

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL BOYAHANE ATIKSULARININ  
NANOFİLTRASYON MEMBRANLARI İLE  
GERİ KAZANIMI VE RENK GİDERİMİ**

8-03-00  
T.C. YÜKSEK LİSANS  
DOKÜMANLARI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Çevre Müh. Ebru KURAL**  
**(501970440011)**

101230

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Ocak 2000**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Şubat 2000**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Dinçer TOPACIK**  
**Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Orhan İNCE**  
**Y.Doç.Dr. Mehmet KOBYA (Gebze Yük. Tek.)**

**ŞUBAT 2000**

## ÖNSÖZ

Endüstrileşme sürecinin başlamasıyla dünyada ve buna bağlı olarak ülkemizde doğal kaynakların sınırlılığı dikkatleri üzerine toplamıştır. Bu kaynaklardan bizden sonraki nesillerin de faydalanmak zorunda olduğu gerçeği ise doğal kaynakların hoyratça kullanılamayacağını göstermiştir. Buna yönelik olarak dünyada ve ülkemizde sürdürülebilir kalkınma hedeflenmiştir. Sınırlı kaynaklarımızın başında gelen suya olan ihtiyacımızın endüstrileşme ile bir kat daha artması ve mevcut su kaynaklarının giderek azalmakta ve kirlenmekte olması Türkiye’de de Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’nin yayınlanmasına ve kullanılmış su deşarjında sınırlamalara neden olmuştur. Böylece de 1980’li yıllardan itibaren Membran Teknolojileri ülkemizde ileri su arıtımında yer almaya başlamıştır. İlk yatırım maliyeti yüksek olan bu teknoloji, suyun ve atıksuya bulaşmış üretimde kullanılan değerli kimyasalların geri kazanımı göz önüne alınıp ileriye yönelik düşünüldüğünde cazip hale gelmektedir. Bu yöndeki inceleme ve araştırmalar bazen endüstri-üniversite işbirliği bazen de üniversitelerin kendi çabalarıyla sürmektedir. Tekstil endüstrisinde membran teknolojisini konu alan bu tezin, ülkemizde eksikliği duyulan bilimin hayata geçirilmesinde katkıda bulunacağını umut ediyorum.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca ve bu çalışmada yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, aynı zamanda membran pilot tesislerini üniversitemize kazandırarak bu konuda çalışma fırsatını bizlere sunan , Sayın Hocam Prof. Dr. Dinçer TOPACIK’a şükranlarımı arz ederim.

Türkiye’de ters ozmos ile arıtım konusunda ilk çalışmayı yapmış olan ve benim çalışmamda da yardımcı ve rehber olan Araştırma Görevlisi Sayın İsmail KOYUNCU’ya teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca bana emek vermiş hocalarıma da bu vesile ile teşekkür ederken; maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyip, her konuda bana destek olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2000

Ebru KURAL

## İÇİNDEKİLER

|                                                                 | Sayfa No |
|-----------------------------------------------------------------|----------|
| ÖNSÖZ                                                           | ii       |
| İÇİNDEKİLER                                                     | iii      |
| KISALTMALAR                                                     | vi       |
| TABLO LİSTESİ                                                   | vii      |
| ŞEKİL LİSTESİ                                                   | viii     |
| SEMBOL LİSTESİ                                                  | x        |
| ÖZET                                                            | xi       |
| SUMMARY                                                         | xiii     |
| 1. GİRİŞ                                                        | 1        |
| 1.1. Konunun Anlam ve Önemi                                     | 1        |
| 1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı                                 | 3        |
| 2. MEMBRAN İLE AYIRMA MEKANİZMASI<br>VE MEMBRANLARIN YAPISI     | 4        |
| 2.1. Giriş                                                      | 4        |
| 2.2. Membranların Yapısı                                        | 6        |
| 2.2.1. Ayırma Mekanizmasına Göre Sınıflandırma                  | 6        |
| 2.2.2. Morfolojilerine Göre Sınıflandırma                       | 7        |
| 2.2.3. Geometrilere Göre Sınıflandırma                          | 8        |
| 2.2.4. Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırma                   | 8        |
| 2.3. Modül Dizaynı ve Karakteristikleri                         | 11       |
| 2.3.1. Plak ve Çerçeve Membranlar                               | 12       |
| 2.3.2. Spiral Sargılı Membranlar                                | 13       |
| 2.3.3. Tüp Şeklindeki Membranlar                                | 14       |
| 2.3.4. Boşluklu Elyaf Membranlar                                | 15       |
| 2.3.5. Membran Tertip Tarzlarının Karşılaştırılması             | 17       |
| 3. MEMBRAN PROSESLER, KONSANTRASYON<br>POLARİZASYONU VE TIKANMA | 18       |
| 3.1. Membran Prosesler                                          | 18       |
| 3.1.1. Mikrofiltrasyon (MF)                                     | 19       |

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.2. Ultrafiltrasyon (UF)                                      | 21        |
| 3.1.3. Nanofiltrasyon (NF)                                       | 23        |
| 3.1.4. Ters Ozmos (RO)                                           | 24        |
| 3.2. Konsantrasyon Polarizasyonu ve Tıkanma                      | 29        |
| 3.2.1. Konsantrasyon Polarizasyonu                               | 30        |
| 3.2.2. Membran Tıkanması                                         | 32        |
| <b>4. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ</b>                                     | <b>34</b> |
| 4.1. Endüstrinin Tanımı                                          | 34        |
| 4.2. Üretim Prosesleri ve Atıksu Karakteristiği                  | 34        |
| 4.3. Endüstrinin Altkategorizasyonu                              | 38        |
| 4.3.1. Atıksu Karakterizasyonu                                   | 39        |
| 4.4. Tekstil Atıksularının Arıtılması ve Deşarj Standartları     | 39        |
| 4.4.1. İlk Arıtma                                                | 40        |
| 4.4.2. Fiziksel-Kimyasal Arıtma                                  | 40        |
| 4.4.3. Biyolojik Arıtma                                          | 42        |
| 4.4.4. İleri Arıtma                                              | 43        |
| <b>5. BOYAHANE ATIKSULARININ<br/>MEMBRAN PROSESLERLE ARITIMI</b> | <b>47</b> |
| 5.1. Giriş                                                       | 47        |
| 5.2. Boyama Teknolojisi                                          | 47        |
| 5.2.1. Boya Sınıflandırması                                      | 49        |
| 5.3. Boyahane Sularında Membran Uygulamaları                     | 50        |
| 5.3.1. Mikrofiltrasyon                                           | 50        |
| 5.3.1.1. Mikrofiltrasyon Uygulamasına Bir Örnek                  | 51        |
| 5.3.2. Ters Ozmos                                                | 51        |
| 5.3.2.1. Ters Ozmos Uygulamasına Bir Örnek                       | 52        |
| 5.3.3. Dinamik Membranlar                                        | 53        |
| 5.3.3.1. Dinamik Membran Uygulamasına Bir Örnek                  | 53        |
| 5.3.4. Nanofiltrasyon Membranları                                | 53        |
| 5.3.4.1. Nanofiltrasyon Uygulamasına Bir Örnek                   | 54        |
| <b>6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                                    | <b>55</b> |
| 6.1. Pilot Tesisi ve Deneylerin Yapılışı                         | 55        |
| 6.1.1. Pilot Tesis'in Tanımı                                     | 55        |
| 6.1.2. Pilot Tesiste Kullanılan Membrana Ait Teknik Bilgiler     | 56        |
| 6.1.3. Pilot Tesisin Çalıştırılması                              | 57        |
| 6.1.4. İzleme Deneylerinin Yapılışı                              | 60        |
| 6.2. Pilot Tesiste Yapılan Deneyler                              | 60        |
| 6.2.1. İncelenen Tesisin Tanımı                                  | 61        |
| 6.2.2. Birinci Aşama Deneyler                                    | 66        |
| 6.2.2.1. Birinci Aşama Deneylerin Yapılışı                       | 66        |
| 6.2.3. İkinci Aşama Deneyler                                     | 67        |
| 6.2.3.1. İkinci Aşama Deneylerin Yapılışı                        | 68        |

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ                                                                        | 69  |
| 7.1. Birinci Aşama Deneyleri                                                                                   | 69  |
| 7.1.1. Basınç Artışı İle Akı Değişiminin İncelenmesi                                                           | 69  |
| 7.1.2. Basınç Artışı İle Süzüntü İletkenliğinin İncelenmesi                                                    | 70  |
| 7.1.3. Süzüntü Suyu KOİ Değerleri ve Basınca Göre Değişimi                                                     | 74  |
| 7.1.4. Renk Giderimi                                                                                           | 75  |
| 7.1.5. Basınç Artışı – Enerji Maliyeti İlişkisi                                                                | 75  |
| 7.2. İkinci Aşama Deneyleri                                                                                    | 77  |
| 7.2.1. Farklı Basınçlarda İletkenlik – Geri Kazanım İlişkileri                                                 | 78  |
| 7.2.2. Farklı Basınçlarda Akı – Geri Kazanım İlişkisi                                                          | 81  |
| 7.2.3. Farklı Basınçlarda Besleme Suyu İletkenliği – Süzüntü Akısı<br>Süzüntü İletkenliği Arasındaki İlişkiler | 82  |
| 7.2.4. KOİ Değerlendirmesi                                                                                     | 87  |
| 7.2.5. Renk Giderimi                                                                                           | 89  |
| 7.2.6. Süzüntü Suyu Geri Kazanımı                                                                              | 90  |
| 7.2.7. Süzüntü Suyu Maliyeti                                                                                   | 93  |
| 8. MALİYET TAHMİNLERİ                                                                                          | 95  |
| 8.1. Direkt İlk Yatırım Maliyeti                                                                               | 95  |
| 8.2. İndirekt İlk Yatırım Maliyeti                                                                             | 95  |
| 8.3. İşletme Maliyeti                                                                                          | 97  |
| 8.4. Toplam Su Üretim Maliyeti                                                                                 | 98  |
| 9. SONUÇLAR                                                                                                    | 100 |
| 9.1. Birinci Aşama Deneyleri                                                                                   | 100 |
| 9.2. İkinci Aşama Deneyleri                                                                                    | 101 |
| KAYNAKLAR                                                                                                      | 105 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                                                       | 107 |

## KISALTMALAR

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| AKM | : Askıda katı madde          |
| BOİ | : Biyolojik oksijen ihtiyacı |
| KOİ | : Kimyasal oksijen ihtiyacı  |
| MF  | : Mikrofiltrasyon            |
| NF  | : Nanofiltrasyon             |
| RO  | : Ters ozmos                 |
| TDS | : İletkenlik                 |
| TKM | : Toplam katı madde          |
| TOK | : Toplam organik karbon      |
| UF  | : Ultrafiltrasyon            |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                | Sayfa No |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Tablo 2.1</b> Membranların tip ve yapıları                                                                                  | 11       |
| <b>Tablo 2.2</b> Membran tertip tarzlarının karşılaştırılması                                                                  | 17       |
| <b>Tablo 3.1</b> Membranların sürücü kuvvetlere göre sınıflandırılması                                                         | 19       |
| <b>Tablo 3.2</b> Membran proseslerde fonksiyon dağılımı                                                                        | 20       |
| <b>Tablo 3.3</b> Nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmos (RO) membranlarının tutma karakteristikleri açısından mukayesesi            | 24       |
| <b>Tablo 4.1</b> Islak tekstil işlemlerinde kirlilik yükü                                                                      | 37       |
| <b>Tablo 4.2</b> Tekstil endüstrisi atık yükleri                                                                               | 41       |
| <b>Tablo 4.3</b> Arıtma sistemlerindeki proseslerin kirletici giderme verimleri                                                | 45       |
| <b>Tablo 4.4</b> Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde tekstil sanayi (yün terbiye) atıksularının alıcı ortama deşarj standardı | 46       |
| <b>Tablo 4.5</b> İSKİ Atıksuların kanala deşarj standartları                                                                   | 46       |
| <b>Tablo 5.1</b> Tekstil boyahane atıksularının tipik karakteristikleri                                                        | 48       |
| <b>Tablo 5.2</b> Boya sınıflandırması                                                                                          | 49       |
| <b>Tablo 5.3</b> Renk giderimine göre boya sınıflandırması                                                                     | 50       |
| <b>Tablo 6.1</b> Tesisin mevcut kirlenme profili                                                                               | 63       |
| <b>Tablo 7.1</b> I. Aşama sürekli çalışma deneyleri, enerji maliyeti denklemleri                                               | 75       |
| <b>Tablo 7.2</b> Tuzlu su tank iletkenliği - geri kazanım denklemleri                                                          | 80       |
| <b>Tablo 7.3</b> Tuzlu su, averaj süzüntü iletkenliği - geri kazanım denklemleri                                               | 80       |
| <b>Tablo 7.4</b> Boyahane suyu tank iletkenliği – geri kazanım denklemleri                                                     | 80       |
| <b>Tablo 7.5</b> Boyahane suyu, averaj süzüntü iletkenliği - geri kazanım denklemleri                                          | 81       |
| <b>Tablo 7.6</b> Tuzlu su akı – geri kazanım denklemleri                                                                       | 81       |
| <b>Tablo 7.7</b> Boyahane suyu akı – geri kazanım denklemleri                                                                  | 81       |
| <b>Tablo 7.8</b> Tuzlu su tank iletkenliği – akı denklemleri                                                                   | 84       |
| <b>Tablo 7.9</b> Tuzlu su tank iletkenliği – süzüntü iletkenliği denklemleri                                                   | 84       |
| <b>Tablo 7.10</b> Boyahane atıksuyu tank iletkenliği – akı denklemleri                                                         | 84       |
| <b>Tablo 7.11</b> Boyahane atıksuyu tank iletkenliği – süzüntü iletkenliği denklemleri                                         | 84       |
| <b>Tablo 7.12</b> Tuzlu su numunesi için geri kazanım – zaman denklemleri                                                      | 92       |
| <b>Tablo 7.13</b> Boyahane atıksu numunesi için geri kazanım – zaman denklemleri                                               | 92       |
| <b>Tablo 7.14</b> II. aşama deneyleri enerji maliyeti denklemleri                                                              | 94       |
| <b>Tablo 8.1</b> İlk yatırım ve işletme maliyetleri                                                                            | 99       |

## ŞEKİL LİSTESİ

|            | Sayfa No                                                                 |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1  | Akımların şematik olarak gösterimi                                       | 5  |
| Şekil 2.2  | Membran kesitlerin şematik olarak gösterimi                              | 8  |
| Şekil 2.3  | Organik membran malzemelerinin moleküler yapıları                        | 10 |
| Şekil 2.4  | Hidrolik akış modelleri                                                  | 11 |
| Şekil 2.5  | Plak ve çerçeve membranların tertip tarzı                                | 12 |
| Şekil 2.6  | Spiral sargılı membranlar                                                | 13 |
| Şekil 2.7  | Spiral sargılı membran kabı                                              | 14 |
| Şekil 2.8  | Tüp şeklindeki membranlar                                                | 15 |
| Şekil 2.9  | Boşluklu elyaf membranlar                                                | 16 |
| Şekil 2.10 | Boşluklu elyaf membranların küçük ölçekli gösterimi                      | 17 |
| Şekil 3.1  | Filtrasyon modelleri                                                     | 21 |
| Şekil 3.2  | Ultrafiltrasyonda akının sıcaklık ve basınçla değişimi                   | 22 |
| Şekil 3.3  | Ozmos olayının şematik gösterimi                                         | 25 |
| Şekil 3.4  | Uygulanan basınca göre akının davranışı                                  | 26 |
| Şekil 3.5  | Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri                           | 29 |
| Şekil 3.6  | Membran yüzeyinde konsantrasyon profili                                  | 30 |
| Şekil 4.1  | Kimyasal pıhtılaştırma akım şeması                                       | 42 |
| Şekil 4.2  | Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi                                  | 43 |
| Şekil 4.3  | Yün terbiyesi atıksuları için en uygun arıtma teknolojisi                | 44 |
| Şekil 6.1  | Membran pilot tesisinin görünüşü                                         | 56 |
| Şekil 6.2  | Membran modülünün şematik gösterimi                                      | 57 |
| Şekil 6.3  | Deneylerde kullanılan membran modüllerinden biri                         | 57 |
| Şekil 6.4  | Pilot tesisin akım şeması                                                | 59 |
| Şekil 6.5  | Tesisin üretim şeması                                                    | 62 |
| Şekil 6.6  | İncelenen fabrikanın atıksu arıtma ve geri kazanma üniteleri             | 64 |
| Şekil 6.7  | Kararlı hal, sürekli çalışma konumu                                      | 66 |
| Şekil 6.8  | Değişken durumlu çalışma konumu                                          | 67 |
| Şekil 7.1  | Farklı numuneler için basınç akı ilişkileri                              | 70 |
| Şekil 7.2  | I. numune akı değerleri                                                  | 71 |
| Şekil 7.3  | II. numune akı değerleri                                                 | 71 |
| Şekil 7.4  | III. numune akı değerleri                                                | 72 |
| Şekil 7.5  | Farklı numuneler için basınç – iletkenlik ilişkileri                     | 72 |
| Şekil 7.6  | I. numune basınç – iletkenlik değerleri                                  | 73 |
| Şekil 7.7  | II. numune basınç – iletkenlik değerleri                                 | 73 |
| Şekil 7.8  | III. numune basınç – iletkenlik değerleri                                | 74 |
| Şekil 7.9  | Basınç – süzüntü KOİ ilişkisi                                            | 76 |
| Şekil 7.10 | Enerji maliyetinin basınçla değişimi                                     | 76 |
| Şekil 7.11 | Tuzlu su numunesinde, besleme tankı iletkenliğinin geri kazanımla artışı | 78 |
| Şekil 7.12 | Tuzlu su çalışmasında süzüntü suyu iletkenliğinin geri kazanımla artışı  | 78 |
| Şekil 7.13 | Boyahane numunesi, besleme suyu iletkenliğinin geri kazanımla artışı     | 79 |
| Şekil 7.14 | Boyahane numunesi, süzüntü suyu iletkenliğinin geri kazanımla artışı     | 79 |
| Şekil 7.15 | Tuzlu su kesikli çalışma akı – geri kazanım ilişkisi                     | 83 |

|                   |                                                                   |    |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 7.16</b> | Boyahane suyu kesikli çalışma akı – geri kazanım ilişkisi         | 83 |
| <b>Şekil 7.17</b> | Tuzlu su süzüntü akısı – besleme tankı iletkenliği ilişkisi       | 85 |
| <b>Şekil 7.18</b> | Tuzlu su süzüntü iletkenliği – tank iletkenliği ilişkisi          | 85 |
| <b>Şekil 7.19</b> | Boyahane suyu, süzüntü akısı – besleme tankı iletkenliği ilişkisi | 86 |
| <b>Şekil 7.20</b> | Boyahane suyu, süzüntü iletkenliği – tank iletkenliği ilişkisi    | 86 |
| <b>Şekil 7.21</b> | Besleme tankı KOİ'lerinin geri kazanımla değişimi                 | 87 |
| <b>Şekil 7.22</b> | Geri kazanıma karşı, süzüntü KOİ değişimi                         | 88 |
| <b>Şekil 7.23</b> | Farklı basınçlarda elde edilen KOİ giderim verimleri              | 88 |
| <b>Şekil 7.24</b> | Besleme tankı renginin, geri kazanımla değişimi                   | 90 |
| <b>Şekil 7.25</b> | Geri kazanıma karşı averaj süzüntü rengi değişimi                 | 90 |
| <b>Şekil 7.26</b> | Tuzlu su numunesi, geri kazanım – zaman grafiği                   | 92 |
| <b>Şekil 7.27</b> | Boyahane atıksu numunesi için, geri kazanım zaman grafiği         | 93 |
| <b>Şekil 7.28</b> | Kesikli çalışma enerji maliyeti – basınç grafikleri               | 94 |
| <b>Şekil 8.1</b>  | Membran sistemlerinde maliyet kategorileri                        | 96 |



## SEMBOL LİSTESİ

|              |                                              |
|--------------|----------------------------------------------|
| $A$          | : Membran geçirgenlik katsayısı              |
| $B$          | : Çözünmüş maddelerin geçirimlilik katsayısı |
| $C_b$        | : Besleme akımı konsantrasyonu               |
| $C_m$        | : Membran yüzeyindeki konsantrasyon          |
| $C_s$        | : Süzüntü akımı konsantrasyonu               |
| $\Delta C$   | : Konsantrasyon farkı                        |
| $D$          | : Difüzyon katsayısı                         |
| $E$          | : Verim                                      |
| $J$          | : Membrandan geçen konvektif akı             |
| $J_s$        | : Çözünmüş maddelerin akısı                  |
| $J_w$        | : Membrandan geçen su akısı                  |
| $k$          | : Kütle transfer katsayısı                   |
| $\Delta P$   | : Basınç farkı                               |
| $Q_b$        | : Besleme akımının debisi                    |
| $Q_k$        | : Konsantre akımının debisi                  |
| $Q_s$        | : Süzüntü akımının debisi                    |
| $R$          | : Tutma oranı                                |
| $R_{top}$    | : Membran yüzeyinde oluşan toplam direnç     |
| $\Delta T$   | : Sıcaklık farkı                             |
| $Y$          | : Geri kazanım                               |
| $\Delta \pi$ | : Ozmotik basınç                             |
| $\delta$     | : Refleksiyon katsayısı                      |
| $\eta$       | : Viskozite                                  |
| $\sigma$     | : Refleksiyon katsayısı                      |

## ÖZET

Tekstil endüstrisi atıksuları, yüksek konsantrasyonlarda inorganik – organik kimyasalları ve renkli boyar madde kalıntılarını içerdiğinden, önemli bir kirletici kaynaktır. Üretilen atıksularda mevcut olan kirletici maddeler, tuzlar, boyar maddeler, enzimler, surfektantlar, yıkama kimyasalları, yağ ve gres, oksidasyon ve redüksiyon ajanları gibi geniş bir yelpazeye yayılırlar. Bu kirleticiler çevresel terimlere, askıda katı madde, KOİ, BOİ, yüksek pH ve kuvvetli renk olarak yansır.

Biyolojik arıtma, kimyasal çöktürme, membran teknolojisi, aktif karbon adsorpsiyonu ve evaporasyon tekstil endüstrisinde kullanılan başlıca arıtma teknikleridir (Koyuncu ve diğ., 2000). Membran teknolojileri üretilen atıksu miktarını azaltıp, atıksu akımlarından değerli maddelerin geri kazanımını ve yeniden kullanımını sağlarken, sıcak atıksulardan da termal enerji kazanır. Bunlara ek olarak bu prosesler az alan ihtiyacına sahiptir. Bu durum, İstanbul'daki fabrikaların sınırlı alana sahip olmalarından dolayı önemlidir. Elde edilen süzüntü suyu, yıkama suyu vs. olarak yeniden kullanılabilirken konsantre akım da yeniden kullanılabilir yada oksidasyon ve yakma gibi işlemlerden geçirilip deşarj edilir.

Bu çalışma, tekstil endüstrisi atıksuları ile yapılan deney sonuçlarını içermektedir. Deneylerde, maliyeti daha düşük tuttuğu için, ters ozmos membranları yerine nanofiltrasyon membranları kullanılmıştır. Deneyler tekstil boyahane atıksuları ile yapılmıştır.

Aquaset 9712 nolu membran pilot tesiste deneyler gerçekleştirilmiştir. Pilot tesis 1-70 bar basınç aralığında çalışabilmektedir. Tesiste 2m<sup>2</sup> toplam membran alanına sahip spiral sargılı membran modülleri kullanılır. Bir soğutucu vasıtası ile filtrasyon deneylerinin 20-25 °C aralığında gerçekleşmesine müsaade edilmiştir. Tekstil boyahane atıksularının arıtımı için, Fluid System tarafından üretilen, (TFCS-S) nanofiltrasyon membranları kullanılmıştır. Membran pilot tesisi iki farklı konumda çalıştırılmıştır. Birinci konum olan, kararlı halde çalışırken süzüntü ve konsantre akımları her ikisi de besleme tankına geri devir ettirilmiştir. Kararsız hal olan ikinci konumda çalışırken, konsantre akım besleme tankına geri devir ettirilip, süzüntü akımı ayrı bir tankta biriktirilmiştir.

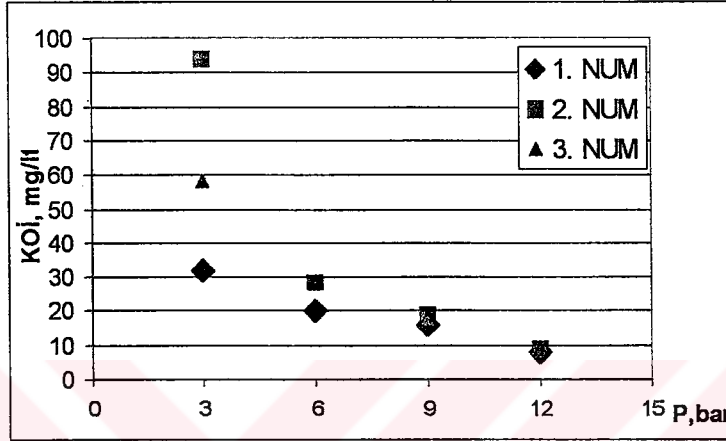
Renk Hach marka colormetre ile ölçülmüştür. KOİ standart metotlar göre ölçülmüştür (APHA, 1989). pH Orion SA 720 iyon ölçer ile ölçülmüştür.

Sıcaklık ve iletkenlik ölçümlerinde AGB-10001 Laboratory Data Logging kullanılmıştır. Prosesin performansı membran modüle uygulanan işletme basıncına bağlı olarak değişen süzüntü akısı ile değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak tekstil boyahane atıksularında nanofiltrasyon membranları, KOİ, renk ve iletkenliği gidermede gösterdikleri başarı ile değerlendirilmiştir. KOİ, renk ve

iletkenliğin toplam giderim verimi %96'nın üzerindedir. Besleme suyu KOİ değeri 400-720 mg/l arasındadır ve süzöntü KOİ'si artan basınçla azalmıştır (şekil 1.). 12 bar basınçta süzöntü KOİ'si 10 mg/l'den küçüktür. %80 geri kazanım sağlandığında süzöntü KOİ'si 30 mg/l civarında çıkmıştır. Tüm giderim işlemleri tamamlandığında renk 500 Pt.Co. unit değerinden 20 Pt.Co. unit değerine düşmüştür. Renk, KOİ ve iletkenlikteki bu kayda değer düşüş, süzöntü suyunun boya banyoları ve diğer proseslerde yeniden kullanımın mümkün olduğunu göstermiştir.

Şekil 1. Basınca karşı KOİ değerleri



Mevcut model, basıncın süzöntü akısı üzerindeki etkisini anlatmaktadır. Limit akı hesaplanmamasına rağmen, limit akının basınçla arttığı açıkça gözlenmiştir. Fakat, yüksek basınçlarda akı basınçla orantılı olarak artmaz. Bu durum, basınç kontrollü ve kütle transfer kontrollü iki farklı bölgenin var olmasıyla açıklanmıştır (Koyuncu ve diğ., 2000). Akı, aynı zamanda artan geri kazanımla da azalmıştır. Geri kazanım artarken besleme akımı konsatrasyonu da artmıştır. Membran tıkanmasının yarattığı ciddi bir problemle karşılaşılmanın, tıkanma olmamıştır. Bunun sonucunda, yüksek geri kazanımlarda, yüksek basınçta yüksek akı, düşük basınçta düşük akı elde edilmiştir.

100 m<sup>3</sup>/gün'lük tesis kapasitesinde toplam su maliyeti 0.81 \$/m<sup>3</sup> olarak tahmin edilmiştir. Bu maliyet değeri, İstanbul gibi endüstriyel su tarifeleri yüksek olan bir şehir için çok ekonomik görülmüştür.

## **RECOVERY AND COLOR REMOVAL OF TEXTILE DYEHOUSE EFFLUENTS BY NANOFILTRATION MEMBRANES**

### **SUMMARY**

Textile industry wastewater is an important pollution source that contains high concentration of inorganic and organic chemicals and is highly colored from the residual dyestuffs. Thus, the effluents generated contains a wide range of contaminants, such as salts, dyes, enzymes, yeasts, surfactants, scouring agents, oil and grease, oxidizing and reducing agents. In environmental terms, these contaminants mean suspended solids, COD, BOD, as well as high pH and strong color. Because color removal is not yet a concern for discharge to sanitary sewer in Turkey, COD; BOD removal becomes the major objective in wastewater for the textile industry.

Biological treatment, chemical precipitations, membrane technology, activated carbon adsorption and evaporation is the common waste water treatment techniques of textile industry effluents ( Koyuncu et al., 2000). Membrane technology can reduce the volume of wastewater generated, recover and recycle valuable components from the waste streams and/or recover the thermal energy in hot wastewater. In addition, such process occupies only small portion of floor space. It is important for the space limited factories in Istanbul. The permeate is reused as wash-water and the concentrate can be either reused or discharged after post treatment such as wet oxidation and combustion.

This study contains the results of experiments textile industry effluents. Nanofiltration membranes have been used during experimental runs for cost effective solutions instead of reverse osmosis (RO) membranes. Experimental studies have been carried out on dyehouse effluents of textile industry.

Experiments have been performed on pilot scale Aquaset 9712 membrane filtration equipment. This system operates over the pressure range of 1-70 bar and contained a spiral wound module which housed membranes with 2 m<sup>2</sup> total membrane area. A heat exchanger permitted all filtration experiments to be controlled at 20-25 °C. Nanofiltration membranes (TFCS-S) manufactured by Fluid System were used for the dyehouse effluents. Pilot membrane system was operated in two different modes. In semi-batch, steady state operation, both retante and permeate is recycled to the feed tank. In semi-batch, unsteady state operation which is the second mode, retante is recycled to the feed tank and permeate is collected separately.

Color was measured by a colormeter (Hach) in Pt.Co. units. COD was measured according to Standart Methods (APHA, 1989). pH was measured by an ion analyzer (Orion SA 720).

AGB-10001 Laboratory Data Logging type was used to measure temperature and conductivity. The process performance was evaluated by measuring the permeate flow against the operating presure of module during each experiment.

In conclusion, nanofiltration membranes were evaluated for their suitability in removing COD, color and conductivity from textile industry dyehouse effluents. The overall removal efficiency of COD, color and conductivity were greater than 96 %. Feed COD value was between the 400-720 mg/l and permeate COD decreased with increasing pressure (Figure 1.). COD was lower than 10 mg/l at 12 bar pressure. Permeate COD was 30 mg/l with 80 % of recovery. Almost complete removal was achieved with nanofiltration membrane. Color value was decreased from 500 Pt.Co. to 20 Pt.Co. unit. This significant reduction in color , COD and conductivity makes possible the reuse of the permeate in the dyehouse or other processes.

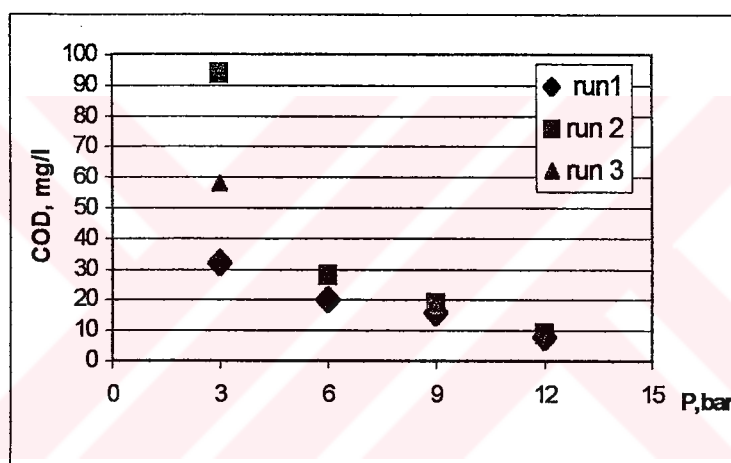


Figure 1. COD versus pressure

The resistance model described the effect of pressure on permeate flux. Although the limiting fluxes were not calculated, the limiting flux clearly increased with pressure. However, flux did not increase proportionally with pressure at high pressures. This was defined with two distinct regions as pressure controlled region and mass transfer controlled region (Koyuncu et al., 2000). Also, flux decreased with the increasing recovery. The feed stream concentration increased, while recovery was increasing. Fouling should not be a serious problem and may not occur inside the membrane. So that, in high recovery rates, flux was higher with high pressure and lower with low pressure.

The total estimated cost will be 0.81 \$/m<sup>3</sup> for 1000 m<sup>3</sup>/day of capacity and this value is very economical for Istanbul City due to higher industrial water tariffs.

## 1.GİRİŞ

### 1.1 Konunun Anlam ve Önemi

2000’li yıllara geldiğimiz şu günlerde insanoğlunun teknolojik gelişimi ile artan çevre sorunlarıyla daha çok yüz yüze gelmekteyiz. Doğal kaynaklarımızın başında gelen suya olan ihtiyacımız, gerek ilerleyen endüstrileşme gerekse her geçen gün çoğalan insan nüfusu ile artmaktadır. Buna karşın kullanılabilir su kaynaklarımız giderek azalmakta ve mevcut kaynaklar kirlenme riski ile karşı karşıya kalmaktadır. Doğal kaynakların sınırlılığı ve bizden sonraki nesillerin de bu kaynaklardan faydalanmaları gerekliliği doğal kaynakların korunmasını ve çevre bilincini ortaya çıkarmıştır. Çevre değerlerinin karşısında ise kirlenici durumda bulunan fakat ondan vazgeçilemeyeceği de bir gerçek olan sanayileşme durmaktadır. Dünya devletleri bu konuda sürdürülebilir kalkınma prensibinde mutabık kalmışlardır. Böylece çevreye verilen zararlı etkiler çeşitli arıtma teknolojileriyle vs. minimize edilecek, endüstrileşmeden de vazgeçilmeyecektir.

Türkiye’de endüstriyel kirlenme kontrolü konusunda 1974 yılına kadar bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. 1974 yılında 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu çerçevesinde endüstriler için deşarj standartları getirilmiştir. 1983 tarihli Çevre Kanununda endüstriyel kirlenme kontrolü, genel kirlenme kontrolü çerçevesinde belirli esaslara bağlanmıştır. Bunların dışında belediyelerce ön arıtma standartları yürürlüğe konulmuştur. Bunların ilki İSKİ Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği’dir. Bu yönetmeliği İzmit ve Adana’da yürürlüğe giren ön arıtma standartları izlemiştir.

Bu yasal zorunluluklarla birlikte çevreye verilen önemin sanayinin ve üretimin her aşamasında daha da artması, ileri arıtma teknolojilerinin sanayideki uygulamalarını arttırmıştır. Bununla birlikte, elde edilen verimli sonuçlar bu teknolojiler üzerine yapılan araştırma ve arayışları desteklemiştir.

Son yıllarda uygulanan ileri arıtma teknolojilerinin başında membranlı (Ters Ozmos, Ultrafiltrasyon, Mikrofiltrasyon, Nanofiltrasyon) sistemler gelmektedir.

Sistemin çalışma prensibi, yüksek basınç altında yüksek konsantrasyondaki sıvının (atıksu) membran yapıdan geçirilerek ozmosun tersi bir olayla çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçişin sağlanmasına dayanır. Bundan dolayı sisteme “Ters Ozmos” denilmiştir. Membran yapının gözenekleri saf suyun geçişini sağlarken, istenmeyen maddelerin geçişini engelleyecek boyutlarda geliştirilmiştir. Kullanım amacına bağlı olarak farklı gözenek çapına sahip membranlar mevcuttur. Bunlar gözenek çaplarına göre Ters Ozmos, Nanofiltrasyon, Ultrafiltrasyon, Mikrofiltrasyon olarak sıralanabilir.

Suyun her geçen saniye değer kazandığı ve su kaynaklarının her geçen saniye kayıba uğradığı günümüzde membranlı sistemlerle atıksuların yeniden geri kazanılması ve hatta atıksuyun kaynağına göre içinde pahalı kimyasalları içeren atıksulardan membran prosesler ile bu kimyasalların ayrılıp üretimde yeniden kullanılabilmesi sistemin 2000’li yıllarda ne kadar iddialı olacağının bir göstergesi kabul edilebilir.

Başlangıçta ilk yatırım maliyetlerinin pahalı olduğu herkeste yerleşmiş olduğu için sanayicilerin ve üreticilerin tercih etmekte güçlük çektiği bu teknoloji, zaman içerisinde membran piyasasının pazardan büyük bir pay alma gayreti ile birlikte, rekabetin de bir sonucu olarak ilk yatırım maliyetlerinin aşağı çekilmesiyle cazip hale gelmiştir. Ayrıca membran prosesler kimyasal katkı ihtiyacının olmaması, işletilmesinin çok kolay olması, kesikli ve sürekli sistemlere uyum gösterebilmesi, alan ihtiyacının düşüklüğü ve modüler olarak tasarlanmalarının getirdiği avantajlarla diğer sistemlere üstünlük göstermektedirler.

2000’li yılların en önemli arıtma teknolojisi olacağı umulan bu sistemlerin uygulama alanlarını genişletmek maksadı ile çeşitli çalışmalar üniversitelerce, membran proses kalitesini arttırıcı çalışmalar da üretici firmalarca büyük bir caba ile sürdürülmeye devam etmektedir.

## 1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Tekstil endüstrisinin, kirlilik yükü yüksek bir endüstri dalı olduğu tarafımızca ve dünya devletlerince de bilinmektedir. Fakat ülkemiz bir tekstil ülkesidir ve bu endüstrinin halen Türkiye sanayiindeki payı %20'nin üzerindedir. Tekstil endüstrisinin temel kirleticiler parametrelerinden renk, BOİ, KOİ ve kullanılan boya ve diğer kimyasal maddelere bağlı olarak hem organik nitelikli hem ağır metal içerikli çok sayıda mikro kirleticiler, bu endüstriye ait atıksuların arıtma verimini düşürmekte ve deşarjda problemlere yol açmaktadır. Buna karşın, atıksularda renk ve KOİ giderimi için membran prosesler denenmiş ve tatmin edici sonuçlar alınmıştır. Ayrıca, diğer kirleticiler parametrelerinin gideriminde de yüksek verim elde edilmiş ve membrandan çıkan temiz su, üretimde kullanılmak üzere çoğu zaman geri kazanılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle konuyla ilgili literatür taraması yapılmıştır. Membran proseslerin teorisi ve çevre mühendisliği açısından tekstil endüstrisindeki kullanımı geniş biçimde araştırılmış ve uygulamalardan örnekler verilmiştir. İki aşamadan oluşan deneysel çalışmada ise ilk olarak boyahane atıksuyunun membrana giriş konsantrasyonu sabit tutularak sürekli çalışma simülasyonu oluşturulmuş ve farklı basınçlarda bu çalışma tekrarlanmıştır. Daha sonraki çalışma modelinde ise aynı tür membranda artan konsantrasyonlarda kesikli sistem gibi çalışılmış, yine çalışmalar farklı basınçlarda tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmalar laboratuvarında teşkil edilen membran proses pilot tesisinde yapılmış, boyahane atıksuları özel bir tekstil fabrikasından temin edilmiştir.

## 2. MEMBRAN İLE AYIRMA MEKANİZMASI VE MEMBRANLARIN YAPISI

### 2.1 Giriş

1960'lara kadar teknik açıdan fizibil görülmeyip laboratuarlarda fiziksel ve kimyasal çalışmalarda kullanılan membranlar önce deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında ve içme suyu elde edilmesinde arkasından atıksu arıtımında önemli bir konuma gelmiştir. Üstün ayırma teknolojisi ile membranlar günümüzde pek çok endüstride çeşitli amaçlarla kullanılır olmuştur. Bu endüstriler gıda, metalurji, kağıt ve karton, tekstil, ilaç, otomotiv, biyoteknoloji ve kimya olarak sıralanabilir.

Membranlar genel olarak;

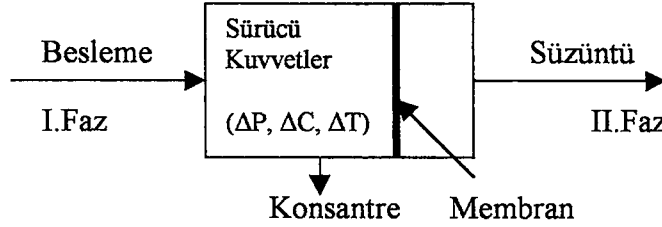
- 1- Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partiküllerin filtrasyonu,
- 2- Sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayrımı,
- 3- İyonik türlerin ayrımı,
- 4- Sulardan ve diğer sıvılardan bütün askıda katı veya çözünmüş maddelerin ayrımı,
- 5- Konsantre çözelti elde etmek,

gibi amaçlar için kullanılırlar (Koyuncu 1997).

Bir membran karışım halindeki maddelerin iki ayrı faza ayrılmasında selektif barier rolü oynayan bir tabakadır. Bu tabaka sayesinde çözünmüş ve partiküler maddeler membrana giren besleme akımından ayrılmış olurlar. Bunun sonucunda da besleme akımı süzüntü ve konsantre akım olmak üzere iki ayrı akım olarak membrandan çıkar. Şekil 2.1 bu akımları şematik olarak göstermektedir.

Membran tabakasından süzülerek geçen akıma süzüntü, geçemeyerek tutulan akıma da konsantre akımı denmektedir. Besleme akımının iki ayrı akıma ayrılmasında sürücü kuvvetler ( $\Delta P$ ,  $\Delta C$ ,  $\Delta T$ ) etkin rol oynamaktadır. Bu kuvvetler sayesinde membran yüzeyinde transport mekanizması aktivite kazanmakta ve membran

yüzeyinden diğer tarafa besleme akımının süzulebilen kısmı geçerek süzüntü akımını oluşturmaktadır.



Şekil 2.1 Akımların şematik olarak gösterimi.

Konsantre akımın ve süzüntü akımının karakteristiği membran tipine, membran malzemesine ve membranın üretim amacına bağlıdır (Yalçın, 1998).

Membranların performansı akı, seçicilik veya alıkoyma (tutma) gibi terimlerle ifade edilmektedir. Bir membranın birim alanından birim zamanda geçen akım miktarına akı denmektedir. Akı,  $m^3/m^2.gün$  veya  $lt/m^2.saat$  birimleri ile ifade edilir. Seçicilik membrandan geçen kısmın, alıkoyma ise tutulan kısmın ölçüsüdür. İdeal bir membranda yüksek seçicilik veya tutma ve yüksek akı veya geçirimsizlik istenir (Mulder, 1996).

Membran seçiciliği, tutma oranı (R) ile ifade edilir.

$$R = 100 - \text{Membrandan geçen kısmın yüzdesi} \quad (2.1)$$

olup,

$$R\% = \frac{C_b - C_s}{C_b} \quad (2.1)$$

İle ifade edilir. Burada,

$C_s$  : Süzüntü akımı konsantrasyonu,

$C_b$  : Besleme akımı konsantrasyonu'dur.

R birimsiz bir büyüklük olup 0 ila 1 arasında değişmektedir. R'nin "0" olması bütün çözünmüş maddelerin membrandan geçtiğini yani tutmanın hiç olmadığını

gösterirken; R'nin "1" olması membrandan hiçbir maddenin geçişinin gerçekleşmediğini, tutmanın tam olduğunu gösterir.

Membranda geri kazanım (Y) ise besleme akımının ne oranda süzüntü akımına dönüştüğünü gösteren bir ifade olup,

$$Y\% = \frac{Q_b - Q_k}{Q_b} = \frac{Q_s}{Q_b} \quad (2.3)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Burda;

$Q_b$  : Besleme akımının debisi,

$Q_k$  : Konsantre akımın debisi,

$Q_s$  : Süzüntü akımının debisi'dir.

Membran proseslerde prosesin verimine besleme suyunun hızı, besleme suyunun çözünmüş ve partiküler madde konsantrasyonu, çözünmüş maddelerin cinsi, basınç ( $\Delta P$ ), sıcaklık ( $\Delta T$ ), ve pH etki eder.

## 2.2 Membranların Yapısı

Membran proseslerde kullanılan membranları ayırma mekanizmaları, morfolojileri, geometrileri ve kimyasal yapıları gibi kriterler doğrultusunda sınıflandırmak mümkündür.

### 2.2.1 Ayırma Mekanizmasına Göre Sınıflandırma

Bu sınıflandırmada membranlar ayırma ve mekanizmalarına göre üç ana guruba ayrılırlar : Poroz membranlar , nanoporoz membranlar ( solüsyon – difüzyon mekanizması ), iyon değişimli membranlar.

**Poroz Membranlar:** Makroporoz membranlar por boyutu  $> 50$  nm;

Mezoporoz membranlar por boyutu 2-50 nm;

Mikroporoz membranlar por boyutu  $< 2$  nm.

**Nanporoz Membranlar :** Bu membranlar yoğun bir tabaka olarak düşünülebilirler. Gaz permeasyonu, pervaporasyon ve ters ozmos membranları bu guruba girerler.

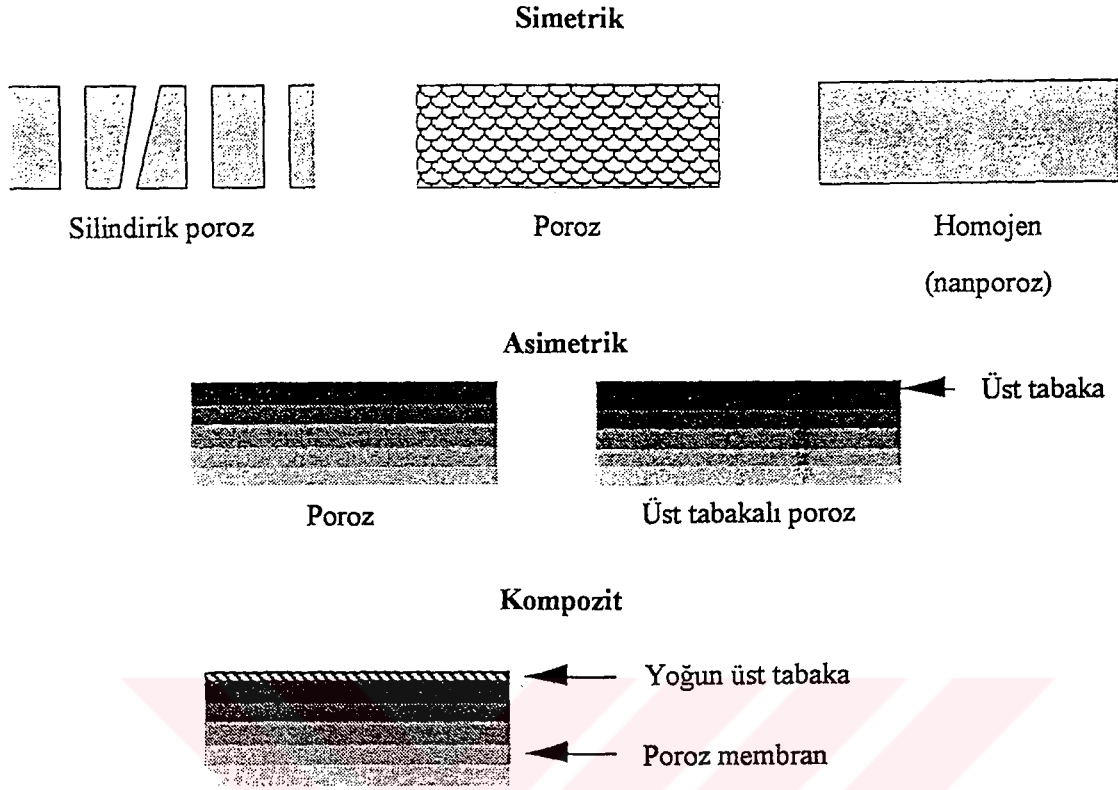
**İyon Değişimli Membranlar :** Aslında bunlar nanporoz membranların bir türüdür. Pozitif veya negatif iyonlarla yüklü jellerden oluşurlar. Eğer membran pozitif yüklü ise anyon değişimli, negatif yüklü ise kation değişimli membran denmektedir.

### 2.2.2 Morfolojilerine Göre Sınıflandırma

Sürücü kuvveti basınç olan membranlarda süzüntü akısı membran tabakasının kalınlığı ile ters orantılıdır. Bunun bilinmesi üzerine yapılan çalışmalarla anizotropik membranlar geliştirilmiştir. Bu membranların geliştirilmesi endüstride, su ve atıksu arıtımında membran kullanımını arttırmış hatta çığır açmıştır. Bu membranlar ince bir üst tabaka ve bu ince tabakaya destek sağlayan kalın poroz bir alt tabakadan oluşur. Akı ve seçicilik gibi ana fonksiyonlar 0,1 ile 0,5  $\mu\text{m}$  arasında değişen kalınlığa sahip olan ince üst tabakaya bağlıdır. Bu tabakanın kalınlığı alttaki destek tabakasının kabaca %1'i kadardır. Alt tabaka sadece mekanik destek sağlamakta, kütle transferine gösterdiği basınç ise ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır. Anizotropik membranlar asimetrik ve kompozit membranlar olarak ayrılabilirler.

Asimetrik membranlar alt destek tabakalarıyla üstteki fonksiyonel tabakaları aynı malzemeden yapılmış anizotropik membranlardır. Kompozit membranlar ise alt ve üst tabakaları birbirinden bağımsız geliştirilebilen ve farklı polimerik malzemelerden yapılan anizotropik membranlardır. Kompozit membranların poroz (boşluklu) alt tabakaları asimetrik membranlardan teşkil edilir.

Bunların haricinde bir de simetrik membranlar mevcuttur. Simetrik membranların kalınlıkları (boşluklu veya boşluksuz) yaklaşık olarak 10-200  $\mu\text{m}$  arasındadır. Bu tip membranlarda kütle transferine gösterilen direnç tüm membran tabakasınca karşılanmaktadır. Membranın kalınlığı arttıkça süzüntü akımı azalmaktadır. Membran kesitleri şematik olarak şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Membran kesitlerinin şematik gösterimi (Mulder, 1996)

### 2.2.3 Geometrilerine Göre Sınıflandırma

Geometrilerine göre iki farklı tür membran oluşturulabilir. Bunların biri düz diğeri silindirik modüllerdir. Silindirik membranlar tübüler ve boşluklu elyaf membranlar olarak kendi içlerinde iki gruba ayrılabilirler. Bunlardan tübüler membranların iç çapları 3mm'den büyük, boşluklu fiber membranların ise küçüktür.

### 2.2.4 Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırma

Membranları öncelikle biyolojik ve sentetik membranlar olarak ayırmak mümkündür. Teknik açıdan sentetik membranlar mühendislik alanlarında kullanıldığından bizim inceleyeceğimiz kısım da sentetik membranları kapsayacaktır.

Sentetik membranlar birçok farklı malzemeden yapılabilirler. Bunlardan organik olanlar polimerik, inorganik olanlar metal, seramik, cam vs. olabilirler.

**Organik Membranlar:** Temelde bütün polimerler organik membranlarda kullanılabilir. Fakat membranın ömrü ve prosesin ihtiyaçları düşünüldüğünden her polimer membran prosesler için tercih edilmez. Tercih edilenlerin başında selüloz ve türevleri gelir. Kloro dirençli olmalarından dolayı su arıtımında avantajlıdır. Sıcaklığa, biyolojik ayrışmaya, asit ve alkali hidrolize karşı hassas olmalarına rağmen tuzsuzlaştırma, yumuşatma, dezenfeksiyon ve durultma işlemlerinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Diğer önemli bir grup ise poliyamidlerdir. Poliyamidler selüloz esterlerden daha iyi seçiciliğe, kimyasal ve termal dayanıklılığa sahiptirler. Bundan dolayı tuzsuzlaştırmada poliyamidler selüloz diasetatlardan sonra ikinci sırada gelirler.

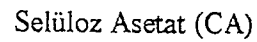
Poliakrilonitriller (PAN) , Ultrafiltrasyon ve hemodializ membranlarında genellikle kullanılırlar. Selüloz ve poliyamidlere göre daha az hidrofilik olduğundan RO'da kullanılmazlar.

Geniş kullanım alanlarına sahip olanlardan bir diğeri ise polisülfonlar (PSf) ve polyestersülfonlardır (PES). Bu polimerler hidrofilik değildir. Adsorpsiyon eğilimleri kısmen yüksektir, buna rağmen kimyasal, mekanik ve termal stabiliteleri de yüksektir. Bunlar genellikle UF membranlarında, kompozit membranlara destek olarak ayrıca hemodializ membranlarında kullanılırlar.

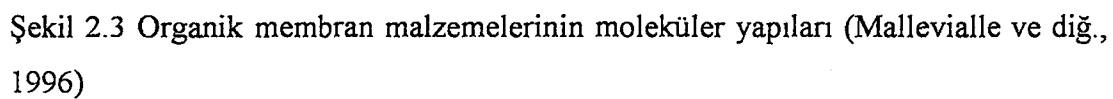
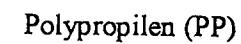
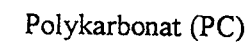
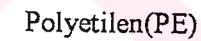
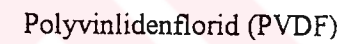
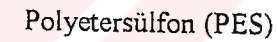
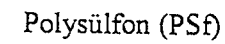
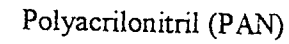
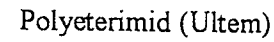
Kimyasal ve termal stabilitelerinden dolayı bazı hidrofobik polimerler makroporoz membranlar olarak kullanılabilirler. Bunları, polytetrafloroetilen (PTFE), poliviniliden florid (PVDF), polietilen (PE), polykarbonat (PC) ve isotatik polipropilen (PP) olarak sıralayabiliriz. Su arıtımında PP mikrofiltrasyon membranlarında, klorine olan duyarlılıklarına rağmen sıkça kullanılırlar. Bazı organik membran materyallerinin molekül yapısı şekil 2.3'de gösterilmiştir (Mallevialle ve dğr., 1996).

**İnorganik Membranlar:** İnorganik malzemeler üstün nitelikte termal, kimyasal ve mekaniksel dayanıklılığa sahiptir. Fakat bu malzemelerin organik malzemelere göre çok kolay kırılabilmesi ve pahalı olmaları dezavantajlarıdır. Bundan dolayı geniş kullanım alanına sahip değildirler. Kimya endüstrisinde agresif ve yüksek derecede sıcaklığa sahip akışkanların arıtımında, ilaç ve süt endüstrisinde kullanım alanları mevcuttur. İnorganik membranların başlıcaları seramik membranlardır. Bunu cam ve

metalik olanlar takip ederler. Tablo 2.1' de bu membranların tip ve yapıları kısaca verilmiştir.



Poly(m- fenilin izoftalamid)  
(Normeks)



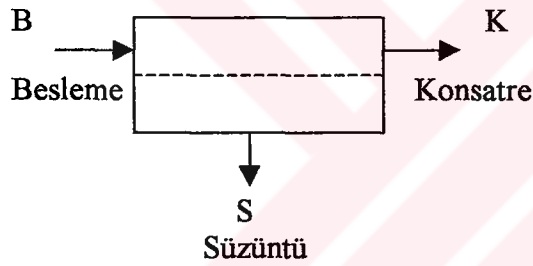
Tablo 2.1 Membranların tip ve yapıları (Yalçın, 1998).

|                               |                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Organik–<br/>Polimerik</b> | Selüloz asetat (selüloz 2-asetat, selüloz 2.5-asetat, selüloz 3-asetat), Selüloz rejenerat, polisulphone, polieter sulfone, Poliamid (aromatik poliamid, kopoliamid, poliamid hidrazide), PAN |
| <b>İnorganik</b>              | Boşluklu cam, $ZrO_2$ -poliakrilik asit, $ZrO_2$ -karbon, metaller (kurşun, gümüş, paslanmaz çelik, alüminyum)                                                                                |

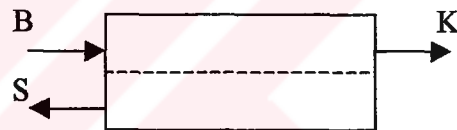
### 2.3 Modül Dizaynı ve Karakteristikleri

Herhangi bir membran tesisinin merkezi parçası modüldür. Hidrodinamik, modül dizaynında büyük önem taşır. Modülde besleme sıvısının tarafında durgun bölgelerin oluşmasından kaçınılmalıdır. Başlıca akış türleri çapraz, karşı ve birlikte akışlardır. Şekil 2.4’de bu akışların prensipleri görülebilmektedir.

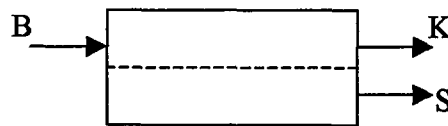
#### Çapraz Akış (cross flow)



#### Karşı Akış (counter current)



#### Birlikte Akış (co – current)



Şekil 2.4 Hidrolik akış modelleri

Modül dizaynında bazı önemli parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar;

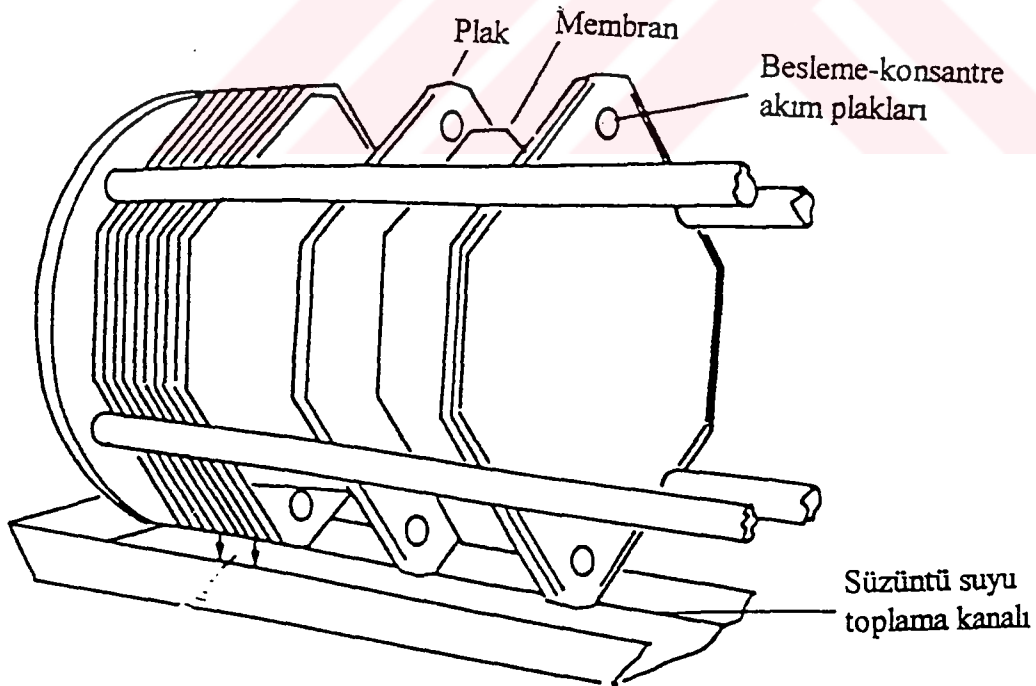
- 1) Yüksek malzeme yoğunluğu (özellik yüzeyin yüksek oluşu)
- 2) Etkif fiyatla imalat
- 3) Temizleme için kolay geçişler
- 4) Etkif fiyatla membran değıştirebilme, olarak sıralanabilir.

Membranların modül konfigürasyonları genelde plak ve çerçeve, spiral sargılı, tübular ve boşluklu elyaf tarzlarındadır.

### 2.3.1 Plak ve Çerçeve Membranlar

Dairesel veya kare plaklar arasında sandviç membranlar şeklindedir. Yapıları bir plak çerçeve pres filtresine benzer. Bu membranlar ve tüp membranlar içmesuyu arıtımında kullanılmazlar. Bu modüllerde besleme çözeltisi şekil 2.5’de de görüldüğü gibi dairesel veya dikdörtgensel kanal içinde, modül boyunca akmaktadır. İki plaka arasında kalan sıvı tabakanın kalınlığı 0.5–3 mm arasında değişmektedir (Mallevialla ve dğr., 1996). Bu membranlarda paketleme yoğunluğu (özellik yüzey) 100 ile 400 m<sup>2</sup> / m<sup>3</sup>’tür. Bu modüllerdeki plakalar hem membranlara gerekli mekanik desteği hem de süzuntu için drenajı sağlamaktadır.

Bu tertip tarzı 1966’da ABD’de ortaya çıkmıştır. Ağır, iri ve işletilmesi zordur. Membranların değiştirilmesi problemlidir. Bunlardan dolayı ABD’de kullanımları kaldırılmıştır. Avrupa’da, Danimarka ve Almanya’da hala üreticileri vardır (Schierach, 1988).



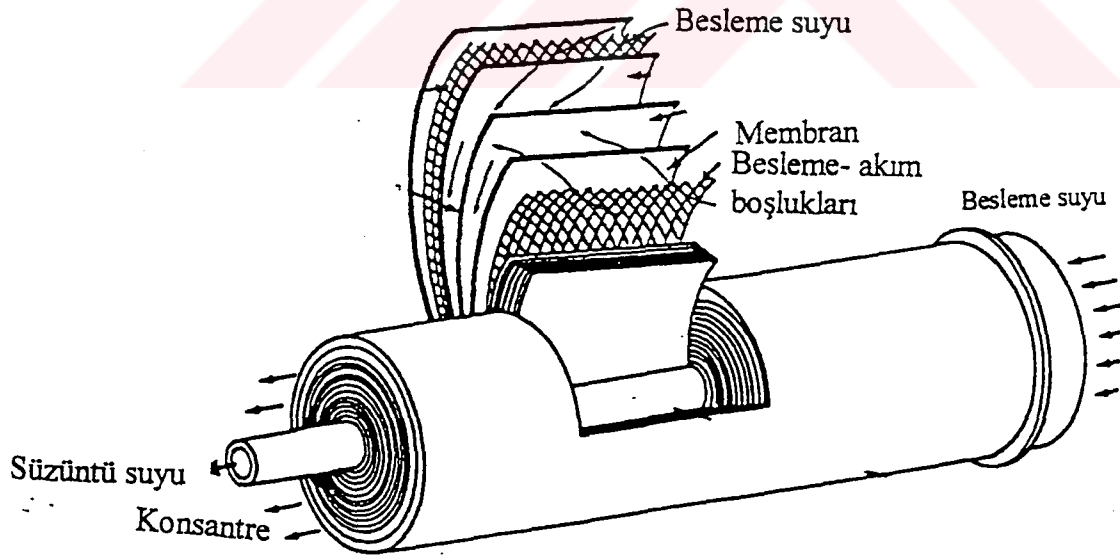
Şekil 2.5 Plak ve çerçeve membranlarının tertip tarzı (Schierach, 1988)

### 2.3.2 Spiral Sargılı Membranlar

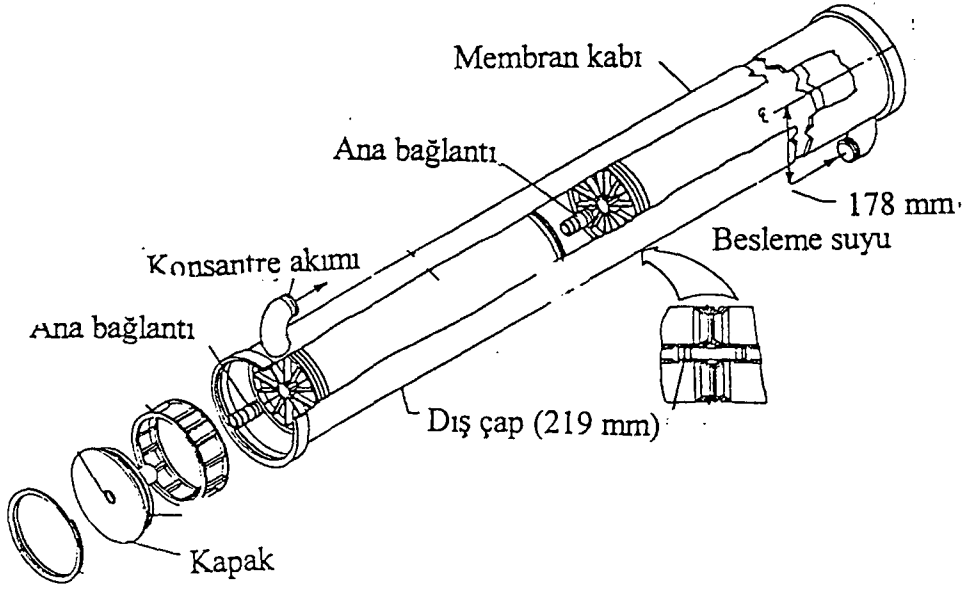
Bu tertip tarzı iki membran sargı ile aralarındaki porozlu destek tabakasından oluşur. Bu sargının üç kenarı sarılmış olup dördüncü kenar üretilen süzüntü suyunu toplayan boş plastik bir tüpe yapıştırılmıştır ve spiral formunda sarılmıştır.

Bu membranlar, plak ve çerçeve membranların daha geliştirilmiş halidir. Bu konfigürasyon ile plaka ve çerçeve membranların bir çok dezavantajı ortadan kaldırılmış, böylece kullanımı artmıştır. Özellikle su üretiminde tüp şeklindeki membranların yerini almıştır (Koyuncu, 1997).

Ortalama bir modülün çapı 300 mm ve uzunluğu 1,5 m'ye kadar çıkmaktadır. 2 ile 6 arasında membran elementi basınçlı bir slindirik kap içine yerleştirilerek tek bir modül elde edilmektedir. Paketleme yoğunlukları plak ve çerçeve modüllere göre daha yüksek ( $700 - 1000 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ ) olduğundan daha az yük kaybı meydana gelmektedir. Membran kabı fiberglas, PVC veya paslanmaz çelik olabilir. Membran için selüloz asetat, poliyamid ve kompozit poliyamid malzemeler kullanılmaktadır (Schierach, 1988). Şekil 2.6 bu modüllerin iç yapısını, şekil 2.7 ise spiral sargılı membran kabını göstermektedir.



Şekil 2.6 Spiral sargılı membranlar (Schierach, 1988)



Şekil 2.7 Spiral sargılı membran kabı (Osmonics, 1988)

### 2.3.3 Tüp Şeklindeki Membranlar

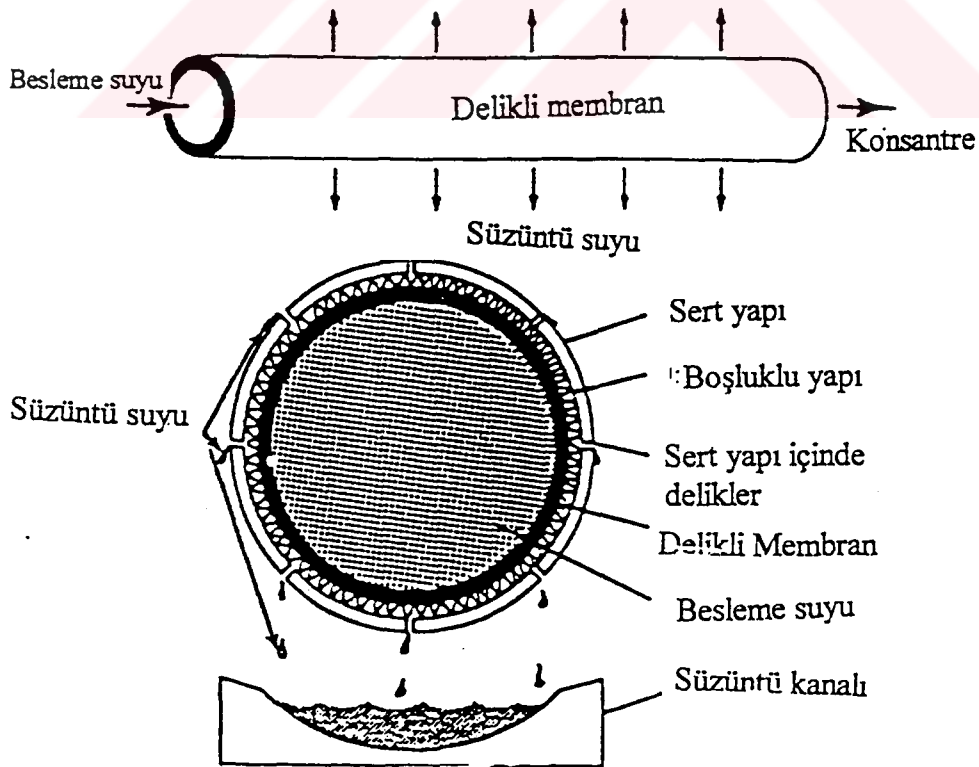
İç kısmında bir veya birden çok, iç çapları 6-40mm arasında olan membran tüpcüklerinin bulunduğu bir porozlu tüpten teşekkül eder (Mallevalle ve dğr., 1996). Basınçlı besleme suyu membran filmin iç yüzeyine girer ve poroz tüp boyunca çıkar. Poroz destek tabakasının dışındaki koruyucu dış kılıf PVC veya paslanmaz çelik olabilmektedir. Şekil 2.8’de gösterildiği gibi, besleme akımına basınç uygulanır, uygulanan basınç sonucu, süzüntü akımı tüp dışına çıkar ve süzüntü kanalında toplanır. Konsantre kısım, ortadaki tüpün çıkış ucundan alınır. Tübular modüllerin bir çoğunda seramik membranlar kullanılmıştır. Bu tertip tarzının dezavantajı düşük paket yoğunluğuna (özellik yüzey) sahip olmalarıdır ( $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ’ten az), (Mulder,1996). Bundan dolayı birçok dizaynda birden çok tüp membran, paketleme yoğunluğunu arttırmak için bir destek blokunun içine alınarak modül oluşturulmuştur. Membran yüzey alanlarının toplamı  $0.2\text{-}7.4 \text{ m}^2$  arasında değişmektedir.

Üretimlerinin pahalı olması sebebiyle, tüp membranlar içmesuyu sistemlerinde kullanılmaz. Genellikle endüstride ve atıksu arıtımında kullanılır. Hassas bir ön arıtmaya ihtiyaç duymazlar, temizlenmeleri kolaydır. Askıda katı madde konsantrasyonu yüksek ve viskoz sıvılarda, tıkanma olmadan uzun süre kullanılabilirler. Ayrıca türbülanslı akım oluşturularak tıkanma minimuma indirilebilmektedir.

### 2.3.4 Boşluklu Elyaf Membranlar

Bu modül esas olarak ayrı liflerden oluşan bir paketin veya yığının basınçlı bir fiberglas, PVC veya paslanmaz çelikten yapılmış kap içine yerleştirilmesiyle teşekkül eder. Bu liflerin iç çapları 40-100  $\mu\text{m}$ , dış çapları 80-200 $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Paketleme yoğunluğu en yüksek modüllerdir. UF modüllerinde bu değer 1000  $\text{m}^2/\text{m}^3$ , RO modüllerinde 10000  $\text{m}^2/\text{m}^3$ 'tür (Mallevialle, 1996). Bazı konfigürasyonlarda paketleme yoğunluğu 30000  $\text{m}^2/\text{m}^3$ 'e varmaktadır (Mulder, 1996).

Bu modülün içinde yer alan saça benzer liflerin açık uçları baş levhasına tutturulmuştur. Besleme çözeltisi boşluklu liflerde radyal veya paralel olarak akabilir. Süzüntü, liflerin açık uçlarından toplandığı için paralel akış aynı yönlü veya

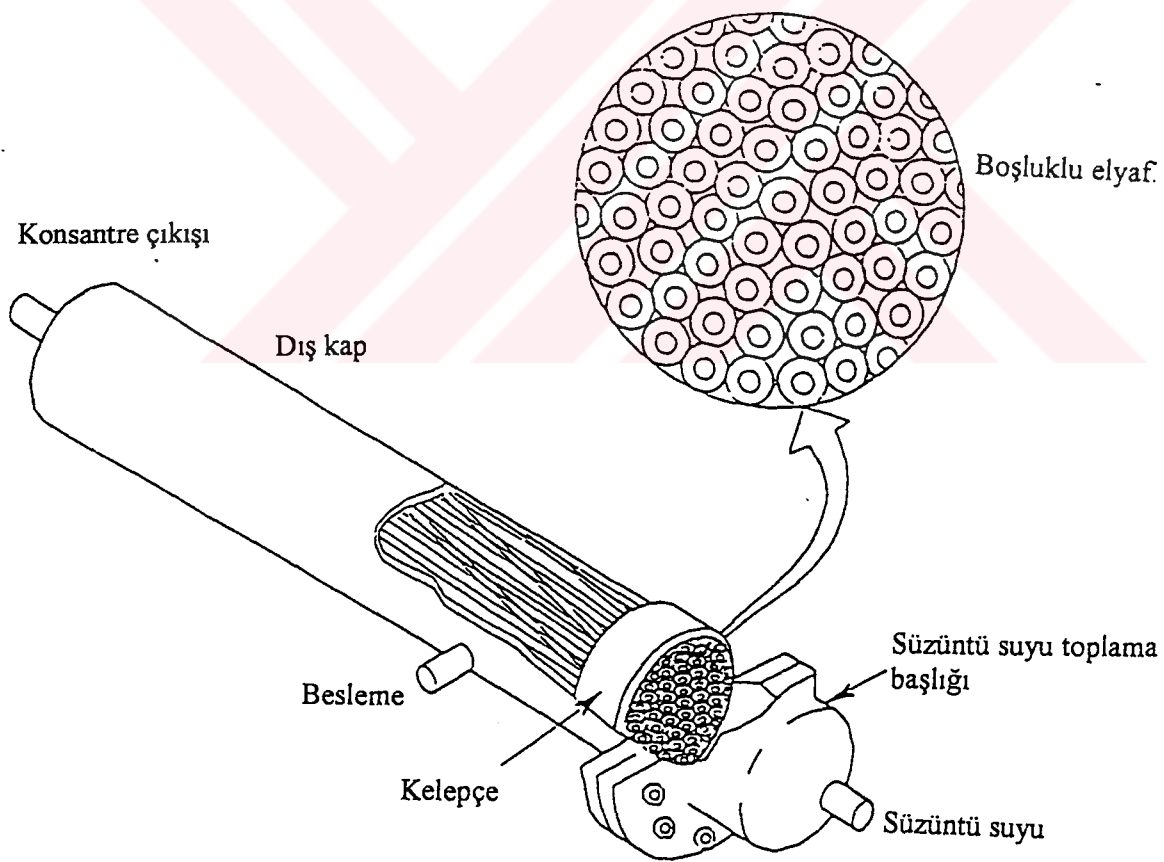


Şekil 2.8 Tüp şeklindeki membranlar (Schierach, 1988)

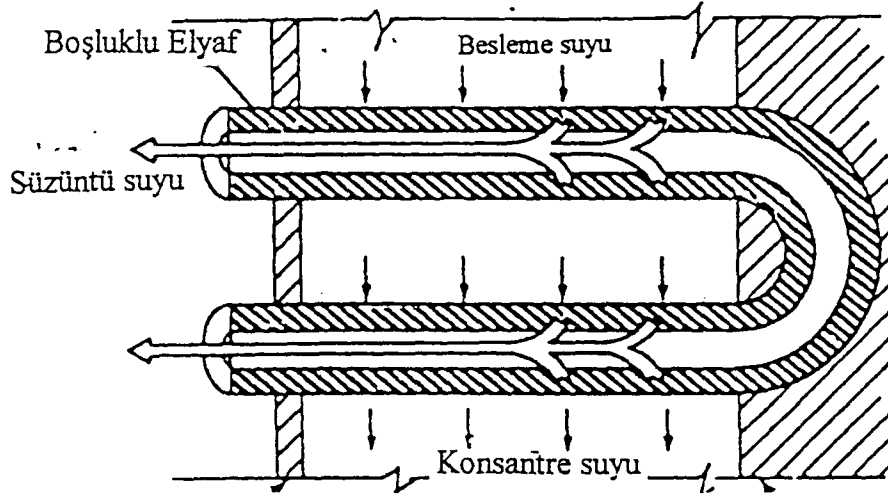
karşı yönlü olabilir. Ultrafiltrasyon için üretilen boşluklu elyaf membranlar selüloz olmayan polimerik membranlar ile teşkil edilirler. İşletme sıcaklığı 75-80 °C 'ye kadar çıkabilir. Modül çapı 10-20 cm ve membran alanı 4.7-7.8 m<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Boşluklu elyaf membranlarda delik çapı çok küçük olduğundan partiküler maddelerden tıkanması kaçınılmazdır. Tıkanmalar hem elyaf deliklerinde, hem de iki elyaf arasında ki boşluklarda olmaktadır. Bundan dolayı 50-100µm çaplı moleküllerin tutulması amacıyla ön arıtma gerekmektedir (Koyuncu, 1997).

Akı değerleri ve verimleri düşüktür. Bunun için nispeten temiz olan besleme akımlarında kullanılırlar. Birim maliyetleri üretilen süzüntü suyu başına diğer membran tertiplerine göre daha fazladır (Yalçın, 1998).

Şekil 2.9 Boşluklu elyaf membranları , şekil 2.10 bu membranların küçük ölçekli gösterimini sunmaktadır.



Şekil 2.9 Boşluklu elyaf membranlar (Yalçın, 1998)



Şekil 2.10 Boşluklu elyaf membranların küçük ölçekli gösterimi (Schierach, 1988)

### 2.3.5 Membran Tertip Tarzlarının Karşılaştırılması

Membran tertip tarzlarının bazı açılardan karşılaştırılması tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Membran tertip tarzlarının karşılaştırılması (Mulder, 1996).

|                  | Tübülar    | Plak ve Çerçeve | Spiral Sargılı | Boşluklu Elyaf |
|------------------|------------|-----------------|----------------|----------------|
| Paket Yoğunluğu  | düşük      | —————           | —————          | çok yüksek     |
| Yatırım Maliyeti | yüksek     | —————           | —————          | düşük          |
| Tıkanma Eğilimi  | düşük      | —————           | —————          | çok yüksek     |
| Temizlenmesi     | iyi        | —————           | —————          | zayıf          |
| Membran Değişimi | evet/hayır | evet            | hayır          | hayır          |

### **3. MEMBRAN PROSESLER, KONSANTRASYON POLARİZASYONU VE TIKANMA**

#### **3.1 Membran Prosesler**

Önceleri deniz ve kuyu suyu arıtımıyla sınırlı kalan membran prosesler hızlı endüstrileşmeye paralel olarak gelişmiş ve endüstrinin birçok dalında kullanım alanı bulmuştur. Kullanım alanına ve amacına göre akı miktarı yüksek, kimyasal etkilere, yüksek sıcaklıklara ve geniş pH aralıklarına dayanıklı membranlar geliştirilmiştir. Başlangıçta çok pahalı olan membran prosesler, bu gelişmeler ile diğer fiziksel ayırma yöntemleri olan adsorpsiyon, solvent ayırımı, distilasyon, kristalizasyon ve gaz ayırımı gibi proseslerle mukayese edilir hale gelmiştir (Scott, 1995). Konvansiyonel deniz ve kuyu suyu arıtımının yanında membran prosesler, atıksu arıtımında, saf su ve yumuşak su üretiminde, gıda ve ilaç sanayi ayırma proseslerinde, kağıt sanayi atıksu arıtımında, petrokimya endüstrilerinde gaz arıtımında kullanılmaya başlanmıştır (Bilstad, 1997).

Bu endüstrilerde, membran proseslerin kullanımı diğer ayırma yöntemlerine göre daha avantajlıdır. Enerji tüketimleri düşüktür. Ayrıca, membran proseslerin ilave kimyasallara ihtiyaç göstermemesi, kullanılan ekipmanların basitliği ve işletim kolaylığı bu prosesleri tercih sebebi haline getirmektedir.

Membran proseslerin temel kullanım alanları;

- Katı partiküllerin ayrılması
- Çözeltilerin konsantre edilmesi
- Atıksu akımından bazı maddelerin geri kazanılması
- Çok kirli atıksuların arıtılması

olarak sıralanabilir (Bilstad, 1997).

Membran proseslerle yapılan ayırma işlemlerinde, sürücü kuvvetler etkin rol oynamaktadır. Bu sürücü kuvvetler iki faz arasındaki basınç, sıcaklık, konsantrasyon ve elektriksel potansiyel farklarıdır. Membran proseslerin sürücü kuvvetlere göre sınıflandırması tablo 3.1’de verilmiştir (Mulder, 1996).

Tablo 3.1 Membranların sürücü kuvvetlere göre sınıflandırılması (Mulder, 1996)

| Basınca Göre         | Konsantrasyon Farkına Göre | Sıcaklık Farklılığına Göre | Elektriksel Potansiyel Farklılığına Göre |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
| Mikrofiltrasyon (MF) | Pervaporasyon              | Sıcaklığa Dayalı           | Elektrodiyaliz                           |
| Ultrafiltrasyon (UF) | Gaz Ayrımı                 | Ozmos                      |                                          |
| Nanofiltrasyon (NF)  | Dializ                     | Membran                    |                                          |
| Ters Ozmos (RO)      | Sıvı Membranlar            | Distilasyon                |                                          |

Çevre mühendisliğinde, arıtma ve gerikazanma amaçlı çalışmaların esasını basınç uygulamalı prosesler olan mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon , nanofiltrasyon ve ters ozmos oluşturmaktadır. Tablo 3.2 de bu membranların fonksiyon dağılımları verilmiştir (Topacık ve diğ.,1996).

### 3.1.1 Mikrofiltrasyon (MF)

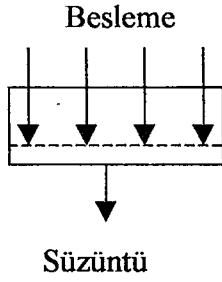
Ticari amaçlarla üzerinde birçok araştırma yapılmış, dolayısıyla iyi gelişmiş bir membran proses türüdür. Eczacılık, gıda ve kimya endüstrilerinde bazı değerli maddelerin konsantre hale getirilmesinde çokça kullanılmıştır (Baker ve diğ., 1991). Mikrofiltrasyon membranları genelde 0.1-2  $\mu\text{m}$  arasındaki gözenek boyutları ile karakterize edilir. Membrandan geçen besleme akımından mikron ve daha büyük boyuttaki partiküller ayrılır. Laboratuvar veya endüstriyel ölçekli mikrofiltrasyon uygulamalarında karşılaşılan en büyük problem zamanla akıda meydana gelen azalmadır. Bunun sebebi gözenek içlerinde ve membran yüzeyinde çözelti içinde bulunan maddelerin birikmesi sonucu oluşan konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmadır. Bu etkileri azaltabilmek veya geciktirebilmek için yapılacak çalışmaların başında membrandaki akış modunun incelenmesi gelmektedir. Başlıca akış modellerini yatay akışlı ve dik akışlı filtrasyon oluşturmaktadır. Dik akışlı filtrasyon

adından da anlaşıldığı gibi besleme akımının membran yüzeyine dikey olarak basınç altında verilmesiyle meydana gelir. Bunun sonucunda membran yüzeyinden geçemeyen partiküller birikir ve membran yüzeyi üzerinde zamanla kalınlaşan bir kek tabakası oluşturur. Bu kek tabakası membran yüzeyindeki direnci artırır, akı azalır ve zamanla filtrasyon ekonomik olmayan bir konuma gelmiş olur. Yatay akışlı

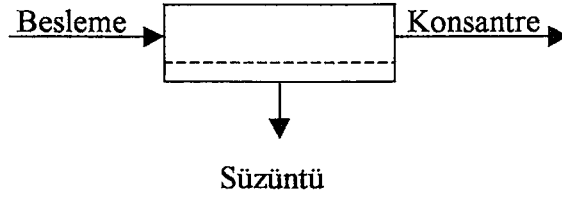
Tablo 3.2 Membran proseslerde fonksiyon dağılımı (Topacık ve diğ., 1996).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

membranlarda ise besleme akımı membran yüzeyine paralel ve yüzey boyunca akmaktadır. Böyle olunca membrandan geçemeyen partiküllerin ancak bir kısmı membran yüzeyinde birikmekte ve dik akışa göre daha uzun bir ekonomik ömre sahiptir. Şekil 3.1'de bu akış modelleri şematik olarak gösterilmiştir (Mulder, 1996).



a.) Dik akışlı filtrasyon



b.) Yatay akışlı filtrasyon

Şekil 3.1 Filtrasyon modelleri

Yapılacak bir diğer işlem ise membran modülünün periyodik olarak temizlenmesidir.

Burada membran seçimide çok önemlidir. Membran materyali, temizleme işleminde kullanılan kimyasal ajana dirençli olmalı, besleme akımında bulunan maddelerin bu materyale adsorpsiyon eğilimi olmamalı, geniş bir pH aralığında çalışmaya uygunluk göstermeli ve birçok kimyasala dayanıklı olmalıdır.

Mikrofiltrasyona ait özet bilgiler (Mulder, 1996);

Membranlar : Simetrik- asimetrik poroz

Kalınlık : 10-150  $\mu\text{m}$

Delik çapı : 0.05-10  $\mu\text{m}$

Sürücü Kuvvet : Basınç (< 2 bar)

Ayırma prensibi : Eleme mekanizması

Membran materyali : Polimerik, seramik

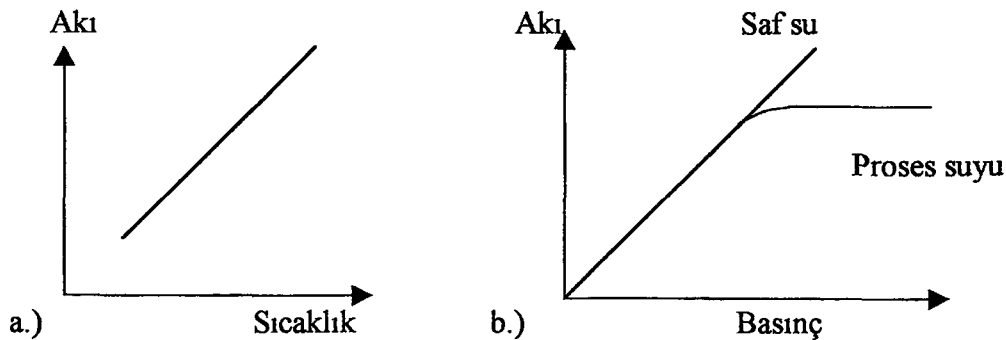
### 3.1.2 Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon, fonksiyon dağılımı mikrofiltrasyon ile nanofiltrasyon arasında kalan membran proseslerdir. Membran yüzeyindeki gözenek boyutu 0.05  $\mu\text{m}$  (mikrofiltrasyon tarafında) ile bir 1 nm (nanofiltrasyon tarafında) arasındadır. Ultrafiltrasyonla besleme çözeltisindeki makro moleküller ve kolloidler tutulur. Ultrafiltrasyonda tutma, moleküler büyüklüğe bağlı olmakla beraber, şekle ve iyonik yüke de bağlıdır, fakat iyonik olmayan maddeleri de alıkoyar. Maddelerin iyonize olma seviyeleri moleküler ağırlık engelleme sınırı olan MWCO ile ifade edilir. Belirli bir MWCO değerinin altındaki maddeler membranda tutulamaz. Her membran için tanımlanan MWCO değeri farklıdır. Bu değer, çalışma koşullarına,

besleme çözeltisinin kimyasal içeriğine ve moleküler özelliğe bağlı olarak değişebilir. Ultrafiltrasyon membranları tarafından, moleküler ağırlıkları 1000-1000000 arasında değişen maddeler tutulur (Scott, 1995).

Aslında mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon aynı ayırma prensibine dayanan benzer proseslerdir. Aralarındaki temel fark ultrafiltrasyon membranların yoğun üst tabaka ve boşluklu destek tabakasından meydana gelen asimetric yapılarıdır. Ultrafiltrasyon membranlarında yoğun üst tabakanın kalınlığı 1µm' den genellikle daha azdır. Geçirimlilik sabiti  $k$ , bu membranlarda, membranın yoğunluğuna göre 0.5-5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. gün olarak değişir (Mulder,1996). Membranda en büyük direnç, membranın en üst tabakasından meydana gelir, alttaki boşluklu destek tabakası düşük direnç gösterir (Scott, 1995).

Ultrafiltrasyon membranları genelde yatay akışlı olarak işletilir. Akım membran yüzeyine paraleldir ve yüzeyi yatay olarak süpürür. Böylece, akı azalması önlenmiş olur ve membranın ekonomik ömrü artar. Yatay akış ile membranın devamlı surette temizlenmesi ve gerekli kimyasal madde ihtiyacı azaltılmış olur (Scott, 1995). Saf sular veya diğer sıvılar için uygulanan basınç ile akı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Gerçek akışkanlarda artan basınç ile akı asimtotik bir değere ulaşma eğilimi içindedir. Konsantrasyon polarizasyonu, jel tabakası oluşumu, tıkanma gibi faktörler bunda etkindir. Ultrafiltrasyon mambranları için akı sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişir (Koyuncu, 1997). Şekil 3.2a'da görüldüğü gibi sıcaklık akı ile lineer artmaktadır. Basınçla da akı artmaktadır fakat proses suları ile çalışıldığında membran üzerinde zamanla birikme meydana geldiği için akı belli bir basınç değerinden sonra sabitleşir. Şekil 3.2b'de bu durum gösterilmektedir.



Şekil 3.2 a-b Ultrafiltrasyonda akının, sıcaklık ve basınçla değişimi (Mulder 1996, Koyuncu, 1997)

Ultrafiltrasyona ait özet bilgiler (Mulder, 1996) ;

Membranlar : Asimetrik poroz

Kalınlık : 150 µm

Delik çapı : 1-100 nm

Sürücü kuvvet : Basınç (1-10 bar)

Ayırma prensibi : Eleme mekanizması

Membran materyali : Polimer, seramik

Uygulama alanları : Gıda, içecek, metalurji, tekstil (indigo), eczacılık, otomotiv, su arıtımı.

### 3.1.3 Nanofiltrasyon (NF)

Nanofiltrasyon membranları, ters ozmos gibi moleküler ağırlıkları düşük inorganik tuzların, glikoz, sakkaroz gibi küçük organik moleküllerin çözeltiden ayrılması gerektiğinde kullanılır. Ters ozmos ile aynı temel prensibe dayandığından, iki proses çoğu zaman tek bir prosesmiş gibi işlenmektedir. Nanofiltrasyon membranları, fonksiyon dağılımı bakımından ultrafiltrasyon ile ters ozmos arasında bulunmaktadır. Nanofiltrasyon – ters ozmos ikisi bir proses olarak, yapıları bakımından, açık yapılı poroz mikrofiltasyon/ultrafiltrasyon membranları ile daha yoğun nanoporoz pervaporasyon/gaz ayrımı membranları arasında kalmaktadır (Mulder, 1996). Daha yoğun ve ince olmasına rağmen daha az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu dirençten dolayı, mikrofiltasyon ve ultrafiltrasyondan daha büyük basınçlarda işletilmektedir. Nanofiltrasyon membranları, ters ozmosdan daha düşük basınçlarda (10-20 bar) çalışmaktadır. Ters ozmosun çalışma aralığı 20-100 bar arasında değişmektedir.

Nanofiltrasyon membranlarının, ters ozmosdan farkı nanofiltrasyonun daha açık gözenek yapısına sahip olmasıdır. Bu membranlarda,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  gibi tek değerlikli iyonların tutulma oranı düşük iken,  $Ca^{+2}$ ,  $CO_2^{-2}$  gibi çok değerlikli iyonların tutulma oranları çok yüksektir. Buna ek olarak mikrokirleticilerin, herbisitlerin, insektisitlerin ve pestisitlerin, şeker ve boya maddeleri gibi düşük moleküler ağırlığa sahip mikro çözünürlerin de tutulma oranları çok yüksektir. Nanofiltrasyonda su akışı ters ozmosdan daha yüksek olduğundan yatırım maliyeti ters ozmosa göre daha düşüktür (Mulder, 1996). Tablo 3.3’de nanofiltrasyon ve ters ozmos membranlarının mukayesesi yapılmıştır.

Nanofiltrasyonun MWCO değeri 200 civarındadır. 5 bar basınç altında ve 2000 ppm civarındaki tuz çözeltisinin nanofiltrasyonu sonucunda sodyum klorür geri dönüş oranı %60, kalsiyum bikarbonat geri dönüş oranı %80, magnezyum sülfat geri dönüş oranı %98 civarında olmuştur (Koyuncu, 1997).

Tablo 3.3 Nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmos (RO) membranlarının tutma karakteristikleri açısından mukayesesi (Mulder, 1996).

| Çözünen                                                          | RO       | NF       |
|------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| Tek değerli iyonlar (Na, K, Cl, NO <sub>3</sub> )                | > % 80   | < % 50   |
| Çok değerli iyonlar (Ca, Mg, SO <sub>4</sub> , CO <sub>3</sub> ) | > % 99   | > % 90   |
| Bakteri ve virüsler                                              | > % 99   | < % 99   |
| Mikro kirleticiler (Mw* > 100)                                   | > % 90   | > % 50   |
| Mikro çözünenler (Mw* < 100)                                     | 0 - % 99 | 0 - % 50 |

Mw\* : Moleküler ağırlık

Nanofiltrasyona ait özet bilgiler (Mulder, 1996) ;

Membranlar : Kompozit

Kalınlık : Alt tabaka 150 µm ; üst tabaka 1µm

Delik çapı : < 2nm

Sürücü kuvvet : Basınç (10- 25 bar)

Ayırma prensibi : Solüsyon – difüzyon

Membran materyali : Poliyamid

Uygulama alanları : Kuyu sularının tuzsuzlaştırılması, mikro kirleticilerin giderilmesi, su yumuşatma, atıksu arıtımı, akışkanlardan boya maddelerinin tutulması (tekstil endüstrisi).

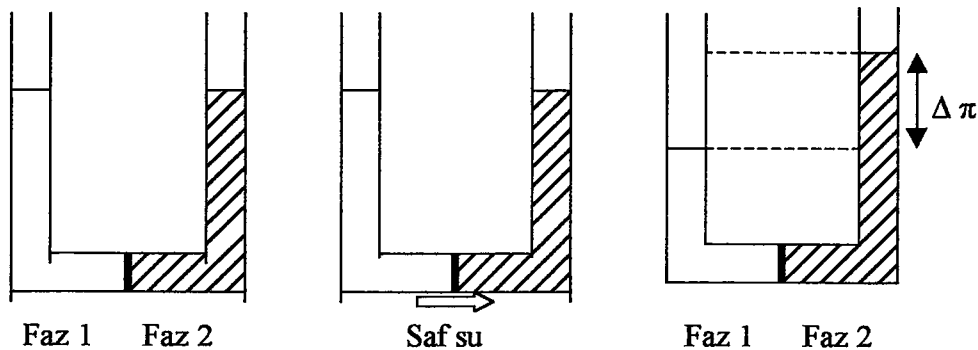
### 3.1.4 Ters Ozmos (RO)

Başlangıçta sadece deniz suyu ve kuyu suyu arıtımında kullanılan ters ozmos prosesleri zamanla endüstrilerde farklı proseslerde kullanılmaya başlanmıştır. Proses sıvılarını, çeşitli kirleticilerden iyi bir şekilde arındırdığı, aynı zamanda bu sıvılarda çözünmüş maddeleri konsantre hale getirdiği için, ters ozmos endüstrilerde başarı ile uygulanan bir ayırma/konsantre etme prosesidir (Slater ve diğ., 1985).

Ters ozmos, moleküler ağırlıkları çok düşük inorganik tuzların ve küçük organik moleküllerin çözeltilerden ayrılmasında kullanılır. Nanofiltrasyonun ayırabileceğinden daha düşük moleküler ağırlığa sahip maddeleri, nanofiltrasyonda uygulanan daha yüksek basınç altında ayırma kabiliyetine sahiptir. Ters ozmosda kullanılan membranlar açık yapılı poroz membranlarla, yoğun ve yüksek dirençli nanporoz membranlar arasında geçiş elemanı olarak tariflenebilir. Bu ince, yoğun, yüksek dirençli membran tabakasından dolayı uygulanan basınç da yüksektir.

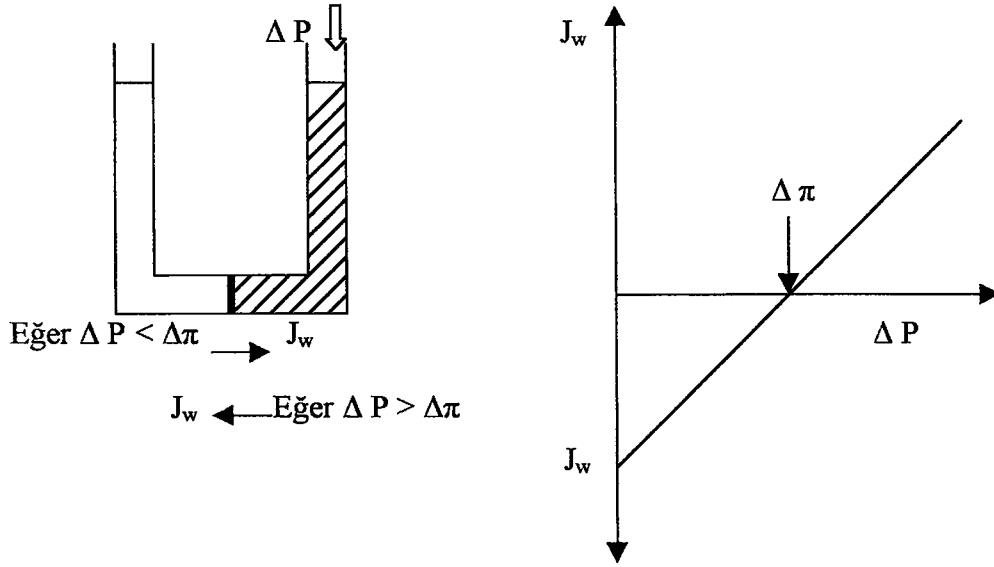
Ters ozmos prosesi (RO), hiperfiltrasyon (HP) olarak da adlandırılır. Ters ozmosun dayandığı ayırma prensibini anlayabilmek için, ozmos olayını iyi bilmek gerekmektedir. Ozmotik basınç, konsantrasyonları farklı iki ayrı çözeltinin (saf su – tuzlu su) yarı geçirgen bir membran tarafından ayrılmasıyla ortaya çıkar. Bu membran, suyu geçirebilen fakat tuzu geçirmeyen yapıdadır. Bu durumda, ozmos olayında saf su yarı geçirgen membrandan geçerek tuzlu su ortamına akar. Bu akım, iki bölme arasındaki konsantrasyon farkı sıfıra düşünceye kadar devam eder. Suyun membran içinden geçerek tuzlu su ortamına transferi burada ki basıncı ozmotik basınç olarak tanımlanan bir basınç değeri kadar yükseltir (şekil 3.3).

Ters ozmos, konsantre çözeltiliye çözeltinin ozmotik basıncının üstünde bir basınç uygulanması ile meydana gelen kütle transferi olayıdır. Bu durumda su, konsantre taraftan saf su tarafına doğru akar ve aralarında büyük konsantrasyon farkı bulunan iki ayrı faz meydana gelmiş olur.



Şekil 3.3 Ozmos olayının şematik gösterimi

Eğer konsantre kısma uygulanan basınç, ozmotik basınçtan düşük olursa su akışı seyreltik taraftan derişik tarafa akmaya devam eder. Meydana gelen su akışının uygulanan basıncın fonksiyonu olduğu şekil 3.4' te görülebilmektedir.



Şekil 3.4 Uygulanan basınca göre akının davranışı (Mulder, 1996).

Kullanılan membran malzemesinin de kütle transferinde önemi vardır. Bu malzemenin çözücüye yani suya afinitesi yüksek, çözülmüş maddelere (tuz vs.) ise düşük olmalıdır.

Genel olarak kullanılan ters ozmos membranları asimetrik veya kompozit yapıdadır. Kullanılan membranlar, kimyasal ve biyolojik etkilere, yüksek sıcaklık ve geniş pH aralıklarına, uzun çalışma sürelerine ve yüksek klor değerlerine dayanıklı olmalıdır.

Ters ozmos proseslerinde çözülmüş madde konsantrasyonu ve akış hızı, basınç, sıcaklık pH ve askıda katı madde konsantrasyonu önemli değişkenlerdir (Yalçın, 1998). Ters ozmos 0.0001 ile 0.001 $\mu$  (1-10<sup>0</sup>A) arasındaki partiküllerin tutulmasında ekonomik olmaktadır (Koyuncu , 1997 ). Membrandan geçen suyun (çözücünün) akısı, membrana karşı uygulanan  $\Delta P$  hidrolik basıncından,  $\Delta \pi$  besleme ve süzöntü arasındaki ozmotik basınç farkının çıkarılması ile elde edilen bir deklemlle ifade edilebilir (denklem 3.1 ).

$$J_w = A(\Delta P - \Delta \pi) \quad (3.1)$$

Burada,

$J_w$  : Membrandan geçen su akısı

A : Membran geçirgenliği

$\Delta P$  : Basınç farkını göstermektedir.

Denklem 3.1 hiçbir çözünmüş maddenin membrandan geçmediği ideal durumlar içindir. Pratikte ise ters ozmos membranı düşük molekül ağırlıklı maddeleri bir miktar geçirir. Bu durumda, gerçek ozmotik basınç farkı  $\Delta\pi$  'nin  $\sigma$  gibi bir refleksiyon katsayısı ile çarpımına eşit olur. Tutma oranı  $R < \%100$  olduğundan,  $\sigma < 1$ 'dir. Gerçek su akısı;

$$J_w = A(\Delta P - \sigma\Delta P) \quad (3.2)$$

Burada,

$\sigma$  : Refleksiyon katsayısını göstermektedir.

Membranın su veya çözücü geçirimlilik katsayısı olan A, membranın yapısına ve diğer bazı parametrelere bağlıdır. Ters ozmos için bu değer  $3 \times 10^{-3} - 6 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$  arasında değişmektedir (Mulder, 1996).

Membrandan geçen çözünmüş maddelerin akısı  $J_s$ , konsantrasyon gradyanına bağlı olup şu şekilde ifade edilir;

$$J_s = B \cdot \Delta C_s \quad (3.3)$$

Burada;

B : Çözünmüş maddelerin geçirimlilik katsayısı,

$\Delta C_s$  : Konsantrasyon farkıdır.

B katsayısı, ters ozmos proseslerinde  $5 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-4} \text{ m/h}$  değerleri arasında değişmektedir. Bu katsayı, difüzivite ve dağılım sabitine bağlıdır.

Membranın seçiciliği denklem 2.2'de verilmiş olan ( R ) tutma oranı (rejeksiyonu) ile tariflenir.

$$R = \frac{C_b - C_s}{C_b} = 1 - \frac{C_s}{C_b} \quad (2.2)$$

Basınç artışı ile membranın seçiciliğinin arttığı ve  $C_s$  konsantrasyonu düştüğünden  $R$ 'nin de ideal değerine yaklaştığı bu denklem vasıtası ile de görülür.  $R$ 'nin bu limit değere ulaşması için  $\Delta P \Rightarrow \infty$  basıncının uygulandığı ve  $C_s$ 'nin çözünmüş madde akısının, su akısına oranı olduğu düşünülüp gerekli düzenlemeler yapıldığında,  $R$  tutma oranı;

$$R = \frac{A(\Delta P - \Delta \pi)}{A(\Delta P - \Delta \pi + B)} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Slater ve diğ., 1985).

Bu denklemden anlaşılabileceği üzere, herhangi bir ters ozmos prosesinde tutma oranını etkileyecek anlık değişikliği sadece  $\Delta P$  üzerinde yapabiliriz.

Ters ozmosa ait özet bilgiler (Mulder, 1996) ;

Membranlar : Asimetrik veya kompozit

Kalınlık : 150  $\mu\text{m}$  alt tabaka ; 1  $\mu\text{m}$  üst tabaka

Delik çapı : < 2 nm

Sürücü kuvvet : Basınç (15-25 bar kuyu suyu, 40-80 bar deniz suyu için)

Ayırma prensibi : Solüsyon – difüzyon

Membran malzemesi : Selüloz triasetad, aromatik poliyamid

Uygulama alanları : Deniz suyu ve kuyu suyu arıtımı, ultra saf su üretimi (elektronik endüstrisi), sebze ve meyve sularının konsantrasyonu (gıda endüstrisi), sütün konsantrasyonu (süt endüstrisi).

Ayrıca kimya, tekstil, kağıt, biyokimya, petrokimya endüstrilerinde uygulamaları bulunmaktadır (Slater ve diğ. , 1985)

### 3.2 Konsantrasyon Polarizasyonu ve Tıkanma

Membran prosesle yapılan bir ayırma işleminde, membran performansı veya sistem performansında zamanla çok büyük değişiklikler kaydedilir. Bu değişiklik genellikle akıda meydana gelen azalma şeklinde kendini göstermektedir.

Akıdaki azalma, konsantrasyon polarizasyonu, adsorpsiyon, jel tabakası formasyonu ve gözeneklerin tıkanması gibi birçok faktöre bağlıdır. Şekil 3.5 membran yüzeyinde

oluşan ve akı düşmesine neden olan direnç türlerini göstermektedir. Membrandan geçen konvektif akı aşağıdaki denklemle ifade edilebilir (Mulder, 1996).

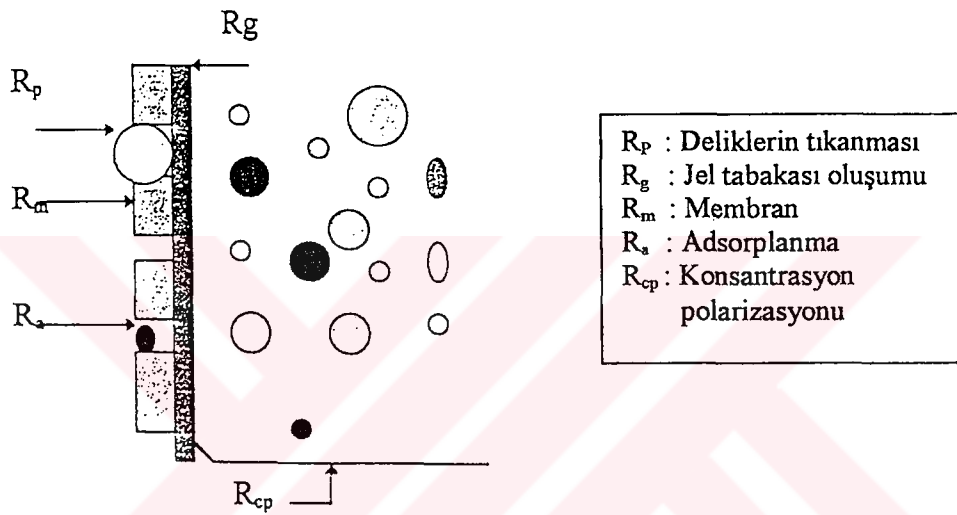
$$J = \frac{\Delta P}{\eta \cdot R_{top}} \quad (3.5)$$

Burada;

$\Delta P$  : Membrana uygulanan basınç,

$\eta$  : Viskozite,

$R_{top}$  : Membran yüzeyinde oluşan toplam dirençtir.

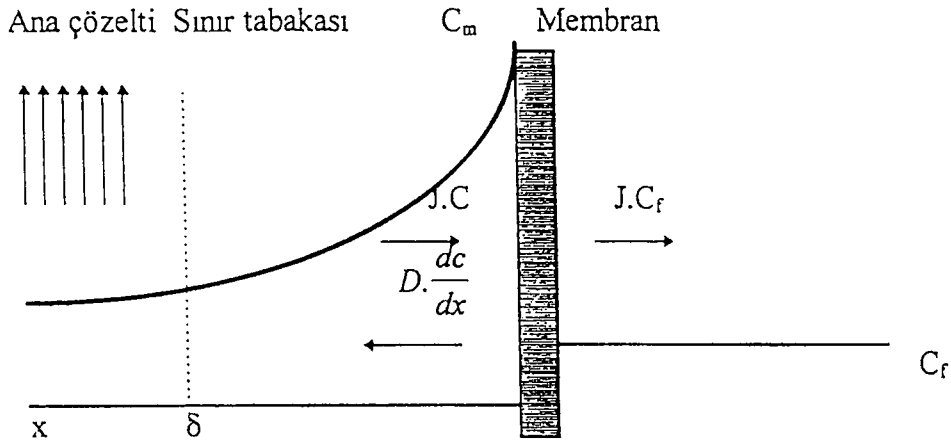


Şekil 3.5 Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri (Mulder, 1996).

### 3.2.1 Konsantrasyon Polarizasyonu

Bir membran seçici geçirgen yapıya sahip olduğundan, besleme çözeltisi içindeki maddelerin (tuzların) membrandan geçişini engellerken, çözücü formundaki suyun membranın öbür tarafına geçmesine müsaade eder. Böylece membranın bir yanında 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 artışlarına 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. Daha

sonra, durum kararlı hal alır ve iki yöndeki difüzyon hızları birbirine eşitlenir. Böylece, membran yüzeyinde oluşan konsantrasyon profili sınır tabakası içinde gözlemlenir (Şekil 3.6) (Mulder, 1996).



Şekil 3.6 Membran yüzeyinde konsantrasyon profili (Mulder, 1996).

Konsantrasyon polarizasyonunun etkileri :

- 1- Membran yüzeyinde ozmotik basıncın artması ve akının azalması
- 2- Membran yüzeyindeki konsantrasyon artışıyla membran deliklerinin tıkanması ve böylece akı miktarının azalması
- 3- Membranın arıtma veriminin değişmesi
- 4- Membranın kirlenmesi, olarak sıralanabilir (Yalçın, 1998)

Membrandan  $\delta$  kadar mesafede,  $C_b$  konsantrasyonlu, tam karışimli akım olduğunu var sayalım. Membrana doğru yaklaştıkça, sınır tabakası oluşumu gözlenecektir. Bu sınır tabakası içinde konsantrasyon membran yüzeyine yaklaştıkça tam karışimli olarak aktığı  $C_b$  konsantrasyon değerinden bir maksimuma,  $C_m$  konsantrasyon değerine çıkar. Bu tabaka içindeki akışkanın yükü  $J.C$  ile belirtilir. Çözelti içindeki maddelerin hepsinin membran tarafından % 100 tutulması halinde, membrandan geçen akışkanın yükü  $J.C_p$  ile ifade edilir. Membran yüzeyinde meydana gelen birikme, geriye doğru difüzyon akımının oluşmasını sağlar (Scott, 1995) (Mulder, 1996). Kararlı durumda membrandaki kütle denklemi ;

$$J.C + D \frac{dC}{dx} = J.C_p \quad (3.6)$$

ile belirtilir. Sınır şartlarında,

$$x = 0 \dots\dots\dots C = C_m$$

$$x = \delta \dots\dots\dots C = C_b$$

olur. (3.6) denkleminin tekrar düzenlenmesi ve integrasyonu sonucunda

$$J(C_p - C) = D \frac{dC}{dx} \quad (3.7)$$

$$\int_0^\infty J \cdot dx = D \int_{C_b}^{C_m} \frac{dC}{C_p - C} \quad (3.8)$$

$$\frac{C_m - C_p}{C_b - C_p} = e^{\frac{J \cdot \delta}{D}} \quad (3.9)$$

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

$$k = \frac{D}{\delta} \quad (3.10)$$

ile ifade edilir. Tutma oranı ( R );

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_m} \quad (3.11)$$

ile ifade edilirse, denklem (3.9);

$$\frac{C_m}{C_b} = \frac{\exp\left(\frac{J}{k}\right)}{R + (1 - R) \exp\left(\frac{J}{k}\right)} \quad (3.12)$$

halini alır (Mulder, 1996). 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 (Mulder, 1996).

Çözelti içindeki bütün maddelerin membran tarafından tutulduğu ideal durumda ( $R=1$  ve  $C_p=0$ ) denklem 3.12;

$$\frac{C_m}{C_b} = \exp\left(\frac{J}{k}\right) \quad (3.13)$$

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 difüzivitesi ile azalır. Buradan anlaşıyor ki, yüksek geçirgenliğe sahip membranlarda polarizasyon oluşumu daha zordur.

Konsantrasyon polarizasyonunu azaltmak ve kütle transferini arttırmak için, membran yüzeyine yakın bölgede iyi bir karışım oluşturulmalıdır. Bu karışımı sağlamak için, besleme kanalında yatay akış hızı arttırılmalı, türbülanslı akımlar oluşturulmalıdır.

### 3.2.2 Membran Tıkanması

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 kullanılan membran prosesin yapısı belirler. Bu amaçla, membran girişinde 5-10  $\mu$  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).

Akının kararlılığı, işletme şartlarının belirlenmesi ve sistem performansı açısından önemlidir. Kararlı akı değeriyle uzun süre yüksek performansta çalışabilmek için yatay akışlı filtrasyon, dik akışlı filtrasyona tercih edilir.

Yapılacak ön arıtma;

- Membranın çalışma süresini uzatmak,
  - Membranın tıkanmasını önlemek,
  - Sistemin performansını arttırmak,
  - Sistemin bakım ve onarım maliyetini azaltmak,
- amacıyla yapılmaktadır (Yalçın, 1998).



## **4. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ**

### **4.1 Endüstrinin Tanımı**

Tekstil endüstrisi kategorisi pamuk, keten, kenevir, yün, ipek gibi doğal elyafları; reyon, kazein, asetat-selüloz ester, naylon, polyester, akrilik ve vinil gibi fabrikasyon elyafları kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünlerini üreten tesisleri kapsar.

### **4.2 Üretim Prosesleri ve Atıksu Karakteristiği**

Tekstil endüstrisinde yer alan proses ve işlemler kullanılan elyaf çeşidine göre bazı farklılıklar gösterse de temelde birbirine benzerdir. Yapılan işlemleri iplik yapımı, dokuma hazırlık ve ürünlerin terbiyesi olarak kabaca üç aşamada toparlarsak bu işlemlerin ilk ikisi kuru işlemler olduğundan bizim ilgi alanımızın dışında kalır. Terbiye işlemlerinde önemli miktarlarda su kullanımı olduğundan bu işlemlerin çıkış suları bizim araştırmamız içindedir. Başlıca terbiye işlemleri;

#### **1 - Haşılama:**

Pamuk ipliklerinden örülmüş kumaş elde edilirken örülme işlemi aşamasında iplikleri kuvvetlendirmek, iplikler arasında meydana gelebilecek sürtünmeleri ve hasarları önlemek amacıyla çözgü ipliklerine nişasta, polivinil alkol, polivinil asetat, karboksimetil selüloz gibi sentetik haşıl maddeleriyle yapılan işlemlerdir.

Bu işlem sonucu oluşan atıksu düşük hacimde olmasına karşılık uygulanan haşıl yöntemine göre yüksek BOİ, KOİ ve TKM içerebilir.

#### **2 – Örme:**

İpliklerden ürün elde etmek için yapılan işleme örme denmektedir. Bu genelde kuru bir işlemdir fakat atkı ipliklerinin çözgülerin arasına girmesi için dokuma tezgahında

su jeti kullanılmaktadır. Bu üniteden çıkan su çözgü ipliklerine uygulanmış haşıl maddelerini içerdiğinden tekrar kullanılamaz. Bu sular haşıllamadan çıkan sular ile aynı karakterdedir.

### **3 – Haşıl Sökme:**

Haşıllamada ipliklere uygulanan haşıl maddelerinin giderilmesi işlemidir. Bu işlem çözünürlük, hidroliz ve oksidasyon metotlarıyla yerine getirilmektedir.

Haşıl sökmenin kirlilik yükü kullanılan katkı maddelerinden kaynaklandığından, haşıl sökmenin atıksu karakteristiği de buna bağlıdır. Eğer haşılama sentetik haşıl maddeleriyle yapılmış olursa BOİ’de % 90 oranında azalma meydana gelir (Correia ve diğ., 1994).

### **4 – Yıkama:**

Kumaş veya doğal-sentetik elyaf üzerindeki harman yağlarını , yabancı maddeleri gidermeye yönelik bir işlemdir. Bu işlemin yoğunluğu giderilmesi istenen maddelerin cinsine bağlıdır.

Pamuklu üretimde yıkama parafin, pektin, eğirme yağları ve diğer nan-selülozik bileşiklerin giderilmesi amacıyla deterjan veya sabun içeren sıcak alkali solüsyonlar ile yapılmaktadır. Buradan çıkan atıksular kimyasal olarak agresiftirler ve zehirli olabilirler. Haşıl sökmenin yanısıra yıkama işlemlerinden çıkan atıksular da yüksek BOİ değerlerine sahiptirler. Bundan dolayı pamuklu üretiminden oluşan atıksularda en yüksek BOİ yükü yıkama ve haşıl sökme işlemlerinden kaynaklanmaktadır.

Tekstil endüstrisinde kirlilik yükü en yüksek işlem ham yün yıkama işlemidir. Oluşan büyük hacimdeki atıksu ve bu atıksuda mevcut yüksek konsantrasyondaki kirlleticiler bu bölümü başlı başına bir araştırma sahası haline getirmiştir. Ham yün yıkamada sabun, deterjan ve alkali kullanılmaktadır. Hayvancılıkta parazitlerle mücadele için kullanılan lindan, dieldrin gibi persistant organoklorinli bileşikler veya organofosfatlar gibi bileşikler yünü kaplayan doğal yağ tabakasında erirler ve böylelikle yün yıkama atıksularında göze çarpan miktarlarda bulunurlar.

Yıkama atıksularında bulunan antistatik ajanlar, pestisitler, parafin ve yağlar toksisiteye ve biyolojik ayrışmaya dayanıklılıklarına göre biyolojik arıtma ünitelerinde problemlere neden olabilmektedirler.

#### **5 - Ağartma:**

Beyaz veya açık renk tonlarında üretim yapılacağına pamuk ve elyaftaki sarımsılığın giderilmesi amacıyla yapılan oksidasyon işlemidir (Correia ve diğ., 1994). Ağartma hidrojen peroksit , sodyum hipoklorit veya sodyum klorit gibi ağartıcılar ve sülfirik asit, hidroklorik asit, kostik soda, sodyum bisülfid gibi kimyasallar vasıtalarıyla gerçekleştirilir. Tablo 4.1'den görüldüğü üzere ağartmadan çıkan atıksuların katı muhtevası yüksek, BOİ'si orta seviyelerdedir. Klorit ve hidrojen peroksit arıtma ünitelerinin biyolojik kademelerinde toksiditeye neden olabilmektedirler.

#### **6 – Mersevizasyon:**

Saf pamuğun konsantre kostik soda banyosundan geçirilmesine dayanır. Daha sonra nötralizasyon amacıyla asitli yıkama yapılır. Bu işlemin amacı ürüne parlaklık vermek ve daha yumuşak bir yapıya sahip kılmaktır. Mersevizasyondan çıkan atıksular toplam katı ve BOİ değerlerince düşüktür. Nötralizasyondan önce yüksek alkaliniteye sahiptir.

#### **7 – Karbonizasyon:**

Yün üzerindeki bitki artıklarını temizlemek amacıyla , % 100 yüne uygulanan bir işlemdir. Bu işlemde geçirilecek madde önce seyreltik sülfirik asit solisyonuna bastırılır daha sonra kurutulur ve pişirilir. Sert selülozik maddeler mekanik işlemler ile uzaklaştırılır. Daha sonra sodyum karbonat ile nötralize ettiğimiz yün elyaf durulama sularından geçirilir ve kurutulur. Karbonizasyon atıksuları bitkisel maddelerden dolayı küçük miktarlarda organik madde ihtiva etmektedir. Asitli maddelerden dolayı çözünmüş madde muhtevası yüksektir. Bu işlem ham yünün yıkanması ile birlikte yapıldığında yün yıkamanın kirlilik yükünü azaltmaktadır (Correia ve diğ., 1994).

Tablo 4.1 Islak tekstil işlemlerinde kirlilik yükü (Correia ve diğ., 1994)

| Elyaf     | Proses              | pH       | BOİ<br>(mg/l) | TK<br>(mg/l) | Su Kullanımı<br>(l/kg) |
|-----------|---------------------|----------|---------------|--------------|------------------------|
| Pamuk     | Haşıl Sökme         | ---      | 1700-5200     | 16000-32000  | 3-9                    |
|           | Yıkama              | 10-13    | 50-2900       | 7600-17400   | 26-43                  |
|           | Ağartma             | 8.5-9.6  | 90-1700       | 2300-14400   | 3-124                  |
|           | Merserizasyon       | 5.5-9.5  | 45-65         | 600-1900     | 232-308                |
|           | Boyama              | 5-10     | 11-1800       | 500-14100    | 8-300                  |
| Yün       | Yıkama              | 9-14     | 30000-40000   | 1129-64448   | 46-100                 |
|           | Boyama              | 4.8-8    | 380-2200      | 38855-8315   | 16-22                  |
|           | Yıkama              | 7.3-10.3 | 4000-11455    | 4830-19267   | 334-835                |
|           | Nötralizasyon       | 1.9-9    | 28            | 1241-4830    | 104-131                |
|           | Ağartma             | 6        | 390           | 908          | 3-22                   |
| Naylan    | Yıkama              | 10.4     | 1360          | 1882         | 50-67                  |
|           | Boyama              | 8.4      | 368           | 641          | 17-33                  |
| Akrilik   | Yıkama              | 9.7      | 2190          | 1874         | 50-67                  |
|           | Boyama              | 1.5-3.7  | 175-2000      | 833-1968     | 17-33                  |
|           | Son yıkama          | 7.1      | 668           | 1191         | 67-83                  |
| Polyester | Yıkama              | ---      | 500-800       | ---          | 25-42                  |
|           | Boyama              | ---      | 480-27000     | ---          | 17-33                  |
|           | Son yıkama          | ---      | 650           | ---          | 17-33                  |
| Viskoz    | Yıkama ve<br>Boyama | 8.5      | 2832          | 3334         | 17-33                  |
|           | Tuz banyosu         | 6.8      | 58            | 4890         | 4-13                   |
| Asetat    | Yıkama ve<br>boyama | 9.3      | 2000          | 1778         | 33-50                  |

## 8 – Boyama:

Kumaş, elyaf vs. gibi maddelerin renkli hale getirilmesi işlemine boyama denir. Boyarmaddeler boyanacak cisimler ile devamlılık ve dayanıklılık arz eden bir şekilde birleşir ve boyanan cismin yüzeyini değiştirirler (Koyugölge, 1994).

Boyahane çıkış sularında bulunan kalıntı boyar maddeler ile organik ve inorganik yardımcı kimyasalların yaptıkları bileşikler bu sulara renk ve diğer kirlletici özellikleri verirler. Bu atıksuların karakteristiği boyamanın yanında elyafın cinsine ve uygulanan boyama teknolojisine de bağlıdır. Boyahane atıksuları genelde düşük TKM, yüksek iletkenlik (TDS), yüksek renk, yüksek KOİ ve nispeten düşük BOİ değerleri ile karakterize edilir. BOİ, KOİ, TOK gibi değerler biyolojik arıtma ile

giderilebilir. Fakat birçok boya molekülü biyolojik ayrışmaya dayanıklı olduğundan bu metotla istenilen renk giderimi sağlanamaz. Bu atıksularda boya moleküllerinin metal kısımlarından kaynaklanan ağır metal kirliliğine de rastlanabilir. Asit boyalardan kaynaklanan krom, direkt boyalardan kaynaklanan bakır ve birçok kimyasal madde de iz olarak bulunan cıva buna örnek olarak verilebilir. Horning tarafından yapılan bir araştırmada yirmi iki elyaf/boya sisteminden alınan numunede kadmiyum, krom, bakır, cıva ve çinko toksik metallerine rastlanmıştır (Correia ve diğ., 1994).

## **9 – Özel Son İşlemler:**

Elde edilecek ürüne bazı farklı özelliklerin kazandırılması amacıyla genelde boyamadan sonra yapılan bir işlemdir. Su geçirmezlik, yanmazlık, güve ve çürümeye karşı dayanıklılık gibi özellikler buna örnek olarak verilebilir. Bu kısımdan çıkan atıksular düşük hacimli olmalarına karşılık çok farklı kompozisyonlara sahip olabilir hatta pentaklorofenoller gibi toksik organikleri içerebilirler.

### **4.3 Endüstrinin Altkategorizasyonu**

Üretimde fazla miktarda su kullanımı gerektiren tekstil endüstrisinde oluşan atıksular uygulanan üretim teknolojisine, kullanılan hammaddeye, boyar maddeye, boyama yöntemine ve diğer kimyasal katkı maddelerine göre farklı karakterler gösterirler. Bundan dolayı endüstri ile ilgili çeşitli altkategoriler geliştirilmiştir.

Bunlar;

1. Yapağı yıkama
2. Yün son işlemleri
3. Dokunmuş kumaş son işlemleri
4. Örgü kumaş son işlemleri
5. Açık elyaf ve iplik son işlemleri
6. Halı son işlemleri
7. Dokusuz yüzeyli kumaş üretimi
8. Keçeleştirilmiş kumaş üretimi
9. Az su kullanılan işlemler
10. Koza işleme ve doğal ipek üretimidir.

#### 4.3.1 Atıksu Karakterizasyonu

Yüksek hacimli ve farklı kompozisyonlarda atıksuların olduğu tekstil endüstrisinde temel kirletici parametreleri sıralarsak BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM, yağ ve gres, toplam krom, fenol ve sülfür bunların içinde yer alır (Tünay, 1996).

Tekstil atıksuları genelde boyamada kullanılan esas boyanın renginde olmakla birlikte çoğunlukta koyu, grimsi renktedir. KOİ, BOİ, toplam çözünmüş madde, alkalinite ve sıcaklık değerleri yüksektir. BOİ, KOİ' ye göre nispeten düşüktür. BOİ<sub>5</sub>/KOİ oranı 0.2 ila 0.55 arasında değişmektedir (EPA, 1978). Bu atıksular bazen zehirli elyaftan ekstrakte olan doğal kirleticiler ve elyaftan işlenmesinde kullanılan kimyasal maddeleri de içerirler (Correia ve diğ., 1994).

Atıksuyun miktar ve kalite özelliklerini belirleyen faktörler:

- 1- İşlenen elyaftan cinsi
- 2- Tüm tekstil prosesini kapsayan temel işlemler
- 3- Proseslerde kullanılan kimyasallar
- 4- Tesisi içi kontrollerin uygulanma dereceleri.

Tekstil endüstrisi atıksularında bulunan kirleticiler çözünmüş yada süspansiyon halindedir. Genellikle pH değerleri 7 nin üstündedir.

Bunlardan başka, kullanılan boya ve diğer kimyasal maddelere bağlı olarak organik nitelikli ve ağır metal olarak çok sayıda mikro kirletici atıksuda bulunmaktadır. Birçok çalışmada bunlara sebebiyet veren boya ve sürfektantların biyolojik sistemlerde inhibisyona neden olduğu saptanmıştır (Correia ve diğ.,1994). Tablo 4.2'de bazı altkategoriler için atık yükleri verilmiştir.

#### 4.4 Tekstil Atıksularının Arıtılması ve Deşarj Standartları

Tekstil endüstrisi yapısal karakteri bakımından en çok su kullanan endüstrilerin başında yer almaktadır. Her bir üretim prosesinin kullandığı su ve oluşturduğu atıksu miktarı birbirinden çok farklı olmaktadır. Aynı hammaddeyi kullanarak aynı yöntemle üretim yapan proseslerde dahi bir ton ürün başına kullanılan su ve oluşan atıksu miktarları farklılıklar göstermektedir.

Tekstil endüstrisi arıtma uygulamaları üç aşamada ele alınabilir. Bunlar ilk arıtma, fiziksel – kimyasal arıtma ve biyolojik arıtma (son arıtma) olarak sıralanabilir. Kafi gelmeyen durumlarda ileri arıtma da yapılmaktadır.

#### 4.4.1 İlk Arıtma

Atıksuların kanala veya bir arıtma tesisine verilmeden önce bazı kirletici değerlerinin belirli standartlara indirgenmesi istenir. Böylece tesiste karşılaşılabilecek problemlerin önlemleri baştan alınmış olur. İlk arıtma atıksularda askıda madde giderimi, dengeleme ve pH ayarını kapsar.

Proje debisinden farklı akımlar için atıksuyun günlük salınımlarının dengelenmesi gerekir. Bunun için dengeleme havuzlarından faydalanılır. Dengeleme yapılmadığında proje debisinden büyük akımlar olduğunda debi açısından arıtma tesisinde şok yükleme meydana gelir. Aynı zamanda dengeleme ünitesi ile tesise giren atıksuyun aşağı yukarı aynı karakterde olması da sağlanmış olur. Sulu proseslerle çalışan hemen hemen bütün altkategorilerden çıkan atıksular için ızgaradan geçirme işlemi uygulanır. Kum tutma ve çökeltme işlemleri de uygulanan fiziksel giderimlerden biridir. Bu giderimlerin bir kısmı da dengeleme ünitesinde gerçekleşmiş olur.

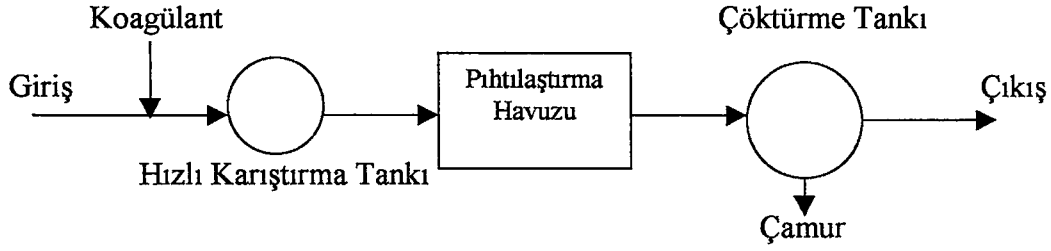
#### 4.4.2 Fiziksel – Kimyasal Arıtma

İki ayrı şekilde ele alınabilir. Birincisi krom indirgeme, sülfür oksidasyonu gibi ayrılmış akımlara uygulanan arıtma yöntemleridir. Diğer toplam atıksulara uygulanan kimyasal çöktürme veya yüzdürme gibi organik ve zehirli atıl yüklerinin kontrolüne yönelik yapılan arıtma işlemleridir.

Kimyasal arıtma arıtılacak atıksuya kimyasal maddeler (yumaklaştırıcılar) ilave edilerek, yumakların oluşturulması ve kirletici maddeleri de yapısında toplayan flokların çöktürme, filtrasyon veya yüzdürme proseslerinden biri veya birkaçının kullanılması suretiyle sudan uzaklaştırılması prensibine dayanır. Kullanılacak yumaklaştırıcının tipi, dozajı ve optimum pH aralığı laboratuvarında yapılan jar-test (kavanoz testi) çalışmasıyla belirlenir. Şekil 4.1’de kimyasal pıhtılaşma üniteleri basit bir şematik diyagramda görülebilmektedir.

Tablo 4.2 Tekstil endüstrisi atık yükleri (Tünay, 1996)

| Altkategori                     | BOİ <sub>5</sub> |              | AKM       |              | Yağ ve Gres |              | Sülfür  |              |
|---------------------------------|------------------|--------------|-----------|--------------|-------------|--------------|---------|--------------|
|                                 | mg/l             | kg/ton kumaş | mg/l      | kg/ton kumaş | mg/l        | kg/ton kumaş | mg/l    | kg/ton kumaş |
| 1. Yapak yıkama                 | 310-6700         | 3.8-210      | 120-13000 | 1.9-240      | 80-5000     | 1.3-62       | ---     | ---          |
| 2. Dokunmuş kumaş son işlemleri | 20-2000          | 3.8-220      | 20-2400   | 0.8-220      | 6-1400      | 0.6-150      | 25-580  | 0.6-130      |
| 3. Örgü kumaş son işlemleri     | 60-1900          | 4.4-85       | 20-2200   | 2.9-42       | 14-460      | 0.5-46       | 20-7100 | 3.1-770      |
| 4. Yünlü kumaş son işlemleri    | 66-750           | 22-140       | 17-240    | 9.5-97       | ---         | ---          | ---     | ---          |



Şekil 4.1 Kimyasal pıhtılaştırma akım şeması

Kimyasal arıtma biyolojik arıtmayı tamamlayıcı rol oynar. Organik maddeleri, zehirli maddeleri ya da her ikisini de dengelemek, fazla zehirliliği ya da fazla organikleri biyolojik arıtmanın büyüklüğünün optimizasyonu için gidermek, ayrışabilen ve ayrışamayan organikler, süspansiyon halindeki katı maddeler cinsinden çıkış suyu kalitesini iyileştirmek ve en çok ta rengi gidermek üzere biyolojik arıtmadan önce veya sonra uygulanabilir. Yalnız kullanıldığı zaman bu fonksiyonları gerçekleştirebilmesine rağmen, kimyasal arıtmanın verimi değişken olduğundan genellikle tahmin edilemez ve çoğunlukla belirsiz kalır.

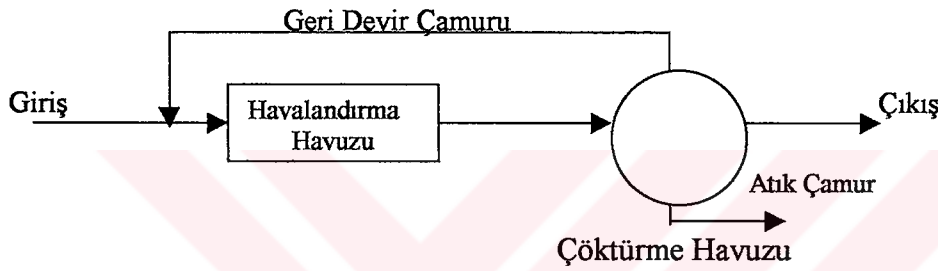
#### 4.4.3 Biyolojik Arıtma

Konvansiyonel parametrelerin giderimi tekstil endüstrisinde teknolojik olarak çok iyi tanımlanmıştır. BOİ giderimi için biyolojik arıtma en uygun arıtma teknolojisidir. Biyolojik arıtmada KOİ giderimi arıtılan suyun karakterine ve arıtma tesisinin işletme ve dizayn parametrelerine bağlılık gösterir. Biyolojik arıtılabilirlik, genellikle tekstil atıksularının BOİ veya KOİ değerlerinin biyolojik ayrışma oranlarıyla değerlendirilir. Sistemin performansını belirlemek için konvansiyonel parametrelerle birlikte mikrokirleticiler de gözönüne alınarak KOİ giderme mekanizmasının yanısıra KOİ giderme veriminin de dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tekstil endüstrisinde damlatmalı filtreler pek tercih edilmezler. Bunun sebebi biyolojik arıtılabilirliğin çok farklı guruplarda olması, homojen bir giderim hızının sağlanamamasıdır. Örneğin nişasta, alkol gibi maddeler yüksek hızla ayrışmaktayken; deterjan, yüzey aktif maddeler ise orta hızla ayrışmaktadır. Boya bileşimindeki kompleks maddeler ise yavaş hızla ayrışmaktadır. Bu durumda yüksek

hızlı biyofilm sistemler bile çok büyük olmakta, çok fazla alan gerektirmekte ve ekonomik olmamaktadır. Ancak biyolojik arıtılabilirliğe göre homojen hızlar varsa biyofilm sistemler kullanılabilir.

Ayrıca bu endüstride AKM birkaç yüz mg/l olmasına rağmen bunları evsel atıksularda olduğu gibi basit çöktürme ile gidermek mümkün değildir. Kullanılan en yaygın sistem aktif çamur sistemleri olmakla beraber bunun çeşitleri içinde en çok tercih edileni uzun havalandırmalı sistemlerdir. Şekil 4.2 ve 4.3 sırasıyla uzun havalandırmalı modeli ve yün terbiyesi atıksuları için en uygun arıtma teknolojisini göstermektedir. Bu sistemlerden çıkan çamur yoğunlaştırıldıktan sonra filtrepres veya beltpresle susuzlaştırılmaktadır.

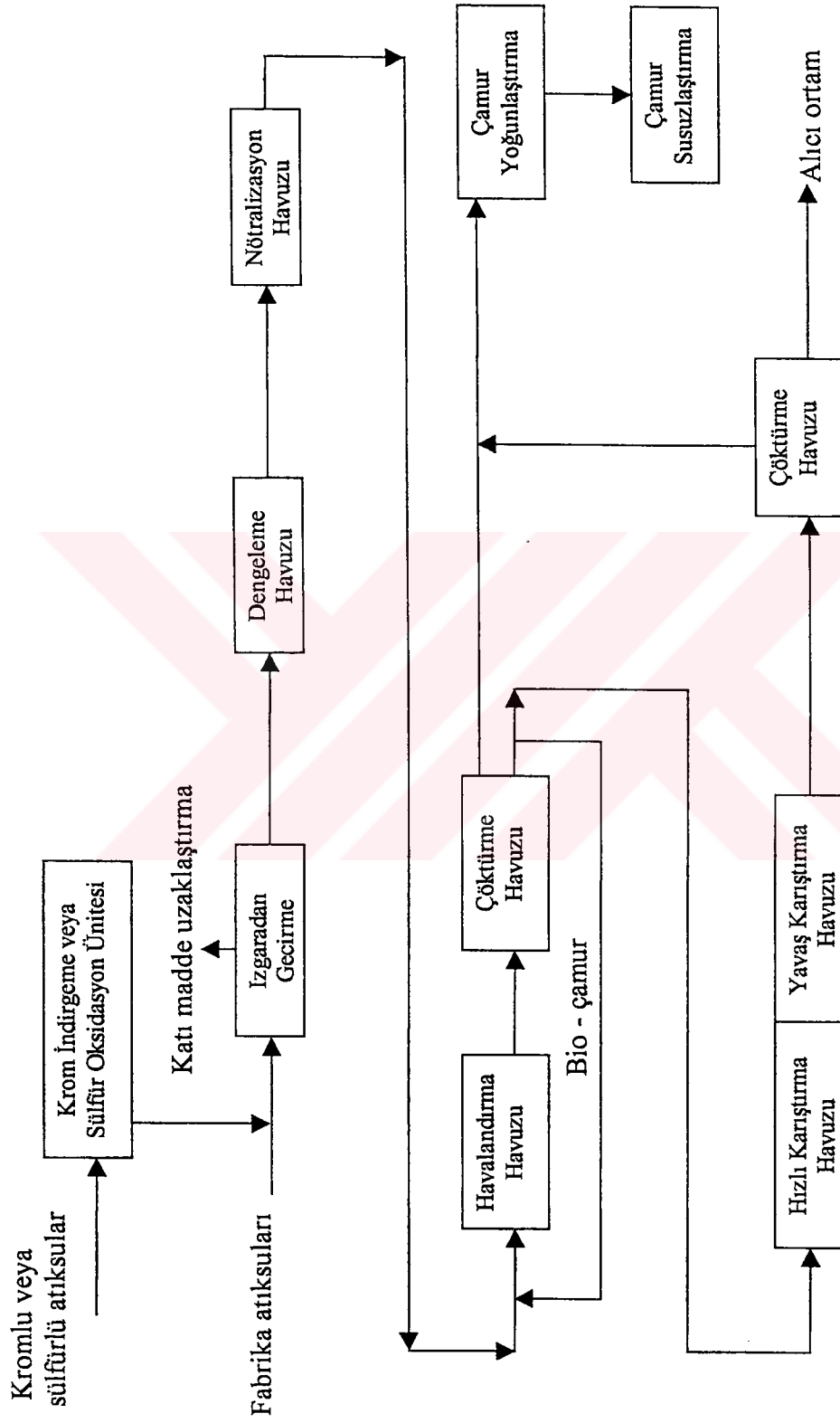


Şekil 4.2 Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi

#### 4.4.4 İleri Arıtma

Bazı hallerde biyolojik arıtma sonrasında daha ileri arıtma yapmak gerekmektedir. Biyolojik olarak ayrışamayan inert KOİ ve en önemlisi renk giderimi için bu sistem uygulanmaktadır. Kimyasal çöktürme, ozonlama, aktif karbon adsorpsiyonu ve membran prosesler bu gruba dahildir.

Tablo 4.3'de çeşitli arıtma proseslerinin başlıca kirlilik parametrelerini giderme verimleri gösterilmiştir. Tablo 4.4'de tekstil endüstrisi atıksuları için Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği çerçevesinde tekstil sanayi yün yıkama, terbiye dokuma vs. altkategorileri için şart koşulan başlıca deşarj standartları, tablo 4.5'de İSKİ atıksuların kanalizasyon şebekesine deşarj yönetmeliğince kanala deşarj standartları verilmiştir.



Şekil 4.3 Yün terbiyesi atıksuları için en uygun arıtma teknolojisi (Kocaman ve diğ., 1998)

Tablo 4.3 Arıtma sistemlerindeki proseslerin kirletici giderme verimleri (Kocaman ve diğ., 1998)

| Arıtma Prosesi                        | BOİ <sub>5</sub> | KOİ   | TAM   | Yağ – Gres | Renk  |
|---------------------------------------|------------------|-------|-------|------------|-------|
| <b>Ön Arıtma</b>                      |                  |       |       |            |       |
| Izgaradan Geçirme                     | 0-5              | -     | 5-20  | -          | -     |
| Dengeleme                             | 0-20             | -     | -     | -          | -     |
| Nötralizasyon                         | -                | -     | -     | -          | -     |
| Kimyasal Pıhtılaştırma                | 40-70            | 40-70 | 30-90 | 90-97      | 0-70  |
| Flotasyon                             | 30-50            | 20-40 | 50-60 | 90-98      | -     |
| <b>Biyolojik Arıtma</b>               |                  |       |       |            |       |
| Konvansiyonel aktif çamur ve Çöktürme | 70-95            | 50-70 | 85-95 | 0-15       | -     |
| Uzatmalı havalandırma ve Çöktürme     | 70-94            | 50-70 | 85-95 | 0-15       | -     |
| Havalandırmalı lagün ve Çöktürme      | 60-90            | 45-60 | 50-80 | 0-10       | -     |
| Aerobik lagün                         | 50-80            | 35-60 | 50-80 | 0-10       | -     |
| Damlatmalı Filtre                     | 40-60            | 20-30 | -     | -          | -     |
| <b>Üçüncü Kademe Arıtma</b>           |                  |       |       |            |       |
| Kimyasal Pıhtılaştırma                | 40-70            | 40-70 | 30-90 | 90-97      | 0-70  |
| Karışık Ortamlı Filtrasyon            | 25-40            | 25-40 | 80    | -          | -     |
| Karbon Adsorbsiyonu                   | 25-40            | 25-60 | 25-40 | -          | 80-90 |
| Klorlama                              | 0-5              | 0-5   | -     | 0-5        | 0-5   |
| Ozonlama                              | -                | 30-40 | 50-70 | -          | 70-80 |
| <b>İleri Arıtma</b>                   |                  |       |       |            |       |
| Sprey Sulama                          | 90-95            | 80-90 | 95-98 | -          | -     |
| Evaporasyon                           | 98-99            | 95-98 | 99    | -          | -     |
| Ters Osmoz                            | 95-99            | 90-95 | 95-98 | -          | -     |

Tablo 4.4 Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde tekstil sanayi (yün terbiye) atıksularının alıcı ortama deşarj standardı

| PARAMETRE        | BİRİM | KOMPOZİT<br>NUMUNE<br>(2 SAATLİK) | KOMPOZİT<br>NUMUNE<br>(24 SAATLİK) |
|------------------|-------|-----------------------------------|------------------------------------|
| BOİ <sub>5</sub> | mg/l  | 200                               | 100                                |
| KOİ              | mg/l  | 400                               | 300                                |
| AKM              | mg/l  | 400                               |                                    |
| Amonyum Azotu    | mg/l  | 5                                 |                                    |
| Serbest Klor     | mg/l  | 0.3                               |                                    |
| Yağ-Gres         | mg/l  | 200                               | 100                                |
| Toplam Krom      | mg/l  | 2                                 | 1                                  |
| Sülfür           | mg/l  | 0.1                               |                                    |
| Sülfat           | mg/l  | 1                                 |                                    |
| pH               |       | 6-9                               | 6-9                                |

Tablo 4.5 İSKİ Atıksuların kanala deşarj standartları (2 saatlik kompozit)

| Parametre                            | İzin verilebilir değer (mg/l) |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)      | 800                           |
| Toplam Askıda Katı Madde (AKM)       | 350                           |
| Toplam Azot (TN)                     | 40                            |
| Toplam Fosfor (TP)                   | 10                            |
| Anyonik Yüzey Aktif Madde (Deterjan) | 0                             |
| Toplam Krom                          | 5                             |
| Sülfür (S <sup>-2</sup> )            | 2                             |
| Çinko (Zn <sup>+2</sup> )            | 10                            |
| Arsenik (As)                         | 10                            |
| Kalay (Sn)                           | 5                             |
| Kadmiyum (Cd)                        | 2                             |
| Bakır (Cu)                           | 5                             |
| Kurşun (Pb)                          | 3                             |
| Nikel (Ni)                           | 5                             |
| Cıva (Hg)                            | 0.2                           |
| Gümüş (Ag)                           | 5                             |
| Toplam Siyanür (CN)                  | 10                            |
| Sülfat                               | 1700                          |
| Fenol                                | 10                            |
| Yağ ve Gres                          | 100                           |
| pH                                   | 6-7                           |

## 5. BOYAHANE ATIKSULARININ MEMBRAN PROSESLERLE ARITIMI

### 5.1 Giriş

Genel olarak boyahane suları koyu renge, yüksek sıcaklığa, yüksek KOİ, toplam çözünmüş katı ve bazen de yüksek alkaliniteye sahiptir. Kullanılan proseslerin çeşitliliğinden, atıksular dayanıklılık ve akış yönünden değişkendir. Aynı zamanda atıklarda proses kimyasallarından kaynaklanan toksik bileşiklerde mevcuttur. Tablo 5.1 boyahane atıksularının genel karakteristiğini göstermektedir.

Boya atıkları ve tekstil proseslerinden gelen diğer atıksular, atıksu arıtma tesislerinin çalışmasında problemlere yol açarlar. Bu problemleri çamurda kabarma, renkte süreklilik, pH'da, sıcaklıkta, ağır metallerde aşırılık ve hidrolik akış hızında değişiklikler olarak sıralayabiliriz. Ayrıca birçok boya çeşidi, biyolojik ayrışmaya dayanıklı olarak geliştirildiğinden tekstil atıksularından biyolojik sistemlerle giderimi sağlanamamıştır. Böylece renk giderimi tekstil atıksularında karşılaşılan en önemli çevresel problemlerden biri olmuştur (Bucley,1992).

### 5.2 Boyama Teknolojisi

Boyalar, boya kromoporu ve boya fonksiyonel gurubu denen iki anahtar bileşkeden oluşan küçük moleküllerdir ( Correia ve diğ., 1994 ).

**Boya Kromoporu :**Bu kısım çift bağ içerir ve boyanın renginden sorumlu kısımdır. Bu molekül ışığa maruz bırakıldığında yapısı kararsızlaşır, ışık absorbe edilir ve renk belirginleşir. Kromopor gruplarının yirmi civarında kimyasal sınıflandırması mevcuttur. Bunlar azo , antrakuinan , benzodifuranon, indigo ve sülfür gruplarını içerir. Ticari boya üreticilerinin aşağı yukarı yüzde ellisi azo gruplarını kullanırlar bunu poplarite bakımından antrokuinan gurubu takip eder.

Tablo 5.1 Tekstil boyahane atıksularının tipik karakteristikleri (Gaeta ve Fedele, 1991)

|                        |               |
|------------------------|---------------|
| T, °C                  | 10-90         |
| KOI, ppm               | 80-4000       |
| BOİ, ppm               | 50-2000       |
| TAK, ppm               | 20-500        |
| Renk                   | Görünür, 1:40 |
| Süfektantlar, ppm      |               |
| Anyonik                | 0-5           |
| Kasyonik               | 0-2           |
| Nan-iyonik             | 2-50          |
| Cr <sup>+3</sup> , ppm | 0-1           |
| Cr <sup>+6</sup> , ppm | 0-1           |
| NH <sub>3</sub> , ppm  | 0-30          |
| Fenoller, ppm          | 0-12          |
| pH                     | 0-12          |

**Boya Fonksiyonel Gurubu :** Molekülün bu kısmı elyaf ve boya arasındaki bağdan sorumludur. Yapı genelde reaktif grup bağlanmış bir benzen halkası içerir (örneğin SO<sub>3</sub>Na). Boya elyafa (elyaf ve boya fonksiyonel gurubu arasındaki reaksiyon ) kovalent veya iyonik bağlarla , Van der Waals kuvvetleriyle veya kolloidal boya kısmının elyaf içine aşılması ile bağlanır.

Doğal ve sentetik elyaflar veya her ikisinin de karışımı olanlar, boyahanelerde aynı anda işleminden geçirilirler. Her bir elyaf türü özel bir kimyasal kompozisyona ve boya molekülünün elyafa tutunması bakımından belirli bir avantaja sahiptir. Genellikle birden çok boya türü bir elyafa uygulanır. Fakat her bir boya türü , elyafa boyanın optimum yapışmasını sağlamak ve nüfuzunu derinleştirmek bakımından , özel fiziksel ve kimyasal şartlara ihtiyaç duyar. Bundan dolayı her bir elyaf türü kendine özgü boya çeşidi ile farklı yapıda bir atıksu üretir. Bunun sonucunda da atıksu kompozisyonu çok geniş bir dağılım gösterir.

### 5.2.1 Boya Sınıflandırması

Kimyasal yapılarına ve elyafa tutunma mekanizmasına göre sınıflandırılmış yüzlerce boya literatürde mevcuttur. Tablo 5.2’de sıkça kullanılan 10 boya tipi elyafa uygulanma metodlarınca sınıflandırılmıştır. Tablo 5.2 aynı zamanda tutunma

mekanizmasını, uygulama metodunu ve kullanılan kimyasalları listeler. Renk giderimi teknolojisinin seçiminde öneme sahip olan boya karakteristiği aynı zamanda bu tablo ile sağlanmış olur. Birçok renk giderim metodu üzerine uzun yıllar araştırma yapılmış tablo 5.3’de de Treffry-Goatley tarafından renk giderim metodlarına göre alternatif bir sınıflandırma yapılmıştır.

Tablo 5.2 Boya sınıflandırması (Correia ve diğ., 1994)

| Boya tipi                                                               | Özellikleri                                                          | Birleştiği elyaf tipi                            | Boya-elyaf tutunma mekanizması    |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Asit                                                                    | Anyonik<br>Suda çözünürlüğü yüksek<br>Zayıf ıslak sabitliği          | naylon,<br>yün                                   | iyonik bağ                        |
| Metal kompleksli Asit boya (boya molekülü krom ve kobalt ile birleşik.) | Anyonik<br>Suda düşük çözünürlük<br>Zayıf ıslak sabitlik             | naylon,<br>yün                                   | iyonik bağ                        |
| Direk                                                                   | Anyonik<br>Suda çözünürlüğü yüksek<br>Zayıf ıslak sabitlik           | pamuk<br>viskoz                                  | iyonik bağ                        |
| Temel veya katyonik                                                     | Katyonik<br>Suda yüksek çözünürlük                                   | akrilik                                          | iyonik bağ                        |
| Dispers                                                                 | Kolloidal dağılım<br>Suda çok zayıf çözünürlük<br>Islak sabitlik iyi | polyester, naylon,<br>akrilik,<br>selüloz asetat | kolloidal empenye,<br>adsorbsiyon |
| Reaktif                                                                 | Anyonik,<br>Suda yüksek çözünürlük<br>Islak sabitlik iyi             | pamuk,<br>viskoz,<br>yün                         | kovalent bağ                      |
| Sülfür                                                                  | Elyafı reaksiyon<br>Sonrasında kolloidal<br>Çözünmez<br>Islak sabit  | pamuk,<br>viskoz                                 | boya elyaf içinde<br>çökelir      |
| Vat                                                                     | Sülfür boya gibi                                                     | pamuk,<br>viskoz                                 | boya elyaf içinde<br>çökelir      |
| Azoik                                                                   | Sülfür boya gibi                                                     | pamuk,<br>viskoz                                 | boya elyaf içinde<br>çökelir      |
| Mordant veya krom                                                       | Anyonik<br>Suda çözünür<br>Islak sabitlik iyi                        | yün                                              | elyaf-krom-<br>boya kompleksi     |

Tablo 5.3 Renk giderimine göre boya sınıflandırması (Gaeta ve Fedele, 1991)

| Gruplandırma | Boya sınıfı                                            | Yük / Solüsyon durumu      | Teknoloji                                               |
|--------------|--------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------|
| Grup I       | Dispers<br>Azoik<br>Vat<br>Sülfür                      | Negatif yüklü<br>Kolloidal | Koagülasyon<br>Membran<br>Oksidasyon                    |
| Grup A       | Asit<br>Reaktif<br>Direkt<br>Mordant<br>Metal kompleks | Anyonik<br>Çözünür         | Adsorbsiyon<br>İyon değiştirme<br>Membran<br>Oksidasyon |
| Grup C       | Temel                                                  | Katyonik<br>Çözünür        | Adsorbsiyon<br>İyon değiştirme<br>Membran<br>Oksidasyon |

### 5.3 Boyahane Sularında Membran Uygulamaları

Membran prosesler , hem boya maddelerini uzaklaştırıp katkı kimyasallarını yeniden kullanıma sunabilme , hem de boya maddeleri ve ilavelerini daha konsantre hale getirirken saflaştırılmış temiz su üretebilme potansiyellerine sahiptir.

Konsantre kısım daha da arıtılabileceği gibi kanala deşarj da edilebilir. Günümüzde tüm doğal kaynaklarla birlikte su kaynaklarının da giderek kısıtlı hale gelmesi, yeniden kullanımı teşvik etmektedir. Deşarj edilen konsantrenin nihai berterafı halen araştırılmaktadır.

Aşağıda öncelikle suyun yeniden kullanımı amacına yönelik olarak dört farklı membran prosesi anlatılmıştır. Kullanılan boya maddesinin sınıfına ve çıkış suyunda istenilen ayrışma derecesine göre farklı membran prosesler arasından seçim yapılmaktadır.

#### 5.3.1 Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon kolloidal boyaların, boya banyosundan ve takip eden durulama sularından uzaklaştırılması için uygundur. Katkı kimyasalları süzüntü suyunda kalır. Mikrofiltrasyon ile arıtılabilen boyahane çıkış suları, polyesterin dispers, pamuk ve viskozun sülfür, vat, azoik boyalarla boyanmasından oluşan atıksulardır. Dispers boyama çıkış sularının arıtılmasından elde edilen süzüntü suları proses içinde tekrar

kullanılabilmektedir. Fakat , sülfür , vat ve azoik boyaların boyama işlemi sırasında çökelmesinden ve bu çökeltme ajanlarının süzöntü suyunda da var olmasından dolayı, bu kısımdan elde edilen süzöntü suları tekrar kullanılamamakta ve deşarj edilmektedir.

#### **5.3.1.1 Mikrofiltrasyon Uygulamasına Bir Örnek**

Güney Afrika'da bir tekstil fabrikasında 40 m<sup>3</sup>/gün'lük kapasitesi olan bir mikrofiltrasyon tesisi kurulmuştur. Bu tesiste 50 l/m<sup>2</sup>h ortalama akı , 4 bar giriş basıncı sağlanmıştır. Tesise giren besleme suyu , % 100 polyester üretimi yapan fabrikada boyama işleminde kullanılan basınç jetinden gelmiştir. Kirlisuyun ön arıtımı için ince tel tambur elek kullanılmış böylece keten tiftiği sudan uzaklaştırılmış , alum dozlaması (50 mg/l) ve 5-6 arasında pH ayarlaması yapılmıştır (Groves ve dğr., 1988). Boyama prosesinde dispersant ve surfektantların bulunmasına bağlı olarak aliminyum hidroksit çöktürmesi çokça yaygınlaşmıştır. Karşı akışlı mikrofiltrasyondan elde edilen süzöntü düşük bulanıklıkta ve önem arz etmeyen renkliliktir. Bu renklilik kullanılan bazı dispers boyaların çözünürlüğünden kaynaklanmaktadır. Süzöntü suyundaki bu renklilik , % 100 polyester üretimi yapan fabrikada süzöntü suyunun bir sonraki boyama veya durulama aşamasında kullanılmasına engel olmamıştır.

#### **5.3.2 Ters Ozmos**

Ters ozmos çözünür haldeki boya maddelerinin ve iyonlarının boya banyoları çıkış sularından ayrılmasında kullanılmaktadır. Spiral sargılı modüllerde , koloidal maddeler kirlenmeye (tıkanmaya) sebep olurlar. Çözünür boya sınıfı , metal kompleks , direkt , temel veya katyonik ve reaktif boyaları içerir. Yüksek elektrolit konsantrasyonları direkt ve reaktif boyamalarda mevcuttur. Bu durumda , RO sadece durulama sularını konsantre etmek için kullanılır , boya banyoları için kullanılmaz. Fakat her halükarda renksiz ve toplam çözünmüş maddesi düşük süzöntü suyu elde edilir.

### 5.3.2.1 Ters Ozmos Uygulamasına Bir Örnek

40 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli bir RO tesisi kurulmuştur. Tesis iki kademedan oluşmuş ve her biri altı adet spiral sargılı modül ihtiva etmiştir. Birinci basamağa kuyu suyu membranları ikinci basamağa da deniz suyu membranları yerleştirilmiştir. Tesise giren besleme suyu koton / sentetik ve kotondan karışığa tüm boyahane suları arasında değişim göstermiş; dispers boyaların varlığından ötürü birinci basamağa girecek olan besleme suyu alum ile flokülasyon ve karşı akışlı mikrofiltasyonu takip eden pH (5-6) ayarlaması ile ön arıtmadan geçirilmiştir. Birinci basamakta işletme basıncı 2.7 ila 3.1 bar (Mpa) arsında tutulmuştur.

Kuyu suyu menbranları bu aşamada iletkenliğin , toplam çözünmüş katı ve sodyum iyonlarını %96 ve üzeri oranlarda reddetmiş ve süzüntü suyuna karıştırmamıştır. Renk %90 , toplam karbon %87 oranında tutulmuştur. Birinci basamağın konsantre kısmı (membran tarafından kabul edilmeyen kısım) ikinci basamağın beslemesi olarak kullanılmıştır. İkinci basamağın işletme basıncı 5.3 – 5.8 bar (Mpa) arasında değişmiş ve besleme suyunun bir öncekine nazaran daha da yüksek olan ozmotik basıncını karşılamıştır. İletkenlik , toplam katı ve sodyum iyonları için tutma oranı %98 in üzerinde ; renk için ise bu değer %94 olmuştur (Groves ve dğr., 1988) .

İlk 4500 saatte süzüntü akısında meydana gelecek varyasyonlar düzenli ön arıtma metodları geliştirilerek önlenmiştir. Bu da karşı akışlı mikrofiltrelerin düzenli temizlenmesiyle ve flokülasyon için serbest demirli alum kullanılmasıyla başarılmıştır. Ters ozmos membranlarının her hafta organik temizleme ajanı ile temizlenmesi ve bunu takip eden asit yıkaması sabit süzüntü akısı elde etmek için yeterlidir.

Boyahaneye geri dönen kompozit süzüntü kalitesinin musluk suyu ile kıyas edilmesi uygundur. Bu süzüntü suyu pamuk/polyester ve polyester boyamaları için basınç jetinde kullanılmıştır. Boyama denemelerinde 200 000 m ürün ters ozmos süzüntü suyu ile boyama kalitesinde farkedilebilir hiçbir değişiklik olmadan boyanmıştır.

Pamuk boyamasından çıkan boyahane sularının ters ozmos ile arıtılması başarısız olmuştur. Çünkü bu çıkış suyunda aşındırıcı kimyasallar ve parafin bulunmaktadır.

### 5.3.3 Dinamik Membranlar

Tekbir kumaş türünün boyandığı boya banyoları için uygun olan bu membranların tercih edilmesi aynı zamanda atıksuyun kimyasal yapısına, sıcaklığa ve katı madde muhtevasına bağlıdır. Gerekli olan ön arıtmanın bir parça ileri olması maliyeti arttırmaktadır. Dezavantajlarının yanında dinamik membranların avantajları şöyle sıralanabilir:

1. Destekleyici tüplerin uzun kullanım süresi
2. Yüksek sıcaklık ve basınçta çalışması
3. Kolay tamir edilmesi ve tekrar kullanılması
4. Katı madde giderimi ile membranda önemli arıza olmaması

Destekleyici tabakası paslanmaz çelik, seramik veya karbondan yapılan bu membranların yapısında zirkonyum oksit, hidro zirkonyum oksit ve poliakrilik asit kullanılmaktadır.

#### 5.3.3.1 Dinamik Membran Uygulamasına Bir Örnek

Poroz paslanmaz çelikten yapılmış dinamik membranlar ultrafiltrasyon prosesinde poloyester-viskon fabrikasının boyahane atıksularının arıtılmasında kullanılmıştır. Bu tür boyama banyoları çözünür ve dispers halde boya maddeleri, asetat, tuz ve organik kimyasallar içermektedir. Atıksu 4500mg/l'ye varan toplam çözünmüş katı, 75 °C sıcaklık ve 4-9 arasında değişen pH karakteristiklerine sahiptir. Atıksuyun rengi koyudur (10 000 ADMI'nin üstünde).

Seri olarak 6:4:2 şeklinde kullanılmış bu membranlarda giriş basıncı 6 bar (Mpa), çıkış basıncı 3.8-4 bar (Mpa) arasındadır. 40 modül için membran alanı 256 m<sup>2</sup> , akım hızı 1.5 m/sn, çalışma sıcaklığı 45 °C'dir. % 85'lik bir atıksu gerikazanımı için süzüntü suyunun ortalama akısı 33 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h olarak tespit edilmiştir. %95 ve üzerinde renk giderimi ve % 80 iyonik tutma verimi elde edilmiştir.

### 5.3.4. Nanofiltrasyon Membranları

Nanofiltrasyon membranları ayırma özelliği ters ozmos ve ultrafiltrasyonun arasında olan modüllerdir. Ticari nanofiltrasyon membranları pamuklu boyama atıksularının arıtımında kullanılmaktadır. Atıksu reaktif boyaları ve onların hidrolize olmuş

atıklarını, elektrolit (sodyum klorit ve sodyum sülfat ) ve etilen diamin tetraasetik asit (EDTA) içermektedir. Atıksuda bulunan elektrolit konsantrasyonu genellikle 20-100 mg/l sodyum klorit veya 15-85 gr/l sodyum sülfattır. Boya banyosunun pH'ı 11.5 – 12.5 arasındadır. Buradaki arıtmadan amaç atıksuyun rengini gidermek ve tekrar kullanabilmek için elektrolitin geri kazanımını sağlamaktır.

Reaktif boya likörleri için nanofiltrasyon membranlarının avantajları,

1. Düşük basınç / yüksek debi ile çalışması
2. Düşük maliyet
3. Az alana ihtiyaç duyması
4. Modüllerin kolay kurulması
5. Düşük işletme maliyeti
6. Kimyasallarla temizlenmesinin kolaylığı

olarak sıralanabilir.

#### **5.3.4.1 Nanofiltrasyon Uygulamasına Bir Örnek**

Ortalama üretimi 200 ton/ay olan bir pamuklu dokuma tesisinde reaktif boya kullanımı sonucu boyahane sularının arıtımı amacıyla tam ölçekli 10 l/m<sup>2</sup>h 'lik akıda bir nanofiltrasyon tesisinin kurulmasıyla, tesis 3 yılda maliyetini karşılamıştır.

Membran akısı ve tuz tutulması verileri 0.56 m<sup>2</sup> spiral sargılı membranla yapılan pilot çalışma ile tesbit edilmiştir.

50 gr/l sodyum klorit ve mavi, yeşil, sarı, kırmızı boyalar için 1 gr/l boya konsantrasyonunda renk giderimi %99'un üzerinde olmuştur. Ayrıca deşarj edilen elektrolit konsantrasyonunda %90'ın üzerinde azalma tespit edilmiştir.

Bu tip membranların temizlenmesinde 1 gr/l sitrik asit solüsyonu kullanılması kafidir.

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

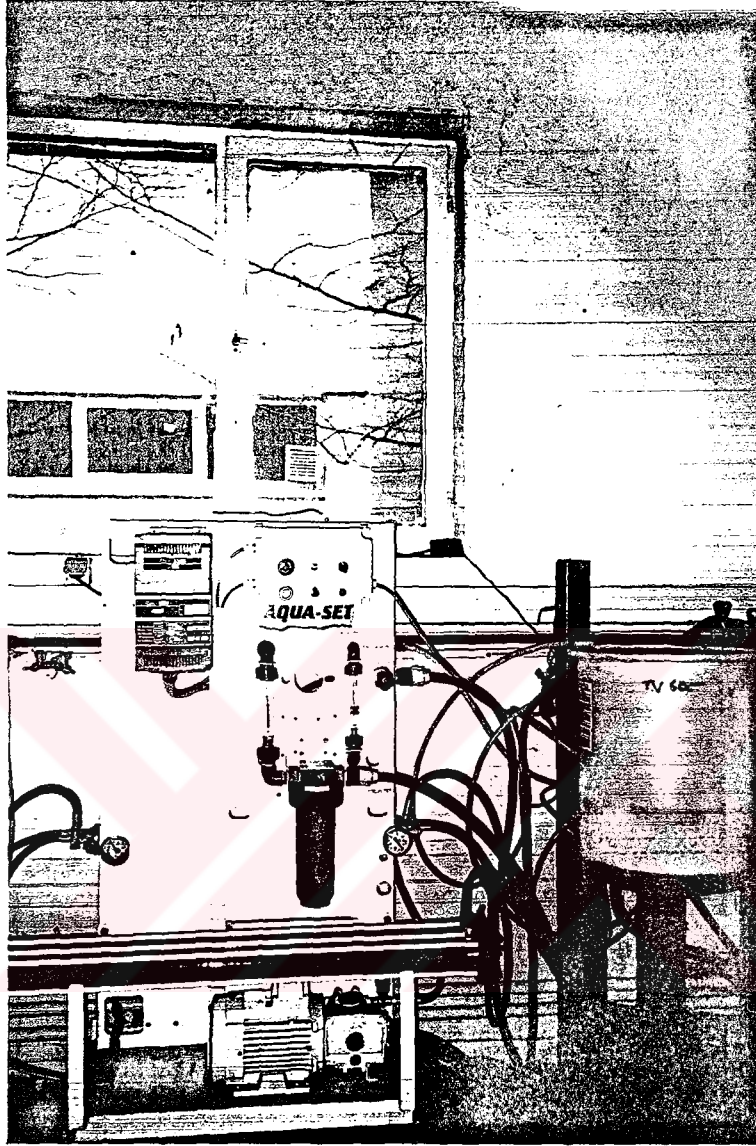
### 6.1 Pilot Tesis ve Deneylerin Yapılışı

Deneysel çalışmalarda tekstil boyahane atıksularının nanofitrasyon membranlarıyla arıtılabilirliği ve renk giderimi araştırılmıştır. İki aşamada yapılan deneysel çalışmanın birinci aşamasında membrandan çıkan konsantre ve süzüntü akımı tekrar besleme tankına geri devir ettirilerek aynı karakteristikte besleme akımı ile geri devirli kararlı hal oluşturulmuş ve izlemeler yapılmıştır (şekil 6.7). Buna, sürekli çalışma konumu denmiştir. İkinci aşama deneylerde ise süzüntü ayrı bir tankta toplanırken konsantre akım besleme tankına geri devir ettirilmiş ve kararsız hal teşkil edilmiştir (Şekil 6.8). Bu da kesikli çalışma konumunu oluşturmuştur. Yapılan deneylerde kullanılan numuneler 130 m<sup>3</sup>'lük boyahane dengeleme havuzu çıkışından alınmıştır.

#### 6.1.1 Pilot Tesis'in Tanıtımı

İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında kurulu olan tesis, Fransız SLCE firması tarafından üretilmiş AQUA-SET P 9712 no'lu pilot tesistir. Bu pilot tesisin görünüşü şekil 6.1' de verilmiştir. Tesisin genişliği 580 mm, yüksekliği 1320 mm ve uzunluğu 760 mm'dir. Membran dış kabı, çapı 63,5 mm (2,5 inç) olan membranlar kullanılacak şekilde tasarlanmış olup, 1200 mm uzunluğundadır. Tesis, yüksek basınç motoru, kartuş filtre, hidrofor, membran dış kabı, kontrol panelleri, giriş basınç manometresi, basınç ayar vanası ve farklı hacimlerdeki değiştirilebilir besleme tankı ünitelerinden oluşmaktadır. Konsantre suyu hattı üzerine ceketli soğutma suyu kabı sonradan monte edilmiştir. Cihaz üzerinde bulunan kontrol paneli üzerinde, açma / kapama düğmesi, hız ayar düğmesi, acil durdurma butonu, reset düğmesi ve hız göstergesi bulunmaktadır. Giriş suyu ve süzüntü suyu hattında 1/h ölçekli debimetreler bulunmaktadır. Renksiz ve şeffaf olan bu debimetrelerde giriş ve süzüntü sularının akış hızlarının yanı sıra rengi de görülebilmektedir. Basınç pompası

ıkışına konulan emniyet tertibatı ile kontrolsüz basınç artışılarına karşı tesis korunmuştur.



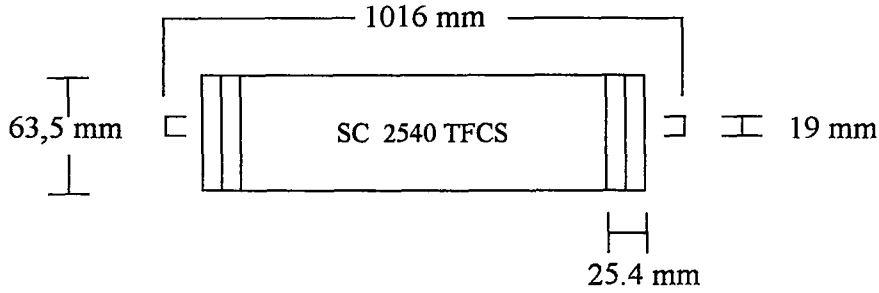
Şekil 6.1 Membran pilot tesisinin görünüşü

#### 6.1.2 Pilot Tesiste Kullanılan Membrana Ait Teknik Bilgiler

Pilot tesiste yapılan deneysel çalışmalarda Anglian Water Group'a ait, Fluid Systems Corporation tarafından üretilmiş olan nanofiltrasyon membranı kullanılmıştır. Membran tipi ince filmli kompozit yapıda olup nan – selülozik malzemeden üretilmiştir.

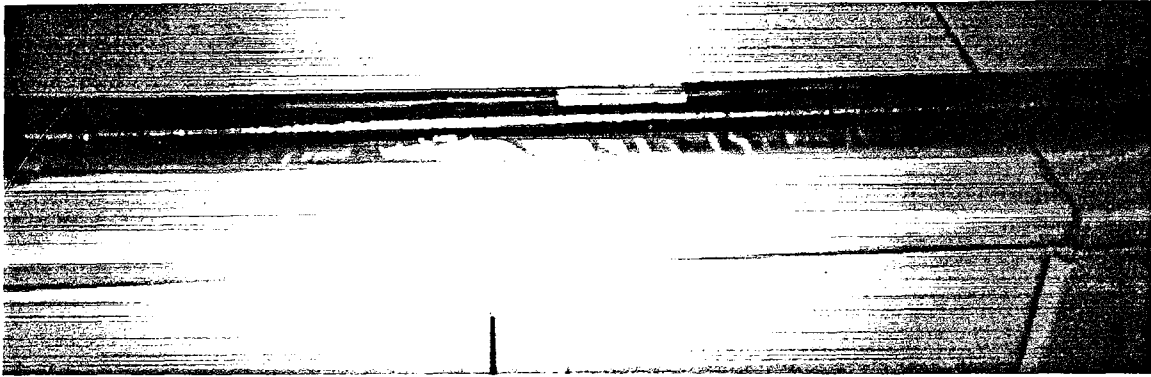
Kullanılan membranların model no SC 2540 TFCS'dir. Bu membranlar 63,5 mm (2,5 in) dış çap, 19 mm (0,75 in) iç çap ve 1016 mm (40 in) uzunluğundaki spiral

sargılı modüllerdir. Şekil 6.2’de kullanılan membran modülü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Membran modülünün şematik gösterimi

SC 2540 TFSC nanofiltrasyon membranı minimum 3727 l / gün, maksimum 5160 l/gün’lük akış yükü ile çalışabilmektedir. Sadece  $MgSO_4$ ’ın saf suda çözündüğü besleme akımları için tutma oranı ( R ) % 98 iken, bu değer diğer besleme akımlarında % 75’e kadar düşmektedir. Şekil 6.3’te deneylerde kullanılan bir membran modülü görülmektedir.



Şekil 6.3 Deneylerde kullanılan membran modüllerinden biri.

### 6.1.3 Pilot Tesisin Çalıştırılması

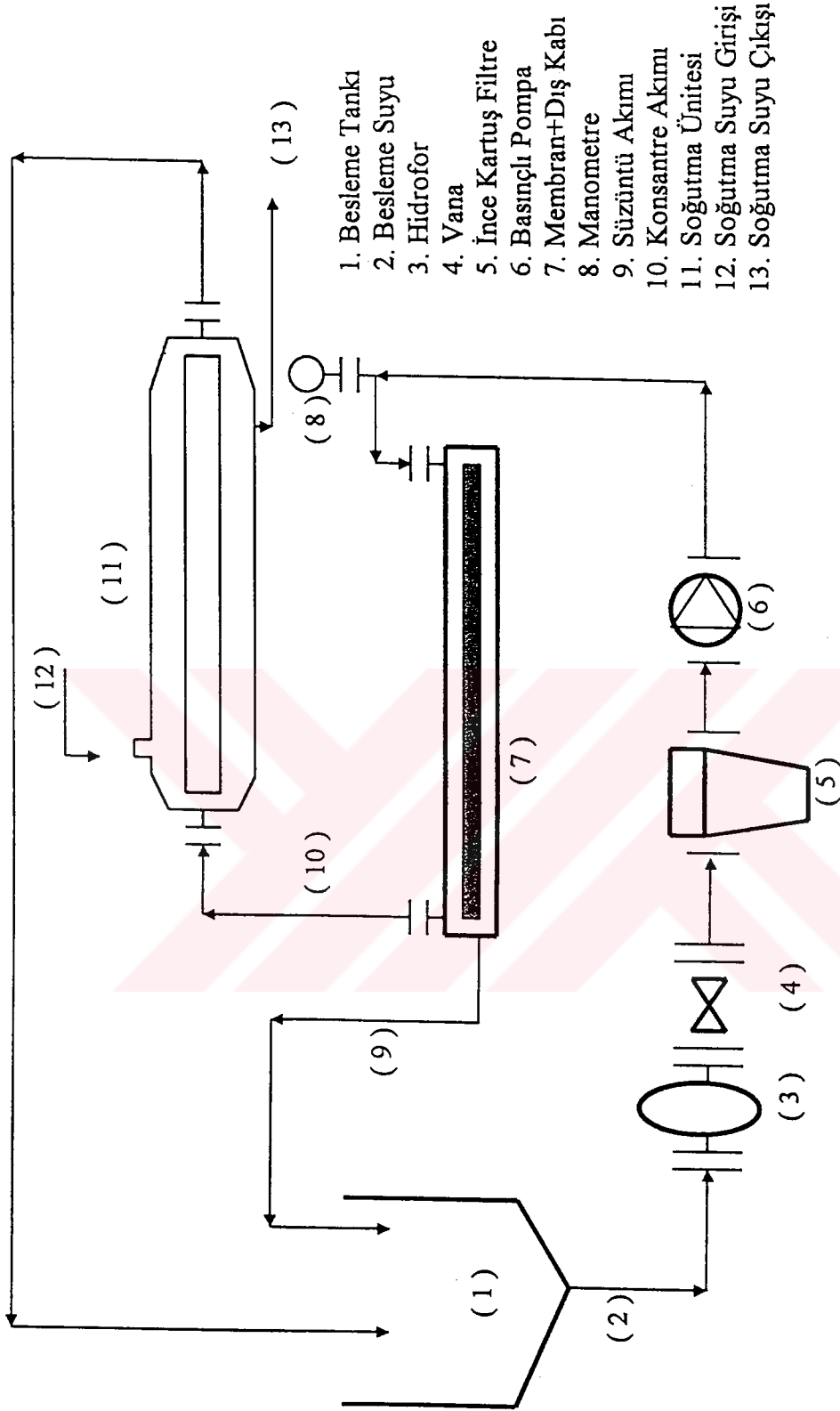
Pilot tesise ait akım şeması şekil 6.4’te verilmiştir. Bura görüleceği gibi, yüksek basınç altında membrana verilen akıma besleme akımı denmektedir. Bu akım,

membrandan geçen süzüntü akımı ve membrandan geçemeyen konsantre akımı olarak, iki ayrı akım halinde tesisten çıkmaktadır.

Laboratuvarda, birinci aşama deneylerinde, hem süzüntü akımı hem de konsantre akım, besleme tankı içine geri devir ettirilmiştir. Böylece küçük ölçekli pilot tesiste kararlı halde sürekli çalışma konumu sağlanmıştır. Yaklaşık 50 l'lik bir besleme suyu ile uzun süre çalışarak sistemin performansı değerlendirilmiştir. Bu çalışma aynı boyahane dengeleme havuzundan temin edilen üç ayrı numune üzerinde yapılmıştır. Her numune, 3, 6, 9, 12 bar olmak üzere dört ayrı basınç altında incelenmiştir. Her bir basınç ile yapılan deney 7-8 saat sürdürülmüş ve bu zaman içinde her bir deneyde kısa periyotlarda rutin ölçümler yapılmıştır. Çeşitli parametreler 15 dakikada bir, hem konsantre hem de süzüntü suyu hattından , tanka girişleri sırasında alınan anlık numuneler ile izlenmiştir. Ayrıca tanktaki değişimi veya kararlılığı görmek için, besleme tankından da numune alınarak benzer izlemeler yapılmıştır. Deney anında ölçülen parametreler her deney için oluşturulan tablolara kaydedilmiştir.

İkinci aşama deneylerinde, membrandan çıkan konsantre akım besleme tankına geri devir ettirilmiş, süzüntü ise ürün tankında toplanmıştır. Bu proses bir kapalı devre konsantrasyon sistemi olarak adlandırılmaktadır. Belirli bir besleme hacmi ve konsantrasyonu ile sistem çalışmaya başlamış, süzüntünün sürekli olarak beslemeden ayrılmasından dolayı, besleme hacmi gittikçe azalmış ve zaman geçtikçe daha konsantre bir hale gelmiştir. Bu çalışma konumuna kesikli çalışma da denmektedir. Bu model kullanıldığında, yapılan periyodik ölçümler besleme tankında, ürün tankında ve anlık süzüntü akımında gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler yapılırken gerikazanım oranları da dikkate alınmıştır.

Deneyler sırasında tanktaki besleme suyu önce hidrofor ile ince kartuş filtreye verilmiştir. Hidroforda yaklaşık olarak 2 bar basınç sağlanmıştır. İnce kartuş filtreden geçirilen akım, yüksek basınç pompasına verilmiştir. Membranda süzüntü ve konsantre olarak iki kısma ayrılan akım çalışma moduna göre geri devir ettirilmiştir. Membrandan geçiş sırasında, sıcaklık artışı sözkonusu olduğu için, konsantre akım bir soğutma tertibatından geçirilmiştir. Bu tertibat için gerekli soğutma suyu, musluk suyundan temin edilmiştir. Basınç, basınç ayar vanası ile her bir deney için belirlenen değerde sabit tutulmuştur.



Şekil 6.4 Pilot tesisin akım şeması

### 6.1.5 İzleme Deneylerinin Yapılışı

I. ve II. aşama deneylerinin her ikisinde hemen hemen aynı parametreler izlenmiş ve harcanan enerji değeri okunmuştur. Bu parametreler debi, sıcaklık, pH, iletkenlik, renk, TDS (toplâm çözülmüş katı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) olarak sıralanabilir. Bu deneylerin yapılmasında aşağıdaki yöntemler izlenmiştir.

PH; ölçümleri ORİON pH elektrodu kullanılarak ORİON SA720 tipi iyon seçicide okunmuştur.

Sıcaklık, iletkenlik ve TDS; deneyleri AGB – 1001 Laboratory Data logging tipi kondaktivimetre ile yapılmıştır.

Renk; deneyleri Hach marka Color – Metre ile, Pt.Co. (Platin cobalt) ünit biriminde ölçülmüştür. Ölçümler 30 ml’lik cam şişelerde ve 30 V, 1,5 A akımda yapılmıştır.

KOİ; standart metoda göre, numunenin gümüşlü sülfirik asit reaktifi ve bikromat çözeltisiyle geri soğutma altında 2 saatlik kaynatma süresinde indirgemiş olduğu potasyum bikromat miktarı ölçülerek yapılmıştır.

Elektrik; harcamaları sisteme ilave edilmiş bir elektrik sayacı vasıtası ile tespit edilmiştir.

### 6.2 Pilot Tesiste Yapılan Deneyler

Pilot tesiste yapılan deneylerde tekstil boyahane dengeleme havuzundan alınan atıksu numuneleri ile çalışmıştır. Seçilen membran tipinin atıksuda bulunan bazı kirletici parametreleri, farklı basınçlarda giderme verimleri araştırılmıştır.

Deneylerde, Fluid Systems tarafından üretilen SC 2540 TFCS model nolu nanofiltrasyon (NF) membranları kullanılmıştır. Deneyler (3-4), 6, 9, 12 bar olmak üzere dört farklı basınçta gerçekleştirilmiş ve sistemin bu basınçlardaki performansı belirlenmiştir. Deney sonuçları, akı, harcanan enerji ve kirletici parametreleri gözönüne alınarak, çeşitli grafiklerin de yardımıyla değerlendirilmiştir.

Akı, birim zamanda birim alandan geçen akımın bir göstergesidir. Süzüntü akımı debisi, 1 l’lik bir mezür ve bir kronometre yardımı ile hesaplanmıştır. Başlangıçta,

( $sn / l$ ) olarak okunan değer, daha sonra membran alanıda dikkate alınarak ( $l / m^2 \cdot h$ ) birimine dönüştürülmüştür. Deneylerde kullanılan membran alanı  $2 \text{ m}^2$ 'dir. Enerji tüketimi, enerji hattı üzerinde teçhiz edilmiş olan elektrik sayacı vasıtası ile anlık okumalar yapılarak belirlenmiştir. Sonuçlar daha sonra, elde edilen  $m^3$  süzüntü suyu başına harcanan enerji olarak değerlendirilmiştir.

Kirletici giderme verimi (E), süzüntü ile tank içindeki konsantrasyon farklılığı esas alınarak hesaplanmıştır. Buna göre E,

$$E(\%) = 1 - \frac{C_s}{C_t} \quad (6.1)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada  $C_t$  tank içindeki,  $C_s$  ise süzüntü suyundaki konsantrasyondur.

### 6.2.1 İncelenen Tesisin Tanımı

Deneylerde İstanbul İli sınırları içinde kurulu olan bir yönlü kumaş ve konfeksiyon fabrikasının boyahane atıksuları ile çalışılmıştır.

1952 yılında açılmış olan fabrika toplam 125.000 m<sup>2</sup> alana kurulu olup, üretim kapasitesi yaklaşık olarak 10 x 10<sup>6</sup> m / yıl'dır. Kumaş üretimi için iki adet hammadde kullanılmaktadır. Bunlar Avustralya'dan ithal edilen temiz yapak ve yerli üreticilerden veya Avrupa ve Japonya'dan ithal edilen polyesterdir.

Ayrıca, yün ve yünlü mamüllerin boyanmasında asidik boyalar, dispers boyalar ve metal kompleks boyalar kullanılmaktadır. Kullanılan tüm boyar maddeler İngiltere ve Almanya'dan gelmekte olup ISO 9000 ve 14000 belgelidir.

**Apres ve boyahanedede kullanılan likit kimyasallar:**

- Kieralonde D; pH = 10, naniyonik (alkali fenal etakoilat)
  - Roma Silikon 271; ph = 4, katyonik (silikon eoaol, yumuşatıcı)
  - Romapon 311; pH = 10,5 , anyonik (poliglikoleter + aktif sülfat amit karışımı)
  - Reservol 170; pH = 6,5 , katyonik (modifiye etoksilat)
  - Sandoclean PC likit (apre + boya); pH = 5,5 , naniyonik (alkil polig lycolesher)
- olarak sıralana bilir.

Fabrika günde 3 vardiya kesintisiz çalışmaktadır. Üretilen kadın - erkek dış giyim kumaşlarının % 97'si 1. kalit, % 3'ü ise 2. kalitedir.

**Üretilen mamüller dört gurup altında toplanır:**

1. Yün kumaş: % 100 yündür. Yılda 4.000.000 m üretilir.
2. Yün – Polyester Kumaş: % 50 yün - % 50 polyester içerir. Yılda  $3,5 \times 10^6$  m üretilir.
3. Fantezi Kumaş: İplik dışardan alınır. Yaklaşık 1.000.000 m üretilir.
4. Konfeksiyon: Yılda yaklaşık 1,5 milyon adet kadar üretilir.

Bunlara ilaveten kemling, reste iplik, tali hasıla, parça kumaş yan ürün olarak elde edilmektedir.

İncelediğimiz tesis, yünlü tekstil endüstrisine dahildir ve yün terbiyesi altkategorisinde değerlendirilmektedir. Tesiste 1 ton kumaş üretimi sonucunda, yaklaşık  $108 \text{ m}^3$  atıksu oluşmaktadır. Tesisin üretim şeması şekil 6.5' de görülebilmektedir.



Şekil 6.5. Tesisin üretim şeması

Bu proseslerin, 1 ton ürün için günlük su sarfiyatları, atıksu oluşumu ve kirlilik yükleri , mevcut kirlenme profilini gösteren, tablo 6.1' de verilmiştir.

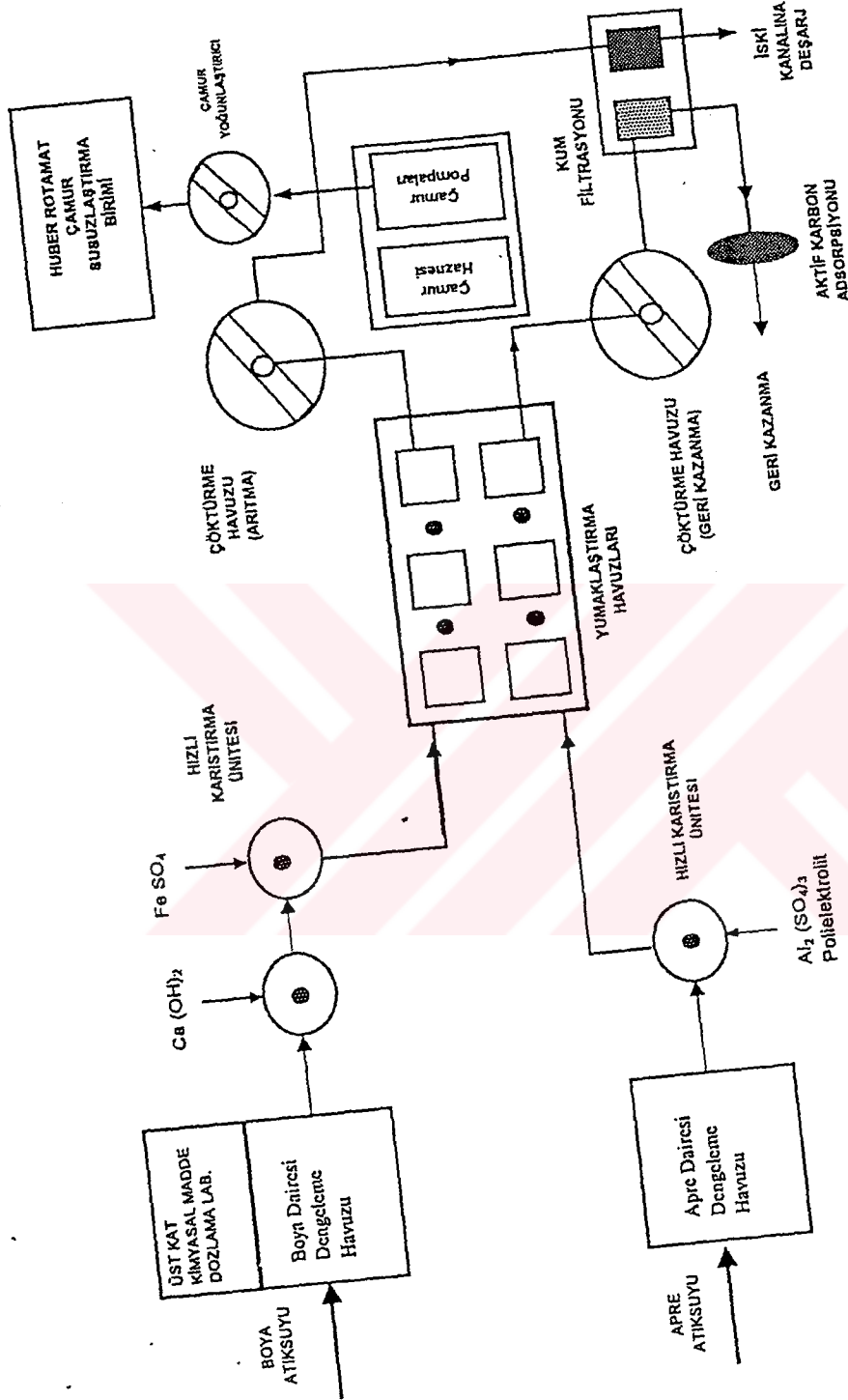
Arıtma için İSKİ atıksuların kanalizasyona deşarj yönetmeliği, geri kazanım için tekstil endüstrisinin apre işleminde kullanılacak su kalitesi yönetmelikleri esas alınmaktadır. Şekil 6.6'da da görüldüğü gibi arıtma tesisine iki ayrı kaynaktan su gelmektedir:

- 1- Aprenden gelen atıksu : Arıtma tesisine günde  $1200-1500 \text{ m}^3$  arası atıksu gelir ve geri kazanım amacı ile kimyasal yöntemlerle arıtılır.
- 2- Boyahaneden gelen atıksu : Arıtma tesisine yaklaşık günde  $1000 \text{ m}^3$  su olarak gelir ve kimyasal arıtma yöntemi ile arıtılır.

Tablo 6.1 Tesisin mevcut kirlenme profili, (Kocaman ve diğ., 1998)

|               | ÜRETİM             | ATIKSU                         |                            | KOİ         |                     |                 | BOİ <sub>5</sub> |                     |                 |
|---------------|--------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------|---------------------|-----------------|------------------|---------------------|-----------------|
| PROSES        | t kumaş/gün<br>(1) | m <sup>3</sup> /t kumaş<br>(2) | m <sup>3</sup> /gün<br>(3) | mg/l<br>(4) | kg/t kumaş<br>(2x4) | kg/gün<br>(3x4) | mg/lt<br>(5)     | kg/t kumaş<br>(2x5) | kg/gün<br>(3x5) |
| Yıkama        | 9.35               | 21                             | 200                        | 2000        | 42                  | 400             | 500              | 11                  | 100             |
| Çalkalama     | 9.35               | 86                             | 800                        | 125         | 11                  | 100             | 50               | 4                   | 40              |
| Karbonizasyon | 9.35               | 60                             | 561                        | 500         | 30                  | 281             | 100              | 6                   | 56              |
| Dinkleme      | 9.35               | 10                             | 94                         | 400         | 4                   | 37              | 250              | 3                   | 23              |
| Boyama        | 9.35               | 107                            | 1000                       | 1500        | 161                 | 1500            | 400              | 43                  | 400             |
| TOPLAM        | 9.35               | 284                            | 2655                       | 871         | 247                 | 2318            | 233              | 66                  | 619             |

|               | AKM         |                     |                 | SÜLFÜR      |                     |                 |
|---------------|-------------|---------------------|-----------------|-------------|---------------------|-----------------|
| PROSES        | mg/l<br>(6) | kg/t kumaş<br>(2x6) | kg/gün<br>(3x6) | mg/l<br>(7) | kg/t kumaş<br>(2x7) | kg/gün<br>(3x7) |
| Yıkama        | 500         | 11                  | 100             | -           | -                   | -               |
| Çalkalama     | 50          | 4                   | 40              | -           | -                   | -               |
| Karbonizasyon | 150         | 9                   | 84              | -           | -                   | -               |
| Dinkleme      | 900         | 9                   | 84              | -           | -                   | -               |
| Boyama        | 85          | 9                   | 85              | 2           | 0.2                 | 2               |
| TOPLAM        | 148         | 42                  | 393             | 2           | 0.2                 | 2               |



Şekil 6.6 İncelenen fabrikanın atıksu arıtma ve geri kazanma üniteleri

**Apres dairesinden gelen atıksular :** Apre bölümü atıksularının büyük bir kısmı ön yıkama, son yıkama, ön çalkalama ve son çalkalama olmak üzere dört bölümden çıkmaktadır. Bir şarjda çıkan 25 m<sup>3</sup> suyun ön ve son yıkama bölümlerinde oluşan 5m<sup>3</sup> 'lük kısmı diğer 20m<sup>3</sup> 'lük kısma göre KOİ yönünden 10 misli daha kirlidir. Bu sebeple atıksu toplama kanalları tadil edilerek ön ve son yıkama suları ayrı bir kanal ile toplanıp boyahane atıksuları ile karıştırıldıktan sonra atıksu arıtma ünitelerine verilmektedir.

Geri kazanmaya giren apre atıksuları önce üç aşamadan oluşan bir ön arıtmadan geçer. Burada birinci aşamada su ızgara ve elekten geçirilir. İkinci aşamada kum tutma işlemi uygulanır. Üçüncü aşamada ise yağ tutulur. 100 m<sup>3</sup> hacimli tanklarda sular dengelenir. Bu tanklarda suyun bekletme süresi ihtiyaca göre 10-20 gün arasında değişir.

Buradan atıksular, kimyasal maddelerin su ile homojen olarak karıştırılması için hızlı karıştırma odalarına gelir. Hiçbir alkali kimyasal kullanılmadan alüminyum sülfat ile muamele edilir, pH 6.5–7 aralığında tutulur ve yavaş karıştırıcıya geçerken atıksuya polielektrolit verilir. Böylece flokların kolay yumaklaşarak çökmesi sağlanır.

Daha sonra, 7.8 m çapında, 166 m<sup>3</sup> hacminde çöktürme havuzuna sular alınır. Hızlı kum filtresi, yavaş kum filtresi ve renk giderimi için aktif karbon kolonundan geçen sular 1000 m<sup>3</sup> hacimli geri kazanılmış su deposuna gelir.

**Boyahaneden gelen atıksular :** Apreden gelen atıksular gibi bir ön arıtmaya tabi tutulur. Sıvı atıklar boya makinelerinden kesikli olarak gelmektedir ve farklı zamanlarda kirletici konsantrasyonu açısından bir dengesizlik söz konusu olmaktadır. Bu açıdan, tesisin şok yüklemelere karşı korunması amacıyla atıksular 130 m<sup>3</sup> 'lük , biri yedek iki adet düşey milli santrifüj pompası bulunan dengeleme havuzuna alınır.

Buradan, apre bölümünde olduğu gibi, hızlı karıştırma ve yumaklaştırma oradan da geri kazanım bölümündeki ile aynı boyutlarda bulunan 166 m<sup>3</sup>'lük çöktürme havuzuna geçer. Buradan çıkan atıksular İSKİ kanalına deşarj edilir.

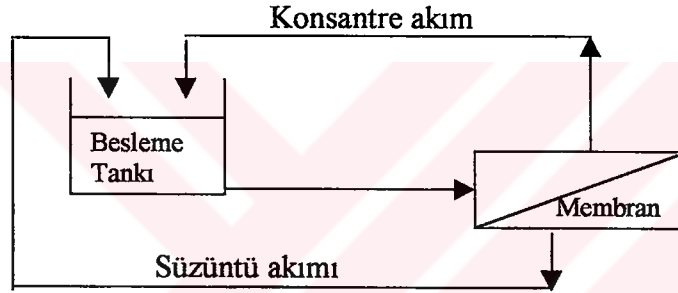
Apres (geri kazanım) ve boyadan gelen çöktürme havuzu çamurları birleştirilerek çamur pompaları ile çamur yoğunlaştırıcıya verilir. Çamur pompaları biri yedek iki adet düşey milden meydana gelir. Çamur yoğunlaştırıcı 4.85 m çapındadır. Çamur

yoğunlaştırıcıda 2-3 saat bekletildikten sonra yoğunlaştırılmış çamur Huber Rotomat çamur burgu pres ile susuzlaştırılıp katı atıklarla birlikte belediye çöplüğüne atılır.

Atıksu arıtma tesisi % 75'lik arıtma verimine sahiptir.

### 6.2.2 Birinci Aşama Deneyler

Birinci aşama deneylerinde membran prosesin çalışma konumu geri döngülü, kararlı, sürekli çalışma konumudur. Bu çalışmada membrandan çıkan süzüntü suyu ve konsantre akımı besleme tankına geri devir ettirilmiş, besleme tankı böylece aynı karakterde kalmıştır. Bu sayede, tekstil boyahane dengeleme havuzundan alınmış olan 50 l'lik numune ile uzun süre çalışılabilinmiştir. Şekil 6.7'de sistemin çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Kararlı hal, sürekli çalışma konumu

İncelenen tesisin boyama üniteleri kesikli çalıştığından boyahane dengeleme havuzu her zaman aynı tip atıksuyu karakterize etmemektedir. Aynı zamanda tesiste her zaman aynı tip boyamalar yapılmamakta, moda vs. gibi etkenlerle, boyamalar zaman zaman değişmektedir. Bundan dolayı, boyahane dengeleme havuzundan üç farklı zamanda 50' şer l'lik numuneler alınmış ve aynı çalışma üç kez tekrarlanmıştır. Her numune ile dört ayrı basınçta çalışılmış ve üç ayrı numunenin sonuçlarının birbirini doğrulayıp doğrulamadığı takip edilmiştir.

#### 6.2.2.1 Birinci Aşama Deneylerin Yapılışı

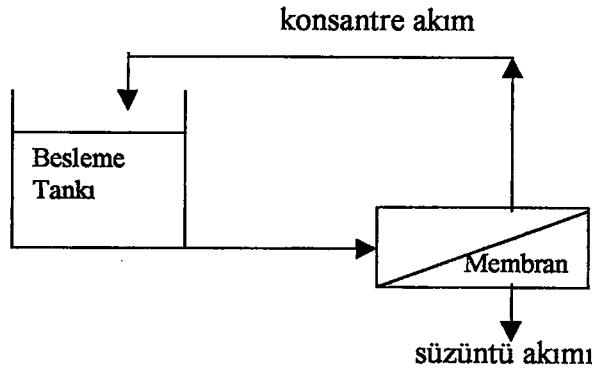
Deneylere başlamadan önce, renk, bulanıklık, iletkenlik, pH, AKM, KOİ gibi parametrelere bakılarak, atıksuyun karakterizasyonu yapılmıştır.

Besleme tankına dökülmeden önce, atıksu kaba bir kum filtresinden geçirilerek içinde bulunan elyaf ve benzeri maddeler uzaklaştırılmış, böylece kartuş filtrelerin ömrü uzatılmıştır. Besleme tankından hidrafora gelen atıksu hidraforda basınç kazanarak kartuş filtreye , oradan yüksek basınç pompasına geçmiş ve burada basıncı ayarlanmıştır. Yüksek basınçlı atıksu NF membranına verilmiştir. Konsantre akımın üzerinden geçirilen soğutma tertibatı ile deneyler ortalama 20<sup>0</sup>C’de sürdürülmeye çalışılmıştır. Her bir numune ile 3-6-9-12 bar olmak üzere dört farklı basınçta, dört ayrı deney yapılmış ve deneylerin her biri 7-8 saat sürdürülmüştür.

Bu 7-8 saatlik deney süresince her 15 dakikada bir, besleme tankının ve süzöntü akımının, iletkenlik, sıcaklık, pH değerlerine bakılmış, süzöntü akımının akı değişimleri belirlenmiş ve elektrik sayacı okunmuştur. Ayrıca, besleme akımının ve süzöntü akımının renk ve KOİ değerleri belirlenmiş ve giderim verimleri tayin edilmiştir.

### 6.2.3 İkinci Aşama Deneyler

İkinci aşama deneyleri, değişken durumlu konumunda sürdürülmüştür. Bu sistemde, konsantre akımı besleme tankına geri devir ettirilirken, süzöntü ayrı bir ürün tankında toplanmıştır. Şekil 6.8 sistemin çalışma prensibini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 6.8 Değişken durumlu çalışma konumu

Çalışmanın başlangıcında besleme hacmi ve konsantrasyonu belirlenmiştir. Çalışma süresi arttıkça, toplanan süzöntünün hacmi de artmıştır. Çalışma süresi içinde herhangi bir anda üretilen süzöntü suyuna anlık süzöntü, bir zaman süresi içinde ürün tankında toplanan süzöntü suyuna, averaj süzöntü denmiştir.

Süzüntü suyunun sürekli olarak beslemeden ayrılmasından dolayı, besleme hacmi gittikçe azalmış, azaldıkça daha konsantre hale gelmiştir. Böyle sistemlerde, zaman geçtikçe besleme suyu, konsantre olarak da nitelenebilir. Ürün tankında biriken süzüntü suyu ise geri kazanılmıştır. Geri kazanım oranı, burada belirli bir sürede üretilen süzüntü hacminin, başlangıçta ki besleme hacmine bölünmesi ile elde edilir.

Bu modda çalışırken öyle bir an gelir ki besleme suyunun çok konsantre hale gelmesinden ve buna bağlı olarak, besleme suyundaki ozmotik basıncın çok yükselmesinden, akıda bariz bir düşüş meydana gelir ve sistem durur.

İkinci aşama deneylerinde iki tip numune ile çalışılmıştır. Bunlardan biri laboratuvarda hazırlamış olduğumuz yüksek konsantrasyonlu NaCl çözeltisinden oluşan numune, diğeri ise tekstil fabrikası boyahane dengeleme havuzundan alınan numunedir. İkinci aşama deneylerde başlangıç hacmi 100-150 l. olan besleme suyu ile deneylere başlanmıştır. Tuzlu su numunesinde de, boyahane suyu numunesinde de dört ayrı basınçta deneyler tekrarlanmıştır.

#### **6.2.3.1 İkinci Aşama Deneylerin Yapılışı**

Deneylerde yine NF membranı kullanılmıştır. Besleme tankına geri devir ettirilen konsantre akımının üzerinden geçirilen soğutma tertibatı ile sıcaklık yaklaşık 20 °C'de sabit tutulmuştur. Tuzlu su numunesinde 4-6-9-12, boyahane atıksu numunesinde 3-6-9-12 bar olmak üzere dört ayrı basınçta deneyler yapılmıştır. Uygulanan basınç ve numuneye göre çalışma süreleri 7-2.5 saat arasında değişmiştir. Tuzlu su numunesinde 2000 µS/cm, boyahane atıksu numunesinde 700 µS/cm iletkenlikte deneylere başlanmıştır.

Deney süresince her 15 dakikada bir, besleme tankında ve anlık süzüntü akımında, iletkenlik, sıcaklık, pH değerleri analiz edilmiş ve elektrik sayacı okunmuş ayrıca, süzüntü akısı da ölçülmüştür.

Ürün tankında ise geri kazanılan süzüntü suyu 20 l'ye ulaştıktan sonra averaj süzüntünün iletkenlik, sıcaklık ve pH değerleri belirlenmiştir. Boyahane atıksuyu ile yapılan deneylerin başlangıç, orta ve sonunda besleme tankının ve süzüntünün renk ve KOİ 'leri ölçülmüş, basınçlarda göz önüne alınarak çeşitli yorumlar yapılmıştır.

## 7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel sonuçların değerlendirmesi de, deneysel çalışmalara paralel olarak iki aşamada ele alınmıştır. Birinci aşamada, bölüm 6.2.2 'de anlatılan deneyler, ikinci aşamada, bölüm 6.2.3 'de anlatılan deneyler değerlendirilmiştir.

### 7.1 Birinci Aşama Deneyleri

Deneyler, boyahane dengeleme havuzundan alınan numuneler ile dört farklı basınçta gerçekleştirilmiş; boyahane suları farklı zamanlarda farklı karakterlerde olduklarından, üç ayrı zamanda üç ayrı numune alınmıştır. Her bir numune ile deneyler tekrar edilmiş, nitekim ilk gelen numunenin iletkenliği 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve  $\text{KOİ}'$  si 712 mg/l iken, diğer numunelerde bu değerler daha düşük çıkmıştır.

#### 7.1.1 Basınç Artışı ile Akı Değişiminin İncelenmesi

Basınç artışı ile süzüntü akısı lineer artış göstermektedir. Şekil 7.1' de de görüldüğü üzere, bu durum ideal kütle transfer mekanizmasına, denklem 3.1 ve 3.2' deki ifadelerle uymakta [ $J_w = A \cdot (\Delta P - \Delta \pi)$ ], basınçtaki artış süzüntü akısını da arttırmaktadır.

Üç ayrı numune ile yapılan deneyler birbiriyle uyum içindedir. Bu deneylerde, 3 bar basınçta 5-6  $\text{l}/\text{m}^2\text{h}$  olan süzüntü akısı, 12 bar' a gelindiğinde 25  $\text{l}/\text{m}^2\text{h}$  e yükselmiştir.

Deneylere başlandığı ilk 1-1.5 saat içinde akıda kararsızlık gözlenmiş, sıcaklığında sabitlenmesi ile sistem adaptasyonunu tamamlamış ve kararlı hale gelmiştir. Şekil 7.2, 7.3 ve 7.4' te bu durum gözlenebilmektedir.

Kütle transfer mekanizmasını inhibe eden faktörler, konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmadır. Gerekli ön arıtmalarda yapılmış olduğundan, bu konuda ciddi bir problemle karşılaşılmamıştır. Fakat 2. ve 3. numuneler aşağı yukarı aynı karakterde olmasına rağmen, şekil 7.1' den de görüldüğü gibi, 3. numune ile yapılan

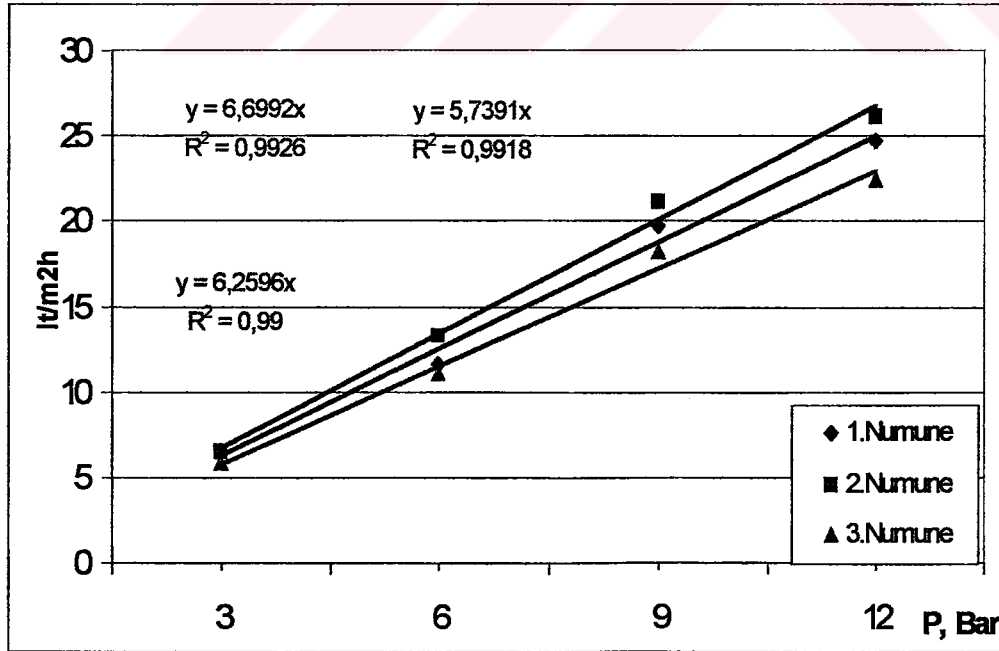
çalıřmalarda, eř basınç deęerlerinde akıda azalmalar kaydedilmiřtir. Bunun, zamanla membranda meydana gelen kirlenmeden kaynaklandığı dūřunūlmektedir.

### 7.1.2 Basınç Artıřı ile Sūzūntū İletkenliğinin İncelenmesi

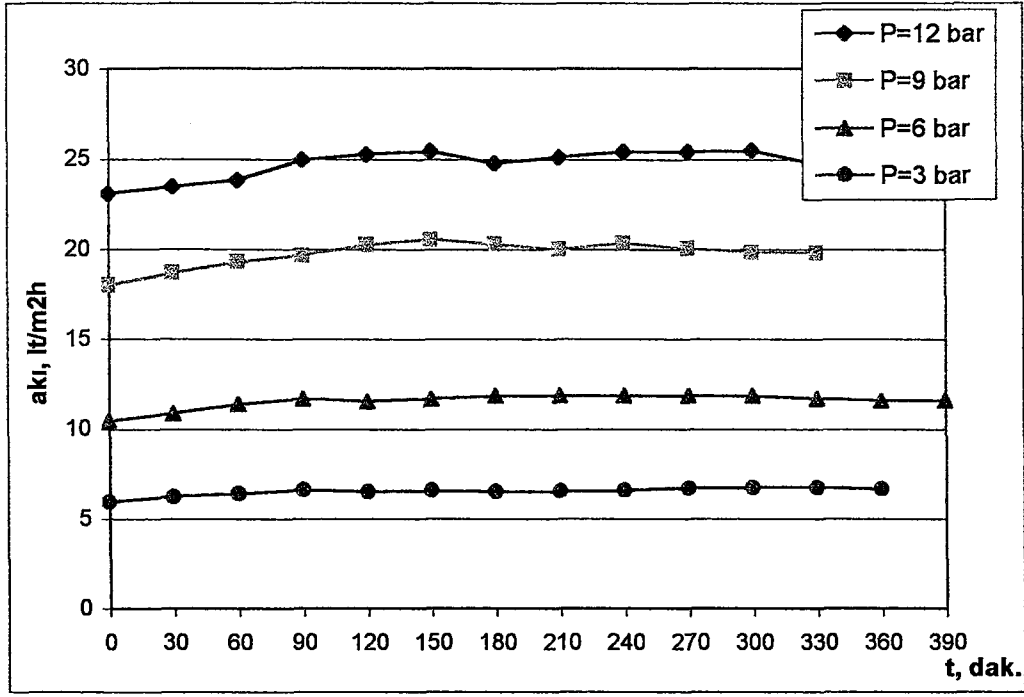
Basınç – konsantrasyon iliřkileri, basınç – iletkenlik grafikleri ile ifade edilmektedir. Basınç artıřı ile sūzūntū konsantrasyonunda dūřūř meydana gelmiřtir. Bu dūřūř 3 – 9 bar arasında sūrmūř, 9 – 12 bar arasında sabitlenmiřtir. řekil 7.5’deki basınç – iletkenlik grafiklerinde bu dūřūřlerin logaritmik bir eęri oluřturduęu gūzlenebilmektedir. 3 – 6 bar arasında konsantrasyonda ani dūřūř gūzlenirken 6 – 9 – 12 bar basınçlarda bir birine yakın deęerler çıkmaktadır. Ő ayrı numune ile yapılan çalıřmalardan elde edilen grafikler řekil 7.6, 7.7 ve 7.8’de verilmiřtir.

Besleme suyunun 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olan iletkenliği sūzūntū suyunda 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den daha az deęerlere kadar dūřmūřtir. Bu durum, sūzūntū suyunun ne kadar saflařtıęını açıkça gūstermektedir.

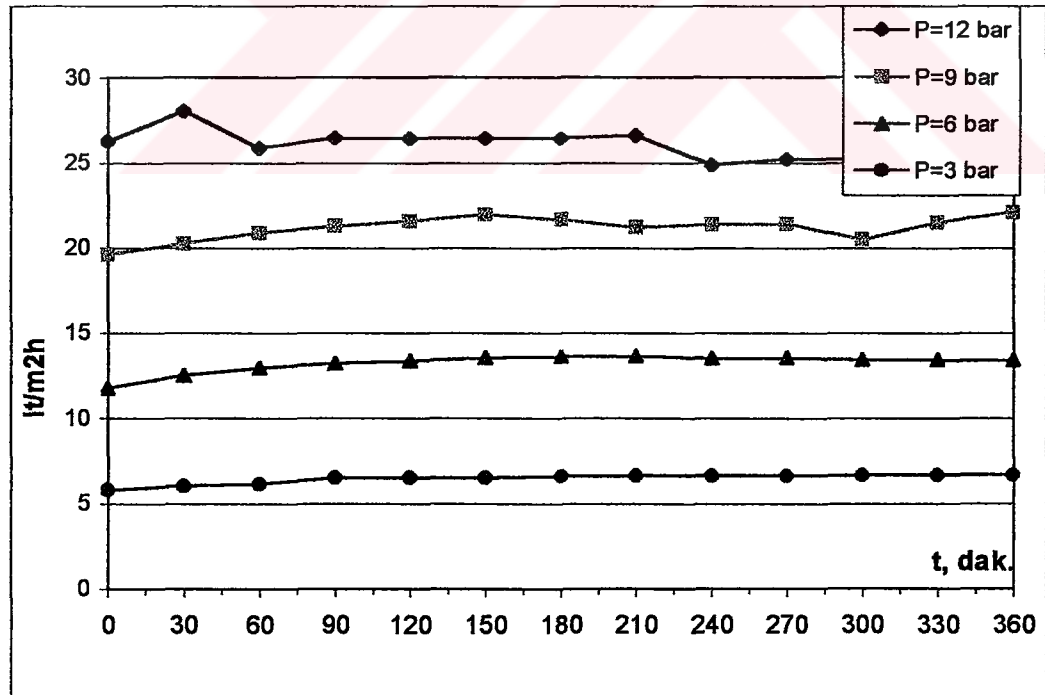
Besleme suyunun iletkenliği, 3 – 6 bar gibi dūřūřk basınçlarda % 96 – 97 oranında, 9– 12 bar gibi yūřsek basınçlarda % 97 – 98 oranında giderilmiřtir.



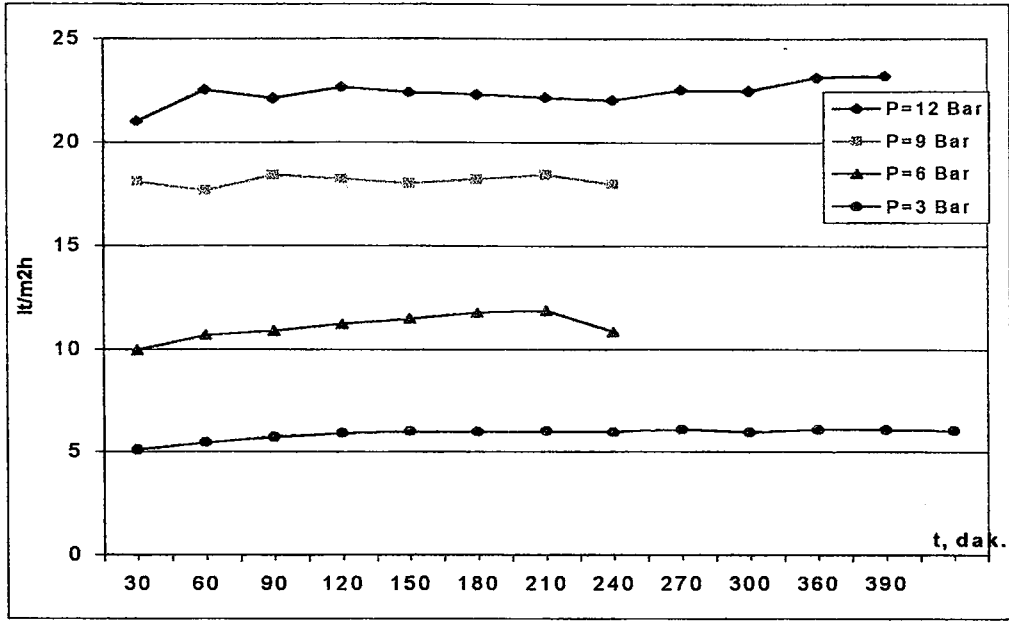
şekil 7.1 Farklı numuneler için basınç – akı ilişkileri



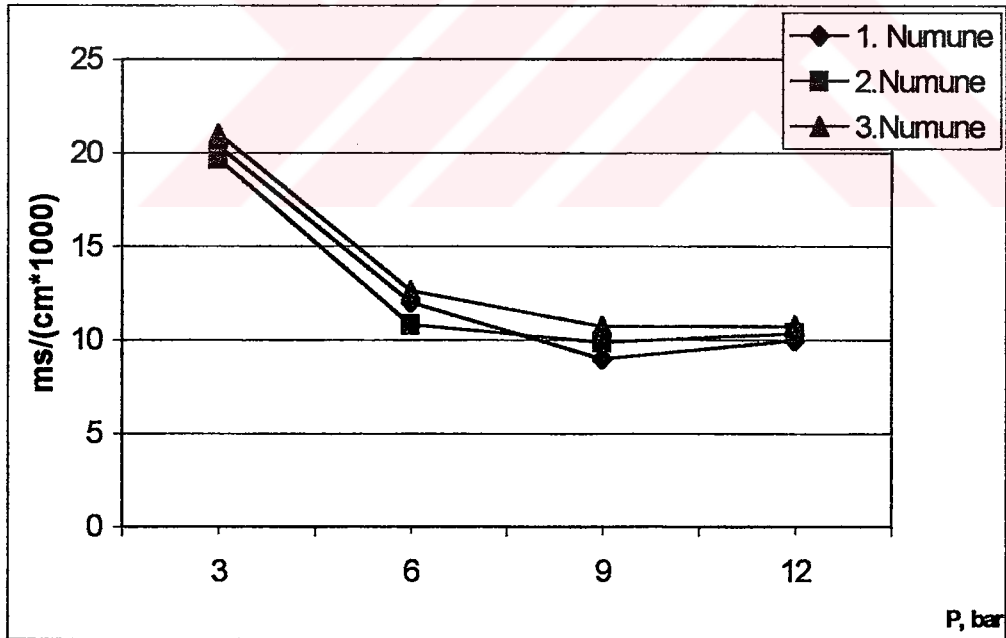
Şekil 7.2 I. numune akı değerleri



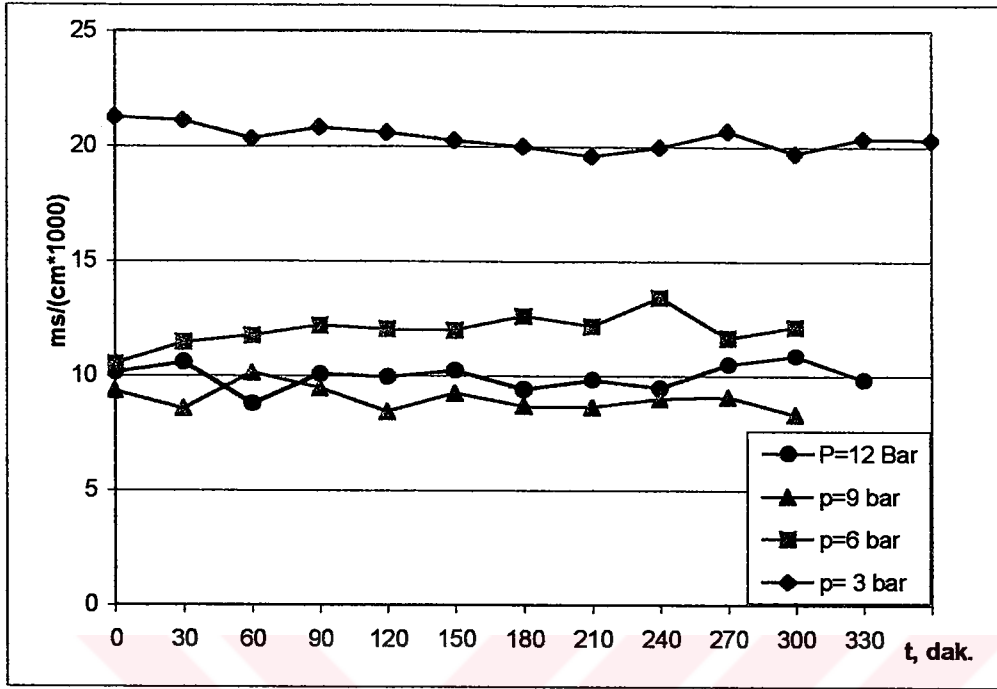
Şekil 7.3 II. numune akı değerleri



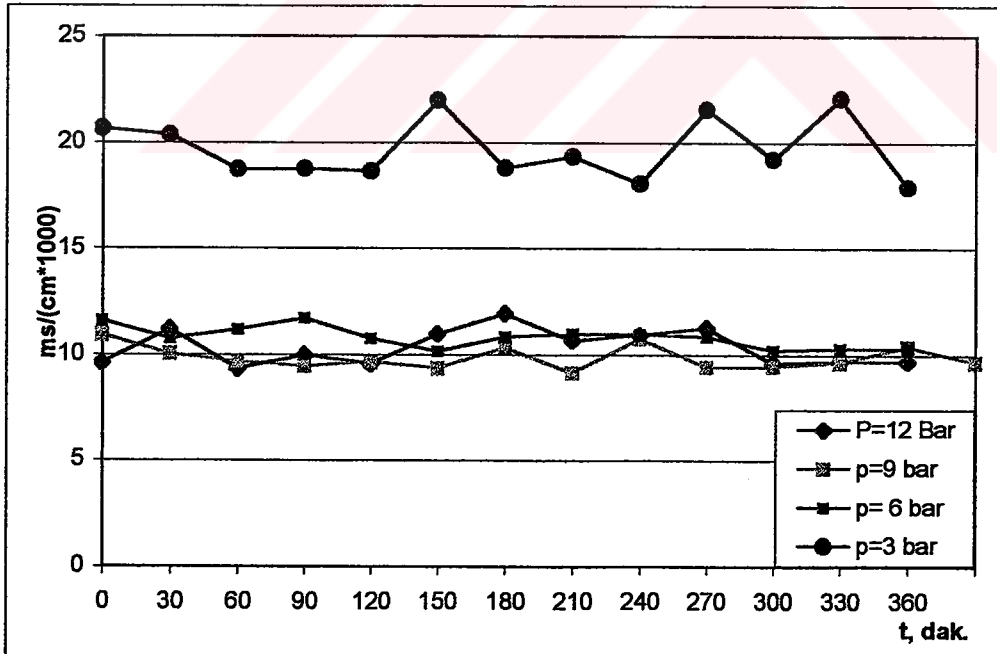
Şekil 7.4 III. numune akı değerleri



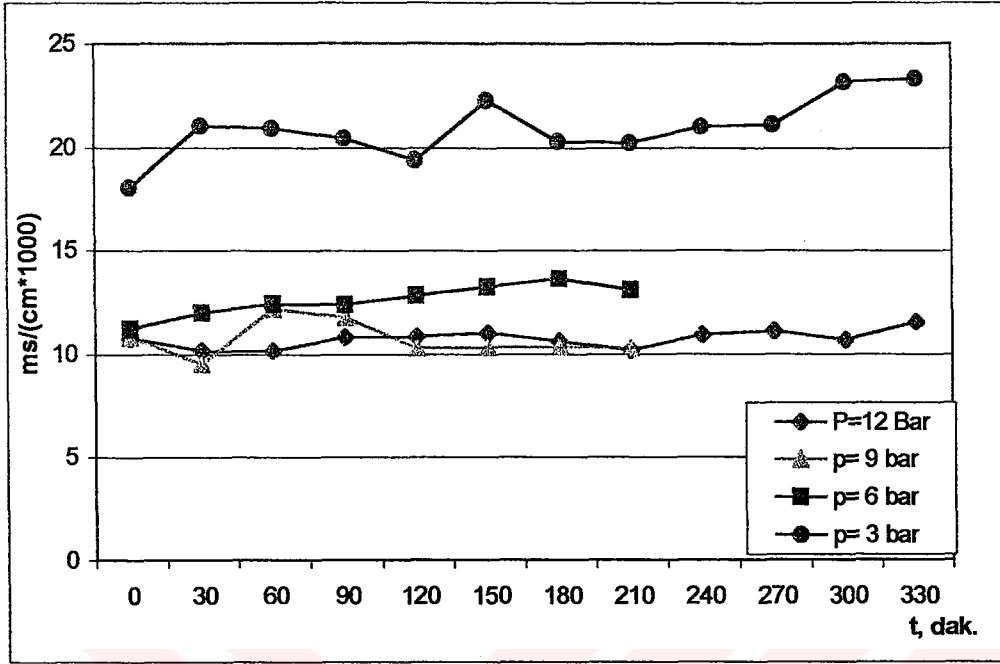
Şekil 7.5 Farklı numuneler için basınç-iletkenlik ilişkileri



Şekil 7.6 I. numune basınç-iletkenlik değerleri



Şekil 7.7 II. numune basınç- iletkenlik değerleri



Şekil 7.8 III. numune basınç – iletkenlik değerleri

### 7.1.3 Süzüntü Suyu KOİ Değerleri ve Basınca Göre Değişimi

Nanofiltrasyon membranına verdiğimiz besleme akımlarının KOİ' si 720-580 mg/l arasındadır. Şekil 7.9' da üç ayrı numune ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlardan, basınç arttıkça süzüntü KOİ değerlerinin düştüğü gözlenmektedir.

12 bar basınçta yapılan deneyler sonucunda, üç ayrı numuneden elde edilen süzüntü suyunun KOİ değerlerinin 10 mg/l' nin altında olduğu saptanmıştır. Bu durumda 12 bar basınçta KOİ giderim verimi % 98' in üzerindedir.

3 ve 6 bar' da yapılan çalışmalarda süzüntü suyu KOİ değerleri 90 ile 30 mg/l arasında değişmektedir. Meydana gelen bu salınımların, boyahane suyunun her zaman aynı karakterde olmamasından ve membranın farklı kimyasallara, farklı tepkiler vermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 9 ve 12 bar basınçlarda çalışıldığında ise giderim veriminin artması ile bu salınımlar minimuma inmektedir. Yapılan deney sonuçlarına göre basınç-KOİ ilişkisi şekil 7.9' da görülmektedir.

#### 7.1.4 Renk Giderimi

Renk konusunda ayrıntılı çalışma ikinci aşama deneylerinin, boyahane atıksuları üzerinde yapılmıştır. Birinci aşama deneylerde, besleme tankında 500-550 Pt.Co. unit olan renk değerlerinin 10-20 Pt.Co. unit'e düştüğü ve % 96-98 oranında renk giderimi olduğu tespit edilmiştir.

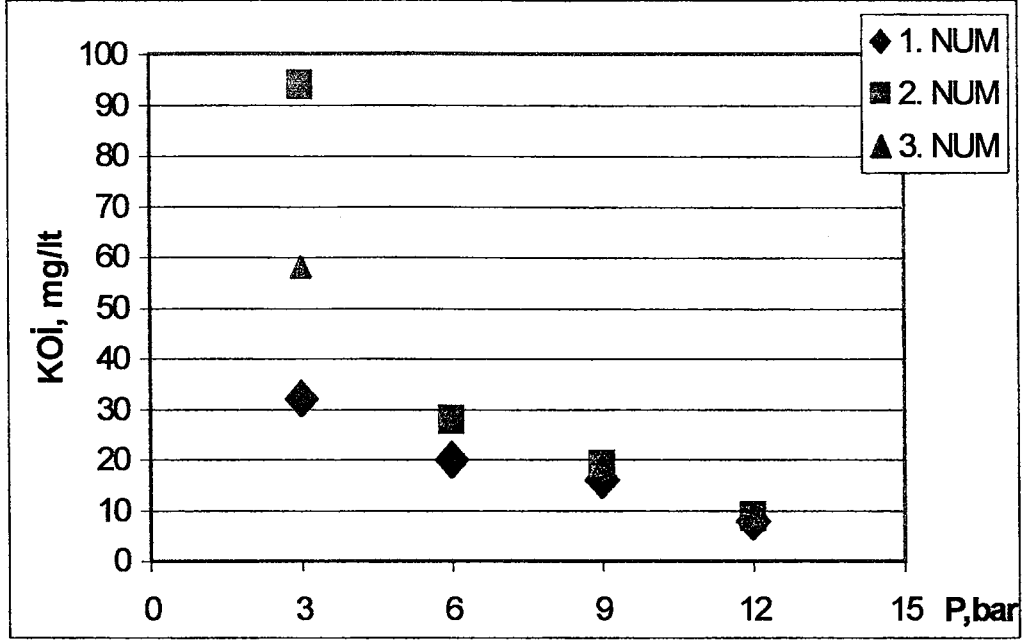
#### 7.1.5 Basınç Artışı Enerji Maliyeti İlişkisi

Enerji maliyeti, üretilen süzüntü suyunun m<sup>3</sup>'ü başına KWH olarak sarf edilen elektrik enerjisi ile tariflenir. Basınç artışı ile birim zamanda sarf edilen enerji artmakta iken, üretilen birim hacim süzüntü suyu başına sarf edilen enerji ise azalmaktadır.

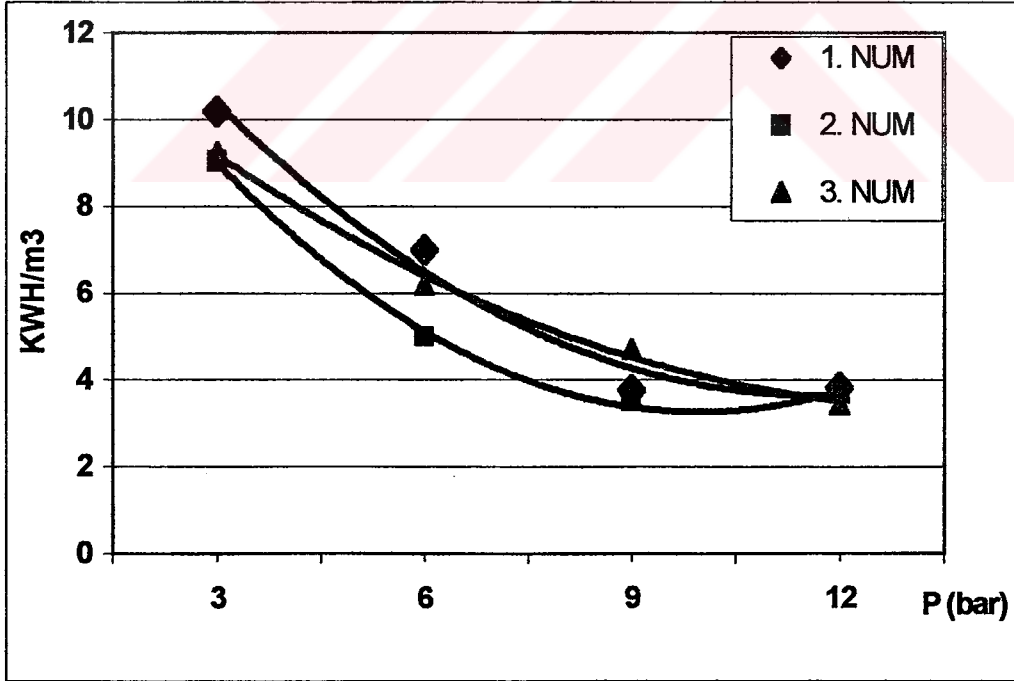
3 bar basınçta ortalama enerji maliyeti 9.49 KWH/m<sup>3</sup> iken, 6 bar da 6.06 KWH/m<sup>3</sup>, 9 barda 4 KWH/m<sup>3</sup>, 12 bar da 3.65 KWH/m<sup>3</sup> tür. Şekil 7.10' daki grafiksel değerlendirmeden görülüyor ki, 3-9 bar arasında enerji maliyetinde fark edilir düşüş gözlenirken, 9-12 bar arasında enerji maliyetleri birbirine yakın değerlerde kalmıştır. Elde edilen grafiklerin polinomial denklemlerle uyum sağladığı, yüksek korelasyon katsayılarından anlaşılmaktadır. Tablo 7.1' de denklemler ve korelasyon katsayıları verilmiştir.

Tablo 7.1 I. Aşama sürekli çalışma deneyleri, enerji maliyeti denklemleri

| HAM SU      | DENKLEM                              | KORELASYON KAT. |
|-------------|--------------------------------------|-----------------|
| I. NUMUNE   | $y = 0.8125 x^2 - 6.2995 x + 15.853$ | $R^2 = 0.9806$  |
| II. NUMUNE  | $y = 1.0625 x^2 - 7.0635 x + 15.003$ | $R^2 = 0.9976$  |
| III. NUMUNE | $y = 0.4425 x^2 - 4.0975 x + 12.825$ | $R^2 = 0.9951$  |



Şekil 7.9 Basınç – süzüntü KOİ ilişkisi



Şekil 7.10 Enerji maliyetinin basınçla değişimi

## 7.2 İkinci Aşama Deneyleri

İkinci aşama deneyleri boyahane dengeleme havuzundan alınan ve laboratuvarında hazırlanan tuzlu su numuneleri ile yapılmıştır. KOİ ve renk giderimi incelemeleri sadece boyahane sularında yapılırken; basınç, iletkenlik, geri kazanım ve enerji maliyetleri arasındaki ilişkiler her iki numune içinde incelenmiştir. Böylece NF membranının her iki numuneye gösterdiği performans saptanmaya çalışılmıştır.

İkinci aşama deneylerinde, daha önce de söylenildiği gibi kesikli sistem oluşturulmaya çalışılmış, artan konsantrasyonlarda ve dört ayrı basınçta deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, tuzlu su daha konsantre olduğu için 4-6-9-12 bar basınç, boyahane suyu daha seyreltik olduğu için 3-6-9-12 bar basınç uygulanmıştır.

### 7.2.1 Farklı Basınçlarda İletkenlik - Geri Kazanım İlişkileri

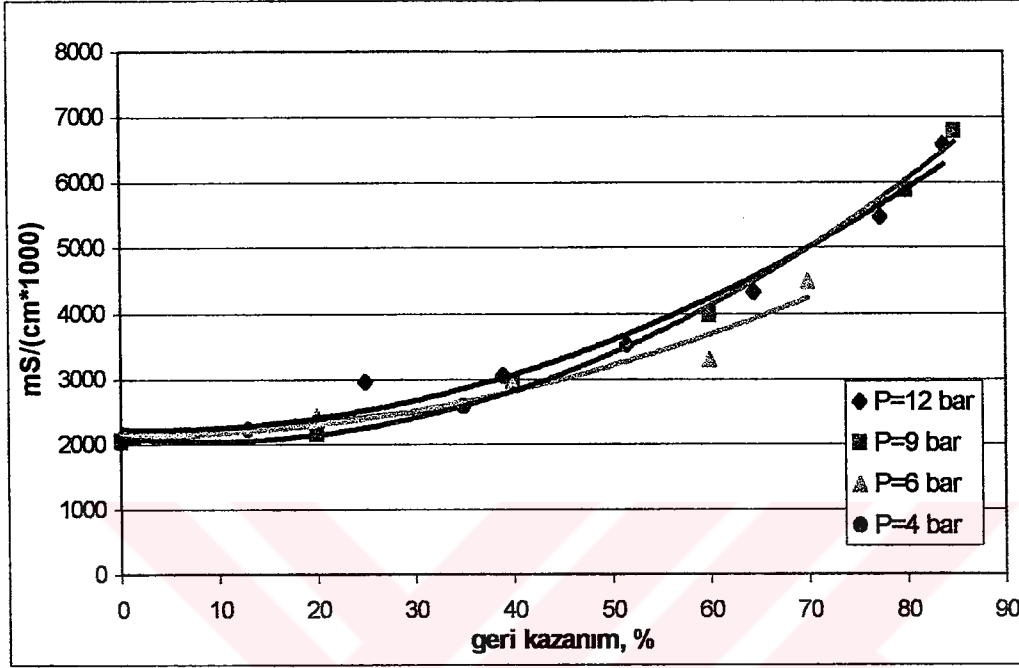
Süzüntü suyu akımı, besleme tankına geri devir ettirilmeyip, ayrı bir tankta geri kazanılan ürün olarak toplanıldığından, sistem artan konsantrasyonlarda çalışmaktadır.

Yüksek basınçlarda çalışıldığında besleme tankında birim zamanda meydana gelen konsantrasyon artışı da yüksek olmakta, bu artış özellikle % 60-70 geri kazanımdan sonra hız kazanmaktadır. Yüksek konsantrasyonda, konsantrasyon polarizasyonunun membran performansına yaptığı ters etkiden ciddi problemler oluşur ve akı basınca bağlı lineer artışından sapar, bu noktadan sonra akı kütle transfer mekanizmasının etkisine girer (Koyuncu ve diğ., 2000).

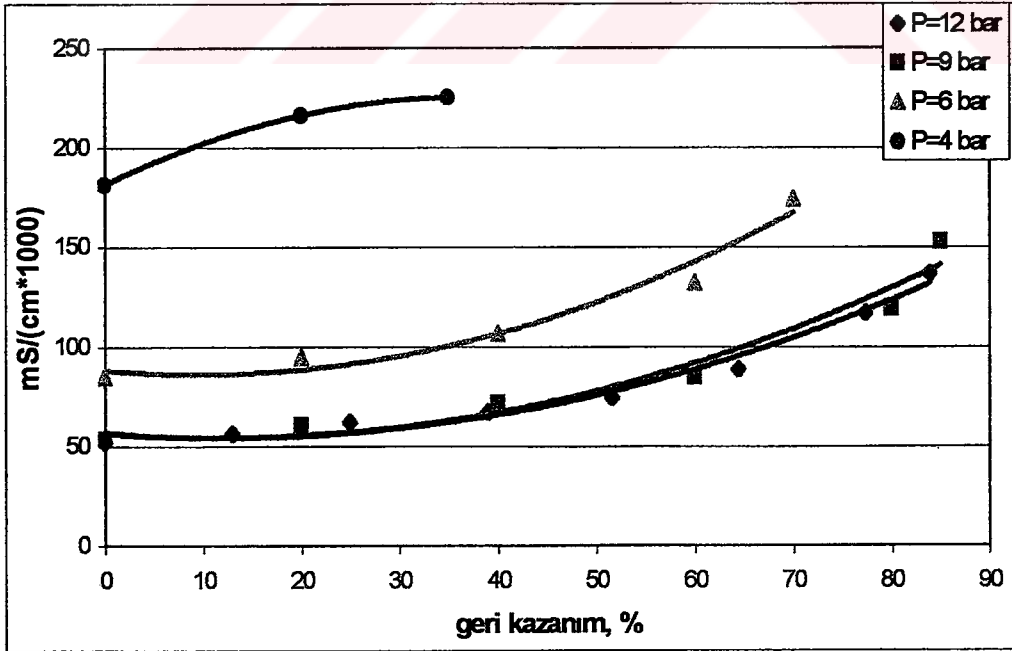
**Tuzlu su numunesi:** Tuzlu su numunesi ile çalıştığımızda, besleme tankı iletkenliğinin geri kazanıma karşı grafiği şekil 7.11'de, aynı deneylerde süzüntü suyu konsantrasyonunun geri kazanıma karşı grafiği ise şekil 7.12'de gösterilmiştir. Bu şekillerden görülüyor ki, besleme tankı iletkenliği 7000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ' ye yükselirken, süzüntü suyu iletkenliğinin ise maksimum değeri 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ' in altında kalmaktadır. Tablo 7.2 tuzlu su için, tablo 7.3 ise süzüntü suyu için bu grafiklerden elde edilen denklemsel ifadeleri vermektedir.

**Boyahane atıksu numunesi:** Boyahane atıksu numunesi ile çalıştığımızda besleme tankı konsantrasyonunun geri kazanıma bağlı grafiğini şekil 7.13, süzüntü tankının

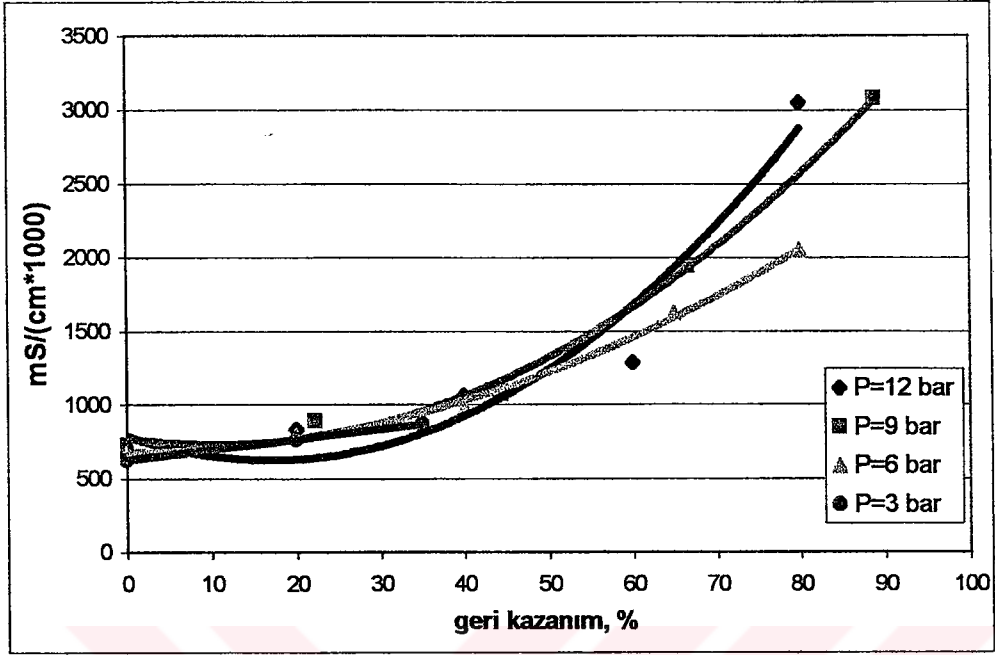
geri kazanıma karşı grafiğini ise şekil 7.14 göstermektedir. Besleme tankında iletkenlik  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}'$  ye yükselirken süzüntü suyunda bu değer  $35 \mu\text{S}/\text{cm}'$  nin altında kalmaktadır. Tablo 7.4 tank iletkenliği için, tablo 7.5 süzüntü iletkenliği için elde edilen denklemsel ifadeleri vermektedir.



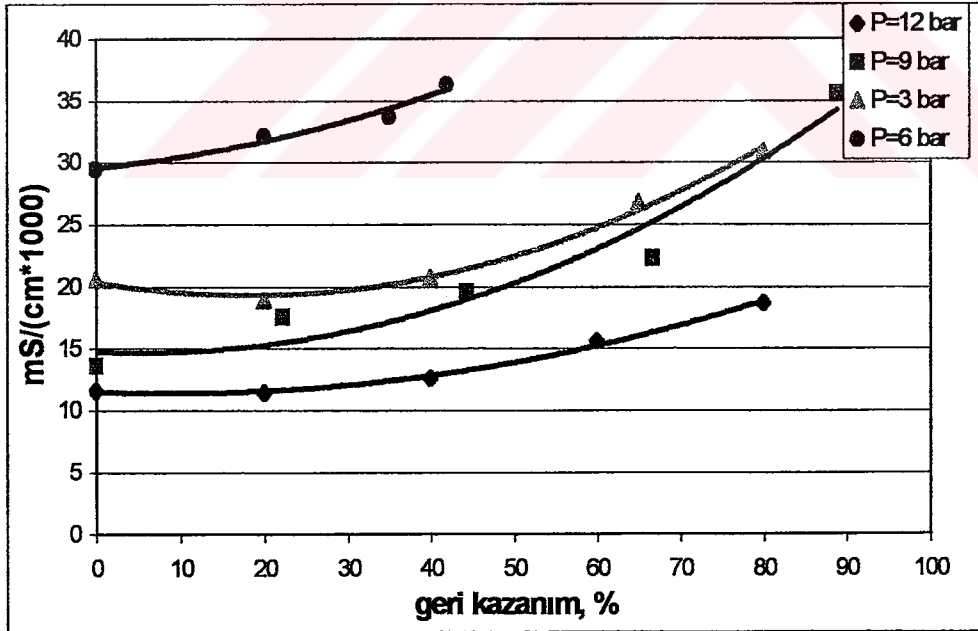
Şekil 7.11 Tuzlu su numunesinde, besleme tankı iletkenliğinin geri kazanımla artışı



Şekil 7.12 Tuzlu su çalışmasında, süzüntü suyu iletkenliğinin geri kazanımla artışı



Şekil 7.13 Boyahane numunesi, besleme suyu iletkenliğinin geri kazanımla artışı



Şekil 7.14 Boyahane numunesi, süzüntü suyu iletkenliğinin geri kazanımla artışı

Tablo 7.2 Tuzlu su tank iletkenliği - geri kazanım denklemleri

| BASINÇ | DENKLEM                              | KORELASYON KAT. |
|--------|--------------------------------------|-----------------|
| 12 bar | $y = 0.6216 x^2 - 3.8597 x + 2222.7$ | $R^2 = 0.9758$  |
| 9 bar  | $y = 0.781 x^2 - 13.237 x + 2093.6$  | $R^2 = 0.9952$  |
| 6 bar  | $y = 0.4333 x^2 - 0.1394 x + 2122.7$ | $R^2 = 0.933$   |
| 4 bar  | $y = 0.0805 x^2 + 13.04 x + 2030$    | $R^2 = 1$       |

Tablo 7.3 Tuzlu su, averaj süzüntü iletkenliği - geri kazanım denklemleri

| BASINÇ | DENKLEM                              | KORELASYON KAT. |
|--------|--------------------------------------|-----------------|
| 12 bar | $y = 0.0151 x^2 - 0.3694 x + 56.285$ | $R^2 = 0.9788$  |
| 9 bar  | $y = 0.0163 x^2 - 0.3959 x + 56.784$ | $R^2 = 0.9529$  |
| 6 bar  | $y = 0.0224 x^2 - 0.4346 x + 88.042$ | $R^2 = 0.9609$  |
| 4 bar  | $y = -0.0329 x^2 + 2.4031 x + 181.6$ | $R^2 = 1$       |

Tablo 7.4 Boyahane suyu tank iletkenliği – geri kazanım denklemleri

| BASINÇ | DENKLEM                              | KORELASYON KAT. |
|--------|--------------------------------------|-----------------|
| 12 bar | $y = 0.5691 x^2 - 19.414 x + 789.89$ | $R^2 = 0.931$   |
| 9 bar  | $y = 0.3816 x^2 - 8.079 x + 772.86$  | $R^2 = 0.9938$  |
| 6 bar  | $y = 0.2104 x^2 - 0.4777 x + 673.45$ | $R^2 = 0.9976$  |
| 3 bar  | $y = 7 x + 625$                      | $R^2 = 1$       |

Tablo 7.5 Boyahane suyu, averaj süzüntü iletkenliği - geri kazanım denklemleri

| BASINÇ | DENKLEM                              | KORELASYON KAT. |
|--------|--------------------------------------|-----------------|
| 12 bar | $y = 0.0015 x^2 - 0.0279 x + 11.499$ | $R^2 = 0.9934$  |
| 9 bar  | $y = 0.0028 x^2 - 0.0294 x + 14.703$ | $R^2 = 0.9433$  |
| 6 bar  | $y = 0.0032 x^2 + 0.1163 x + 20.346$ | $R^2 = 0.9923$  |
| 3 bar  | $y = 0.002 x^2 + 0.0672 x + 29.584$  | $R^2 = 0.9693$  |

### 7.2.2 Farklı Basınçlarda Akı - Geri Kazanım İlişkisi

Geri kazanım oranının artmasıyla besleme tankı konsantrasyonunda meydana gelen artış membranın performansını düşürür, bu da akıda azalmaya yol açar. Yüksek basınçlarda çalışıldığında, geri devir ettirilen konsantre akım düşük basınçlarda oluşan geri devir akımlarından daha konsantredir. Bunun sonucu olarak membran daha konsantre besleme akımlarına maruz kalır ve akıda meydana gelen düşüş, küçük basınçlarda meydana gelen düşüşten daha fazla olur. Çünkü akı, basınç kontrolünden çıkıp kütle transfer mekanizmasının kontrolüne girer.

Şekil 7.15 ve 7.16 sırasıyla tuzlu su ve boyahane atıksuyu ile yapılan deneylerde akı - geri kazanım ilişkisini grafiksel olarak göstermektedir. Ayrıca, tablo 7.6 ve 7.7, bu grafiklerden elde edilen denklemleri vermektedir.

Tablo 7.6 Tuzlu su akı - geri kazanım denklemleri

| BASINÇ | DENKLEM                               | KORELASYON KAT. |
|--------|---------------------------------------|-----------------|
| 12 bar | $y = -0.0017 x^2 + 0.0576 x + 16.486$ | $R^2 = 0.9479$  |
| 9 bar  | $y = 0.0017 x^2 + 0.0661 x + 11.649$  | $R^2 = 0.9648$  |
| 6 bar  | $y = -0.001 x^2 + 0.0324 x + 6.4237$  | $R^2 = 0.9242$  |
| 4 bar  | $y = -0.0004 x^2 - 0.003 x + 2.446$   | $R^2 = 1$       |

Tablo 7.7 Boyahane suyu akı – geri kazanım denklemleri

| BASINÇ | DENKLEM                               | KORELASYON KAT. |
|--------|---------------------------------------|-----------------|
| 12 bar | $Y = -0.0018 x^2 + 0.0378 x + 21.687$ | $R^2 = 0.9881$  |
| 9 bar  | $Y = -0.001 x^2 + 0.0073 x + 19.985$  | $R^2 = 0.9961$  |
| 6 bar  | $Y = -0.0003 x^2 + 0.0012 x + 8.6244$ | $R^2 = 0.9779$  |
| 3 bar  | $Y = -0.0006 x^2 + 0.0165 x + 3.4762$ | $R^2 = 0.8017$  |

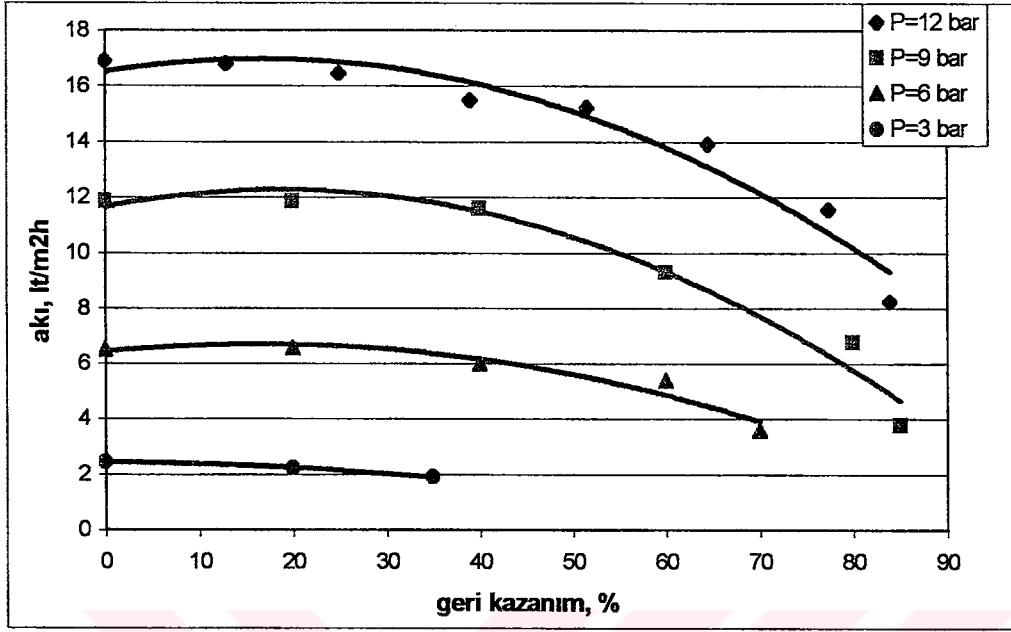
### 7.2.3 Farklı Basınçlarda Besleme Suyu İletkenliği – Süzüntü Akısı ve Süzüntü İletkenliği Arasındaki İlişkiler

İkinci aşama deneylerinde, konsantre akımı besleme tankına geri devir ettirmemizin amacı, farklı konsantrasyonlar oluşturup bu konsantrasyonlarda nanofiltrasyon membranının performansını değerlendirmek olmuştur.

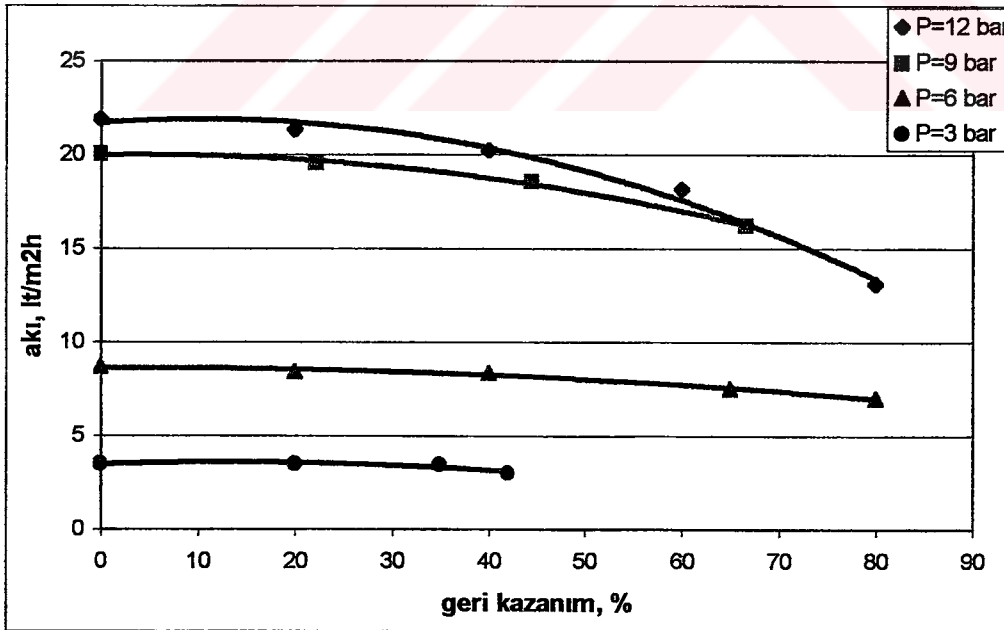
**Tuzlu su numunesi:** Besleme tankı iletkenliğinin artışı ile süzüntü akısı azalmaktadır. Bu durum şekil 7.17’de görülmektedir. Besleme tankı iletkenliği arttıkça membran proses aynı giderin yüzdesinde çalışsa bile yüksek iletkenlikte süzüntü suyu oluşturur. Farklı besleme konsantrasyonlarında membrandan çıkan süzüntü suyu iletkenliği şekil 7.18’de görülmektedir.

Grafiklerden elde edilen eğriler ikinci derece polinom denklemlerine uymaktadır. Korelasyon katsayılarının yüksekliği bu uyumu ispatlamaktadır. Tablo 7.8 şekil 7.17’deki grafiksel eğrilerin tablo 7.9 şekil 7.18’deki grafiksel eğrilerin denklemlerini vermektedir.

**Boyahane atıksu numunesi:** Bu numune ile yapılan deneyler tuzlusu numunesi ile yapılan deneylerle uyum içindedir. Şekil 7.19 süzüntü akısının besleme tankı iletkenliği ile değişimini, şekil 7.20 ise süzüntü iletkenliğinin besleme tankı iletkenliği ile değişimini göstermektedir. Tablo 7.10 şekil 7.19’daki grafiksel eğrilerin, tablo 7.11 ise şekil 7.20’deki grafiksel eğrilerin denklemlerini vermektedir.



Şekil 7.15 Tuzlu su II. aşama deneyleri akı – geri kazanım ilişkisi



Şekil 7.16 Boyahane suyu II. aşama deneyleri akı – geri kazanım ilişkisi

Tablo 7.8 Tuzlu su tank iletkenliği – akı denklemleri

| BASINÇ | DENKLEM                                  | KORELASYON KATSAYISI |
|--------|------------------------------------------|----------------------|
| 12 bar | $Y = -2.10^{-7} x^2 + 0.0003 x + 17.402$ | $R^2 = 0.9971$       |
| 9 bar  | $Y = -2.10^{-7} x^2 + 0.0003 x + 12.287$ | $R^2 = 0.9914$       |
| 6 bar  | $Y = -3.10^{-7} x^2 + 0.0006 x + 6.6955$ | $R^2 = 0.9885$       |
| 4 bar  | $Y = -1.10^{-6} x^2 + 0.0041 x - 1.4132$ | $R^2 = 0.9897$       |

Tablo 7.9 Tuzlu su tank iletkenliği – süzüntü iletkenliği denklemleri

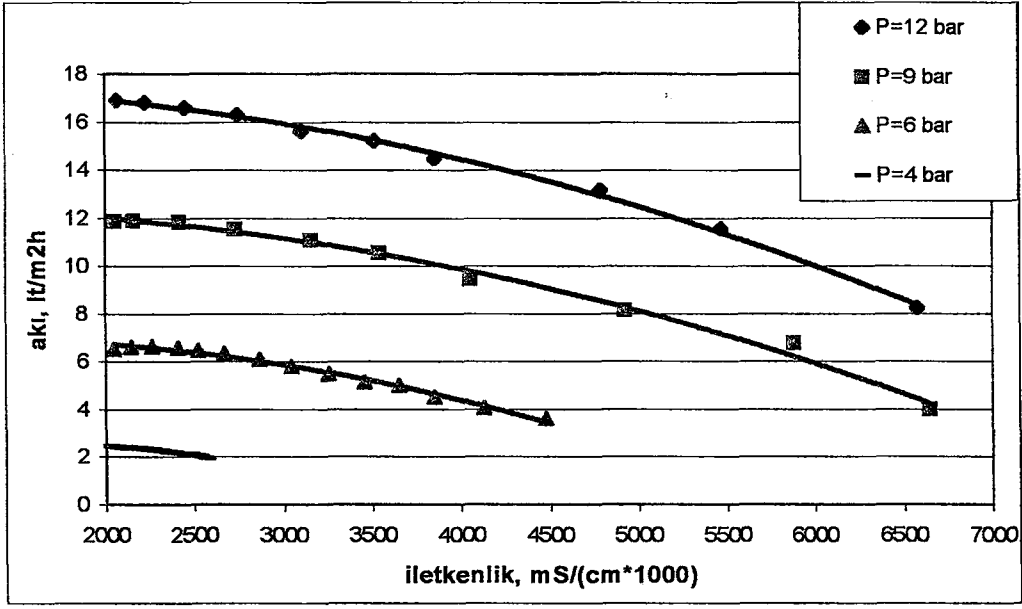
| BASINÇ | DENKLEM                                 | KORELASYON KATSAYISI |
|--------|-----------------------------------------|----------------------|
| 12 bar | $Y = 2.10^{-5} x^2 - 0.0683 x + 119.69$ | $R^2 = 0.9925$       |
| 9 bar  | $Y = 3.10^{-5} x^2 - 0.1387 x + 221.8$  | $R^2 = 0.9924$       |
| 6 bar  | $Y = 4.10^{-5} x^2 - 0.1325 x + 172.09$ | $R^2 = 0.9913$       |
| 4 bar  | $Y = 2.10^{-4} x^2 - 0.7732 x + 796.74$ | $R^2 = 0.9869$       |

Tablo 7.10 Boyahane atıksuyu tank iletkenliği – akı denklemleri

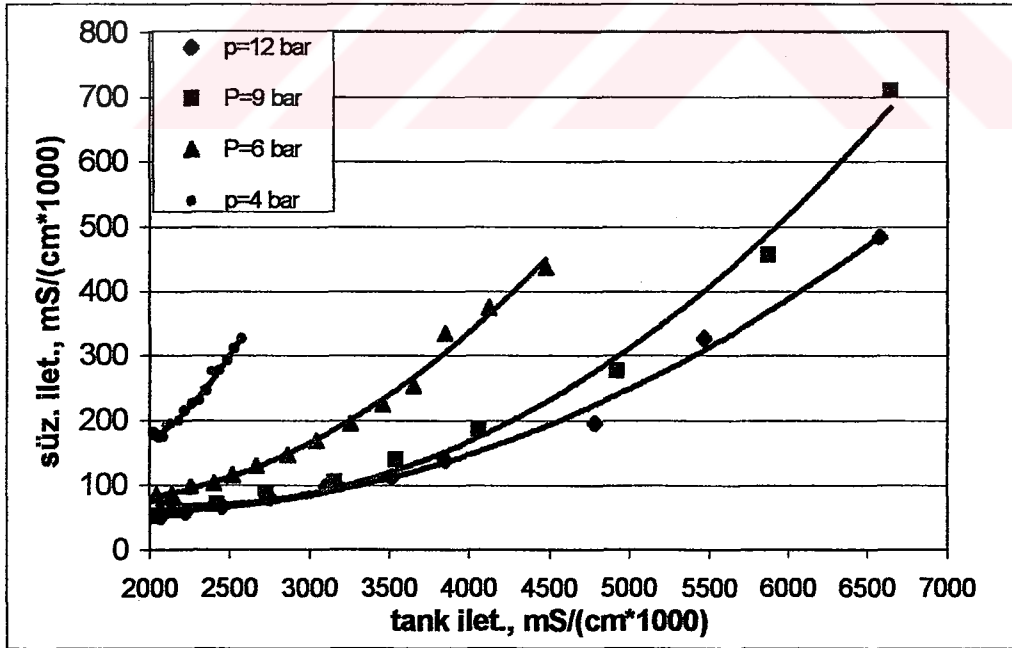
| BASINÇ | DENKLEM                                  | KORELASYON KATSAYISI |
|--------|------------------------------------------|----------------------|
| 12 bar | $Y = 4.10^{-7} x^2 - 0.0047 x + 24.893$  | $R^2 = 0.9992$       |
| 9 bar  | $Y = 5.10^{-7} x^2 - 0.0046 x + 23.143$  | $R^2 = 0.9957$       |
| 6 bar  | $Y = -9.10^{-7} x^2 - 0.0013 x + 7.9641$ | $R^2 = 0.9494$       |
| 3 bar  | $Y = -7.10^{-6} x^2 + 0.0092 x + 0.35$   | $R^2 = 0.795$        |

Tablo 7.11 Boyahane atıksuyu tank iletkenliği – süzüntü iletkenliği denklemleri

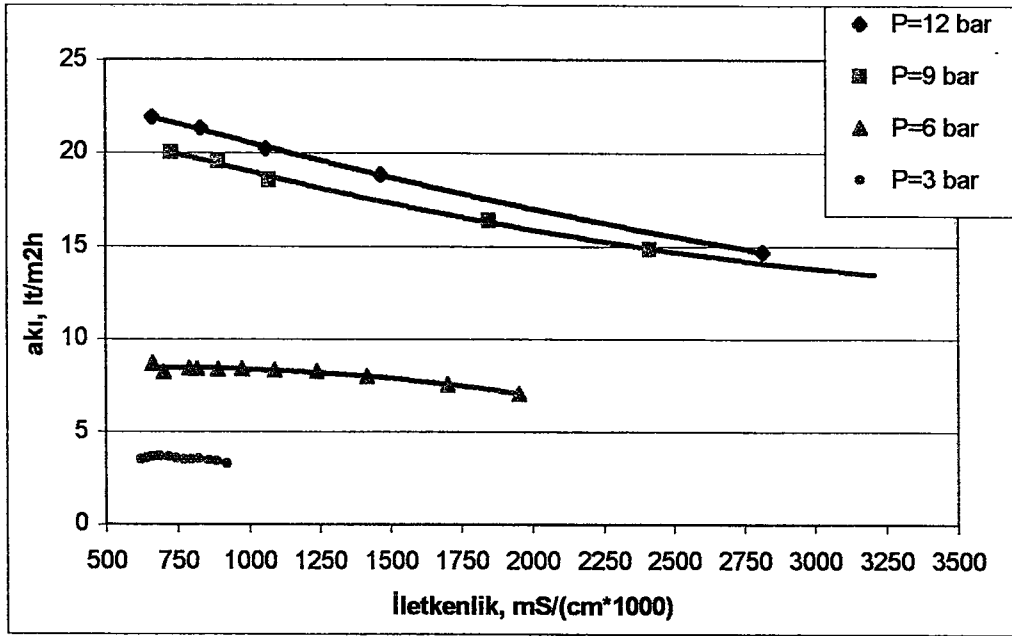
| BASINÇ | DENKLEM                                 | KORELASYON KATSAYISI |
|--------|-----------------------------------------|----------------------|
| 12 bar | $Y = 4.10^{-6} x^2 + 0.0108 x + 1.2346$ | $R^2 = 0.9926$       |
| 9 bar  | $Y = 5.10^{-6} x^2 + 0.0125 x + 2.1772$ | $R^2 = 0.9988$       |
| 6 bar  | $Y = 2.10^{-5} x^2 - 0.017 x + 22.874$  | $R^2 = 0.9952$       |
| 3 bar  | $Y = 5.10^{-5} x^2 - 0.0493 x + 39.5$   | $R^2 = 0.9007$       |



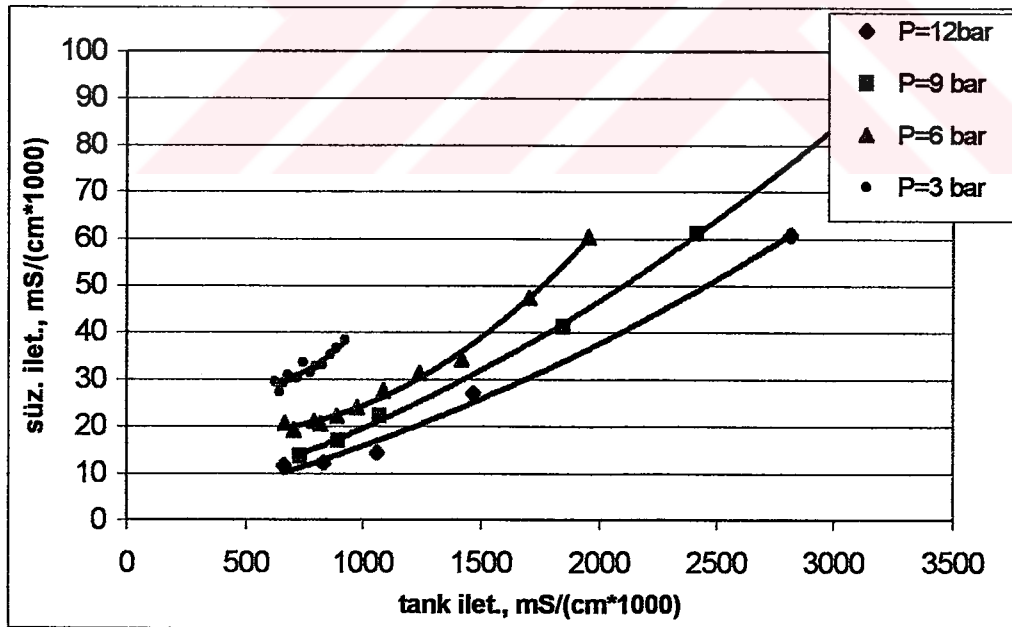
Şekil 7.17 Tuzlu su, süzüntü akısı – besleme tankı iletkenliği ilişkisi



Şekil 7.18 Tuzlu su, süzüntü iletkenliği - tank iletkenliği ilişkisi



Şekil 7.19 Boyahane suyu, süzüntü akısı – besleme tankı iletkenliği ilişkisi

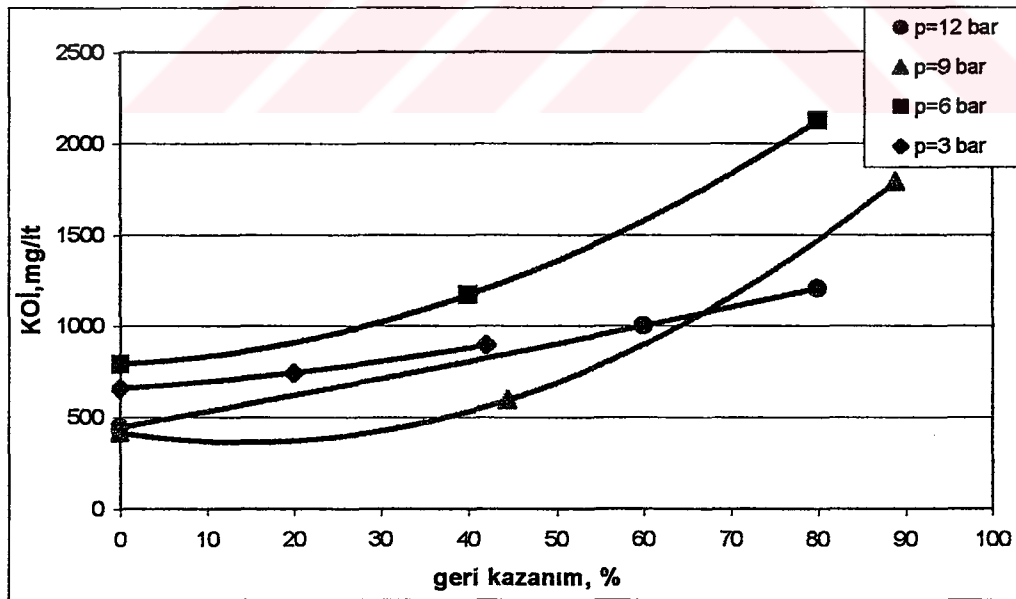


Şekil 7.20 Boyahane suyu, süzüntü iletkenliği – tank iletkenliği ilişkisi

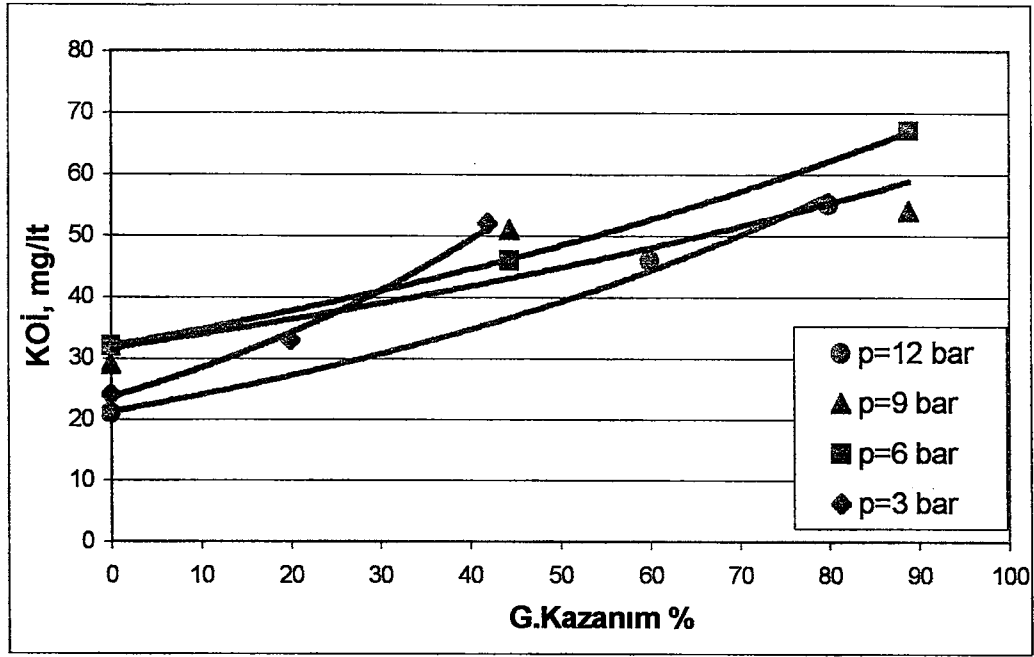
#### 7.2.4 KOİ Değerlendirmesi

Geri kazanılan süzüntü suyu oranı arttıkça besleme tankında biriken çeşitli kimyasal maddelerin konsantrasyonları arttığından KOİ' leri de artar. Şekil 7.21'de bu artışlar görülmektedir. Zamanla ve geri kazanım miktarının artışıyla besleme tankında meydana gelen KOİ artışı anlık süzüntü ve averaj süzüntüde tespit edilen KOİ değerlerinin de artışına sebep olmaktadır. Bu deneylerde KOİ giderim verimi hangi basınçta çalışırsak çalışalım % 95'in altına düşmemiştir. Şekil 7.21 besleme tankı KOİ' lerinin geri kazanıma karşı artışını göstermektedir.

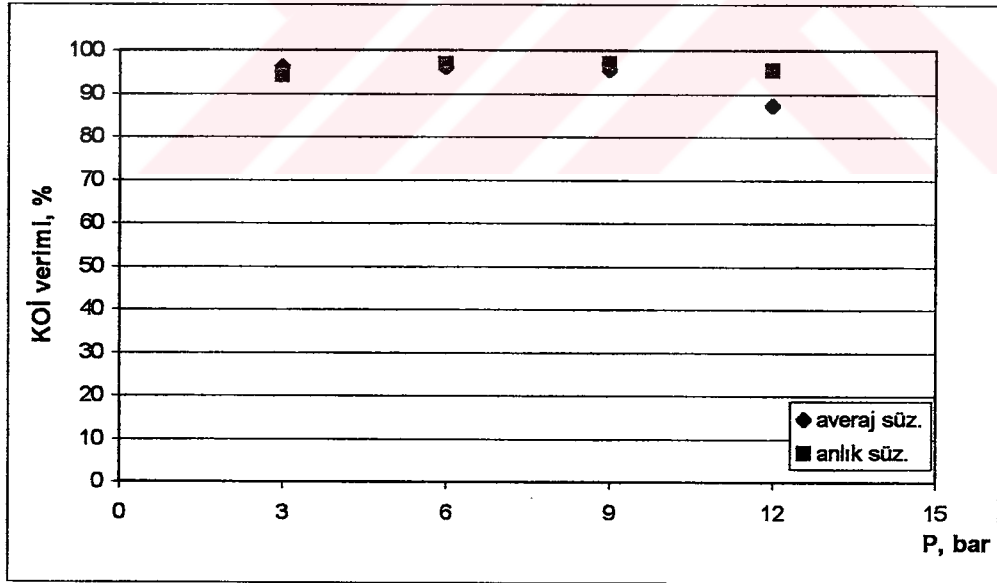
Bu deneylerde her basınç için ayrı numune kullanıldığından basınçla KOİ giderimi arasındaki ilişki birinci aşama deneylerinde olduğu kadar net değildir. Ayrıca, burada KOİ giderimini basınç kadar kütle transfer mekanizması da etkilemektedir. Şekil 7.22'de geri kazanıma karşı en düşük KOİ değerlerini 12 bar basıncı gösteren eğri vermiştir, fakat şekil 7.23'de görüldüğü gibi verim açısından en büyük değer 9 bar basınçta sağlanmıştır.



Şekil 7.21 Besleme tankı KOİ' lerinin geri kazanımla değişimi



Şekil 7.22 Süzüntü KOİ'lerinin geri kazanımla değişimi



Şekil 7.23 Farklı basınçlarda elde edilen KOİ giderim verimleri

### 7.2.5 Renk Giderimi

II. aşama deneylerinde membrandan çıkan konsantre akım, besleme tankına geri devir ettirilip, geri kazanılan süzüntü akımı ayrı bir ürün tankında toplandığından, besleme tankının rengi, geri kazanım miktarı arttıkça koyulaşır.

Geri kazanım % 83 civarına geldiğinde besleme tankı rengi 200-250 Pt.Co. unit'ten 600-650 Pt.Co. unit'e çıkmıştır. Süzüntü suyu renk değeri ise 10-40 Pt.Co. unit'e düşmüştür. Renk giderimi % 95-98 arasında kalmıştır.

Besleme tankında geri kazanıma karşı meydana gelen değişimler şekil 7.24' de verilmiştir. Şekil 7.25 de ise aynı geri kazanımlarda elde edilen süzüntü renkleri görülebilmektedir.

### 7.2.6 Süzüntü Suyu Geri Kazanımı

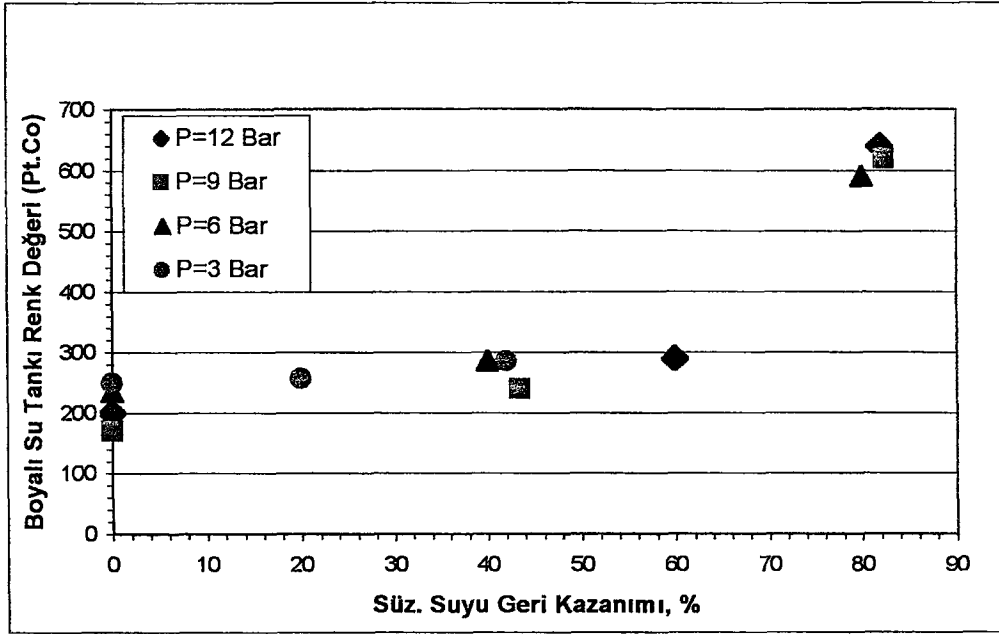
#### Tuzlu su numunesi

12 bar basınç: 2071  $\mu\text{S/cm}$  iletkenlik ile deneye başlanmış, 4.5 saatte iletkenlik 6580  $\mu\text{S/cm}$ 'ye çıkmıştır. 4.5 saatlik çalışmanın sonucunda 155 l tuzlu suyun 130 l'si süzüntü suyu olarak geri kazanılmıştır. Geri kazanılan averaj süzüntünün iletkenliği 137  $\mu\text{S/cm}$  çıkmıştır. Geri kazanım oranı % 84'tür.

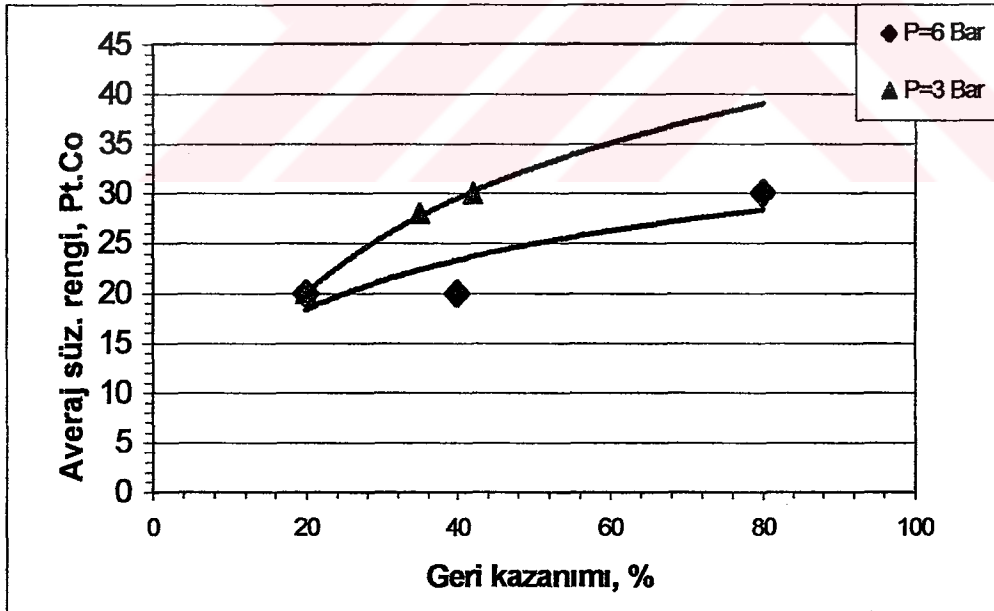
9 bar basınç: 2056  $\mu\text{S/cm}$  iletkenlik ile deneye başlanmış deney sonunda iletkenlik 6650  $\mu\text{S/cm}$ 'ye ulaşmıştır. 100 l besleme suyu hacminin 85 l'si süzüntü suyu tankında ürün olarak toplanmıştır. Geri kazanılan averaj süzüntünün iletkenliği 152  $\mu\text{S/cm}$  olarak tespit edilmiştir. 4.7 saat süren deneyde % 85 geri kazanım sağlanmıştır.

6 bar basınç: 2050  $\mu\text{S/cm}$  iletkenlikte 100 l numune ile deneye başlanmıştır. Deney sonunda 70 l süzüntü suyu ürün tankında toplanmıştır, averaj süzüntü iletkenliği 174.5  $\mu\text{S/cm}$  değerinde saptanmıştır. 4.5 saat süren deney sonunda besleme tankı iletkenliği 4480  $\mu\text{S/cm}$ 'ye çıkmış, % 70 geri kazanım sağlanmıştır.

4 bar basınç: 2030  $\mu\text{S/cm}$  iletkenlikte 100 l numune ile deneye başlanmıştır. Deney 7.3 saat sürmüş 35 l süzüntü suyu elde edilmiştir. Deney sonunda averaj süzüntü iletkenliği 225  $\mu\text{S/cm}$ , besleme tankı iletkenliği 2578  $\mu\text{S/cm}$  çıkmıştır. % 35 geri kazanım sağlanmıştır.



Şekil 7.24 Besleme tankı renginin, geri kazanımla değişimi



Şekil 7.25 Geri kazanıma karşı averaj süzöntü rengi değişimi

### **Boyahane atıksu numunesi**

12 bar basınç: 665  $\mu\text{S/cm}$  başlangıç iletkenliğine sahip 100 l atıksu numunesi ile deneye başlanmıştır. Deney sonunda 18  $\mu\text{S/cm}$  iletkenlikte 82 l süzüntü suyu elde edilmiş, başlangıçta 665  $\mu\text{S/cm}$  olan besleme tankı iletkenliği 2820  $\mu\text{S/cm}$ 'ye çıkmıştır. 4.3 saat süren deney sonunda %82 geri kazanım sağlanmıştır.

9 bar basınç: 730  $\mu\text{S/cm}$  başlangıç iletkenliğinde 90 l boyahane atıksu numunesi ile deneye başlanmıştır. Deney sonunda besleme tankı iletkenliği 3000  $\mu\text{S/cm}$ 'ye çıkarken, ürün tankında 35  $\mu\text{S/cm}$  iletkenlikte 80 l süzüntü suyu birikmiştir. 4.6 saat süren deneyde % 88 geri kazanım sağlanmıştır.

6 bar basınç: 666  $\mu\text{S/cm}$  başlangıç iletkenliğinde 100 l atıksu numunesi ile deneye başlanmıştır. Deney sonunda besleme tankı iletkenliği 1954  $\mu\text{S/cm}$ 'ye çıkmış, ürün tankında 30  $\mu\text{S/cm}$  iletkenlikte 80 l süzüntü suyu toplanmıştır. 7.2 saat süren deneyde % 80 geri kazanım sağlanmıştır.

3 bar basınç: 625  $\mu\text{S/cm}$  başlangıç iletkenliğinde 100 l atıksu numunesi ile deneye başlanmıştır. Deney sonunda besleme tankı iletkenliği 924  $\mu\text{S/cm}$ 'ye çıkmış, ürün tankında 36  $\mu\text{S/cm}$  iletkenlikte 42 l süzüntü suyu toplanmıştır. 8.2 saat süren deneyde % 42 geri kazanım sağlanmıştır.

Şekil 7.26' da tuzlu su numunesi için, şekil 7.27' de ise boyahane numunesi için elde edilen geri kazanım – zaman grafikleri verilmiştir. Bu geri kazanımlar, tek bir NF membran modülünün performansını göstermektedir. Bunun için zamana karşı geri kazanım hacimsel olarak verilmiştir.

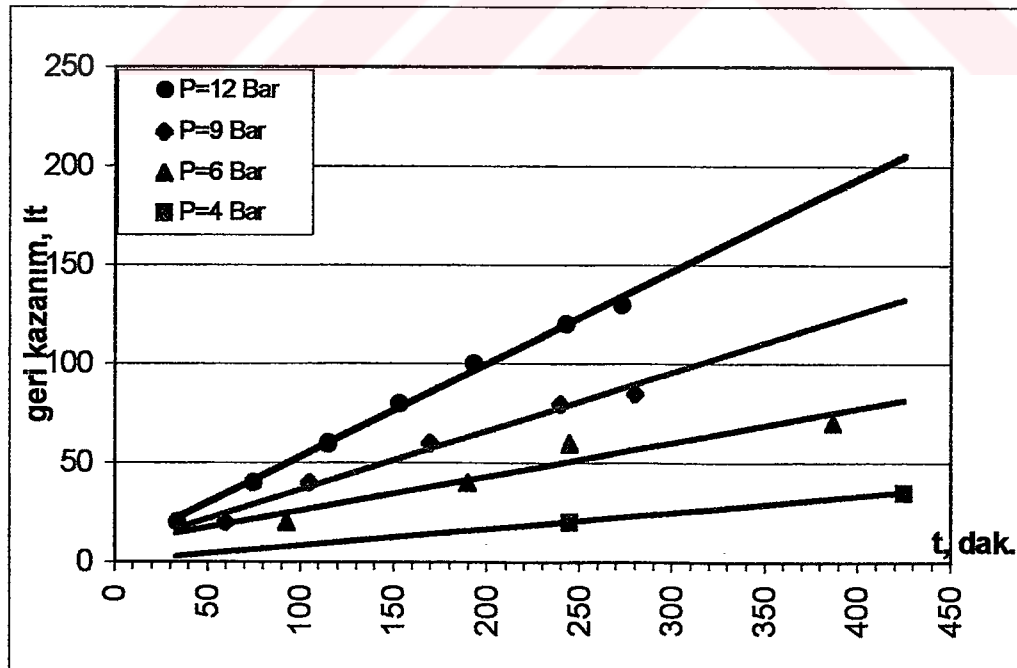
Bu grafiklerden elde edilen eğriler doğrusal denklemlere uygunluk göstermiştir. Tablo 7.12 tuzlu su numunesi için, tablo 7.13 ise boyahane atıksu numunesi için, şekil 7.26 ve 7.27' de farklı basınçlarda elde edilen doğruların denklemlerini vermektedir.

Tablo 7.12 Tuzlu su numunesi için geri kazanım – zaman denklemleri

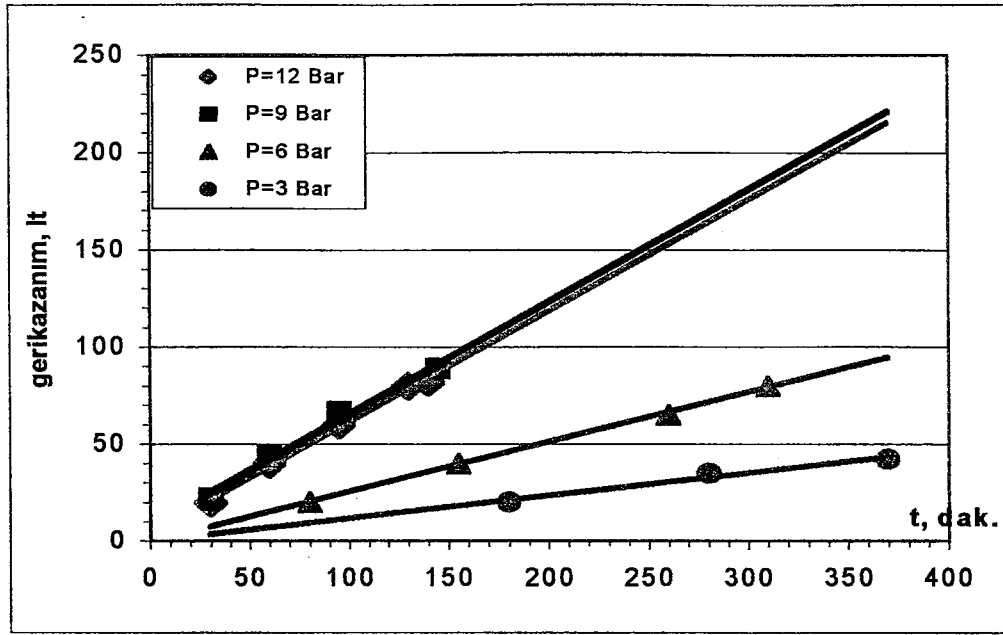
| BASINÇ | DENKLEM                 | KORELASYON KATSAYISI |
|--------|-------------------------|----------------------|
| 12 bar | $y = 0.4686 x + 5.8723$ | $R^2 = 0.9962$       |
| 9 bar  | $y = 0.2961 x + 6.3723$ | $R^2 = 0.9801$       |
| 6 bar  | $y = 0.1721 x + 8.1207$ | $R^2 = 0.9089$       |
| 4 bar  | $y = 0.0833 x + 0.4167$ | $R^2 = 1$            |

Tablo 7.13 Boyahane atıksu numunesi için geri kazanım – zaman denklemleri

| BASINÇ | DENKLEM                 | KORELASYON KATSAYISI |
|--------|-------------------------|----------------------|
| 12 bar | $y = 0.5705 x + 4.4814$ | $R^2 = 0.9953$       |
| 9 bar  | $y = 0.5765 x + 7.9973$ | $R^2 = 0.9857$       |
| 6 bar  | $y = 0.2567 x + 0.4038$ | $R^2 = 0.9986$       |
| 3 bar  | $y = 0.1164 x + 0.1236$ | $R^2 = 0.9691$       |



Şekil 7.26 Tuzlu su numunesi, geri kazanım – zaman grafiği



Şekil 7.27 Boyahane atıksu numunesi için, geri kazanım - zaman grafiği

### 7.2.7 Süzüntü Suyu Maliyeti

Basınç artışı birim zamanda harcanan enerji miktarını artırırken, birim hacim süzüntü suyu üretimi için harcanan enerji miktarını azaltmaktadır. Bu durum I. aşama deneylerinde de gözlenmiştir.

II. aşama tuzlu su numunesi ile yapılan deneylerde, süzüntü suyu maliyeti 12 bar basınçta 6 KWH/m<sup>3</sup>, 9 bar basınçta 7.764 KWH/m<sup>3</sup>, 6 bar basınçta 11.857 KWH/m<sup>3</sup>, 4 bar basınçta 22.571 KWH/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

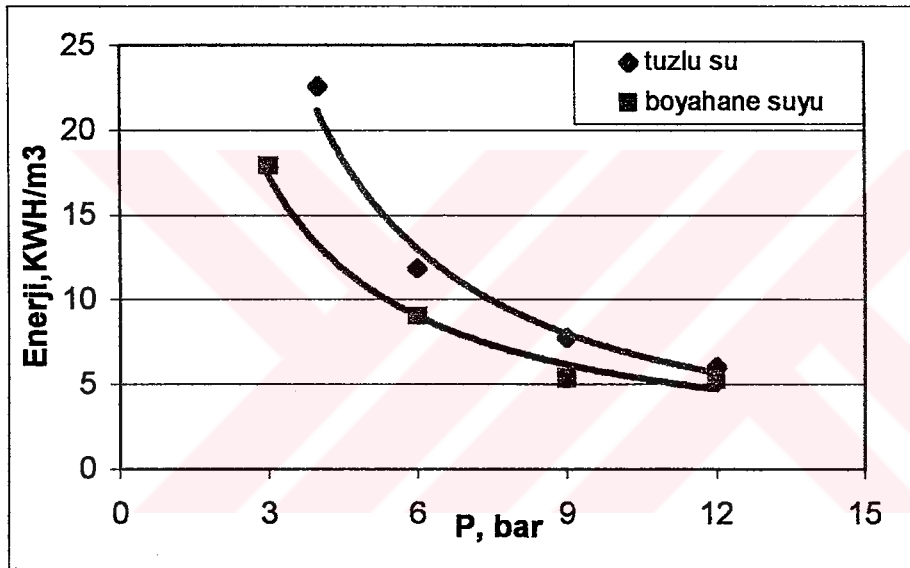
Bu aşamadaki deneylerin boyahane atıksu numunesi ile yapılan kısmında ise, süzüntü suyu maliyeti 12 bar basınçta 5.24 KWH/m<sup>3</sup>, 9 bar basınçta 5.375 KWH/m<sup>3</sup>, 6 bar basınçta 9 KWH/m<sup>3</sup>, 3 bar basınçta 17.85 KWH/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

Tuzlu su ve boyahane atıksuyu ile yapılan deneylerde, harcanan enerji miktarının basınca göre değişimi, sırasıyla şekil 7.28' de verilmiştir. Şekildeki grafiklerden de görülmektedir ki, basınç arttıkça birim hacim süzüntü suyu üretimi için harcanan enerji azalmaktadır.

Şekil 7.28'deki grafikler, her iki numune için de üst denklemlerine uygunluk göstermiştir. Bu denklemler, tablo 7.14' de verilmiştir.

Tablo 7.14 II. aşama deneyleri enerji maliyeti denklemleri

| NUMUNE               | DENKLEM                  | KORELASYON KATSAYISI |
|----------------------|--------------------------|----------------------|
| Tuzlu su             | $y = 111.06 x^{-1.1971}$ | $R^2 = 0.9831$       |
| Boyahane atıksu suyu | $y = 48.761 x^{-0.9416}$ | $R^2 = 0.9684$       |



Şekil 7.28 Kesikli çalışma, enerji maliyeti – basınç grafikleri

## 8. MALİYET TAHMİNLERİ

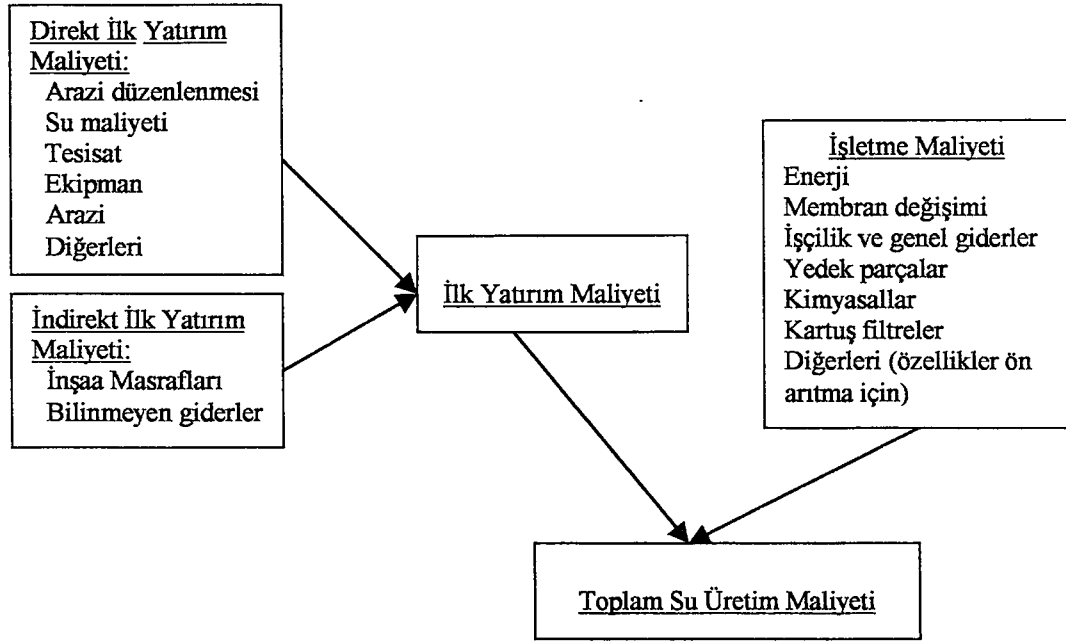
Son 30 yılda membran prosesler, bir çok işlevlerinin yanı sıra endüstriyel atıksuların geri kazanılmasında da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Membran teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, geri kazanıma yönelik kullanımlar daha da yaygın hale gelmeye başlamıştır. Son yapılan araştırmalar ise maliyeti daha da aşağılara çekmeye yöneliktir. Bu bölümde, maliyet tahmini hakkında bilgi verilecek, toplam su üretim maliyetinin bağlı olduğu unsurlar üzerinde durulacaktır.

Membran proseslerin maliyeti, teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak zamanla ucuzlamaktadır. Membran firmaları devamlı suretle, daha verimli ve daha ucuza mal olabilecek yeni membran sistemlerini geliştirmeye çalışmaktadır. 1987 yılı sonunda, kuyu suyu arıtımında kullanılan ters ozmos membranlarının toplam maliyeti, konvansiyonel arıtma sistemlerinin maliyeti ile başa baş durumda çıkmıştır (Koyuncu ve Topacık, 1998).

Nanofiltrasyon sistemlerinin maliyeti, bir çok unsura bağlıdır. İlk yatırım ve işletme maliyeti, aynı tip uygulamalar için bile farklı olabilmektedir. Maliyetteki bu değişim, ham su özelliklerinin geniş bir aralıkta değişmesine, her bir membran türünün üretim şekline göre veriminin farklı olmasına, birbirine rakip firmaların yaptığı teknolojik atılımlara, sistem kapasitesi ve istenen suyun saflığı gibi etkenlere bağlıdır. Bütün bunların sonucunda anlaşılmaktadır ki maliyet tahmini yapmak oldukça zordur. İlk yatırım ve işletme maliyetinden oluşan, toplam işletme maliyetini oluşturan, maliyet kategorileri şekil 8.1’de verilmiştir.

### 8.1 Direkt İlk Yatırım Maliyeti

**Arazinin düzenlenmesi:** Binaların ve yolların ve diğer arazi ile ilgili düzenlemelerin yapılması bu maliyet kalemini teşkil etmektedir. Membran sistemi mevcut arıtma tesisi içine yapılırsa arazinin düzenlenmesi maliyeti sıfır olarak alınabilir.



Şekil 8.1 Membran sistemlerinde maliyet kategorileri

**Su maliyeti:** Su maliyeti, ham su temini ve membran proses ile arıtma sonunda oluşan konsantre akımının uzaklaştırılması maliyetlerini içermektedir. Ham su temini üç faktörden etkilenmektedir. Bunlar sırasıyla, ham su temin yöntemi, ham suyun depo edildiği tankın kapasitesi ve geri kazanım oranıdır. Bütün bu işlemlerde, suyun temin edilmesi ne kadar zorlaşıyorsa, maliyette o derecede artmaktadır. Konsantre akımının uzaklaştırılması ise uzaklaştırma yöntemine ve çevre kanunlarına bağlı olarak değişmektedir. Konsantre uzaklaştırma yöntemleri arasında, denize verme, araziye serme, kanalizasyon sistemine verme, derin kuyu enjeksiyonu ve yakma gelmektedir.

**Tesisat:** Her türlü pompalama sistemi, tesisat ve elektrik sistemi bu maliyet kısmına girmektedir.

**Ekipman:** Ekipman maliyeti, ön arıtma sistemi, membran modülleri, yüksek basınç pompaları ve bunların taşınmasını içermektedir.

**Arazi:** NF membran sisteminin kurulduğu arazinin maliyetidir. Mevcut saha içine kurulacak ise ihmal edilebilir.

**Diğerleri:** Daha çok, ham su temini, ön arıtma ve son arıtma kısımları ile ilgilidir. Örneğin saf su üretiminde, iyon değiştiricileri kullanmak gerekebilir.

## 8.2 İndirekt İlk Yatırım Maliyeti

NF membran sisteminin inşa maliyetini ve inşasının kesin olmayan bitim tarihine bağlı ek maliyetleri içermektedir.

**İnşaa Masrafları:** İnşaa masrafları, ücretler, arazi araştırmaları, geçici olarak şantiye binası yapımı gibi masrafları kapsamaktadır. Toplam direkt ilk yatırım bedelinin %12'si, bu maliyet bileşeni için temsil edici değer olarak alınabilir.

**Beklenmeyen Giderler:** NF membran sisteminde beklenmeyen giderlere ayrılan kısmın, toplam direkt ilk yatırım bedelinin %10'udur. Bu değer bölgeye bağlı olarak değişmektedir. Ekonomi politikası değişken olan ülkelerde inşaa edilen tesis için beklenmeyen giderlere ayrılan miktar normalden çok fazla olabilmektedir.

## 8.3 İşletme Maliyeti

**Enerji:** Membran sistemlerinde, enerji maliyeti en önemli kısmı teşkil etmektedir. Enerji maliyeti, besleme suyu pompaları, yüksek basınç pompaları, ön arıtma birimlerini ve malzemelerini içermektedir. En çok enerjiyi yüksek basınç pompaları harcamaktadır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için son yıllarda, düşük basınçta çalışan membran sistemlerinin geliştirilmesi hız kazanmıştır. Nanofiltrasyon membranları ile yapılan çalışmaların sayısı da buna bağlı olarak artmıştır. Enerji maliyeti denklem 8.1'de verilen ampirik formül ile hesaplanabilir (Koyuncu ve Topacık, 1998).

$$EnerjiMaliyeti(\$ / m^3 / gün) = 0.191 \times P_r \times E_c \times F_{R1}^{-1} \times P_e^{-1} \times (100 - E_R) \quad (8.1)$$

Burada,  $P_r$ , işletme basıncını (psig),  $E_c$ , elektrik maliyetini (\$/KWH),  $F_{R1}$ , geri kazanma oranı (%),  $P_e$ , pompa ve motorun ortak verim değerini ve  $E_R$ , enerji geri kazanma oranını göstermektedir.

**Membran Değişimi:** Membran değişimi de en önemli işletme maliyeti bileşenlerindendir. Membran firmaları membran değiştirme ömrünü, 3 ile 5 yıl arasında değişen zamanlarda garanti etmektedirler.

**İşçilik ve Genel Giderler:** İşçilik maliyeti, çalışan işçi sayısına bağlı olarak değişmektedir. Çalışan işçi sayısı ise sistemin işletme biçimine bağlıdır. Günümüzde NF sistemleri tam otomatik olarak çalışmakta ve işçilik masrafı en aza inmektedir. Bu durum ilk yatırım maliyetini artırmaktadır.

**Yedek Parçalar:** Yedek parçalar sistemde çalışamaz duruma gelmiş parçaların değişimini içermektedir. Bunlar pompa parçaları, vanalar, otomatik kontrol sistemi parçaları ve bilinmeyen birçok etken olabilir.

**Kimyasallar:** Membran sistemlerinde kimyasallar, membran üzerinde çökeltme oluşumunu önlemek, membranı korumak, arıtma sonrası suyu şartlandırmak ve dezenfeksiyon amaçlı kullanılır.

**Filtreler:** Ön arıtmada kullanılan kartuş filtrelerin zamanla değiştirilmesi gerekmektedir. Bu da işletme maliyeti olarak ortaya çıkmaktadır.

**Diğerleri:** Sistemin işletilmesi sırasında ortaya çıkabilecek bilinmeyen işletme giderlerini oluşturur.

#### **8.4 Toplam Su Üretim Maliyeti**

Toplam su üretim maliyeti, ilk yatırım ve işletme maliyetinin toplamından oluşmuştur. Arazi düzenlenmesi, tesisat, ekipman ve alan ihtiyacını kapsayan ilk yatırım maliyetinin aşağı yukarı 300.000 \$ olacağı düşünülmektedir. Tesisin işletme maliyeti ise enerji, membran değişimi, işçilik, yedek parçalar, kimyasallar ve kartuş filtre giderlerini içermektedir. Bu çalışmada membran modülün ekonomik ömrünün 3 yıl olduğu ve 1 KWH elektrik enerjisinin 0.062 \$ olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda %10 faizle hesaplamalar yapıldığında sistem 5 senede ilk yatırım maliyetini karşılamaktadır.

Toplam su üretim maliyeti, işletme ve ilk yatırım maliyetlerinin toplamı ile hesaplanmaktadır. Toplam üretim maliyeti, basınç, sıcaklık ve tesis kapasitesi gibi işletme şartlarının etkisi altındadır. Nanofiltrasyon membranlarıyla yapılan boyahane atıksuyu geri kazanımının ekonomik analizi tablo 8.1’de verilmiştir. 1000 m<sup>3</sup>/gün’lük tesis kapasitesinde, tahmini toplam maliyet 0.81 \$/m<sup>3</sup>’tür. Literatürde bu değer,

pamuklu tekstil ürünlerinin reaktif boyalarda boyanmasında 1 \$/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir (Wenzel ve diğ., 1996).

İstanbul bölgesi için, endüstrilerin su tarifeleri 2-3 \$/m<sup>3</sup>'tür. Bu durumda, İstanbul bölgesinde endüstriler için kendi atıksularını geri kazanmak daha ekonomik görülmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan nanofiltrasyon membran sistemleri ekonomik açıdan avantajlıdır.

Tablo 8.1 ilk yatırım ve işletme maliyetleri (1000 m<sup>3</sup>/gün kapasitede)

| BİRİM               | MALİYET (\$/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|------------------------------|
| İlk Yatırım         | 0.22                         |
| İşletme Maliyetleri |                              |
| Enerji              | 0.18                         |
| Membran değişimi    | 0.11                         |
| İşçilik             | 0.13                         |
| Yedek parça         | 0.10                         |
| Kimyasallar         | 0.05                         |
| Filtreler           | 0.02                         |
| TOPLAM              | 0.81                         |

## 9. SONUÇLAR

Bu bölümde, deneysel çalışmalardan elde ettiğimiz sonuçlar verilmiştir. Birinci aşamada bölüm 7.1'den elde edilen sonuçlar ikinci aşamada bölüm 6.2'den elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

### 9.1 Birinci Aşama Deneyleri

Birinci aşama deneyleri KOİ'si 580-720 mg/l arasında değişen, askıda katı madde miktarı 160 mg/l olan, 500 Pt.Co. unit renk değerini gösteren, tekstil boyahane atıksuları ile yapılmıştır.

Deneylerde basınç artışı ile süzüntü akısının lineer arttığı gözlenmiştir. Konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanma I. aşama deneylerinde akıyı inhibe edecek kadar büyük problemlere yol açmamıştır. 3 bar basınçta 5-6 l/m<sup>2</sup>h olan süzüntü akısı, 12 bar'a gelindiğinde 25 l/m<sup>2</sup>h'e kadar yükselmiştir. Sıcaklığın akı üzerinde önemli etki yaptığı gözlenmiş ve deneylerde 20 – 25 °C arasında besleme suyu sıcaklığı sabitlenerek deneysel çalışmalar sürdürülmüştür.

Başlangıç iletkenliği ortalama 650 µS/cm olan besleme suyundan, 3 bar basınçta iletkenliği 20 µS/cm, 6-9-12 bar basınçlarda iletkenliği 10 µS/cm olan süzüntü suyu üretilmiştir. NF membranının boyahane dengeleme havuzundan alınan numunelerin iletkenliğine % 96 – 98 oranında giderdiği tespit edilmiştir.

Besleme suyunun KOİ'si 580 – 720 mg/l arasındadır. 3 ve 6 bar basınçlarda yapılan deneylerde süzüntü suyu KOİ'si 90 – 30 mg/l'ye kadar düşerken, 9 ve 12 bar basınçta yapılan deneylerde KOİ 10 mg/l'nin altına düşmektedir. Bu sonuçlara göre KOİ gideriminde % 98 verim elde edilmiştir.

Birinci aşama deneylerde, besleme tankında 500 – 550 Pt.Co. unit olan renk değeri, süzüntü suyunda 10 – 20 Pt.Co. unite kadar düşmüştür. % 96 – 98 oranında renk

giderimi olduğu yapılan deneylerden hesaplanmıştır. Renk konusunda daha ayrıntılı çalışma, ikinci aşama deneyleri boyahane atıksuları ile olan kısmında yapılmıştır.

Enerji maliyeti, üretilen sznt suyunun  $m^3$ ' başına KWH olarak sarf edilen elektrik enerjisi ile tariflenmiştir. Deneylerde basınç artışı ile üretilen birim hacim sznt suyu için sarf edilen elektrik enerjisinin azaldığı tespit edilmiştir.

3 bar basınçta ortalama enerji maliyeti  $9.49 \text{ KWH}/m^3$  iken, 9 bar da  $6.06 \text{ KWH}/m^3$ , 9 bar da  $4 \text{ KWH}/m^3$ , 12 bar da  $3.65 \text{ KWH}/m^3$ 'tür.

## 9.2 İkinci Aşama Deneyleri

İkinci aşama deneyleri hem laboratuvar da hazırlanan tuzlu su numunesi, hem de boyahane dengeleme havuzundan alına atıksu numunesi ile yapılmıştır. Bu çalışmada, membrandan çıkan sznt suyu ayrı bir tankta geri kazanım olarak toplandığından, deneylerde incelenen bazı parametreler geri kazanıma karşı değerlendirilmiştir. Renk ve KOİ zerindeki çalışmalar ise sadece boyahane atıksu numuneleri ile yapılmıştır.

Tuzlu su deneylerinde % 80 geri kazanım ile çalıştığımızda başlangıçta  $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$  olan tank iletkenliği  $7000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 'ye kadar çıkmıştır. Buna karşılık sznt suyu iletkenliği 4 bar basınçta  $250 \mu\text{S}/\text{cm}$  nin altında, 6-9-12 bar basınçlarda ise  $150 - 170 \mu\text{S}/\text{cm}$  civarında çıkmıştır. Bu durumda, tuzlusu iletkenliği için minimum giderim %96, maksimum giderim ise % 97.8 olarak hesaplanmıştır.

Boyahane atıksu numunesinde ise  $700 \mu\text{S}/\text{cm}$  iletkenlikte deneylere başlanmış, % 80 geri kazanım sonunda bu değer  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 'ye kadar yükselmiştir. Bu iletkenlik, 12 bar basınçta elde edilen sznt suyunda  $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ 'nin altına düşmüştür. Diğer basınçlarda ise sznt iletkenliği  $30-35 \mu\text{S}/\text{cm}$ 'nin altında kalmıştır. Deney sonunda iletkenlikte minimum % 98, maksimum %99 giderim elde edilmiştir.

İkinci aşama deneylerinde geri kazanım oranının artmasıyla, besleme tankı konsantrasyonu artmıştır. % 60 geri kazanımdan sonra bu artış, konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmanın etkisiyle akıda düşüşe sebep olmuştur. Bu noktadan sonra akı ktl transfer mekanizmasının etkisine girmiştir (Koyuncu ve diğer., 2000).

Tuzlu su ile yapılan çalışmada, 12 bar basınçta 17 l/m<sup>2</sup>h olan başlangıç akısı, % 84 geri kazanım sonunda 8 l/m<sup>2</sup>h'e; 9 bar basınçta 12 l/m<sup>2</sup>h olan başlangıç akısı % 85 geri kazanımda 4 l/m<sup>2</sup>h'e; 6 bar basınçta 6.5 l/m<sup>2</sup>h olan başlangıç akısı % 70 geri kazanımda 3 l/m<sup>2</sup>h'e; 4 bar basınçta 2.5 l/m<sup>2</sup>h olan başlangıç akısı % 35 geri kazanımda 1 l/m<sup>2</sup>h'e kadar düşmüştür.

Boyahane atıksuyu ile yapılan deneylerde, 12 bar basınçta 22 l/m<sup>2</sup>h olan başlangıç akısı %82 geri kazanım sonunda 13 l/m<sup>2</sup>h'e; 9 bar basınçta 20 l/m<sup>2</sup>h olan başlangıç akısı %65 geri kazanım sununda 16.5 l/m<sup>2</sup>h'e; 6 bar basınçta 8 l/m<sup>2</sup>h olan başlangıç akısı % 80 geri kazanım sonunda 7 l/m<sup>2</sup>h'e; 3 bar basınçta 3.5 l/m<sup>2</sup>h olan başlangıç akısı 3 l/m<sup>2</sup>h'e kadar düşmüştür.

Geri kazanımla süzüntü iletkenliği ve geri kazanımla süzüntü akısı arasındaki ilişkiler, ikinci aşama deneylerinde konsantre akımın besleme tankına geri devir ettirilmesinden dolayı, tank iletkenliği ile süzüntü iletkenliği ve tank iletkenliği ile süzüntü akısı arasındaki ilişkilerle aynıdır.

Bu bölümde, boyahane atıksu numunelerinin KOİ'leri 400-700 mg/l arasında değişmektedir. Geri kazanım miktarının artmasıyla besleme tankında bu değer 1300-2300 mg/l'ye kadar çıkmıştır. Çalışmanın başlangıcında, besleme tankındaki 400-700 mg/l arasındaki besleme suyu KOİ'sine karşılık, 20-30 mg/l süzüntü suyu KOİ'si elde edilmiştir. %80-90 geri kazanım sağlanması sonucunda artan besleme suyu KOİ'si , süzüntü suyu KOİ'sini de 60-120 mg/l'ye çıkarmıştır. Bu bölümde yapılan deneylerde, hangi basınçta çalışırsak çalışalım KOİ giderim verimi % 95'in altına düşmemiştir. En büyük verimin ise 9 bar basınçta elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Yapılan deneylerde, NF membranının, boyahane dengeleme ünitesinden alınan numunelerin renk gideriminde performansının yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Başlangıçta 200-250 Pt.Co. unit renk değerindeki besleme suyu % 83 geri kazanım sonunda 600-650 Pt.Co. unite yükselmiştir. Süzüntü suyu renk değeri ise 3-6 bar da 10-40 Pt.Co. unit'e kadar düşmüştür. 9-12 bar basıçta elde edilen süzüntü suları için bu ölçümler yapılmamıştır, fakat 3-6 bar basınçta elde edilen değerlerden daha düşük olacağı tahmin edilmektedir. Eldeki veriler doğrultusunda, renk gideriminin % 95-98 oranında sağlandığı hesaplanmıştır.

Geri kazanım, tuzlu su numunesinde tek bir modül ile 12 bar basınçta, 4.5 saatlik çalışma sonucunda 130 l olarak tespit edilmiştir. Enerji maliyeti ise, 6 KWH/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. 9 bar basınçta geri kazanım, 4.7 saatlik çalışma sonucunda 85 l olarak tespit edilmiştir. Enerji maliyeti ise, 7.764 KWH/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. 6 bar basınçta geri kazanım, 4.5 saatlik çalışma sonucunda 70 l olarak tespit edilmiştir. Enerji maliyeti ise, 11.857 KWH/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. 4 bar basınçta geri kazanım, 7.3 saatlik çalışma sonucunda 35 l olarak tespit edilmiştir. Enerji maliyeti ise, 22.571 KWH/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

Boyahane atıksu numunesinde ise 12 bar basınçta, 4.3 saatlik çalışma sonunda tek bir modül ile 82 l süzüntü suyu geri kazanılmıştır. Bu basınçta enerji maliyeti 5.24 KWH/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. 9 bar basınçta, 4.6 saatlik çalışma sonunda tek bir modül ile 80 l süzüntü suyu geri kazanılmış, enerji maliyeti ise 5.375 KWH/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. 6 bar basınçta, 7.2 saatlik çalışma sonunda tek bir modül ile 80 l süzüntü suyu geri kazanılmış, enerji maliyeti ise 9 KWH/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. 3 bar basınçta, 8.2 saatlik çalışma sonunda tek bir modül ile 42 l süzüntü suyu geri kazanılmış, enerji maliyeti ise 17.85 KWH/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

Çeşitli kirletici parametreler ve akı üzerinde yapılan incelemeler, nanofiltrasyon membranlarının boyahane atıksuları dengeleme ünitesi çıkışında iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Nanofiltrasyon membranları ile yapılan deneylerde, 9 bar basınçta elde edilen sonuçların oldukça tatminkar olduğu, ayrıca bu basınçta konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmanın yarattığı negatif etkilerin daha az görüldüğü sonucuna varılmıştır.

RO membranlarının boyahane atıksularında akısı düşük iken NF membranlarının akısı, orta-yüksek seviyelerde çıkmaktadır. Buna rağmen her ikisi de aşağı yukarı aynı boya giderimine sahiptir (Wenzel ve diğ., 1996).

Nanofiltrasyon membranları ;

- Düşük basınç / Yüksek akı,
- Ortalama ilk yatırım ve inşaa maliyeti,
- Düşük alan ihtiyacı,
- Modüler olarak inşaa edilebilme,

- Kimyasallar ile kolay temizlenebilme,
  - Ucuz proses suyu maliyeti,
- gibi avantajlara sahiptir.

Bu deneylerden elde ettiğimiz, konsantre kısmın içerdiği boya kimyasallarının değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar halen devam etmektedir. Konsantre kısmın bertarafı konusunda, Wenzel, Knudsen, Kristensen ve Hansen 1996 yılında yaptıkları çalışmada, konsantre kısımdaki boyar maddelerin hiçbir negatif etki göstermeden, anaerobik parçalanma ile parçalanabildiği sonucuna varılmışlardır.



## KAYNAKLAR

- APHA, AWWA, WEF**, 1985. Standart Methods For The Examination of Water and Wastewater, 16<sup>th</sup> Ed., Washington, USA.
- Baker R. W.**, 1991. Membrane Separation Systems: Recent Development and Future Directions, *Noyes Data Corp.*
- Bilstad T.**, 1997. "Membrane Operations", *Water Sci. Tech*, **36**, no 2-3.
- Buckley C.A.**, 1992. "Membrane Technology For The Treatment Of Dyehouse Effluents", *Water Sci. And Tech.*, **25**, n.10.
- Correia V. M., Stephenson T., Judd S. J.**, 1994, "Characterisation Of Textile Wastewaters: A Review", *Environmental Technology*, **15**, pp 917-929.
- EPA**, 1978. Environmental Pollution Control, *Textile Processing Industry*, EPA 625.
- Fluid Systems Membrane Catalog**, Anglian Water International.
- Gaeta S.N., Fedele U.**, 1991, "Recovery Of Water And Auxiliary Chemicals From Effluents Of Textile Dye Houses", *Desalination*, **83**, pp183-194.
- Kocaman Ü.**, 1998. "Tekstil Endüstrisinde Kirlenme Kontrolü", Industrial Waste Management Midterm Homework, Çevre Mühendisliği, İ.T.Ü., İstanbul.
- Koyuncu İ., Kural E., Topacık D.**, 2000. "Pilot Scale Nanofiltration Membrane Separation For Waste Management In Textile Industry", *3<sup>rd</sup> International Symposium on Waste Water Reclamation, Recycling and Reuse*, Paris, Fransa, 03.07.2000.
- Koyuncu İ.**, 1997. "Membran Teknolojisinin Çevre Mühendisliğinde Kullanım Potansiyeli ve Ters Ozmos ile Amonyum İyonu Giderimi", *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koyuncu, İ.**, 1999. "Endüstriyel Kirlenme Kontrolünde Membran Teknolojisinin Öncelikli Kullanımının Nedenleri", Gebze-İstanbul.
- Koyuncu İ., Topacık D.**, 1998. "History and Cost Estimation of Water Treatment With Membrane Technology", *International Symposium on Water Supply and Treatment*, İSKİ.
- Koyugölge T.**, 1994. "Yünlü Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Biyolojik Arıtılabilirliği ve Renk Giderimi", *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Metcalf And Eddy**, 1991. Wastewater Enginnering: Treatment, Disposal and Reusu, 3<sup>th</sup> Ed. Mc Graw Hill Co., New York.
- Mulder M.**, 1996. "Basic Principles Of Membrane Technology", 2<sup>nd</sup> Ed., Kluwer Academic Publisher.
- Osmo Membrane Systems**, 1986. Membrane Elements.
- Schierach M.**, 1988. Desalination By Reverse Osmossis, Hydrotechnic.
- Scott K.**, 1995. Handbook of Industrial Membranes, I. Baskı.
- Slater C.S., Zielinski J.M., Wendel R.G., Uchirin C.G.**, 1985. "Modelling Of Small Scale Reverse Osmosis Systems ", *Desalination*, 52, pp 267-284.
- Topacık D., Koyuncu İ.**, 1996 . "Türkiye'deki Membran Proses Uygulamaları ve Karşılaşılan Güçlükler", *Çevre 96, Türk Devletleri Arasında 3. İlmi İşbirliği Konferansı*, UFA, Başkurdistan.
- Topacık D., Turan M.**, 1998. Çevre Teknolojilerinde Membran Süreçler Ders Notları, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Toröz, İ.**, 1988. "Yün Yıkama, Atıksu Arıtma Özellikleri ve Alternatifleri", *Tekstil ve Teknik*.
- Yalçın F.**, 1998. "Membran Proseslerle Endüstriyel Atıksularda Renk Giderimi", *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wenzel H., Knudsen H.H., Kristensen G.H., Hansen J.**, 1996. "Reclamation and Reuse of Process Water from Reactive Dyeing of Cotton", *Desalinatio*, 106, pp 195-203.

## ÖZGEÇMİŞ

Ebru KURAL, 1974 yılında Giresun’da doğdu. Lise eğitimini 1992 yılında Giresun Hamdi Bozbağ Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1993 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği bölümüne girdi ve 1997 Haziran döneminde mezun oldu. 1997 – 1998 öğretim yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başlayan Ebru KURAL, halen özel sektörde Çevre Mühendisi olarak çalışmaktadır.

