X= \delta \quad C = C_b, \text{ olur.}$$

(2.8) denkleminin tekrar düzeltilmesi ve integrasyonu sonucunda;

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

$$\int_0^\infty J \cdot dX = D \int_{C_b}^{C_m} \frac{dC}{dX} \quad (2.10)$$

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

bağıntısı elde edilir. Burada, difüzyon katsayısı (D) ile, sınır tabakası kalınlığı ( $\delta$ ) arasındaki oran, ( $k$ ) kütle transfer katsayısını verir.

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

ile ifade edilir. Tutma oranı (R):

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

ile ifade edilirse, Denklem (2.11);

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

halini alır. Burada,  $C_m$  ve  $C_b$  sırasıyla membran yüzeyinin ve besleme çözeltisinin konsantrasyonlarını temsil etmektedir.  $C_m/C_b$  oranı konsantrasyon polarizasyonu modülü olarak adlandırılmaktadır. Bu oran, artan tutma oranı (R) ve azalan kütle transfer katsayısı ile artar. Yüksek  $k$  değeri, konsantrasyon polarizasyonunun düşük olduğunu gösterir [12]. Çözelti içindeki bütün maddelerin membran tarafından tutulduğu ideal durumda ( $R=1$  ve  $C_p=0$ ) Denklem 2.14;

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

halini alır. Bu hal, kararlı durumu ifade eder. Burada,  $C_m/C_b$  oranı, sınır tabakası kalınlığı ve akı ile eksponansiyel olarak artar ve artan çözünmüş madde difüzyonu azalır. Buradan yüksek geçirgenliğe sahip membranlarda polarizasyon oluşumunun daha zor olduğu anlaşılmaktadır (Koyuncu, 2001).

Konsantrasyon polarizasyonunu azaltmak ve kütle transferini arttırmak için, membran yüzeyine yakın bölgede iyi bir karışım sağlanmalıdır. Bu karışımı sağlamak için, besleme kanalında hız artırılmalı ve türbülanslı akımlar oluşturulmalıdır (Kural, 2000).

Membranlarda tıkanma, besleme suyunda bulunan çözünmüş maddeler, kolloidler ve süspansiyon maddelerin membran yüzeyinde birikmesi, adsorpsiyon vs. gibi etkilerle membran gözeneklerini kapatması sonucu oluşan bir problemdir. Tıkanma ile akıda azalma meydana gelir, membran performansı düşer. Bunu önlemek için besleme

akımı membrana verilmeden önce bir ön arıtmadan geçirilir. Ön arıtmanın derecesini besleme suyunun karakteristiği ve kullanılan membran proseslerin yapısı belirler. Bu amaçla, membran girişinde 5-10 µ büyüklüğündeki partikülleri tutan kartuş filtreler kullanılır.

Besleme akımında bulunan mikrobiyal organizmalar, membran yüzeyinde kek tabakası oluşturur. Oluşan kek tabakası, hem akıyı azaltır, hem de süzüntü suyunun bakteriyel kirlenmesine sebep olur. Besleme suyunda bulunan çözünmüş tuzlar da membran gözeneklerinde ve yüzeyinde birikerek akıda düşüş meydana getirir (Yalçın, 1998)



### **3. MATERYAL VE METODLAR**

#### **3.1 Deney Tesisatının Tanıtımı**

Deneylerde kullanılan membran sistemi laboratuvar ölçekli olup, OSMONICS firmasından temin edilmiştir. Deney tesisatı, laboratuvarında çalıştırılmak üzere tasarlanmıştır. Membran tesisi, laboratuvar ortamında farklı özelliklerdeki membranların performansı ve verimlerinin test edilmesi amacı ile kurulan bir tesistir. Sistem hem düşük basınçta (0-2 bar aralığı) hem de yüksek basınçta (70 bar) çalıştırılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Paslanmaz çelikten imal edilmiş bu pilot tesis, üç fazlı akım ile çalışan bir yüksek basınç pompasına sahiptir. Tesisin maksimum debisi yaklaşık olarak 1000 lt/saat civarındadır.

Laboratuvar ölçekte işletilen bu basınçlı membran sistemi aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır:

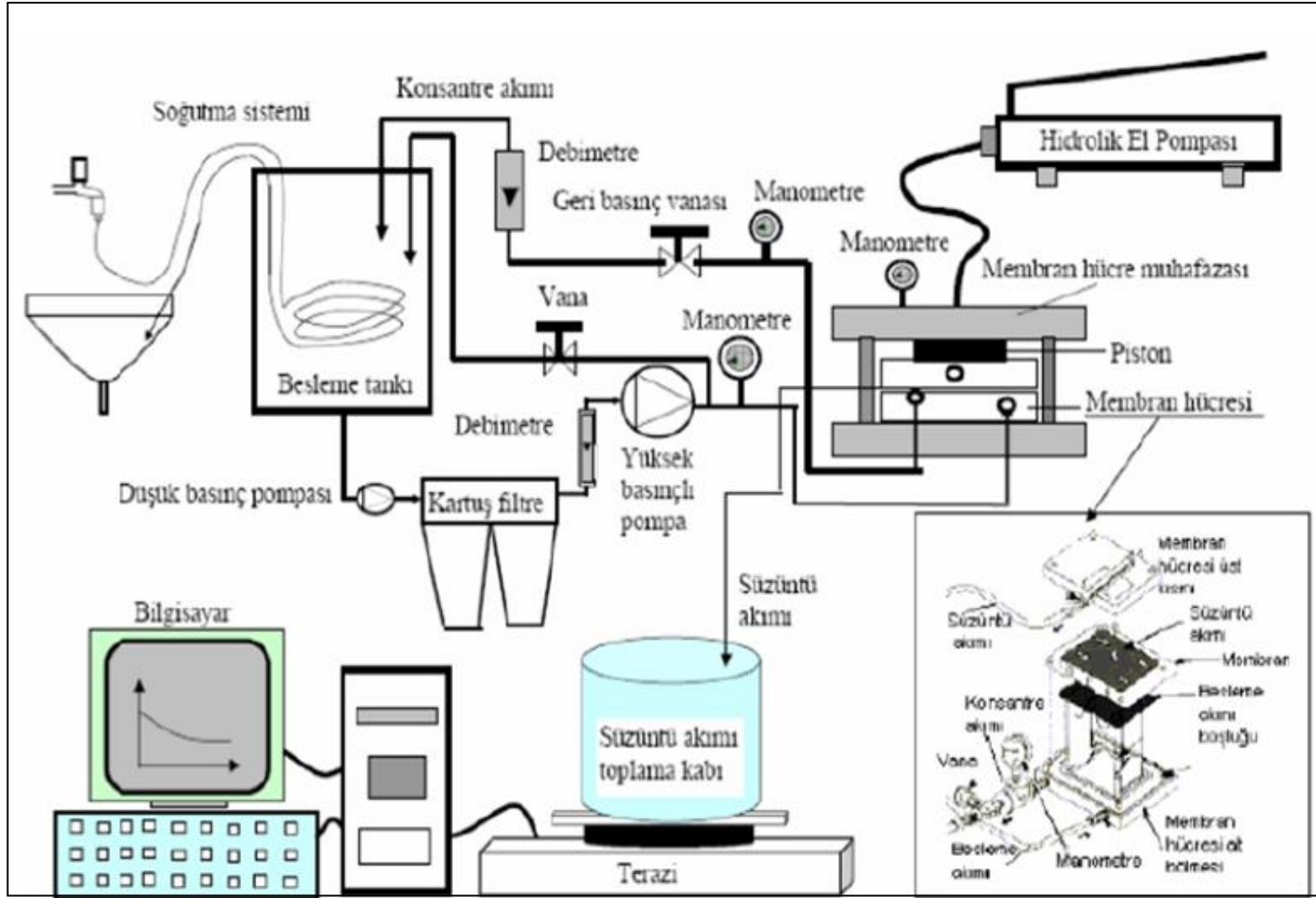
- Atıksu besleme tankı
- Kartuş filtre
- Debi ölçer
- pH, sıcaklık, iletkenlik problemleri
- Yüksek basınç pompası
- Membran test hücresi
- Membran sistemi giriş-çıkış basınç ölçerler (2 adet manometre)
- Süzüntü suyu toplama kabı
- Terazî
- Kontrol paneli
- Bilgisayar ve scada
- Hidrolik el pompası

- Besleme tankının sıcaklığının sabit olmasını sağlayan soğutma sistemi



**Şekil 3.1:** Deneysel düzeneğe ait ekipmanlar.

Basınçlı membran sisteminin akım şeması Şekil 3.2 ve deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.2: Deney düzeneğinin akış şeması (Koyuncu, 2001).

Membran hücresinin genişliği, 21,6 cm, uzunluğu 16,5 cm ve yüksekliği 5,3 cm'dir. Membran hücre muhafazasının genişliği, 27,6 cm, uzunluğu 22,9 cm ve yüksekliği 20,3 cm'dir. Membran hücresi üstten basınç uygulanarak sıkıştırılmakta ve bu şekilde, uygulanan besleme akımındaki basınca dayanıklı olması sağlanmaktadır. Membran hücre muhafazasında bulunan pistonu uygulanan bu basınç, besleme akımı basıncından büyük olması gerekmektedir. Membran hücre muhafazası piston sistemine uygulanan basınç, hidrolik el pompası ile gerçekleştirilmiştir. Hidrolik el pompası, KOPARAN KP1 modeldir. Depo hacmi, 1,5 lt, depo çapı 60 mm, boyu 550 mm, toplam hacmi 2,6 cm<sup>3</sup> ve bu pompa ile uygulanabilen maksimum basınç yaklaşık 600 mbar'dır. Yüksek basınç pompası ile 70 bar'a kadar olan basınçlar, temin edilebilmektedir. Yüksek basınç pompası, CAT Pumps'dan temin edilmiştir.

Paslanmaz çelikten imal edilmiş olan besleme tankının hacmi 15 L'dir. Besleme tankının içerisinde işletme sıcaklığını 25 °C'de ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) tutma amaçlı bir soğutma tertibatı mevcuttur. Soğutma sisteminin çalışma şekli borulu ısı eşanjörüne benzemektedir. Besleme tankı içerisine yerleştirilen spiral şeklindeki ince boruların içerisinden çeşme suyu geçirilerek atıksu sıcaklığının sabit tutulması sağlanmıştır. Bu borular ısı transfer etmek amacıyla yapılmıştır. Akışkanların birbirini ile temas etmeden sıcaklığın istenen derecede korunması amacı ön plandadır.



**Şekil 3.3:** Laboratuvar ölçekli basınçlı membran sisteminin genel görünüm.

- Sistemin İşletilmesi

Tanktaki besleme suyu ilk olarak kartuş filtreye iletilmektedir. Kartuş filtrede 5-10 mikron boyutundaki partiküller, sisteme zarar vermemeleri için tutulmaktadır. Kartuş filtreden geçen akım, daha sonra yüksek basınç pompasında basınçlandırıldıktan sonra membran hücresine girmektedir. Membran test hücresinde akım, konsantre akımı ve süzüntü akımı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Konsantre akımı, besleme tankına geri devir ettirilirken, süzüntü akımı akıyı belirleyebilmek amacıyla tartı üzerinde bulunan bir kapta toplanmaktadır. Ayrıca süzüntü akımı hattı üzerinde yer alan iletkenlik, sıcaklık ve pH prob haznesinde bu parametreler ölçülmektedir. Veriler bilgisayarda depolanmaktadır.

Deney düzeneği manüel olarak kontrol edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Her çalışmada, basınç ayar vanası, proses çalıştırılmadan önce tamamen açık durumda bırakılarak, basıncın sıfır olması sağlanmıştır. Sistem çalıştırıldıktan sonra vana yavaşça kapatılarak, membrana uygulanan basınç istenilen değere gelinceye kadar arttırılmıştır. Deneylere başlamadan önce sistemin kararlı hale gelebilmesi için ayarlanan basınçta birkaç dakika çalışması sağlanmıştır. Buna ek olarak sistem kararlı hale gelinceye kadar hazneye alınan borudaki arıtılmış atıksuyun tamamen boşaltılması da sağlanmıştır. İlk olarak atıksu numunesi 15 litrelik besleme tankına doldurulmuştur. Daha sonra tanktaki besleme suyu hidrofor aracılığı ile kartuş filtreye gönderilmiştir.

Kartuş filtreden geçen atıksu, yüksek basınç pompasında basınçlandırıldıktan sonra membran hücresine gönderilmektedir. Membran hücresine gelen atıksu, konsantre akımı ve süzüntü akımı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Membrandan süzülen konsantre akım besleme tankına geri gönderilmektedir, süzülen kısım ise akıyı belirlemek için ayrı bir kapta toplanmaktadır. Daha sonra, atıksu numuneleri sırasıyla NF, RO, (UF+NF), (UF+RO), (MF+RO), (MF+NF) membranlarından geçirilmiştir. NF membranları için, 2 farklı basınçta, 24 saat süreyle deneyler yürütülmüştür ve atıksu karakterizasyonundaki değişimler gözlenmiştir. RO membranları için, 4 farklı basınçta, 24 saat süreyle deneyler yürütülmüştür ve atıksu karakterizasyonundaki değişimler gözlenmiştir. Şekil 3.4'te resmi görünen sisteme, kullanılacak olan membran, 12,5 x 17,5 cm boyutlarında kesilerek, ön yüzeyi aşağıda kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 3.4 b) ve c)'de membranların yerleştirildiği hücrenin açık ve kapalı hali görülmektedir. Şekil 3.4 d)'de görülen siyah hortumdan beslenen atıksu

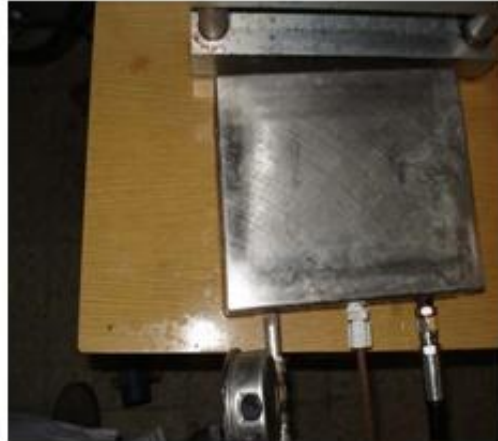
basınç yardımıyla membran geçtikten sonra hücrenin üst kısmına bağlı olan hortum yardımıyla terazinin üzerindeki numune alma kabında toplanmaktadır. Membran hücresi Şekil 3.4 d)'de görülen sıkıştırma kabında yüksek basınç pompası yardımıyla basınçlandırılmaktadır.



a) Membran hücresi genel görünümü



b) Membran hücresi açık görünümü



c) Membran hücresi kapalı görünümü



d) Membran hücresi ve sıkıştırma kabı

**Şekil 3.4:** Membran hücresinin çeşitli görüntüleri.

Debimetre kullanılan her atıksu çalışmalarında 300 mbar'lık basınç altında çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca bir sonraki atıksu ile çalışmaya geçmeden önce tanktaki su boşaltılıp, kartuş filtre değiştirilmiştir. Ardından besleme tankının içerisine çeşme suyu doldurularak, sistemin tamamen temizlenmesi için birkaç dakika çeşme suyu ile çalıştırılmıştır, daha sonra musluk suyu ile iyice yıkanıp bir sonraki atıksuyun kullanılabilmesi için hazır hale getirilmiştir.

Sistem çalışmaya başladıktan sonra, besleme tankının altında bulunan siyah hortumdan çıkan atıksu ilk önce kartuş filtreden geçer, daha sonra membranın bulunduğu bölüme gelir, membrandan örneğin NF'den geçerken ilk önce 12 barlık basınçta bir saat geçirilen atıksu tartının üzerinde bulunan kap içerisinde biriktirilir.

Daha sonra 15 barlık basınçta sistem çalıştırılır. Basınç arttıkça tartım kabında biriken su miktarı, süzülme oranı artmaktadır ve suda renk değişimi gözlenmektedir.

Şekil 3.5'te kirlenmiş bir membran ile kartuş filtrenin görünümü yer almaktadır.



**Şekil 3.5:** Arıtma sonrası kirlenmiş bir membran (a) ve kartuş filtre (b) görünümü.

### 3.2 Deney Tesisatında Kullanılan Membranlara Ait Teknik Bilgiler

Deneylerde nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) öncesi ön arıtma amaçlı iki adet mikrofiltrasyon membranı (0,2  $\mu\text{m}$  MF, 0,05  $\mu\text{m}$  MF) ve bir adet ultrafiltrasyon membranı (UC 100T) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan mikrofiltrasyon (MF 0,2 ve MF 0,05), ultrafiltrasyon (UC100T) membranlarına ait özellikler sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1:** Deneylerde kullanılan MF membranların özellikleri.

| Parametreler      | MV 020T                      | MP005                        |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| Gözenek büyüklüğü | 0,2 $\mu\text{m}$            | 0,05 $\mu\text{m}$           |
| Membran malzemesi | PVDF                         | PES                          |
| Saf su akısı      | > 500 L/m <sup>2</sup> .saat | > 800 L/m <sup>2</sup> .saat |
| Basınç            | -                            | 0,7 bar                      |
| Tutma Yüzdesi     | -                            | % 90 – 97                    |

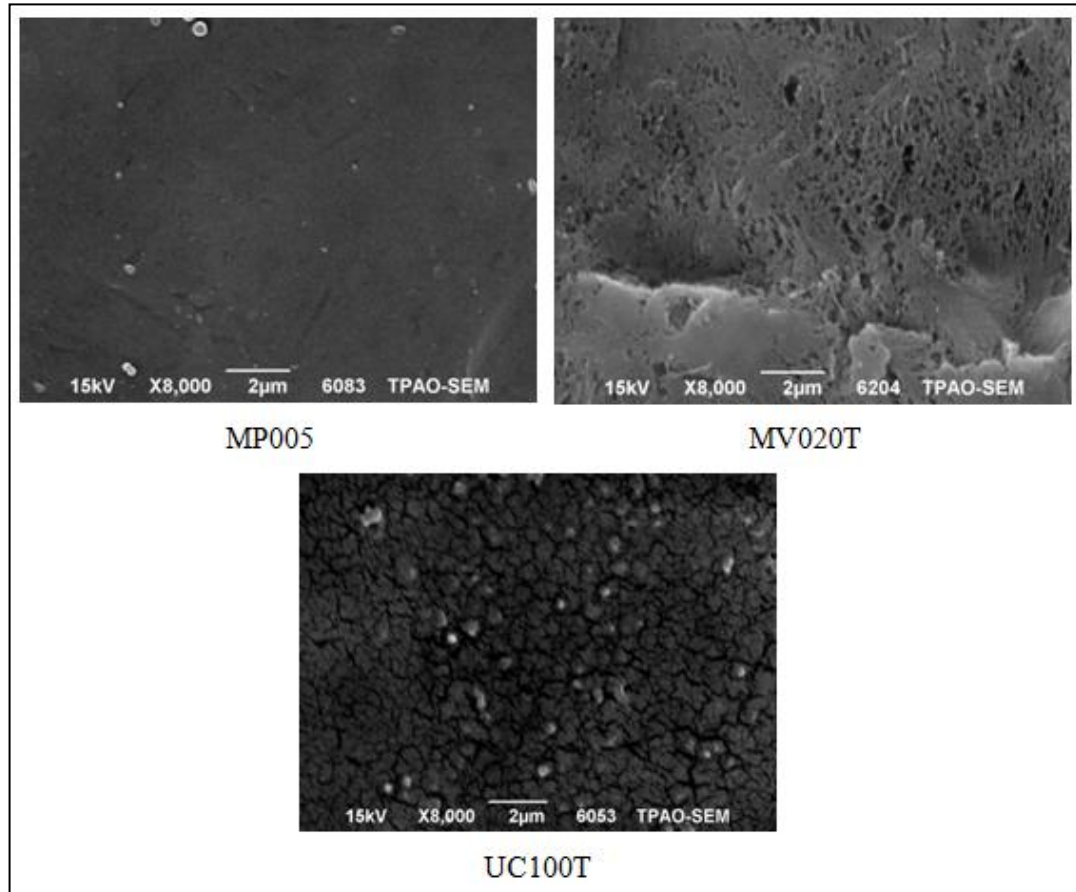
**Çizelge 3.2:** Deneylerde kullanılan UF membranının özellikleri.

|                                           |                        |
|-------------------------------------------|------------------------|
| Parametreler                              | UC100T                 |
| Membran malzemesi                         | Selüloz                |
| Maksimum işletme sıcaklığı                | 55 °C                  |
| Maksimum işletme basıncı                  | 3 bar                  |
| pH aralığı                                | 1 – 12                 |
| Akı                                       | 40 L/m <sup>2</sup> .h |
| Moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) | 100 kDa                |

Basınçlı membran sisteminde kullanılan membran alanı 155 cm<sup>2</sup> olup, membranın boyutunu gösteren görüntü Şekil 3.6’da verilmiştir. Ön arıtma amaçlı kullanılan temiz membran örneklerinin 2 mikron ölçekte SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 3.7’de verilmiştir.



**Şekil 3.6:** Kullanılan membran boyutu görüntüsü.



**Şekil 3.7:** Ön arıtma amaçlı kullanılan membranların SEM görüntüleri.

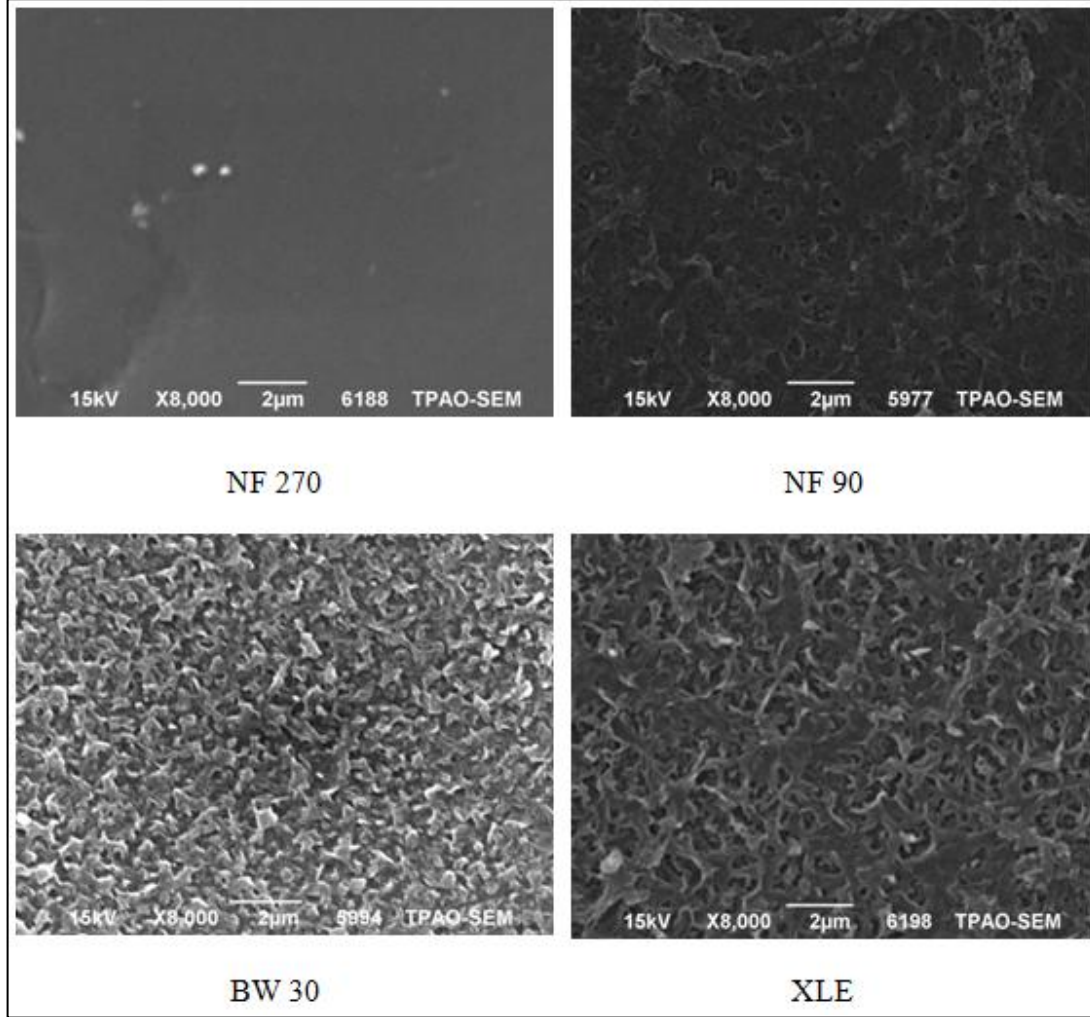
Deneylerde ileri arıtım için iki adet nanofiltrasyon (NF) membranı ve iki adet ters osmoz (TO) membranları kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan nanofiltrasyon (NF 270 ve NF 90), ters osmoz (BW30 ve XLE) membranlarına ait özellikler sırasıyla Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3:** Deneylerde kullanılan NF membranların özellikleri.

| Parametreler                              | NF 90    | NF 270     |
|-------------------------------------------|----------|------------|
| Membran malzemesi                         | Poliamid | Poliamid   |
| Maksimum işletme sıcaklığı                | 35°C     | 45°C       |
| Maksimum işletme basıncı                  | 41 bar   | 35 bar     |
| pH aralığı                                | 4 – 11   | 3 – 10     |
| Moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) | 200 Da   | 200–300 Da |
| Giderim yüzdesi – NaCl çözeltisi için     | 85 – 95  | 40 – 60    |

**Çizelge 3.4:** Deneylerde kullanılan TO membranların özellikleri.

| Parametreler        | BW 30                        | XLE                          |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|
| Saf su geçirgenliği | $6,7 \times 10^{-7}$ m/s.bar | $1,9 \times 10^{-6}$ m/s.bar |
| Temas açısı         | $41 \pm 2^\circ$             | $48 \pm 3^\circ$             |
| Tuz giderim yüzdesi | % 99,5 (NaCl)                | % 95 (MgSO <sub>4</sub> )    |
| Zeta potansiyeli    | -20 mV                       | $-3 \pm 2$ mV                |



**Şekil 3.8:** İleri arıtma amaçlı kullanılan membranların SEM görüntüleri.

- DeneySEL SistematiK

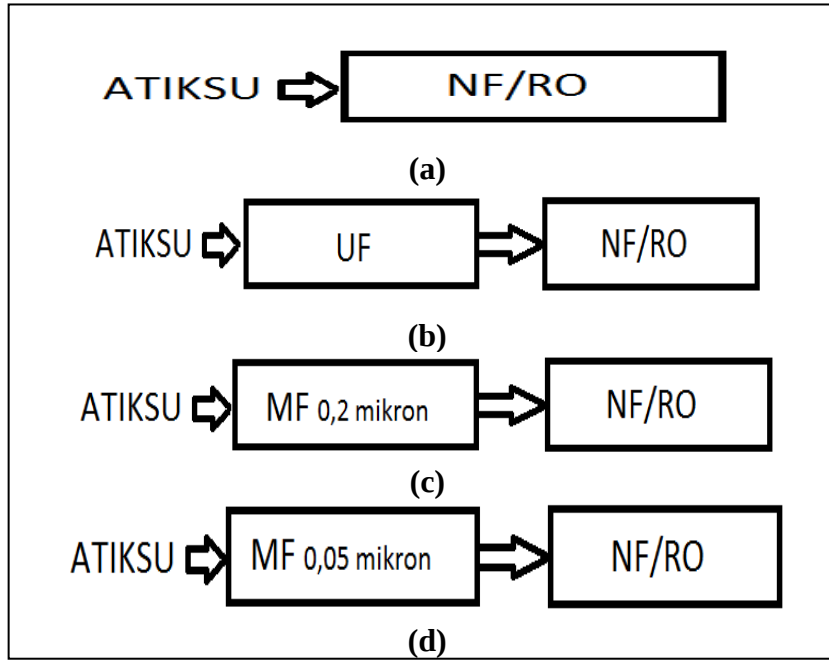
Basınçlı membran sisteminde yürütülen laboratuvar ölçekli çalışmalarda maya fabrikası atıksu arıtma tesisi şekerli maya seperasyon atıksuyu kullanılmıştır.

Deneylerde nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) öncesi ön arıtma amaçlı iki adet mikrofiltasyon membranı (0,2 µm MF , 0,05 µm MF ) ve bir adet ultrafiltasyon membranı (UC 010T) kullanılmıştır. Çalışmalarda iki farklı tipte NF membranı (NF 270, NF 90) ve TO membranı (BW30, XLE) renk ve KOİ giderme amaçlı olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.5'te ekmek mayası fabrikası atıksu arıtma tesisi seperasyon atıksuları için uygulanan farklı arıtma kombinasyonları özetlenmiştir. Şekil 3.9'da ise arıtılabilirlik çalışmalarında uygulanan arıtma adımları gösterilmektedir.

**Çizelge 3.5:** Ekmek mayası fabrikası atıksu arıtma tesisi seperasyon atıksularının arıtımı için uygulanan deney planı.

| Deney No | Uygulanan Ön Arıtım | Uygulanan Membran Tipi | Basınç Değerleri |
|----------|---------------------|------------------------|------------------|
| 1        | MV020T              | NF 90                  | 12 bar           |
|          |                     |                        | 15 bar           |
| 2        |                     | NF 270                 | 12 bar           |
|          |                     |                        | 15 bar           |
| 3        |                     | BW30                   | 15 bar           |
|          |                     |                        | 20 bar           |
|          |                     |                        | 25 bar           |
|          |                     |                        | 30 bar           |
| 4        |                     | XLE                    | 15 bar           |
|          |                     |                        | 20 bar           |
|          |                     |                        | 25 bar           |
|          |                     |                        | 30 bar           |
| 5        | NF 90               | 12 bar                 |                  |
|          |                     | 15 bar                 |                  |
| 6        | NF 270              | 12 bar                 |                  |
|          |                     | 15 bar                 |                  |
| 7        | BW30                | 15 bar                 |                  |
|          |                     | 20 bar                 |                  |
|          |                     | 25 bar                 |                  |
|          |                     | 30 bar                 |                  |
| 8        | XLE                 | 15 bar                 |                  |
|          |                     | 20 bar                 |                  |
|          |                     | 25 bar                 |                  |
|          |                     | 30 bar                 |                  |
| 9        | NF 90               | 12 bar                 |                  |
|          |                     | 15 bar                 |                  |
| 10       | UF (UC100T)         | NF 270                 | 12 bar           |
|          |                     |                        | 15 bar           |
| 11       | UF (UC100T)         | BW30                   | 15 bar           |
|          |                     |                        | 20 bar           |
|          |                     |                        | 25 bar           |
|          |                     |                        | 30 bar           |
| 12       |                     | XLE                    | 15 bar           |
|          |                     |                        | 20 bar           |
|          |                     |                        | 25 bar           |
|          |                     |                        | 30 bar           |
| 13       | Ön Arıtma Yok       | NF 90                  | 12 bar           |
|          |                     |                        | 15 bar           |
| 14       | Ön Arıtma Yok       | NF 270                 | 12 bar           |
|          |                     |                        | 15 bar           |
| 15       | Ön Arıtma Yok       | BW 30                  | 25 bar           |
|          |                     |                        | 30 bar           |
| 16       | Ön Arıtma Yok       | XLE                    | 25 bar           |
|          |                     |                        | 30 bar           |



**Şekil 3.9:** Ekmek mayası fabrikası atıksu arıtma tesisi seperasyon atıksularının arıtılabilirlik çalışmalarında uygulanan arıtma aşamaları.

- Analiz Yöntemleri

Hamsularda ve arıtılan numunelerin hepsinde izlenen parametreler; akı, renk, sıcaklık, pH, iletkenlik, tuzluluk, Toplam Çözünmüş Madde (TÇM), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)'dir.

Akı değerinin belirlenmesi

Süzüntü akımının debisini belirlemek için PRECISA 6200D marka 0.1 gr hassasiyetli dijital terazi kullanılmıştır. Membranda süzülen su terazi üzerine yerleştirilmiş bir kaptaki Şekil 3.10'da görüldüğü gibi biriktirilmiştir. Süzüntü kabında biriken atıksu miktarı ağırlık (g) cinsinden okunmuştur. Terazi bilgisayara bağlıdır ve otomatik olarak her dakikada bir ölçüm değerleri bilgisayara gönderilmektedir. Bilgisayarda toplanan veriler gr cinsinden okunmaktadır. Suyun yoğunluğu 1000 kg/m<sup>3</sup> ve membran alanı 0,0155 m<sup>2</sup> olarak alınarak lt/m<sup>2</sup>.saat cinsinden akı değeri hesaplanmıştır. Denklemden Y süzöntü akımını (g) göstermektedir.

$$Akı (J_v) (L/m^2.sa) = \frac{Y \left( \frac{g}{dk} \right) \times 0.001 \left( \frac{L}{g} \right) \times 60 \left( \frac{dk}{sa} \right)}{0.0155 (m^2)} \quad (3.1)$$



**Şekil 3.10:** Bilgisayara bağlı terazi ve süzüntü kabının görüntüsü.

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi akı  $L/m^2.saat$  cinsinden otomatik olarak hesaplanmıştır. Bilgisayara aktarılan mL cinsinden değerler her dakikada bir otomatik olarak ölçüldüğü için birim zamanda süzülen su miktarı mL/dk cinsinden hesaplanmış, lt/saat'e dönüştürülmüş ve membran alanı olan  $0,0155 m^2$ 'ye bölünerek her dakika için ayrı ayrı akı değerleri gözlenmiştir. Sonuçlar Excel ile grafiğe dökülmüştür. Zamana göre akı değeri değerlendirilmiş buna ek olarak uygulanan farklı basınçtaki akı değişimi karşılaştırılmış membranların optimum çalışma durumları gözlenmiştir.

### 3.3 Deneylerde Kullanılan Atıksular ve Gözlemlenen Parametreler

Deneysel çalışmalar sırasında düzenli olarak her atıksu numunesi için, özellikle akı, pH, renk, iletkenlik, sıcaklık, TÇM, tuzluluk ve KOİ parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler ham suda ve süzüntü akımında gözlenerek membranların verimlilik durumları izlenmiştir.

İletkenlik, Tuzluluk ve TÇM: İletkenlik ölçümleri Hach Sension 5 marka iletkenlik, tuzluluk ve TÇM ölçer ile yapılmıştır.

pH: pH ölçümleri, ORION marka 720 model pH metre ile gerçekleştirilmiştir.

Akı: Akı ölçümü için daha önceden ayarlanmış olan tartı kullanılmıştır. Bilgisayara bağlı tartı aracılığı ile zamana bağlı olarak elde edilen süzüntü akımı, terazide toplanmış ve ağırlık cinsinden hesaplanmıştır.



**Şekil 3.11:** Kullanılan pH metrenin görüntüsü.

Renk: İki farklı spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır. Absorbans cinsinden 465 nm dalga boyunda (Pt-Co olarak), Hach Marka, Şekil 3.12’de görülen DR 2800 spektrofotometrede ölçülmüştür.



**Şekil 3.12:** Hach marka, DR 2800 spektrofotometre.

KOİ: Çalışmalar kapsamında düşük klorür konsantrasyonu içeren numunelerde KOİ parametresi, Standart Metodlar'da verilen 5220 B no'lu metoda göre titrimetrik olarak tayin edilmiştir (AWWA, 2005).

Optimum arıtma sistemi için ise yukarıdaki parametrelere ilave olarak AKM, UAKM ve BOİ<sub>5</sub> parametreleri ölçülmüştür.

BOİ<sub>5</sub>: Standart Metodlar'da verilen APHA 2005-5210 B titrimetrik yöntemine göre tayin edilmiştir.

AKM: Askıda Katı Madde (AKM), Standart Metodlar'da verilen 2540 D no'lu metoda göre gravimetrik olarak tayin edilmiştir (AWWA, 2005). AKM, filtre kağıdının ve süzme sonrası üzerindeki kalıntının 103°C'de 1 saat kurutulduktan sonra tartılması ve tara farkının bulunmasıyla hesaplanmıştır. AKM parametresinin analizinde 0,45 µm gözenekli Millipore AP 40 filtre kağıdı kullanılmıştır.

UAKM: UAKM değeri, Standart Metodlar'da verilen 2540 E no'lu metoda (AWWA, 2005) göre, askıda katı madde tayini sonrası filtre kağıdı ve üzerindeki kalıntının 550°C'de 30 dakika yakılması ile oluşan ağırlık kaybı üzerinden hesaplanmıştır. UAKM parametresinin analizinde 0,45 µm gözenekli Millipore AP 40 filtre kağıdı kullanılmıştır.



## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

### 4.1 Karakterizasyon Çalışması

Tesiste %4-5 kuru madde muhtevalı maya çözeltisinin maya seperatörlerinde kuru madde muhtevası %18-22'ye yükseltilirken çok kirli atıksular (seperasyon atıksuları) ortaya çıkmaktadır. Karakterizasyon amacıyla ilgili maya endüstrisinin maya seperasyon prosesinden alınan atıksu örneği için  $KOI_T$ ,  $KOI_C$ ,  $BOI_5$ , AKM, UAKM, TKN, TN,  $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$ ,  $NO_2-N$ , Toplam P,  $PO_4-P$ , Sülfat, TÇM, Tuzluluk, İletkenlik, pH, Klorür, Florür, 3 farklı dalga boyunda ve Pt-Co biriminde renk parametreleri analiz edilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen analizler, analiz yöntemleri, analizlerde kullanılan cihazlar Çizelge 4.1 'de topluca verilmiştir.

**Çizelge 4.1:** Çalışma kapsamında ölçülen parametreler ve ölçüm teknikleri.

| Parametreler                                                                          | Analiz Yöntemi                                | Cihaz Markası                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| pH                                                                                    |                                               | Thermo Orion 720a model cihaz                                            |
| Tuzluluk, Toplam Çözünmüş Madde(TÇM) ve İletkenlik                                    |                                               | Crison Multimeter 44 marka cihaz                                         |
| Kimyasal Oksijen İhtiyacı ( $KOI$ ) ve Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı ( $KOI_C$ ) | APHA 2005-5220 B Titrimetrik Yöntem           |                                                                          |
| Biyolojik Oksijen İhtiyacı ( $BOI_5$ )                                                | APHA 2005-5210 B Titrimetrik Yöntem           |                                                                          |
| Nitrit, Nitrat, Klorür, Florür, Fosfat, Sülfat                                        |                                               | Dionex ics-3000 marka iyon kromotograf                                   |
| Askıda Katı Madde (AKM)                                                               | APHA 2005-2540 D:103-105°C Gravimetrik Yöntem |                                                                          |
| Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM)                                                        | APHA 2005-2540 E:550 °C Gravimetrik Yöntem    |                                                                          |
| Amonyak Azotu ( $NH_4-N$ )                                                            | APHA 2005-4500 - $NH_3$ B Distilasyon Metodu  |                                                                          |
| Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)                                                           | APHA 2005-4500 $N_{org}$ D Parçalama Metodu   |                                                                          |
| Toplam Fosfor (TP)                                                                    | APHA 2005-4500 P-E Kolorimetrik Yöntem        |                                                                          |
| Renk                                                                                  |                                               | Perkin Elmer Lambda 25 marka UV Visible Spektrofotometre (ABS Cinsinden) |
| Renk                                                                                  |                                               | Hach Marka DR 2800 Model spektrofotometre (Pt-Co biriminde)              |

Çizelge 4.2’de maya seperasyon prosesine ait atıksu için karakterizasyon çalışmasına ait sonuçlar görülmektedir.

**Çizelge 4.2:** Maya seperasyon prosesinden alınan atıksu örneğinin karakterizasyonu.

| Parametre                   | Birim  | Değer |
|-----------------------------|--------|-------|
| KOİ <sub>T</sub>            | mg/L   | 51600 |
| KOİ <sub>Ç</sub>            | mg/L   | 41000 |
| BOİ <sub>5</sub>            | mg/L   | 24700 |
| AKM                         | mg/L   | 2420  |
| UAKM                        | mg/L   | 1670  |
| TKN                         | mg/L   | 3947  |
| TN                          | mg/L   | 3964  |
| NH <sub>4</sub> -N          | mg/L   | 413   |
| NO <sub>3</sub> -N          | mg/L   | 17    |
| NO <sub>2</sub> -N          | mg/L   | -     |
| Toplam P                    | mg/L   | 10    |
| PO <sub>4</sub> -P          | mg/L   | 0,01  |
| Sülfat                      | mg/L   | 4283  |
| Süzülmüş TKN                | mg/L   | 1822  |
| Süzülmüş NH <sub>4</sub> -N | mg/L   | 386   |
| TÇM                         | mg/L   | 24700 |
| Tuzluluk                    | ‰      | 29    |
| İletkenlik                  | mS/cm  | 44    |
| pH                          | -      | 5,03  |
| Klorür                      | mg/L   | 8820  |
| Florür                      | mg/L   | 800   |
| Renk                        | Pt.Co. | 33460 |
| Renk 436 nm                 | Abs    | 3,089 |
| Renk 525 nm                 | Abs    | 3,365 |
| Renk 620 nm                 | Abs    | 1,058 |

Literatürde ekmek mayası endüstrisi seperasyon atıksularının karakterizasyonu için elde edilen değerler Çizelge 4.3’te derlenerek bu çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Literatürdeki çalışmada maya endüstrisi maya seperasyon atıksularının KOİ değeri ~22500 mg/L olarak bildirilmiş ancak yapılan karakterizasyon çalışmasında seperasyon atıksuyunda bu değer ortalama 50000 mg/L olarak ölçülmüştür. Aradaki bu büyük farkın sebebi numunenin alındığı seperasyon ünitesinde yıkama yapılmaması söylenebilir. Çözünmüş KOİ karakterizasyon sonucu

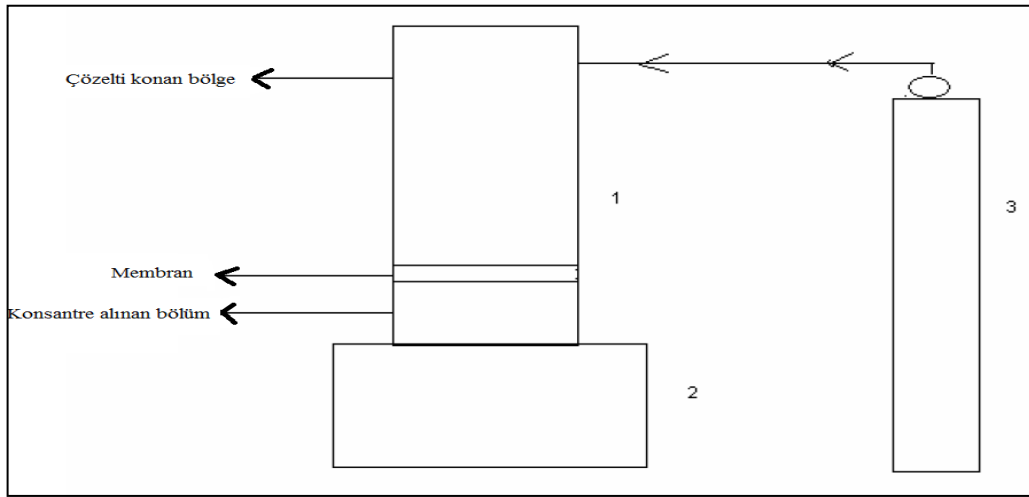
da literatürde incelenen çalışmada ortalama 19000 mg/l civarında iken, incelenen tesiste 41000 mg/l olarak ölçülmüştür. TKN ve sülfat konsantrasyonlarında da literatüre göre önemli derecede fark vardır. TKN değeri tabloda verilen çalışmada ortalama 1179 mg/l olarak bulunmuş, incelenen tesiste ise bu değer 3947 mg/L olarak ölçülmüştür. Sülfat konsantrasyonu ise literatürde incelenen çalışmada ortalama 1828 mg/l civarında iken mevcut çalışmada 4283 mg/l olarak bulunmuştur. PO<sub>4</sub>-P, TKN değerleri literatür değerlerinden biraz düşük çıkmıştır. pH ve NH<sub>4</sub>-N değerleri ise literatürde incelenen çalışma ile uyumlu sonuçlar vermiştir.

**Çizelge 4.3:** Yapılan çalışmanın atıksu karakterizasyonunun literatür ile karşılaştırılması.

| Parametre                   | Birim  | Bu Çalışma (2011) | Kalyuzhnyi ve diğ., 2005 |
|-----------------------------|--------|-------------------|--------------------------|
| KOİ <sub>T</sub>            | mg/L   | 51600             | 17900-31100 (22500)      |
| KOİ <sub>Ç</sub>            | mg/L   | 41000             | 15000- 26600 (19000)     |
| BOİ <sub>5</sub>            | mg/L   | 24700             | -                        |
| AKM                         | mg/L   | 2420              | -                        |
| UAKM                        | mg/L   | 1670              | -                        |
| TKN                         | mg/L   | 3947              | 993- 1651 (1179)         |
| TN                          | mg/L   | 3964              | -                        |
| NH <sub>4</sub> -N          | mg/L   | 413               | 186- 450 (278)           |
| NO <sub>3</sub> -N          | mg/L   | 17                | -                        |
| NO <sub>2</sub> -N          | mg/L   | -                 | -                        |
| Toplam P                    | mg/L   | 10                | 12-78 (32)               |
| PO <sub>4</sub> -P          | mg/L   | 0,01              | 2-32 (9)                 |
| Sülfat                      | mg/L   | 4283              | 682-3028 (1828)          |
| Süzülmüş TKN                | mg/L   | 1822              | -                        |
| Süzülmüş NH <sub>4</sub> -N | mg/L   | 386               | -                        |
| TÇM                         | mg/L   | 24700             | -                        |
| Tuzluluk                    | ‰      | 29                | -                        |
| İletkenlik                  | mS/cm  | 44                | -                        |
| pH                          | -      | 5,03              | 4,01-5,68 (5,14)         |
| Klorür                      | mg/L   | 8820              | -                        |
| Florür                      | mg/L   | 800               | -                        |
| Renk                        | Pt.Co. | 33460             | -                        |
| Renk 436 nm                 | Abs    | 3,089             | -                        |
| Renk 525 nm                 | Abs    | 3,365             | -                        |
| Renk 620 nm                 | Abs    | 1,058             | -                        |

## 4.2 Dane Boyut Dağılım Analizi

Dane boyut dağılımı analizi için farklı gözenek çapına sahip membranlar gözenek çapı büyükten küçüğe doğru ham atıksuya uygulanmıştır. Analiz için Millipore Amicon 8400 marka filtrasyon düzeneği kullanılmıştır. Filtrasyon sistemi Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi basınç ayarlayıcı azot gaz tüpü, manyetik karıştırıcı ve filtrasyon hücresinden oluşmaktadır. Şekil 4.2’ de filtrasyon hücresi gösterilmiştir. 400 ml maya seperasyon atıksuyu filtrasyon hücresinin çözelti konan bölümüne konur ve azot gazı yardımıyla basınç 2 bara ayarlanarak, filtrasyon sistemine yerleştirilmiş 7,6 cm çapındaki membrana gönderilir. Bu arada membrandan geçen süzüntü ayrı bir behere alınır. Beherdeki bu süzüntü daha sonra sırayla diğer membranlardan geçirilir. Konsantre kısımlar ise ayrı kapta analiz edilmek üzere saklanır.



**Şekil 4.1:** Filtrasyon sisteminin akım şeması (1.Filtrasyon hücresi, 2. Manyetik karıştırıcı, 3. Basınç ayarlayıcı azot gazı tüpü).

İlk aşamada filtrasyon tekniğinde kullanılabilecek uygun membranların elde edilebilmesi için çalışmalar yapılarak bu çalışmada kullanılabilecek membranlar seçilmiştir. Filtrasyonda kullanılan membranlar Çizelge 4.4'te gösterilmektedir.



**Şekil 4.2:** Filtrasyon Hücresi.

**Çizelge 4.4:** Dane boyut analizi için kullanılan membran tipleri ve MWCO aralıkları.

| Kullanılan Membran | Membran Tipi    | MWCO Aralığı |
|--------------------|-----------------|--------------|
| 100 K              | Ultrafiltrasyon | 100 kDa      |
| 30 K               | Ultrafiltrasyon | 30 kDa       |
| 10 K               | Ultrafiltrasyon | 10 kDa       |
| 5 K                | Ultrafiltrasyon | 5 kDa        |
| 3 K                | Ultrafiltrasyon | 3 kDa        |
| 1 K                | Ultrafiltrasyon | 1 kDa        |
| NF 270             | Nanofiltrasyon  | 0,2 kDa      |

Bu çalışmada maya seperasyon atıksuyundan 400 mL' lik numune filtrasyon hücresine koyulmuş ve basınç yardımıyla membrandan geçişi sağlanmıştır. Filtrasyon hücresinde 20 mL numune kalana kadar filtrasyon devam etmiştir. Membrandan geçiş tamamlandıktan sonra süzüntüden 30 mL, filtrasyon kabında kalan 20 mL'lik numune ise geçirilen membranın konsantresi olmakta ve ayrı bir kapta saklanmaktadır. 100 kDa'luk membrandan geçen süzüntü suyu (350mL) ikinci aşamada yukarıdaki işlemlerde olduğu gibi 30 kDa'luk membrandan geçirilmiş ve süzüntüden 30 mL, konsantreden ise 20 mL numune alınmıştır. 10 kDa'luk membrandan elde edilen süzüntü suyu daha sonra aynı prosedürde ayrı ayrı 10kDa, 5 kDa, 3kDa ve 1 kDa'luk membranlardan geçirilmiştir. Süzüntü ve konsantre numunleri analiz için ayrı kaplarda tutulmuştur. konsantreden örnek alınarak analiz yapılmıştır. En son kalan 50 mL'lik süzüntü numunesi (1 kDa'luk membranla arıtma sonrası kalan süzüntü) ise 0,2 kDa'luk NF membranından geçirilmiştir. 30 mL süzüntü ve 20 mL konsantre numunesi alınıp analiz edilmiştir.

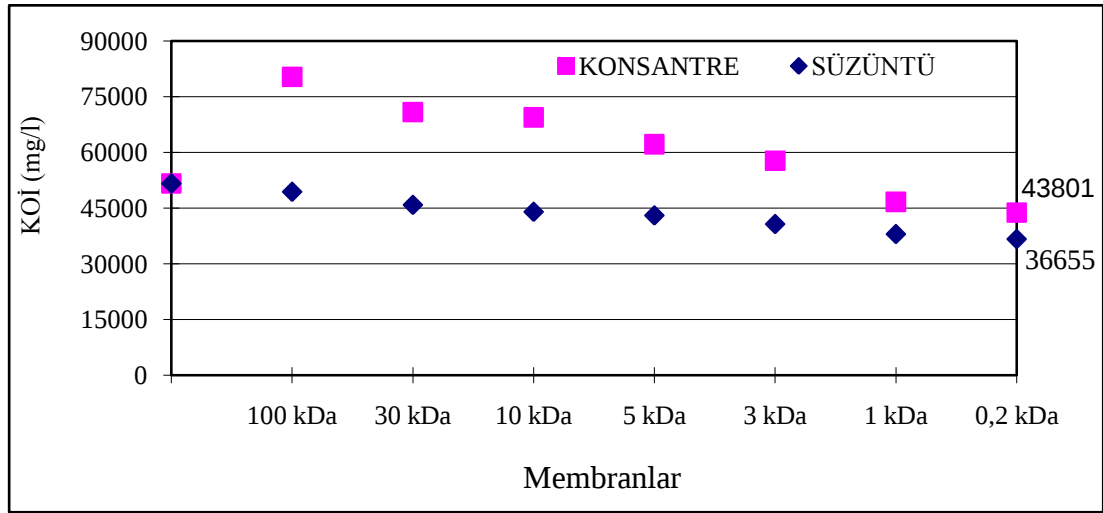
#### 4.2.1 Dane boyut dağılımına göre KOİ değişimi

Maya seperasyon atıksuyunun KOİ değeri yaklaşık olarak 51600 mg/L civarındadır. Aşağıdaki Çizelge'de sırayla 100, 30, 10, 5, 3, 1 ve 0,2 kDa'luk membranlardan dik akışlı filtre edilen atıksuyun süzüntü ve konsantre kısımlarının KOİ değerleri verilmektedir. 100 kDa'luk membranın süzüntü suyu 30 kDa'luk membranın giriş suyu olarak kullanılmıştır. Aynı şekilde 30 kDa'luk membrandan süzülen su 10 kDa'luk membran için giriş suyu olmuştur. Her bir membrandan süzülen su sonraki membran filtrasyonu için besleme suyu olarak kullanılmaktadır.

**Çizelge 4.5:** Dane boyut dağılımına göre KOİ değişimi

|         | Konsantre KOİ Değerleri<br>(mg/L) | Süzüntü KOİ Değerleri<br>(mg/L) |
|---------|-----------------------------------|---------------------------------|
| HAMSU   | 51596                             | 51596                           |
| 100 kDa | 80271                             | 49369                           |
| 30 kDa  | 70805                             | 45842                           |
| 10 kDa  | 69413                             | 43986                           |
| 5 kDa   | 62175                             | 43012                           |
| 3 kDa   | 57721                             | 40692                           |
| 1 kDa   | 46678                             | 38001                           |
| 0,2 kDa | 43801                             | 36655                           |

Çizelge 4.5'ten de görüldüğü üzere KOİ değerleri hem süzüntü hem de konsantre kısım için gözenek çapı küçüldükçe azalmaktadır. Her membranın süzüntüsünün kendinden sonraki membran için besleme suyu olarak kullanılması ile doğru orantılı olarak KOİ değerlerinde düşüş görülmektedir. Çünkü süzüntü suyunda her aşamada organik kirlilik daha da azalmaktadır. Şekil 4.3'te kullanılan membranlara bağlı KOİ değişim grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.3:** Kullanılan membran gözenek büyüklüğüne bağlı KOİ değişim grafiği.

Şekil 4.3'ten de görüldüğü gibi KOİ değeri ham atıksu numunesinde 51600 mg/L civarında iken en son değer olarak 36655 mg/L'ye kadar düşürülmüştür. Yaklaşık olarak %29'luk KOİ giderimi gerçekleşmiştir.

#### 4.2.2 Dane boyut dağılımına göre renk değişimi

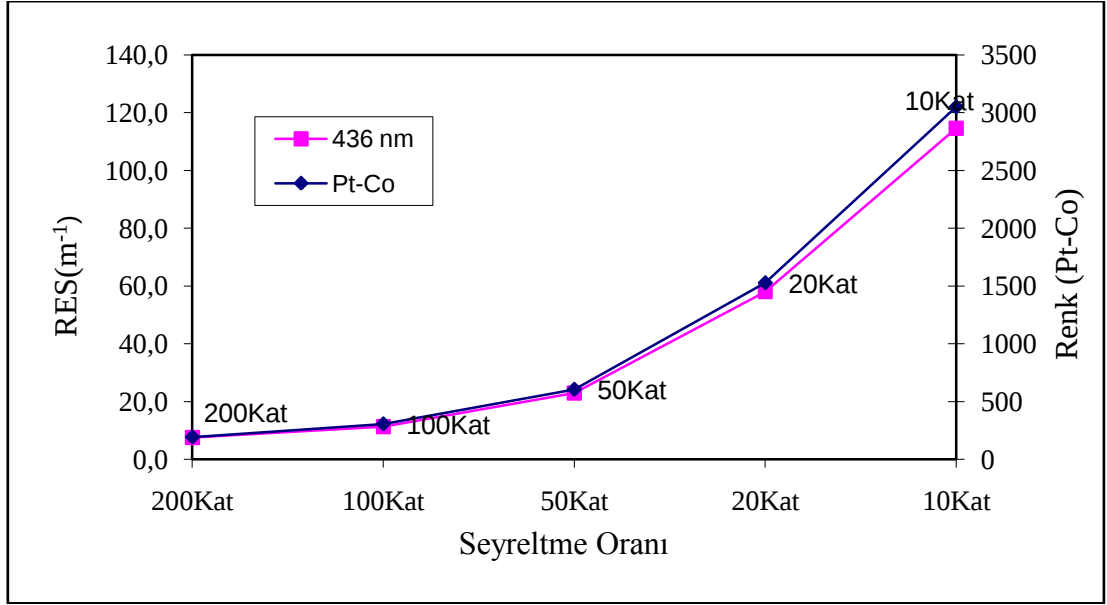
Yukarıda anlatıldığı gibi filtrasyon sonrası elde edilen süzüntü numunelerinde renk ölçümü yapılmıştır. Renk ölçümü için iki farklı yöntem uygulanmıştır. İlk olarak süzüntü numuneleri Avrupa Normu'nda belirtilen standartlara göre 436, 525 ve 620 nm dalga boyunda spektrofotometre ile renk ölçümleri gerçekleştirildi. İkinci ölçümde ise farklı bir spektrofotometrede Pt-Co biriminde renk ölçümü yapılmıştır. Spektrofotometrede üç farklı dalga boyunda ölçülen renk değerleri için RES hesabı yapılmıştır. Çizelge 4.6'da süzüntü numunelerinin RES değerleri ve Pt-Co biriminde renk ölçüm sonuçları yer almaktadır.

**Çizelge 4.6:** Filtrasyon sonrası elde edilen süzüntünün RES değerleri ve Pt-Co biriminde renk değişimi.

|         | SÜZÜNTÜ                          |       |        |       |
|---------|----------------------------------|-------|--------|-------|
|         | RES DEĞERLERİ (m <sup>-1</sup> ) |       |        | Pt Co |
|         | 436 nm                           | 525nm | 620 nm | -     |
| HAM SU  | 301,8                            | 324,7 | 188,5  | 33460 |
| 100 kDa | 287,3                            | 326,3 | 328,4  | 25660 |
| 30 kDa  | 275,2                            | 312,1 | 249,8  | 19580 |
| 10 kDa  | 267,7                            | 305,6 | 233,1  | 13260 |
| 5 kDa   | 260,2                            | 283,5 | 167,4  | 11420 |
| 3 kDa   | 158,6                            | 78    | 86,2   | 8680  |
| 1 kDa   | 153,9                            | 65,6  | 30,8   | 2800  |
| 0,2 kDa | 34,1                             | 25,5  | 8,6    | 1500  |

Çizelge 4.6'da verilen renk sonuçlarını standartlar ile karşılaştırsak; RES değerleri 436, 525 ve 620 nm için sırasıyla 7, 5 ve 3 m<sup>-1</sup> olmalıdır. Sonuçlara baktığımızda süzöntü numunlerinde üç farklı dalga boyundaki ölçüm sonuçlarının hiç birinde standart sağlanmamaktadır. Ayrıca 24.04.2011 tarihli Resmi Gazete'de Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde değişiklik yapılmasına dair yönetmelikte Madde 3'te renk parametre ve standartları eklenmiştir. Renk parametresinin Pt-Co biriminde 24 saatlik kompozit numunesinin değerinin 260 olması istenmektedir. Fakat dane boyutu analizi ile yapılan çalışma sonrasında 0,2 kDa'luk filtreden geçen süzöntünün renk değeri 1500 Pt-Co'dur ve standartı sağlayamamaktadır.

Tez çalışmaları süresinde renk parametresi Pt-Co ve m<sup>-1</sup> birimlerinde ölçülmüştür. Pt-Co ve m<sup>-1</sup> birimlerinin birbiriyle ilişkisini anlayabilmek amacıyla ham atıksuya değişik seyreltme oranları uygulanarak renk ölçümleri her iki birim için de yapılmıştır. Ölçümler sonrası elde edilen grafik Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere 436 nm dalga boyunda ölçülen renk değerleri ile Pt-Co biriminde renk ölçüm sonuçları paralel ve birbiriyle uyumludur.

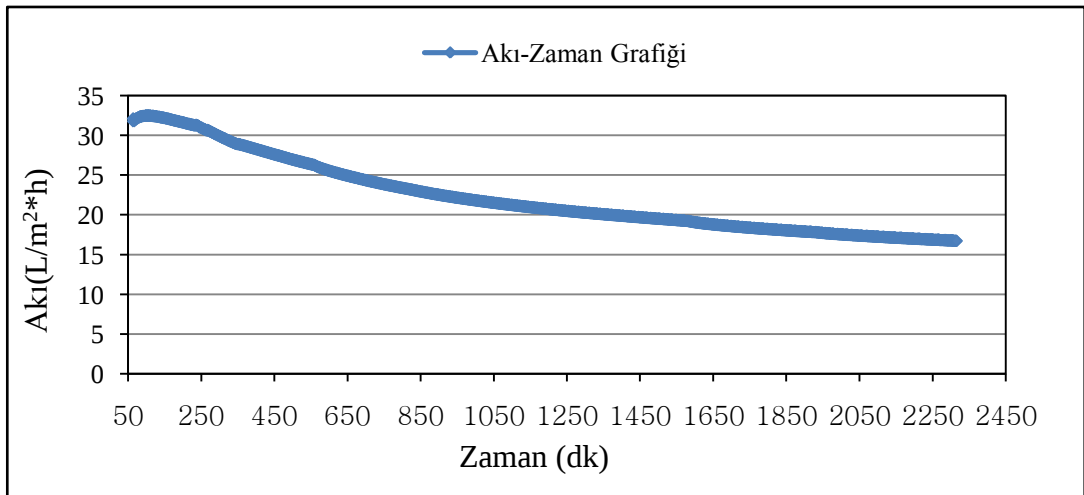


Şekil 4.4: RES ve Pt-Co karşılaştırılması.

### 4.3 UF Membranı ile Ön Arıtmalı Yapılan Çalışmalar

#### 4.3.1 Akı değerleri

Nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarından maya seperasyon prosesi atıksuyunun arıtımı için ön arıtma olarak kartuş filtreye ilaveten UC100T ultrafiltrasyon membranı da kullanılmıştır. Şekil 4.4'te maya seperasyon prosesine ait atıksuyun 2 bar basınç altında UC100T membranı ile arıtılması sonucu elde edilen akı değerleri görülmektedir.



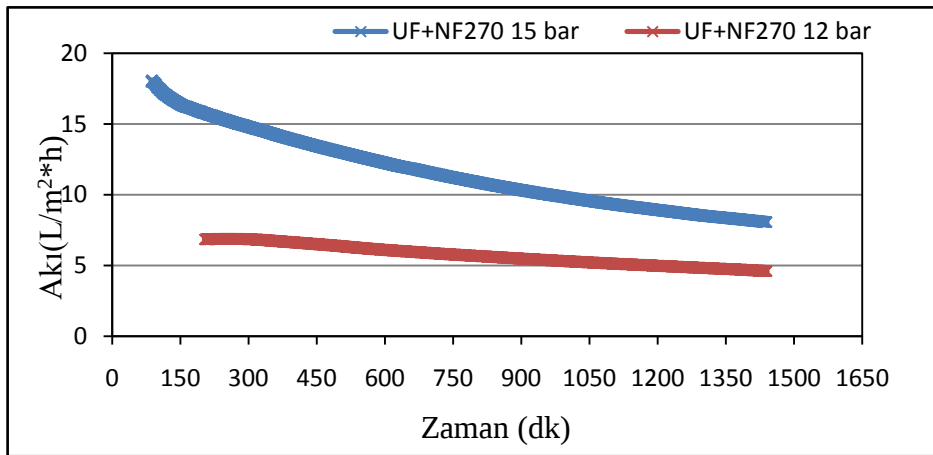
Şekil 4.5: UC100T membranı ile elde edilen akı değerleri.

Şekil 4.5'e göre, UC100T membranı ile elde edilen ortalama akı değeri  $22 \text{ L/m}^2.\text{h}$ 'dir. Akı maksimum  $32 \text{ L/m}^2.\text{h}$ 'e ulaşmış ve en son  $16,7 \text{ L/m}^2.\text{h}$ 'e kadar düşmüştür. Akı azalması %48 civarındadır. Atıksuyun 2 bar basınç altında UC100T membranı ile arıtılması sonucu elde edilen süzüntü akımı bunu takiben nanofiltrasyon veya ters osmoz membranlardan da arıtılmıştır. Şekil 4.5'te maya seperasyon prosesi atıksuyunun UC100T membranından 2 bar basınç altında arıtımı sonucu membran yüzeyinde oluşan kalıntı görülmektedir.

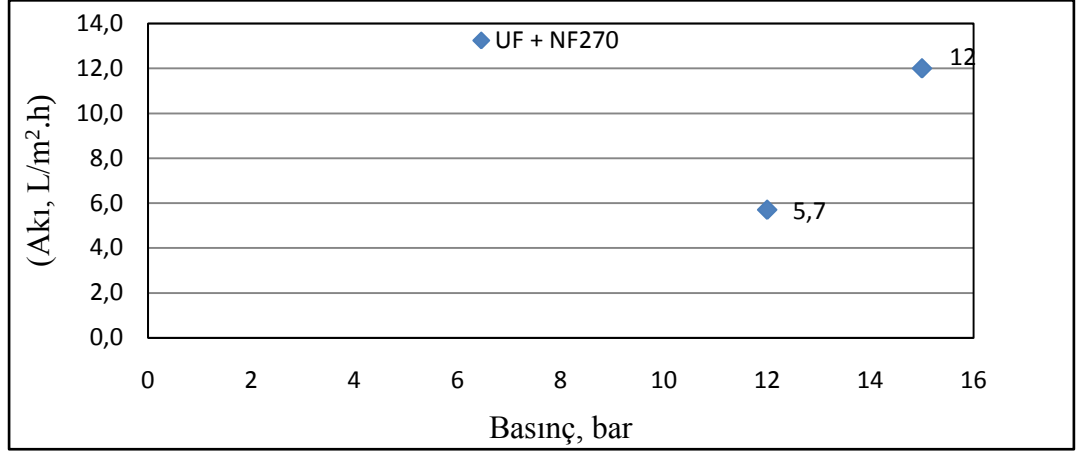


**Şekil 4.6:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UC100T membranı ile arıtılması sonucu oluşan kek tabakasının görünümü.

Şekil 4.7'de UF ile ön arıtılmış atıksuyun NF270 nanofiltrasyon membranları ile 12 ve 15 bar basınçlarda ileri arıtımı sonucu elde edilen akı-zaman değerleri görülmektedir. Şekil 4.8'de ise aynı kombine arıtmanın basınç-akı grafiği verilmiştir.



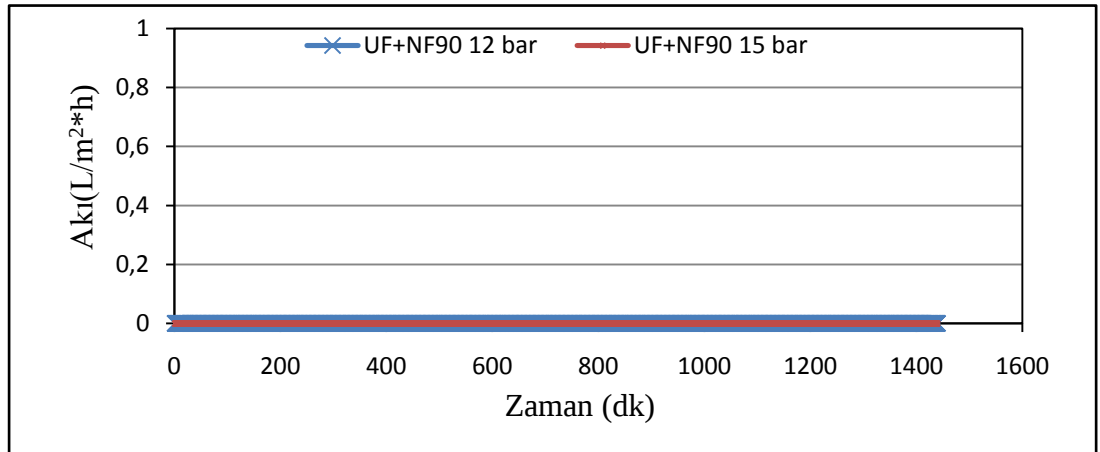
**Şekil 4.7:** UF ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.



**Şekil 4.8:** UF ön arıtılmış atıksuyun süzöntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği.

Şekil 4.8'den görüldüğü üzere, NF270 membranı için akı değerleri basınç artışıyla birlikte artmaktadır. UF ile ön arıtılmış suda NF270 membranı uygulanması sonrası akı değeri 12 bar basınçta 5,7 L/m<sup>2</sup>.h değerini alırken, 15 bar basınçta 12 L/m<sup>2</sup>.h değerine ulaşmaktadır. 12 ve 15 barda gerçekleştirilen deneyler 24'er saat sürmüştür. NF270 membranı ile 1440 dakika süreyle 12 barda gerçekleştirilen çalışma boyunca akı değerinde yaklaşık %33 oranında azalma gözlenmiştir. NF270 membranı ile 1440 dakika süreyle 15 barda gerçekleştirilen çalışma boyunca akı değerinde yaklaşık %55 oranında azalma gözlenmiştir.

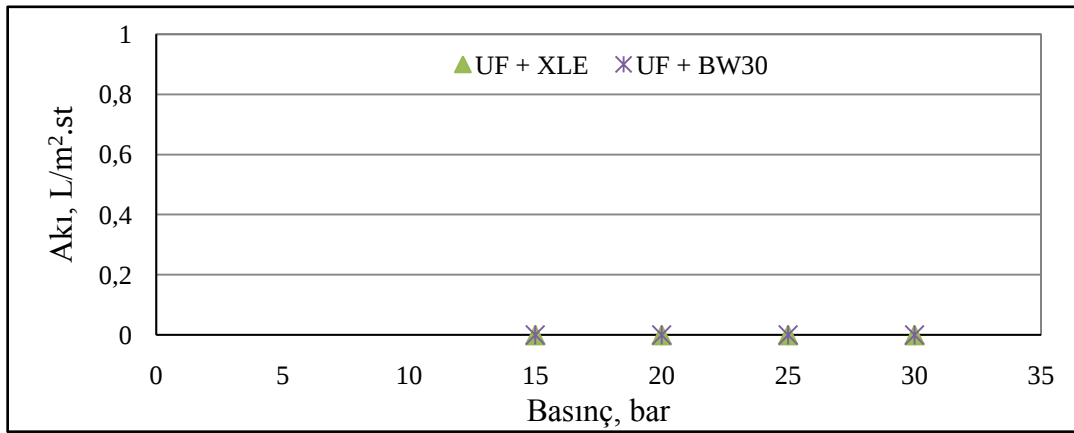
Şekil 4.9'da NF 90 membranı ile 12 ve 15 bar basınçta ileri arıtım sonrası akı-zaman grafiği gösterilmiştir.



**Şekil 4.9:** UF ön arıtılmış atıksuyun süzöntü suyuna NF90 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.

UF ile ön arıtılmış atıksuyun süzöntü akımının NF90 membranı ile ileri arıtımı sonucunda 12 ve 15 bar basınçta birer gün süren arıtma sonrasında akı elde edilememiştir. NF270 membranı ile yapılan çalışmalarda akı edilmesine rağmen NF90 membranı ile yapılan çalışmalarda akı elde edilememesinin sebebi iki membranın özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. NF270 membranı ile giderim yüzdesi (NaCl çözeltisi için) %50 civarında iken, NF90 membranında %90 civarındadır. Ayrıca moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) değeri NF270 için 300 Da civarında iken NF90 membranında 200 Da olarak farklılık göstermektedir. Deneylerde çalışılan maya seperasyon atıksuyu çok yüksek organik kirliliğe sahiptir. NF90 membranının daha düşük moleküler ağırlık engelleme sınırının olması ve atıksuyun çok yüksek KOİ ve organik kirliliğe sahip olması nedeni ile membran çok çabuk tıkanmaktadır. Bu nedenle NF90 membranı ile çalışma sonucunda akı elde edilememiştir.

Şekil 4.10 'da ise UF ile ön arıtılmış atıksuyun BW30 ve XLE ters osmoz membranları ile 15, 20, 25, 30 bar'da ileri arıtım sonucu elde edilen akı değerleri görülmektedir.

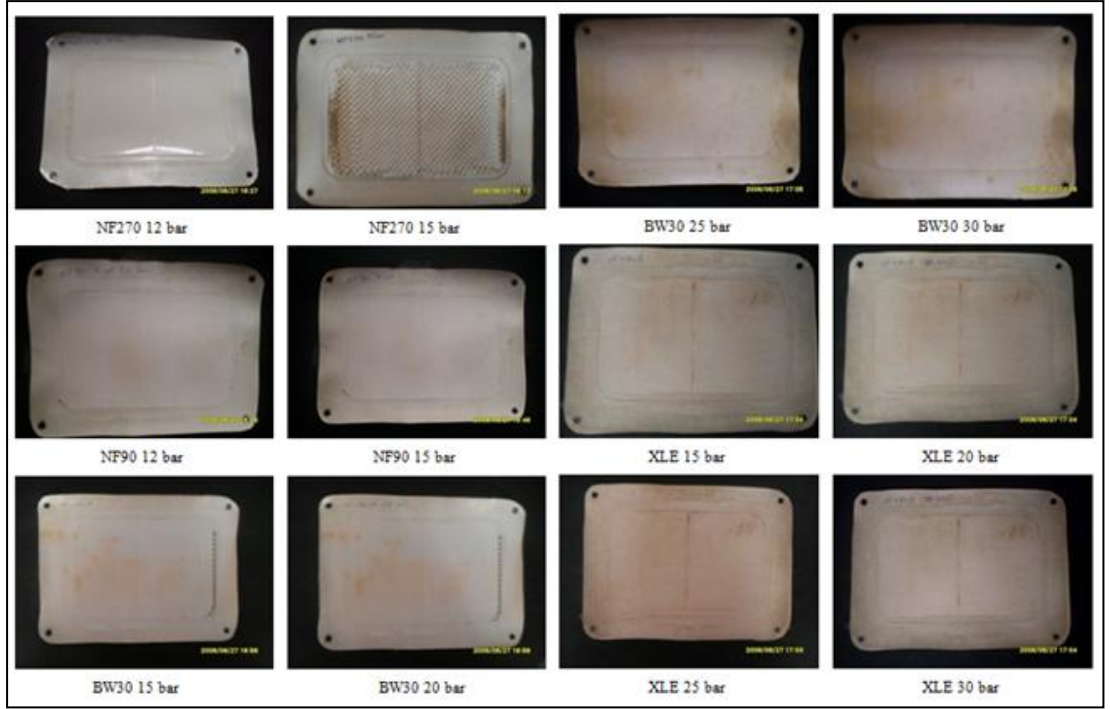


**Şekil 4.10:** UF ön arıtılmış atıksuyun süzöntü suyuna XLE ve BW30 membranlarının 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği.

Şekil 4.10'dan görüldüğü üzere ters osmoz membranları ile farklı basınçlarda bir gün süre boyunca yürütülen çalışmaların hiçbirisi sonucunda akı elde edilememiştir.

UF ile ön arıtılmış atıksuya ileri arıtım uygulanmasıyla maya seperasyon prosesi atıksuyu için en yüksek akı değerinin elde edildiği NF270 membranı en uygun ileri arıtım membranı olarak seçilmiştir. Ortalama akı değeri 15 bar basınçta 12 L/m².h seviyelerine kadar çıkmaktadır.

Şekil 4.11’de UF membranı ile 2 bar basınçta ön arıtılmış maya seperasyon prosesi atıksuyunun ileri arıtımı sonrası membran yüzeyinde oluşan kalıntı görülmektedir.



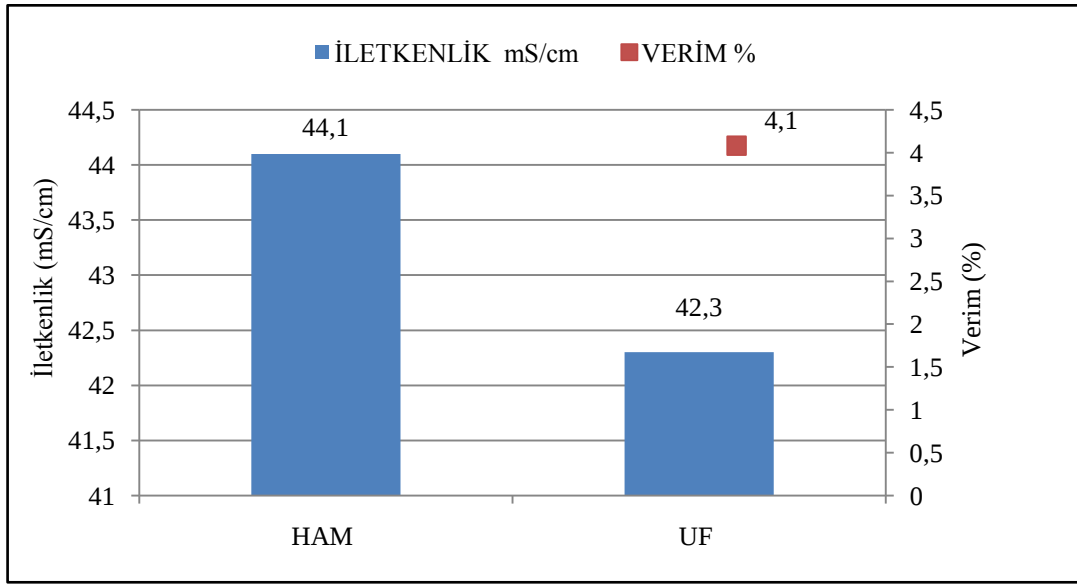
**Şekil 4.11:** UF membranıyla 2 bar basınçta gerçekleştirilen ön arıtma sonrası uygulanan ileri arıtma membranlarında oluşan kek tabakası görünümleri.

#### 4.3.2 Arıtılmış su kalitesi parametreleri

Ham atıksuda, ön arıtım sonrası ileri arıtılan atıksuyun süzüntü ve konsantre numunelerinde iletkenlik, renk, KOİ, tuzluluk ve pH parametreleri farklı basınç değerlerinde analiz edilmiştir.

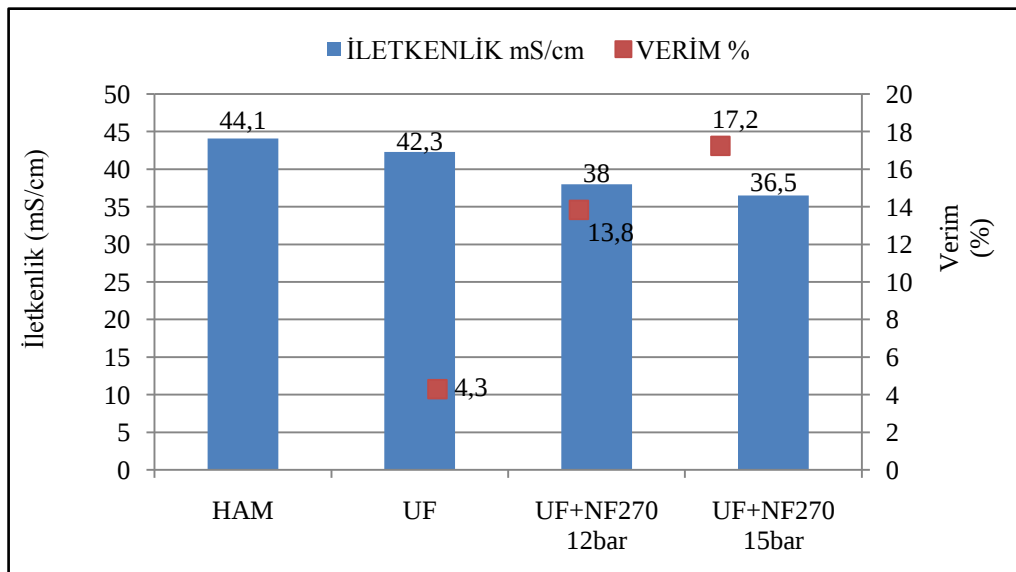
##### 4.3.2.1 İletkenlik

İletkenlik parametresi mS/cm biriminde ölçülmüştür. Şekil 4.11’de ham atıksuda ve atıksuyun ön arıtma amacıyla 2 bar basınç altında UC100T membranı ile arıtımı sonucu elde edilen süzüntü suyunda ölçülen iletkenlik değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.12:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve UC100T membranı ile elde edilen süzöntüde ölçülen iletkenlik değeri.

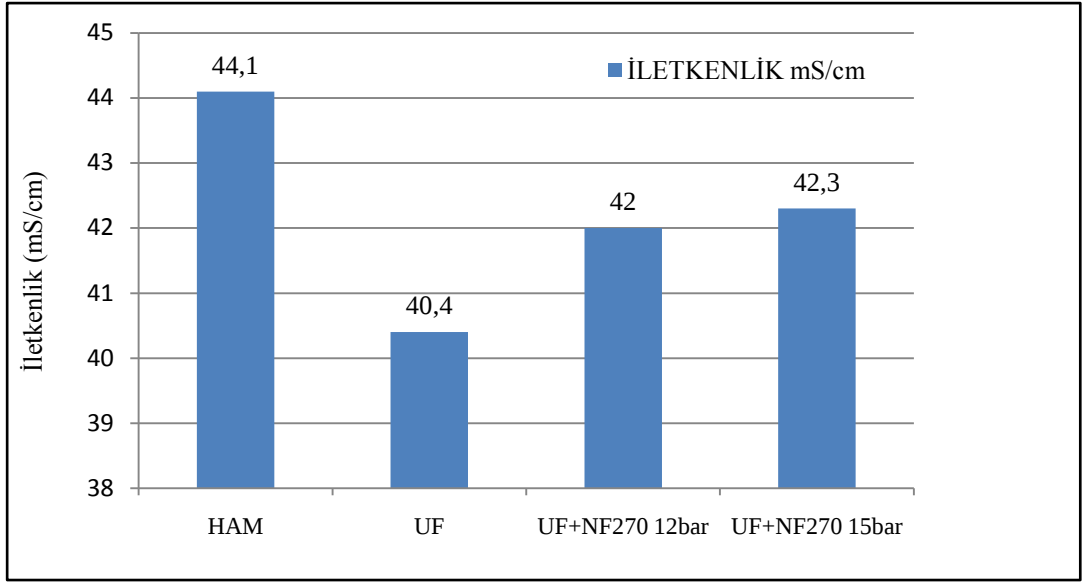
Şekil 4.12’de görüldüğü üzere, maya seperasyon prosesine ait atıksuyun giriş iletkenliği 44,1 mS/cm’dir. Atıksuyun UC100T membranı ile arıtımı sonucu iletkenliği 42,3 mS/cm değerine düşmüştür. UF ile ön arıtım sonrası iletkenlik giderim verimi % 4 civarında gerçekleşmiştir. Şekil 4.13’te NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları için 12 ve 15 bar’da, BW30 ve XLE ters osmoz membranları için 15, 20, 25, 30 bar’da ölçülen iletkenlik değerleri görülmektedir. Sadece NF270 membranı ile akı elde edildiğinden şekilde diğer membranlar ile arıtma çalışmaları yer almamaktadır.



**Şekil 4.13:** UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen iletkenlik değerleri.

Şekil 4.13'ten de görüldüğü üzere UF ile ön arıtılmış atıksu NF270 membranıyla ileri arıtım sonrası iletkenlik giderimi % 20'nin üzerine çıkamamıştır. İletkenlik değeri NF270 membranı ile 15 bar basınçta ileri arıtıldığında 36,5 mS/cm'dir ve bu basınçta NF270 membranı ile en verimli iletkenlik giderimine ulaşılmaktadır.

UF membranı ile ön arıtılmış atıksuya farklı membranlar ile farklı basınç değerlerinde ileri arıtma uygulanmıştır ve çalışma sonlarında elde edilen konsantre akımları için de iletkenlik ölçümü yapılmıştır. Akı elde edilen çalışmalara ait konsantre numunelerinin iletkenlik değerleri aşağıdaki Şekil 4.14'de gösterilmiştir.

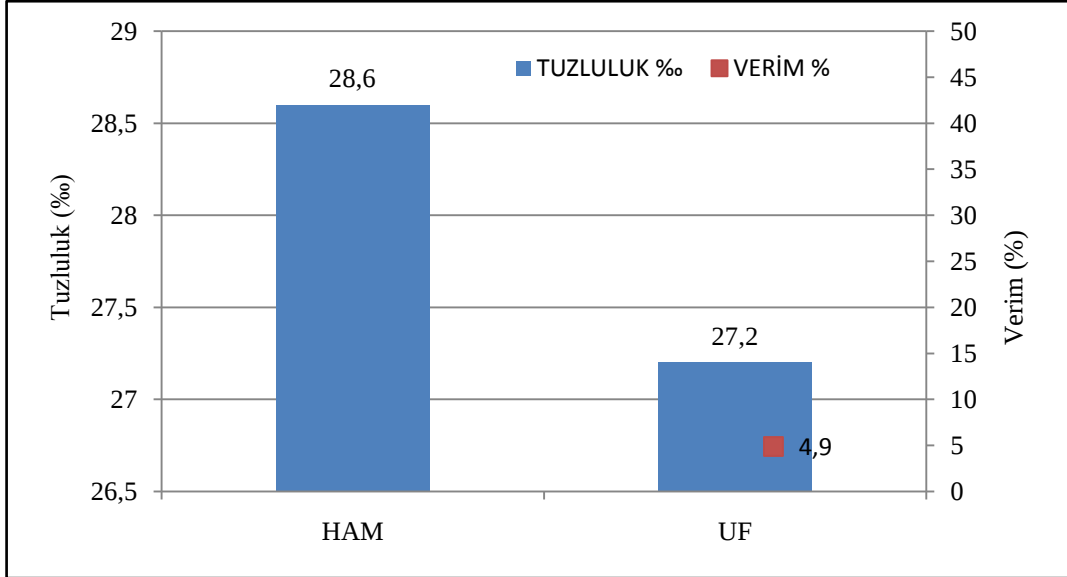


**Şekil 4.14:** UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen iletkenlik değerleri.

İletkenlik değerlerine baktığımızda ham atıksuyun iletkenliği 44,1 mS/cm'dir. UF membranıyla ön arıtmadan geçirilmiş atıksuda konsantre akımın iletkenlik değeri 40,4 mS/cm olarak ölçülmüştür. Ham atıksuya göre iletkenlik değeri % 10 civarında giderim sağlanmıştır. Bunun sebebi bir miktar iletkenliğin süzüntü kısıma geçmesidir. Ön arıtmadan sonra ileri arıtım amacıyla uygulanan ve akı elde edilen NF270 membranı konsantre akımının 12 ve 15 bar basınçta ölçülen iletkenlik değerleri sırasıyla; 42 ve 42,3 mS/cm'dir. İletkenlik değerinin UF konsantre akımına göre daha yüksek olmasının nedeni UF membranının gözenek çapının daha büyük olmasıdır. Ayrıca NF270 membranının gözenek boyutunun daha küçük olması nedeniyle konsantre kısımda iletkenlik değeri daha yüksektir.

#### 4.3.2.2 Tuzluluk

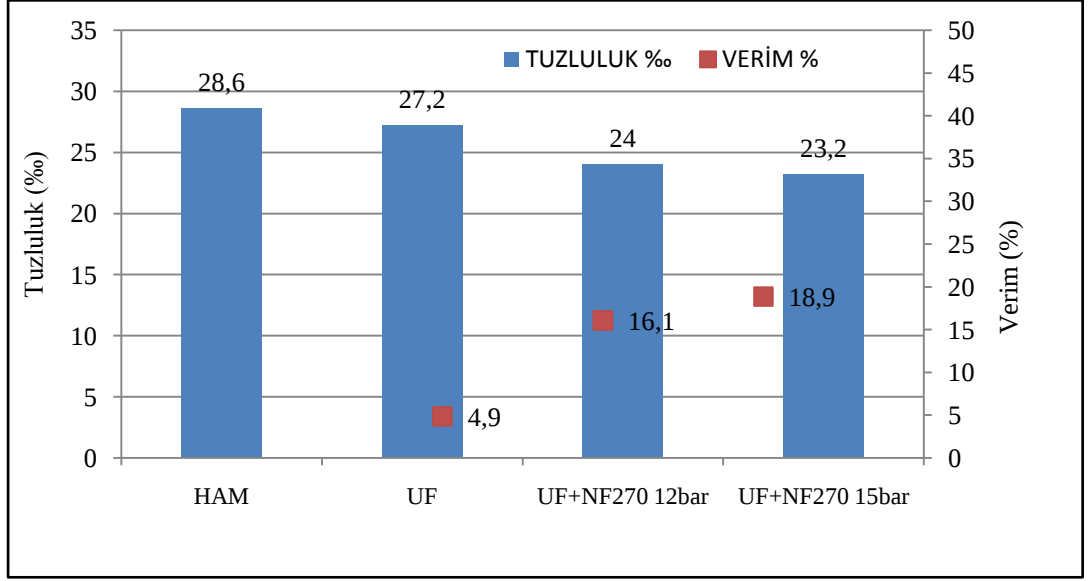
Tuzluluk parametresi ‰ biriminde ölçülmüştür. Şekil 4.15 ‘te ham atıksuda ve atıksuyun ön arıtma amacıyla 2 bar basınç altında UC100T membranı ile arıtımı sonucu elde edilen süzüntü suyunda ölçülen tuzluluk değeri görülmektedir.



**Şekil 4.15:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve UC100T membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen tuzluluk değeri.

Şekil 4.15’te görüldüğü üzere, maya seperasyon prosesine ait atıksuyun giriş tuzluluk değeri 28,6 ‰’dir. Atıksuyun UC100T membranıyla ön arıtımı sonucu iletkenliği 27,2 ‰ değerine düşmüştür. UF ile ön arıtım sonrası iletkenlik giderim verimi % 5 civarında gerçekleşmiştir. Ön arıtma ile atıksuda tuzluluk giderimi çok düşük gerçekleşmiştir. UF membranları membran özelliği bakımından tuzu tutamayan membranlardır. Gözenek çapları büyüktür ve tuzu süzüntü kısıma geçirirler.

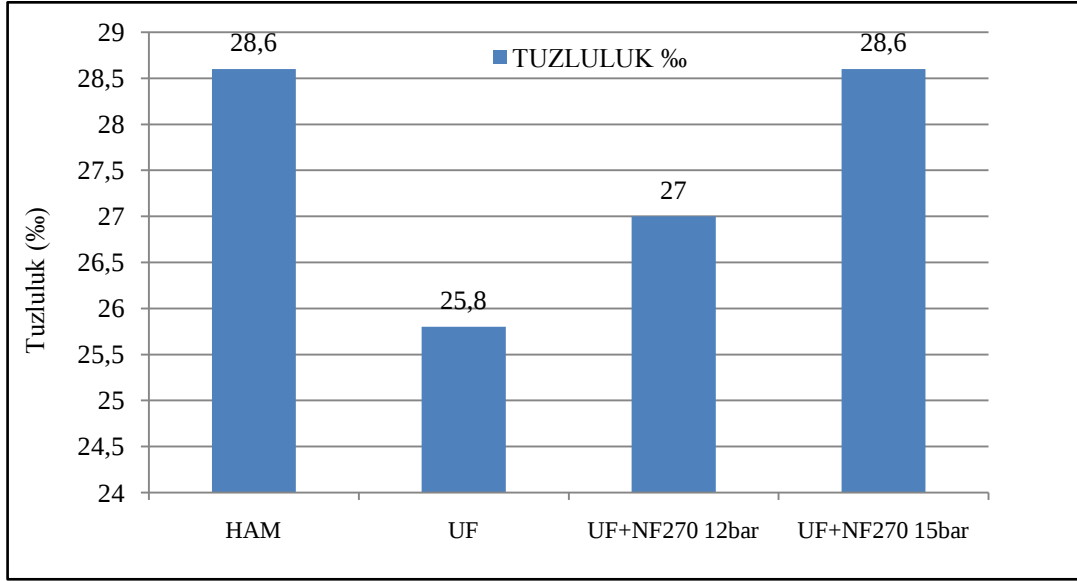
Şekil 4.16’da NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları için 12 ve 15 bar’da, BW30 ve XLE ters osmoz membranları için 15, 20, 25, 30 bar’da ölçülen tuzluluk değerleri görülmektedir. Sadece NF270 membranı ile akı elde edildiğinden şekilde diğer membranlar ile arıtma çalışmaları yer almamaktadır.



**Şekil 4.16:** UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen tuzluluk değerleri.

Şekil 4.16'dan da görüldüğü üzere UF ile ön arıtılmış atıksu NF270 membranıyla ileri arıtıldığında tuzluluk giderimi % 20'nin üzerine çıkamamıştır. Tuzluluk aynı membran ile farklı basınçlarda arıtma sonrasında yüksek basınçta uygulanan arıtma ile daha fazla giderilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere NF270 membranıyla 12 ve 15 bar basınçlarda ileri arıtım sonrası tuzluluk değerleri sırasıyla; 24 ve 23,2%'dir. Tuzluluk değeri NF270 membranı ile 15 bar basınçta ileri arıtıldığında %19 civarında giderme verimi elde edilmiştir. 15 bar basınçta NF270 membranı ile en verimli tuzluluk giderimine ulaşılmaktadır.

UF membranı ile ön arıtılmış atıksuya farklı membranlarla farklı basınç değerlerinde ileri arıtma uygulanmıştır ve çalışma sonlarında elde edilen konsantre akımları için de tuzluluk ölçümü yapılmıştır. Akı elde edilen çalışmalara ait konsantre numunelerinin tuzluluk değerleri aşağıdaki Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

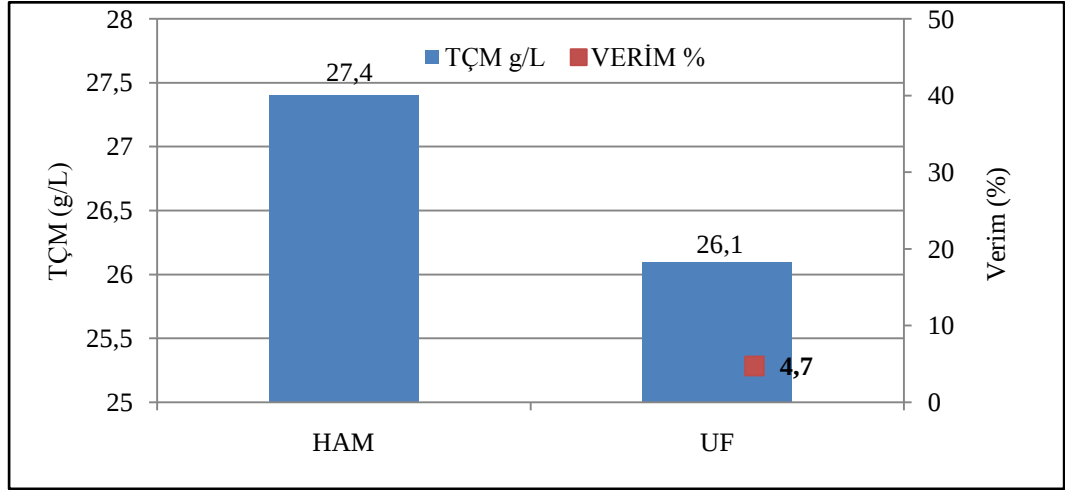


**Şekil 4.17:** UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen tuzluluk değerleri.

Tuzluluk değerleri incelendiğinde ham atıksuyun tuzluluğu 28,6 %'dir. UF membranıyla ön arıtmadan geçirilmiş atıksuda konsantre akımın tuzluluk değeri 25,8% olarak ölçülmüştür. Ham atıksuya göre tuzluluk değerinde % 10 civarında giderim sağlanmıştır. Bunun sebebi UF membranın tuzu tutma özelliğinin olmaması ve süzüntüye geçirmesidir. Ön arıtmadan sonra ileri arıtım amacıyla uygulanan ve akı elde edilen NF270 membranı konsantre akımının 12 ve 15 bar basınçta ölçülen tuzluluk değerleri sırasıyla; 27 ve 28,6%'dir. Tuzluluk değerinin UF konsantre akımına göre daha yüksek olmasının nedeni UF membranının gözenek çapının daha büyük olması ve tuzu NF membranlarına göre daha kolay süzüntü akımına geçirmesidir. Ayrıca NF270 membranının gözenek boyutunun daha küçük olması ve bir miktar tuzu tutma kapasitesi olması sebebiyle konsantre kısımda tuzluluk değeri daha yüksektir.

#### 4.3.2.3 Toplam çözünmüş madde (TÇM)

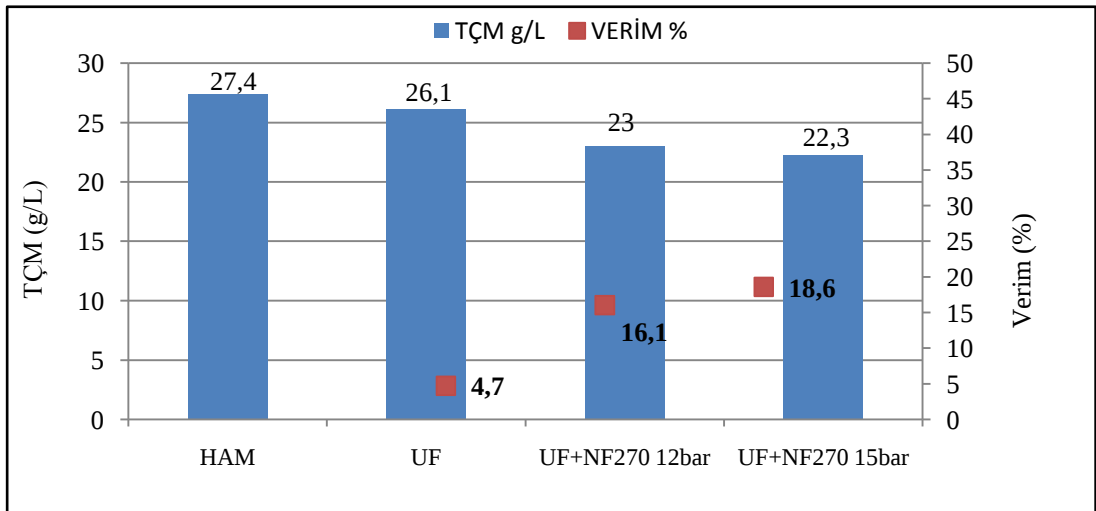
Toplam Çözünmüş Madde (TÇM) g/L biriminde ölçülmüştür. Şekil 4.18'de ham atıksuda ve atıksuyun ön arıtma amacıyla 2 bar basınç altında UC100T membranı ile arıtımı sonucu elde edilen süzüntü suyunda ölçülen TÇM değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.18:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve UC100T membranı ile elde edilen süzöntü akımında ölçülen TÇM değeri ve giderim yüzdesi.

Şekil 4.18’de görüldüğü üzere, maya seperasyon prosesine ait atıksuyun giriş TÇM değeri 27,4 g/L’dir. Atıksuyun UC100T membranı ile arıtımı sonucu TÇM 26,1% değerine düşmüştür. UF ile ön arıtım sonrası TÇM giderim verimi % 4,7 civarında gerçekleşmiştir. Ön arıtma ile atıksuda TÇM giderimi çok düşük oranda gerçekleşmiştir.

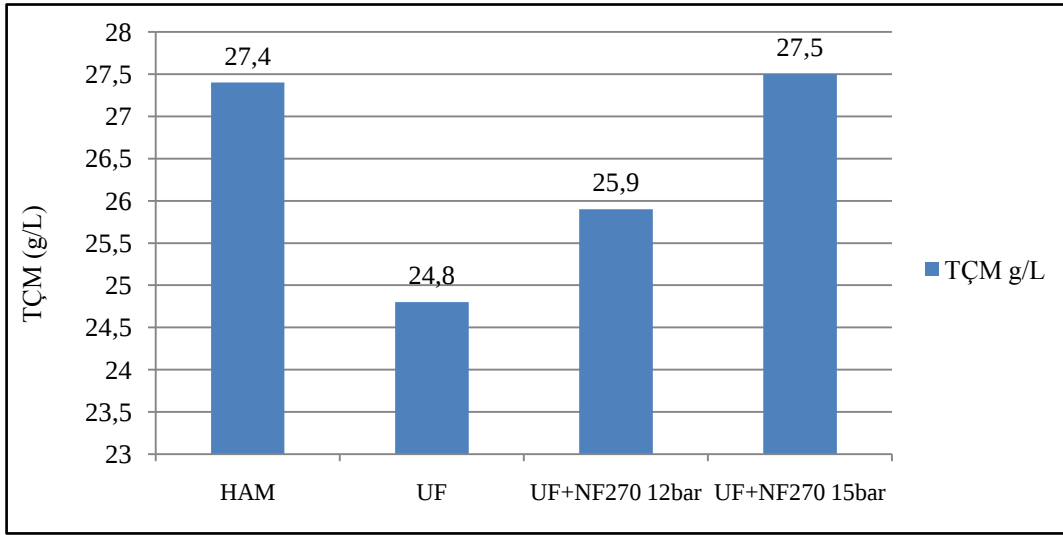
NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları için 12 ve 15 bar’da, BW30 ve XLE ters osmoz membranları için 15, 20, 25, 30 bar’da akı elde edilememiştir. UF membranı ile ön arıtılmış suyun ileri arıtımı çalışmalarında sadece NF270 membranı ile akı elde edildiğinden Şekil 4.19’da yalnızca NF270 membranının 12 ve 15 bar basınçta elde edilen sonuçları yer almaktadır.



**Şekil 4.19:** UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen TÇM değerleri ve giderim verimleri.

Şekil 4.19'dan da görüldüğü üzere UF ile ön arıtılmış atıksu NF270 membranı ile ileri arıtıldığında TÇM giderimi % 20'nin üzerine çıkamamıştır. TÇM değeri NF270 membranı ile 12 ve 15 bar basınçta ileri arıtıldığında sırasıyla; 23 ve 22,3 g/L olarak ölçülmüştür. 15 bar basınçta NF270 membranı ile en verimli TÇM giderimine ulaşılmaktadır. Basınç artışı oldukça NF270 membranı ile TÇM giderim verimi artmıştır.

UF membranı ile ön arıtılmış atıksuya farklı membranlar ile farklı basınç değerlerinde ileri arıtma uygulanmıştır ve çalışma sonlarında elde edilen konsantre akımları için de TÇM ölçümü yapılmıştır. Akı elde edilen çalışmalara ait konsantre numunelerinin TÇM değerleri aşağıdaki Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

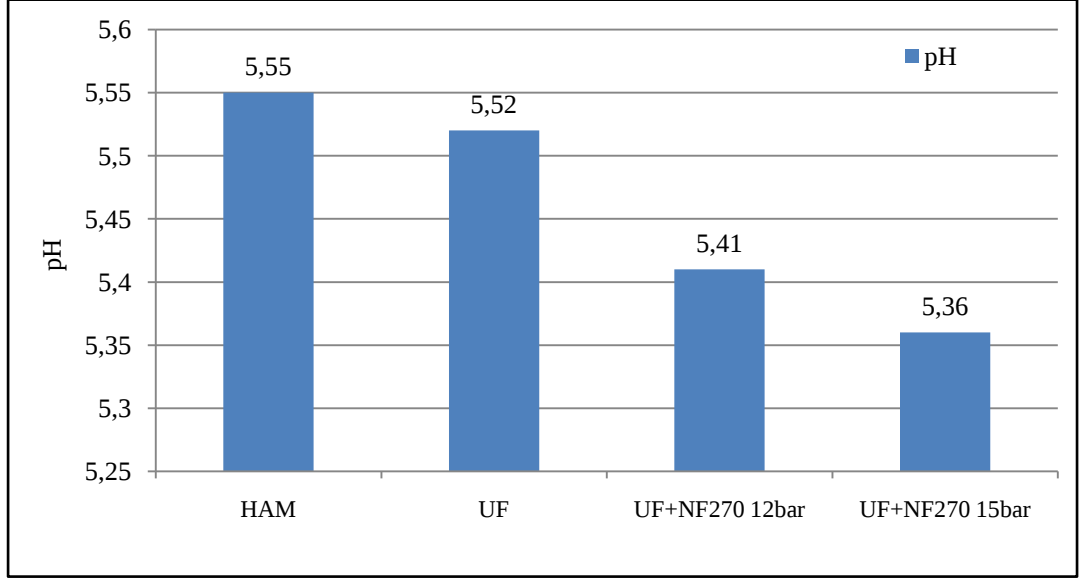


**Şekil 4.20:** UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen TÇM değerleri.

TÇM değerlerine baktığımızda ham atıksuyun TÇM değeri 27,4 %'tür. UF membranı ile ön arıtmadan geçirilmiş atıksuda konsantre akımın TÇM değeri 24,8 % olarak ölçülmüştür. Ham atıksuya göre TÇM değerinde % 10 civarında giderim sağlanmıştır. Ön arıtmadan sonra ileri arıtım amacıyla uygulanan ve akı elde edilen NF270 membranı konsantre akımının 12 ve 15 bar basınçta ölçülen TÇM değerleri sırasıyla; 25,9 ve 27,5%'tur. TÇM değerinin UF konsantre akımına göre daha yüksek olmasının nedeni UF membranının gözenek çapının daha büyük olması ve çözünmüş maddeleri NF membranlarına göre daha kolay süzünü akımına geçirmesidir. Ayrıca NF270 membranının gözenek boyutunun daha küçük olması ve bir miktar çözünmüş maddeyi tutma kapasitesi olması sebebiyle konsantre kısımda TÇM değeri daha yüksektir.

#### 4.3.2.4 pH

UF membranı ile ön arıtılmış atıksu NF membranları ile 12 ve 15 bar basınçlarda veTO membranları ile 15, 20, 25 ve 30 bar basınçta ileri arıtılmıştır. Arıtım sonrası sadece NF 270 membranında 12 ve 15 bar basınçlarda akı elde edilmiştir. Şekil 4.21'de UF ön arıtım ve sonrasında gerçekleştirilen ileri arıtım işleminden elde edilen süzüntü numunelerinin pH değerleri gösterilmiştir.

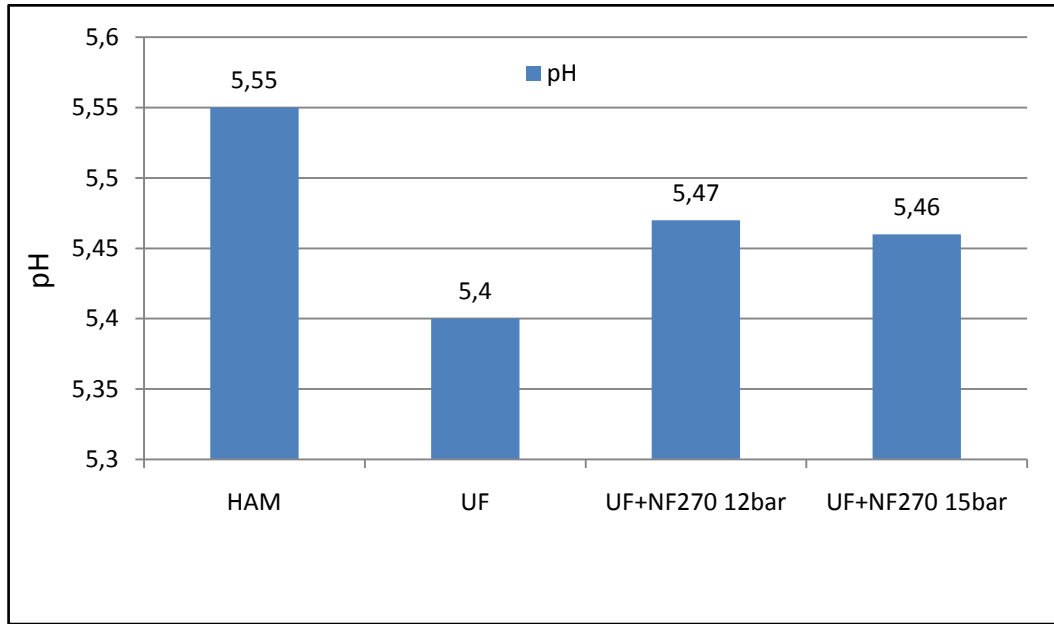


**Şekil 4.21:** UF ön arıtmalı sistemde, ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzüntülerinde ölçülen pH değerleri.

Ham atıksuyun pH değeri 5,55'dir. UF ile ön arıtılmış atıksuyun pH değeri ham atıksuya çok yakın çıkmıştır. UF membranı ile ön arıtılmış atıksuyun NF270 membranı ile 12 ve 15 bar basınçta ileri arıtım sonrası pH değeri sırasıyla 5,41 ve 5,36 olarak ölçülmüştür. NF membranı ile farklı basınçlarda arıtım sonrası pH değeri çok değişiklik göstermemiştir.

Şekil 4.22'de ön arıtım ve sonrasında uygulanan ileri arıtmada akı elde edilen NF270 (12 ve 15 barda) membranlarında konsantre akımın pH değerleri gösterilmektedir.

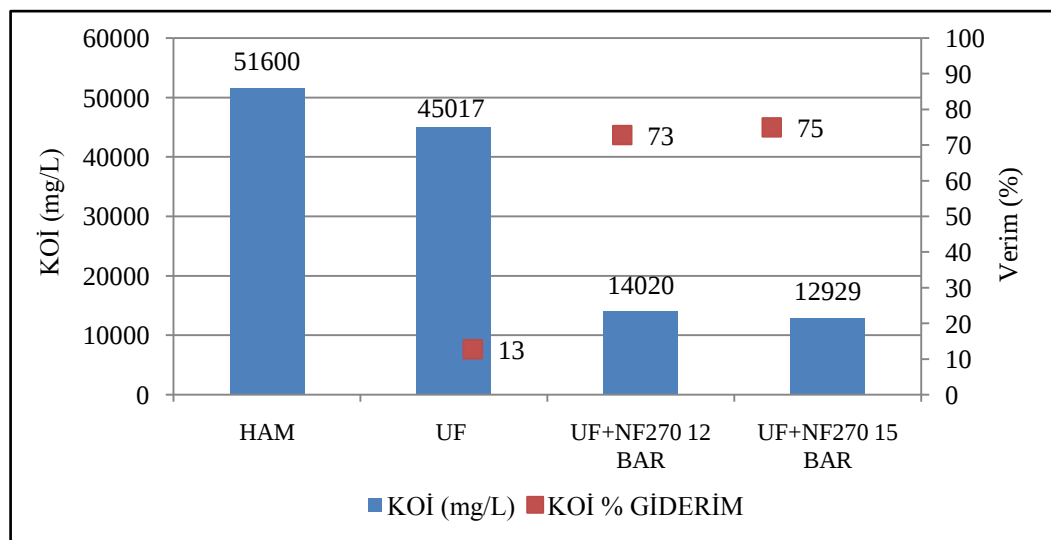
NF270 membranıyla ileri arıtım sonrasında pH değeri konsantre akımlarında ham atıksuya göre çok yakın çıkmıştır.



**Şekil 4.22:** UF ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen pH değerleri.

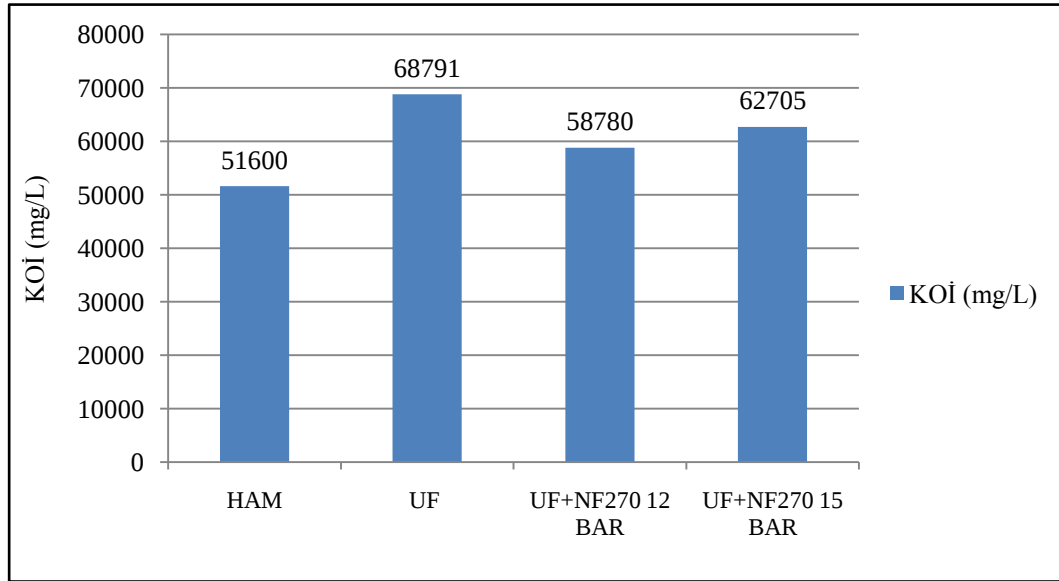
#### 4.3.2.5 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

UF ile ön arıtım yapılan maya seperasyon prosesi atıksuyunda analizi yapılan diğer bir parametre de KOİ'dir. Kullanılan membranlar için uygulanan tüm basınç değerlerinde süzüntü elde edilen akımlarında KOİ parametresi analiz edilmiştir. Şekil 4.23'te ham atıksuyun, ön arıtma amacıyla gerçekleştirilen UC100T membranı süzüntüsünün ve ön arıtılmış atıksuya uygulanan ileri arıtım sonucunda elde edilen süzüntülerin KOİ değerleri ve giderim verimleri görülmektedir.



**Şekil 4.23:** Ham atıksuda, UC100T membranı süzüntüsünde ve farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 membranı süzüntü numunelerinde ölçülen KOİ değerleri ve giderim verimleri.

Şekil 4.23'te görüldüğü üzere, ham suyun KOİ değerinin 51600 mg/L ve UC100T membranı süzütüsünde ise 45017 mg/L olduğu görülmektedir. UC100T membranı ile ön arıtım sonucu yaklaşık % 13 civarında KOİ giderimi olduğu görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi UF ile ön arıtılmış atıksuya uygulanan ters osmoz membranları ile akı elde edilememiştir. Aynı şekilde NF90 membranı ile de 12 ve 15 bar basınçta akı elde edilemedi. NF270 membranı ile ise 12 ve 15 bar basınçta gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen süzütüdeki KOİ değerleri sırasıyla 14020 ve 12929 mg/L olarak elde edilmiştir. NF270 membranı ile 12 bar basınçta arıtım ile KOİ giderimi % 73 verim sağlarken 15 bar basınçta verim %75 değerine çıkmaktadır. Ön arıtım sonucu ham atıksuyun KOİ değeri yüksek seviyede gerçekleşmezken, NF270 membranı ile ileri arıtım sonucunda %75'i bulmaktadır. Uygulanan iki farklı NF membranı birbiriyle kıyaslanırsa NF270 membranının ön arıtım sonrası ileri arıtımda daha uygun olduğu söylenebilir. Ters osmoz membranları ve NF 90 membranı maya seperasyon atıksuyu ileri arıtımında verimli değildir.

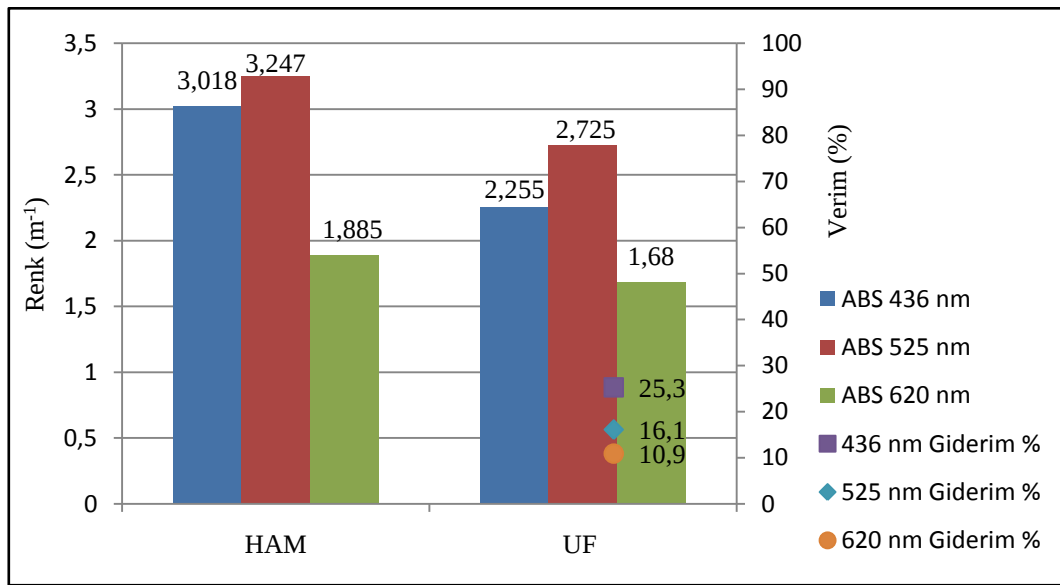


**Şekil 4.24:** Ham atıksuda, UC100T membranı konsantre numunesi ve farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 membranı konsantre numunelerinde ölçülen KOİ değerleri.

Ham atıksuyun KOİ değeri 51600 mg/L olarak hesaplanmıştır. Konsantre akımlarının hepsi ham atıksudan daha yüksek KOİ'ye sahiptir. Konsantre numunlerinin KOİ değeri ham suya göre 14-33% artış göstermektedir. Bu artışın sebebi membran prosesin ayırma mekanizmasına dayalı olarak konsantre kısımda organik kirliliğin tutulmasıdır.

#### 4.3.2.6 Renk

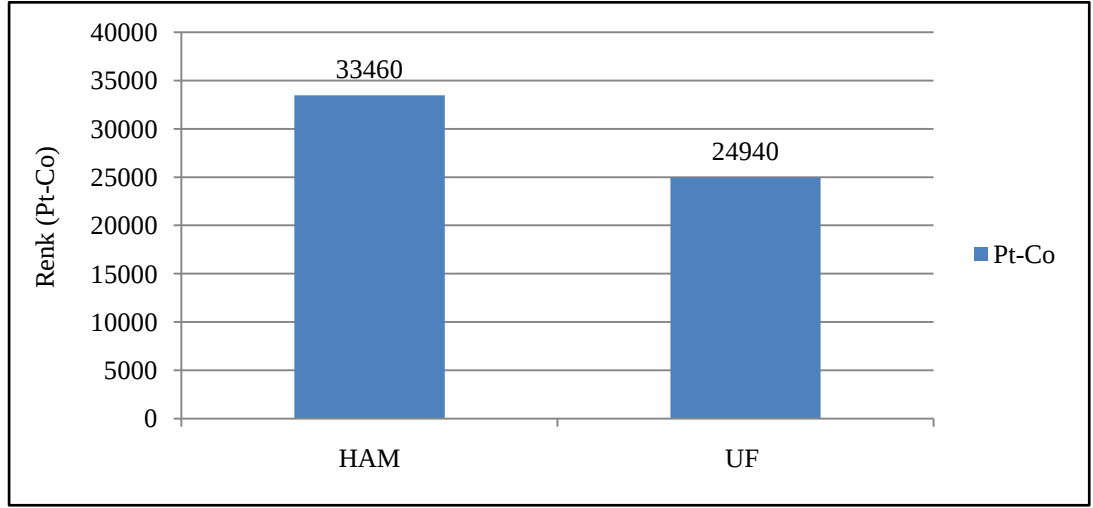
Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UF ön arıtım sonrası nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarıyla arıtılması sonucu elde edilen süzüntü akımlarında üç farklı dalga boyunda ve Pt-Co biriminde renk parametresi ölçülmüştür. Kullanılan tüm membranlar için uygulanan basınç değerlerinde elde edilen süzüntü akımlarında renk parametresi ölçülmüştür. Şekil 4.25'te maya seperasyon prosesine ait atıksuyun 2 bar basınç altında UC100T membranından geçirilmesiyle elde edilen süzüntüde 3 farklı dalga boyunda (436 nm, 525 nm, 620 nm) ölçülen renk değerleri ve elde edilen giderim verimleri görülmektedir.



**Şekil 4.25:** Ham atıksuda ve UC100T membranıyla arıtım sonucu elde edilen süzüntü akımında ölçülmüş renk değerleri ve giderim verimleri (436, 525 ve 620 nm dalga boylarında)

Şekil 4.25'te görüldüğü üzere, UF ön arıtımı uygulandığında renk giderim veriminin 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında sırasıyla; 25, 16 ve 11% civarındadır. UF ön arıtmadan geçmiş atıksuyun ABS biriminde renk değeri 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında sırasıyla 2,255, 2,725 ve 1,68 abs olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.26'da maya seperasyon prosesine ait atıksuyun 2 bar basınç altında UC100T membranından geçirilmesiyle elde edilen süzüntü numunesinin Pt-Co biriminde renk değerleri verilmiştir.



**Şekil 4.26:** Ham atıksuda ve UC100T membranı ile arıtım sonucu elde edilen süzüntü akımında ölçülmüş Pt-Co biriminde renk değerleri.

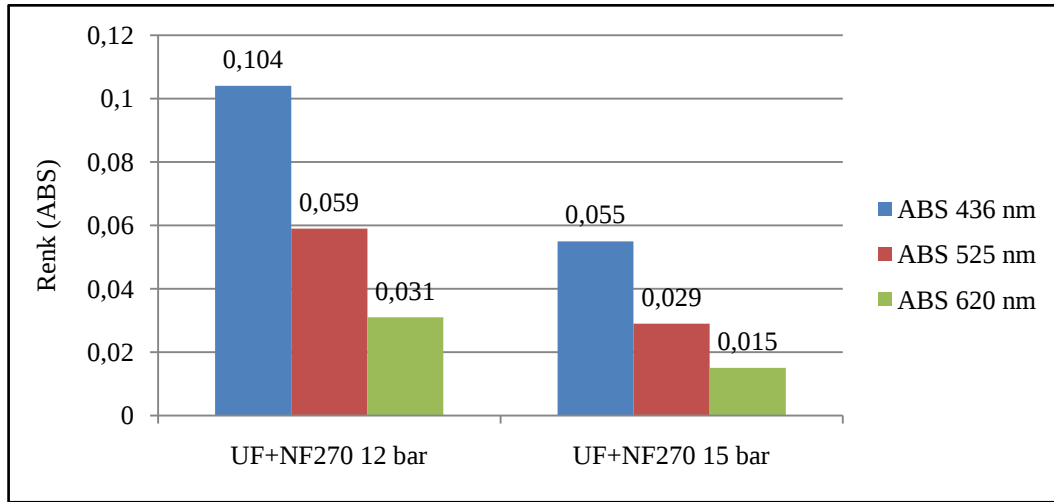
Şekil 4.26'da görüldüğü gibi UF membranı ile ön arıtım sonucunda ham atıksuyun Pt-Co biriminde renk değeri 33460'dan 24940 değerine düşmektedir. Renk giderimi Pt-Co biriminde %25,5 civarında gerçekleşmiştir.

Şekil 4.27'de maya seperasyon prosesine ait atıksuyun ve bu atıksuyun UC100T membranından 2 bar basınç altında geçirilmesi sonucu elde edilen süzüntü akımının görünümü görülmektedir.

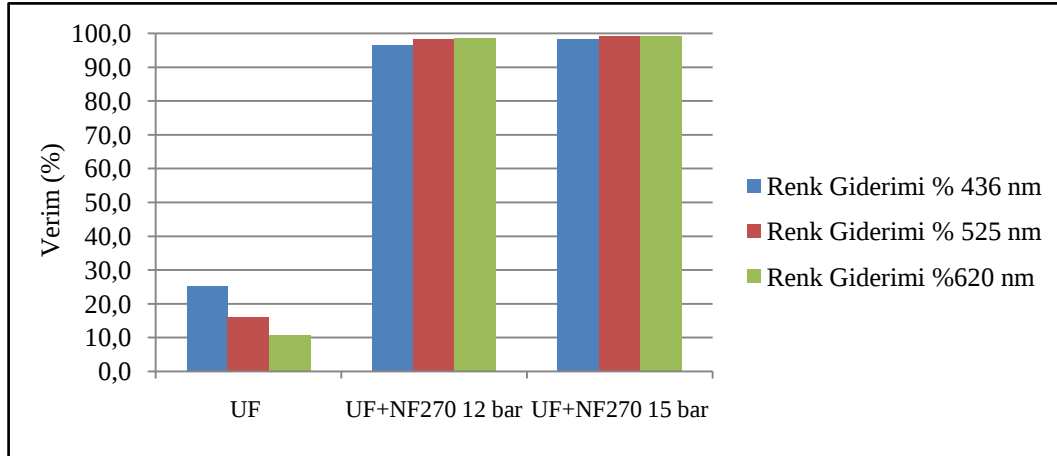


**Şekil 4.27:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UC100T membranı ile arıtımı ile elde edilen konsantre ve süzüntünün görünümü.

Şekil 4.28'de UF ile ön arıtmadan geçmiş atıksuyun NF270 membranı ile ileri arıtımı sonrasında elde edilen süzüntü numunelerinin üç farklı dalga boyunda (436, 525 ve 620 nm) ölçüm sonuçları verilmiştir. Şekil 4.29'da ise abs biriminde üç dalga boyunda renk giderim verimleri gösterilmiştir.



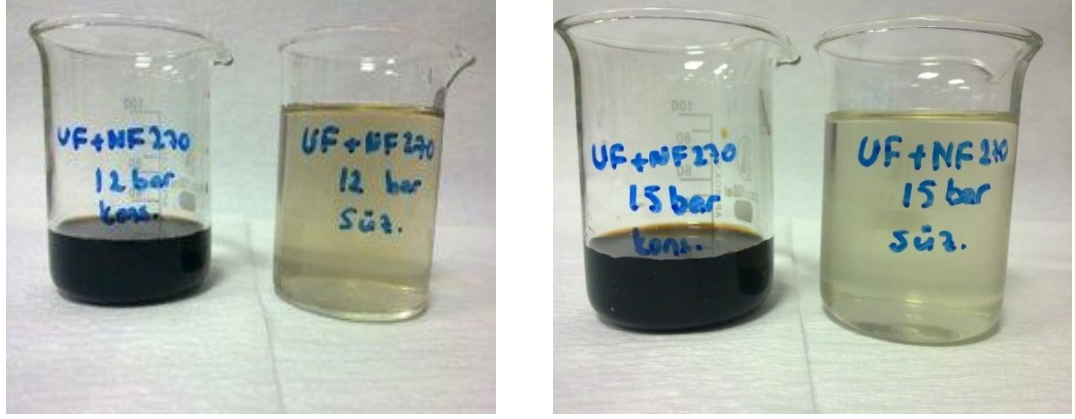
**Şekil 4.28:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UF membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzöntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda renk ölçüm sonuçları.



**Şekil 4.29:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UF membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzöntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda renk giderim verimleri.

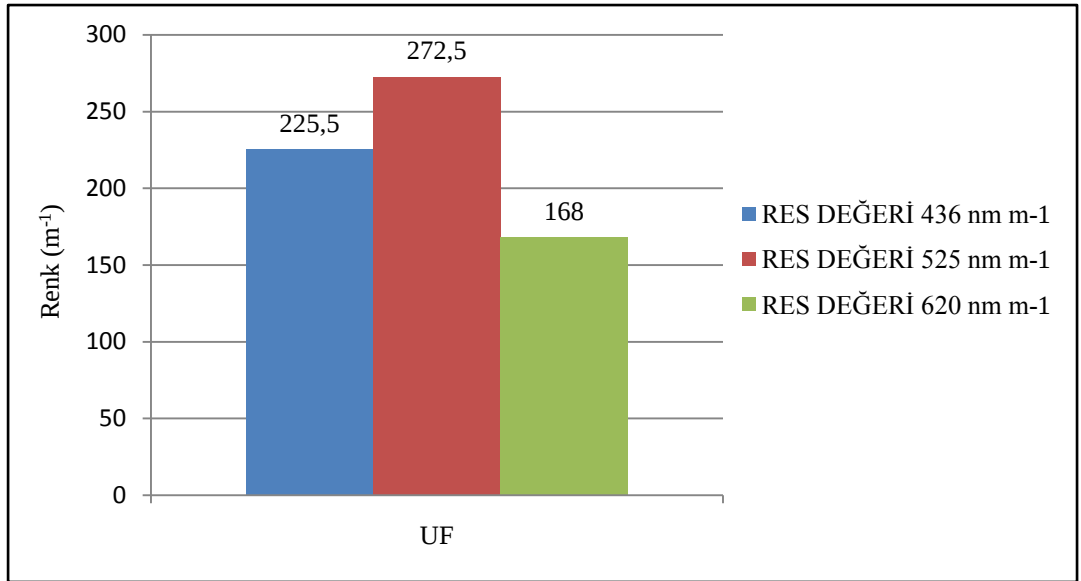
Şekil 4.29'dan da görüldüğü üzere UF ile ön arıtım sonrasında NF 270 membranı ile ileri arıtım sonunda renk giderimi % 98'in üzerinde gerçekleşmiştir. En verimli renk giderimi NF270 membranının 15 bar basınçta kullanılması ile elde edilip %99,2 değerine kadar ulaşmıştır.

Şekil 4.30'da maya seperasyon prosesi atıksuyunun sırasıyla NF270 (12 ve 15 barda) membranları ile arıtılması sonucu elde edilen süzöntü ve konsantre akımlarının görüntüleri görülmektedir.

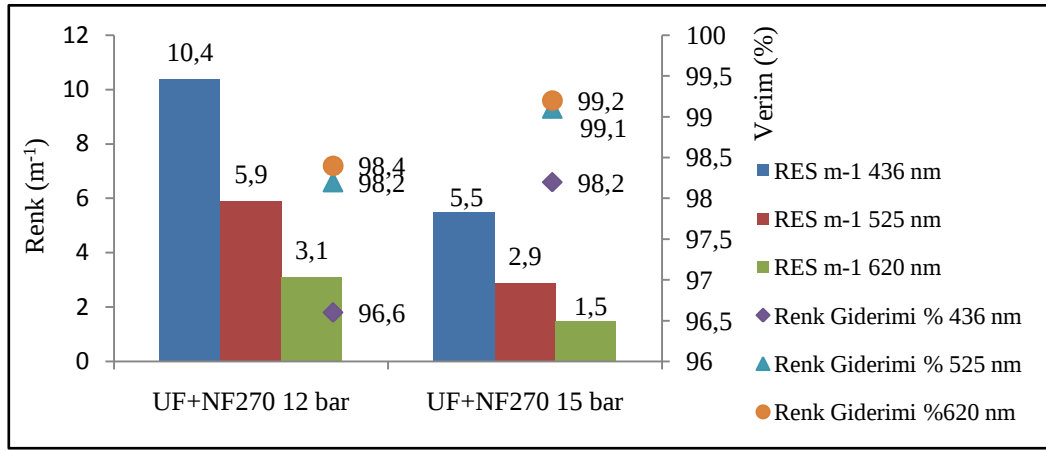


**Şekil 4.30:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UC100T membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımı ile elde edilen konsantre ve süzütünün görünümü.

Üç farklı dalga boyunda ölçülen renk ölçümlerinin RES (Renklilik Sayısı) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama için Denklem 2.2 kullanılmıştır. Şekil 4.31’de maya seperasyon atıksuyunun UF ile ön arıtmadan sonra NF ve TO membranları ile arıtımı sonucunda elde edilen süzöntü akımlarında üç farklı dalga boyu için RES (renklilik sayısı) değerleri verilmektedir.



**Şekil 4.31:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UF membranı ile ön arıtım sonrası süzöntü numunesinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri.



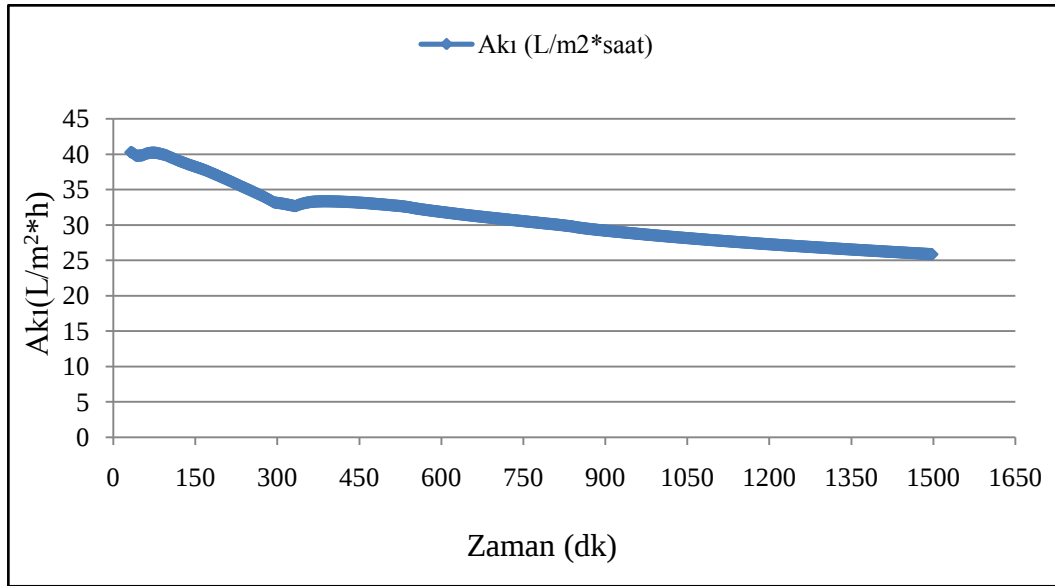
**Şekil 4.32:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun UF membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzöntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri ve giderim yüzdeleri.

Şekil 4.32'den de görüldüğü üzere renk, üç dalga boyunda da 12 ve 15 basınçlarda UF ile ön arıtılmış suyun NF 270 membranıyla ileri arıtımı sonrası % 96-99 arası giderilmiştir. 15 barda arıtma sonrasında 436, 525 ve 620 nm dalga boyunda hesaplanan RES değerleri sırasıyla 5,5 m<sup>-1</sup>, 2,9 m<sup>-1</sup> ve 1,5 m<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Standartlarda bu değerler sırasıyla 7, 5 ve 3 m<sup>-1</sup> i sağlamak zorundadır. Ölçümlerimiz doğrultusunda 15 bar basınçta NF 270 membranıyla ileri arıtım sonrası elde edilen RES değerleri standarta uygundur. NF270 membranın 12 bar basınçta uygulanması ile ise standartların çok az üzerinde RES değerleri elde edilmiştir.

#### 4.4 MV020T (0,2µm) Membranı ile Ön Arıtmalı Yapılan Çalışmalar

##### 4.4.1 Akı değerleri

Nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarından maya seperasyon prosesi atıksuyunun arıtımı için ön arıtma olarak kartuş filtreye ilaveten MV020T mikrofiltasyon membranı da kullanılmıştır. Şekil 4.33'te maya seperasyon prosesine ait atıksuyun 1 bar basınç altında MV020T membranı ile arıtılması sonucu elde edilen akı değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.33:** MV020T membranı ile elde edilen akı değerleri.

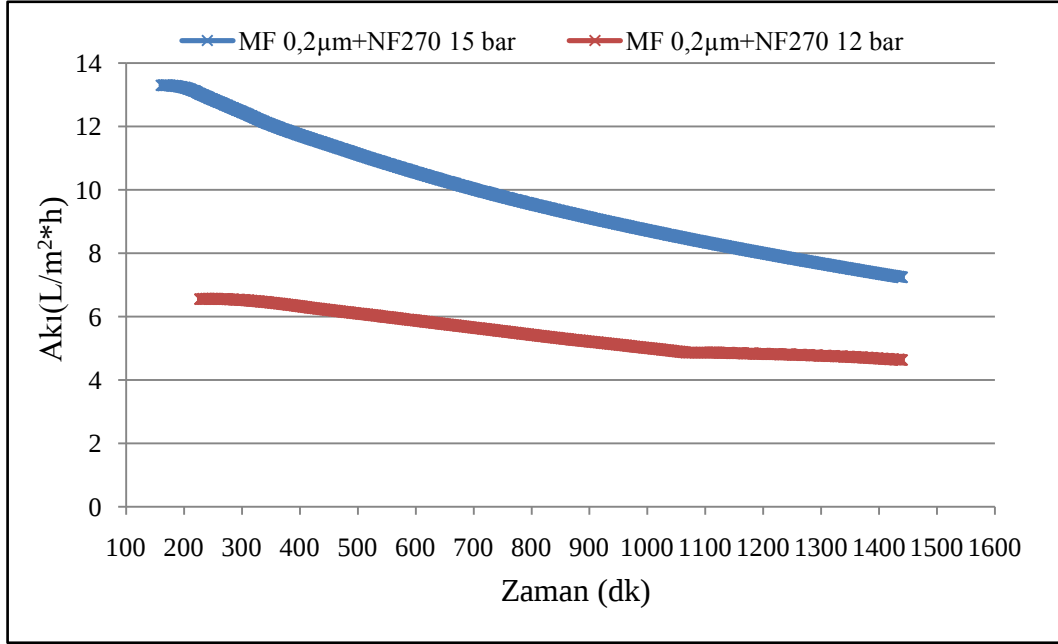
Şekil 4.33'e göre, MV020T membranı ile elde edilen ortalama akı değeri  $31 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ 'dir. Akı maksimum  $40 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ 'e ulaşmış ve en son  $25,8 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ 'e kadar düşmüştür. Akı azalması %35 civarındadır. Atıksuyun 1 bar basınç altında MV020T membranı ile arıtılması sonucu elde edilen süzüntü akımı bunu takiben nanofiltrasyon veya ters osmoz membranlardan da arıtılmıştır. Şekil 4.34'te maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranından 1 bar basınç altında arıtımı sonucu membran yüzeyinde oluşan kek tabakası görülmektedir.



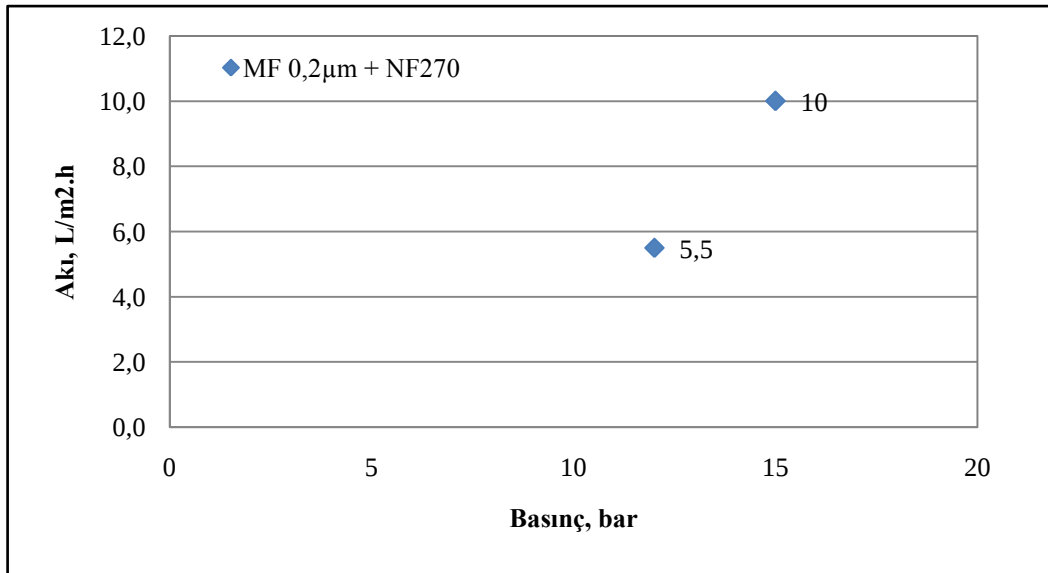
**Şekil 4.34:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranı ile arıtımı sonucu oluşan kek tabakasının görünümü.

Şekil 4.35'te UF ile ön arıtılmış atıksuyun NF270 nanofiltrasyon membranları ile 12 ve 15 bar basınçlarda ileri arıtımı sonucu elde edilen akı-zaman değerleri

görülmektedir. Şekil 4.36'da ise aynı kombine arıtmanın basınç-akı grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.35:** MV020T ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.

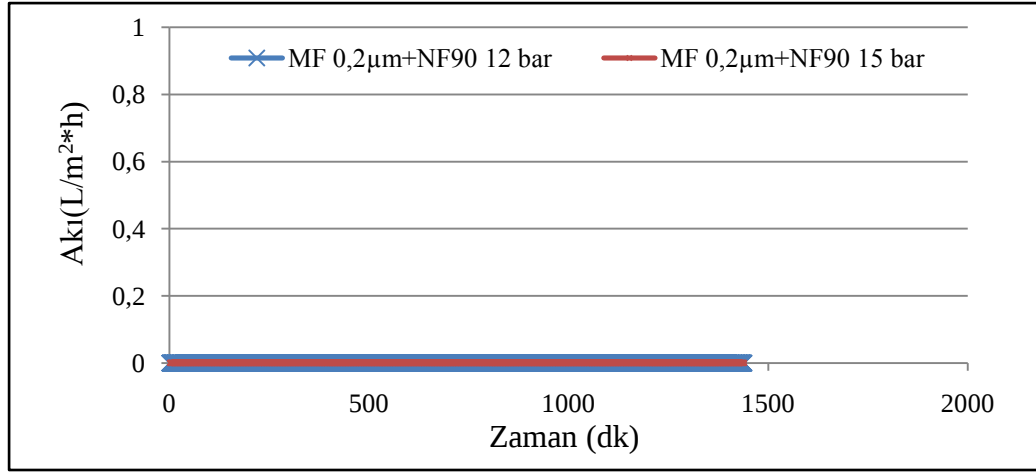


**Şekil 4.36:** MV020T ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği.

Şekil 4.36'dan görüldüğü üzere, NF270 membranı için akı değerleri basınç artışıyla birlikte artmaktadır. MV020T ile ön arıtılmış atıksuda NF270 membranı uygulanması

sonrası akı değeri 12 bar basınçta 5,5 L/m<sup>2</sup>.h değerini alırken, 15 bar basınçta 10 L/m<sup>2</sup>.h değerine ulaşmaktadır. 12 ve 15 barda gerçekleştirilen deneyler 24'er saat sürmüştür. NF270 membranı ile 1440 dakika süreyle 12 barda gerçekleştirilen çalışma boyunca akı değerinde yaklaşık %29 oranında azalma gözlenmiştir. NF270 membranı ile 1440 dakika süreyle 15 barda gerçekleştirilen çalışma boyunca akı değerinde yaklaşık %46 oranında azalma gözlenmiştir.

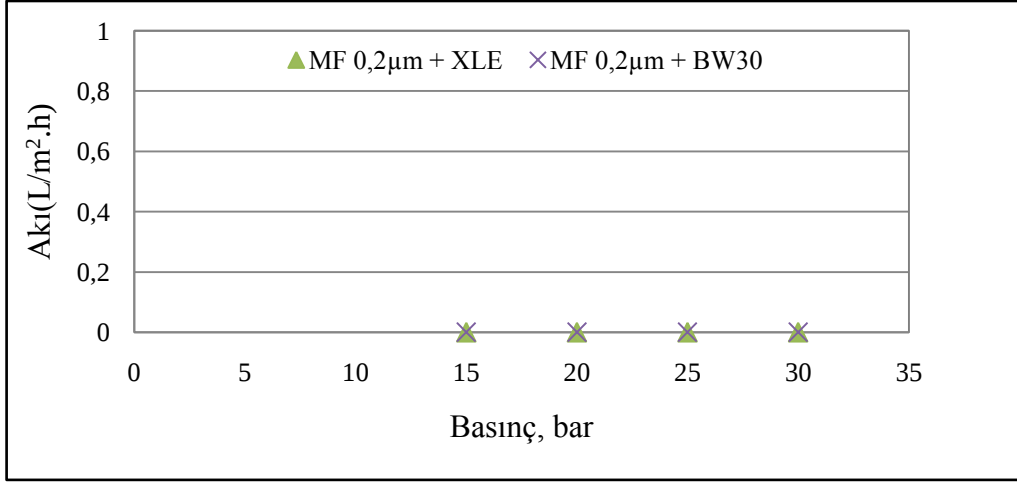
Şekil 4.37'de NF 90 membranı ile 12 ve 15 bar basınçta ileri arıtım sonrası akı-zaman grafiği gösterilmiştir.



**Şekil 4.37:** UF ön arıtılmış atıksuyun süzöntü suyuna NF90 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.

MV020T ile ön arıtılmış atıksuyun süzöntü akımının NF90 membranı ile ileri arıtımı sonucunda 12 ve 15 bar basınçta birer gün süren arıtma sonrasında akı elde edilememiştir. NF270 membranı ile yapılan çalışmalarda akı edilmesine rağmen NF90 membranı ile yapılan çalışmalarda akı elde edilememesinin sebebi iki membranın özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. NF270 membranı ile giderim yüzdesi (NaCl çözeltisi için) %50 civarında iken, NF90 membranında %90 civarındadır. Ayrıca moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) değeri NF270 için 300 Da civarında iken NF90 membranında 200 Da olarak farklılık göstermektedir. Deneylerde çalışılan maya seperasyon atıksuyu çok yüksek organik kirliliğe sahiptir. NF90 membranının daha düşük moleküler ağırlık engelleme sınırının olması ve atıksuyun çok yüksek KOİ ve organik kirliliğe sahip olması nedeni ile membran çok çabuk tıkanmaktadır. Bu nedenle NF90 membranı ile çalışma sonucunda akı elde edilememiştir.

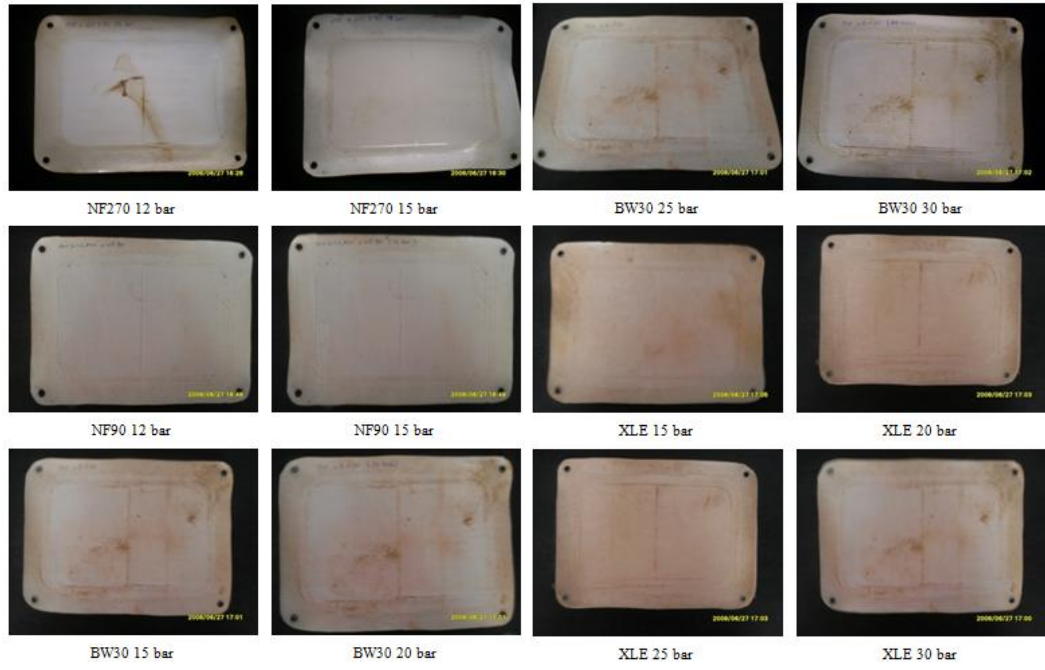
Şekil 4.38 'de ise MF 0,2 mikronluk membran ile ön arıtılmış atıksuyun BW30 ve XLE ters osmoz membranları ile 15, 20, 25, 30 bar'da ileri arıtım sonucu elde edilen akı değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.38:** MF 0,2 mikronluk membranla ön arıtılmış atıksuyun süzöntü suyuna XLE ve BW30 membranlarının 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği.

Şekil 4.38'den görüldüğü üzere ters osmoz membranları ile farklı basınçlarda bir gün süre boyunca yürütülen çalışmaların hiçbirisi sonucunda akı elde edilememiştir.

Şekil 4.39'da ön arıtılmış maya seperasyon prosesi atıksuyunun ileri arıtımı sonrası membran yüzeyinde oluşan kalıntılar görülmektedir.



**Şekil 4.39:** MF 0,2 mikronluk membran ile 1 bar basınçta gerçekleştirilen ön arıtma sonrası uygulanan ileri arıtma membranlarında oluşan kek tabakası görünümleri.

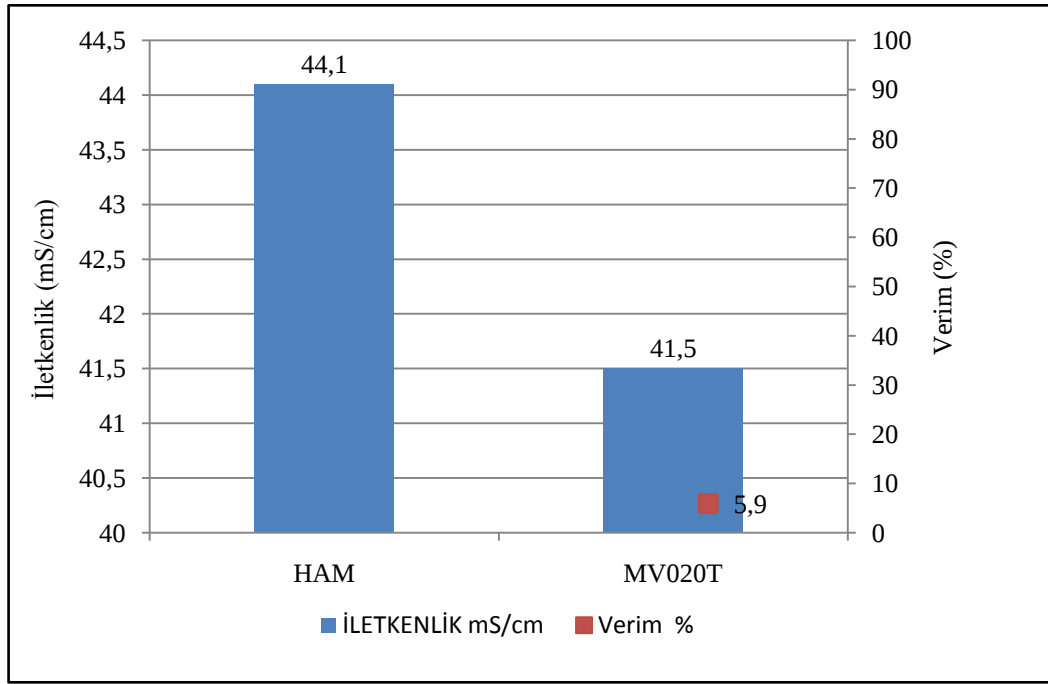
#### 4.4.2 Arıtılmış su kalitesi parametreleri

Ham atıksuda, ön arıtım sonrası ileri arıtılan atıksuyun süzüntü ve konsantre numunelerinde iletkenlik, renk, KOİ, tuzluluk ve pH parametreleri farklı basınç değerlerinde analiz edilmiştir.

##### 4.4.2.1 İletkenlik

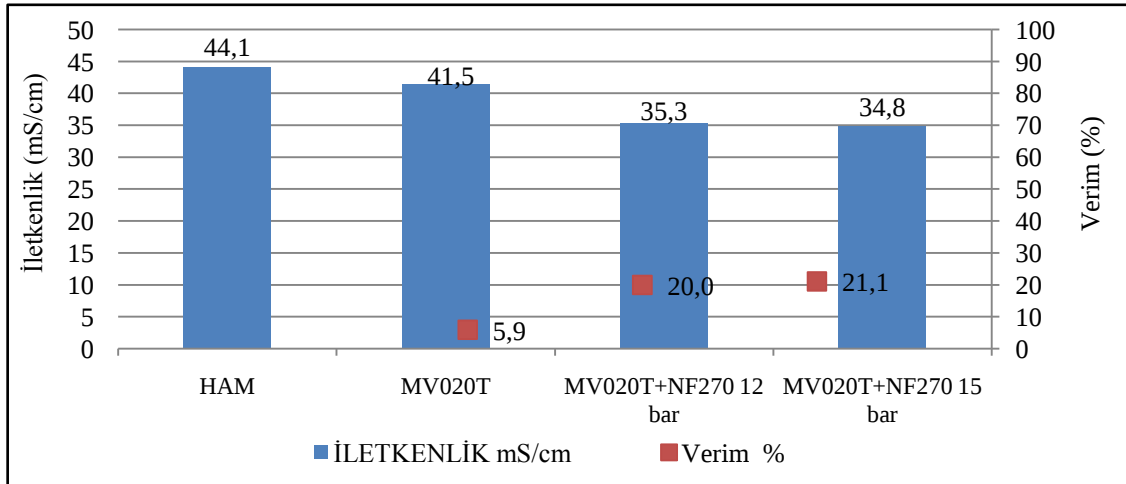
İletkenlik parametresi mS/cm biriminde ölçülmüştür. Şekil 4.39'da ham atıksuda ve atıksuyun ön arıtma amacıyla 1 bar basınç altında MV020T membranı ile ileri arıtımı sonucu elde edilen süzüntü suyunda ölçülen iletkenlik değerleri görülmektedir.

Şekil 4.40'da görüldüğü üzere, maya seperasyon prosesine ait atıksuyun giriş iletkenliği 44,1 mS/cm'dir. Atıksuyun MV020T membranıyla arıtımı sonucu iletkenliği 41,5 mS/cm değerine düşmüştür. MF 0,2µm ile ön arıtım sonrası iletkenlik giderim verimi % 6 civarında gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.40:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MV020T membranı ile elde edilen süzöntüde ölçülen iletkenlik değeri.

Şekil 4.41'de NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları için 12 ve 15 bar'da, BW30 ve XLE ters osmoz membranları için 15, 20, 25, 30 bar'da ölçülen iletkenlik değerleri görülmektedir. Sadece NF270 membranı ile akı elde edildiğinden şekilde diğer membranlar ile arıtma çalışmaları yer almamaktadır.

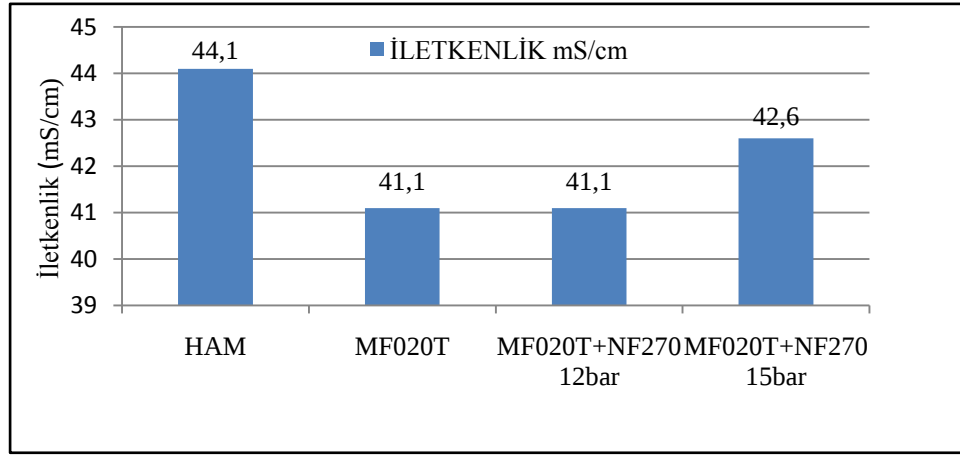


**Şekil 4.41:** MV020T ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen iletkenlik değerleri.

Şekil 4.41'den de görüldüğü üzere MF 0,2µm membranı ile ön arıtılmış atıksu NF270 membranı ile ileri arıtım sonrası iletkenlik giderimi % 20'nin üzerine çıkmıştır. İletkenlik değeri NF270 membranı ile 15 bar basınçta ileri arıtıldığında 34,8

mS/cm'dir ve bu basınçta NF270 membranı ile en verimli iletkenlik giderimine ulaşılmaktadır.

MF 0,2 mikronluk membran ile ön arıtılmış atıksuya farklı membranlar ile farklı basınç değerlerinde ileri arıtma uygulanmıştır ve çalışma sonlarında elde edilen konsantre akımları için de iletkenlik ölçümü yapılmıştır. Akı elde edilen çalışmalara ait konsantre numunelerinin iletkenlik değerleri aşağıdaki Şekil 4.42'de gösterilmiştir.

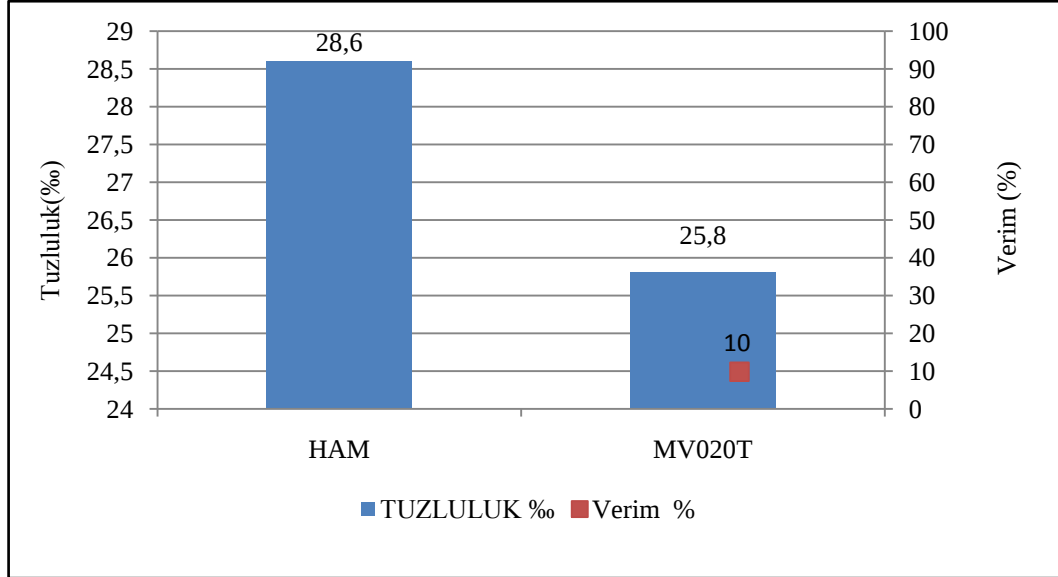


**Şekil 4.42:** MV020T membranıyla ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen iletkenlik değerleri.

İletkenlik değerlerine baktığımızda ham atıksuyun iletkenliği 44,1 mS/cm'dir. MV020T membranıyla ön arıtmadan geçirilmiş atıksuda konsantre akımın iletkenlik değeri 41,1 mS/cm olarak ölçülmüştür. Ham atıksuya göre iletkenlik değeri % 7,5 civarında giderim sağlanmıştır. Bunun sebebi bir miktar iletkenliğin süzüntü kısma geçmesidir. Ön arıtmadan sonra ileri arıtım amacıyla uygulanan ve akı elde edilen NF270 membranı konsantre akımının 12 ve 15 bar basınçta ölçülen iletkenlik değerleri sırasıyla; 41,1 ve 42,6 mS/cm'dir. İletkenlik değerinin NF270 membranı konsantre kısmında, MV020T membranının konsantre akımına göre daha yüksek olmasının nedeni MF membranının gözenek çapının daha büyük olmasıdır. Ayrıca NF270 membranının gözenek boyutunun daha küçük olması nedeniyle konsantre kısımda iletkenlik değeri daha yüksektir.

#### 4.4.2.2 Tuzluluk

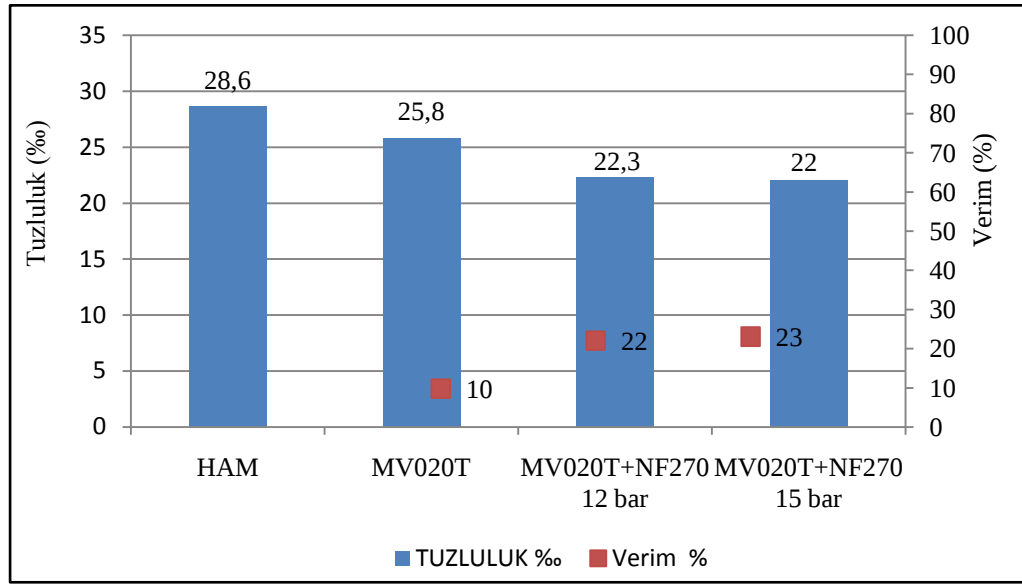
Tuzluluk parametresi ‰ biriminde ölçölmüştür.Şekil 4.43'te ham atıksuda ve atıksuyun ön arıtma amacıyla 1 bar basınç altında MV020T membranı ile arıtımı sonucu elde edilen süzüntü suyunda ölçölen tuzluluk değeri görölmektedir.



**Şekil 4.43:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MV020T membranı ile elde edilen süzüntüde ölçölen tuzluluk değeri ve giderim yüzdesi.

Şekil 4.43'te göröldüğü üzere, maya seperasyon prosesine ait atıksuyun giriş tuzluluk değeri 28,6 ‰ dir. Atıksuyun MV020T membranıyla arıtımı sonucu iletkenliği 25,8 ‰ değeri düşmüştür. MF 0,2µm membranıyla ön arıtımıyla iletkenlik giderim verimi % 10 civarında gerçekleşmiştir.

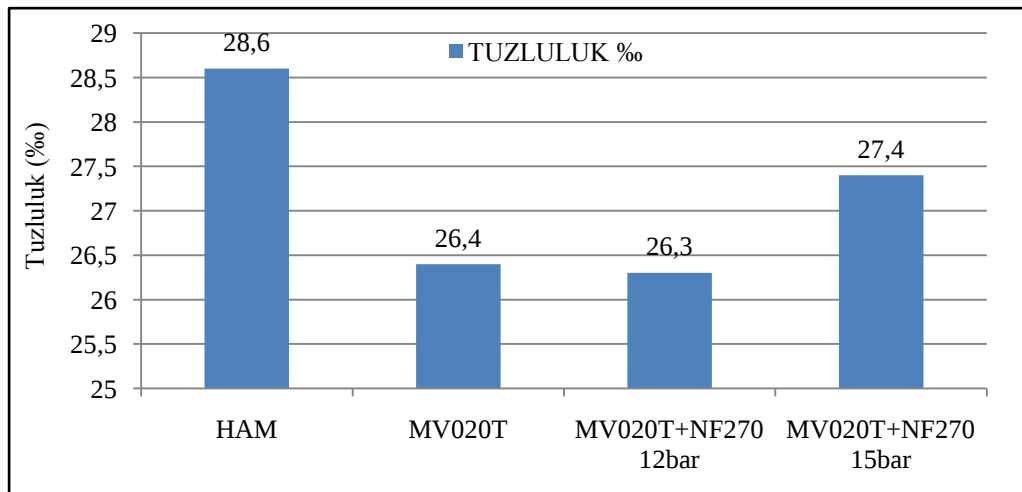
Şekil 4.44'te NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları için 12 ve 15 bar'da, BW30 ve XLE ters osmoz membranları için 15, 20, 25, 30 bar'da ölçölen tuzluluk değeri görölmektedir. Sadece NF270 membranı ile akı elde edildiğinden şekilde diğeri membranlar ile arıtma çalışmaları yer almamaktadır.



**Şekil 4.44:** MF 0,2µm ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen tuzluluk değerleri ve giderim verimleri.

Şekil 4.44'ten de görüldüğü üzere MF 0,2µm ile ön arıtılmış atıksu NF270 membranı ile ileri arıtıldığında tuzluluk giderimi %23'e kadar çıkmıştır. Tuzluluk değeri NF270 membranı ile 15 bar basınçta ileri arıtıldığında 22 %'dir ve bu basınçta NF270 membranı ile en verimli iletkenlik giderimine ulaşılmaktadır.

MF 0,2µm membranıyla ön arıtılmış atıksuya farklı membranlar ile farklı basınç değerlerinde ileri arıtma uygulanmıştır ve çalışma sonlarında elde edilen konsantre akımları için de tuzluluk ölçümü yapılmıştır. Akı elde edilen çalışmalara ait konsantre numunelerinin iletkenlik değerleri aşağıdaki Şekil 4.45'te gösterilmiştir.

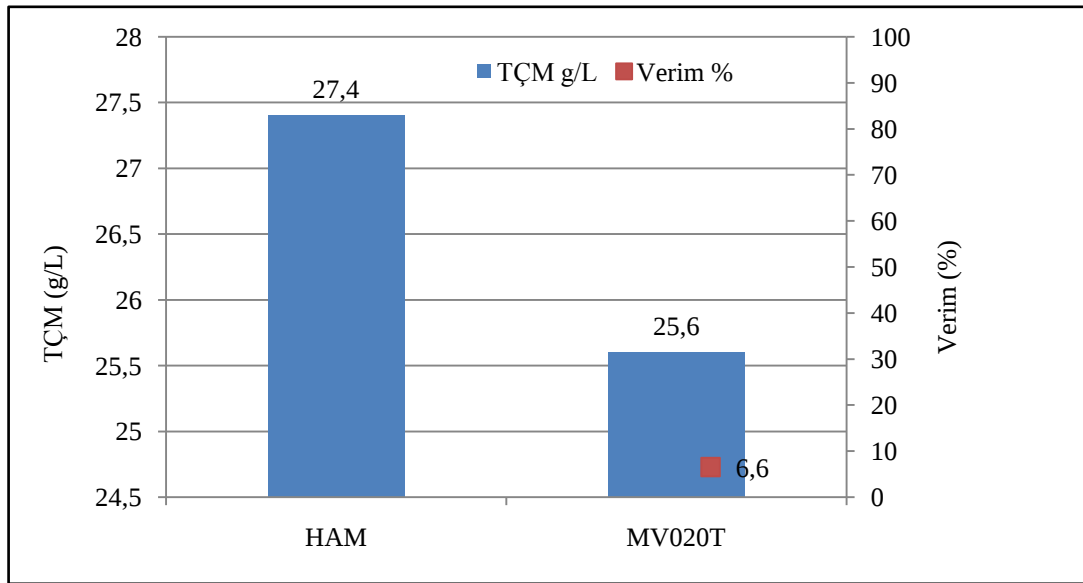


**Şekil 4.45:** MF 0,2 µm ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen tuzluluk değerleri.

Tuzluluk değerlerine baktığımızda ham atıksuyun tuzluluğu 28,6 ‰'dir. MV020T membranıyla ön arıtmadan geçirilmiş atıksuda konsantre akımın tuzluluk değeri 26,4 ‰ olarak ölçülmüştür. Ham atıksuya göre tuzluluk değerinde % 7,6 civarında giderim sağlanmıştır. Bunun sebebi MF membranın tuzu tutma özelliğinin olmaması ve süzüntüye geçirmesidir. Ön arıtmadan sonra ileri arıtım amacıyla uygulanan ve akı elde edilen NF270 membranı konsantre akımının 12 ve 15 bar basınçta ölçülen tuzluluk değerleri sırasıyla; 26,3 ve 27,4 ‰'dir. Tuzluluk değerinin MF konsantre akımına göre daha yüksek olmasının nedeni MF membranının gözenek çapının daha büyük olması ve tuzu NF membranlarına göre daha kolay süzüntü akımına geçirmesidir. Ayrıca NF270 membranının gözenek boyutunun daha küçük olması ve bir miktar tuzu tutma kapasitesi olması sebebiyle konsantre kısımda tuzluluk değeri daha yüksektir.

#### 4.4.2.3 Toplam çözünmüş madde (TÇM)

Toplam Çözünmüş Madde (TÇM) g/L biriminde ölçülmüştür. Şekil 4.45'te ham atıksuda ve atıksuyun ön arıtma amacıyla 1 bar basınç altında MV020T membranıyla arıtımı sonucu elde edilen süzüntü suyunda ölçülen TÇM değerleri görülmektedir.

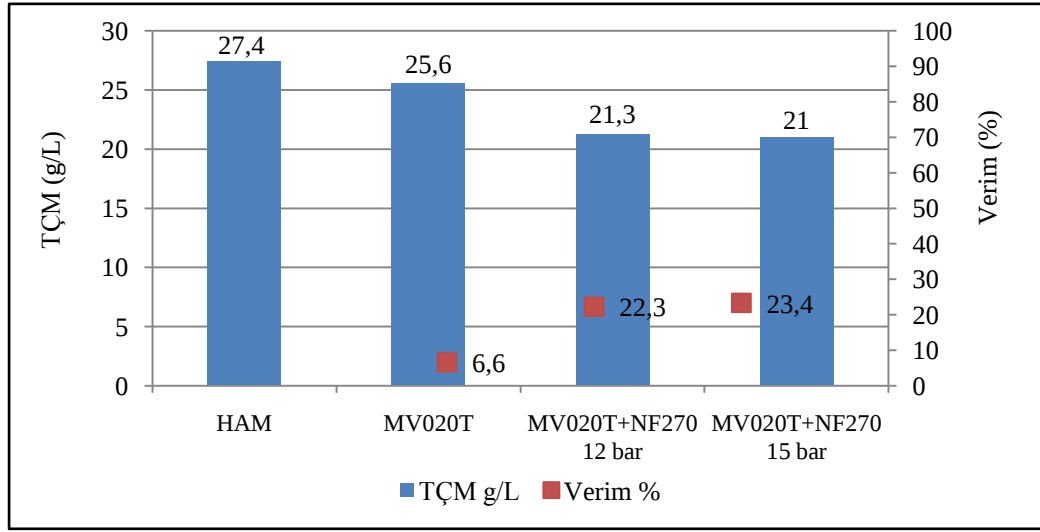


**Şekil 4.46:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MV020T membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen TÇM değeri ve giderim yüzdesi.

Şekil 4.46'da görüldüğü üzere, maya seperasyon prosesine ait atıksuyun giriş TÇM değeri 27,4 g/L'dir. Atıksuyun MV020T membranıyla arıtımı sonucu TÇM 25,6‰ değerine düşmüştür. MF 0,2µm ile ön arıtım sonrası TÇM giderim verimi % 6,6

civarında gerçekleşmiştir. Ön arıtma ile atıksuda TÇM giderimi çok düşük oranda gerçekleşmiştir.

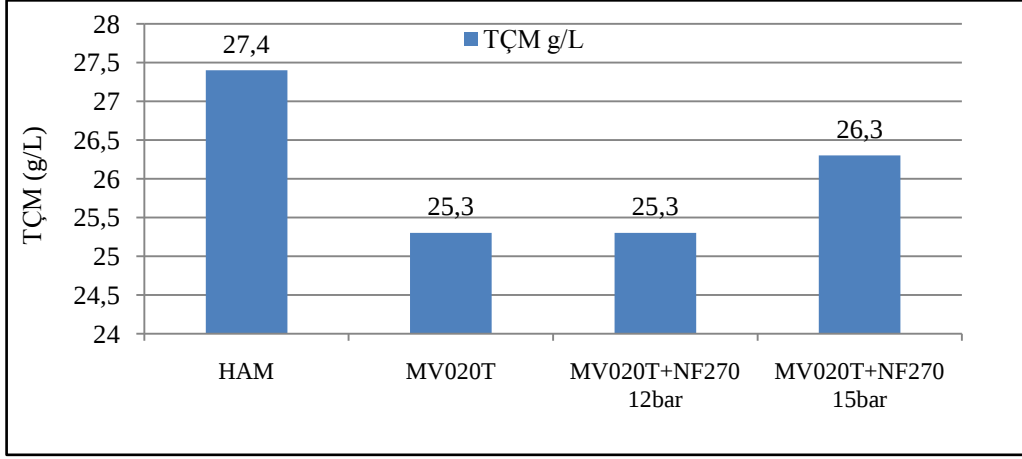
NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları için 12 ve 15 bar'da, BW30 ve XLE ters osmoz membranları için 15, 20, 25, 30 bar'da akı elde edilememiştir. MF 0,2µm membranı ile ön arıtılmış suyun ileri arıtımı çalışmalarında sadece NF270 membranı ile akı elde edildiğinden Şekil 4.47'de yalnızca NF270 membranının 12 ve 15 bar basınçta elde edilen sonuçları yer almaktadır.



**Şekil 4.47:** MF 0,2µm membranıyla ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen TÇM değerleri ve giderim verimleri.

Şekil 4.47'den de görüldüğü üzere MF 0,2µm ile ön arıtılmış atıksu NF270 membranı ile ileri arıtıldığında TÇM giderimi % 23 değerine kadar çıkmıştır. TÇM değeri NF270 membranı ile 15 bar basınçta ileri arıtıldığında 21 g/L'ye düşmüştür ve bu basınçta NF270 membranı ile en verimli TÇM giderimine ulaşılmaktadır.

MF 0,2µm membranı ile ön arıtılmış atıksuya farklı membranlar ile farklı basınç değerlerinde ileri arıtma uygulanmıştır ve çalışma sonlarında elde edilen konsantrasyon akımları için de TÇM ölçümü yapılmıştır. Akı elde edilen çalışmalara ait konsantrasyon numunelerinin TÇM değerleri aşağıdaki Şekil 4.48'de gösterilmiştir.

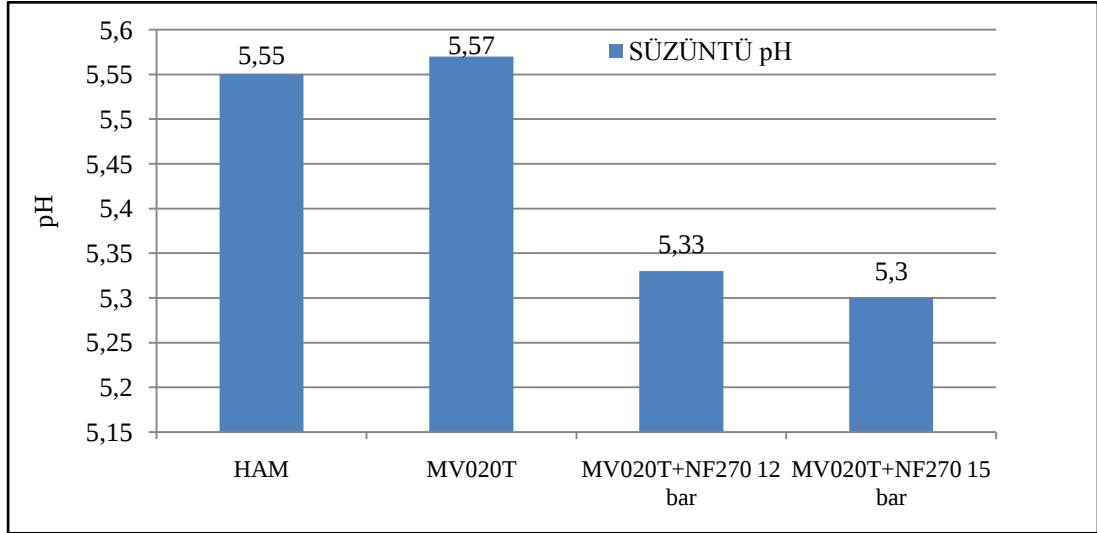


**Şekil 4.48:** MF 0,2µm membranıyla ön arıtılmış ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen TÇM değerleri.

TÇM değerlerine baktığımızda ham atıksuyun TÇM değeri 27,4 ‰'tür. MF 0,2 mikronluk membranla ön arıtmadan geçirilmiş atıksuda konsantre akımın TÇM değeri 25,3 ‰ olarak ölçülmüştür. Ham atıksuya göre TÇM değerinde % 7,6 civarında giderim sağlanmıştır. Ön arıtmadan sonra ileri arıtım amacıyla uygulanan ve akı elde edilen NF270 membranı konsantre akımının 12 ve 15 bar basınçta ölçülen TÇM değerleri sırasıyla; 25,3 ve 26,3 ‰'tur. TÇM değerinin MF konsantre akımına göre daha yüksek olmasının nedeni MF membranının gözenek çapının daha büyük olması ve çözünmüş maddeleri NF membranlarına göre daha kolay süzüntü akımına geçirmesidir. Ayrıca NF270 membranının gözenek boyutunun daha küçük olması ve bir miktar çözünmüş maddeyi tutma kapasitesi olması sebebiyle konsantre kısımda TÇM değeri daha yüksektir.

#### 4.4.2.4 pH

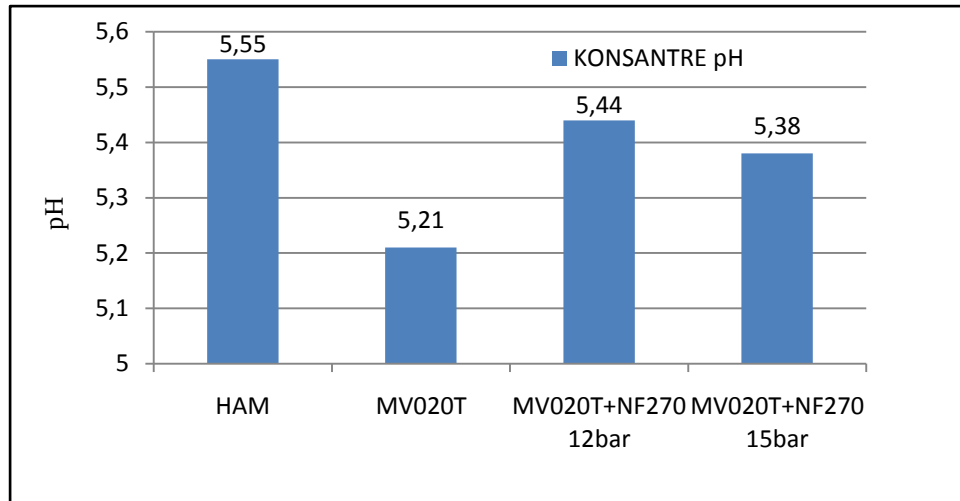
MF 0,2µm membranı ile ön arıtılmış atıksu NF membranları ile 12 ve 15 bar basınçlarda ve TO membranları ile 15, 20, 25 ve 30 bar basınçta ileri arıtılmıştır. Arıtım sonrası sadece NF 270 membranında 12 ve 15 bar basınçlarda akı elde edilmiştir. Şekil 4.49'da MF 0,2µm ön arıtım ve sonrasında gerçekleştirilen ileri arıtım işleminden elde edilen süzüntü numunelerinin pH değerleri gösterilmiştir.



**Şekil 4.49:** MF 0,2µm ön arıtmalı sistemde ham suda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen pH değerleri.

Ham atıksuyun pH değeri 5,55'dir. MF 0,2µm ile ön arıtılmış atıksuyun pH değeri ham atıksuya çok yakın çıkmıştır. MF 0,2µm membranı ile ön arıtılmış atıksuyun NF270 membranı ile 12 ve 15 bar basınçta ileri arıtım sonrası pH değeri sırasıyla 5,33 ve 5,3 olarak ölçülmüştür. NF membranı ile farklı basınçlarda arıtım sonrası pH değeri çok değişiklik göstermemiştir.

Şekil 4.50'de ön arıtım ve sonrasında uygulanan ileri arıtımda akı elde edilen NF270 (12 ve 15 barda) membranlarında konsantre akımın pH değerleri gösterilmektedir.

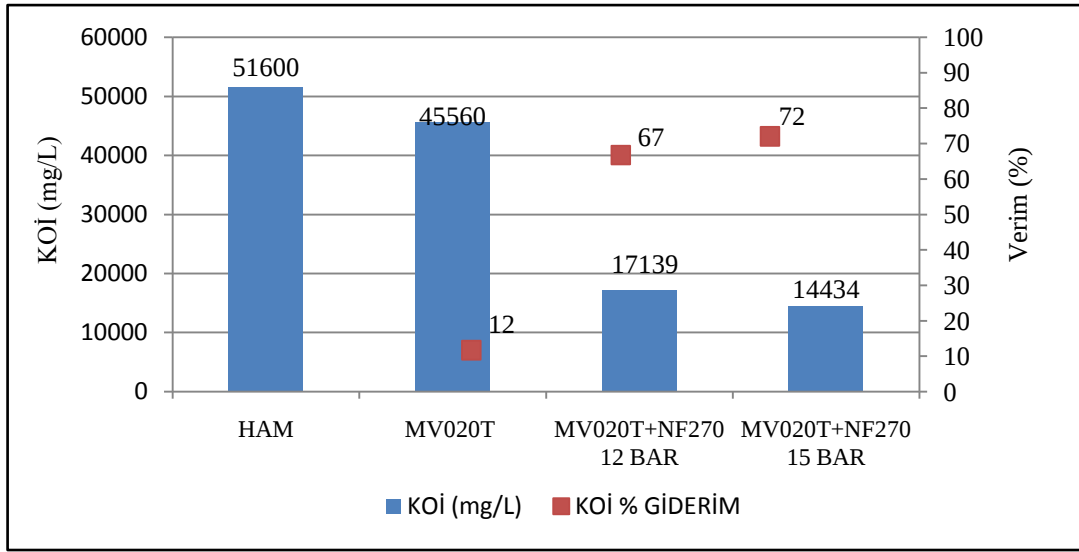


**Şekil 4.50:** MF 0,2µm ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen pH değerleri.

NF270 membranı ile ileri arıtım sonrasında pH değeri konsantre akımlarında ham atıksuya göre çok yakın çıkmıştır.

#### 4.4.2.5 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

MF 0,2µm membranıyla ön arıtım yapılan maya seperasyon prosesi atıksuyunda analizi yapılan diğer bir parametre de KOİ'dir. Kullanılan membranlar için uygulanan tüm basınç değerlerinde süzüntü elde edilen akımlarında KOİ parametresi analiz edilmiştir. Şekil 4.51 'de ham atıksuyun, ön arıtma amacıyla gerçekleştirilen MV020T membranı süzüntüsünün ve ön arıtılmış atıksuya uygulanan ileri arıtım sonucunda elde edilen süzüntülerin KOİ değerleri ve giderim verimleri görülmektedir.

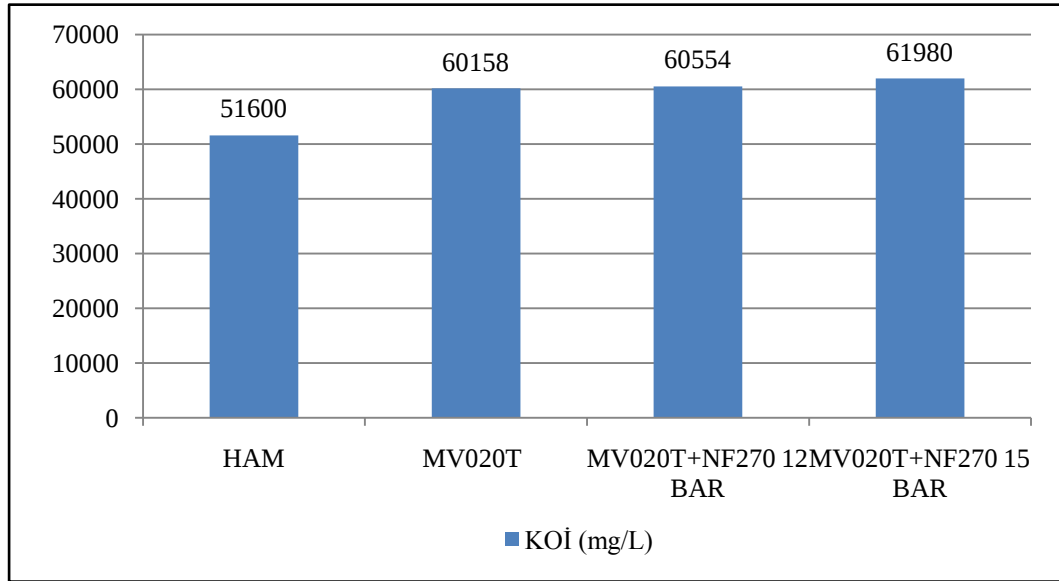


**Şekil 4.51:** Ham atıksuda, MV020T membranı süzüntüsünde ve farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 membranı süzüntü numunelerinde ölçülen KOİ değerleri ve giderim verimleri.

Şekil 4.51'de görüldüğü üzere, ham suyun KOİ değerinin 51600 mg/L ve MV020T membranı süzüntüsünde ise 45560 mg/L'dir. MV020T membranı ile ön arıtım sonucu yaklaşık % 12 civarında KOİ giderimi olduğu görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi MF 0,2µm ile ön arıtılmış atıksuya uygulanan ters osmoz membranları ile akı elde edilememiştir. Aynı şekilde NF90 membranı ile de 12 ve 15 bar basınçta akı elde edilemedi. NF270 membranı ile ise 12 ve 15 bar basınçta gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen süzüntüdeki KOİ değerleri sırasıyla 17139 ve 14434 mg/L olarak elde edilmiştir. NF270 membranı ile 12 bar basınçta arıtım ile KOİ giderimi % 67 verim sağlarken 15 bar basınçta verim %72 değerine çıkmaktadır. Ön arıtım sonucu ham atıksuyun KOİ değeri yüksek seviyede gerçekleşmezken, NF270 membranı ile ileri arıtım sonucunda %72'i bulmaktadır. Uygulanan iki farklı NF membranı birbiriyle kıyaslanırsa NF270 membranının ön

arıtım sonrası ileri arıtımda daha uygun olduğu söylenebilir. Ters osmoz membranları ve NF 90 membranı maya seperasyon atıksuyu ileri arıtımında verimli değildir.

Şekil 4.52'de MF 0,2µm membranı ile ön arıtım sonrası farklı basınçlarda (12 ve 15 bar) akı elde edilen NF270 membranları ile ileri arıtma sonucunda oluşan konsantre akımın KOİ değeri gösterilmiştir.



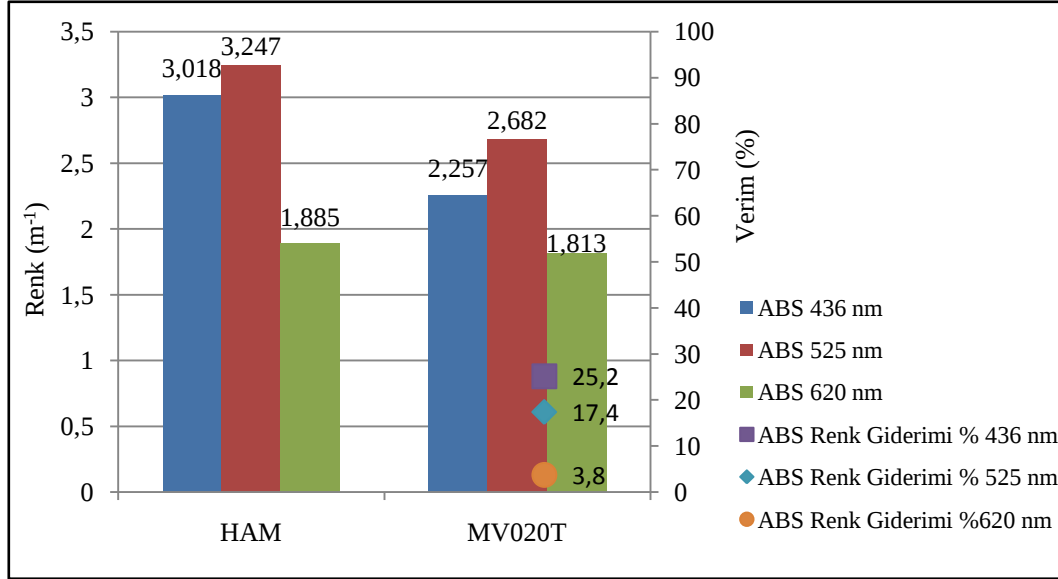
**Şekil 4.52:** Ham atıksuda, MV020T membranı konsantre numunesi ve farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 membranı konsantre numunelerinde ölçülen KOİ değerleri.

Ham atıksuyun KOİ değeri 51600 mg/L olarak hesaplanmıştır. Konsantre akımlarının hepsi ham atıksudan daha yüksek KOİ'ye sahiptir. Konsantre numunlerinin KOİ değeri ham suya göre 18% civarında artış göstermektedir. Bu artışın sebebi membran prosesin ayırma mekanizmasına dayalı olarak konsantre kısımda organik kirliliğin tutulmasıdır.

#### 4.4.2.6 Renk

Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MF 0,2µm membranıyla ön arıtım sonrası nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarıyla ileri arıtımı sonucu elde edilen süzüntü akımlarında üç farklı dalga boyunda ve Pt-Co biriminde renk parametresi ölçülmüştür. Kullanılan tüm membranlar için uygulanan basınç değerlerinde elde edilen süzüntü akımlarında renk parametresi ölçülmüştür. Şekil 4.53'te maya seperasyon prosesine ait atıksuyun 1 bar basınç altında MV020T membranından

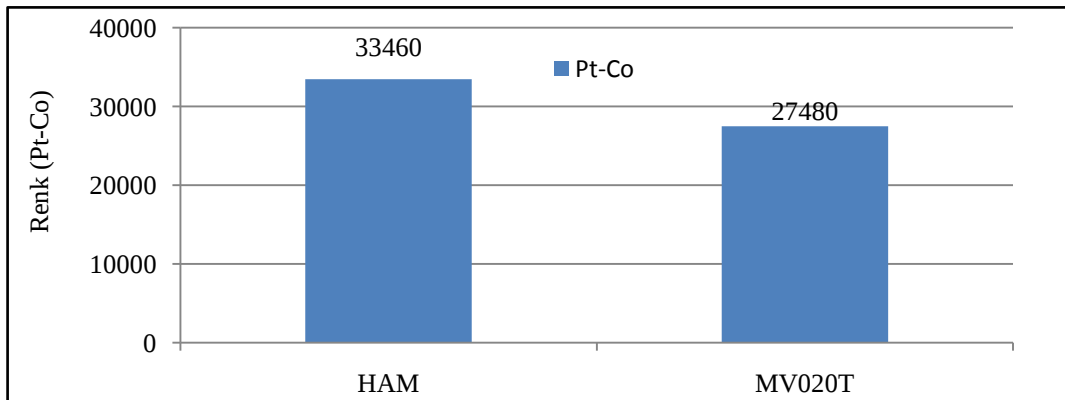
geçirilmesiyle elde edilen süzüntüde 3 farklı dalga boyunda (436 nm, 525 nm, 620 nm) ölçülen renk değerleri ve elde edilen giderim verimleri görülmektedir.



**Şekil 4.53:** Ham atıksuda ve MV020T membranıyla arıtım sonucu elde edilen süzüntü akımında ölçülmüş renk değerleri ve giderim verimleri (436, 525 ve 620 nm dalga boylarında).

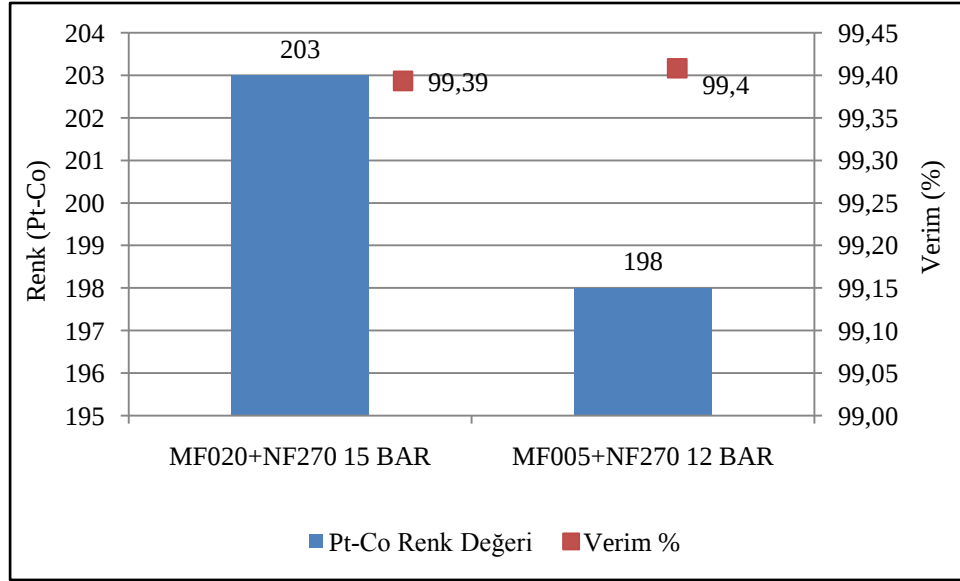
Şekil 4.53'te görüldüğü üzere, MF 0,2 $\mu\text{m}$  ön arıtmı uygulandığında renk giderim veriminin üç dalga boyunda da % 30'a ulaşmadığı görülmektedir. MF 0,2 $\mu\text{m}$  membranıyla ön arıtmadan geçmiş atıksuyun ABS biriminde renk değeri 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında sırasıyla 2,257, 2,682 ve 1,813 abs olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.54'te maya seperasyon prosesine ait atıksuyun 1 bar basınç altında MV020T membranından geçirilmesiyle elde edilen süzüntü numunesinin Pt-Co biriminde renk değerleri verilmiştir.



**Şekil 4.54:** Ham atıksuda ve MV020T membranı ile arıtım sonucu elde edilen süzüntü akımında ölçülmüş Pt-Co biriminde renk değerleri.

Şekil 4.54'te görüldüğü gibi MF 0,2µm membranı ile ön arıtım sonucunda ham atıksuyun Pt-Co biriminde renk değeri 33460'dan 27480 değerine düşmektedir. Renk giderimi Pt-Co biriminde %18 civarında gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.55:** MV020T membranı ile arıtım sonucu elde edilen süzüntü akımında ölçülmüş Pt-Co biriminde renk değerleri ve renk giderim verimleri.

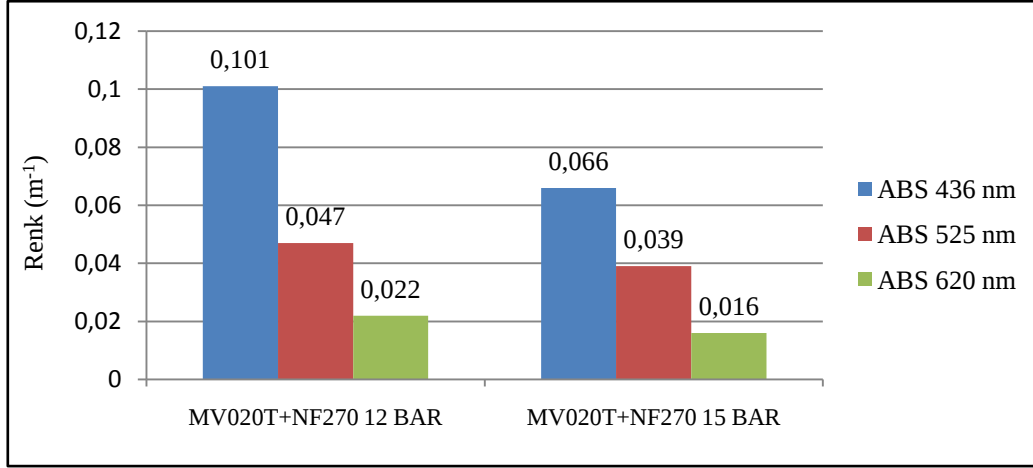
Şekil 4.55'te görüldüğü gibi MF 0,2 µm membranı ile ön arıtmadan geçmiş atıksuda NF270 membranının 12 ve 15 bar basınçlarda ileri arıtımı sonucunda renk giderimi %99'ın üzerinde olmuştur. Giriş renk değeri 33460 Pt-Co iken bu değer ileri arıtım ile 200 Pt-Co'a kadar düşürülmüştür. SKKY'ye renk parametresi hakkında yeni getirilen sınırlandırmaya uygun renk değeri elde edilmiştir.

Şekil 4.56'da maya seperasyon prosesine ait atıksuyun ve bu atıksuyun MV020T membranından 1 bar basınç altında geçirilmesi sonucu elde edilen süzüntü akımının görünümü görülmektedir.

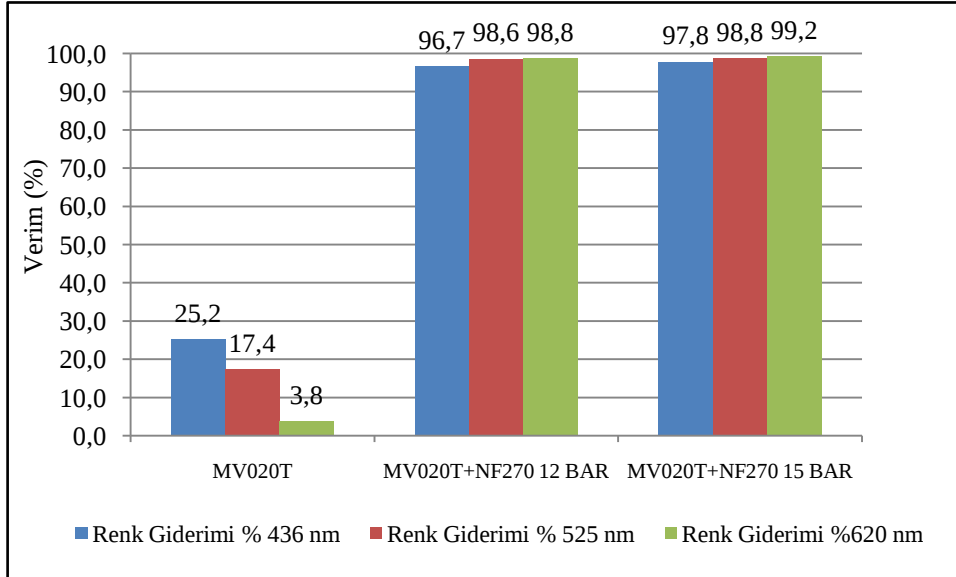


**Şekil 4.56:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranı ile arıtımı ile elde edilen konsantre ve süzüntünün görünümü.

Şekil 4.57'de MF 0,2µm membranı ile ön arıtmadan geçmiş atıksuyun NF270 membranı ile ileri arıtımı sonrasında elde edilen süzüntü numunelerinin üç farklı dalga boyunda (436, 525 ve 620 nm) ölçüm sonuçları verilmiştir. Şekil 4.58'de ise abs biriminde üç dalga boyunda renk giderim verimleri gösterilmiştir.



**Şekil 4.57:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MF 0,2µm membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzüntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda ölçüm sonuçları.

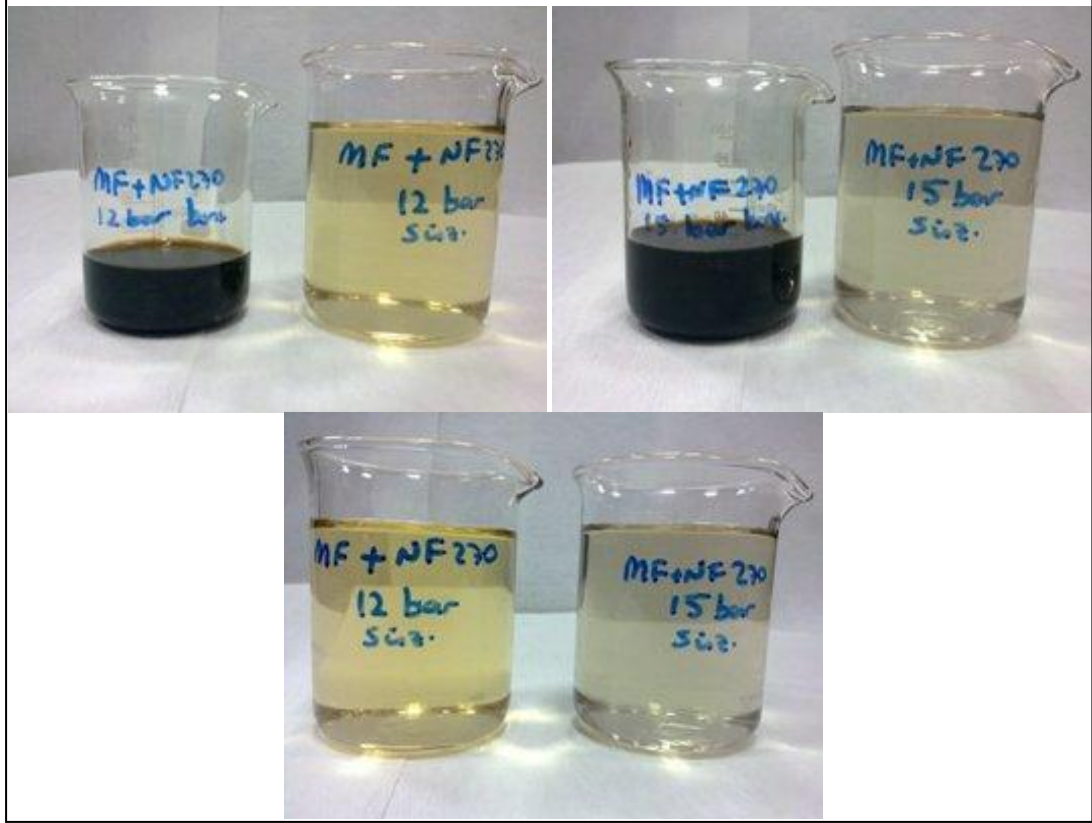


**Şekil 4.58:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MF 0,2µm membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımından elde edilen süzüntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda giderim verimleri.

Şekil 4.58'den de görüldüğü üzere MF 0,2µm ile ön arıtım sonrasında NF 270 membranı ile ileri arıtım sonunda renk giderimi çoğunlukla % 97'in üzerinde

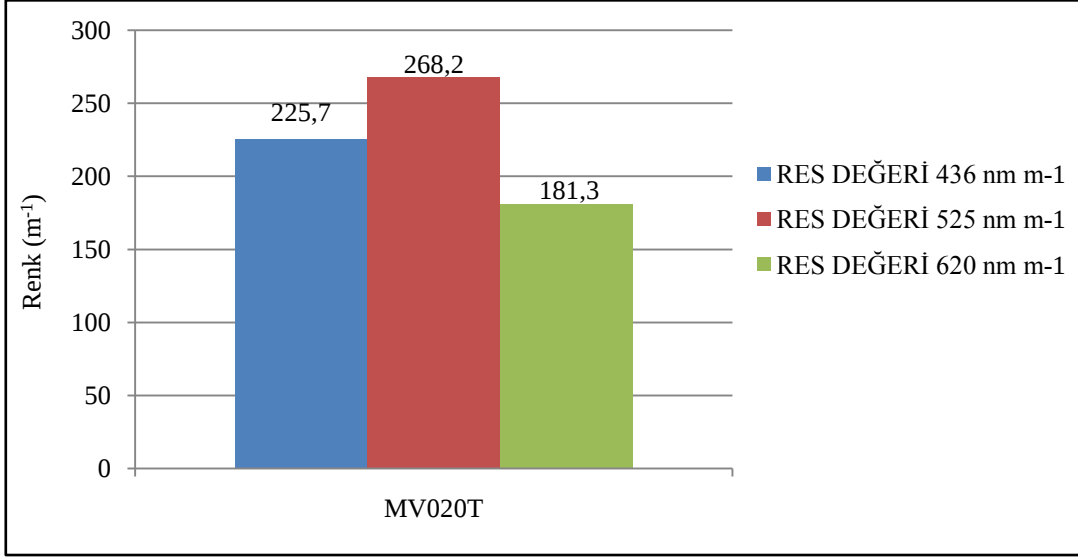
gerçekleşmiştir. En verimli renk giderimi NF270 membranının 15 bar basınçta kullanılması ile elde edilip %99,2 değerine kadar ulaşmıştır.

Şekil 4.59'da maya seperasyon prosesi atıksuyunun sırasıyla NF270 (12 ve 15 barda) membranları ile arıtılması sonucu elde edilen süzöntü ve konsantre akımlarının görüntüleri görülmektedir.

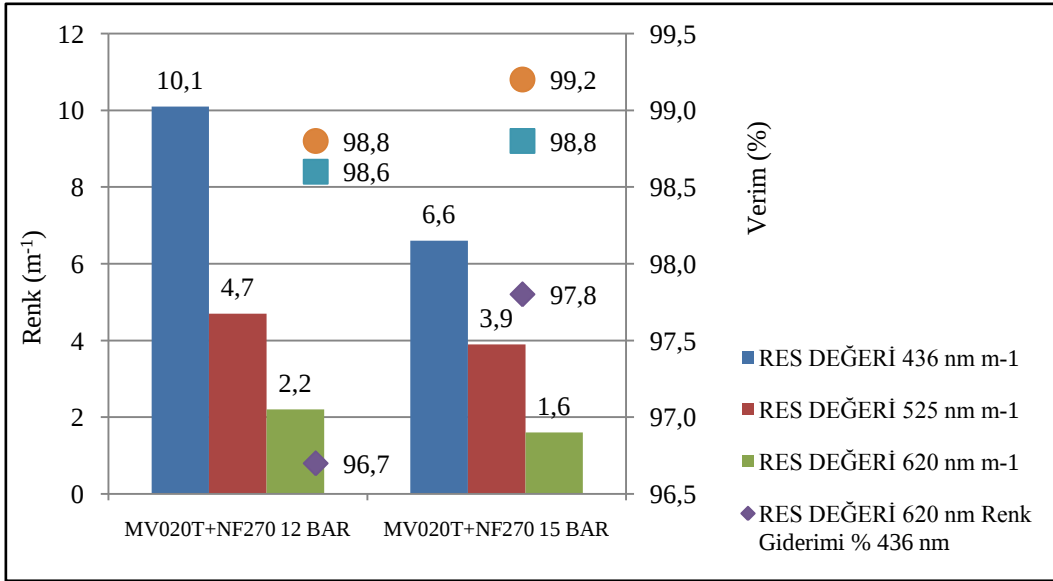


**Şekil 4.59:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranı ile ön arıtım sonrası NF270 membranı ile ileri arıtımı ile elde edilen konsantre ve süzöntünün görünümü.

Üç farklı dalga boyunda ölçülen renk ölçümlerinin RES (Renklilik Sayısı) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama için Denklem 2.2 kullanılmıştır. Şekil 4.60 ve Şekil 4.61'de sırasıyla maya seperasyon atıksuyunun MF 0,2µm ile ön arıtımı ve süzöntünün NF ve TO membranları ile arıtımı sonucunda elde edilen süzöntü akımlarında üç farklı dalga boyu için RES (renklilik sayısı) değerleri verilmektedir.



**Şekil 4.60:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranı ile ön arıtım sonrası süzüntü numunesinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri.



**Şekil 4.61:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MV020T membranı ile ön arıtım sonrası süzüntü numunesinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri ve renk giderim verimleri.

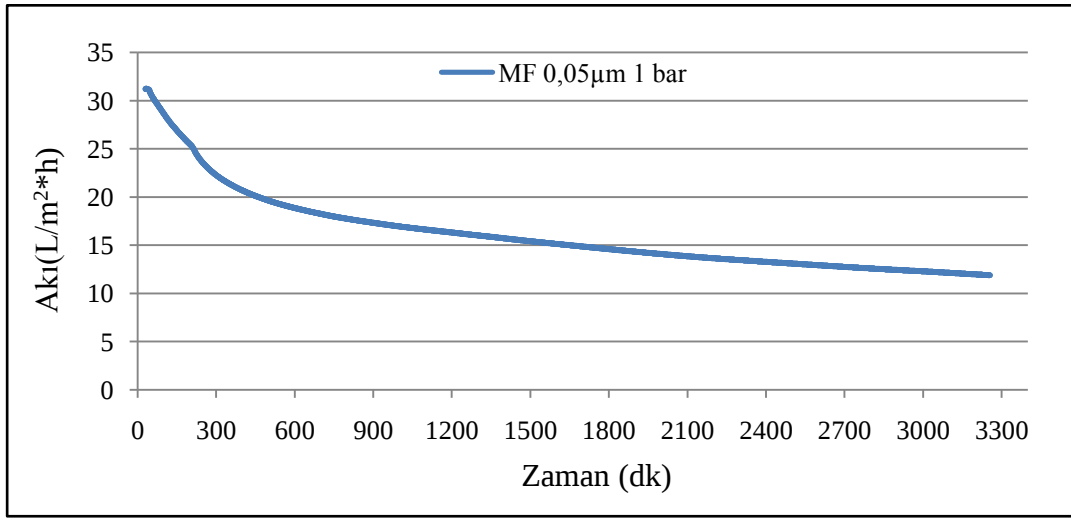
Şekil 4.61'den da görüldüğü üzere renk, üç dalga boyunda da 12 ve 15 basınçlarda MV020T ile ön arıtılmış suyun NF 270 membranıyla ileri arıtımı sonrası % 96,5-99 arası giderilmiştir. 15 barda arıtma sonrasında 436, 525 ve 620 nm dalga boyunda hesaplanan RES değerleri sırasıyla 6,6 m<sup>-1</sup>, 3,9 m<sup>-1</sup> ve 1,6 m<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Standartlarda bu değerler sırasıyla 7, 5 ve 3 m<sup>-1</sup> i sağlamak zorundadır. Ölçümlerimiz doğrultusunda 15 bar basınçta NF 270 membranıyla ileri arıtım sonrası elde edilen

RES değerleri standartta uygundur. NF270 membranının 12 bar basınçta uygulanması ile ise standartların çok az üzerinde RES değerleri elde edilmiştir.

#### 4.5 MP005 ile n Arıtmalı Yapılan alışmalar

##### 4.5.1 Akı değerleri

Nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarından maya seperasyon prosesi atıksuyunun arıtımı için ön arıtma olarak kartuş filtreye ilaveten MP005 mikrofiltrasyon membranı da kullanılmıştır. şekil 4.62'de maya seperasyon prosesine ait atıksuyun 1 bar basınç altında MP005 membranı ile arıtılması sonucu elde edilen akı değerleri görülmektedir.



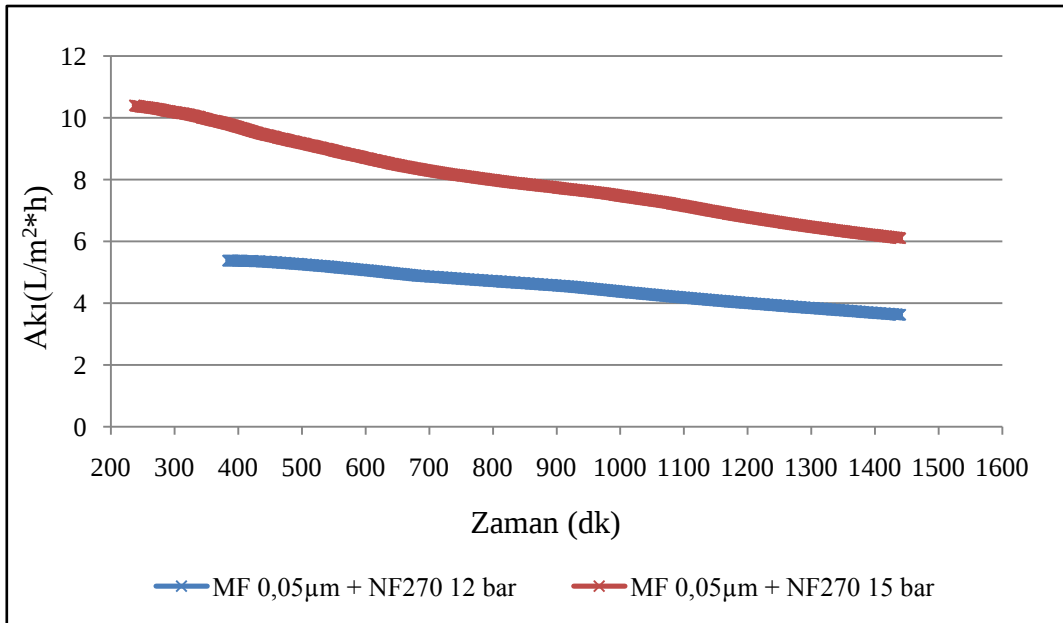
şekil 4.62: MP005 membranı ile elde edilen akı değerleri.

şekil 4.62'ye göre, MP005 membranı ile elde edilen ortalama akı değeri 16 L/m².h'dir. Akı maksimum 31 L/m².h'e ulaşmış ve en son 11,9 L/m².h'e kadar düşmüştür. Akı azalması %61 civarındadır. Atıksuyun 1 bar basınç altında MP005 membranıyla arıtılması sonucu elde edilen sznt akımı bunu takiben nanofiltrasyon veya ters osmoz membranlardan da arıtılmıştır. şekil 4.63'te maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranından 1 bar basınç altında arıtımı sonucu membran yüzeyinde oluşan kek tabakası görülmektedir.

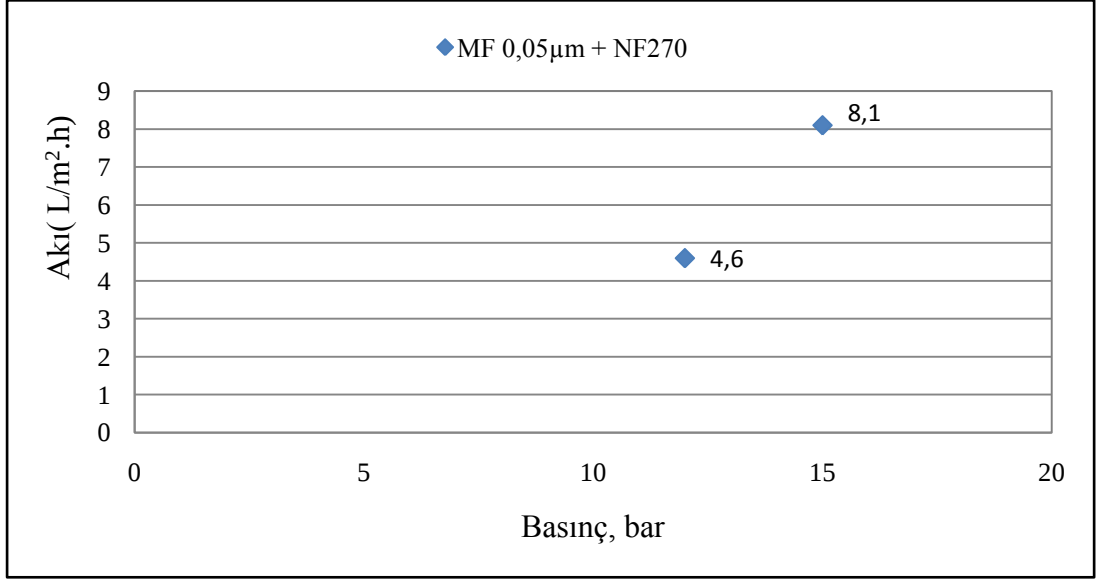


**Şekil 4.63:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranıyla arıtımı sonucu oluşan kek tabakasının görünümü.

Şekil 4.64'te MP005 ile ön arıtılmış atıksuyun NF270 nanofiltrasyon membranları ile 12 ve 15 bar basınçlarda ileri arıtımı sonucu elde edilen akı-zaman değerleri görülmektedir. Şekil 4.65'te ise aynı kombine arıtmanın basınç-akı grafiği verilmiştir.



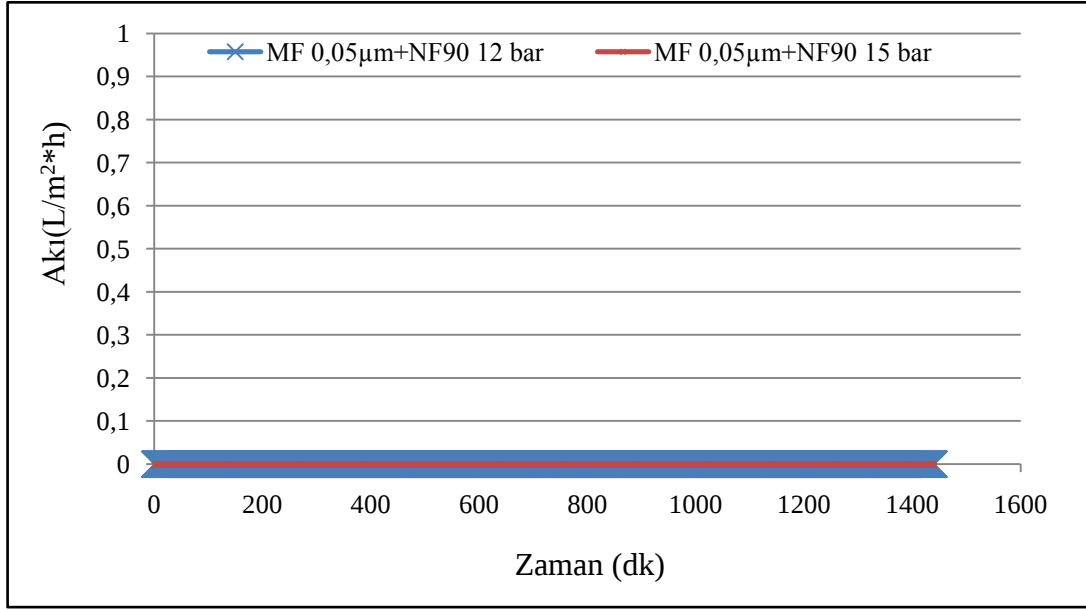
**Şekil 4.64:** UF ön arıtılmış atıksuyun süzöntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.



**Şekil 4.65:** UF ön arıtılmış atıksuyun süzüntü suyuna NF270 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği.

Şekil 4.65'ten görüldüğü üzere, NF270 membranı için akı değerleri basınç artışıyla birlikte artmaktadır. MP005 ile ön arıtılmış atıksuda NF270 membranı uygulması sonrası akı değeri 12 bar basınçta 4,6 L/m<sup>2</sup>.h değerini alırken, 15 bar basınçta 8,1 L/m<sup>2</sup>.h değerine ulaşmaktadır. 12 ve 15 barda gerçekleştirilen deneyler 24'er saat sürmüştür. NF270 membranı ile 1440 dakika süreyle 12 barda gerçekleştirilen çalışma boyunca akı değerinde yaklaşık %33 oranında azalma gözlenmiştir. NF270 membranı ile 1440 dakika süreyle 15 barda gerçekleştirilen çalışma boyunca akı değerinde yaklaşık %41 oranında azalma gözlenmiştir.

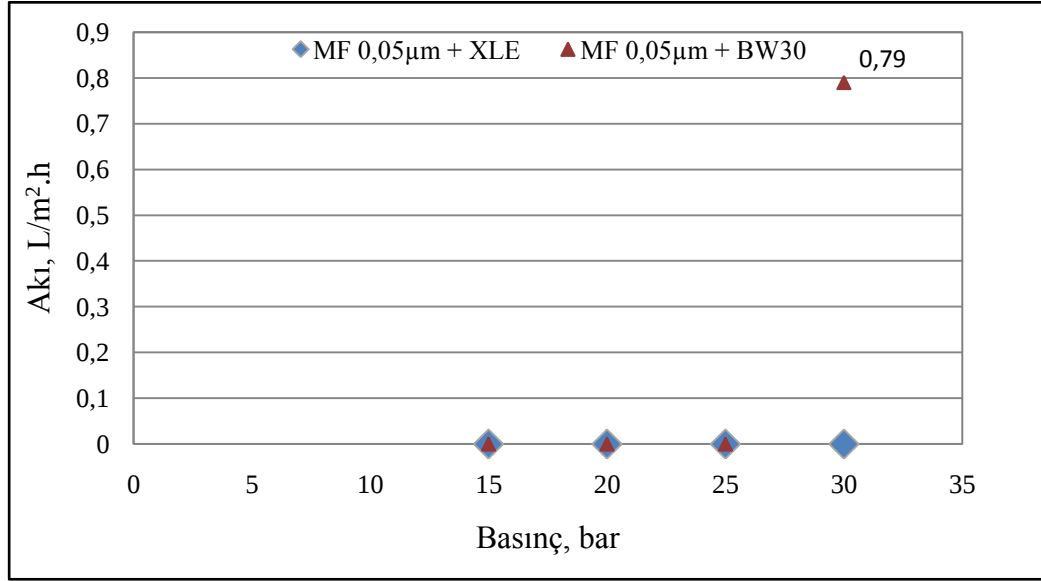
Şekil 4.66'da NF 90 membranı ile 12 ve 15 bar basınçta ileri arıtım sonrası akı-zaman grafiği gösterilmiştir.



**Şekil 4.66:** MP005 ön arıtılmış atıksuyun süzöntü suyuna NF90 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.

MP005 ile ön arıtılmış atıksuyun süzöntü akımının NF90 membranı ile ileri arıtımı sonucunda 12 ve 15 bar basınçta birer gün süren arıtma sonrasında akı elde edilememiştir. NF270 membranı ile yapılan çalışmalarda akı edilmesine rağmen NF90 membranı ile yapılan çalışmalarda akı elde edilememesinin sebebi iki membranın özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Deneylerde çalışılan maya seperasyon atıksuyu çok yüksek organik kirliliğe sahiptir. NF90 membranının daha düşük moleküler ağırlık engelleme sınırının olması ve atıksuyun çok yüksek KOİ ve organik kirliliğe sahip olması nedeni ile membran çok çabuk tıkanmaktadır. Bu nedenle NF90 membranı ile çalışma sonucunda akı elde edilememiştir.

Şekil 4.67 'de ise MP005 ile ön arıtılmış atıksuyun BW30 ve XLE ters osmoz membranları ile 15, 20, 25, 30 bar'da ileri arıtım sonucu elde edilen akı değerleri görülmektedir.

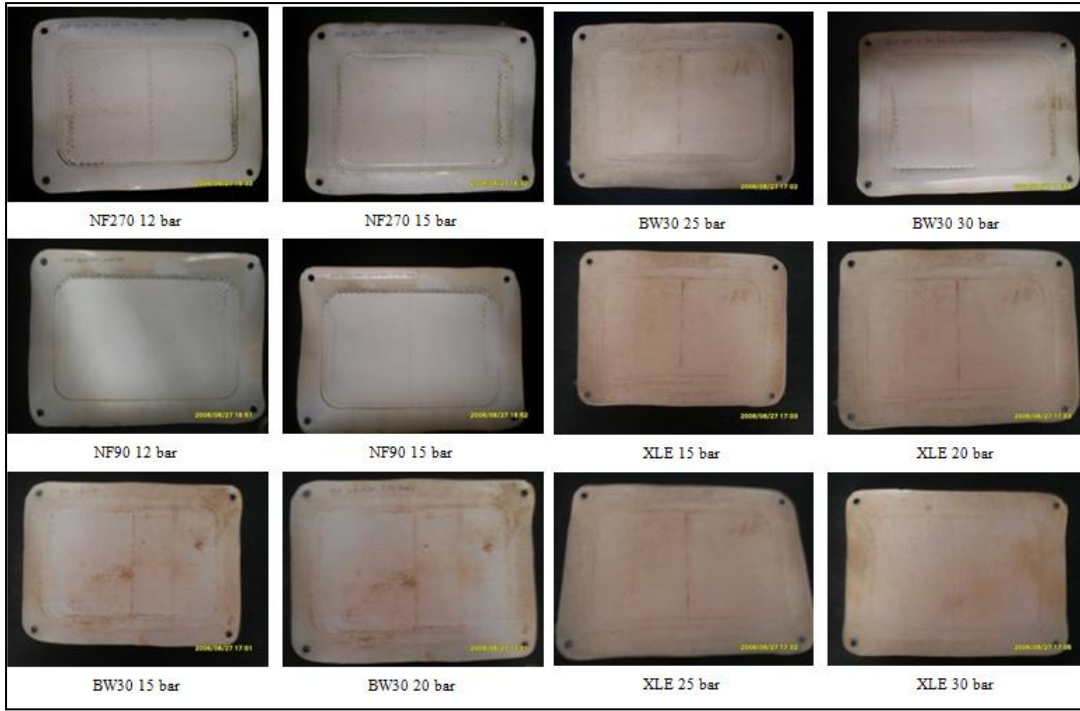


**Şekil 4.67:** UF ön arıtılmış atıksuyun süzöntü suyuna XLE ve BW30 membranlarının 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-basınç grafiği.

Şekil 4.67'den görüldüğü üzere BW30 membranı ile farklı basınçlarda birer gün süre boyunca yürütülen çalışmaların sonucunda yalnızca 30 bar basınçta çalıştırılması ile akı elde edilmiştir. BW30 membranı ile 30 bar basınçta elde edilen akı 0,79 L/m<sup>2</sup>\*h'dir. Aynı şekilde MP005 ile ön arıtılmış Atıksu XLE membranı ile 1440 dakika süreyle sırasıyla 15, 20, 25 ve 30 bar basınçta ileri arıtıma tabi tutulmuş fakat bu çalışma sonucunda da akı elde edilememiştir.

MP005 ile ön arıtılmış atıksuya uygulanan ileri arıtım denemelerinin hepsi incelendiğinde maya seperasyon prosesi atıksuyu için en yüksek akı değerinin elde edildiği membran türünün NF270 nanofiltrasyon membranı olduğu görülmektedir. Ortalama akı değeri 15 bar basınçta 8,1 L/m<sup>2</sup>.sa olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.68'de MP005 membranı ile 1 bar basınçta ön arıtılmış maya seperasyon prosesi atıksuyunun ileri arıtımı amacıyla kullanılan nanofiltrasyon (NF90, NF270) ve ters osmoz (BW30, XLE) membranlarının arıtım sonrası üzerlerinde oluşan kek tabakaları görülmektedir.



**Şekil 4.68:** MF 0,05 mikronluk membran ile 1 bar basınçta gerçekleştirilen ön arıtma sonrası uygulanan ileri arıtma membranlarında oluşan kek tabakası görünümleri.

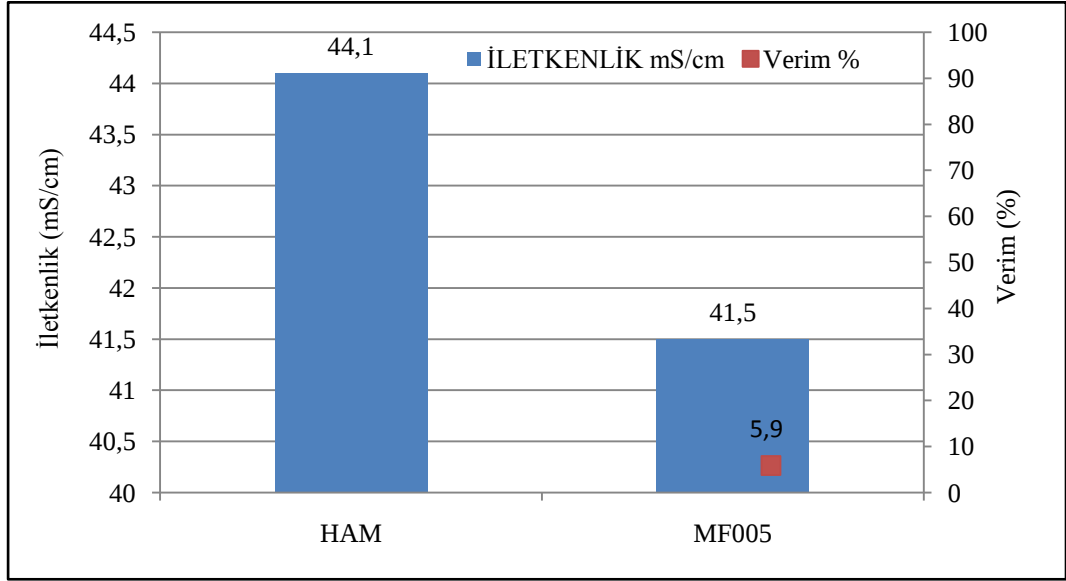
#### 4.5.2 Arıtılmış su kalitesi parametreleri

Ham atıksuda, ön arıtım sonrası ileri arıtılan atıksuyun süzüntü ve konsantre numunelerinde iletkenlik, renk, KOİ, tuzluluk ve pH parametreleri farklı basınç değerlerinde analiz edilmiştir.

##### 4.5.2.1 İletkenlik

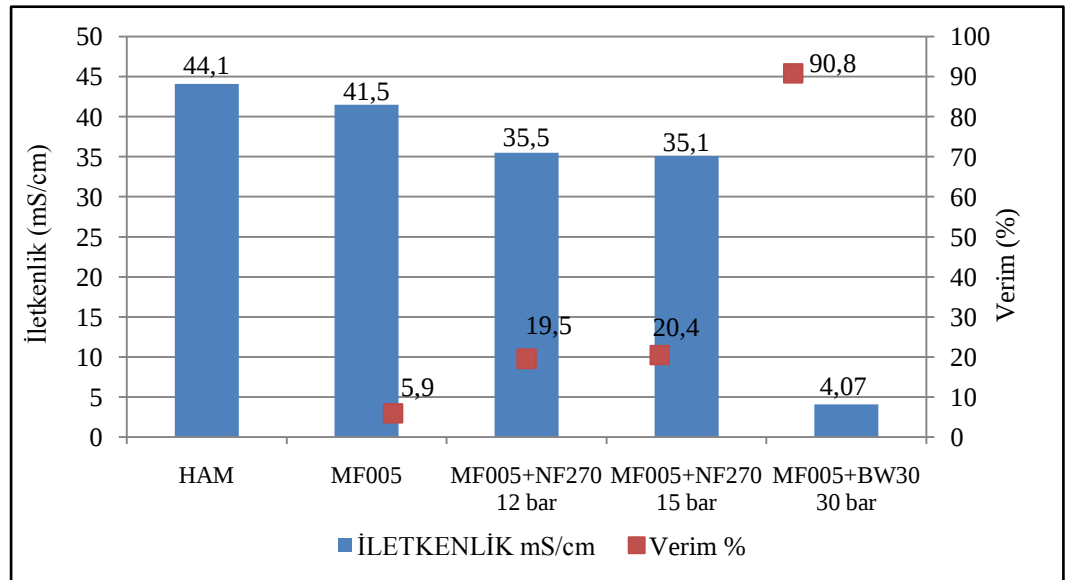
İletkenlik parametresi mS/cm biriminde ölçülmüştür. Şekil 4.69'da ham atıksuda ve atıksuyun ön arıtma amacıyla 1 bar basınç altında MP005 membranı ile ileri arıtımı sonucu elde edilen süzüntü suyunda ölçülen iletkenlik değerleri görülmektedir.

Şekil 4.69'da görüldüğü üzere, maya seperasyon prosesine ait atıksuyun giriş iletkenliği 44,1 mS/cm'dir. Atıksuyun MP005 membranıyla arıtımı sonucu iletkenliği 41,5 mS/cm değerine düşmüştür. MP005 ile ön arıtım sonrası iletkenlik giderim verimi % 6 civarında gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.69:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MP005 membranı ile elde edilen süzöntüde ölçülen iletkenlik değeri.

Şekil 4.70’de NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları için 12 ve 15 bar’da, BW30 ve XLE ters osmoz membranları için 15, 20, 25, 30 bar’da ölçülen iletkenlik değerleri görülmektedir. Sadece NF270 (12 ve 15 bar) ve BW30 (30 bar) membranları ile akı elde edildiğinden şekilde diğer membranlar ile arıtma çalışmaları yer almamaktadır.

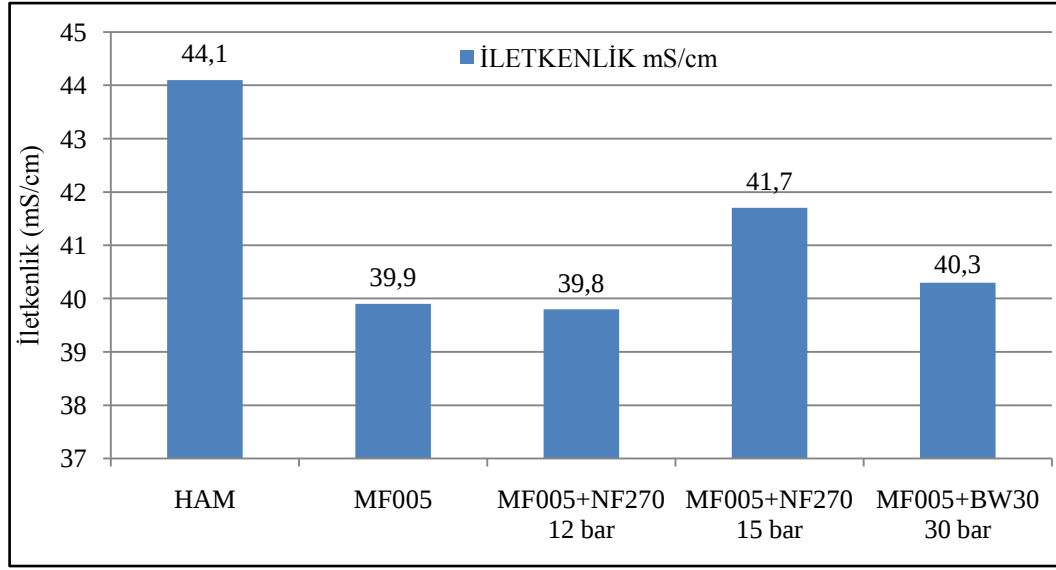


**Şekil 4.70:** MP005 ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen iletkenlik değerleri.

Şekil 4.70'den da görüldüğü üzere MP005 membranı ile ön arıtılmış atıksu NF270 membranı ile ileri arıtım sonrası iletkenlik giderimi % 25'in üzerine çıkamamıştır.

İletkenlik değeri NF270 membranı ile 15 bar basınçta ileri arıtıldığında 35,1 mS/cm'dir. BW30 membranı ile ileri arıtım sonrasında ise iletkenlik değeri ham atıksuya oranla %91 civarında düşmüştür. En verimli iletkenlik giderimi BW30 membranı ile sağlanmıştır.

MP005 membranı ile ön arıtılmış atıksuya farklı membranlar ile farklı basınç değerlerinde ileri arıtma uygulanmıştır ve çalışma sonlarında elde edilen konsantre akımları için de iletkenlik ölçümü yapılmıştır. Akı elde edilen çalışmalara ait konsantre numunelerinin iletkenlik değerleri aşağıdaki Şekil 4.71'de gösterilmiştir.

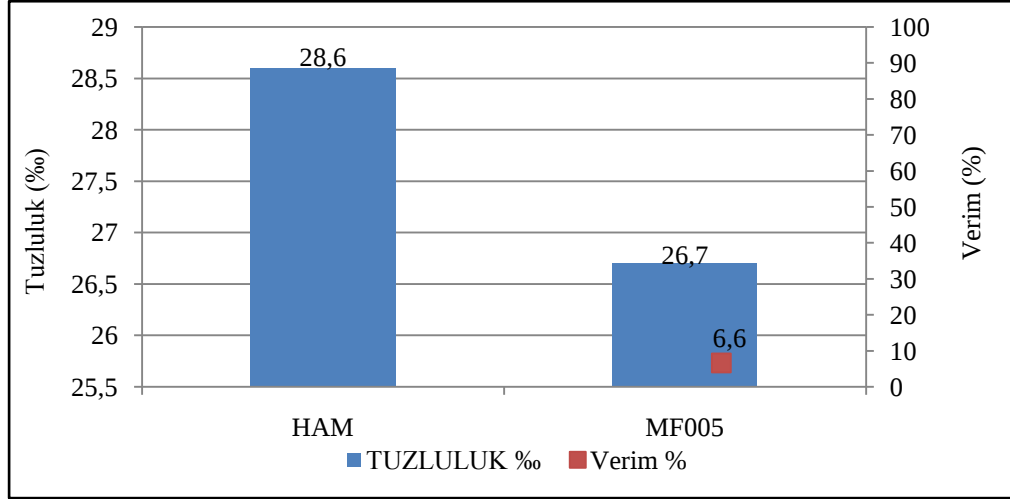


**Şekil 4.71:** MP005 ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen iletkenlik değerleri.

İletkenlik değerlerine baktığımızda ham atıksuyun iletkenliği 44,1 mS/cm'dir. MP005 membranı ile ön arıtmadan geçirilmiş atıksuda konsantre akımın iletkenlik değeri 39,9 mS/cm olarak ölçülmüştür. Ham atıksuya göre iletkenlik değeri % 9,5 civarında giderim sağlanmıştır. Bunun sebebi bir miktar iletkenliğin süzüntü kısma geçmesidir. Ön arıtmadan sonra ileri arıtım amacıyla uygulanan ve akı elde edilen NF270 membranı konsantre akımının 12 ve 15 bar basınçta ölçülen iletkenlik değerleri sırasıyla; 39,8 ve 41,7 mS/cm'dir. İletkenlik değerinin NF270 membranı konsantre kısmında, MP005 membranının konsantre akımına göre daha yüksek olmasının nedeni MF membranının gözenek çapının daha büyük olmasıdır. Ayrıca NF270 membranının gözenek boyutunun daha küçük olması nedeniyle konsantre kısımda iletkenlik değeri daha yüksektir. BW30 membranı ile konsantre akımın iletkenlik değeri 40,3 mS/cm olarak ölçülmüştür.

#### 4.5.2.2 Tuzluluk

Tuzluluk parametresi ‰ biriminde ölçülmüştür. Şekil 4.72’de ham atıksuda ve atıksuyun ön arıtma amacıyla 1 bar basınç altında MP005 membranı ile arıtımı sonucu elde edilen süzöntü suyunda ölçülen tuzluluk değeri görülmektedir.



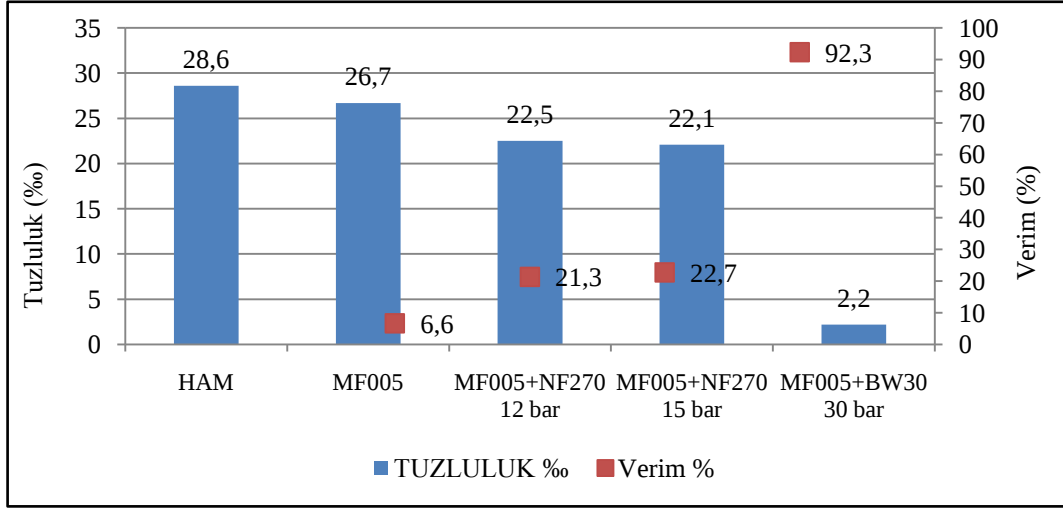
**Şekil 4.72:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MP005 membranı ile elde edilen süzöntüde ölçülen tuzluluk değeri ve giderim yüzdesi.

Şekil 4.72’de görüldüğü üzere, maya seperasyon prosesine ait atıksuyun giriş tuzluluk değeri 28,6 ‰ dir. Atıksuyun MP005 membranıyla arıtımı sonucu tuzluluğu 26,7 ‰ değerine düşmüştür. MP005 membranıyla ön arıtımıyla tuzluluk giderim verimi % 7 civarında gerçekleşmiştir.

Şekil 4.73’te NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları için 12 ve 15 bar’da, BW30 ve XLE ters osmoz membranları için 15, 20, 25, 30 bar’da ölçülen tuzluluk değerleri görülmektedir. Sadece NF270 (12 ve 15 bar) ve BW30 (30 bar) membranları ile akı elde edildiğinden şekilde diğer membranlar ile arıtma çalışmaları yer almamaktadır.

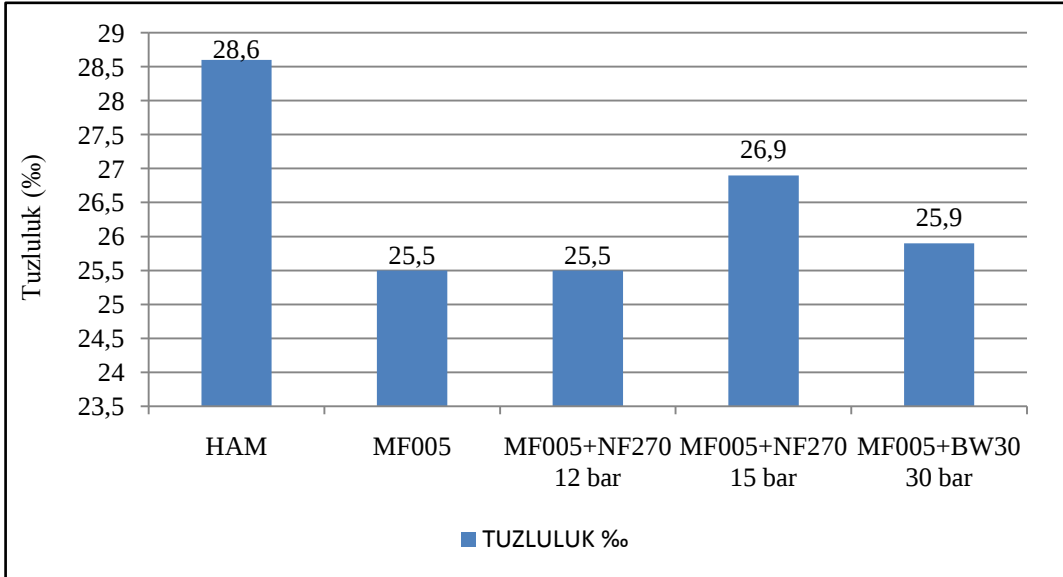
Şekil 4.73’ten de görüldüğü üzere MP005 ile ön arıtılmış atıksu NF270 membranı ile ileri arıtıldığında tuzluluk giderimi %21-23 kadar gerçekleşmiştir. Tuzluluk değeri NF270 membranı ile 15 bar basınçta ileri arıtıldığında 22,7 ‰’dir. Kullanılan NF membranlar kıyaslandığında 15 bar basınçta yürütülen deney sonrası tuzluluk giderimi 12 bar basınçta yürütülen deneyde elde edilen sonuca çok yakın değerde biraz fazla çıkmıştır. MP005 membran ile ön arıtılmış atıksuda BW30 membranıyla 30 bar basınçta düşük akı elde edilmiştir. Elde edilen süzöntüde yapılan ölçüm

sonucunda tuzluluk değeri 2,2‰ olarak ölçülmüştür. Ham atıksuya göre %92 üzerinde tuzluluk giderimi gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.73:** MP005 ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen tuzluluk değerleri ve giderim verimleri.

MP005 membranıyla ön arıtılmış atıksuya farklı membranlar ile farklı basınç değerlerinde ileri arıtma uygulanmıştır ve çalışma sonlarında elde edilen konsantre akımları için de tuzluluk ölçümü yapılmıştır. Akı elde edilen çalışmalara ait konsantre numunelerinin iletkenlik değerleri aşağıdaki Şekil 4.74'te gösterilmiştir.

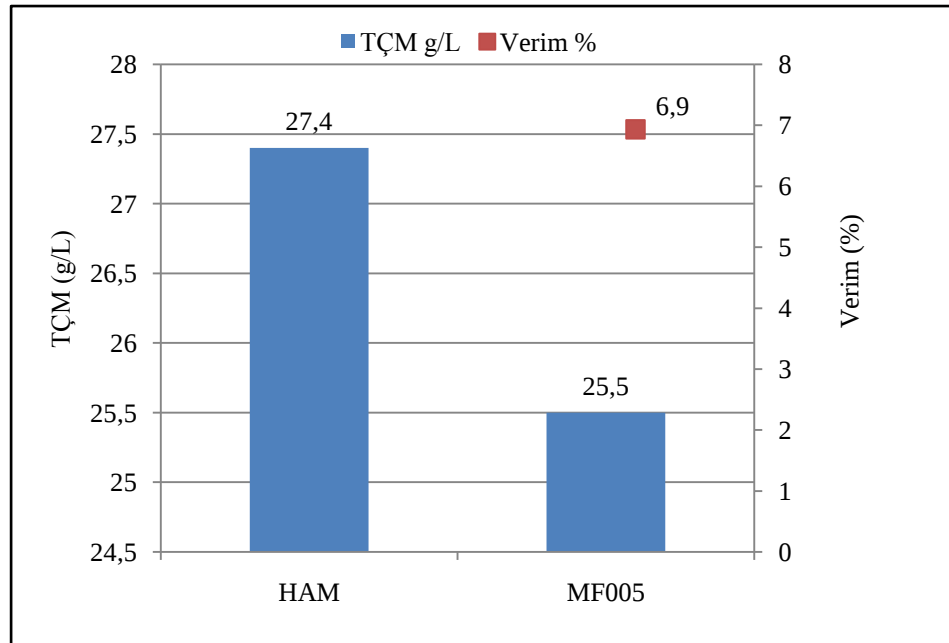


**Şekil 4.74:** MP005 ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen tuzluluk değerleri.

Tuzluluk değerlerine baktığımızda ham atıksuyun tuzluluğu 28,6 ‰'dir. MP005 membranıyla ön arıtmadan geçirilmiş atıksuda konsantre akımın tuzluluk değeri 25,5 ‰ olarak ölçülmüştür. Ham atıksuya göre tuzluluk değerinde % 11 civarında giderim sağlanmıştır. Bunun sebebi MF membranın tuzu tutma özelliğinin olmaması ve süzüntüye geçirmesidir. Ön arıtmadan sonra ileri arıtım amacıyla uygulanan ve akı elde edilen NF270 membranı konsantre akımının 12 ve 15 bar basınçta ölçülen tuzluluk değerleri sırasıyla; 25,5 ve 26,9 ‰'dir. Tuzluluk değerinin MF konsantre akımına göre daha yüksek olmasının nedeni MF membranının gözenek çapının daha büyük olması ve tuzu NF membranlarına göre daha kolay süzüntü akımına geçirmesidir. Ayrıca NF270 membranının gözenek boyutunun daha küçük olması ve bir miktar tuzu tutma kapasitesi olması sebebiyle konsantre kısımda tuzluluk değeri daha yüksektir. BW30 membranıyla 30 bar basınçta yapılan ileri arıtım sonrası tuzluluk değeri 25,9 ‰'dir.

#### 4.5.2.3 Toplam çözünmüş madde (TÇM)

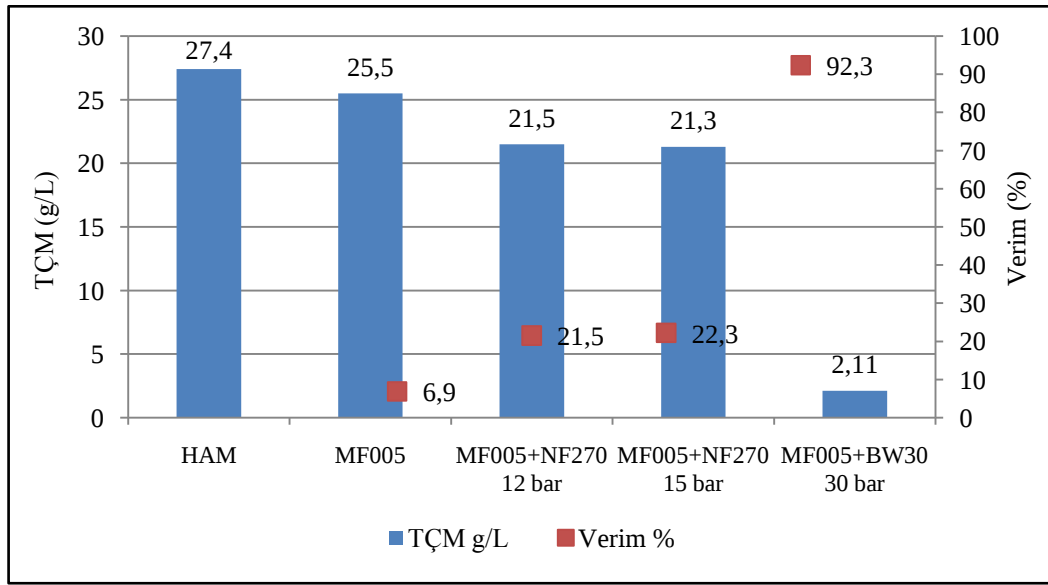
Toplam Çözünmüş Madde (TÇM) g/L biriminde ölçülmüştür. Şekil 4.75'te ham atıksuda ve atıksuyun ön arıtma amacıyla 1 bar basınç altında MP005 membranıyla arıtımı sonucu elde edilen süzüntü suyunda ölçülen TÇM değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.75:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunda ve MP005 membranı ile elde edilen süzüntüde ölçülen TÇM değeri ve giderim yüzdesi.

Şekil 4.75'te görüldüğü üzere, maya seperasyon prosesine ait atıksuyun giriş TÇM değeri 27,4 g/L'dir. Atıksuyun MP005 membranıyla arıtımı sonucu TÇM 25,5% değerine düşmüştür. MP005 ile ön arıtım sonrası TÇM giderim verimi % 6,9 civarında gerçekleşmiştir. Ön arıtma ile atıksuda TÇM giderimi çok düşük oranda gerçekleşmiştir.

Yapılan deneyler sonunda yalnızca NF270 nanofiltrasyon membranları için 12 ve 15 bar'da, BW30 ters osmoz membranı ile 30 bar basınçta akı elde edilmiştir. Şekil 4.76'da akı elde edilen NF270 ve BW30 membranları ile yapılan deney sonucunda elde edilen süzöntü akımındaki TÇM değerleri gösterilmektedir.

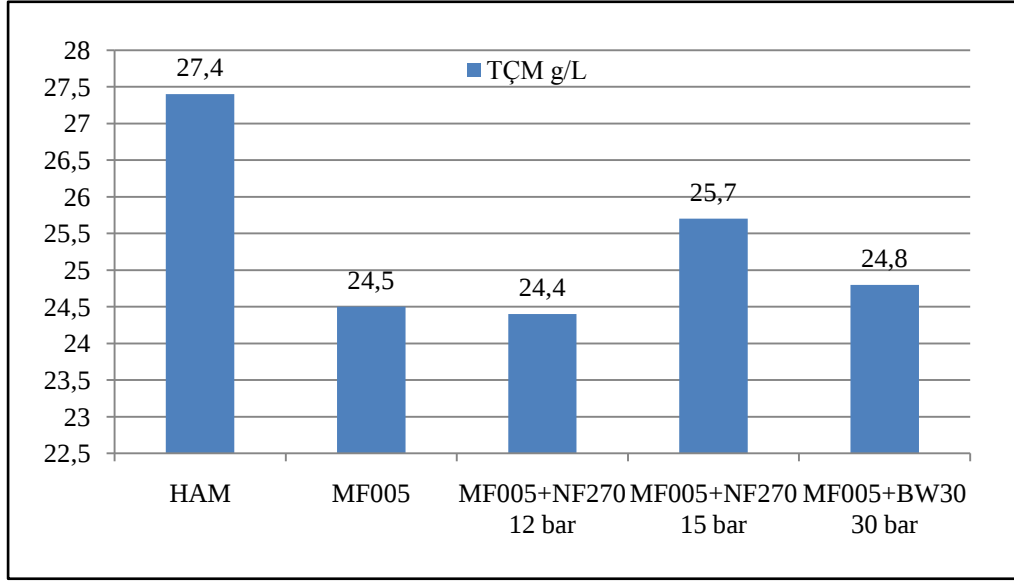


**Şekil 4.76:** MP005 membranıyla ön arıtmalı sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen TÇM değerleri ve giderim verimleri.

Şekil 4.76'dan da görüldüğü üzere MP005 ile ön arıtılmış atıksu NF270 membranı ile ileri arıtıldığında TÇM giderimi % 22 değerine kadar çıkmıştır. TÇM değeri NF270 membranı ile 15 bar basınçta ileri arıtıldığında 21,3 g/L'ye düşmüştür. BW30 membranıyla 30 bar basınçta yürütülen deney sonrası TÇM değeri 2,11 g/L olarak ölçülmüştür. TÇM giderimi ise %92,3 olarak gerçekleşmiştir. Giderim verimi olarak en etkin uygulama MP005+BW30 30 bar kombine arıtımıdır. Fakat akının BW30 membranı ile çok düşük olması nedeniyle uygulama için uygun değildir.

Yapılan deneyler sonunda yalnızca NF270 nanofiltrasyon membranları için 12 ve 15 bar'da, BW30 ters osmoz membranı ile 30 bar basınçta akı elde edilmiştir. Şekil

4.77'de akı elde edilen NF270 ve BW30 membranları ile yapılan deney sonucunda elde edilen konsantre akımındaki TÇM değerleri gösterilmektedir.



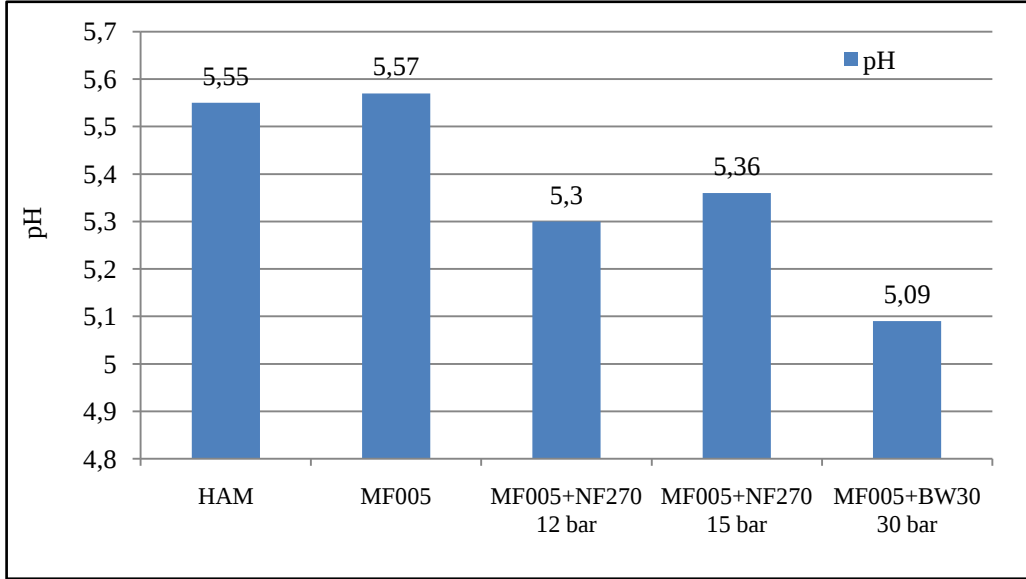
**Şekil 4.77:** MP005 membranıyla ön arıtılmış ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen TÇM değerleri.

TÇM değerlerine baktığımızda ham atıksuyun TÇM değeri 27,4 ‰'tür. MF 0,05 mikronluk membranla ön arıtmadan geçirilmiş atıksuda konsantre akımın TÇM değeri 4,5 ‰ olarak ölçülmüştür. Ham atıksuya göre TÇM değerinde % 10,5 civarında giderim sağlanmıştır. Ön arıtmadan sonra ileri arıtım amacıyla uygulanan ve akı elde edilen NF270 membranı konsantre akımının 12 ve 15 bar basınçta ölçülen TÇM değerleri sırasıyla; 24,4 ve 25,7 ‰'tur. TÇM değerinin MF konsantre akımına göre daha yüksek olmasının nedeni MF membranının gözenek çapının daha büyük olması ve çözünmüş maddeleri NF membranlarına göre daha kolay süzüntü akımına geçirmesidir. Ayrıca NF270 membranının gözenek boyutunun daha küçük olması ve bir miktar çözünmüş maddeyi tutma kapasitesi olması sebebiyle konsantre kısımda TÇM değeri daha yüksektir. BW30 membranının 30 bar basınçta uygulanması ile TÇM değeri diğer kombine arıtmaların konsantrelerinin değerlerine yakın çıkmıştır.

#### 4.5.2.4 pH

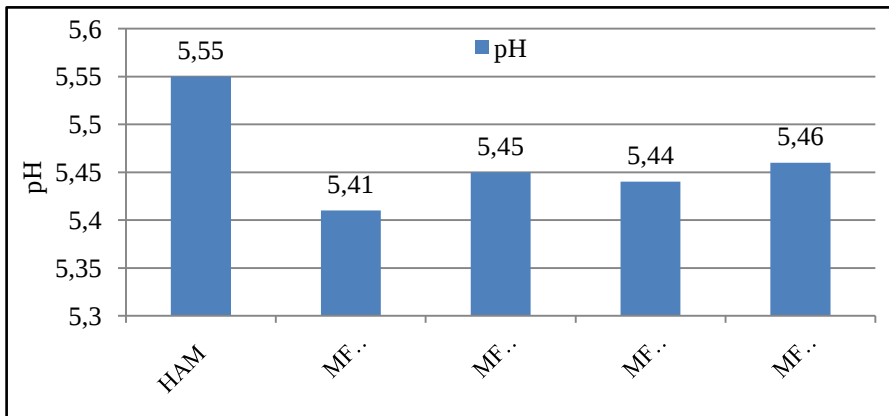
MP005 membranı ile ön arıtılmış atıksu NF membranları ile 12 ve 15 bar basınçlarda ve TO membranları ile 15, 20, 25 ve 30 bar basınçta ileri arıtılmıştır. Arıtım sonrası sadece NF 270 membranında 12 ve 15 bar basınçlarda ve BW30 membranıyla 30 bar basınçta akı elde edilmiştir. Şekil 4.78'de MP005 ön arıtım ve sonrasında

gerçekleştirilen ileri arıtım işleminden elde edilen süzüntü numunelerinin pH değerleri gösterilmiştir.



**Şekil 4.78:** MP005 membranıyla ön arıtılmış atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranlar ile ileri arıtmadan elde edilen süzüntü akımlarında ölçülen pH değerleri.

Ham atıksuyun pH değeri 5,55'dir. MP005 ile ön arıtılmış atıksuyun pH değeri ham atıksuya çok yakın çıkmıştır. MP005 membranı ile ön arıtılmış atıksuyun NF270 membranı ile 12 ve 15 bar basınçta ileri arıtım sonrası pH değeri sırasıyla 5,3 ve 5,36 olarak ölçülmüştür. NF membranı ile farklı basınçlarda arıtım sonrası pH değeri çok değişiklik göstermemiştir. BW30 membranıyla 30 bar basınçta yürütülen deney sonrası elde edilen süzüntü akımının pH'ı ise NF270 membranıyla elde edilen pHdeğerinden daha düşüktür ve 5,09 olarak ölçülmüştür.

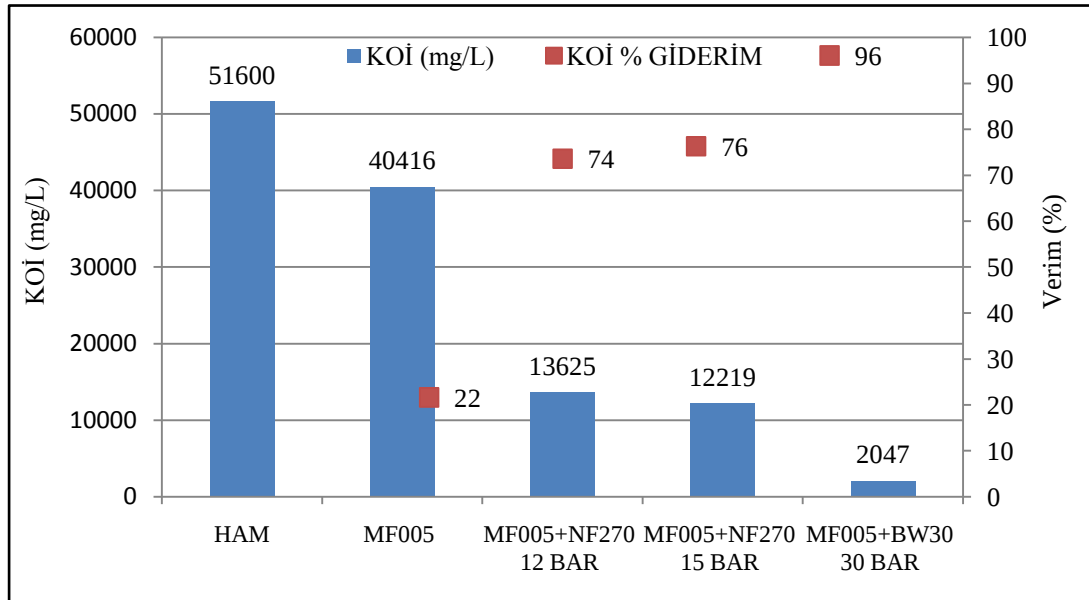


**Şekil 4.79:** MP005 membranıyla ön arıtılmış atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranlar ile ileri arıtmadan elde edilen konsantre akımlarında ölçülen pH değerleri.

Şekil 4.79'da ön arıtım ve sonrasında uygulanan ileri arıtmada akı elde edilen NF270 (12 ve 15 bar) ve BW30 (30 bar) membranları ile elde edilen konsantre akımın pH değerleri gösterilmektedir.

#### 4.5.2.5 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

MP005 membranıyla ön arıtım yapılan maya seperasyon prosesi atıksuyunda analizi yapılan diğer bir parametre de KOİ'dir. Kullanılan membranlar için uygulanan tüm basınç değerlerinde süzüntü elde edilen akımlarında KOİ parametresi analiz edilmiştir. Şekil 4.80'de ham atıksuyun, ön arıtma amacıyla gerçekleştirilen MP005 membranı süzüntüsünün ve ön arıtılmış atıksuya uygulanan ileri arıtım sonucunda elde edilen süzüntülerin KOİ değerleri ve giderim verimleri görülmektedir.

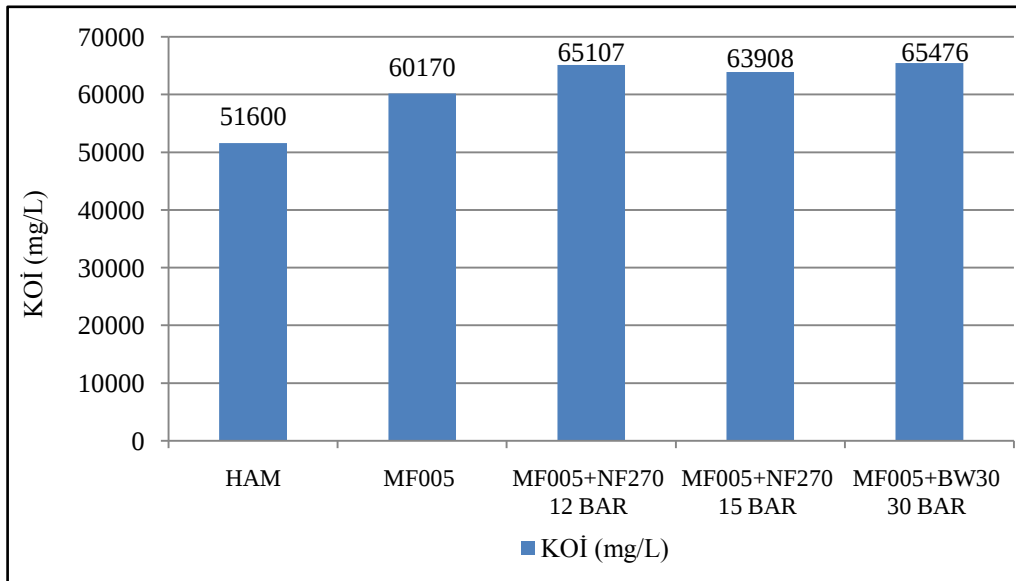


**Şekil 4.80:** Ham atıksuda, MP005 membranı süzüntüsünde ve farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 membranı süzüntü numunelerinde ölçülen KOİ değerleri ve giderim verimleri.

Şekil 4.80'de görüldüğü üzere, ham suyun KOİ değerinin 51600 mg/L ve MP005 membranı süzüntüsünde ise 40416 mg/L olduğu görülmektedir. MP005 membranı ile ön arıtım sonucu yaklaşık % 22 civarında KOİ giderimi olduğu görülmektedir. NF270 membranı ile ise 12 ve 15 bar basınçta gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen süzüntüdeki KOİ değerleri sırasıyla 13625 ve 12219 mg/L olarak elde edilmiştir. NF270 membranı ile 12 bar basınçta arıtım ile KOİ giderimi % 74 verim sağlarken 15 bar basınçta verim %76 değerine çıkmaktadır. Ön arıtım sonucu ham atıksuyun KOİ değeri yüksek seviyede gerçekleşmezken, NF270 membranı ile ileri

arıtım sonucunda %76'yı bulmaktadır. Nanofiltrasyon ile ileri arıtım amacıyla 12 ve 15 bar basınçta uygulanan ileri arıtım sonrasında her iki çalışmada da akı elde edilememiştir. Uygulanan iki farklı NF membranı birbiriyle kıyaslanırsa NF270 membranının ön arıtım sonrası ileri arıtmada daha uygun olduğu söylenebilir. Ters osmoz membranları olarak XLE ve BW30 membranları MP005 membranıyla ön arıtılmış suyun ileri arıtımında kullanılmıştır. XLE membranıyla 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda birer gün süren arıtma sonrasında akı elde edilememiştir. BW30 membranı ile ileri arıtmada ise yalnızca 30 bar basınçta akı elde edilmiştir. Bu süzöntüden alınan numunede KOİ değeri 2047 mg/L olarak hesaplanmıştır. KOİ giderimi % 96 olarak gerçekleşmiştir. MP005 membranıyla ön arıtmadan elde edilen süzöntü suyunun ileri arıtıma verilmesiyle KOİ giderimi çok yüksek oranda giderilmiştir fakat akı değeri oldukça düşük olduğundan uygulanması mümkün değildir.

Şekil 4.81'de MP005 membran ile ön arıtım sonrası farklı basınçlarda (12 ve 15 bar) akı elde edilen NF270 membranları ile ileri arıtma sonucunda oluşan konsantre akımın KOİ değerleri gösterilmiştir.

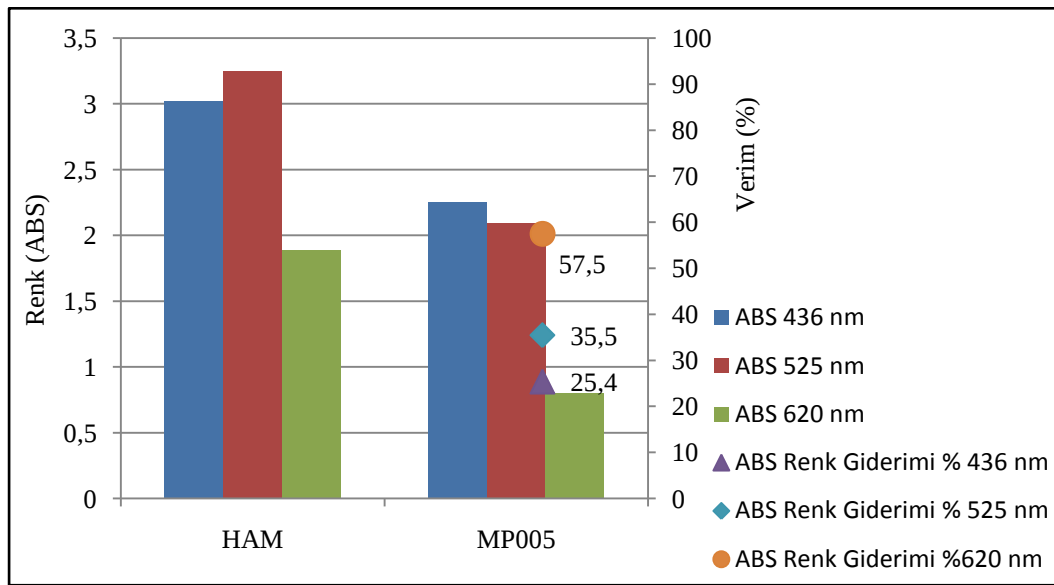


**Şekil 4.81:** Ham atıksuyun, MP005 membranıyla ön arıtım sonrası oluşan konsantre akımının ve MP005 membranıyla kombine arıtmalar sonrası konsantre akımlarının KOİ değerleri.

Ham atıksuyun KOİ değeri 51600 mg/L olarak hesaplanmıştır. Konsantre akımlarının hepsi ham atıksudan daha yüksek KOİ'ye sahiptir. Konsantre numunlerinin KOİ değeri ham suya göre 15-25% civarında artış göstermektedir.

#### 4.5.2.6 Renk

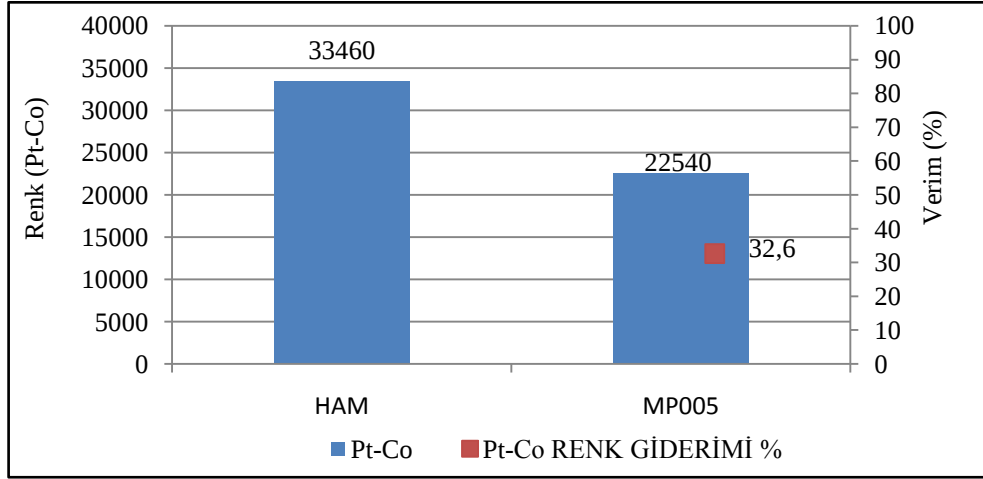
Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranıyla ön arıtım sonrası nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarıyla ileri arıtımıyla elde edilen süzöntü akımlarında üç farklı dalga boyunda ve Pt-Co biriminde renk parametresi ölçülmüştür. İleri arıtımda farklı basınçlarda uygulanan ve akı elde edilen her süzöntü numunesinde renk parametresi ölçülmüştür. Şekil 4.82’de maya seperasyon prosesine ait atıksuyun 1 bar basınç altında MP005 membranından geçirilmesiyle elde edilen süzöntüde 3 farklı dalga boyunda (436 nm, 525 nm, 620 nm) ölçülen renk değerleri ve giderim verimleri görülmektedir.



**Şekil 4.82:** Ham atıksuda ve MP005 membranıyla ön arıtım sonucu elde edilen süzöntü akımında absorbans renk değerleri ve giderim verimleri (436, 525 ve 620 nm dalga boylarında).

Şekil 4.82’de görüldüğü üzere, MP005 membran ile atıksuya ön arıtım uygulandığında renk giderim veriminin üç dalga boyunda % 25-57,5 arasında gerçekleşmiştir. MP005 µm membranıyla ön arıtmadan geçmiş atıksuyun ABS biriminde renk değeri 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında sırasıyla 2,25, 2,093 ve 0,802 abs olarak ölçülmüştür.

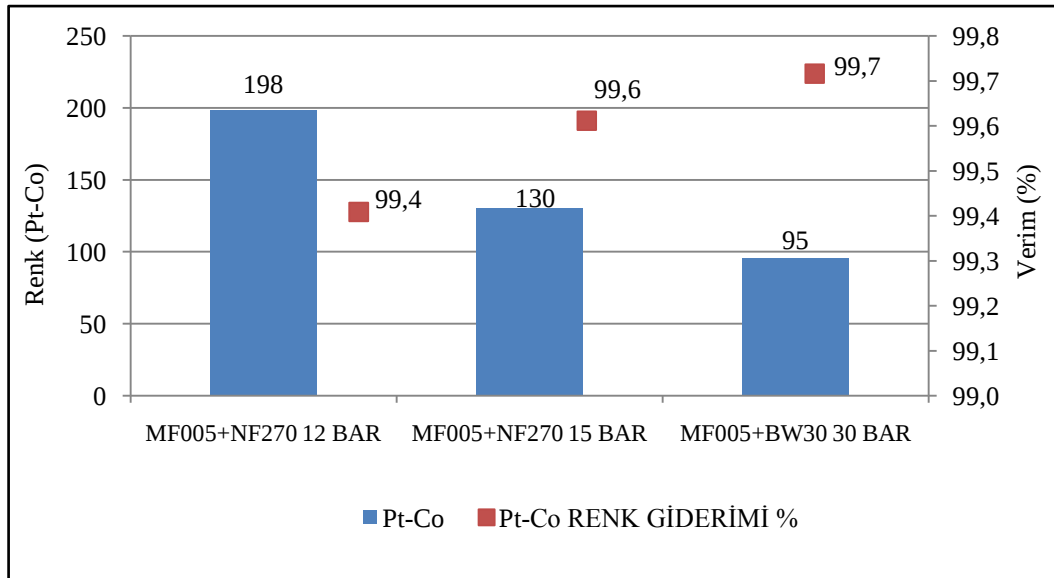
Şekil 4.83’te maya seperasyon prosesine ait atıksuyun 1 bar basınç altında MP005 membranından geçirilmesiyle elde edilen süzöntü numunesinin Pt-Co biriminde renk değerleri verilmiştir.



**Şekil 4.83:** Ham atıksuda ve MP005 membranı ile ön arıtım sonucu elde edilen süzöntü akımında Pt-Co biriminde renk değerleri.

Şekil 4.83'te görüldüğü gibi MP005 membranı ile ön arıtım sonucunda ham atıksuyun Pt-Co biriminde renk değeri 33460'dan 22540 değerine düşmektedir. Renk giderimi Pt-Co biriminde %33 civarında gerçekleşmiştir.

MP005 membranı ile ön arıtılmış atıksuyun süzöntü kısmı NF90, NF270, XLE ve BW30 membranlarından belirlenen basınçlarda ileri arıtılmıştır. Şekil 4.84'te süzöntü elde edilen kombine arıtım numunelerinde Pt-Co biriminde renk değerleri ve giderim yüzdeleri verilmektedir.



**Şekil 4.84:** MP005 membranı ile ileri arıtım sonucu elde edilen süzöntü akımlarında Pt-Co biriminde ölçülen renk değerleri ve giderim verimleri.

Şekil 4.84'te görüldüğü gibi MP005 membranı ile ön arıtmadan geçmiş atıksuda NF270 membranının 12 ve 15 bar basınçta ileri arıtım uygulanması ile renk değerleri

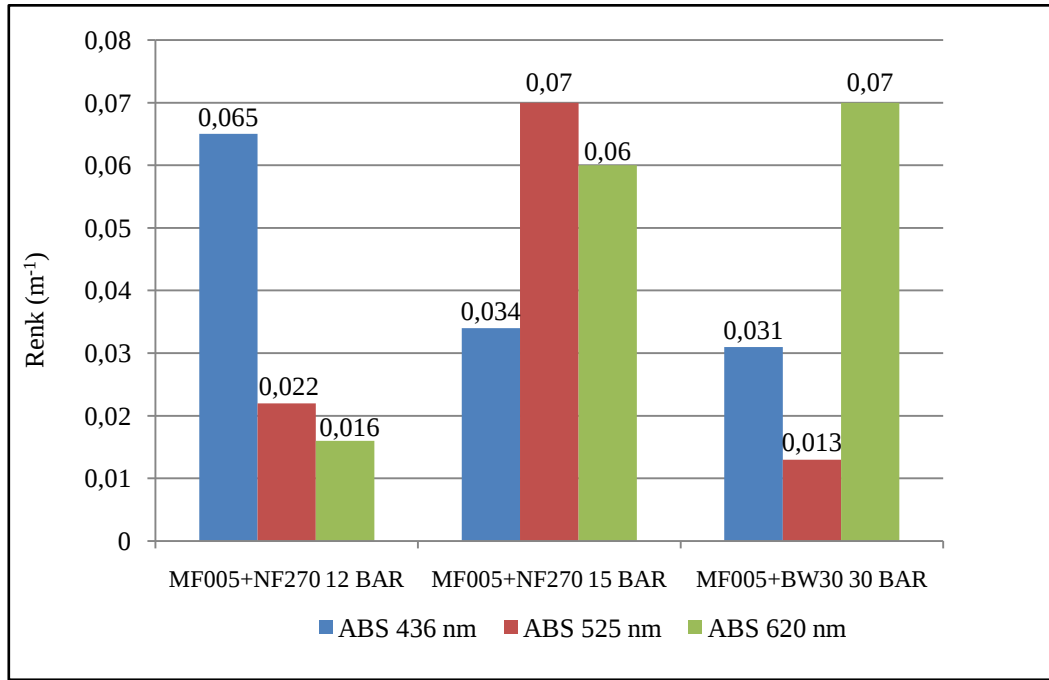
sırasıyla 198 ve 130 Pt-Co olarak ölçülmüştür. BW30 membranıyla 30 bar basınçta uygulanan ileri arıtım sonucunda ise renk değeri 95 Pt-Co'a kadar düşmüştür. Renk giderimi ise her üç kombine arıtım sonrası elde edilen süzöntü numunelerinde % 99'un üzerinde gerçekleşmiştir.

Şekil 4.85'te maya seperasyon prosesine ait atıksuyun MP005 membranından 1 bar basınç altında geçirilmesi sonucu elde edilen konsantre ve süzöntü akımlarının görüntüsü verilmektedir.

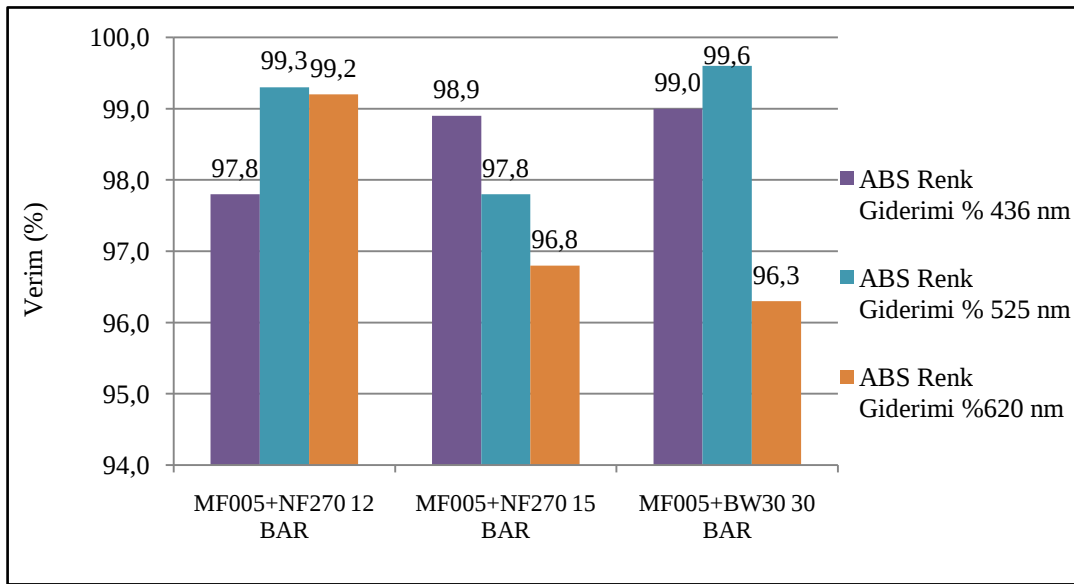


**Şekil 4.85:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranı ile ön arıtım sonrası elde edilen süzöntü ve konsantre akımının görüntüsü.

Şekil 4.86'da MP005 membranıyla ön arıtmadan geçmiş atıksuyun NF270 membranı ile ileri arıtımı sonrasında elde edilen süzöntü numunelerinin üç farklı dalga boyunda (436, 525 ve 620 nm) ölçüm sonuçları verilmiştir. Şekil 4.87'de ise abs biriminde üç dalga boyunda renk giderim verimleri gösterilmiştir.



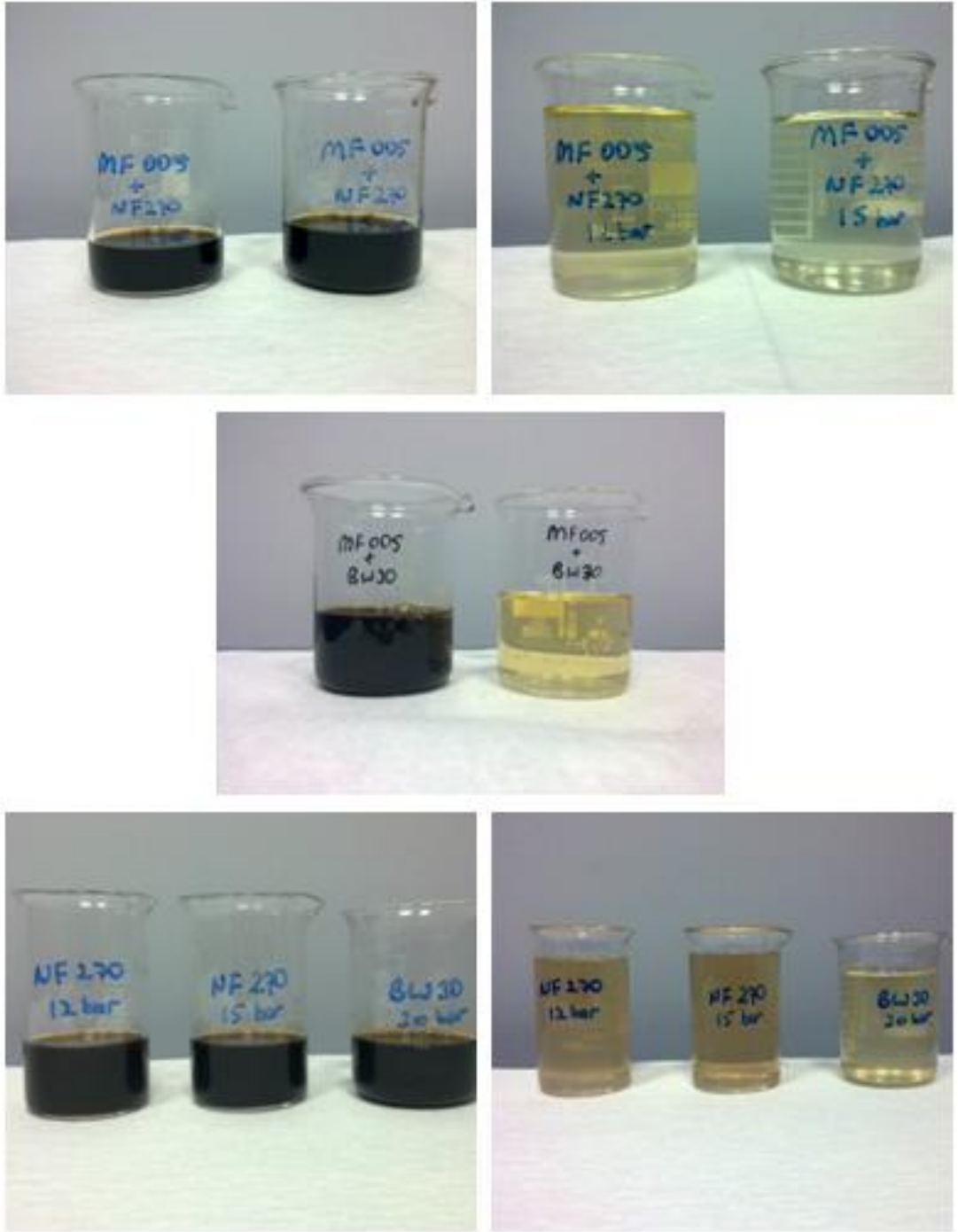
**Şekil 4.86:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranıyla ön arıtım sonrası NF270 membranıyla ileri arıtımından elde edilen süzöntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda ölçüm sonuçları.



**Şekil 4.87:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membran ile ön arıtım sonrası NF270 membranıyla ileri arıtımından elde edilen süzöntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda renk giderim verimleri.

Şekil 4.87'den de görüldüğü üzere MP005 ile ön arıtım sonrasında NF 270 membranıyla ileri arıtım sonunda renk giderimi çoğunlukla % 97'in üzerinde gerçekleşmiştir.

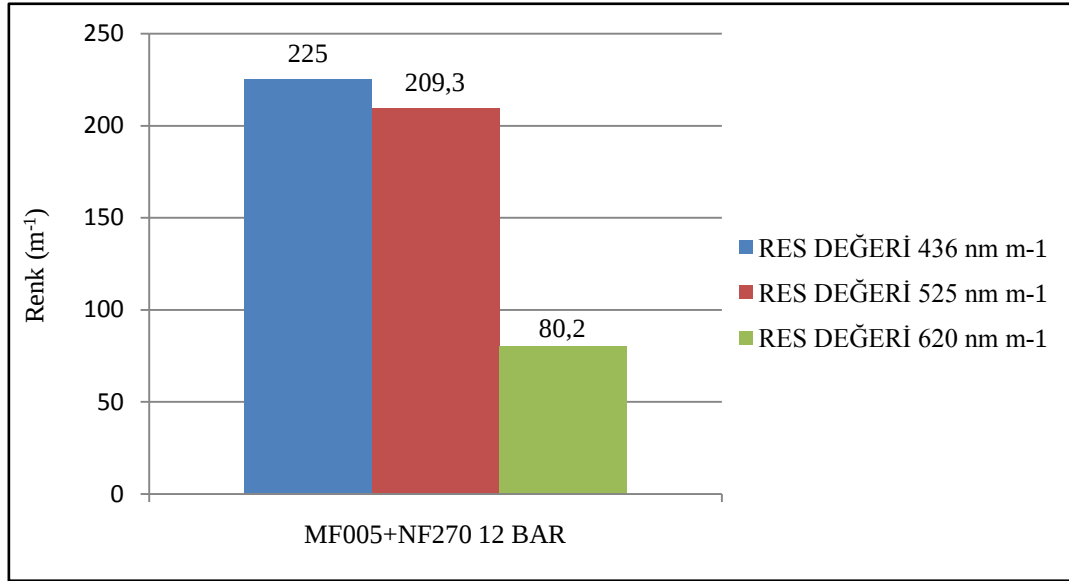
Şekil 4.88'de maya seperasyon prosesi atıksuyunun ileri arıtım uygulamaları sonrası akı elde edilen süzöntü ve konsantre akımlarında renk görüntüleri yer almaktadır.



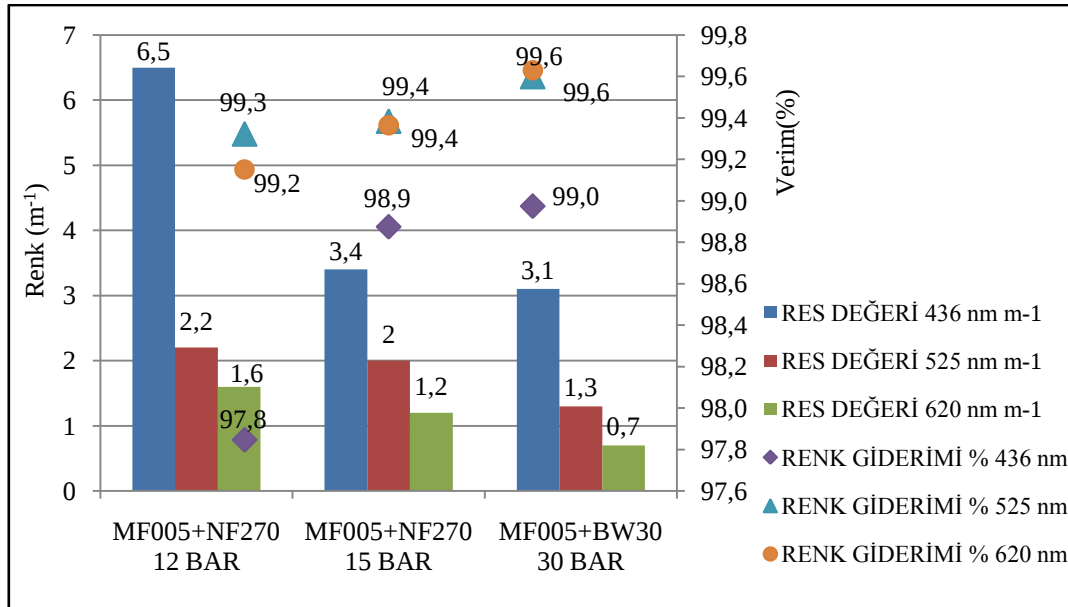
**Şekil 4.88:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranı ile ön arıtım sonrası NF270 ve BW30 membranlarıyla ileri arıtım sonrası elde edilen konsantre ve süzöntü numunelerinin görünümü.

Üç farklı dalga boyunda ölçülen renk değerlerinin RES (Renklilik Sayısı)'i hesaplanmıştır. Hesaplama için Denklem (2.2) kullanılmıştır. Şekil 4.89 ve Şekil 4.90'da sırasıyla maya seperasyon atıksuyunun MF 0,05  $\mu\text{m}$  ile ön arıtımı ve

süzüntünün NF ve TO membranları ile arıtımı sonucunda elde edilen süzöntü akımlarında üç farklı dalga boyu için RES değerleri verilmektedir.



**Şekil 4.89:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranı ile ön arıtım sonrası süzöntü numunesinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri.



**Şekil 4.90:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun MP005 membranı ile ön arıtım sonrası süzöntü numunesinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri ve renk giderim verimleri.

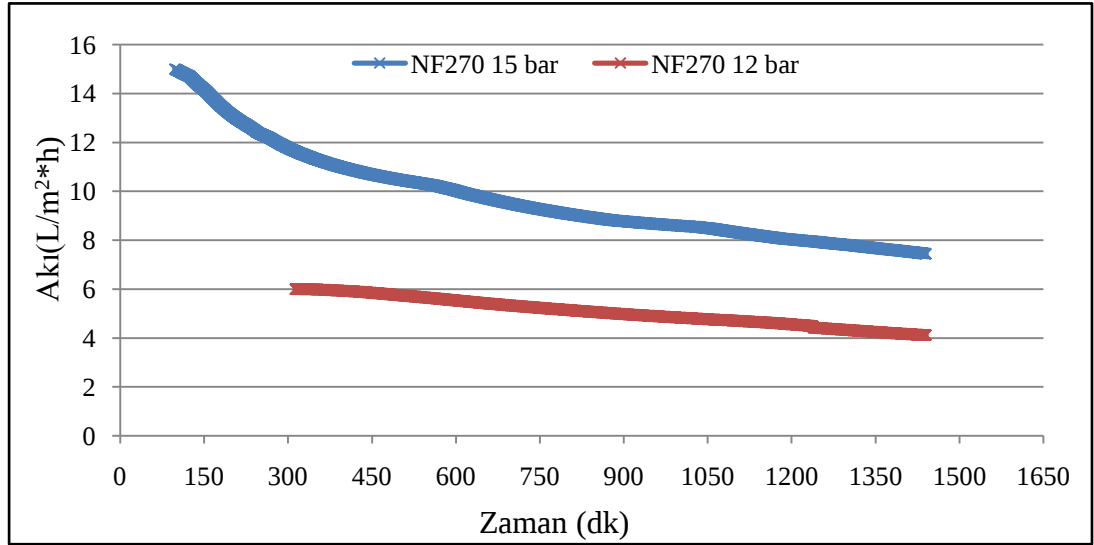
Şekil 4.90'dan da görüldüğü üzere renk, üç dalga boyunda da 12 ve 15 basınçlarda MP005 ile ön arıtılmış suyun NF 270 membranı ve BW30 membranı ile ileri arıtımı sonrası % 96,5-99 ,6 arası giderilmiştir. 15 barda arıtma sonrasında 436, 525 ve 620 nm dalga boyunda hesaplanan RES değerleri sırasıyla 3,4 m<sup>-1</sup>, 2 m<sup>-1</sup> ve 1,2 m<sup>-1</sup> olarak

bulunmuştur. Standartlarda bu değerler sırasıyla 7, 5 ve 3 m<sup>-1</sup> i sağlamak zorundadır. Ölçümlerimiz doğrultusunda 15 bar basınçta NF 270 membranıyla ileri arıtım sonrası elde edilen RES değerleri standarta uygundur. NF270 membranın 12 bar basınçta uygulanması ile ise standartların çok az üzerinde RES değerleri elde edilmiştir. BW30 membranıyla 30 bar basınçta yapılan ileri arıtma çalışması sonunda en verimli renk giderimi elde edilmiş olup 436, 525 ve 620 nm de sırasıyla; 3,1 m<sup>-1</sup>, 1,3 m<sup>-1</sup> ve 0,7 m<sup>-1</sup> ölçülmüştür. Standartı sağlamaktadır.

#### 4.6 Ön Arıtmasız Yapılan Çalışmalar

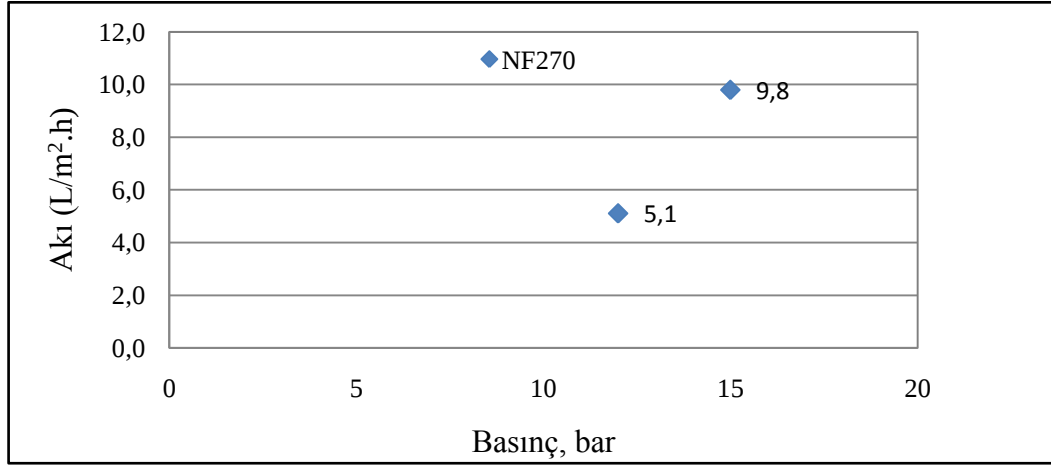
##### 4.6.1 Akı değerleri

Kullanılan her membran türü ve basınç değeri için ayrı ayrı akı hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.91’de ön arıtılmamış atıksuyun NF270 nanofiltrasyon membranları ile 12 ve 15 bar basınçlarda ileri arıtımı sonucu elde edilen akı-zaman değerleri görülmektedir. Şekil 4.92’de ise aynı arıtmanın basınç-akı grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.91:** Ön arıtma uygulanmadan atıksuyun NF 270 membranından 12 ve 15 bar basınçlarda geçirilmesi ile oluşan akı-zaman grafiği.

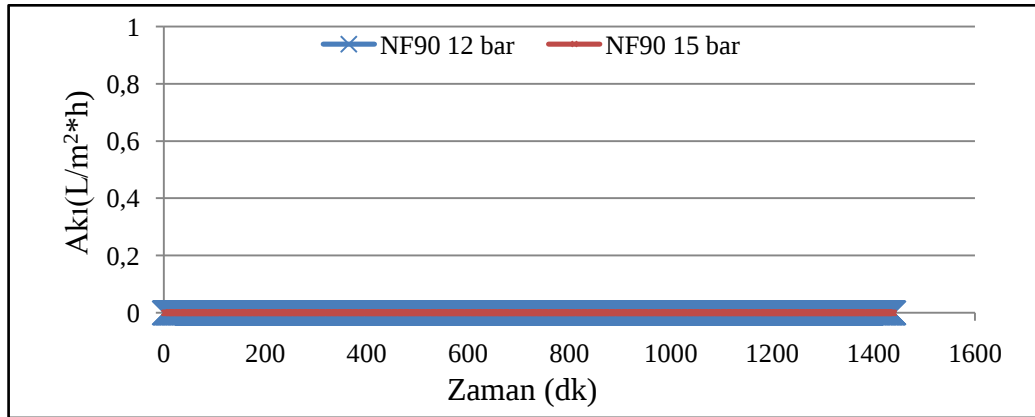
Şekil 4.92’den görüldüğü üzere, NF270 membranı için akı değerleri basınç artışıyla birlikte artmaktadır. NF270 membranı için akı değeri 12 bar basınçta 5,1 L/m².h değerini alırken, 15 bar basınçta 9,8 L/m².h değerine ulaşmaktadır. Akı eğrileri bütün basınç değerleri azalan hale gelmektedir.



**Şekil 4.92:** Ön arıtma uygulanmadan atıksuyun NF 270 membranından 12 ve 15 bar basınçlarda geçirilmesi ile oluşan akı-basınç grafiği.

12 ve 15 barda gerçekleştirilen deneyler 24'er saat sürmüştür. NF270 membranı ile 1440 dakika süreyle 12 barda gerçekleştirilen çalışma boyunca akı değerinde yaklaşık %32 oranında azalma gözlenmiştir. NF270 membranı ile 1440 dakika süreyle 15 barda gerçekleştirilen çalışma boyunca akı değerinde yaklaşık %51 oranında azalma gözlenmiştir. Akı değeri 700. dakikadan sonra ilk 700 dakikada gerçekleşen azalmaya göre daha az görülmüştür.

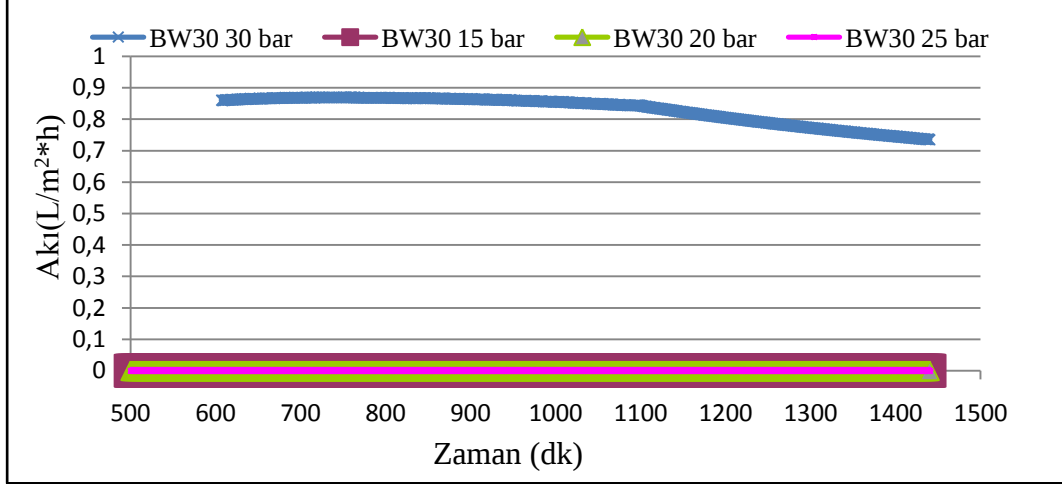
Şekil 4.93'te NF 90 membranı ile 12 ve 15 bar basınçta ileri arıtım sonrası akı-zaman grafiği gösterilmiştir.



**Şekil 4.93:** Ön arıtılmamış atıksuyun doğrudan NF90 membranlarının 12 ve 15 bar basınçta uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.

Ön arıtılmadan atıksuyun doğrudan NF90 membranı ile ileri arıtımı sonucunda 12 ve 15 bar basınçta birer gün süren arıtma sonrasında akı elde edilememiştir. NF270 membranı ile yapılan çalışmalarda akı edilmesine rağmen NF90 membranı ile yapılan çalışmalarda akı elde edilememesinin sebebi iki membranın özelliklerinin

farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Deneylerde çalışılan maya seperasyon atıksuyu çok yüksek organik kirliliğe sahiptir. NF90 membranının daha düşük moleküler ağırlık engelleme sınırının olması ve atıksuyun çok yüksek KOİ ve organik kirliliğe sahip olması nedeni ile membran çok çabuk tıkanmaktadır. Bu nedenle NF90 membranı ile çalışma sonucunda akı elde edilememiştir.

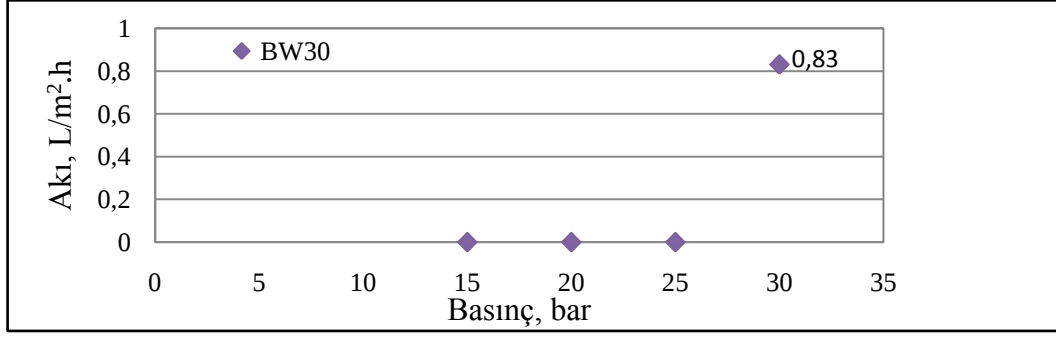


**Şekil 4.94:** Ön arıtım uygulanmadan atıksuyun XLE ve BW30 membranlarıyla 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.

Şekil 4.94'te ise ön arıtılma atıksuyun BW30 ve XLE ters osmoz membranları ile 15, 20, 25, 30 bar'da ileri arıtım sonucu elde edilen akı-zaman grafiği görülmektedir.

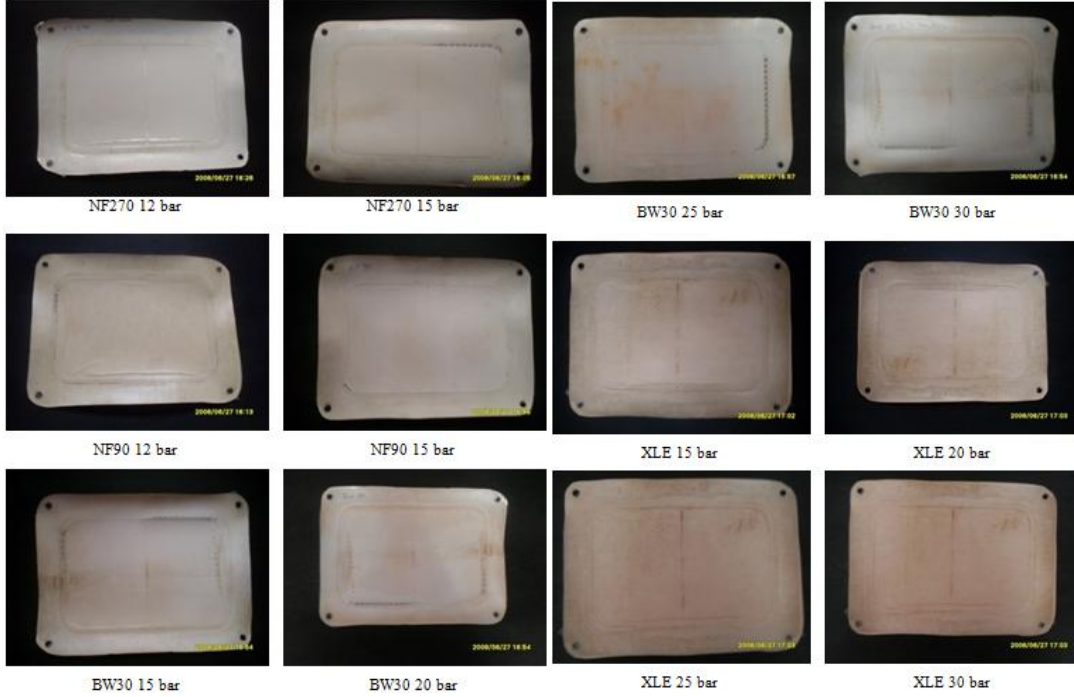
Şekil 4.95'ten görüldüğü üzere BW30 membranı ile farklı basınçlarda birer gün süre boyunca yürütülen çalışmaların sonucunda yalnızca 30 bar basınçta çalıştırılması ile akı elde edilmiştir. BW30 membranıyla 30 bar basınçta elde edilen akı 0,79 L/m²\*h'dir. Aynı şekilde MP005 ile ön arıtılmış Atıksu XLE membranı ile 1440 dakika süreyle sırasıyla 15, 20, 25 ve 30 bar basınçta ileri arıtıma tabi tutulmuş fakat bu çalışma sonucunda da akı elde edilememiştir.

Ön arıtılmadan doğrudan atıksuya uygulanan ileri arıtım denemelerinin hepsi incelendiğinde maya seperasyon prosesi atıksuyu için en yüksek akı değerinin elde edildiği membran türünün NF270 nanofiltrasyon membranı olduğu görülmektedir. Ortalama akı değeri 15 bar basınçta 9,8 L/m².h olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.95:** Ön arıtım uygulanmadan atıksuyun BW30 membranıyla 15, 20, 25 ve 30 bar basınçlarda uygulanması ile bir günlük arıtma boyunca akı-zaman grafiği.

Şekil 4.96'da maya seperasyon prosesi atıksuyunun doğrudan ileri arıtımı amacıyla kullanılan nanofiltrasyon (NF90, NF270) ve ters osmoz (BW30, XLE) membranlarının arıtım sonrası üzerlerinde oluşan kek tabakaları görülmektedir.



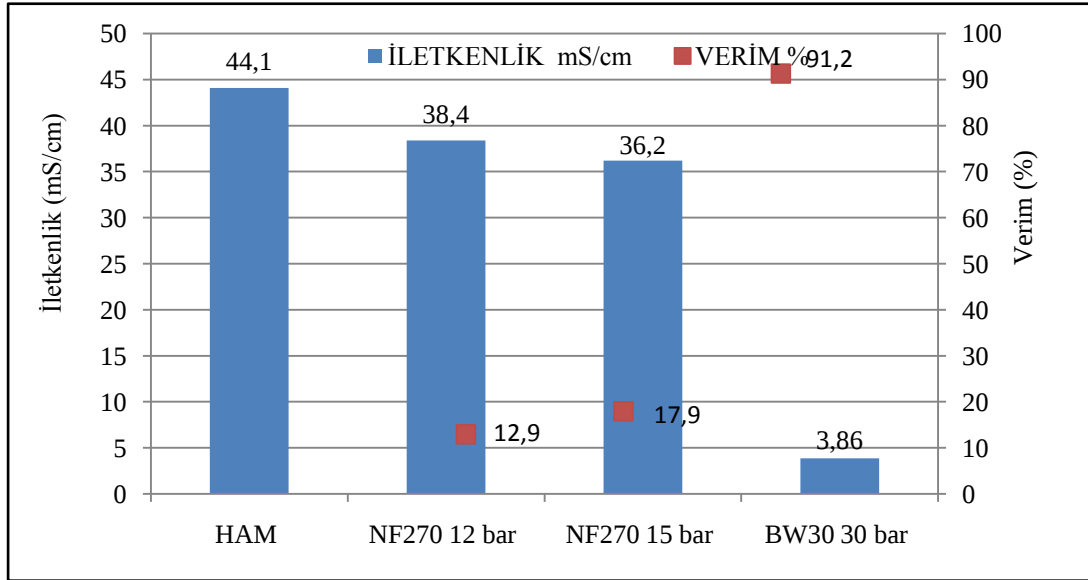
**Şekil 4.96:** NF ve TO membranları ile gerçekleştirilen ileri arıtma sonrası membran yüzeyinde oluşan kek tabakası görünimleri.

#### 4.6.2 Arıtılmış su kalitesi parametreleri

Ham atıksuda, ön arıtım sonrası ileri arıtılan atıksuyun süzöntü ve konsantre numunelerinde iletkenlik, renk, KOİ, tuzluluk ve pH parametreleri farklı basınç değerlerinde analiz edilmiştir.

#### 4.6.2.1 İletkenlik

Kullanılan bütün membranlar için sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her bir membran basıncında 24 saatlik çalışma gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.97’de maya seperasyon ham atıksuyunun farklı basınç değerlerinde NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları ile BW30 ve XLE ters osmoz membranlarından arıtılması sonucu elde edilen süzüntü akımlarında ölçülen iletkenlik değerleri görülmektedir. Şekil 4.97’de sadece NF270 membranı ile 12 ve 15 barda yapılan çalışma sonucu elde edilen süzüntü ve BW30 membranı ile 30 barda yapılan çalışma sonunda elde edilen süzüntü suyu iletkenlik değerleri gösterilmektedir. NF90 membranı (12 ve 15 barda), XLE membranı (15, 20, 25 ve 30 barda) ve BW30 membranı (15, 20 ve 25 barda) ile süzüntü elde edilememiştir.

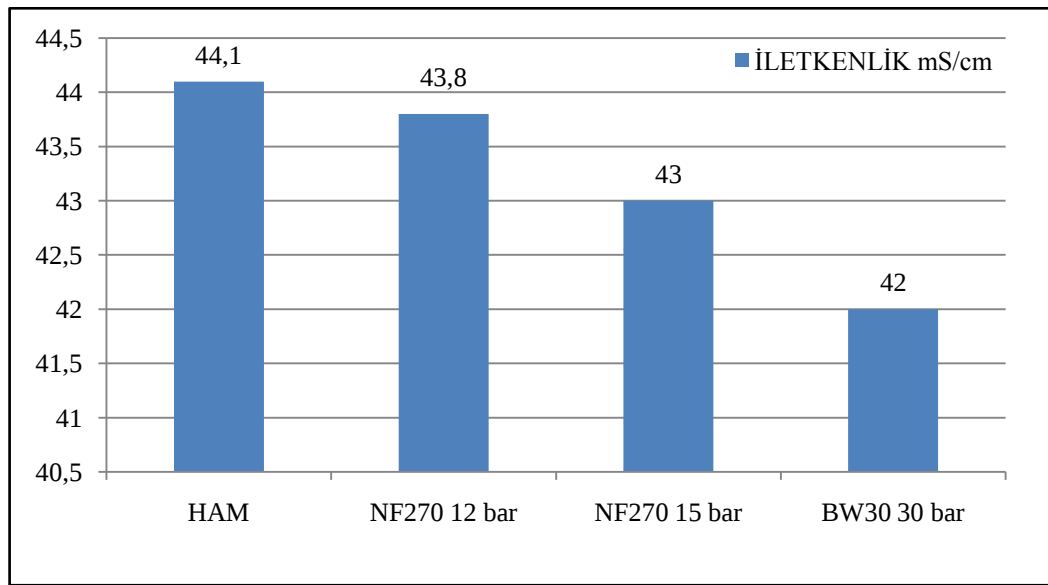


**Şekil 4.97:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunda NF ve TO membranları ile doğrudan ileri arıtımla elde edilen süzüntüde ölçülen iletkenlik değerleri ve giderim yüzdeleri.

Şekil 4.97’de de görüldüğü gibi ham atıksuyun iletkenlik değeri 44,1 mS/cm’dir. İletkenlik değeri NF270 membranı ile 12 ve 15 barda çalışma sonunda sırasıyla 38,4 ve 36,2 mS/cm olarak ölçülmüştür. NF270 membranı ile 15 barda yapılan çalışma sonunda yaklaşık olarak %18 lik iletkenlik giderme verimi elde edilmiştir. Bu değer 12 bar ile yapılan çalışmada %13 civarındadır. Basınç artışı ile birlikte çıkış sularında elde edilen iletkenlik değerleri düşmekte, dolayısıyla giderim verimi artmaktadır. Aynı membran ile farklı basınçta yapılan bu arıtma sonucunda daha yüksek basınçta giderme veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir. BW30

membranı ile 30 barda yapılan çalışma sonunda iletkenlik değeri 3,86 mS/cm olarak ölçülmüştür. Verim ise NF270 membranı ile yapılan çalışmalardan çok yüksek olup %91 civarında görülmüştür. İletkenlik giderimi atıksuyun cinsine göre farklılık göstermektedir. Maya seperasyon atıksuyu için iletkenlik gideriminin etkin olarak gerçekleştirildiği membran türleri NF270 nanofiltrasyon membranı ve BW30 ters osmoz membranı olarak görülmektedir.

Çalışma sonlarında elde edilen konsantre akımları için de iletkenlik ölçümü yapılmıştır. Akı elde edilen çalışmalara ait konsantre numunelerinin iletkenlik değerleri aşağıdaki Şekil 4.98'de gösterilmiştir.



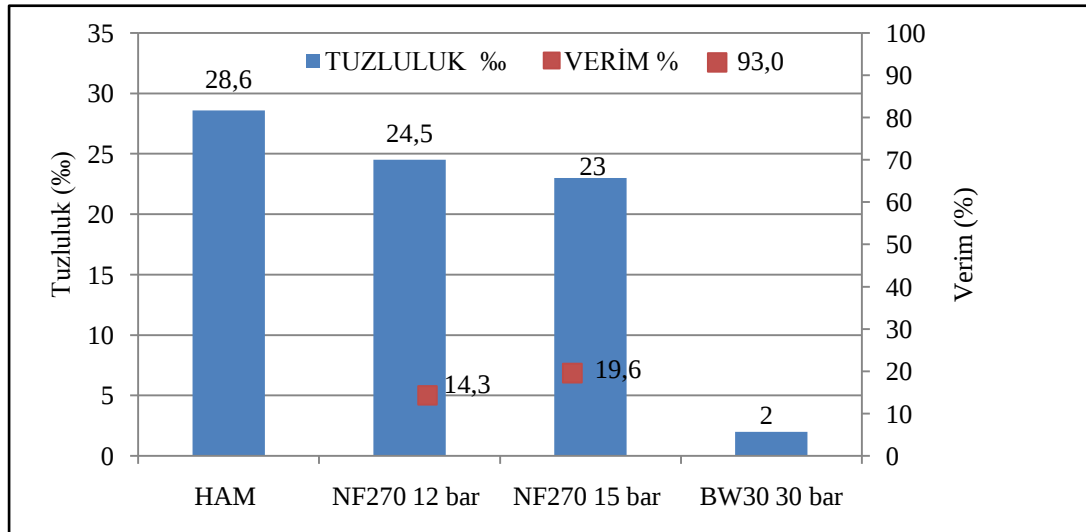
**Şekil 4.98:** Ön arıtılmadan sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantre numunelerinde ölçülen iletkenlik değerleri.

İletkenlik değerleri ham numunede 44,1 mS/cm olarak ölçülmüştür. NF270 membranı ile 12 ve 15 barda yapılan arıtma sonunda konsantre akımın iletkenlik değerleri sırasıyla 43,8 ve 43 mS/cm olarak ölçülmüştür. BW30 membranı ile arıtım sonunda konsantre akımının iletkenlik değeri ise 42 mS/cm olarak ölçülmüştür.

İletkenlik değerlerine baktığımızda ham atıksuyun iletkenliği 44,1 mS/cm'dir. Ön arıtılmadan ileri arıtım uygulanan ve akı elde edilen NF270 membranı konsantre akımının 12 ve 15 bar basınçta ölçülen iletkenlik değerleri sırasıyla; 43,8 ve 43 mS/cm'dir. BW30 membranı ile konsantre akımın iletkenlik değeri 42 mS/cm olarak ölçülmüştür.

#### 4.6.2.2 Tuzluluk

Kullanılan bütün membranlar için sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her bir membran basıncında 24 saatlik çalışma gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.99'da maya seperasyon ham atıksuyunun farklı basınç değerlerinde NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları ile BW30 ve XLE ters osmoz membranlarından arıtılması sonucu elde edilen süzüntü akımlarında ölçülen tuzluluk değerleri görülmektedir. Şekil 4.99'da sadece NF270 membranı ile 12 ve 15 barda yapılan çalışma sonucu elde edilen süzüntü ve BW30 membranı ile 30 barda yapılan çalışma sonunda elde edilen süzüntü suyu tuzluluk değerleri gösterilmektedir. NF90 membranı (12 ve 15 barda), XLE membranı (15, 20, 25 ve 30 barda) ve BW30 membranı (15, 20 ve 25 barda) ile süzüntü elde edilememiştir.

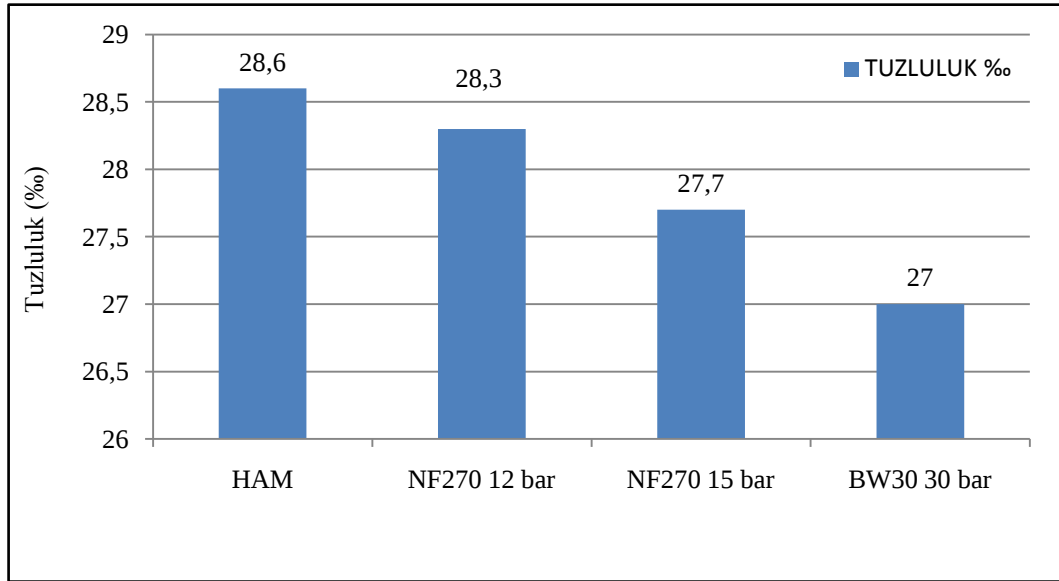


**Şekil 4.99:** Ön arıtmasız sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların süzöntülerinde ölçülen tuzluluk değerleri ve giderim verimleri.

Ham atıksuyun tuzluluk değeri 28,6 ‰ olarak ölçülmüştür. NF270 membranı ile 12 ve 15 barda arıtım çalışması sonunda elde edilen süzöntülerin tuzluluk değerleri sırasıyla 24,5 ve 23‰ olarak ölçülmüştür. NF270 membranı ile 12 ve 15 barda yapılan çalışmalar sonunda tuzluluk giderim verimi %20'nin altında kalmıştır. BW30 membranı ile 30 barda yapılan çalışma sonucunda ise tuzluluk değeri 2 ‰ olarak ölçülmüş ve tuzluluk giderme verimi %93 civarında bulunmuştur. NF membranlarında tuz giderim yüzdesi TO membranlarına göre daha düşük olduğu bilinmektedir. Çıkan sonuçlar bu açıdan uygundur. maya seperasyon atıksuyu için tuzluluk gideriminin etkin olarak gerçekleştirildiği membran türleri NF270

nanofiltrasyon membranı ve BW30 ters osmoz membranı olarak görülmektedir. BW30 membranı ise NF270 membranına göre oldukça yüksek tuzluluk giderme verimine sahiptir.

Farklı basınçlarda işletilen membranlar ile elde edilen konsantre akımları için de tuzluluk ölçümü yapılmıştır. Akı elde edilen çalışmalara ait konsantre numunelerinin tuzluluk değerleri aşağıdaki Şekil 4.100'de gösterilmiştir.

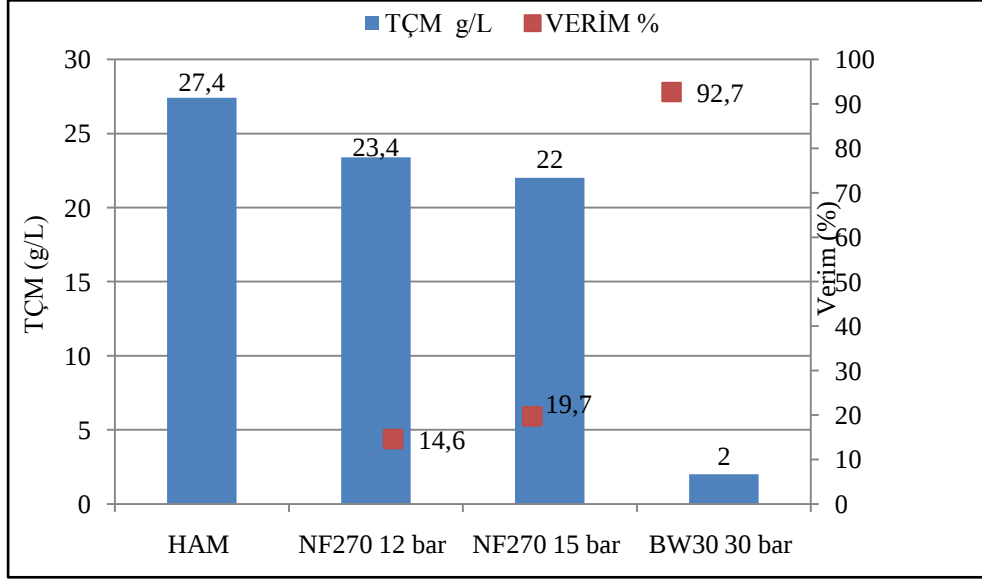


**Şekil 4.100:** Ön arıtmasız sistemde ham atıksuda ve basınç değişimine bağlı olarak farklı membranların konsantrelerinde ölçülen tuzluluk değerleri ve giderim verimleri.

Şekil 4.100'den görüldüğü gibi çalışmalar sonunda konsantre akımlarında ölçülen tuzluluk değerleri ham atıksudan çok farklı değildir.

#### 4.6.2.3 Toplam çözünmüş madde (TÇM)

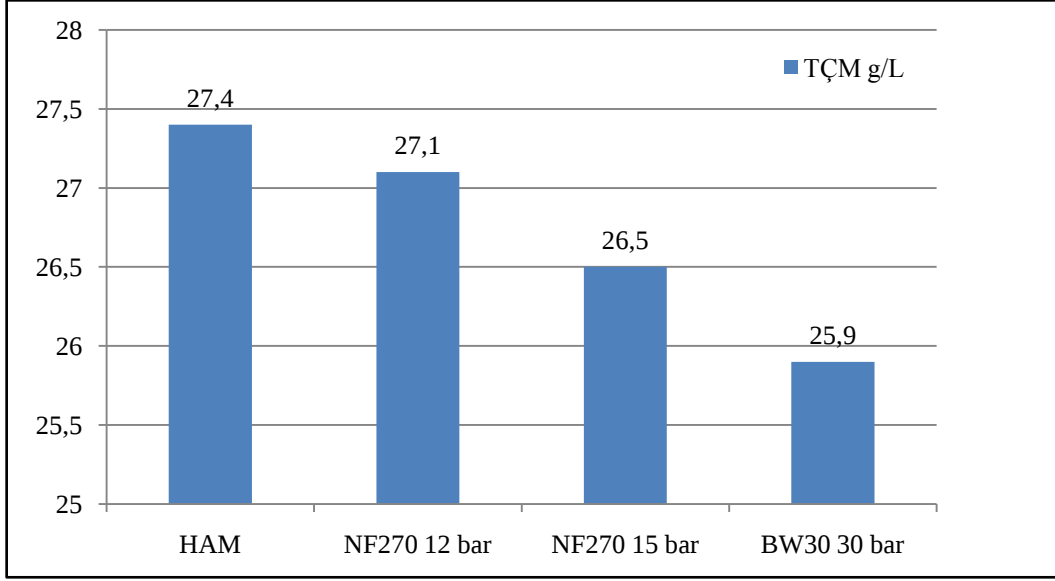
Her bir membran basıncında 24 saatlik çalışma gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.101'de maya seperasyon ham atıksuyunun farklı basınç değerlerinde NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları ile BW30 ve XLE ters osmoz membranlarından arıtılması sonucu elde edilen süzüntü akımlarında ölçülen TÇM değerleri görülmektedir. Şekil 4.101'de sadece NF270 membranı ile 12 ve 15 barda yapılan çalışma sonucu elde edilen süzüntü ve BW30 membranı ile 30 barda yapılan çalışma sonunda elde edilen süzüntü suyu TÇM değerleri gösterilmektedir. NF90 membranı (12 ve 15 barda), XLE membranı (15, 20, 25 ve 30 barda) ve BW30 membranı (15, 20 ve 25 barda) ile süzüntü elde edilememiştir.



**Şekil 4.101:** Atıksuyun doğrudan NF ve TO membranlarına verilmesi ile elde edilen süzüntü akımında TÇM değerleri ve giderim yüzdeleri.

Ham atıksuyun TÇM değeri 27,4 g/L olarak ölçülmüştür. NF270 membranı ile 12 ve 15 barda arıtım çalışması sonunda elde edilen süzüntülerin TÇM değerleri sırasıyla 23,4 ve 22 g/L olarak ölçülmüştür. NF270 membranı ile 12 ve 15 barda yapılan çalışmalar sonunda TÇM giderim verimi %20'nin altında kalmıştır. BW30 membranı ile 30 barda yapılan çalışma sonucunda ise TÇM değeri 2 g/L olarak ölçülmüş ve TÇM giderme verimi %93 civarında bulunmuştur. NF membranlarında gözenek çapının küçük olması zamanla membran tıkanmasına neden olmaktadır. BW30 ters osmoz membranı çözünmüş maddeleri çok yüksek verimde(%93) membranda tutmaktadır ve süzüntü kısmında çok az TÇM değeri görülmektedir.

Farklı basınçlarda işletilen membranlar ile elde edilen konsantre akımları için de TÇM ölçümü yapılmıştır. Çalışmalarda elde edilen konsantre numunelerinin TÇM değerleri aşağıdaki Şekil 4.102'de gösterilmiştir.

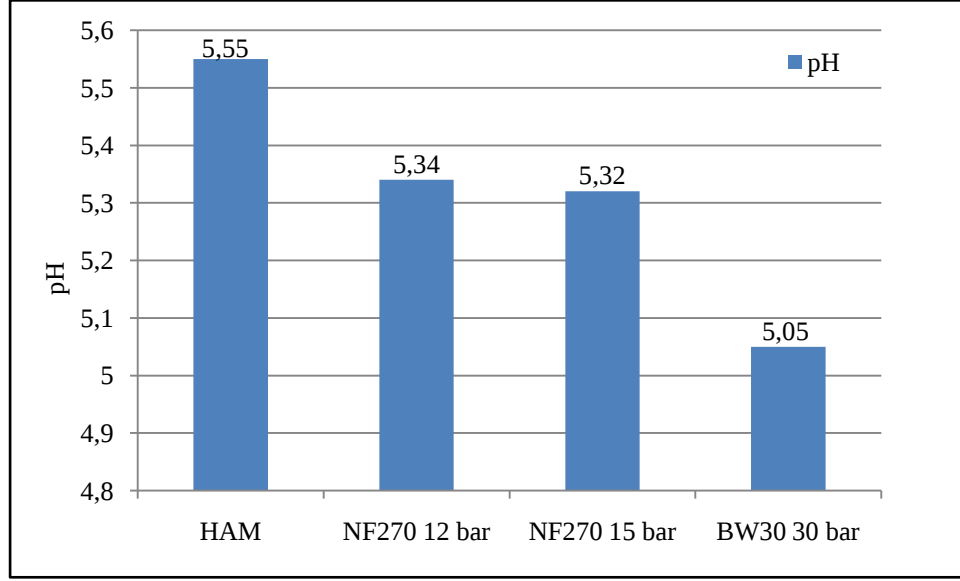


**Şekil 4.102:** Atıksuyun doğrudan NF ve TO membranlarına verilmesi ile elde edilen konsantre akımında TÇM değerleri ve giderim yüzdeleri.

Ham atıksuyun TÇM değeri 27,4 g/L olarak ölçülmüştür. NF270 membranı ile 12 ve 15 barda gerçekleştirilen arıtma sonrası oluşan konsantre akımlarda ölçülen TÇM değerleri sırasıyla; 27,1 ve 26,5 g/L'dir. Her iki arıtma sonucu ham suyun TÇM değerine yakın ve çok az azalma göstermiştir. BW30 ile 30 barda arıtım ile elde edilen konsantre akımın TÇM değeri ise 25,9 g/L civarında olup NF270 ile yapılan çalışmadan daha düşük bulunmuştur.

#### 4.6.2.4 pH

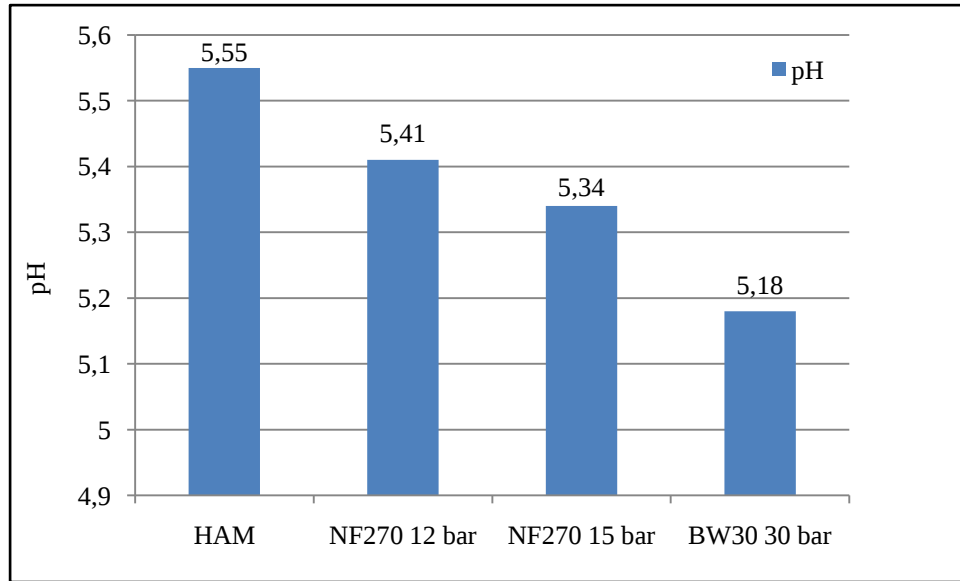
Her bir membran ile farklı basınçlarda 24 saatlik çalışma gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.103'te maya seperasyon ham atıksuyunun farklı basınç değerlerinde NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranları ile BW30 ve XLE ters osmoz membranlarından arıtılması sonucu elde edilen süzüntü akımlarında ölçülen pH değerleri görülmektedir. Şekil 4.103'te sadece akı elde edilen çalışmaların süzüntü suyu pH değerleri gösterilmektedir. NF90 membranı (12 ve 15 barda), XLE membranı (15, 20, 25 ve 30 barda) ve BW30 membranı (15, 20 ve 25 barda) ile süzüntü elde edilememiştir.



**Şekil 4.103:** Atıksuyun doğrudan NF ve TO membranlarına verilmesi ile süzüntü akımında elde edilen pH değerleri.

Ham atıksuyun pH değeri 5,55 iken NF270 membranı ile 12 ve 15 bar basınçta arıtım sonrası pH değeri sırasıyla 5,34 ve 5,32 olarak ölçülmüştür. NF membranı ile farklı basınçlarda arıtım sonrası pH değeri çok değişiklik göstermemiştir. BW30 membranı ile 30 bar basınçta yapılan arıtmada ise pH değeri 5,05 olarak ölçülmüş ve pH değeri ham atıksuya oranla %9 civarında değişiklik göstermiştir.

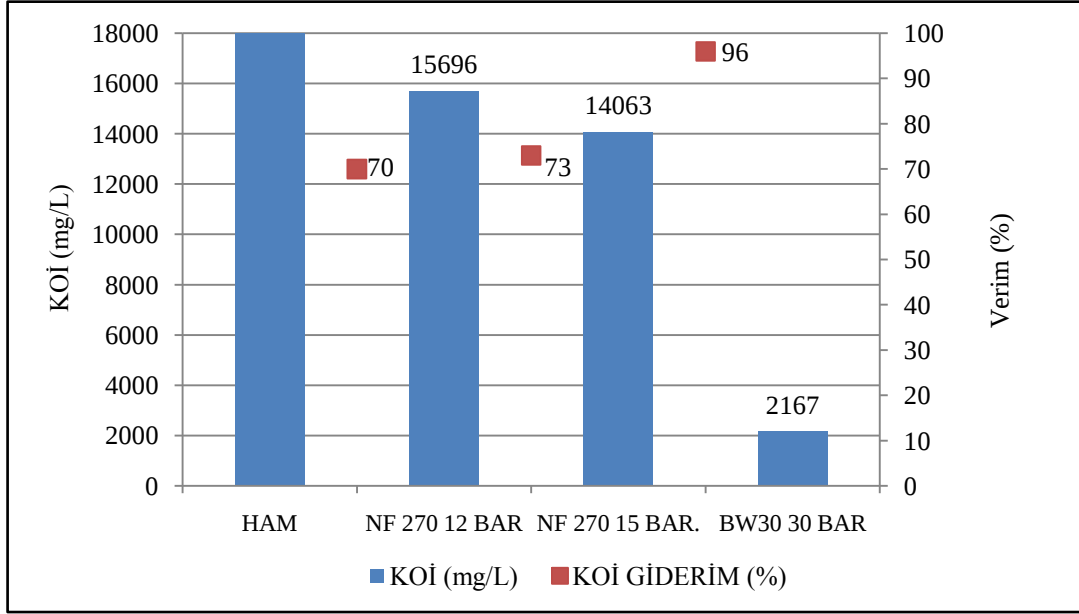
Şekil 4.104'te akı elde edilen NF270 (12 ve 15 barda) ve BW30 (30 barda) membranlarında konsantre akımın pH değerleri gösterilmektedir.



**Şekil 4.104:** Atıksuyun doğrudan NF ve TO membranlarına verilmesi ile elde edilen konsantre akımında pH değerleri.

#### 4.6.2.5 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Maya seperasyon prosesi atıksuyunda su kalitesi parametresi olarak ölçülen diğer bir parametre de KOİ'dir. KOİ parametresi de tüm basınç değerleri için elde edilen süzüntü ve konsantre akımlarında ölçülmüştür. Şekil 4.105'te ham atıksuda doğrudan NF ve TO membranları ile ileri arıtım sonrası akı elde edilen numunelerin KOİ değerleri yer almaktadır.



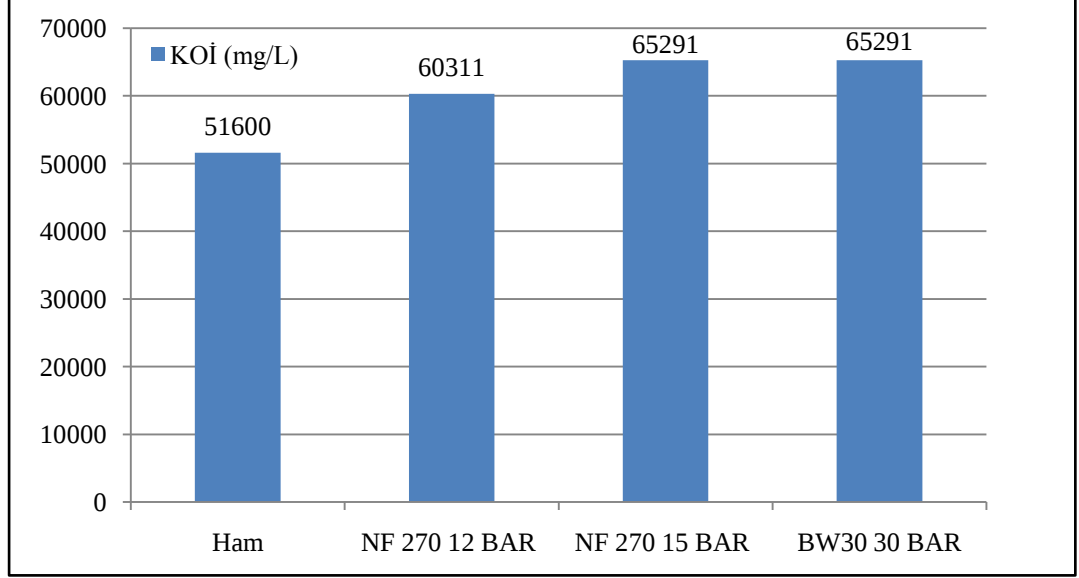
**Şekil 4.105:** Atıksuya doğrudan ileri arıtım uygulanması ile süzüntü elde edilen arıtmaların süzüntü numunelerinde KOİ değerleri ve giderim yüzdeleri.

Şekil 4.105'te görüldüğü üzere, ham suyun KOİ değeri 51600 mg/L'dir. 12 ve 15 bar basınçlar altında KOİ değeri NF270 membranı ile 15696 ve 14063 mg/L'ye kadar düştüğü görülmektedir. 12 bar basınçta NF270 membranında KOİ giderim verimi % 70 seviyelerine ulaşmıştır. 15 bar basınçta ise NF270 membranıyla elde edilen verim %73 olarak bulunmuştur. NF270 membranları ile 12 ve 15 barda yapılan çalışmalar birbiriyle kıyaslandığında elde edilen süzüntü suyu KOİ değerlerinde basınç artışına paralel olarak azalma görülmektedir. NF90 membranı ile süzüntü elde edilemediği için KOİ değeri belirlenememiştir. Nanofiltrasyon membranları birbiriyle kıyaslandığında, KOİ giderim veriminin en yüksek olduğu membran türünün NF270 membranı olduğu görülmektedir.

BW30 membranında 30 bar basınç altında süzüntü suyunda KOİ değerinin 2167 mg/L olduğu görülmektedir. KOİ giderim veriminin 30 bar basınçta %96 civarında olduğu görülmektedir. XLE membranıyla süzüntü suyu elde edilememiştir.

Dolayısıyla ters osmoz membranları karşılaştırıldığında, XLE membranıyla KOİ giderim verimi belirlenemezken, BW30 ile çok yüksek oranda KOİ giderim verimine ulaşılabilir.

Şekil 4.106'da farklı basınçlarda akı elde edilen NF270 ve BW30 membranları ile gerçekleştirilen arıtma sonucunda oluşan konsantre akımın KOİ değeri gösterilmiştir.

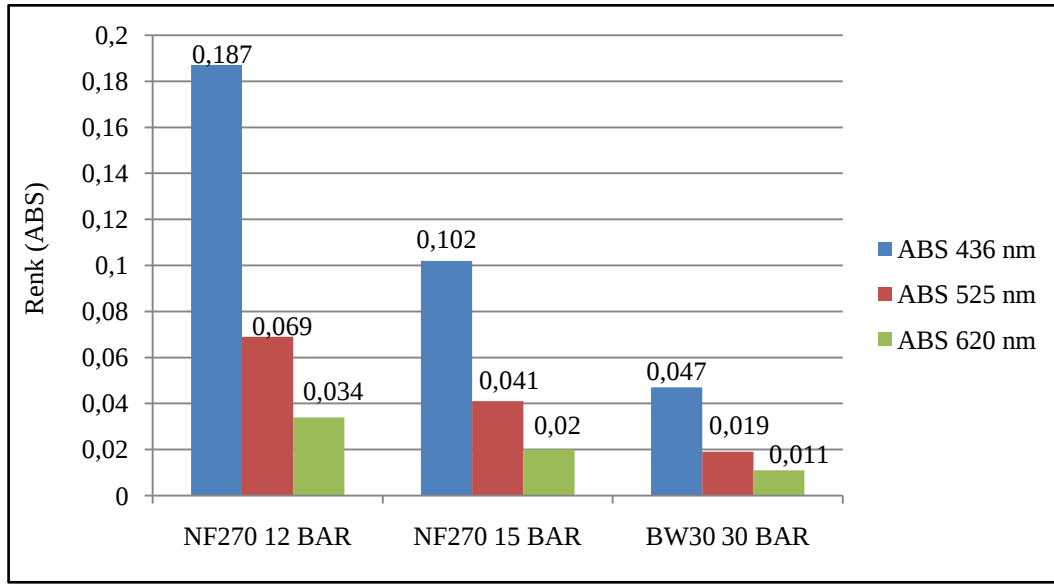


**Şekil 4.106:** Atıksuya doğrudan ileri arıtım uygulanması ile süzüntü elde edilen arıtmaların konsantre numunelerinde KOİ değerleri ve giderim yüzdeleri.

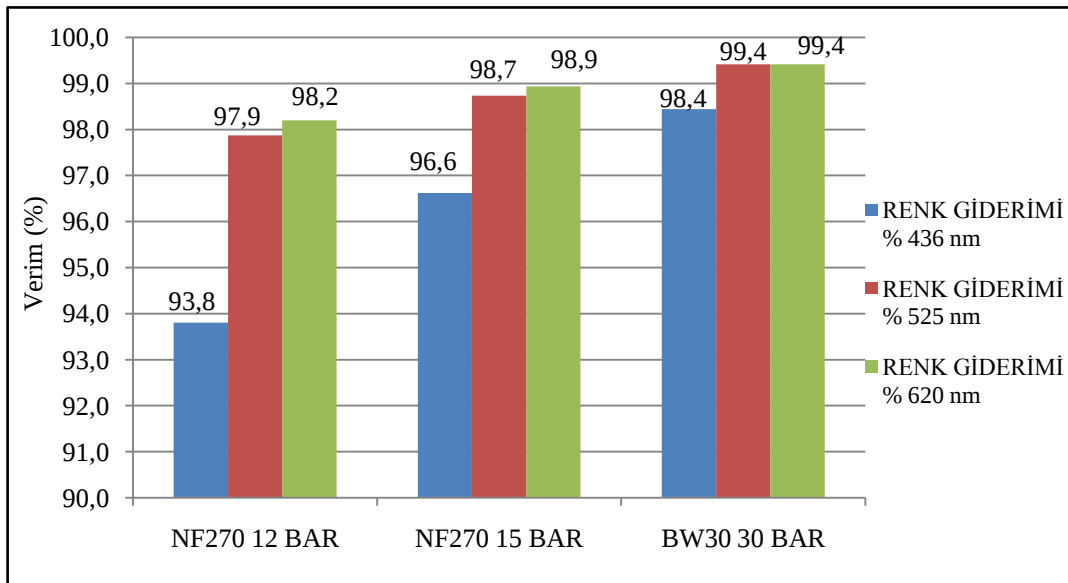
Ham atıksuyun KOİ değeri 51600 mg/L olarak hesaplanmıştır. Konsantre akımlarının hepsi ham atıksudan daha yüksek KOİ'ye sahiptir. Konsantre numunelerinin KOİ değeri ham suya göre 15-20% artış göstermektedir.

#### 4.6.2.6 Renk

Maya seperasyon prosesi atıksuyunun doğrudan nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarıyla ileri arıtımıyla elde edilen süzüntü akımlarında üç farklı dalga boyunda ve Pt-Co biriminde renk parametresi ölçülmüştür. İleri arıtımda farklı basınçlarda uygulanan ve akı elde edilen her süzüntü numunesinde renk parametresi ölçülmüştür. Şekil 4.107 ve Şekil 4.108'de maya seperasyon prosesine ait atıksuyun ileri arıtım membranlarından geçirilmesiyle elde edilen süzüntüde 3 farklı dalga boyunda (436 nm, 525 nm, 620 nm) ölçülen renk değerleri ve giderim verimleri görülmektedir.



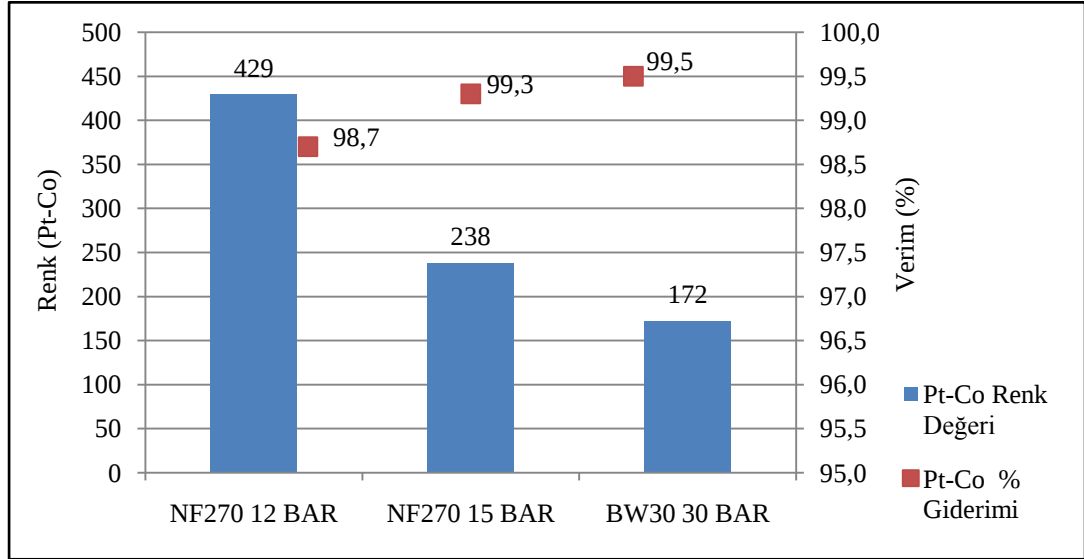
**Şekil 4.107:** Ön arıtmadan ileri arıtıma verilen atıksuyun filtrasyonu sonrası elde edilen süzüntü akımında absorban renk değerleri (436, 525 ve 620 nm dalga boylarında).



**Şekil 4.108:** Ön arıtmadan ileri arıtıma verilen atıksuyun filtrasyonu sonrası elde edilen süzüntü akımında renk giderim verimleri (436, 525 ve 620 nm dalga boylarında).

Şekil 4.108’de görüldüğü üzere, renk giderim verimi üç dalga boyunda % 94-99,4 arasında gerçekleşmiştir.

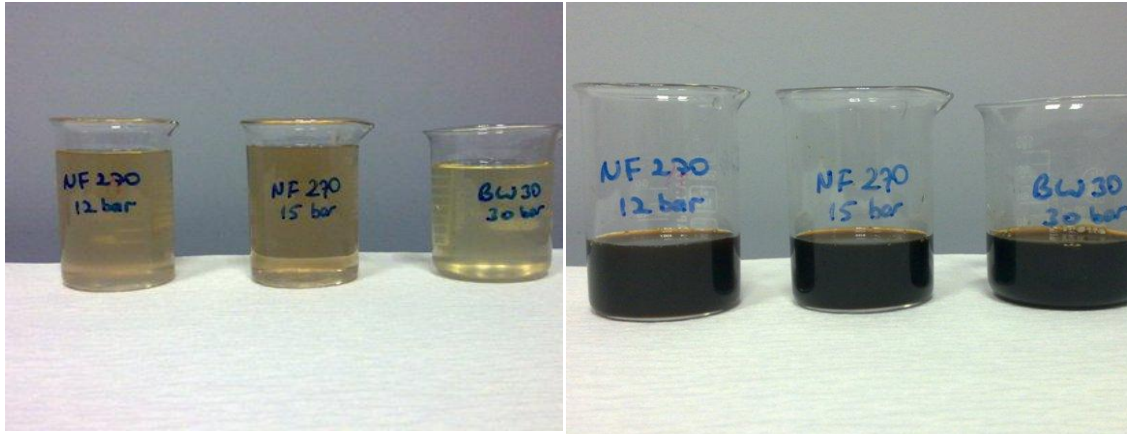
Ön arıtmadan atıksuyun NF90, NF270, XLE ve BW30 membranlarıyla belirlenen basınçlarda ileri arıtımı sonrası elde edilen süzüntü numunelerinde Pt-Co biriminde renk değerleri ve giderim yüzdeleri Şekil 4.109’da verilmektedir.



**Şekil 4.109:** Ön arıtılmadan ileri arıtım uygulanan atıksuda elde edilen süzöntü akımlarında Pt-Co biriminde ölçülen renk değerleri ve giderim verimleri.

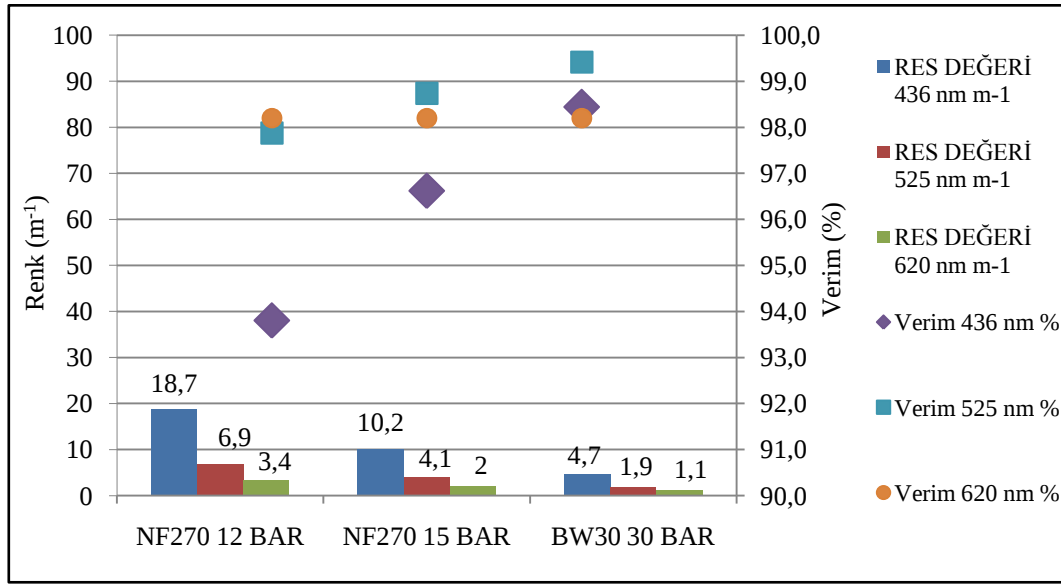
Şekil 4.109'da görüldüğü gibi doğrudan NF270 membranının 12 ve 15 bar basınçta ileri arıtım uygulaması ile renk değerleri sırasıyla 429 ve 238 Pt-Co olarak ölçülmüştür. BW30 membranıyla 30 bar basınçta uygulanan ileri arıtım sonucunda ise renk değeri 172 Pt-Co'a kadar düşmüştür. Renk giderimi ise her üç kombine arıtım sonrası elde edilen süzöntü numunelerinde % 99 civarında gerçekleşmiştir.

Şekil 4.109'da maya seperasyon prosesine ait atıksuyun doğrudan ileri arıtılması sonucu elde edilen konsantre ve süzöntü akımlarının görüntüsü verilmektedir.



**Şekil 4.110:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun ileri arıtım sonrası elde edilen süzöntü ve konsantre akımlarının görüntüsü.

Şekil 4.110'da ön arıtılmadan ileri arıtılan atıksuyun filtrasyon sonrası elde edilen süzöntü numunelerinin üç farklı dalga boyunda (436, 525 ve 620 nm) RES ölçüm sonuçları ve giderim verimleri yer almaktadır.

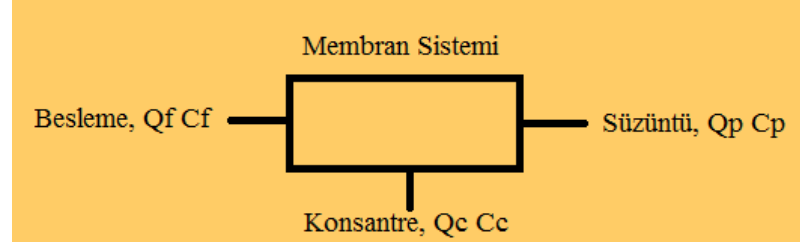


**Şekil 4.111:** Maya seperasyon prosesi atıksuyunun doğrudan ileri arıtımından elde edilen süzöntü numunelerinin 3 farklı dalga boyunda RES değerleri ve giderim verimleri.

Şekil 4.111'den de görüldüğü üzere renk, üç dalga boyunda da NF 270 membranı ve BW30 membranı ile ileri arıtımı sonrası % 94'ün üzerinde giderilmiştir. Res giderim verimi %94-99,5 arasında gerçekleşmiştir. 12 bar basınçta NF270 membranıyla doğrudan ileri arıtma sonrasında 436, 525 ve 620 nm dalga boyunda hesaplanan RES değerleri sırasıyla 18,7 m<sup>-1</sup>, 6,9 m<sup>-1</sup> ve 3,4 m<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. 15 bar basınçta NF270 membranıyla doğrudan ileri arıtma sonrasında 436, 525 ve 620 nm dalga boyunda hesaplanan RES değerleri sırasıyla 10,2 m<sup>-1</sup>, 4,1 m<sup>-1</sup> ve 2 m<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. 30 bar basınçta BW30 membranıyla doğrudan ileri arıtma sonrasında 436, 525 ve 620 nm dalga boyunda hesaplanan RES değerleri sırasıyla 4,7 m<sup>-1</sup>, 1,9 m<sup>-1</sup> ve 1,1 m<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Standartlarda bu değerler sırasıyla 7, 5 ve 3 m<sup>-1</sup> i sağlamak zorundadır. Ölçümlerimiz doğrultusunda 3 dalga boyunda da standartı yalnızca BW30 membranıyla 30 bar basınçta ileri arıtım sonrası elde edilmiştir. NF270 membranının 12 bar basınçta uygulanması ile ise standartların çok az üzerinde RES değerleri elde edilmiştir.

#### 4.7 Akı Geri Kazanım Çalışmaları

Önceki bölümlerde anlatılan deney aşamaları sırasında her bir arıtma sistemi için akı geri kazanımı çalışması yapılmıştır. Membran filtrasyon sonrası oluşan akımlar basit olarak Şekil 4.112'de verilmiştir.



**Şekil 4.112:** Membran filtrasyon akımlarının şematik gösterimi.

Geri kazanım, membrandan geçen akımın ham su akımına oranı olarak ifade edilebilmektedir. Geri kazanımı ifade eden denklem aşağıdaki gibidir;

$$r = \frac{Q_{pr}}{Q_f} = 1 - \frac{Q_{waste}}{Q_f} \quad (4.1)$$

$r$  = Geri kazanım

$Q_{pr}$  = Membrandan geçen akım

$Q_f$  = Besleme akımı

Yukarıda verilen bilgilere dayanarak yapılan bütün deneysel çalışmalarda akı geri kazanımı incelenmiştir. Akı elde edilen çalışmalara ait akı geri kazanım çalışmalarının sonuçları toplu olarak Çizelge 4.7'de verilmektedir.

**Çizelge 4.7:** Tek tek ya da kombine olarak uygulanan arıtma sonucunda akı elde edilen sistemlerde geri kazanım çalışmaları.

|                       | Akı (L/m <sup>2</sup> st) |       |       |       |       |       |       |      |     |
|-----------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|
| Geri Kazanım          | 10%                       | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   | 40%   | 45%  | 50% |
| UF+NF270 (12 Bar)     | 6,86                      | 6,5   | 5,98  | 5,51  | 5,05  | -     | -     | -    | -   |
| UF+NF270 (15 Bar)     | 16,6                      | 15,5  | 14,66 | 13,66 | 12,62 | 11,51 | 10,32 | 9,16 | 8,5 |
| MF020T+NF270 (12 Bar) | 6,55                      | 6,25  | 5,83  | 5,3   | 4,87  | 4,74  | -     | -    | -   |
| MF020T+NF270 (15 Bar) | 13,3                      | 12,65 | 11,76 | 10,95 | 10,07 | 9,19  | 8,27  | 7,27 | -   |
| MF005+NF270 (12 Bar)  | 5,36                      | 5,14  | 4,68  | 3,98  | -     | -     | -     | -    | -   |
| MF005+NF270 (15 Bar)  | 10,35                     | 10,13 | 9,4   | 8,62  | 7,99  | 7,5   | 6,37  | -    | -   |
| MF005+BW30 (30 Bar)   | -                         | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -   |
| NF270 (12 Bar)        | 5,99                      | 5,72  | 5,24  | 4,82  | 4,18  | -     | -     | -    | -   |
| NF270 (15 Bar)        | 13,74                     | 11,85 | 10,79 | 10,2  | 9,26  | 8,71  | 8,23  | 7,51 | -   |
| BW30 (30 Bar)         | -                         | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -   |

Çizelge 4.7 incelendiğinde BW30 membranı ile tek ve kombine arıtmalar sonrasında akı geri kazanımı sağlanamamıştır. BW30 membranı dışında 12 bar basınçta NF 270 membranıyla tek başına ya da kombine arıtımla yapılan geri kazanım sonuçlarında da ortalama % 30 civarında geri kazanım söz konusudur. NF 270 membranına uygulanan basınç 15 bar olduğunda ise akı geri kazanımı 12 bar basınçta işletmeye göre daha yüksek oranda gerçekleşip ortalama % 45 civarındadır. en verimli akı geri kazanımı UF+NF270 kombine arıtımının 15 bar basınçta çalıştırıldığında %50 olarak gerçekleşmiştir. Basıncın ve membran tipinin akı geri kazanımında etkisi büyüktür. NF270 membranları birbiriyle kıyaslandığında 15 bar basınçta elde edilen sonuçlar 12 bar basınçtaki sonuçlara göre daha verimlidir. BW30 membranına baktığımızda akısının çok düşük olması nedeniyle yüksek basınç uygulasak dahi akı geri kazanımı elde edilemedi. Bu nedenle en uygun akı geri kazanım sistemi UF+NF270 15 bar basınçta seçilmiştir.

#### 4.8 DeneySEL Çalışma Sonuçlarının Toplu Kıyaslanması ve Optimum Arıtma Sisteminin Seçilmesi

Dört aşamada uygulanan deneyler sonrası elde edilen sonuçlar önceki bölümlerde yer almaktadır. Optimum koşulların seçilmesinde öncelikli olarak akı değerleri, KOİ, renk ve tuzluluk giderimleri göz önüne alınmıştır. Çizelge 4.8'de akı elde edilen tüm deney sistemlerinin ortalama akı değerleri ve akı azalma yüzdeleri verilmektedir.

**Çizelge 4.8:** Ortalama akı ve akı azalması değerleri.

|                     | Ortalama Akı (L/m <sup>2</sup> *st) | Akı azalması (%) |
|---------------------|-------------------------------------|------------------|
| UF 2 bar            | 22                                  | 48               |
| MF020T 1 bar        | 31                                  | 35               |
| MF005 1 bar         | 16                                  | 62               |
| UF+NF270 12 bar     | 5,7                                 | 33               |
| UF+NF270 15 bar     | 12                                  | 55               |
| MF020T+NF270 12 bar | 5,5                                 | 29               |
| MF020T+NF270 15 bar | 10                                  | 46               |
| MF005+NF270 12 bar  | 4,6                                 | 33               |
| MF005+NF270 15 bar  | 8,1                                 | 41               |
| MF005+BW30 30 bar   | 0,79                                | 28               |
| NF270 12 bar        | 5,1                                 | 32               |
| NF270 15 bar        | 9,8                                 | 51               |
| BW30 30 bar         | 0,83                                | 4,6              |

Çizelge 4.8'den de görüldüğü üzere her biri 24 saat sürdürülen ileri arıtma çalışmaları sonunda elde edilen en yüksek akı UF+NF270 kombine arıtımının 15 bar basınçta gerçekleştirilmesi ise elde edilmiştir. UF+NF270 kombine arıtımının 15 bar basınçta uygulanmasıyla elde edilen akı değeri  $12 \text{ L/m}^2 \cdot \text{st}$  'dir. MF membranları ile 15 bar basınçta NF270 ile kombine arıtımların akı değerleri UF+NF270 kombine arıtımına göre daha düşük çıkmıştır. MF membranlarını kendi aralarında kıyaslarsak MV020T ile NF270 membranının 15 barda kombine arıtım sonucu akı  $10 \text{ L/m}^2 \cdot \text{st}$  iken, MP005 ile NF270 membranının 15 barda kombine arıtım sonucu akı değeri  $8,1 \text{ m}^2 \cdot \text{st}$  olarak hesaplanmıştır. Aradaki bu fark iki membranın gözenek çapının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. MP005 membranının gözenek çapı 0,05 mikrondur ve atıksuyun membrandan geçişi MV020T (0,2 mikron) daha zordur. Ayrıca akı azalması değerine baktığımızda MP005 membranının NF270 ile 12 ve 15 barda ileri arıtımı ile membran tıkanıklığı MV020T'ye göre daha fazladır. İleri arıtma amacıyla uygulanan BW30 membranıyla elde edilen akı değerleri çok düşüktür. Bütün bu sonuçlar doğrultusunda akı değeri bakımından en uygun arıtma sistemi UF+NF270 kombine arıtımın 15 bar basınçta uygulanması seçilebilir. Çizelge 4.9'da akı elde edilen tüm deney sistemlerinin süzüntü ve konsantre akımlarının KOİ değerleri verilmektedir.

**Çizelge 4.9:** Tüm deney sistemlerinden elde edilen süzüntü ve KOİ değerleri

| Süzüntü                | KOİ (mg/L) | KOİ % Giderim | Konsantre              | KOİ (mg/L) |
|------------------------|------------|---------------|------------------------|------------|
| UC100T                 | 45017      | 13            | UC100T                 | 68791      |
| MV020T                 | 45560      | 12            | MV020T                 | 60158      |
| MP005                  | 40416      | 22            | MP005                  | 60170      |
| UF+NF270<br>12 bar     | 14020      | 73            | UF+NF270<br>12 bar     | 51145      |
| UF+NF270<br>15 bar     | 12929      | 75            | UF+NF270<br>15 bar     | 62705      |
| MV020T+NF270<br>12 bar | 17139      | 67            | MV020T+NF270<br>12 bar | 60554      |
| MV020T+NF270<br>15 bar | 14434      | 72            | MV020T+NF270<br>15 bar | 61980      |
| MP005+NF270<br>12 bar  | 13625      | 74            | MP005+NF270<br>12 bar  | 65107      |
| MP005+NF270<br>15 bar  | 12219      | 76            | MP005+NF270<br>15 bar  | 63908      |
| MP005+BW30<br>30 bar   | 2047       | 96            | MP005+BW30<br>30 bar   | 65476      |
| NF270 12 bar           | 15696      | 70            | NF270 12 bar           | 60311      |
| NF270 15 bar           | 14063      | 73            | NF270 15 bar           | 65291      |
| BW30 30 bar            | 2167       | 96            | BW30 30 bar            | 65291      |

Çizelge 4.9'da akı elde edilen bütün çalışmaların süzüntü ve konsantre akımlarının KOİ değerleri yer almaktadır. Ön arıtma amacıyla uygulanan UC100T ve MV020T membranları ile arıtma sonrası KOİ giderimi birbirine çok yakın çıkmıştır. Ön arıtma için kullanılan bir diğer membran MP005 ile KOİ giderimi ise %22 civarında gerçekleşmiş ve diğer ön arıtma membranlarına göre daha verimli bulunmuştur. MP005 membranının mikrofiltrasyon membranı olmasına karşın UC100T ultrafiltrasyon membranına göre daha fazla KOİ gidermesinin sebebi gözenek çapının aslında ultrafiltrasyon membranı sınırlarında olmasından ve üretildiği malzemenin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Ön arıtmadan elde edilen süzüntü numunelerinin NF ve TO membranlarından geçirilmesiyle elde edilen KOİ değerleri çizelgede yer almaktadır. Sonuçlara baktığımızda ön arıtım sonrası NF270 membranının uygulanması ile KOİ giderimleri 12 ve 15 bar basınçta sırasıyla; 67-74% ve 72-76% aralığında gerçekleşmiştir. Kombine arıtlar göz önüne alındığında en iyi KOİ giderim verimi MP005+NF270 ile 15 bar basınçta elde edilmiştir. Fakat bu kombine arıtımın akı değeri UF+NF270 in 15 bardaki akı değerinden düşük olduğu için optimum koşullar için seçilememektedir. UF+NF270 ile kombine arıtımın 15 barda gerçekleştirilmesiyle ise %75 civarında KOİ giderimi gerçekleşmiştir. BW30 membranı doğrudan ya da ön arıtılmış atıksuya uygulandığında KOİ giderim verimi %96 olarak bulunmuştur. En yüksek KOİ gideriminin BW30 membranıyla sağlanmasına rağmen akı değerinin oldukça düşük olması dolayısıyla optimum koşullar için düşünülemez.

Çizelge 4.10'da akı elde edilen tüm deney sistemlerinin süzüntü akımlarının renk giderim verimleri verilmektedir.

Çizelge 4.10'dan da görüldüğü üzere ön arıtım amacıyla kullanılan UF ve MF membranları ile 3 farklı dalga boyunda ve Pt-Co biriminde renk giderimleri 17-57,5% arasında gerçekleşmiş ve çoğunlukla %25 mertebelerinde sağlanmıştır. Ön arıtmadan sonra uygulanan NF270 ve BW30 ileri arıtları ile renk giderimi hemen hemen her arıtma sonrasında %97-99 arasında gerçekleşmiştir.

**Çizelge 4.10:** Deney çalışmaları sonrası elde edilen süzüntü akımlarının renk giderim verimleri.

| Süzüntü            | Renk Giderimi % | Renk Giderimi % | Renk Giderimi % | Renk Giderimi % |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                    | 436 nm          | 525 nm          | 620 nm          | Pt-Co           |
| UC100T             | 25,3            | 16,1            | 10,9            | 25,5            |
| MV020T             | 25,2            | 17,4            | 3,8             | 17,9            |
| MP005              | 25,4            | 35,5            | 57,5            | 32,6            |
| UF+NF270 12 bar    | 96,6            | 98,2            | 98,4            | 99,1            |
| UF+NF270 15 bar    | 98,2            | 99,1            | 99,2            | 99,4            |
| MV0,2+NF270 12bar  | 96,7            | 98,6            | 98,8            | 98,5            |
| MV0,2+NF270 15 bar | 97,8            | 98,8            | 99,2            | 99,4            |
| MP005+NF270 12 bar | 97,8            | 99,3            | 99,2            | 99,4            |
| MP005+NF270 15 bar | 98,9            | 99,4            | 99,4            | 99,6            |
| MP005+BW30 30 bar  | 99,0            | 99,6            | 99,6            | 99,7            |
| NF270 12 bar       | 93,8            | 97,9            | 98,2            | 98,7            |
| NF270 15 bar       | 96,6            | 98,7            | 98,9            | 99,3            |
| BW30 30 bar        | 98,4            | 99,4            | 99,4            | 99,5            |

Renk giderimine baktığımızda optimum koşul için kombine arıtmaların hepsi uygun olmaktadır. Optimum koşul için KOİ ve akı göz önünde bulundurulması renk parametresine göre daha önemlidir, çünkü renk her şekilde kombine arıtmayla yüksek verimle giderilmektedir.

**Çizelge 4.11:** Tüm deney sistemlerinden elde edilen süzüntü akımlarının TÇM, iletkenlik, tuzluluk, pH ve sıcaklık ölçüm sonuçları.

| Süzüntü             | TÇM  | İletkenlik | Tuzluluk | pH   | Sıcaklık |
|---------------------|------|------------|----------|------|----------|
|                     | g/L  | mS/cm      | ‰        |      | °C       |
| HAM                 | 27,4 | 44,1       | 28,6     | 5,55 | 17,8     |
| UF                  | 26,1 | 42,3       | 27,2     | 5,52 | 20       |
| MF020T              | 25,6 | 41,5       | 25,8     | 5,57 | 19       |
| MF005               | 25,5 | 41,5       | 26,7     | 5,57 | 20       |
| UF+NF270 12bar      | 23   | 38         | 24       | 5,41 | 18       |
| UF+NF270 15bar      | 22,3 | 36,5       | 23,2     | 5,36 | 18       |
| MF020T+NF270 12 bar | 21,3 | 35,3       | 22,3     | 5,33 | 18       |
| MF020T+NF270 15 bar | 21   | 34,8       | 22       | 5,3  | 18       |
| MF005+NF270 12 bar  | 21,5 | 35,5       | 22,5     | 5,3  | 20       |
| MF005+NF270 15 bar  | 21,3 | 35,1       | 22,1     | 5,36 | 19       |
| NF270 12 bar        | 23,4 | 38,4       | 24,5     | 5,34 | 19       |
| NF270 15 bar        | 22   | 36,2       | 23       | 5,32 | 19       |
| MF005+BW30 30 bar   | 2,11 | 4,07       | 2,2      | 5,09 | 20       |
| BW30 30 bar         | 2    | 3,86       | 2        | 5,05 | 20       |

**Çizelge 4.12:** Tüm deney sistemlerinden elde edilen konsantre akımlarının TÇM, iletkenlik, tuzluluk, pH ve sıcaklık ölçüm sonuçları.

| Konsantre          | TÇM  | İletkenlik | Tuzluluk | pH   | Sıcaklık |
|--------------------|------|------------|----------|------|----------|
|                    | g/L  | mS/cm      | ‰        |      | °C       |
| HAM                | 27,4 | 44,1       | 28,6     | 5,55 | 17,8     |
| UF                 | 24,8 | 40,4       | 25,8     | 5,4  | 20       |
| MF020T             | 25,3 | 41,1       | 26,4     | 5,21 | 19       |
| MF005              | 24,5 | 39,9       | 25,5     | 5,41 | 20       |
| UF+NF270 12bar     | 25,9 | 42         | 27       | 5,47 | 18       |
| UF+NF270 15bar     | 27,5 | 42,3       | 28,6     | 5,46 | 18       |
| MF020T+NF270 12bar | 25,3 | 41,1       | 26,3     | 5,44 | 18       |
| MF020T+NF270 15bar | 26,3 | 42,6       | 27,4     | 5,38 | 18       |
| MF005+NF270 12 bar | 24,4 | 39,8       | 25,5     | 5,45 | 20       |
| MF005+NF270 15 bar | 25,7 | 41,7       | 26,9     | 5,44 | 19       |
| NF270 12 bar       | 27,1 | 43,8       | 28,3     | 5,41 | 19       |
| NF270 15 bar       | 26,5 | 43         | 27,7     | 5,34 | 20       |
| MF005+BW30 30 bar  | 24,8 | 40,3       | 25,9     | 5,46 | 19       |
| BW30 30 bar        | 25,9 | 42         | 27       | 5,18 | 20       |

**Çizelge 4.13:** Tüm deney sistemlerinden elde edilen süzüntü akımlarının TÇM, iletkenlik ve tuzluluk giderim verimleri.

| Süzüntü Numuneleri  | İletkenlik Giderimi | TÇM Giderimi | Tuzluluk Giderimi |
|---------------------|---------------------|--------------|-------------------|
|                     | %                   | %            | %                 |
| UF                  | 4,1                 | 4,7          | 4,9               |
| MF020T              | 5,9                 | 6,6          | 9,8               |
| MF005               | 5,9                 | 6,9          | 6,6               |
| UF+NF270 12bar      | 13,8                | 16,1         | 16,1              |
| UF+NF270 15bar      | 17,2                | 18,6         | 18,9              |
| MF020T+NF270 12 bar | 20                  | 22,3         | 22,0              |
| MF020T+NF270 15 bar | 21,1                | 23,4         | 23,1              |
| MF005+NF270 12 bar  | 19,5                | 21,5         | 21,3              |
| MF005+NF270 15 bar  | 20,4                | 22,3         | 22,7              |
| NF270 12 bar        | 12,9                | 14,6         | 14,3              |
| NF270 15 bar        | 17,9                | 19,7         | 19,6              |
| MF005+BW30 30 bar   | 90,8                | 92,3         | 92,3              |
| BW30 30 bar         | 91,2                | 92,7         | 93,0              |

Çizelge 4.13'te tüm deney sistemlerinden elde edilen süzüntü akımlarının TÇM, iletkenlik ve tuzluluk giderim verimleri gösterilmektedir. Çalışmanın amacı yüksek KOİ ve tuzluluk parametrelerini ayrı akımlarda tutabilmektir. Bu amaçla NF membranları ileri arıtmada kullanıldı. NF membranlarından sadece NF270 membranıyla akı elde edilebildi. NF270 membranı çizelgedeki sonuçlara göre tuzu süzüntüye geçirmektedir. Tuzu giderme verimi NF270 membranıyla farklı arıtma deneyleriyle yaklaşık olarak %16-23 arasında değişmektedir. Yani tuzun yaklaşık olarak %80 kadarı konsantre kısımda kalmaktadır. BW30 ters osmoz membranıyla ise tuz giderimi %92-93 civarında gerçekleşmiştir. Bu durumda hem KOİ hem de tuzluluk giderimi %90'ın üzerinde olmuş yani her iki parametrede konsantre kısımda yüksek oranda bulunmaktadır. Bu nedenle BW30'un çalışma amacına göre uygulanması uygun değildir. UF+NF270 membranının 15 bar basınçta uygulanması ile KOİ'nin %75'i konsantre kısımda kalırken, tuzluluğun ise yaklaşık % 82'si süzüntü kısımda bulunmaktadır. Amacımıza uygun olarak tuzlu kısım süzüntüde, yüksek KOİ'li kısım konsantre kalmaktadır.

Yukarıda karşılaştırdığımız bütün deney sonuçları doğrultusunda maya seperasyon atıksuyundan renk giderimi ve oluşan süzüntü-konsantre akımlarının yeniden kullanılabilmesi için seçilen optimum arıtma sistemi 15 bar basınçta uygulanmak üzere UF+NF270 kombine arıtımı seçilmiştir.

#### **4.9 Optimum Arıtmadan Elde Edilen Süzüntünün Karakterizasyonu**

Optimum arıtma sistemi olarak UF+NF270 kombine arıtımının 15 bar basınçta uygulanması seçilmiştir. Optimum koşulda elde edilen süzüntü fazında karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda süzüntü fazında; KOİ, BOİ5, AKM, UAKM, TÇM, iletkenlik, tuzluluk, pH ve renk ölçümleri yapılmıştır. Çizelge 4.14'te optimum koşul için yapılan karakterizasyon sonuçları yer almaktadır.

**Çizelge 4.14:** UF+NF270 optimum arıtma koşulu için karakterizasyon çalışması sonuçları.

| Parametre        | Birim           | UF+NF270 15 bar | Verim (%) |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| KOİ <sub>T</sub> | mg/L            | 13000           | 75        |
| BOİ <sub>5</sub> | mg/L            | 868             | 96,5      |
| AKM              | mg/L            | 172             | 93        |
| UAKM             | mg/L            | 70              | 96        |
| İLETKENLİK       | mS/cm           | 36,5            | 14        |
| TUZLULUK         | ‰               | 23              | 20        |
| TÇM              | g/L             | 22              | 19        |
| pH               | -               | 5,35            | -         |
| RENK             |                 |                 |           |
| 436 nm           | m <sup>-1</sup> | 5,5             | 98,2      |
| 525 nm           | m <sup>-1</sup> | 3               | 99,1      |
| 620 nm           | m <sup>-1</sup> | 1,5             | 99,2      |
| Pt-Co            | Pt-Co           | 197             | 99,4      |

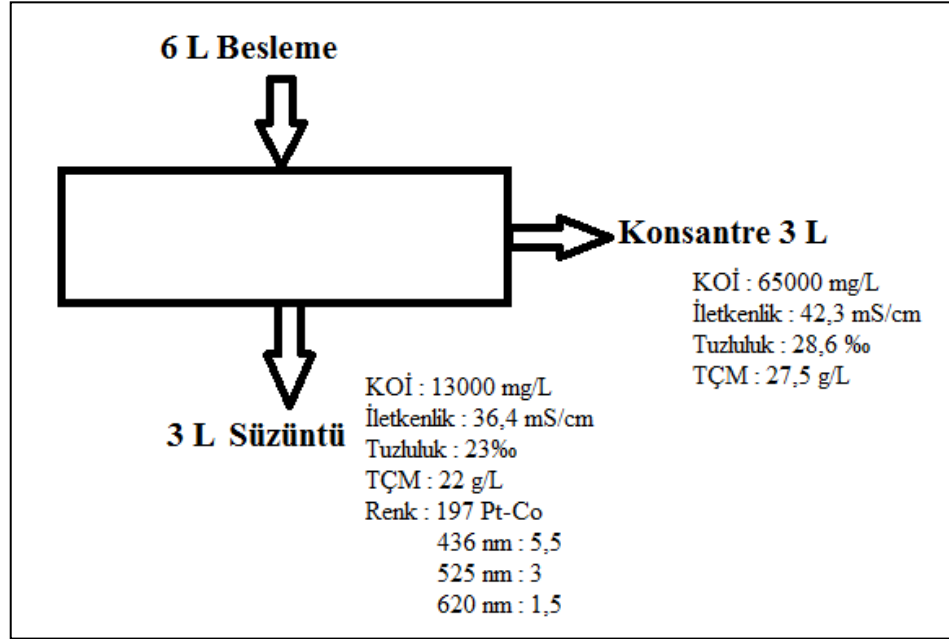
Optimum arıtma seçilen UF+NF270 kombine arıtımının 15 bar basınç altında yürütülmesi ile;

- KOİ %75,
- BOİ<sub>5</sub> %96,5
- AKM % 93
- UAKM %96
- İletkenlik % 14
- TÇM %19
- Tuzluluk %20 civarında giderilmiştir.

Renk parametresi ise Avrupa Normu'nda belirtilen standart 3 dalga boyunda 436, 525 ve 620 nm'de sırasıyla yaklaşık olarak 98, 99 ve 99% giderilmiştir. Pt-Co biriminde renk giderimi ise %99,4 civarında gerçekleştirilmiştir. Avrupa Normunda 436, 525 ve 620 nm için sınır değerleri olan 7, 5 ve 3 m<sup>-1</sup> optimum koşulda arıtım ile sağlanmaktadır. Ayrıca SKKY'ye yeni dahil edilen renk parametresi sınırı olan 260 Pt-Co'da bu arıtma sonrası aşılmamaktadır.

Seçilen optimum kombine arıtım bir gün süreyle ile (UF+NF270 15 bar basınçta) yapılan arıtma sonucunda akı geri kazanımı %50 civarında gerçekleşmiştir. Besleme tankına 6 litre UF membranıyla ön arıtım sonrası elde edilen süzüntü suyu koyulmuştur. NF270 membranıyla 15 bar basınçta gerçekleştirilen ileri arıtım

sonrası süzöntü kabında 3 litre arıtılmış su birikmiştir. Optimum arıtma sonrası süzöntü ve konsantre fazlarının durumu Şekil 4.113'te basitçe şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 4.113:** Optimum arıtma sonrası elde edilen akı geri kazanımı ve karakterizasyonun özet gösterimi.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir ekmek mayası fabrikasının maya seperasyon atıksuları ile çalışılmıştır. Tesiste evaporasyon ünitesi, anaerobik ve aerobik arıtma prosesleri bulunmaktadır. Maya üretim aşamalarından sonra üretilen %4-5 kuru madde muhtevalı maya çözeltisi, seperatörlerde süzildükten sonra %18-22 kuru madde muhtevalı maya sütü elde edilmektedir. Bu işlem sonrası oluşan atıksuda; KOİ, azot, organik kirlilik miktarı yüksek olmakla birlikte rengi de çok koyudur. Bu noktadan alınan atıksuda öncelikle bir karakterizasyon çalışması yapılmış ve ardından bir dizi membran proses deneyleri uygulanarak arıtma sonrası oluşacak süzüntü ve konsantre fazların tesiste yeniden kullanımı araştırılmıştır.

Karakterizasyon çalışmaları ile KOİ değeri 52000 mg/L civarında bulunmuştur. BOİ<sub>5</sub> değeri 24700 mg/L olup oldukça yüksektir. Toplam azot miktarı 3964 mg/L olarak hesaplanmış olup % 95 kadarı TKN'dir. Toplam çözünmüş madde miktarı 24,7 g/L, iletkenliği 44 mS/cm ve tuzluluk da 29‰ olarak ölçülmüştür. Renk değeri ise Pt-Co biriminde ölçüldüğünde 33460 olarak bulunmuştur. SKKY'ye renk parametresi için 24.04.2011 tarihli 24971 sayılı resmi gazetede belirtilen sınırlama ile renk 24 saatlik kompozit numune ile 260 Pt-Co değerini aşmamalıdır. SKKY'de revize edilen bu değişiklik ile rengin giderilmesi günümüzde çok önemli hale gelmiştir. Avrupa Normu'nun belirlediği sınırlandırmaya göre üç farklı dalga boyunda 436, 525 ve 620 nm'de yapılan renk ölçümleri sonrası hesaplanan RES sayıları sırasıyla; 7, 5 ve 3 m<sup>-1</sup> olması gerekirken, 309, 337 ve 106 m<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

Karakterizasyon çalışması ile kirlilik yükleri belirlenen seperasyon atıksuyu için uygun arıtma yöntemleri araştırılmıştır. Membran prosesler ile süzüntü ve konsantre fazlarının tesis içinde yeniden kullanımı için gerekli parametreler belirlenmiştir. Konsantre fazında yüksek KOİ'yi tutup süzüntü fazına tuzluluğu geçirmek amacıyla farklı membranlar ile kombine arıtmalar denenmiştir.

Sürekli olarak takip edilen akı değerlerinin önce azalan daha sonra da sabit bir forma dönüşme eğilimi gösterdiği görülmüştür. Kullanılan nanofiltrasyon membranlarından

NF270 membranıyla en iyi akı değerleri elde edilirken, NF90 ve XLE membranları ile akı elde edilememiştir.

Membrana uygulanan basınç değerleri kullanılan nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları için farklı değerlerdedir. Bunun sonucunda görülmüştür ki basınç değerlerinin artırılması membranın filtrasyon kapasitesini arttırmaktadır. Ayrıca sistemin basıncı artırıldığında akı miktarında da belirli ölçüde bir artış gözlenmiştir.

NF270 membranı maya seperasyon atıksularında KOİ ve renk giderimi için en uygun membran olarak seçilmiştir. NF270 membranı ile atıksuya doğrudan ya da kombine şekilde arıtma uygulandığında her deney sonucunda % 70 üzerinde KOİ giderimi elde edilmiştir. NF270 membranı ile doğrudan atıksuya ya da kombine arıtım uygulaması ile renk giderimi ise %96,6-99,6 arasında gerçekleşmiştir.

BW30 membranı ile direk uygulama ve MF 0,05µm ile kombine arıtım sonrası akı çok düşük seviyede (0,8 L/m<sup>2</sup>\*h civarında) elde edilmiştir. Süzüntüde, KOİ % 94, Renk % 99,4, iletkenlik, tuzluluk ve TÇM değerlerinde %90 üzerinde giderim verimi elde edilmiştir. Fakat akı değeri çok düşük olduğu için uygulanması mümkün değildir. Ayrıca ters osmoz membranları ile ileri arıtım uygulandığında KOİ ve tuzluluk parametreleri konsantre fazda kalacaktır. Bu da iki fazın etkin şekilde tesiste yeniden kullanımına uygun değildir.

Geri kazanım çalışmaları sonucunda %50 lik geri kazanım oranı ile en verimli arıtma UF + NF270 membranı ile 15 bar basınçta gerçekleştirilmiştir.

Optimum arıtma seçilen UF+NF270 kombine arıtımının 15 bar basınç altında yürütülmesi sonucunda süzüntü fazında; renk %98-99, KOİ % 75, BOİ<sub>5</sub> %96,5, AKM % 93, UAKM %96, iletkenlik % 14, TÇM %19 ve tuzluluk %20 civarında giderilmiştir.

Konsantre fazında KOİ değeri 65000 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre süzüntü suyunda tuzluluk yüksek, konsantre kısmında ise KOİ yüksek oranda bulunmaktadır.

Maya prosesinin çok yüksek KOİ'li seperasyon atıklarını düşük KOİ, TKN ve renk kirliliğine sahip ve biyolojik olarak ayrışabilirliğini arttırmak amacıyla evaporasyon tesisi kurulmuştur. Bu tesis ile maya atıklarının geri kazanımı sayesinde vinas elde edilmesi sağlanmaktadır. Evaporasyondan çıkan kondensat daha kolay arıtılabilir ve rengi daha açıktır. Bu amaçlar doğrultusunda membran proseslerle arıtım sonrası

oluşan konsantre fazı evaporasyon ünitesine verilip vinas üretiminde kullanılabilir. Ayrıca organik kirliliği yüksek konsantre fazın tesiste yeniden kullanımı ile bu atığın deşarjında oluşabilecek sıkıntılar önenebilir.

Membran prosesler ile arıtım sonrası elde edilen süzüntü fazı ise maya üretimi için yeniden kullanılabilir. Süzüntü fazında yüksek tuzluluk bulunması, maya üretimi için ilave edilmesi gereken tuz miktarından tasarruf sağlayacaktır. Ayrıca suyun yeniden kullanımı ile üretim için gerekli su miktarı da azalacaktır.

Araştırma kapsamında, önemli ölçüde su tüketim kapasitesine sahip bir ekmek mayası endüstrisi atıksularının membran teknolojileri kullanarak endüstri içerisinde yeniden kullanılabilir kaliteye ulaştırılabilir nitelikte su üretilmesi sebebiyle su kullanımı açısından tasarruf alternatifleri geliştirebileceği anlaşılmıştır.

Laboratuvar ölçekli olarak yapılan bu çalışmanın, uygulamaya tam olarak aktarılabilmesi için endüstride pilot ölçekli çalışmalarla doğrulanmalıdır.

Optimum koşullar için yapılması önerilen pilot tesisin maliyeti yaklaşık olarak 150.000-175.000 TL civarında olacaktır (Debi:300L/sa , Akı (15bar): 12l/mh ve gerekli membran alanı : 25 m<sup>2</sup> için). Bu fiyat içerisinde membran maliyetleri, pompalar, konteynır, tanklar (atıksu tankı, permeat tankı), kontrol paneli, kompresör, Scada sistemi, online ölçüm ve kontrol sistemleri vs. yer almaktadır.

Kullanılan ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membranlarının çalışma ömürlerini belirlemek amacıyla, membranların tıkanma ve temizleme periyotlarının belirlenmesi için uzun süreli işletme şartlarındaki davranışları izlenmelidir.



## KAYNAKLAR

- Agarwal, C.S. and Pandey, G.S.**, 1994. Soil pollution by spent wash discharge: depletion of manganese (II) and impairment of its oxidation. *Journal of Environmental Biology*, **15**, 49-53.
- Altınbaş, M., Aydın, A., F., Sevimli, M., F., and Öztürk, İ.**, 2003. Advanced Oxidation of Biologically Pretreated Baker's Yeast Industry Effluents for High Recalcitrant COD and Color Removal, *Journal of Environmental Science and Health*, **A38** (10), 2229-2240.
- APHA, AWWA, WEF**, 1995. *Standart methods for the examination of water and wastewater*, 0-87553-223-3.
- Arhan, Y., Öztürk, I., and Çiftçi, T.**, 1996, Settling and Dewatering Characteristics of Sludge from Baker's Yeast Production Wastewater Treatment, *Water Science and Technology*, **34**, 459-467.
- Arslan, İ.**, 2000. Treatment of reactive dye-bath effluents by heterogeneous and homogeneous advanced oxidation process, *Doktora tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Babürşah, S., Çakmakçı, M. ve Kınacı, C.**, 2004. Tekstil atıksularının geri kazanımı ve yeniden kullanılmasının maliyet analizi, *İTÜ 9. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu*, 2-4 Haziran.
- Baker, R.W.**, 2004. *Membrane Technology and Applications*, John Wiley&Sons, Ltd., Chichester, England.
- Barlas, H.**, 1999. Endüstriyel atıksular için renk parametresi önerisi, Türkiye' de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, Tübtak Gebze YTE, 14-15 Ekim.
- Barlas, H.**, 2002. "Suların arıtımında ileri teknolojiler" ders notları, İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul.
- Birgül, A. ve Solmaz, S.K.A.**, 2007. Tekstil Endüstrisi Atıksuları Üzerinde İleri Oksidasyon ve Kimyasal Arıtma Prosesleri Kullanarak KOİ ve Renk Gideriminin Araştırılması, *Ekoloji Dergisi*.
- Brick, M., Schoeberl, B., Chamam, R., Braun, and Fuchs W.**, 2006. Advanced Treatment of Textile Wastewater Towards Reuse Using a Membrane Bioreactor, *Process Biochemistry* **41**, 1751-1757.
- Büyükdere, A.**, 2008. Tekstil endustrisi atıksularının membran teknolojileri ile arıtılması ve geri kazanılması, *Yüksek lisans tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Can, E.**, 2003. Atıkların Biyolojik Arıtılabilirliğine Fotokatalitik Oksidasyon Prosesinin Etkisi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmit.

- Cardew, P.T. and Le, M.S.,** 1998. *Membrane Processes: A Technology Guide*, Athenacum Press Ltd., England.
- Çatalkaya, E., Ç., Şengül, F.,** 2006. Application of Box-Wilson Experimental Design Method for the Photodegradation of Bakery's Yeast Industry with UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) Process, *Journal of Hazardous Materials*, **128**, 201-207.
- Çiftçi, T. and Öztürk, I.,** 1993. Anaerobic Treatment of the High Strength Wastes from the Yeast Industry, *Water Science and Technology*, **28**, 199-209
- Çiftçi, T., Öztürk, I.,** 1995. Nine Years of Full Scale Anaerobic-Aerobic Treatment Experiences with Fermentation Industry Effluents, *Water Science and Technology*, **32**, 131-139.
- Dağaşan, L., Alkan, R., Yonsel, Ş., ve Arhan, Y.,** 1996. Maya atıksularında renk giderimi çalışmaları, *İkinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, Bildiri Kitabı, 2. cilt.
- Delipınar, Ş.,** 2007. Maya endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyon ve kimyasal koagülasyon ile arıtımı, Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deveci, N. and Çiftçi, G.,** 2000. A Mathematical Model for the Anaerobic Treatment of Baker's Yeast Effluents, *Waste Management*, **21**, 99-103.
- Eckenfelder, W.,** 1989. *Industrial Water Pollution Control*, Mc Graw Hill International Editions London, UK.
- Eren, H.A., Anış, P.,** 2006. Tekstil Boyama Atıksularının Ozonlama ile Renk Giderimi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi, **11** (1).
- Fried, J.R.,** 2003. *Polymer Science and Technology*, Prentice-Hall PTR, pp. 485-525, Upper Saddle River, USA.
- Gönder, Z.B., Kaya, Y., Vergili, İ., and Barlas, H.,** 2003. Determination of capacity loss in anion exchange resins fouling with organic materials, 12th International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in The Mediterranean Region, Antalya-Turkey, October 4-8.
- Gönder, Z.B.,** 2004. Fenton Prosesi ve İyon Değişimi Kombinasyonu ile Renkli Atıksuların Arıtımı, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü .
- Gönder, Z.B. ve Barlas, H.,** 2005. Fenton Prosesi ile Renkli Atıksulardan Renk ve KOI Giderimi, 2. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi.
- Gönüllü, M.T.,** 2004. *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü*, Cilt 1, Birsan Yayınevi İstanbul, Türkiye.
- Görün, M.,** 2010. Atıksularda Renk Problemi ve Maya Endüstrisi Atıksularında Renk Giderimi İçin Bir Ticari Ürünün Uygulaması, *Lisans tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi.

- Kaleli, B.,** 2006. Atıksuların İleri Arıtımında Membran Proseslerinin Kullanımının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kalyunzyhi, S.,** 2005. Integrated Biological (Anaerobic-Aerobic) and Physico-Chemical Treatment of Baker's Yeast Wastewater, *Water Science and Technology*, **52**, 273- 280.
- Kapdan, İ.K. ve Kargı, F.,** 2000. Tekstil boyarmaddeleri içeren atıksuların aktif çamur ünitesinde adsorpsiyonlu biyolojik arıtımı, I. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 4-6 Ekim.
- Kaya, A.,** 2007. Ağır metallerin sulu çözeltilerden polimer membranlar ve polimer adsorplayıcılar kullanılarak ayrılması, *Yüksek lisans tezi*, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Kaya, Y.,** 2007. Nanofiltrasyon ile proses sularından organik maddelerin geri kazanımının araştırılması, *Doktora tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kayar, M.,** 2003. Membran Filtrasyonu Yöntemi ile Atık Sularda Renk Giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bursa, Türkiye.
- Kaykıoğlu, G.,** 2010. Biyolojik ön arıtmalı membran sistemler ile tekstil atıksularının geri kazanımı, *Doktora tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kaykıoğlu, G. and Debik, E.,** 2006. Color Removal From Textile Wastewater With Anaerobic Treatment Processes, *Journal of Engineering and Natural Sciences*.
- Keuler, M.,** 1993. Identification and control of a fedbatch process, *Ph. D. Thesis*, Technische Universiteit Eindhoven, Holland.
- Kocaer, F.O. and Alkan, U.,** 2002. Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi, **7** (1).
- Koyuncu, İ.,** 1997. Membran teknolojisinin çevre mühendisliğinde kullanım potansiyeli ve ters osmoz ile amonyum iyonu giderimi, *Yüksek lisans tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Koyuncu, İ., Yalçın, F., and Öztürk, İ.,** 1999. Color Removal of High Strength Paper and Fermentation Industry Effluents with Membrane Technology.
- Koyuncu, İ.,** 2001. Nanofiltrasyon membranları ile tuz gideriminde organik iyon etkisi, *Doktora tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kumar, V., Wati, L., Nigam, P., Banat, I.M., Macmullan, G., Singh, D., and Marchant, R.** 1997. Microbial decolorization and bioremediation of anaerobically digested molasses spent wash effluent by aerobic bacterial culture. *Microbios*, **89**, 81-89.

- Kumar, P. and Chandra, R.,** 2006. Decolorization and detoxification of synthetic molasses melanoidins by individual and mixed cultures of *Bacillus* spp. *Bioresource Technology*, **97** (16), 2096-2102.
- Kural, E.,** 2000ç. Tekstil boyahane atıksularının nanofiltrasyon membranları ile geri kazanımı ve renk giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kutay, H.,** 2001. Ekmek mayası (*saccharomyces cerevisiae*)'nın çeşitli methodlar ile immobilizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, GYTE, Gebze, Türkiye.
- Mahramanhoğlu, M., Kızılcıklı, İ., ve Çınarlı, A.,** 2006. Selçuk Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi, Bazik Boyar Maddelerin Ağaçlı Kömürlerinden Elde Edilen Aktif Karbon Üzerinde Adsorpsiyonu, **21**, 3 - 4.
- Miyata, N., Mori, T., Iwahori, K., and Fujita, M.,** 2000. Microbial decolorization of melanoidin containing wastewaters: Combined use of activated sludge and the fungus *Coriolus hirsutus*. *J.Biosci. Bioeng*, **89**, 145-150.
- Mollah, M.Y.A., Pathok, S.R., Patil P.K., and Vayuvegulas, M.,** 2004. Treatment of orange II azo-dye electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrodes, *Journal of Hazardous Materials B*, **109**, 165-171.
- Mollah, MYA., Schennach, R., Parga, JR., and Cocke, DL.,** 2001. Elektrocoagulation (EC) Science and Applications, *Journal of Hazardous Materials*, **B84**, 29-41.
- Mulder, M.,** 1996. *Basic principles of membrane technology*, Kluwe Academic Publisher, 0-7923-4248-8, Netherlands.
- Mutlu, S., H., Yetiş, U., Gürkan, T., and Yılmaz, L.,** 2001, Decolorization of Wastewater of a Baker's Yeast Plant by Membrane Processes, *Water Research*, **36**, 609-616.
- Narlin Gıda Turizm İthalat İhracat San. Ve Tic. Ltd. Şti. Maya Üretim Tesisi Nihai Çed Raporu,** 2010. Denizli İli, Sarayköy İlçesi, Duacılı Beldesi Kemiklik Mevkii
- Orkun, O.M. ve Kuleyin, A.,** 2007. Elektokoagülasyon Yöntemi Kullanılarak Kristal Viyole Boyar Maddesinin Gideriminin İncelenmesi, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 24-27 Ekim.
- Ölmez, T., Kabdaşlı, I., ve Tünay, O.,** 2003. Tekstil Endüstrisi Reaktif Boya Banyolarında Ozon ile Renk Giderimine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi, *SKKD*, **13** (1), 19 – 24.
- Öztürk, İ., Koyuncu, İ., ve Altınbaş, M.,** 2010. Proses ve Kirlilik Profili ile Atıksu Arıtma Tesisi Performans Değerlendirme Raporu, Pak Gıda A.Ş. Düzce Fabrikası, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
- Painter, T.J.,** 1998. Carbohydrate polymers in food preservation: an integrated view of the Maillard reaction with special reference to discoveries of preserved foods in Sphagnum-dominated peat bogs, *Carbohydr.Polym*, **36**, 335-347.

- Pala, A. and Erden, G.,** 2005. Decolorization of a Beaker's Yeast Industry Effluent by Fenton Oxidation, *Journal of Hazardous Materials*, **127**, 141-148.
- Pinto, C.G., Laespada, M.E.F., Pavon, J.L.P., and Cordero, B.M.,** 1999. Analytical Applications of Separation Techniques through Membranes, Laboratory Automation and Information Management, **34**, 115-130.
- Rautenbach R., Linn T., and Eilers L.,** 2000. Treatment of Severely Contaminated Wastewater by a Combination of RO, High-Pressure RO and NF-Potential and Limits of Process, *Journal of Membrane Science*, **174**, 231-241.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., and Nigam, P.,** 2001. Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies with a Proposed Alternative, *Biores. Technology*, **77**(3): 247-255.
- Saeki, T., Sanda, Y., Michiki Y., Itomine, A., Murakami, K., and Fujii, S.,** 1992, Studies on The Colored Components in Cane Final Molasses. *Proc. Res. Soc. Japan Sugar Refineries Technologists*. **40**, 53-63.
- Safriet, D.,** 1994. *Yeast Production*, U.S. Environmental Protection Agency, 4601-08, 1-35.
- Scott, K.,** 1996. *Industrial Membrane Separation Technology*, Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, Great Britain.
- Scott, K.,** 1995. *Handbook of Industrial Membranes*, Elsevier Advanced Technology Oxford, London.
- Sevimli, M., F., Citil, E., and Öztürk, I.,** 2001. Treatment of Biologically Treated Effluents from Baker's Yeast Industry by Membrane and Ozone Technologies, *Toxicological and Environmental Chemistry*, **80**, 117-132.
- Sevimli, M. F. and Sarıkaya, H.Z.,** 2002. Ozone Treatment of Textile Effluents and Dyes: Effect of Applied Ozone Dose, pH and Dye Concentration, *Journal of Chemistry and Biotechnology*, **77**, 842-850.
- Slater, C.S., Zielinski, J.M., Wendel, R.G., and Uchirin, C.G.,** 1985. Modelling of small scale reverse osmosis systems, *Desalination*, **52**, 267-284.
- Standart Methods For The Examination of Water & Wastewater,** 2005. 21. Baskı..
- Stone, C.,** 1998. *Yeast Products in the Feed Industry*, Diamond V Mills, Inc. Cedar Rapids, Iowa, 3-15.
- SKKY,** 2004. *Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Resmi Gazete No: 25687, 31.12.2004.
- SKKY,** 2004. *Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Resmi Gazete No: 27914, 24.04.2011.
- SKKY,** 2004. *Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Resmi Gazete No: 26786, 13.02.2008.

- Tchobanoglous, G. and Stensel, H. D.,** 2003. Membrane Filtration Processes in Wastewater Engineering: Treatment and Reuse/ Metcalf&Eddy, 1104-1136, The McGraw-Hill Inc., New York.
- Url-1 <<http://www.cem.yildiz.edu.tr>>, alındığı tarih 12.02.2011.
- Van de Merve, M. and Britz, T., J.,** 1993. Anaerobic Digestion of Baker's Yeast Factory Effluent Using an Anaerobic Filter and a Hybrid Digester, *Bioresource Technology*, **43**, 169-174.
- Van de Merve, M., Britz, T., J.,** 1997. Combined Pre-degradation and Anaerobic Digestion for the Treatment of a Baker's Yeast Factory Effluent, *Water Science and Technology*, **36**,295-301.
- Wiesner, M.R. and Aptel, P.,** 1996. Mass Transport and Permeate Flux and Fouling in Pressure-Driven Process in Water Treatment, Chapter 4, Eds. Mallevielle, J., McGraw-Hill.
- Wu, Y., C. and Kao, C., F.,** 1976. Yeast Plant Wastewater Treatment, *Journal of the Environmental Engineering Division*, **102**, 969-984.
- Yalçın, F.,** 1998. Membran proseslerle endüstriyel atıksularda renk giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yaşar, A., Ahmad, N., and Khan, A.,** 2006. Energy Requirement of Ultraviolet and AOPs for the Post- Treatment of Treated Combined Industrial Effluent, *Coloration Technology*, **122**, 201-206.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Ülkü Pak, 1985 yılında İstanbul'da doğdu. 2004 yılında Bahçelievler Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı ve 2008 yılında mezun oldu. 2009 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Ökoteck Çevre Teknolojisi ve Kimya San. Ltd. Şti.'de Çevre Mühendisi olarak görev yapmaktadır.