



**YENİ ULTRAFİLTRASYON MEMBRANLARIN ÜRETİMİ VE SULU  
ÇÖZELTİLERDEN AĞIR METALLERİN UZAKLAŞTIRILMASINDA  
KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Funda MAVİLİ**

**Danışman  
Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Haziran 2019**

Bu tez çalışması 17.FEN.BİL.51 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YENİ ULTRAFİLTRASYON MEMBRANLARIN ÜRETİMİ VE  
SULU ÇÖZELTİLERDEN AĞIR METALLERİN  
UZAKLAŞTIRILMASINDA KULLANIMI**

**Funda MAVİLİ**

**Danışman**  
**Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Haziran 2019**

## TEZ ONAY SAYFASI

Funda Mavili tarafından hazırlanan “Yeni Ultrafiltrasyon Membranların Üretimi ve Sulu Çözeltilerden Ağır Metallerin Uzaklaştırılmasında Kullanımı” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 17/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

**Başkan** : Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim BULDUK  
Uşak Üniversitesi, Sağlık Yüksek Okulu

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahimEROL  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım  
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**24/05/2019**



**Funda MAVİLİ**

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

YENİ ULTRAFİLTRASYON MEMBRANLARIN ÜRETİMİ VE SULU  
ÇÖZELTİLERDEN AĞIR METALLERİN UZAKLAŞTIRILMASINDA  
KULLANIMI

Funda MAVİLİ  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
**Danışman:** Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

Bu çalışmada; ilk olarak poli(vinil pirilidon)-poli(vinil alkol)/selüloz kompozit membranlar üretildi ve karakterize edildi. Daha sonra bu membranların kompleksiz ve kompleks ajan varlığında Fe(III) ve Cu(II) iyonlarının sulu çözeltilerden ayrılmasında kullanılmıştır. Bu amaçla metal iyonlarının tutulmasını artırmak için aljinik asit ile kompleksleştirilmiştir. Filtrasyon çalışmaları kesikli ultrafiltrasyon hücresi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışma için basınç, pH ve çözelti konsantrasyonu parametreleri seçilmiştir.

Bu çalışmaların neticesinde %2(m/w) poli(vinil pirilidon)-%2(m/w) poli(vinil alkol)/selüloz kompozit membranı kullanılarak aljinik asit varlığında 400 dev/dk hızda 40 Psi basınçta ve pH 3'te  $0,3 \times 10^{-4}$  M Fe(III) için %80 olarak bulunmuştur. Yine Cu(II) iyonları için en yüksek tutulma Aljinik asit varlığında, pH 6'da, 30 Psi basınçta ve  $0,5 \times 10^{-4}$  M Cu(II) konsantrasyonunda ve 400 dev/dk hızda %2(m/w) poli(vinil pirilidon)-%2(m/w) poli(vinil alkol)/selüloz kompozit membranı kullanılarak %82,9 olarak bulunmuştur.

**2019, ix + 57 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit membran, Ultrafiltrasyon, Kompleks ajan, Metal uzaklaştırma.

## **ABSTRACT**

M.Sc.Thesis

### **THE PRODUCTION OF NEW ULTRAFILTRATION MEMBRANES AND USING IN REMOVAL OF HEAVY METALS FROM AQUEOUS SOLUTIONS**

Funda MAVİLİ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Cemal ÇİFCİ

In this study firstly prepared new poly(vinyl pyrrolidone)-poly(vinyl alcohol)/cellulose composite membrane and characterized. Then this new membrane was applied for removing Fe(III) and Cu(II) ions from aqueous solutions for absence and presence of complexing agent. For this purpose metal ions were complexed by using alginic acid for enhancing the retention. The filtration studies were done by using batch stirred ultrafiltration cell. Some parameters were selected for these studies such as pressure, pH and concentration of solution.

As a result of these studies maximum retention was found as 80 % for  $0,3 \times 10^{-4}$  M Fe(III) solutions at a velocity of 400 rpm, pressure of 40 Psi and at pH 3 in the presence of alginic acid by using 2 (w/v) % poly(vinyl pyrrolidone)- 2 (w/v) % poly(vinyl alcohol)/cellulose composite membrane. The maximum retention for Cu(II) solutions was also found as 82,9 % by using 2 (w/v) % poly(vinyl pyrrolidone)- 2 (w/v) % poly(vinyl alcohol)cellulose membrane when filtration was carried out in the presence of AA at pH 6,0, pressure of 30 Psi, concentration of  $0,5 \times 10^{-4}$  M Cu(II) solutions and velocity of 400 rpm.

**2019, ix + 57 pages**

**Keywords:** Composite membrane, Ultrafiltration, Complexing agent, Metal removal.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ'ye araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında 17.FEN.BİL.51 numaralı proje için katkılarından dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteğinden dolayı anneme teşekkür ederim.

Funda MAVİLİ  
AFYONKARAHİSAR, 2019

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET .....                                                         | i   |
| ABSTRACT .....                                                     | ii  |
| TEŞEKKÜR .....                                                     | iii |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....                                            | iv  |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                               | vi  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                               | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                             | ix  |
| 1. GİRİŞ .....                                                     | 1   |
| 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....                                       | 3   |
| 2.1 Membran Tanımı .....                                           | 3   |
| 2.2 Membranların Sınıflandırılması.....                            | 5   |
| 2.2.1 Membranları çapına göre sınıflandırma .....                  | 6   |
| 2.2.1.1 Mikrofiltrasyon (MF).....                                  | 6   |
| 2.2.1.2 Ultrafiltrasyon (UF) .....                                 | 7   |
| 2.2.1.3 Nanofiltrasyon (NF).....                                   | 8   |
| 2.2.1.4 Ters Osmoz (TO) .....                                      | 9   |
| 2.2.2 Membranları yapısı ve morfolojisine göre sınıflandırma ..... | 10  |
| 2.2.3 Membranları malzemesine göre sınıflandırma .....             | 11  |
| 2.2.4 Membranları geometrik şekillerine göre sınıflandırma .....   | 12  |
| 2.3 Membran Performansını ve Seçimini Etkileyen Faktörler .....    | 12  |
| 2.3.1 Giderim verimi .....                                         | 12  |
| 2.3.3 Basınç .....                                                 | 14  |
| 2.3.4 Sıcaklık .....                                               | 15  |
| 2.3.5 pH .....                                                     | 15  |
| 2.3.6 Membran Kirliliği.....                                       | 15  |
| 2.3.7 Membran Temizliği .....                                      | 17  |
| 2.4 Adsorpsiyon Hakkında Genel Bilgiler.....                       | 18  |
| 2.4.1 Fiziksel Adsorpsiyon .....                                   | 19  |
| 2.4.2 Kimyasal Adsorpsiyon .....                                   | 19  |
| 2.4.3 İyonik Adsorpsiyon .....                                     | 20  |
| 2.5 Membran Kullanımının Enerji Tasarrufu İle İlişkisi .....       | 20  |
| 2.6 Ağır Metaller.....                                             | 22  |

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.1 Ağır metaller hakkında genel bilgi .....                                          | 22 |
| 3. MATERYAL ve METOT .....                                                              | 30 |
| 3.1 Mataryel .....                                                                      | 30 |
| 3.1.1 Deneylerde Kullanılan Alet ve Düzenekler.....                                     | 30 |
| 3.1.2 Deneylerde Kullanılan Maddeler.....                                               | 31 |
| 3.2 Metot.....                                                                          | 33 |
| 3.2.1 Membranın Hazırlanması .....                                                      | 33 |
| 3.2.2 Membranların Filtrasyon İşleminde Kullanılması.....                               | 35 |
| 4. BULGULAR .....                                                                       | 36 |
| 4.1 Membranın Saf Su Geçirme Çalışmaları .....                                          | 36 |
| 4.2 Fe(III)'ün Kompleksiz Ortamda Sulu Çözeltilerden Ayrılması.....                     | 37 |
| 4.2.1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi .....                                               | 37 |
| 4.2.2 Konsantrasyonun Tutulma ve Akıya Etkisi.....                                      | 38 |
| 4.2.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....                                             | 38 |
| 4.3 Fe(III)'ün Aljinik Asit (AA) Varlığında Sulu Çözeltilerden Ayrılması .....          | 40 |
| 4.3.1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi .....                                               | 40 |
| 4.3.2 Konsantrasyonun Tutulma ve Akıya Etkisi.....                                      | 41 |
| 4.3.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....                                             | 42 |
| 4.4 Cu(II)'nin Kompleksiz Ortamda Sulu Çözeltilerden Ayrılması .....                    | 43 |
| 4.4.1 pH'ın Tutunma Ve Akıya Etkisi.....                                                | 43 |
| 4.4.2 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....                                             | 43 |
| 4.4.3 Konsantrasyonun Tutulma ve Akıya Etkisi.....                                      | 44 |
| 4.5 Cu(II) Çözeltisinin Aljinik Asit (AA) Varlığında Sulu Çözeltilerden Ayrılması ..... | 46 |
| 4.5.1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi .....                                               | 46 |
| 4.5.2 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....                                             | 47 |
| 4.5.3 Konsantrasyonun Tutulma ve Akıya Etkisi.....                                      | 48 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....                                                              | 50 |
| 6. KAYNAKLAR.....                                                                       | 52 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                           | 57 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|                                       |                                            |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| $^{\circ}\text{C}$                    | Celcius Derece                             |
| $\text{C}_{\text{Fe(III)}}$           | Fe(III) çözeltisinin başlangıç değışimi    |
| $\text{C}_{\text{Fe(III)}+\text{AA}}$ | Fe(III)+AA çözeltisinin başlangıç derişimi |
| $\text{C}_{\text{Cu(II)}}$            | Cu(II) çözeltisinin başlangıç derişimi     |
| $\text{C}_{\text{Cu(II)}+\text{AA}}$  | Cu(II)+AA çözeltisinin başlangıç derişimi  |
| $\text{C}_k$                          | Konsantredeki çözünen madde konsantrasyonu |
| $\text{C}_s$                          | Süzüntüdeki çözünen madde konsantrasyonu   |
| dk                                    | Dakika                                     |
| dev                                   | Devir                                      |
| mg                                    | Miligram                                   |
| $\mu\text{L}$                         | Mikrolitre                                 |
| $\text{m}^2$                          | Metrekare                                  |
| mL                                    | Mililitre                                  |
| R                                     | Tutulma                                    |
| Sa                                    | Saat                                       |

### Kısaltmalar

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| AA  | Aljinik asit                  |
| C   | Konsantrasyon                 |
| EPS | Hücre dışı polimerik maddeler |
| GA  | Glutaraldehit                 |
| MF  | Mikrofiltrasyon               |
| NF  | Nanofiltrasyon                |
| PVP | Poli(vinil pirilidon)         |
| PVA | Poli(vinil alkol)             |
| Tep | Ton eşdeğer petrol            |
| TO  | Ters osmoz                    |
| SMP | Çözünmüş mikrobiyal ürünler   |
| UF  | Ultrafiltrasyon               |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                 | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2. 1 Membranlarda gerçekleşen çeşitli kütle aktarım mekanizmaları.....                                    | 4     |
| Şekil 2. 2 Membranların sınıflandırılması.....                                                                  | 5     |
| Şekil 2. 3 Mikrofiltrasyon işlemi.....                                                                          | 7     |
| Şekil 2. 4 Ultrafiltrasyon işlemi şeması .....                                                                  | 8     |
| Şekil 2. 5 Nanofiltrasyon işlemi .....                                                                          | 8     |
| Şekil 2. 6 Ters osmoz işleminin şematik gösterim.....                                                           | 9     |
| Şekil 2. 7 Membranların morfolojilerine göre sınıflandırılması .....                                            | 10    |
| Şekil 2. 8 Membranda akı azalması .....                                                                         | 14    |
| Şekil 2. 9 Membran biyoreaktörlerde membran kirlenmesi mekanizması.....                                         | 16    |
| Şekil 2. 10 Adsorpsiyonun temel kavramları .....                                                                | 18    |
| Şekil 2. 11 Moleküllerin katı yüzeyi üzerine fiziksel adsorpsiyonu .....                                        | 19    |
| Şekil 2. 12 Moleküllerin katı yüzey üzerine kimyasal adsorpsiyonu.....                                          | 19    |
| Şekil 2. 13 1980-2015 yılları arasında Türkiye'de sanayide tüketilen enerji .....                               | 21    |
| Şekil 2. 14 Ağır metallerin çevreye yayılımının şematik olarak gösterilmesi.....                                | 25    |
| Şekil 3. 1 Filtrasyon işlemi akım şeması.....                                                                   | 31    |
| Şekil 3. 2 Poli(vinil pirilidon)'un açık kimyasal formülü.....                                                  | 32    |
| Şekil 3. 3 poli(vinil alkol)'ün açık kimyasal formülü.....                                                      | 32    |
| Şekil 3. 4 Aljinik asitin açık kimyasal formülü.....                                                            | 32    |
| Şekil 3. 5 Membranın SEM görüntüsü.....                                                                         | 34    |
| Şekil 4. 1 Membranın farklı basınçlarda saf su geçişi.....                                                      | 36    |
| Şekil 4. 2 Fe(III)'ün kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akı üzerine etkisi.....          | 37    |
| Şekil 4. 3 Fe(III)'ün kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi.....      | 38    |
| Şekil 4. 4 Fe(III)'ün kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde basıncın tutulma ve akıya etkisi .....            | 39    |
| Şekil 4. 5 Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akıya etkisi.....           | 40    |
| Şekil 4. 6 Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi..... | 41    |

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4. 7</b> Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında tutulma ve akıya etkisi .....                                          | 42 |
| <b>Şekil 4. 8</b> Cu(II)'nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akı<br>üzerine etkisi.....            | 43 |
| <b>Şekil 4. 9</b> Cu(II)'nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde basıncın tutulma ve akı<br>üzerine etkisi. ....        | 44 |
| <b>Şekil 4. 10</b> Cu(II)'nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde konsantrasyonun<br>tutulma ve akıya etkisi .....      | 45 |
| <b>Şekil 4. 11</b> Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akıya<br>etkisi.....            | 46 |
| <b>Şekil 4. 12</b> Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında basıncın tutulma ve akıya etkisi. ....                                | 47 |
| <b>Şekil 4. 13</b> Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde konsantrasyonun<br>tutulma ve akıya etkisi ..... | 49 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 2.1</b> Membranların özellikleri.....                                                                         | 6  |
| <b>Çizelge 2.2</b> İçme sularında bulunması gereken maksimum ve tavsiye edilen ağır metal değeri.....                    | 22 |
| <b>Çizelge 2.3</b> Temel endüstrilerden atılan ağır metal türleri.....                                                   | 25 |
| <b>Çizelge 3.1</b> Analizde kullanılan membranın içeriği.....                                                            | 34 |
| <b>Çizelge 4.1</b> Membran için saf su geçişi.....                                                                       | 36 |
| <b>Çizelge 4.2</b> Fe(III)'ün kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde tutulma ve akı üzerine pH'ın etkisi.....           | 37 |
| <b>Çizelge 4.3</b> Fe(III)'ün kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi.....       | 38 |
| <b>Çizelge 4.4</b> Fe(III)'ün kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde basıncın tutulma ve akıya etkisi.....              | 39 |
| <b>Çizelge 4.5</b> Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akıya etkisi.....            | 40 |
| <b>Çizelge 4.6</b> Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi.....  | 41 |
| <b>Çizelge 4.7</b> Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında basıncın tutulma ve akıya etkisi.....                              | 42 |
| <b>Çizelge 4.8</b> Cu(II)'nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde tutulma ve akı üzerine pH'ın etkisi.....           | 43 |
| <b>Çizelge 4.9</b> Cu(II)'nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde basıncın tutulma ve akıya etkisi.....              | 44 |
| <b>Çizelge 4.10</b> Cu(II)'nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi.....      | 45 |
| <b>Çizelge 4.11</b> Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akıya etkisi.....           | 46 |
| <b>Çizelge 4.12</b> Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında basıncın tutulma ve akıya etkisi.....                             | 47 |
| <b>Çizelge 4.13</b> Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi..... | 48 |

## 1. GİRİŞ

Membranla ilgili ilk çalışmalar 18. yy bilim insanları ile başlamıştır. Abbe Nolet 1748’ de suyun bir zardan karşıya geçişini "ozmoz" kelimesi ile tanımlamıştır. 19. yy ve 20. yy’ ın başlarında membranlar laboratuvarlarda kullanılarak teoriler geliştiriliyordu. 1887’ de çözeltilerin ozmotik basınçlarının ölçümünde membranlar kullanıldı. 1907’de Bechhlod nitroselüloz bir membran elde edebilmek için teknik geliştirdi ve ardından bilim insanları bu tekniği ilerlettiler. 1930’ların başında ise nitro selüloz membranlar ticarileşti. Membranların ilk önemli uygulamaları ise II. Dünya Savaşı sonrasında içme sularının test edilmesiyle olmuştur. Su kaynaklarının güvenilirliğinden emin olmak için filtrelere gerek duyulup bunların araştırılması için yapılan çalışmalar desteklenmiştir. 1960’ larda modern membran biliminin temel ilkeleri geliştirilse de çok yavaş olmaları, seçiciliklerinin az olması ve maliyet gibi nedenlerden dolayı membranlar laboratuvarlarda ve küçük endüstriyel uygulamalarda kullanılabiliştir. 1960-1980 yılları arasında membran teknolojisinin gelişiminde önemli çalışmalar yapıp gelişmeler kaydedildi. Geliştirilen süreçlerle birlikte çok ince seçici tabakaya sahip membranlar oluşturuldu. 1980’li yıllarla birlikte mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, ters ozmoz, elektrodializ membranları üretilmeye başlamıştır gelişimleri ise günümüzde devam etmektedir (Sarıhan 2015).

Membran teknolojisindeki gelişmelerle membranların kullanımı günden güne artarak işletmeler için ekonomik avantajları, membran prosesin diğer ayırma prosesleri ile kolayca birleşebilmesi, ilave kimyasal gerektirmemesi, taşınabilirliğinin kolay olması ve enerji tüketiminin düşük olması açısından avantaj sağlayıp ilgi çekmeye başlamıştır (Aydın 2018).

Ağır metallerin çoğu kirletici ve toksik olarak nitelendirilmektedir. Birçok endüstri atık sularından nehir, göl, deniz ile diğer doğal sular ile karışarak bitkiler ve hayvanlar için toksik etki oluşturarak insan sağlığına da olumsuz etki etmektedir (Aksoy 2012). Doğal kaynakların, çevrenin ve canlıların korunması dünya genelinde önemli bir konudur. Tehlikeli atıkların en iyi şekilde, en az zararla ve az enerji kullanılarak arıtılması üzerinde durulması gereken bir konudur.

Sulardan ağır metallerin uzaklaştırılması için çeşitli yöntemler kullanıldığı bilinmektedir. Membranlarda bu yöntemlerden biridir. Yapılan bu çalışmada da laboratuvar ortamında üretilen kompozit bir membran kullanılarak suda çözünmüş haldeki ağır metallerin çözeltilerinden ayrılmasıyla ilgili analizler yapılmıştır. Bunun için ağır metal olarak demir ve bakır kullanılmıştır.

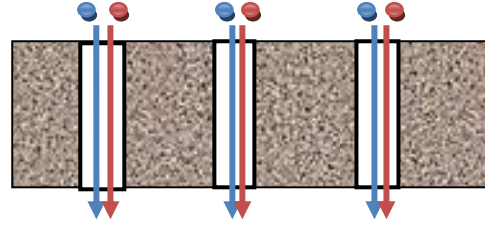
## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Membran Tanımı

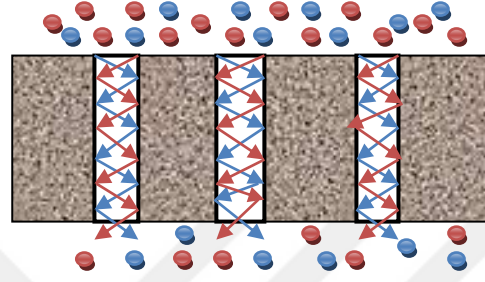
Membranlar ayırma, deriştirme ve saflaştırma süreçlerinde iki fazı ayıran seçici geçirgen bir yapı olarak tanımlanmaktadır.

Membranlar ayırma işlemlerinde önemli bir yere sahiptir. Sürücü bir kuvvet ile çeşitli sıvı ve akışkanları seçimli olarak ayırabilen ince bir bariyerdir (Saka 2017). Seçici terimi membran veya membran prosesine ait bir terimdir (Aydın 2018). Ayırma işlemi membranın fiziksel ve kimyasal özellikleriyle belirlenmektedir. Membran proseslerde ayırma işlemi basınç farkı, konsantrasyon farkı, elektriksel potansiyel farkı ve sıcaklık farkının biri veya birkaçıyla oluşturulan itici bir güçle gerçekleşir.

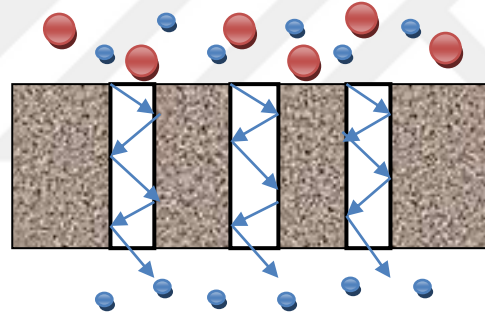
Membranlar, yarı geçirgen bir yapıya sahiptirler. Membrana ve çalışılan çözeltinin özelliğine bağlı olarak, maddelerin bir kısmı membrandan geçebilirken bir kısmı yüzeyde tutulur. Bu durum iki model ile açıklanabilir; **çözünme-difüzyon ve gözenek akış** modeli. Çözünme-difüzyon modelinde membran tarafından süzülmesi beklenen madde membran içerisinde çözünmekte ve basınç sabit kalarak bir taraftan diğerine geçerken yalnızca konsantrasyonda bir değişim olmaktadır. Gözenek akış modelinde ise gözeneklerden bazı maddeler geçebilirken bazıları geçemeyecek büyüklüktedir. Günümüzde membran sistemlerinin birçoğunda gözenek akış modeli kullanılmaktadır. Şekil 2.1’de membranlarda gerçekleşen çeşitli kütle aktarım mekanizmaları gösterilmektedir (Saka 2017).



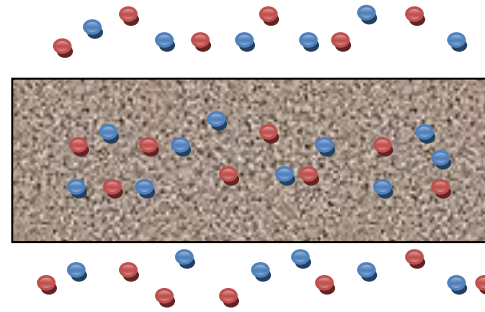
Gözeneklerden toplu akış



Gözeneklerden difüzyon



Sınırlı difüzyon

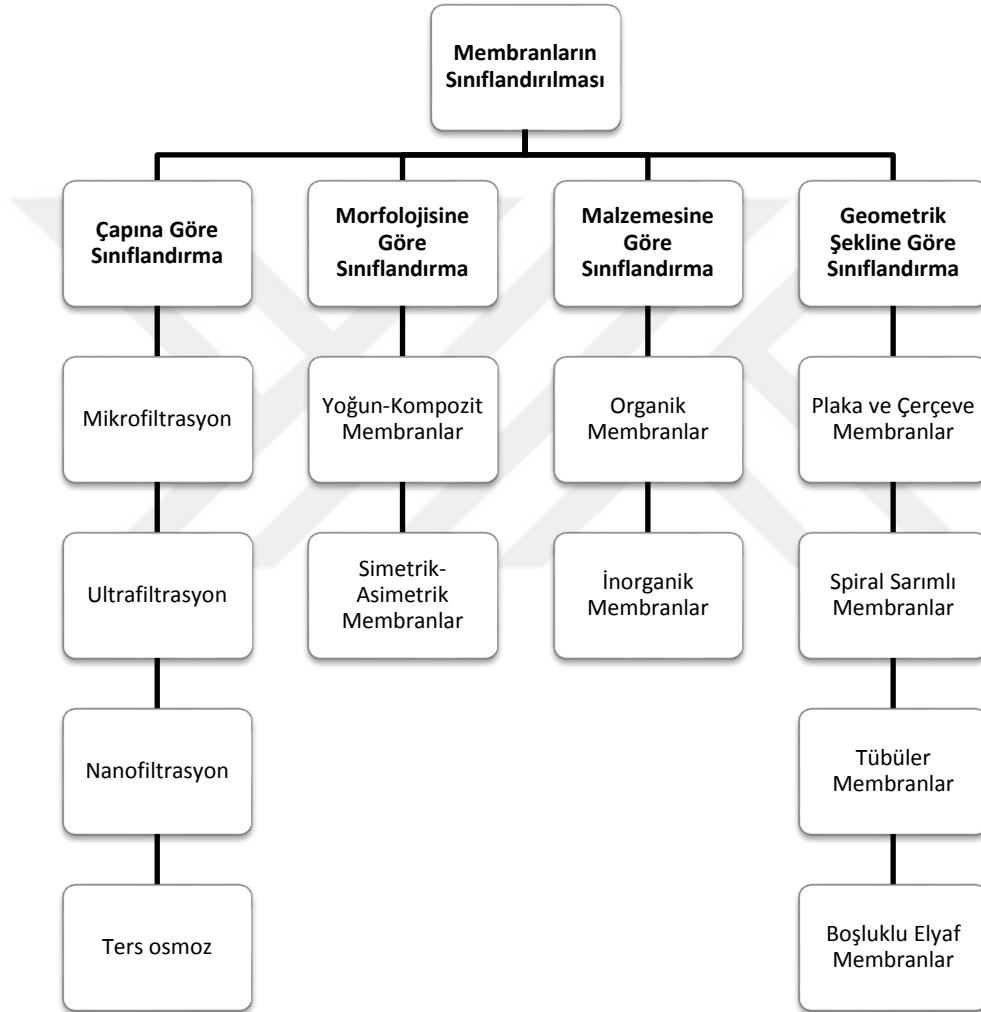


Çözünme difüzyon

**Şekil 2. 1** Membranlarda gerçekleşen çeşitli kütle aktarım mekanizmaları (Gürel ve Büyükgüngör 2015).

## 2.2 Membranların Sınıflandırılması

Membranlar çaplarına göre, morfolojilerine göre, malzemesine göre ve geometrik şekillerine göre sınıflandırılabilir. Şekil 2.2’ de membranların sınıflandırılması tablo şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 2. 2 Membranların sınıflandırılması.

### 2.2.1 Membranları çapına göre sınıflandırma

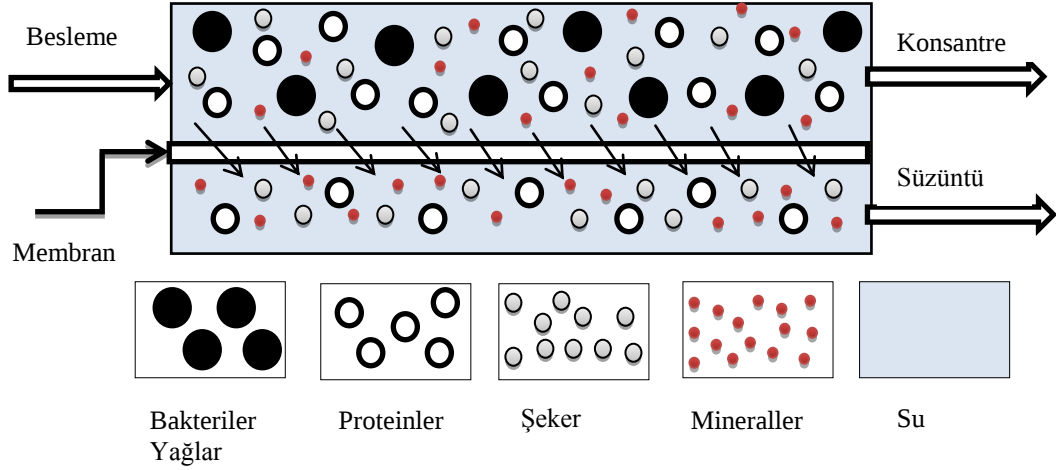
Membranlar gözenek boyutlarına göre mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz olarak sınıflandırılabilirler.

**Çizelge 2. 1** Membranların özellikleri (Aydın 2018).

| Proses                 | İtici güç           | Süzüntü                                 | Tutulan                |
|------------------------|---------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| <b>Mikrofiltrasyon</b> | Basınç              | Asılı parçacıklar, Su                   | Çözünmüş sıvılar, Su   |
| <b>Ultrafiltrasyon</b> | Basınç              | Büyük parçacıklar, Su                   | Küçük moleküller, Su   |
| <b>Nanofiltrasyon</b>  | Basınç              | Küçük parçacıklar, Çözünmüş asitler, Su | Su, Çözünmemiş asitler |
| <b>Osmoz</b>           | Kimyasal potansiyel | Çözünenler, Su                          | Su                     |
| <b>Ters Osmoz</b>      | Basınç              | Tüm Çözünenler, Su                      | Su                     |

#### 2.2.1.1 Mikrofiltrasyon (MF)

Genellikle 0,05-5 µm arasında gözenek boyutuna sahip olmakla birlikte kolloidal maddeler, virüs ve bakterilerin giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. 0,2-3 bar arasındaki basınçlarda çalışılmaktadır. Ters osmoz, nanofiltrasyon membranlarının kullanımı daha fazla olsa da ters osmoz ve nanofiltrasyondan önce ön arıtmada kullanılabilir (Kavuştu 2016, Saka 2017). Mikrofiltrasyon işlemi şematik olarak Şekil 2.3’de gösterilmektedir.

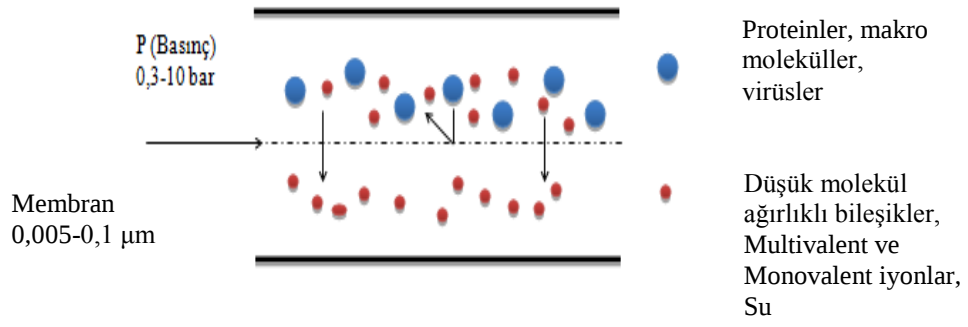


**Şekil 2. 3** Mikrofiltrasyon işlemi (Eriş 2017).

#### 2.2.1.2 Ultrafiltrasyon (UF)

Bu membranlar 0,05-1 nm arasında gözenek boyutuna sahiptir. Bu işlemde tutulma molekül büyüklüğüne bağlı olmanın yanı sıra iyonik yüküne ve şekline de bağlıdır. Ancak iyonik olmayan maddeleri de alıkoyar (Kavuştu 2016).

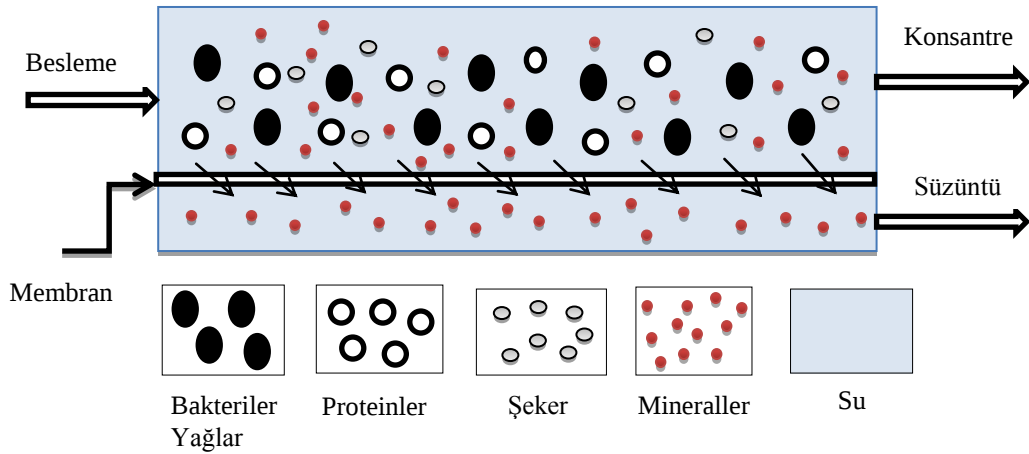
Ultrafiltrasyon membranı işletme açısından mikro filtrasyona benzemekte ters ozmoz ile aynı prensibe bağlı bir proses sistemidir. Ultrafiltrasyon işleminde membran iki tabakaya sahiptir. Üst kısımda normal filtrasyon işlemi gerçekleşirken alt kısımda ise çözünmüş olan moleküller ile küçük olan partiküller ayrılmaktadır (Saka 2017). UF sistemi gıda, tekstil, otomotiv, su arıtım sistemi gibi birçok alanda kullanıldığı gibi atık suyun arıtılmasında da ön arıtma amaçlı kullanılmaktadır (Kavuştu 2016). Ayrıca virüs, protein, enzim ve organik maddeleri ayırma kapasitesine sahiptir (Güçlü 2018). Ultrafiltrasyon sisteminin şeması Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2. 4 Ultrafiltrasyon işlemi şeması (Saka 2017).

### 2.2.1.3 Nanofiltrasyon (NF)

Bu membranlar çapı 0,001  $\mu$  dan büyük olan maddelerin çözeltilerinden ayrılmasında kullanılır (Kavuştu 2016). Gözenek çapları ise 0,005-0,001  $\mu$  m arasındadır (Güçlü 2018). Gözenek çapına göre UF ile TO arasında kalmaktadır. Daha çok kompozit membranların kullanıldığı bu proseste ters osmoza göre daha az basınca ihtiyaç duyulur (Sarıhan 2015). Tek değerlikli iyonların tutunması düşük çok değerlikli iyonlarınkı ise yüksektir (Kavuştu 2016). Şekil 2. 5' te nanofiltrasyon işlemi şematik olarak gösterilmektedir.



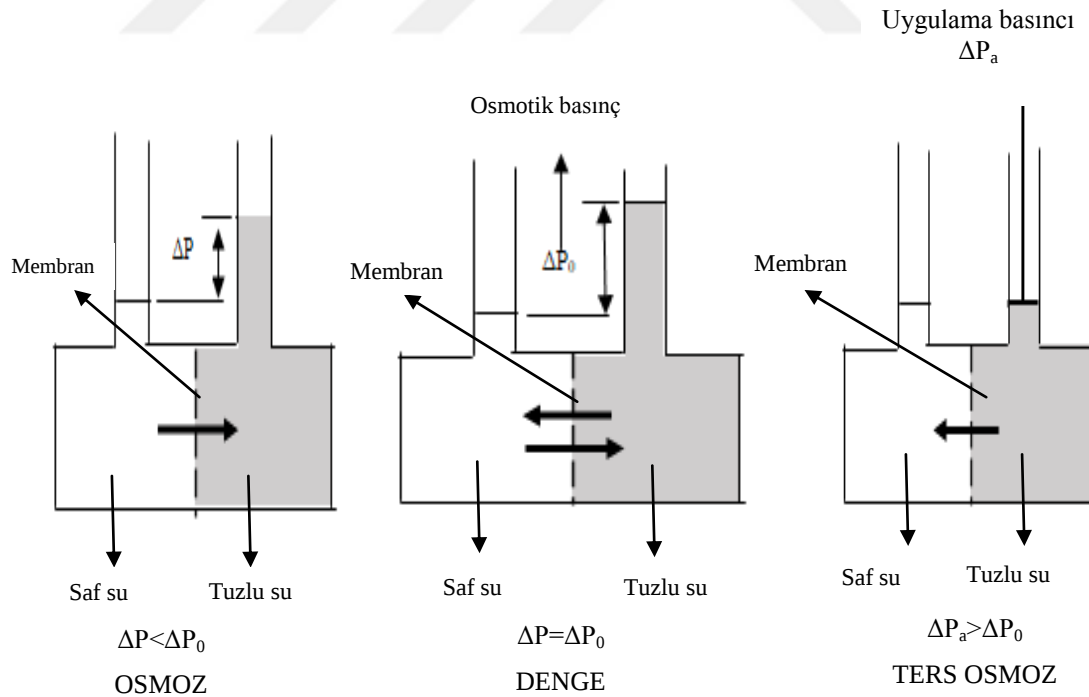
Şekil 2. 5 Nanofiltrasyon işlemi (Eriş 2017).

#### 2.2.1.4 Ters Osmoz (TO)

Osmoz, bir sıvının (örneğin su) bir etki olmadan bir zardan geçerken oluşturduğu işlemdir. Bu zar (membran) suyun geçmesine izin verirken tuz gibi moleküller daha zor geçer. Konsantrasyon dengelenmeye çalışılır. Konsantrasyon az olandan çok olana doğru bir geçiş gerçekleşir. Bu kendiliğinden olan bir işlemdir (Nur 2019).

Ters osmoz(TO) ise bu durumun tersidir. Yüksek basınç altında (30-100 bar) 0,0001-0,001µ arasındaki partikülleri tutabilmektedir (Kavuştu 2016).

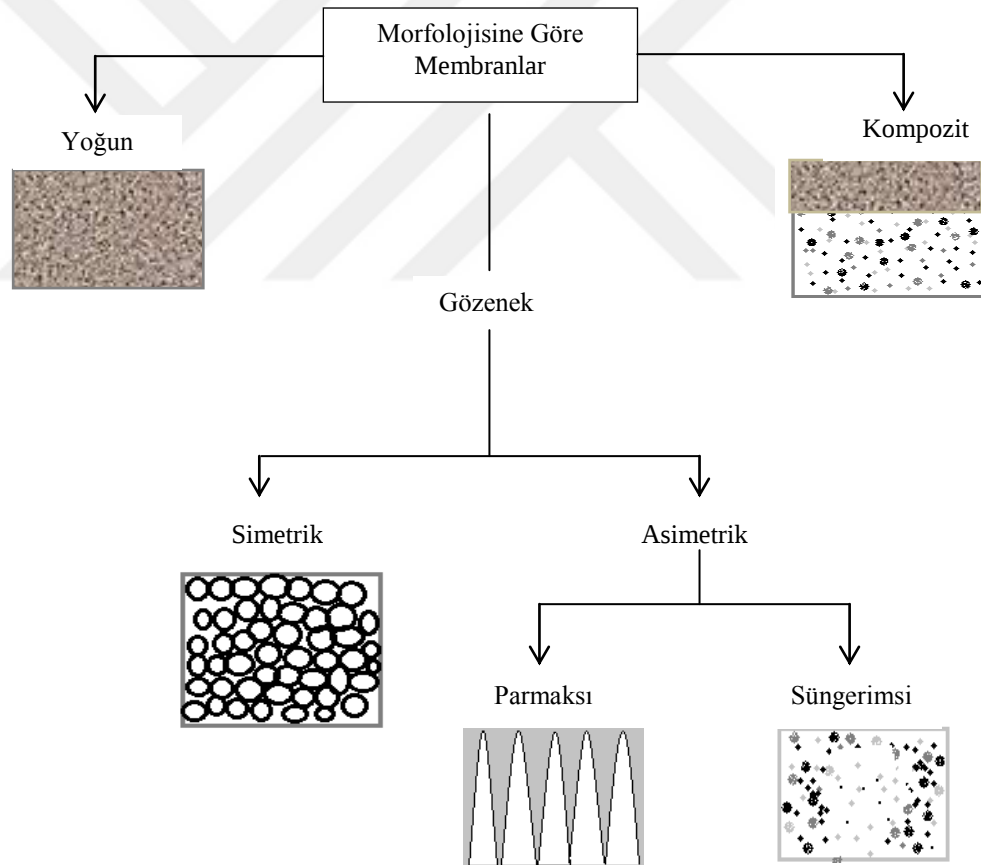
Ters osmoz prosesinde su membran yüzeyine paralel bir şekilde hareket eder. Basıncın farklı olduğu membranın her iki tarafında saf olmayan su içindeki maddelerden ayrılıp saf olarak membranın diğer tarafına geçer. Saf olmayan su membran boyunca hareket eder ve kalan suyun miktarı azalarak madde miktarı artar. Kalan su ile birlikte ayrılacak olan maddeler ters osmoz cihazından ayrılır. Ters osmoz işlemi şematik gösterimi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2. 6 Ters osmoz işleminin şematik gösterimi(Yaşa 2009).

## 2.2.2 Membranları yapısı ve morfolojisine göre sınıflandırma

Membranlar morfolojilerine göre yoğun-kompozit, simetrik-asimetrik olarak sınıflandırılabilirler (Güçlü 2018). Membran morfolojisi membran performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Simetrik membranlar kalınlıkları 10-200  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Asimetrik membranların da kalınlıkları yaklaşık olarak aynıdır ( 10-200  $\mu\text{m}$ ) fakat bu membranlar 50-150  $\mu\text{m}$  ye sahip gözenekli bir tabaka ve 0,5  $\mu\text{m}$  lik yoğun bir üst tabakaya sahiptirler. Asıl ayırma işlemi de bu kısımda gerçekleşmektedir. İnce film kompozit membranlarda toplam membran kalınlığının %1 i kadar olan ince bir tabakanın asimetrik membranların üzerine yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır (Sert 2015). Şekil 2.7’de morfolojisine göre membranların sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 2. 7 Membranların morfolojilerine göre sınıflandırılması(Güçlü 2018).

Asimetrik membranlar aynı maddenin gözenekli alt tabakası ile desteklenen çok ince seçici bir tabakadan oluşurken kompozit membranlarda ise iki tabaka farklı polimerik maddeden oluşmaktadır. Bu durumda her tabakanın kimyasal ve termal dayanıklılığı, geçirgenlik oranı, membran proses seçimi birbirinden ayrı olarak performansın artırılması sağlanabilmektedir dolayısıyla bu durum avantaj sağlamaktadır (Çeliktaş 2007). Kompozit membranlarda kullanılan uygun proses işlemleri gaz ayırımı, pervoparasyon, ters osmoz ve nanofiltasyondur (Sarıhan 2015).

### **2.2.3 Membranları malzemesine göre sınıflandırma**

Membranlar malzemelerine göre organik ve inorganik olarak sınıflandırılabilir.

Organik membranlar: Polimerlerin çoğunun kullanılabilmesine rağmen membran süre ve proses şartları nedeniyle bir kısmı kullanılır. Selüloz ve türevleri kullanılan malzemelerin başında gelir. Diğer organik membranlar ise; polisülfon, polieter, poliamid, polipropilen, politetrafloroetilen (PTFE) örnek verilebilecek organik membranların bazılarıdır (Özyaka 2011).

İnorganik membranlar: İnorganik membranlar gözenekli destek tabakası üzerine ince tozların preslenmesi ve kristallenmesiyle oluşur (Hasar 2001). Kimyasal ve termik olarak organik membranlara göre daha dayanıklıdır. Organiklere göre daha pahalı ve kırılgandırlar (Kavuştu 2016).

## 2.2.4 Membranları geometrik şekillerine göre sınıflandırma

Membranlar geometrik şekillerine göre plaka ve çerçeve membranlar, spiral sarımlı membranlar, tübüler membranlar ve boşluklu elyaf membranlar olarak sınıflandırılabilir. Plaka ve çerçeve membranlar iki plaka membranın destek tabakasıyla ayrıldığı membran türüdür. Bu membranlarda geri kazanımları yüksek uzun besi kanalları vardır (Andırıcı 2014). Spiral sarımlı membranların uygulandığı alanlar genellikle ters osmozdur. Bu membranlar iki membran tabakası arasına ayırıcı ile birlikte gözenekli bir takanın sarılmasıyla oluşur. Tübüler membranların iç çapı 3mm den büyük, boşluklu elyaf membranların ise 3 mmden küçüktür (Okuyan 2013).

## 2.3 Membran Performansını ve Seçimini Etkileyen Faktörler

Membran performansı akı ve giderim verimine göre belirlenmektedir.

### 2.3.1 Giderim verimi

Giderim verimi 0 ile 1 değerleri arasında değişmektedir. 0 membranın bütün çözeltiyi geçirdiğini 1 ise hiçbir madde geçirmediği anlamına gelmektedir. Başlangıçtaki çözünen madde konsantrasyonundan süzüntüdeki çözünen madde konsantrasyonun çıkarılıp başlangıçtaki çözünen madde konsantrasyonuna oranlanması yüzde giderim verimini ifade etmektedir. Eşitlik 1 de bu durum gösterilmektedir (Yaşar 2016).

$$R (\%)=1 - \frac{C_s}{C_k} \quad (2.1)$$

R: Giderim verimi

C<sub>s</sub>: Süzüntüdeki çözünen madde konsantrasyonu

C<sub>k</sub>: Konsantredeki çözünen madde konsantrasyonu

### 2.3.2 Akı

Birim zamanda membranın birim alanından geçen debi miktarıdır. Birimleri  $m^3/m^2.gün$  veya  $L/m^2$ . saat olarak ifade edilmektedir. Membrandan geçen sıvının miktarı, basınç farkı, membranların gözenek boyutları geçecek olan sıvının fizikokimyasal yapısı gibi birçok etkene bağlıdır. Darcy kanununa göre akı Eşitlik 2'deki gibi gösterilmektedir (Yaşar 2016).

$$J = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_t} = \frac{\Delta P}{\mu \cdot (R_m + R_k)} \quad (2.2)$$

J: Akı

$\Delta P$ : Basınç farkı

$\mu$ : Akışkanın viskozitesi

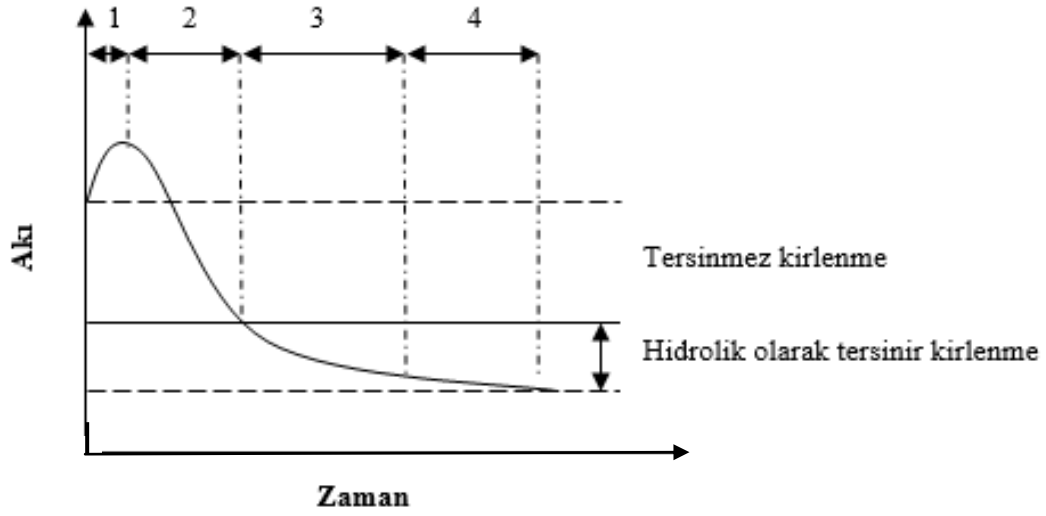
$R_t$ : Membran direnci

$(R_m + R_k)$ : Membran kirlenme direnci toplamı

A: Etkili membran alanı

$dV/dt$ : Süzüntü akış hızı

Membranda akı azalması; membran kirlenmesi nedeniyle zamana göre süzüntünün akı değerinin azalması olarak söylenebilir.



**Şekil 2. 8** Membranda akı azalması

1. aşamada membran yüzey modifikasyonu nedeniyle akı artışı görülür. 2. Aşamada konsantrasyon sınır tabakası oluşması nedeniyle akıda hızlı bir düşüş meydana gelir. 3. Aşamada ise membran yüzeyinde jel tabakası oluşur ve bu tabaka bir süre sonra ikinci bir membran gibi davranır. 4. Aşamada ise akı oldukça yavaş azalır ve filtrasyon işlemi karardır. Membran temizlenip tekrar kullanılsa bile tersinir olmayan akı azalmasından dolayı en baştaki kadar yüksek akı değeri elde edilemez (Aydiner 2006).

### 2.3.3 Basınç

Membran sistemlerinde basınç akının kontrolde tutulması için önemli bir faktördür. Basınç ile akı arasında iki farklı bağlantı vardır. Düşük basınçta akı ile basınç doğru orantılı olup kritik basınç olarak değerlendirilen yüksek basınçta ise akı etkilenmez (Gökçek 2016). Bazende basınç miktarının artması kekleşmeye neden olabileceğinden akı miktarında düşüş gözlemlenebilir (Yaşar 2016).

### **2.3.4 Sıcaklık**

Sıcaklık ozmotik basıncı ve akışı etkilemektedir. Sıcaklıktaki 1 ° C artış akı değerini yaklaşık olarak %3 artırmaktadır. Sıcaklık belli bir seviyede tutulmalıdır. Standarta uygun sıcaklık 21 ° C dir. 29-38 ° C arasındaki sıcaklıkta membran bozulması hızlandığından işletme açısından sorun olabilmektedir ( Durak 2015).

### **2.3.5 pH**

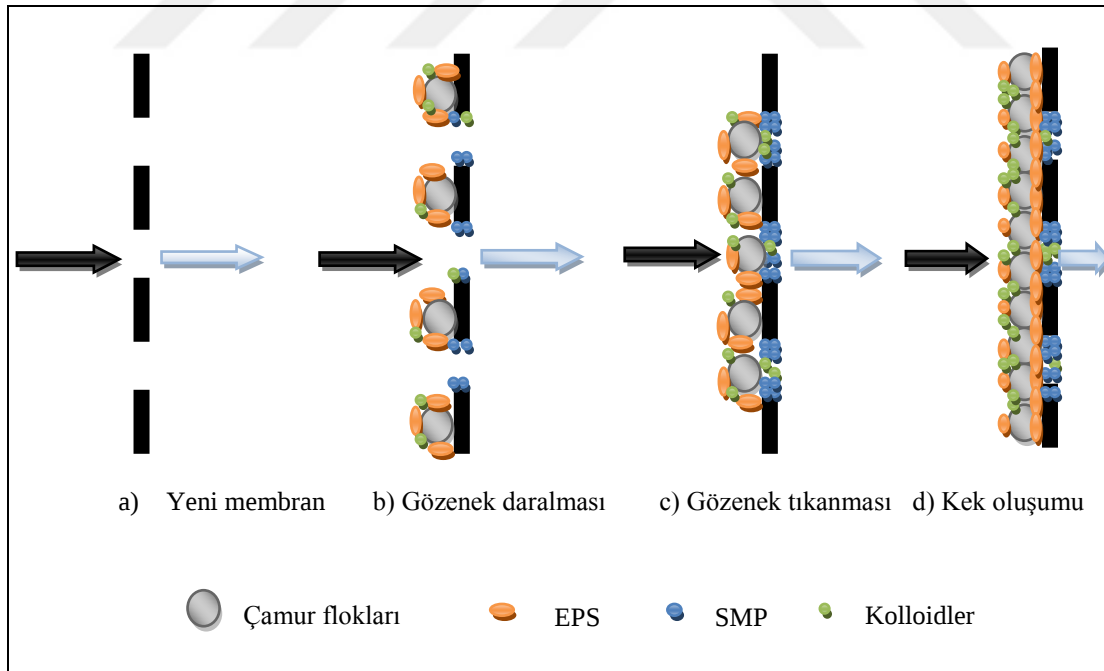
İnorganik membranların pH işletme aralığı organiklere göre daha fazladır. En uygun pH aralığı 4-5 arasındadır. Genel olarak organik membranlar için uygun olan pH aralığı 4,5-8 dir. İnorganik membranlar için 3-13 değer aralığındadır (İnt. Kyn. 2).

### **2.3.6 Membran Kirliliği**

Membranların kirlenmesi fiziksel, kimyasal ve biyolojik olabilir. Bu kirliliklerin membran yüzeyinde veya gözenek içinde birikmesi membran kirliliği olarak tanımlanır. Membran kirliliği geçirgenliliğin azalıp daha fazla basınca ihtiyaç duyulması nedeniyle membran performansını olumsuz yönde etkiler. Membranlar çözünmüş maddelerin diğer tarafa geçişini engellediğinden bu yapılar membran yüzeyinde birikmeye başlar. Maddelerin diğer tarafa geçişini azaltan derişimi yüksek olan maddelerin bulunduğu bir tabakanın oluşması durumu konsantrasyon polimerizasyonu olarak adlandırılmaktadır. Akışın azalması ve basınç gereksinimdeki artış kirlenme mekanizmaları olarak çeşitli şekillerde gösterilebilir. Bunlar gözenek daralması, gözenek tıkanması ve kek oluşumudur. Gözenek daralmasında partiküller gözenek içerisindeki yüzeyde birikir ve gözenek boyutunda küçülmeler oluşur. Gözenek tıkanmasında partiküller membranın gözenek kısmında birikir ve akış tamamen engellenir. Kek oluşumunda ise membranların yüzeyinde biriken partiküllerin üst üste birikerek bir tabaka oluşumu meydana gelir. Bu durum akış olayını etkileyeceğinden membran performansı olumsuz etkilenmektedir (Sarıhan 2015).

Membran yüzeyinde kirlilik olarak tanımladığımız bu tabakanın oluşumunun bağlı olduğu birçok faktör vardır. Örneğin; basınçta membran yüzeyinde ilerleyen kirlilikler basıncın yükseltilmesiyle daha yoğun, sıkı bir şekilde birikmesine neden olur. Membran gözenek büyüklüğü de membranın kullanım nedenlerine göre seçilmelidir. Gözenek büyüklüğünün gerektiğinden daha küçük olması membran kirliliğini artıracak bir etmendir. Kirliliğe neden olan maddelerin türlerine göre kirlenme ise koloidal kirlenme, organik kirlenme, inorganik kirlenme ve biyolojik kirlenme olarak söylenebilir (Sarıhan 2015).

Çözünmüş bileşikler ve kolloid maddelerden oluşan organik maddeler membrana adsorpsiyon ile bağlanır. Demir, silika gibi çözünmüş bileşiklerden meydana gelen inorganik maddeler ise pH ya da oksidasyondan dolayı membran yüzeyine çökelirler. Mikrobiyal organizmalar ise biyofilm tabakası oluştururlar. Bu durumlar membran tıkanmalarına neden olmaktadır (Tirol 2016). Membran tıkanma mekanizmaları ise Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2. 9 Membran biyoreaktörlerde membran kirlenmesi mekanizması (Öztürkmen 2018).

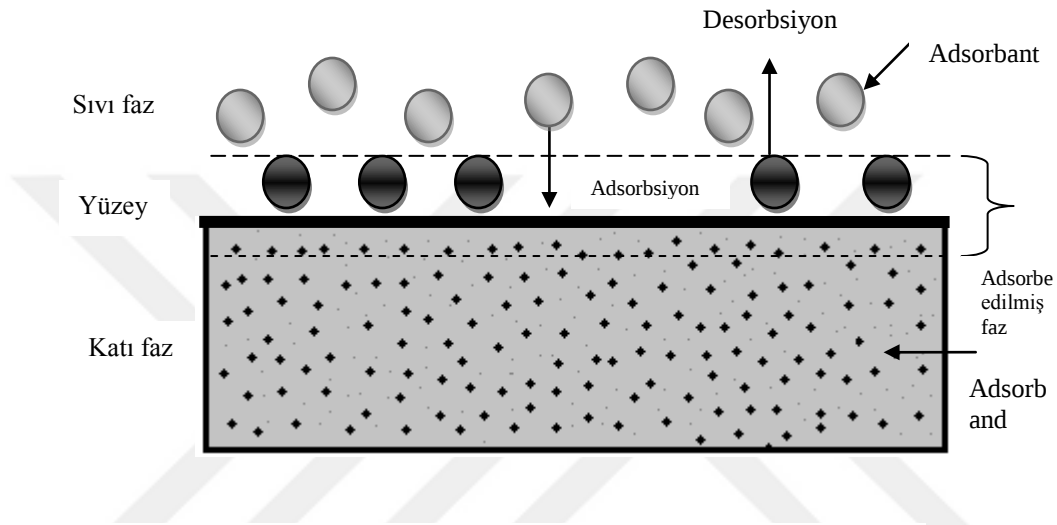
### 2.3.7 Membran Temizliği

Endüstride membran temizliği genellikle akının (maksimum akı kaybı %30-40) azalmasıyla gerçekleştirilir. Bu işlem belirli periyotlarla yapılmaktadır(Koyuncu 2010). Membranların temizlenmesinde fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Fiziksel temizleme yönteminde ters yıkama, düz yıkama, titreşim ve ses dalgası oluşturma işlemleri gerçekleştirilir. Süzüntü akımının kullanılarak yapılan ters yıkama işlemiyle fiziksel temizleme yöntemi gerçekleştirilebilir. Kimyasal temizleme işleminde ise maddeler kimyasallarla temizlenir. Seçilecek olan kimyasallar membran kirleticileri ve membranın özelliğine göre değişir. Dolayısıyla kirliliğin bileşiminin ne olduğu önemlidir. İnorganik kirliliklerin temizlenmesi için asidik ürünlerle yıkanması daha uygunken organik kirlilikler için ise bazik yıkayıcılar daha uygundur.

Mikroorganizmaların neden olduğu bir kirlilik söz konusu olduğuunda ise dezenfektanların kullanılması uygundur. Membranların kimyasal maddeler ile temizliğinin ne zaman yapılacağı sistem dizayn parametrelerinin mevcut çalışma değerleri ile karşılaştırılarak belirlenir. Akı değerindeki %15-20 lik azalma ve basınç farkındaki %10-15 lik artış olması durumunda membranlarda kimyasal temizleme zorunlu hale gelmektedir. Prosesin kirlenme durumuna bağlı olarak belli periyotlarla temizleme işlemi gerçekleştirilir (Hepşen 2010).

## 2.4 Adsorpsiyon Hakkında Genel Bilgiler

Katı maddelerin elektriksel veya kimyasal özelliklerine göre gaz veya sıvı fazında veya çözeltideki çözünmüş maddelerin atom, molekül veya iyonların yüzeyde tutulmasına adsorbsiyon denir. Tutunmuş taneciklerin yüzeyden ayrılmasına desorbsiyon, yüzeyde tutunan maddelerin katı içerisinde yayılmasına ise absorpsiyon denir (Aksoy 2012). Adsorbsiyon teorisindeki kavramlar Şekil 2. 9’da gösterilmiştir.

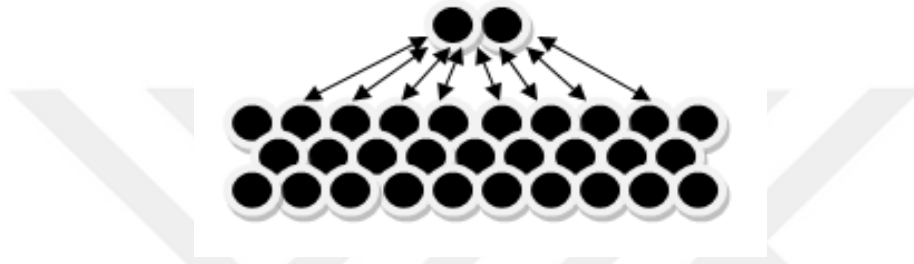


Şekil 2. 10 Adsorbsiyonun temel kavramları (Worch 2012).

Adsorbsiyon mekanizmasında çözelti içerisinde çözünmüş haldeki moleküller adsorban(yüzeyde tutan madde) tarafından tutulur. Çözelti içerisindeki büyük moleküller adsorban gözenekleri içerisindeki geniş yüzeylerde tutulup sadece az bir kısmı yüzey dışında adsorbe olur. Bir süre sonra çözelti içerisinde çözünmüş olan maddeler ile tutunmuş madde konsantrasyonları dengeye ulaşır (Sönmez 2014).

### 2.4.1 Fiziksel Adsorpsiyon

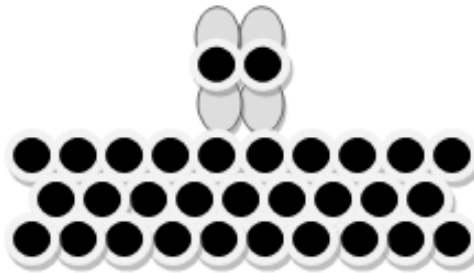
Fiziksel adsorpsiyonda absorblanan madde ile katı yüzey arasında Vander Waals çekim kuvvetinin etkin olarak oluşan adsorpsiyon durumudur (Torgut 2009). Düşük sıcaklıkta oluşabilen bir adsorpsiyondur (Topal 2011). Fiziksel adsorpsiyon çok tabakalı olabilmekte ve fiziksel adsorpsiyonun oluşması için ekstra olarak aktivasyon enerjisine gerek duyulmamaktadır. Şekil 2.10'da fiziksel adsorpsiyonun temsili gösterilmektedir (Kayacan 2007).



Şekil 2. 11 Moleküllerin katı yüzeyi üzerine fiziksel adsorpsiyonu.

### 2.4.2 Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyonda absorblanan madde ile katı yüzey arasında kimyasal bağ oluşumuyla oluşan adsorpsiyon durumudur. Yüksek sıcaklıkta oluşabilen bir adsorpsiyondur (Topal 2011). Sıcaklığın fazla yükselmesi durumunda fiziksel adsorpsiyon kimyasal adsorpsiyona dönüşebilmektedir. Kimyasal bağ dayanıklılığı adsorbantların her biri için farklı olup fiziksel adsorpsiyondaki bağlardan daha güçlüdür. Kimyasal adsorpsiyon tek tabakalı olarak gerçekleşmektedir. Şekil 2.11 de kimyasal adsorpsiyonun temsili gösterilmektedir (Kayacan 2007).



Şekil 2. 12 Moleküllerin katı yüzey üzerine kimyasal adsorpsiyonu.

### 2.4.3 İyonik Adsorpsiyon

İyonik adsorpsiyonda elektrostatik çekim kuvveti etkin olarak iyonların yüzeydeki yüklü bölgelere iyonik özelliklerine bağlı olarak tutunması durumudur (Topal 2011). Burada zıt elektrik yüklü adsorbant ile adsorban yüzeyinin birbirini çekmesi durumu söz konusudur ( Kayacan 2007).

Fiziksel, kimyasal, iyonik adsorpsiyon arasında tam bir ayrım yapılamaz üçü ard arda gerçekleşebildiği gibi aynı anda da gerçekleşebilir (Topal 2011).

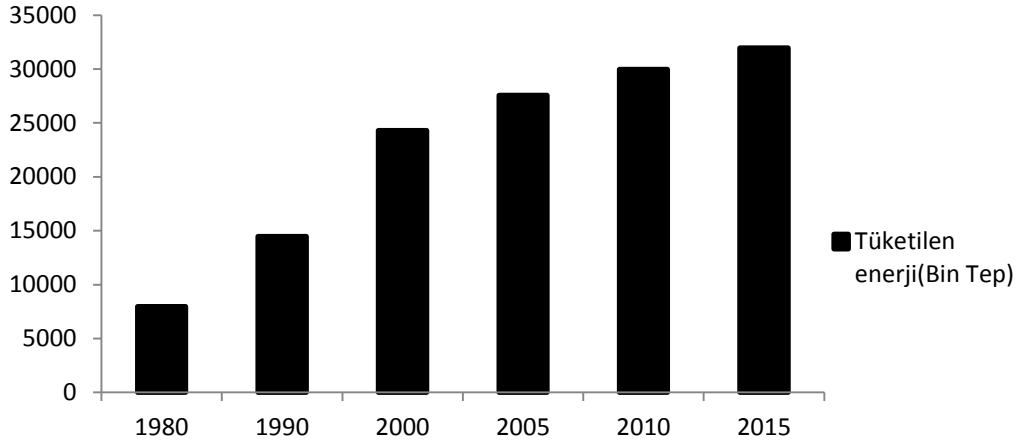
### 2.5 Membran Kullanımının Enerji Tasarrufu İle İlişkisi

Enerji kaynaklarının tükenebilir olması insanları alternatif kaynaklara, çözümlere yönlendirmekle üzerine politikalar gerçekleştirilen önemli bir konudur. Enerji tüketiminin azaltılması ve israfının en aza indirilmesi büyük bir gereksinim olup bu durumu iyileştirmek adına sürekli yeni çözümler aranmaktadır.

Ülkemiz tükettiği enerjinin neredeyse yarısını ithal etmektedir. Enerji tüketiminde dışa bağımlılığımız %70 seviyelerindedir. Ülkemizde enerji tasarrufu ile ilgili çalışmalar 1970 yıllarında çıkan petrol krizi sonrasında önem kazanmıştır. 1995 yılında ise “Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Arttırılması İçin Alacakları Önlemler” konusunda yönetmelik çıkarılmıştır. Sanayideki enerji tasarrufu daha az enerji kullanılarak aynı kapasite ve kalitede ürün elde etmek olarak tanımlanabilir. Günümüz rekabetçi koşulları ile enerji fiyatlarının artmasıyla işletmelerdeki enerji tasarruflarının yapılabilmesi ise teknolojinin geliştirilmesi, işletme şartlarının iyileştirilmesi, sürekli olarak kontrol edilmesiyle mümkün olabilir (Akbaş 2018).

Enerjinin en çok tüketildiği yerlerden biride sanayilerdir. Türkiye’ de 1980- 2015 yılları arası sanayideki enerji tüketimi Şekil 2.12’de gösterilmiştir.

## Tüketilen enerji(Bin Tep)



**Şekil 2. 13** 1980-2015 yılları arasında Türkiye'de sanayide tüketilen enerji (İnt. Kyn. 1).

Enerji tüketiminin azalması yönünde olan gereksinim membran teknolojisi için de dikkat çeken bir konu olmuştur. Membranların daha az enerji tüketip daha düşük maliyetle ayırma işlemlerinde kullanılması membranlara olan ilgiyi artırmaktadır.

Konuyla ilgili bir örnek verilecek olursa; kimyasal ayrışmalarda ABD enerji kullanımının yaklaşık yarısını ve ülkenin toplam enerji tüketiminin %10- 15 ini oluşturur. Bu yüzden ısı kullanılmayan alternatifler geliştirilmekte. Bu şekilde ayırmaların % 80 i için 10 kat daha fazla enerji verimliliği sağlanabilir (Sholl, Lively 2016) olduğu söylenmektedir.

## 2.6Ağır Metaller

### 2.6.1 Ağır metaller hakkında genel bilgi

Yoğunluğu 5 g/cm<sup>3</sup> ten büyük, atom ağırlığı 63,546 g - 200,590 g arasında değişen yüksek toksik etkiye sahip elementlerdir. Demir, kobalt, bakır gibi ağır metaller düşük konsantrasyonda insan için gerekli olsa da yüksek konsantrasyonda ciddi toksik etkilere neden olurlar. Kontrolsüz sanayileşme, kapalı göller ve su havzalarında yeterli önlem alınmadığı için su olan ortamlarda ağır metal konsantrasyonları sürekli olarak yükselmekte ve kirlilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde çevreye verilen toksik maddeler doğanın dengesini bozacak seviyededir (Güler, Can 2017). TSE 266(2005) ve WHO(2011)'e göre içme sularında bulunması gereken maksimum metal miktarları Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2. 2** İçme sularında bulunması gereken maksimum ve tavsiye edilen ağır metal değerleri(Göksel 2015).

| Ağır Metal   | Maksimum miktar<br>TSE 266(2005) | Tavsiye edilen miktar<br>WHO(2011) | Birim |
|--------------|----------------------------------|------------------------------------|-------|
| Arsenik(As)  | 10                               | 10                                 | µg/L  |
| Bakır(Cu)    | 2000                             | 2000                               | µg/L  |
| Baryum(Ba)   | Listelenen sınır yok             | 700                                | µg/L  |
| Bor(B)       | 1000                             | 2400                               | µg/L  |
| Civa(Hg)     | 1                                | 6                                  | µg/L  |
| Çinko(Zn)    | Listelenen sınır yok             | Listelenen sınır yok               | µg/L  |
| Demir(Fe)    | 200                              | Listelenen sınır yok               | µg/L  |
| Gümüş(Ag)    | Listelenen sınır yok             | Listelenen sınır yok               | µg/L  |
| Kadmiyum(Cd) | 5                                | 3                                  | µg/L  |
| Kobalt(Co)   | Listelenen sınır yok             | Listelenen sınır yok               | µg/L  |
| Krom(Cr)     | 50                               | 50                                 | µg/L  |
| Kurşun(Pb)   | 10                               | 10                                 | µg/L  |
| Mangan(Mn)   | 50                               | Listelenen sınır yok               | µg/L  |
| Molibden(Mo) | Listelenen sınır yok             | Listelenen sınır yok               | µg/L  |
| Nikel(Ni)    | 20                               | 70                                 | µg/L  |
| Selenyum(Se) | 10                               | 40                                 | µg/L  |

Ağır metaller yerkabuğunda doğal olarak bulunan bileşiklerdir. Bozulup yok edilemezler. Biyobirikim eğiliminde olmalarından dolayı tehlikelilerdir. Çevresel kirlenmeyle ilgili bir örnek verilecek olursa 1932 de Japonya’da civa içeren atık Minimata sahiline bırakıldı ve deniz ürünlerinde civa birikerek 1952 de civa ile kirlenmiş balıkların tüketilmesinin neden olduğu civa zehirlenmesi ortaya çıkmıştır. Bunun üzerine Japonya endüstride çok katı çevresel kanunlar çıkardı.

Suyu ağır metaller değil, insanlar kirletir. Örneğin madencilik gibi alanlarda ağır metallerin akarsulara karışması insanların vasıtasıyla olur. Ağır metaller çevre kirliliği açısından ciddi sorunlar yaratmaktadır. Metallerin az miktarlarda bulunmaları büyüme açısından gerekli olabilir fakat artan oranlarda bulunmaları toksik sonuçlar doğurur. Örnek verilecek olursa askeri gemilerin su altı kesimine sürülen zehirli boyadan sürekli sızan bakır dipteki tortulara karışıp zaman içinde bu miktarların çoğalması ise ciddi tehlike oluşturur( Çeliktaş 2007).

Ağır metaller insan vücuduna sindirim, solunum ve deri yolu ile girer. Bazıları canlılar için toksik ve kansorejenik etki gösterir. Antropojenik kaynaklardan olan tarım ilaçları, fosil yakıtlar, evsel ve endüstriyel atıklar, radyoaktif kalıntılar, maden işleme aktiviteleri ile metallerin çevreye yayılması sonucu kirlilik oluşabileceği gibi motorlu araç lastiklerinin aşınması ve ısınma amacıyla fosil yakıtların kullanılması da ağır metal kirliliğine sebep olmaktadır. Gıdaların, suların ve diğer maddelerin ağır metallerle kirliliği, toplumda büyük sağlık risklerini beraberinde getirmektedir. Günümüzde başta kanser olmak üzere gelişme geriliği, kısırlık, diğer hastalıklara duyarlılık gibi durumların ortaya çıkışında ağır metaller büyük rol oynamaktadırlar( Göksel 2015).

Endüstriyel atıklar veya asit yağmurları toprağı ve içerisindeki ağır metalleri çözer. Çözünmüş haldeki bu ağır metaller ırmak, göl ve yer altı sularına ulaşır. Sulara taşınmış olan bu ağır metaller fazlaca seyrelip karbonat, sülfat, sülfür olarak katı bileşik oluşturup suyun tabanına çöküp burada zenginleşirler. Bu tabakanın adsorbsiyon kapasitesi sınırlı olduğu için ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselir.

Ülkemizde tuz gölü başta olmak üzere yeterli çevresel önlem alınamadığından ve su havzalarındaki kontrolsüz sanayileşmeden dolayı ağır metal konsantrasyonu sürekli yükselmektedir(Çeliktaş 2007).

Ağır metallerin çevreye yayınımlarında insanın neden olduğu etkiler daha fazladır. Sürekli olarak ve kullanıma bağlı kirlenmenin haricinde kazaların sonucunda da ağır metallerin çevreye yayınımları da önemli ölçülere varabilir. Örneğin 1979'da Lengrich'te çimento tesisinden olan talyum kaçağı gibi(Çeliktaş 2007).

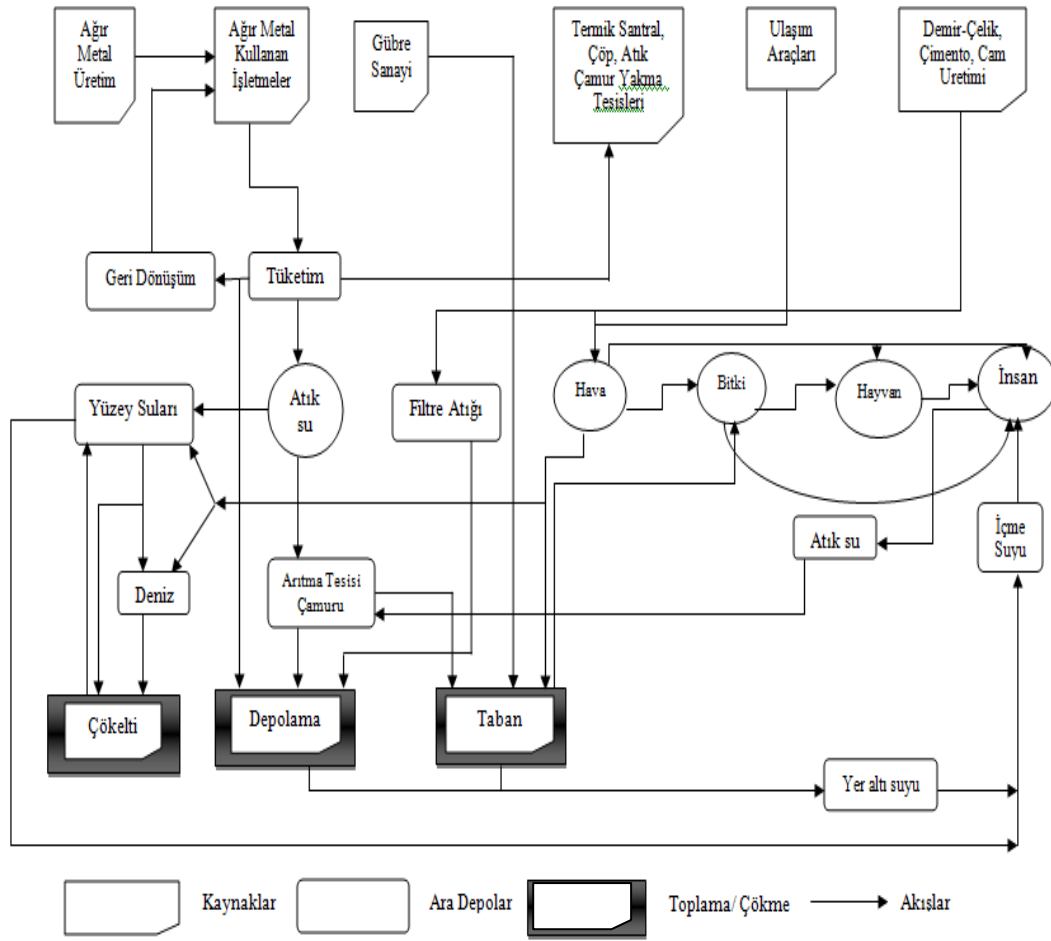
Ağır metallerin çevreye yayılması daha çok insanların neden olduğu etkilerden kaynaklanmaktadır. Çevreye yayılmasındaki en önemli endüstriyel faaliyetler ise çimento üretimi, çöp, atık çamur yakma tesisleri, termik santraller, demir-çelik sanayi ve cam üretimidir. Havaya atılan ağır metaller havaya daha sonra bitkiler ve besin zinciri yoluyla hayvanlar ve insanlara ulaşmaktadır. Ayrıca bu ağır metaller hayvanlar ve insanlar tarafından havadan aerosol veya toz halinde de solunmaktadır(Çeliktaş 2007). Temel endüstrilerden atılan metal türleri Çizelge 2.3'te gösterilmektedir.

**Çizelge 2. 3** Temel endüstrilerden atılan metal türleri(Çeliktaş 2007).

| Endüstri                          | Cd | Cr | Cu | Hg | Pb | Ni | Sn | Zn |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>Kağıt endüstrisi</b>           | -  | +  | +  | +  | +  | +  | -  | -  |
| <b>Petrokimya</b>                 | +  | +  | -  | +  | +  | -  | +  | +  |
| <b>Klor-alkali<br/>üretimi</b>    | +  | +  | -  | +  | +  | -  | +  | +  |
| <b>Gübre sanayi</b>               | +  | +  | +  | +  | +  | +  | -  | +  |
| <b>Demir-çelik<br/>sanayi</b>     | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| <b>Enerji<br/>üretimi(Termik)</b> | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |

Ağır metaller çeşitli sektörlerden farklı işlem kademeleriyle biyosfere yayılırlar. Atık sulardaki ağır metallerin çoğu arıtma çamurunda bulunmaktadır. Çözünmüş olan kısmı yüzey suları ve denize ulaşır.

Ağır metallerin çeşitli sektörlerden çevreye yayınımları şematik olarak Şekil 2.14'te gösterilmiştir (Çeliktaş 2007).



Şekil 2. 14 Ağır metallerin çevreye yayılımının şematik olarak gösterilmesi (Çeliktaş 2007).

Demir; B1 grubu geçiş elementi olan demir yer kabuğunun %5 ini oluşturur.  $Fe^{+2}$  kolay özünebiliyorken  $Fe^{+3}$  özünmez.  $Fe^{+2}$  den  $Fe^{+3}$  e geçişin oldua kolay olması nedeniyle giderimi güçtür. Demir, membrana zarar verdiğinden dolayı bazı membran proseslerinde istenmez. Demir metalleri suya kırmızımsı ya da kahverengimsi renk verirler. 1-3 mg/l arasında içme sularında bulunur. Vücutta bulunabileceği maksimum değer 3 mg/l dir.  $Fe^{+2}$  seyreltici kimyasal maddeler, demiri gidenen filtreler ve bazı filtrasyon sistemleri ile gidermek mümkündür. Ayrıca demiri enerji kaynağı olarak kullanan bazı bakteriler demiri indirgeyip bulunduğu yüzeyde birikerek biyofilm tabakası oluştururlar. Biyolojik kirliliğe neden olan bu durum ters osmoz besleme yolunu tı kayabilmekte ve bu proste membranı olumsuz etkilediğinden dolayı istenmemektedir (Ünal 2015).

Bakır; 1B grubu geçiş elementidir. İşlenmesi kolay bir madendir. İletkenliği oldua yüksektir. Bu yüzden özellikle elektrik sanayinde kullanımı yaygındır (Aksoy 2012). Bakır kimyasal özelliklerinden dolayı hava sever grupta yer alır. Havadaki bakır konsantrasyonu üretim yapan sanayi birimine uzaklığına göre değişmektedir. Endüstriyel kirlenmemiş bölgelerdeki deniz suyundaki bakır konsantrasyonu 0,15  $\mu\text{g/L}$ , tatlı sularda 1-20 $\mu\text{g/L}$  dir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından açıklanan içme sularındaki bulunması gereken sınır değeri 2 mg/L dir (Alkan 2008).

Krom 6B grubunda yer alıp atom numarası 24 tür. Toprak ve sedimentlerde 3 ve 6 değerlikli hallerde bulunurlar. 6 değerlikli hali 3 değerlikli halinden daha toksiktir. Krom inert ve kaynama noktası yüksek bir kimyasaldır. Kağıt endüstrisinde, kimya endüstrisinde, metal işlemelerde ve elektrik santrallerinde yaygın olarak kullanılır. Elektro kaplama, metal prosesler, tekstil gibi endüstrilerin atık suları ile krom kirliliği oluşabilir (Brad 2005).

Krom vücutta insülin hareketini sağlar. Vücuttaki eksikliğinde yalancı şeker hastalığı denilen durum ortaya çıkmaktadır.  $Cr^{+6}$  kanserojen etkiye sahiptir. Ayrıca sindirim sistemi, deri ve akciğer ile temas etmeleri durumunda korozyif ve tahris edici olurlar (Gökal 2014).

Arsenik; Birçok canlı için toksik etki oluşturan arsenik çevrede uzun süre bozunmadan kalabilir( Yılmaz ve Ekici 2004). Deri, boya ve cam sanayinde, tarım ürünlerini korumada ve böcek ilacı olarak kullanılmaktadır. Yer kabuğunda kükürtlü madenler içinde, demir oksitlerde ve sülfür bileşiklerinde konsantre bir halde bulunan arsenik jeolojik olaylar sırasında bu haliyle yer altı sularına karışarak canlılar için risk oluşturmalar (Kovancı 2008). Arseniğin çevreye yayılmasında sular önemli bir etkidir. Fosil yakıtların yanması sonucunda çevreye yayılmaktadırlar (Kahraman 2007).

Vücuda alınan arsenik ilk olarak kana karışmaktadır. Karaciğer, kas, böbrek, dalak ve deriye geçmektedir (Güler ve Çobanoğlu 1997). WHO' ya göre içme ve kullanma sularında bulunabilecek maksimum arsenik seviyesi 10 ppb kadardır. İçerisinde 50 ppb'den fazla arsenik bulunan sular ise kesinlikle kullanılmamalıdır (Kahraman 2007). Arseniğin 70-180 mg seviyelerinde alınması ise canlılar için öldürücüdür (Çağlarırnak ve Hepçimen 2010). Akut arsenik zehirlenmelerinde mide bulantısı, kusma, şiddetli karın ağrısı gözlenip sonrasında ise kalp ve dolaşım yetmezliği sonucu birkaç saat içinde ölüm gerçekleşebilir (Kahraman 2007).

Bor; Okyanuslarda, kömürde, tortul kayalarda ve bazı topraklarda bulunan bir elementtir. Cam, seramik, metalurji sanayi, nükleer uygulama, yakıt ve sağlık sektöründe kullanılmaktadırlar (Kot 2009). Bor sıcak sularda en çok bulunan kirleticilerden biridir (Şimşek 2005). Bor oranı yüksek olan kozmetik ürünlerinin kullanılması, bor miktarı yüksek olan sulardan elde edilen deniz ürünlerinin tüketilmesi, bitki ve meyvelerin üretilmesinde borlu olan gübrelerin kullanılması ya da toprakta yüksek oranda bor bulunup bu topraktan üretilen ürünlerin tüketilmesiyle vücuda alınmaktadırlar (Güler ve Çobanoğlu 1997). Yetişkinlerdeki öldürücü bor miktarı günlük 15-20 gramdır. Çocuklardaki öldürücü bor miktarı günlük 3-6 g oranındadır (Çağlarırnak ve Hepçimen 2010).

Biyolojik bir işlevi olmayan civa toksik maddeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır (Zhou *et al.* 1998). Civa ve bileşenleri boya ve kağıt sanayinde, termometre üretilmesinde, diş dolgusunda ve kozmetik alanlarında kullanılmaktadır (Akcan ve Dursun 2008). Civanın fazla alınması merkezi sinir sistemindeki işlevi bozup beyin gelişimini engeller. Ayrıca kadmiyum gibi böbreklerin yapısına zarar verip kontak egzama şekillenmesine neden olurlar (Zhou *et al.* 1998, Poyraz 2014).

Kadmiyum toksik bir ağır metaldir. Doğada çinko ile birlikte bulunmaktadır (Kahvecioğlu ve ark. 2004). Metal halindeki kadmiyumun, besinlerin konulduğu gereçlerin yapımında veya kaplanmasında kullanılması sakıncalıdır. Ayrıca buharı ve bazı tuzları zehirlidir. Kadmiyum çevreye maden ocakları, rafineriler, sanayi atıkları, fosfatlı gübreler, bazı haşere ilaçları, motor ve pnömatik yağlar ile yayılabilmektedir (Orbak 2009).

Kurşun yer kabuğu ve biyosferde doğal olarak bulunmaktadır. Kurşun toprak ve yüzeysel sularda genel olarak atmosfer vasıtasıyla birikmektedir. Genel olarak gümüş, bakır, çinko, antimon ve demir metalleriyle birlikte bulunmaktadır. Canlılarda bulunan kurşun yaşam için gerekli olduğundan değil çevrede, yiyecek ve içeceklerde bulunan kurşunun sonucudur. Çevreden genellikle su, solunum ve besin yoluyla geçen kurşun çeşitli yollarla vücuttan atılamayacak boyutlara ulaşır karaciğer, böbrek, kas gibi doku ve organlarda birikirler (Güler ve Çobanoğlu 1997).

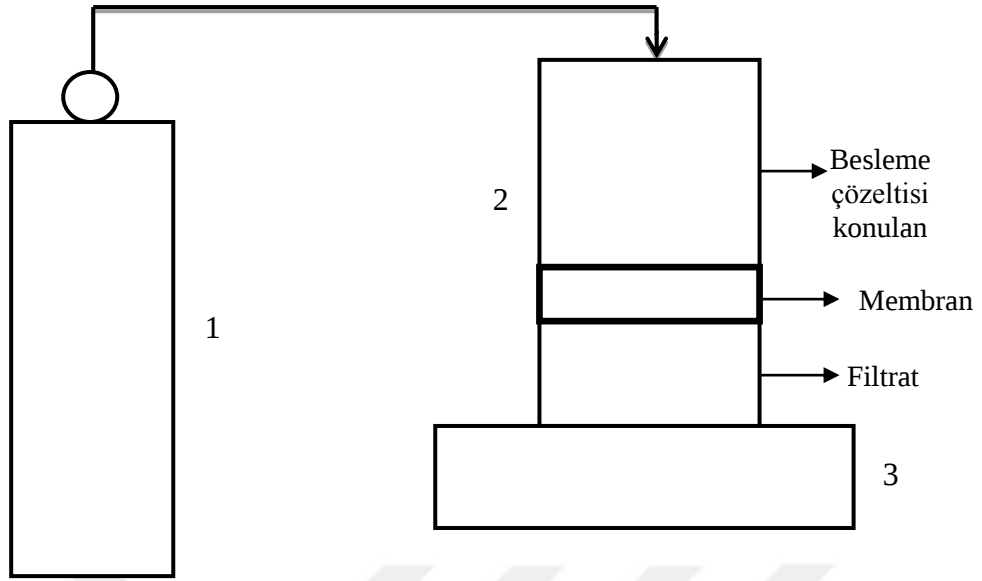
### **3. MATERYAL ve METOT**

#### **3.1 Mataryel**

##### **3.1.1 Deneylerde Kullanılan Alet ve Düzenekler**

- Filtrasyon cihazı (MiliporeAmicon 8400)
- Etüv( solab)
- pH metre (OHAUS)
- Isıtıcılı manyetik karıştırıcı ( ka)
- Otomatik pipet (Eppendorf)
- UV-Vis Spektrofotometre (UV-1700 Pharma, SHIMADZU)
- ICP-MS(Themoscscientific-ICAP RQ)

Filtrasyon işlemi şekil 3.1’de görüldüğü gibi filtrasyon h creti, manyetik karıştırıcı ve azot gazı tüpünden oluşmaktadır. Filtrasyon h creti içerisine membran yerleştirilir. İstenilen konsantrasyondaki metal çözeltisinin pH’ı ayarlanıp filtrasyon kabının besleme h creti denilen bölümüne 300 ml hacminde konulur. Filtrasyon h creti kapağı ile kapatılır ve üzerine koruyucu aparatı geçirilip manyetik karıştırıcının üzerine konularak belli karıştırma hızı altında filtrasyon işlemine hazır hale getirilir. Sürücü kuvvet olarak kullandığımız Azot gazı filtrasyon kabına bağlanır. İstenilen basın a ayarlandıktan sonra işlem başlatılır. Membrandan geçen s z nt  bir erlene toplanır ve geçen toplam süre akıyı hesaplamak için kaydedilir. Filtrat adını verdiğimiz ve erlene topladığımız s z nt den analizi yapılmak üzere numune alınır.

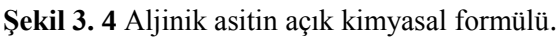
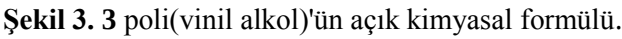
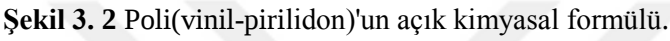


Şekil 3. 1 Filtrasyon işlemi akım şeması

- 1: Basınç ayarlamalı azot gazı tüpü  
2: Filtrasyon hücresi  
3: Manyetik karıştırıcı

### 3.1.2 Deneylerde Kullanılan Maddeler

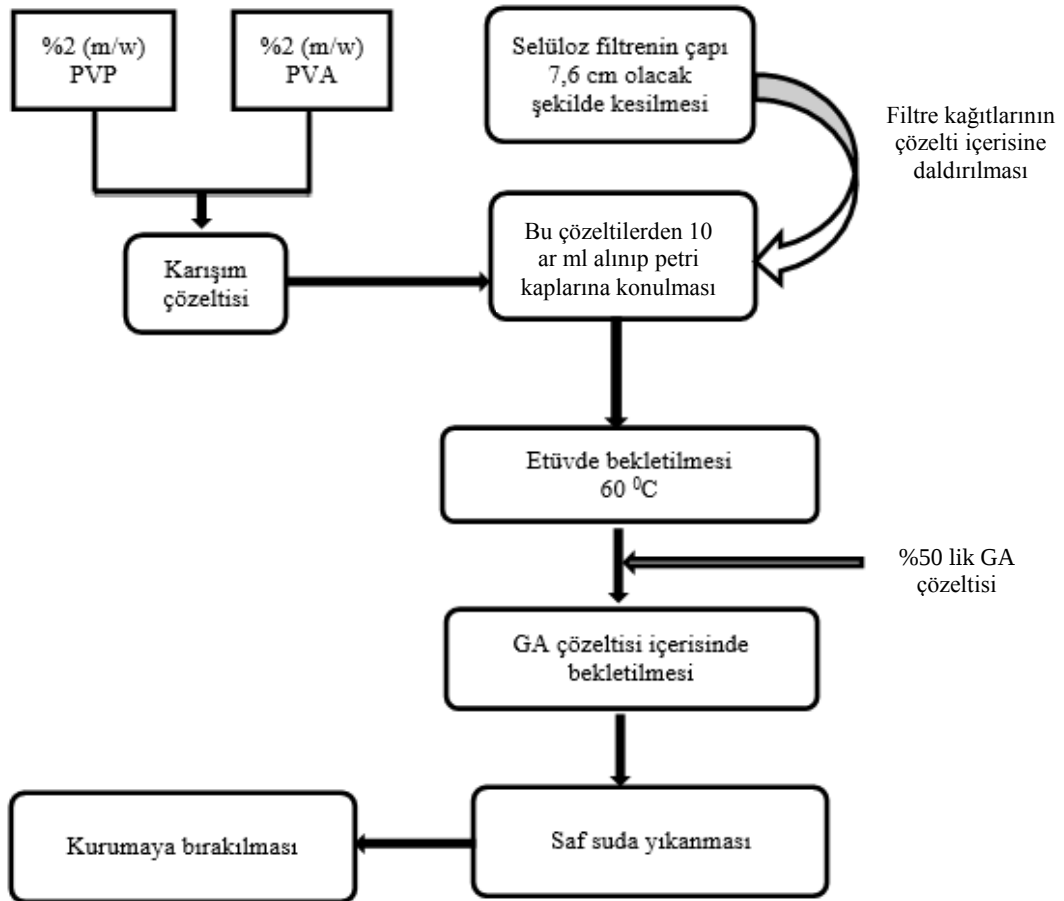
- Poli(vinil pirlidon (PVP) (Sigma-Aldrich)
- Poli(vinil alkol) (PVA) (Fluka)
- Demir(III) klorür hegzahidrat ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (Sigma-Aldrich)
- Bakır(II) klorür dihidrat ( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (Sigma-Aldrich)
- Aljinik asit(Sigma)
- Glutaraldehid (Sigma-Aldrich)
- KSCN (Riedel)
- HCl (Merck)
- $\text{NH}_3$  (Sigma-Aldrich)



## 3.2 Metot

### 3.2.1 Membranın Hazırlanması

Yapılan çalışmada ilk olarak selüloz kompozit membranlar üretilmiştir. Bunun için %2 (m/v) lik PVP ve %2 (m/v) lik PVA nın karıştırılmasıyla elde edilen çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilerden 10'ar mL alınarak 9 cm çapındaki petri kaplarına dökülmüştür. 7,6 cm çapındaki selüloz filtre kağıtları (Mn 616 MD) bu çözelti içerisine daldırılmıştır. Ardından 60 °C'ye ayarlı etüvde yaklaşık tam kuruluğa kadar bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan membranlar oda şartlarında % 50 lik gluteraldehid çözeltisinde üstleri streç filmle kapatılarak 2 saat boyunca çapraz bağlanması için bekletilmiştir. Saf su ile yıkanan membran örnekleri 30 dakika saf suda bekletilerek kurumaya bırakılmıştır. Şekil 3.5'de yapılan işlemler basamak şeklinde gösterilmiştir.

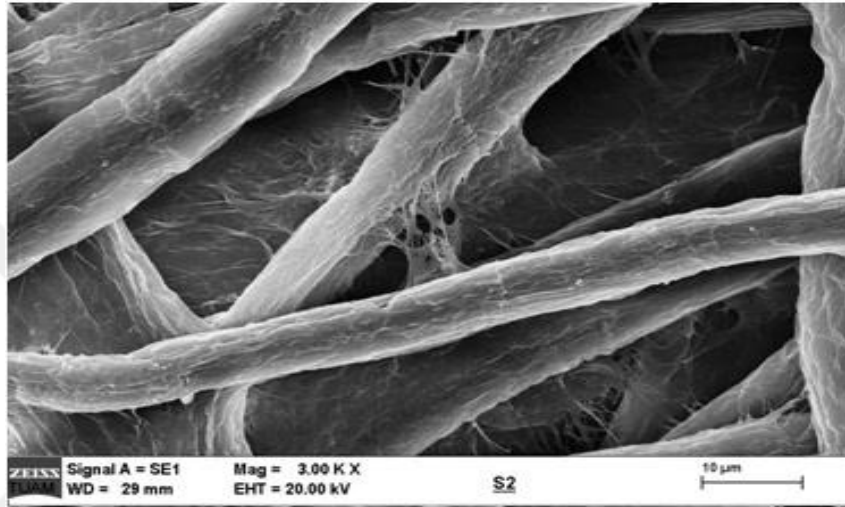


Şekil 3. 5 Membranların Hazırlanması.

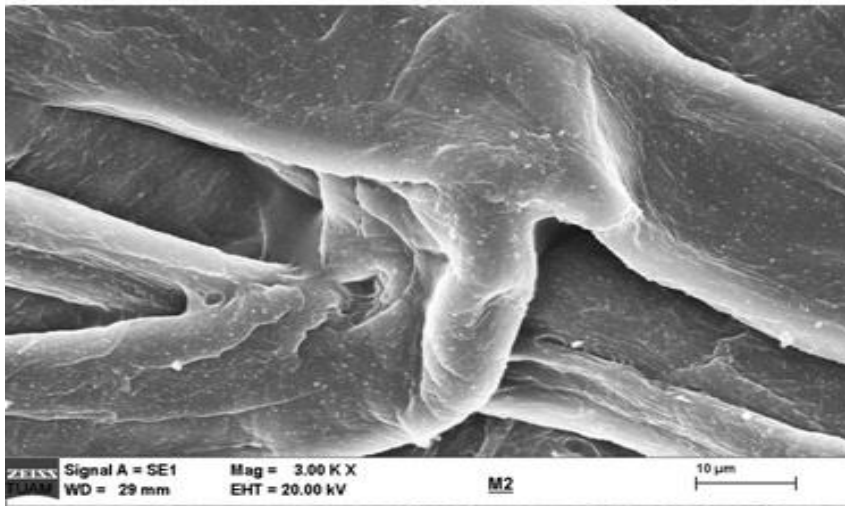
Membran içeriği Çizelge 3.1’de gösterilmekte.

**Çizelge 3. 1** Analizde kullanılan membranın içeriği

| Membran                  | Membran içeriği           |
|--------------------------|---------------------------|
| Selüloz kompozit membran | %2 (m/v) PVP-%2 (m/v) PVA |



**(a)**



**(b)**

**Şekil 3. 6** SEM görüntüsü (a) Selüloz (b) 2 (w/v) PVP- 2 (w/v) % PVA/selüloz kompozit membran. Büyütme: 3000\*(a ve b için)

### 3.2.2 Membranların Filtrasyon İşleminde Kullanılması

Bu çalışmada hazırlamış olduğumuz %2(m/w) PVP- %2(m/w) PVA/ selüloz kompozit membranlar filtrasyon kabına yerleştirilmiş 300 ml lik Fe(III), Fe(III)+AA, Cu(II), Cu(II)+AA çözeltileri istenilen pH'a ayarlanıp filtrasyon kabının besleme kısmına konulmuştur. Basınç ile membrandan geçiş sağlanarak çözeltinin tamamı membrandan geçtiğinde topladığımız filtratlardan örnekler alınmıştır. Çözeltilerdeki metal konsantrasyonları Fe(III) ve Fe(III)+AA çözeltileri için UV-Vis Spektrometresi ile Cu(II) ve Cu(II)+AA için ise ICP-MS ile bulunmuştur. İyonların tutulma yüzdesi ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\%R = \left(1 - \frac{C_f}{C_b}\right) \times 100 \quad (3.1)$$

$C_f$ : Filtrat çözeltisi derişimi

$C_b$ : Besleme çözeltisi derişimi

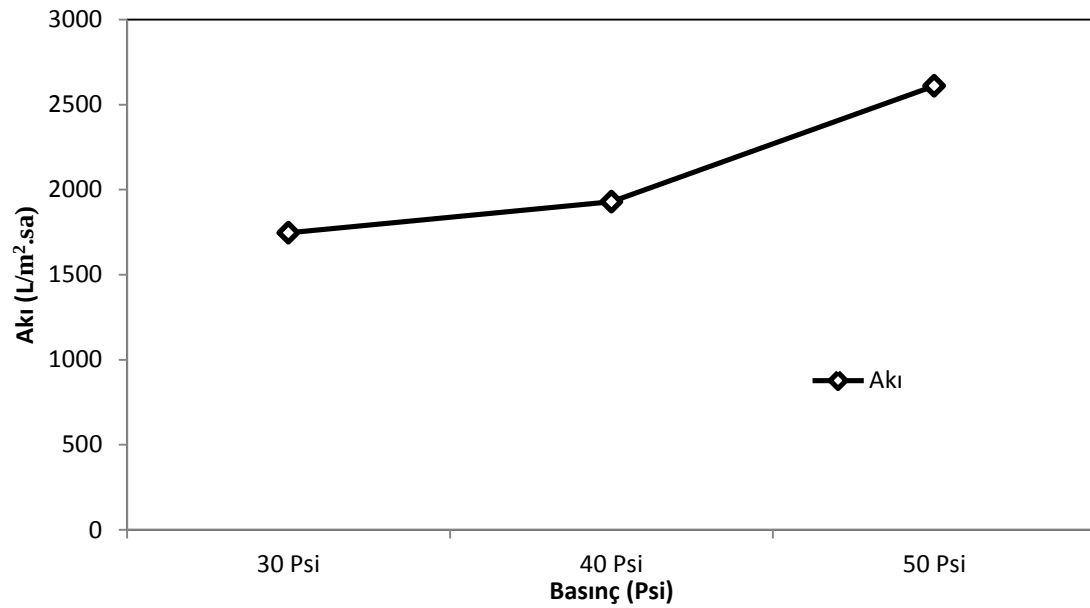
## 4. BULGULAR

### 4.1 Membranın Saf Su Geçirme Çalışmaları

Elde edilen içeriği %2(m/w) PVP-%2(m/w) PVA/selüloz kompozit membranına 30 Psi, 40 Psi ve 50 Psi basınç uygulanarak saf su geçirgenliklerine bakılmıştır. Bu durumda basınç arttıkça akı artmıştır. Membranların saf su geçişleri Çizelge 4.1 ile Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1 Membranın farklı basınçlarda saf su geçişi.

| Membran                          | 30 Psi | 40 Psi | 50 Psi |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| Membran akı değeri( $L/m^2.sa$ ) | 1746   | 1928   | 2610   |



Şekil 4. 1 Membranın farklı basınçlarda saf su geçişi.

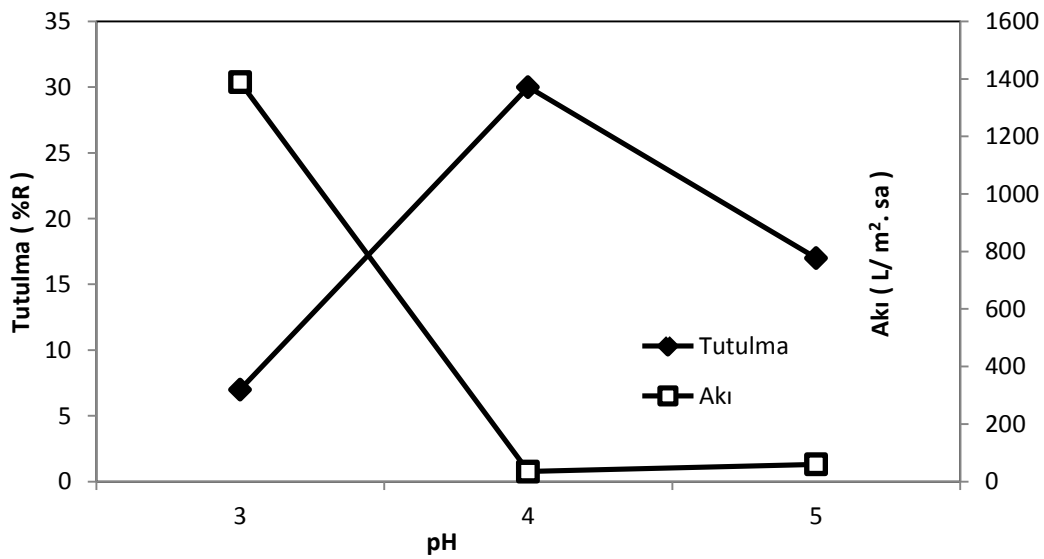
## 4.2 Fe(III)'ün Komplekssiz Ortamda Sulu Çözeltilerden Ayrılması

### 4.2.1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi

$0,5 \times 10^{-4}$  M Fe(III) çözeltisi ile önceden hazırlanmış membranla 40 Psi basınçta, 400 dev/dk karıştırma hızında farklı pH larda filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu pH ların tutulma yüzdesi ve akıya etkileri incelenmiştir. Tutulmanın düşük pH'da az olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin  $H^+$  iyonlarının pozitif yüklü Fe(III) iyonlarını itmesi olduğu düşünülmektedir. pH 5'te tutulmanın tekrar azalmasının nedeni Fe(III) deki hidroliz olduğu düşünülmektedir. Fe(III) filtrasyonu için pH'ın tutulma ve akıya etkileri Çizelge 4.2 ile Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 2** Fe(III)'ün komplekssiz ortamda filtrasyon işleminde tutulma ve akı üzerine pH'ın etkisi ( $C_{Fe(III)}$ :  $0,5 \times 10^{-4}$  M, P:40 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| pH | Tutulma (%R) | Akı ( $L / m^2 \cdot Sa$ ) |
|----|--------------|----------------------------|
| 3  | 7            | 1389                       |
| 4  | 30           | 35                         |
| 5  | 17           | 160                        |



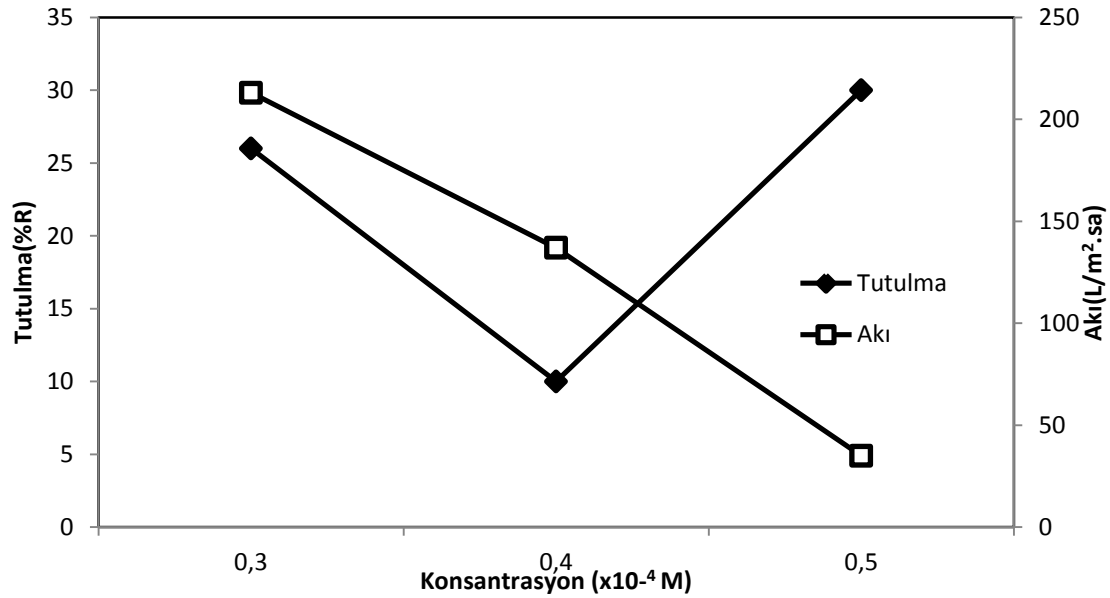
**Şekil 4. 2** Fe(III)'ün komplekssiz ortamda filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akı üzerine etkisi ( $C_{Fe(III)}$ :  $0,5 \times 10^{-4}$  M, P: 40 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

#### 4.2.2 Konsantrasyonun Tutulma ve Akıya Etkisi

pH 4'teki Fe(III) çözeltisi için önceden hazırladığımız membranlar kullanılmış ve 40 Psi basınçta, 400 dev/dk karıştırma hızında farklı konsantrasyonlardaki filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Maksimum tutulma  $0,5 \times 10^{-4}$  M Fe(III) çözeltisinde görülmüştür. Konsantrasyon artarken akı muhtemelen membran üzerindeki kek oluşumundan dolayı düşmüştür. Farklı konsantrasyon değerlerinin tutulma ve akıya etkisi Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 3** Fe(III)'ün kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi(pH: 4, P: 40 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| Konsantrasyon        | Tutulma (%R) | Akı ( $L/m^2 \cdot sa$ ) |
|----------------------|--------------|--------------------------|
| $0,3 \times 10^{-4}$ | 26           | 213                      |
| $0,4 \times 10^{-4}$ | 10           | 137                      |
| $0,5 \times 10^{-4}$ | 30           | 35                       |



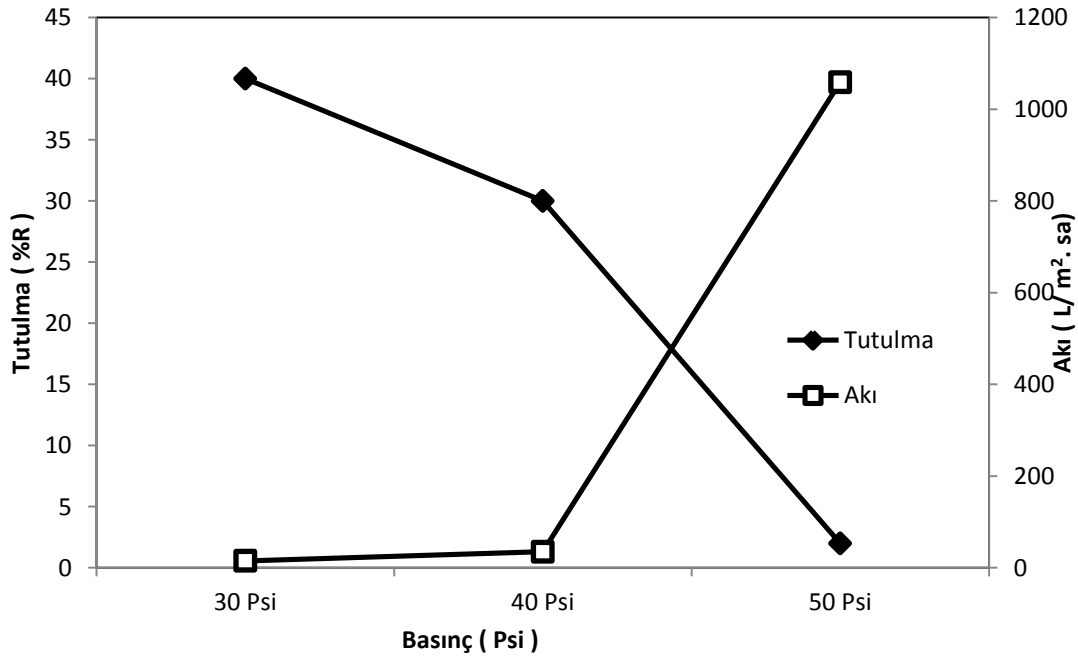
**Şekil 4. 3** Fe(III)'ün kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi (pH: 4, P: 40 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

#### 4.2.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

$0,5 \times 10^{-4}$  M, pH 4'deki Fe(III) çözeltisi önceden hazırlanmış olan selüz kompozit membranlar kullanılarak 400 dev/dk'lık karıştırma hızında farklı basınçlarda filtrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Basınç arttıkça tutulmanın azaldığı akının ise arttığı görülmüştür. 30 Psi basınçta en yüksek tutulma ve en düşük akının görüldüğünün nedeni kekleşme olduğu düşünülmektedir. Farklı basınçların tutulma ve akıya etkileri Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 4** Fe(III)'ün kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde basıncın tutulma ve akıya etkisi( $C_{Fe(III)}$ :  $0,5 \times 10^{-4}$  M, pH: 4, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| Basınç (Psi) | Tutulma (%R) | Akı (L/m <sup>2</sup> . sa) |
|--------------|--------------|-----------------------------|
| 30           | 40           | 15                          |
| 40           | 30           | 35                          |
| 50           | 2            | 1059                        |



**Şekil 4. 4** Fe(III)'ün kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde basıncın tutulma ve akıya etkisi( $C_{Fe(III)}$ :  $0,5 \times 10^{-4}$  M, pH: 4, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

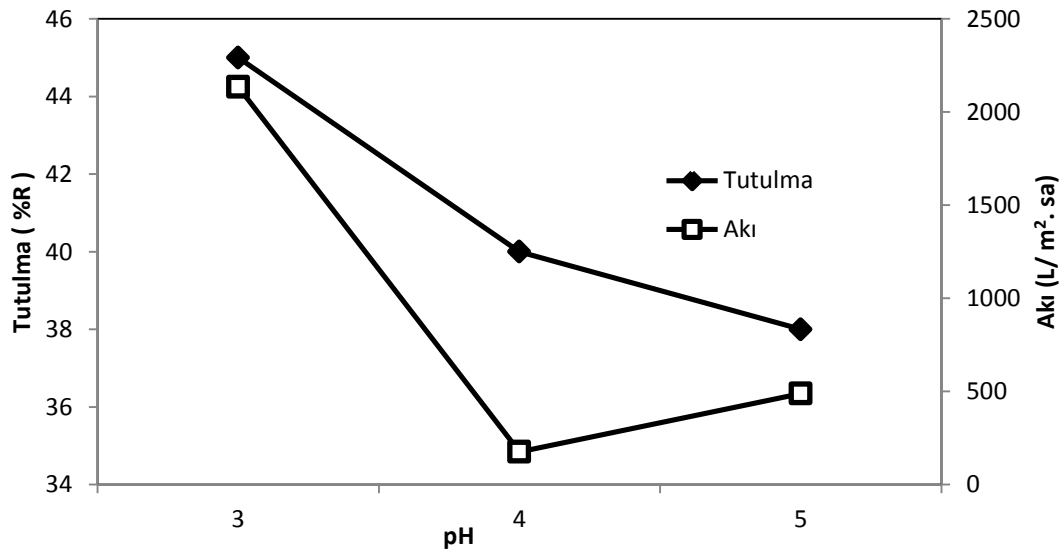
### 4.3 Fe(III)'ün Aljinik Asit (AA) Varlığında Sulu Çözeltilerden Ayrılması

#### 4. 3. 1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi

İçeriği  $0,5 \times 10^{-4}$  M Fe(III) ve  $0,5 \times 10^{-4}$  M AA olan çözelti 50 Psi basınç, 400 dev/ dk' lık karıştırma hızında önceden hazırlanan membranlar kullanılarak filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu işlemde pH yükseldikçe tutulmanın azaldığı görülmüştür. Bu durumun nedeni olarak pH 3'te Fe(III) ile AA arasında güçlü kompleks oluşumu olabileceği düşünülmüştür. Farklı pH ların tutulma ve akıya etkisi Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 5** Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akıya etkisi ( $C_{\text{Fe(III)}+\text{AA}}$ :  $0,5 \times 10^{-4}$  M, P: 50 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| pH | Tutulma (%R) | Akı ( $\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{sa}$ ) |
|----|--------------|-----------------------------------------------|
| 3  | 45           | 2136                                          |
| 4  | 40           | 176                                           |
| 5  | 38           | 489                                           |



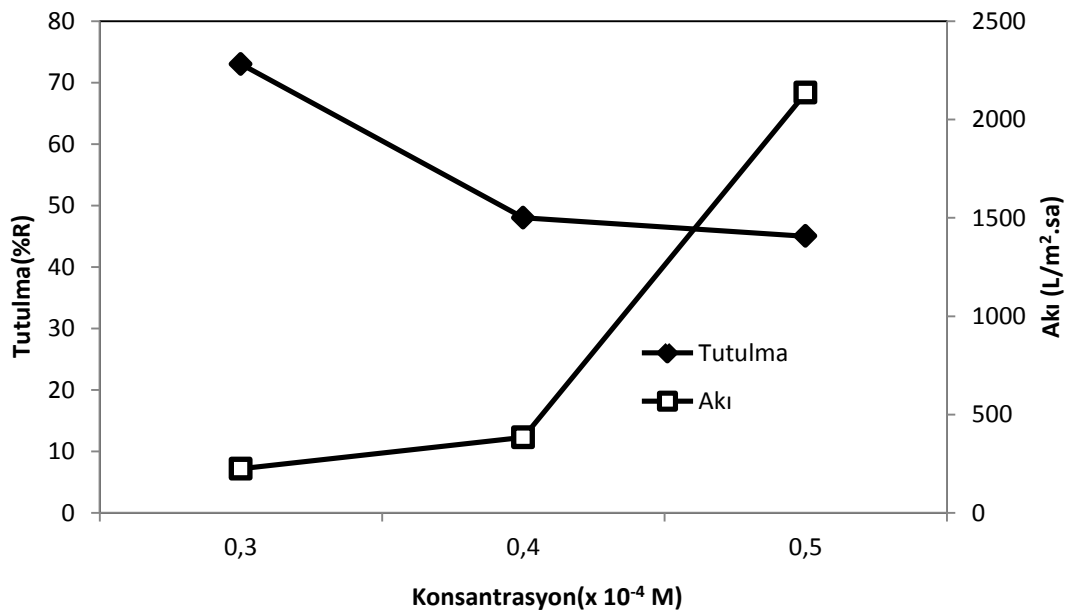
**Şekil 4. 5** Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akıya etkisi ( $C_{\text{Fe(III)}+\text{AA}}$ :  $0,5 \times 10^{-4}$  M, P: 50 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

#### 4. 3. 2 Konsantrasyonun Tutulma ve Akıya Etkisi

pH 3'te Fe(III) ün kompleksleştirici ajan AA varlığında 50 Psi basınçta önceden hazırlanmış olan membranlar kullanılarak 400 dev/ dk lık karıştırma hızında farklı konsantrasyonlarda filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. AA varlığındaki  $0,3 \times 10^{-4}$  M Fe(III) konsantrasyonu için en yüksek tutulma gözlenmiştir. Yüksek tutulmada bu kek oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü bu kek oluşumu akıda düşüşe yol açarken tutulmada artışa yol açmıştır. Farklı konsantrasyonların tutulma ve akıya etkisi Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 6** Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi(pH: 3, P:50 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| Konsantrasyon        | Tutulma (%R) | Akı (L/ m <sup>2</sup> . sa) |
|----------------------|--------------|------------------------------|
| $0,3 \times 10^{-4}$ | 73           | 224                          |
| $0,4 \times 10^{-4}$ | 48           | 384                          |
| $0,5 \times 10^{-4}$ | 45           | 2136                         |



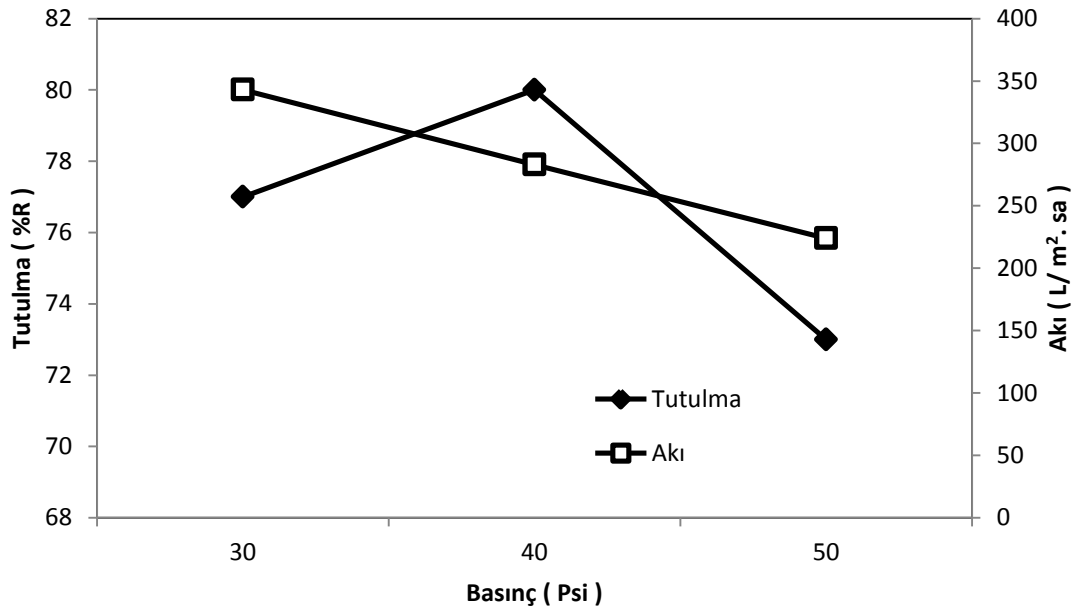
**Şekil 4. 6** Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi(pH: 3, P: 50 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

#### 4. 3. 3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

$0,3 \times 10^{-4}$  M Fe(III)'ün kompleksleştirici ajan AA varlığında pH 3'te önceden hazırlanan membranlar kullanılarak 400 dev/ dk'lık karıştırma hızında farklı basınçlarda filtrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Basınç arttıkça akı azalmıştır. Fe(III) için en yüksek tutulma 40 Psi basınçta olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin muhtemelen bu basınçta membran üzerinde oluşan kekleşme olacağı düşünülmektedir. Basıncın tutulma ve akıya etkisi Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 7** Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında basıncın tutulma ve akıya etkisi ( $C_{\text{Fe(III)}+\text{AA}}: 0,3 \times 10^{-4}$  M, pH: 3, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| Basınç (Psi) | Tutulma (%R) | Akı ( $\text{L/ m}^2 \cdot \text{sa}$ ) |
|--------------|--------------|-----------------------------------------|
| 30           | 77           | 343                                     |
| 40           | 80           | 283                                     |
| 50           | 73           | 224                                     |



**Şekil 4. 7** Fe(III)'ün Aljinik asit varlığında tutulma ve akıya etkisi ( $C_{\text{Fe(III)}+\text{AA}}: 0,3 \times 10^{-4}$  M, pH: 3, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

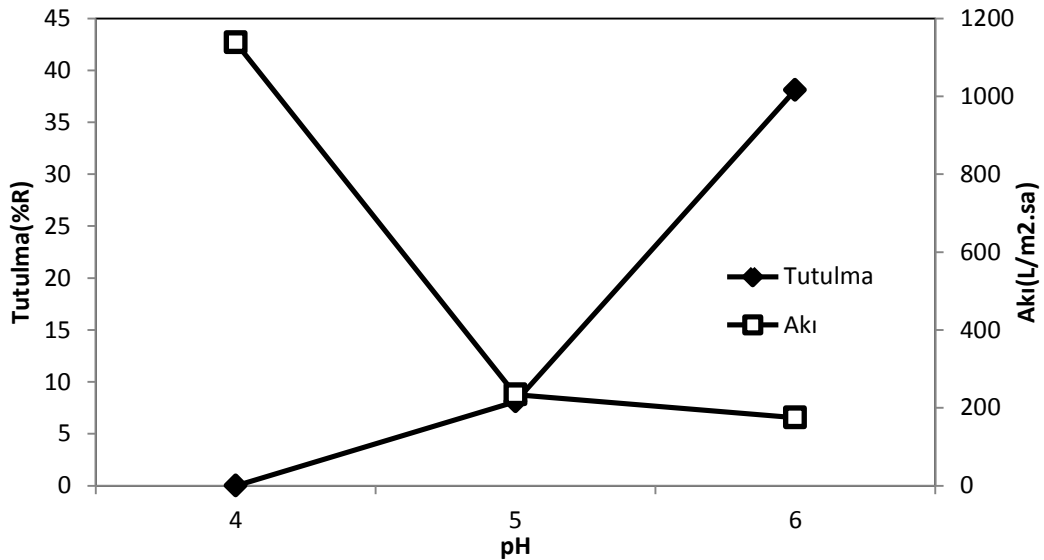
#### 4.4 Cu(II)'nin Komplekssiz Ortamda Sulu Çözeltilerden Ayrılması

##### 4.4.1 pH'ın Tutunma Ve Akıya Etkisi

$0,3 \times 10^{-4}$  M Cu(II) çözeltisi önceden hazırlanmış olan membranlar kullanılarak 50 Psi basınçta, 400 dev/dk da farklı pH'larda filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Düşük olan pH'ta tutulmanın neredeyse hiç olmadığı görülmüştür. pH arttıkça tutulma artmış akı ise azalmıştır. Düşük pH'ta tutulmanın gözlenmesi ortadaki  $H^+$  iyonlarının Cu(II) iyonlarını itmesi ile membrana tutulma engellenmiştir. Cu(II) için bu pH'ların tutulma yüzdesi ve akıya etkileri Çizelge 4.8 ve Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4. 8** Cu(II)'nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde tutulma ve akı üzerine pH'ın etkisi( $C_{Cu(II)}$ :  $0,3 \times 10^{-4}$  M, P: 40 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| pH | Tutulma (%R) | Akı ( L/ m <sup>2</sup> . sa) |
|----|--------------|-------------------------------|
| 4  | 0            | 1138                          |
| 5  | 8,1          | 234                           |
| 6  | 38,1         | 175                           |



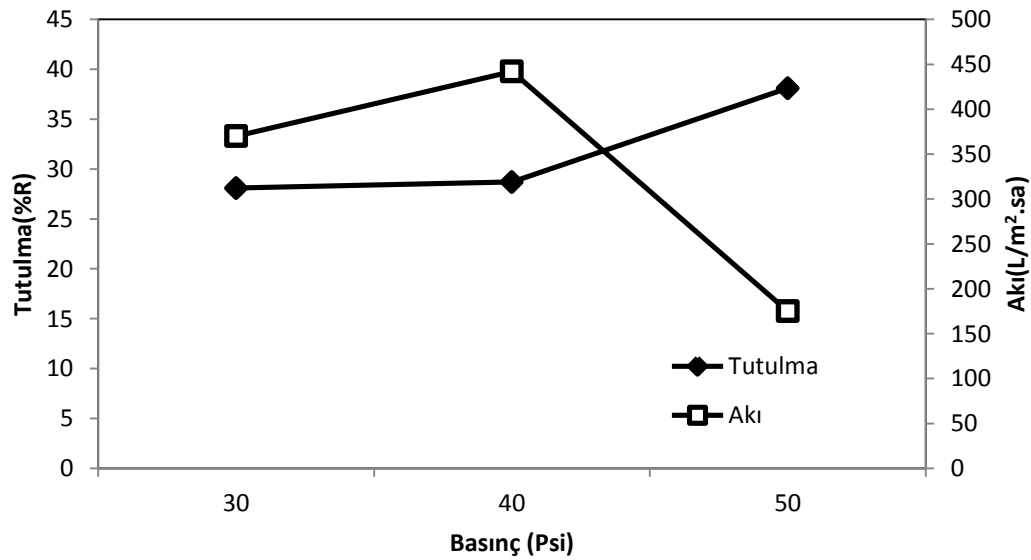
**Şekil 4. 8** Cu(II)'nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akı üzerine etkisi( $C_{Cu(II)}$ :  $0,3 \times 10^{-4}$  M, P: 50 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

#### 4.4.2 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

$0,3 \times 10^{-4}$  M Cu(II) çözeltisinin 400 dev/dk karıştırma hızında farklı basınçlarda filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Basınç attıkça tutulmanın da arttığı görülmüştür. En yüksek basınçta akının en düşük olmasının nedeni kek oluşumu olabileceği düşünülmüştür. 50 Psi’de oluşan bu kekleşme akının azalmasını yanı sıra tutulmanında artmasına yol açmıştır. Farklı basınçların tutulma ve akıya etkisi Çizelge 4.9 ve Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 9** Cu(II)’nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde basıncın tutulma ve akıya etkisi( $C_{Cu(II)}$ : $0,3 \times 10^{-4}$  M, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| Basınç | Tutulma( %R) | Akı( L/ m <sup>2</sup> . sa) |
|--------|--------------|------------------------------|
| 30     | 28,1         | 370                          |
| 40     | 28,7         | 442                          |
| 50     | 38,1         | 175                          |



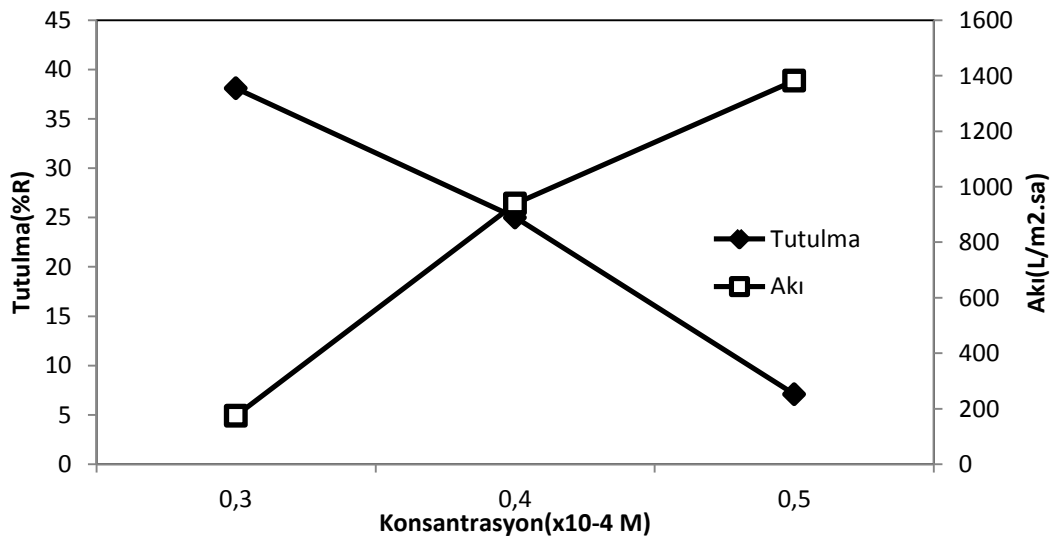
**Şekil 4. 9** Cu(II)’nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde basıncın tutulma ve akı üzerine etkisi( $C_{Cu(II)}$ :  $0,3 \times 10^{-4}$  M, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

#### 4.4.3 Konsantrasyonun Tutulma ve Akıya Etkisi

pH'ı 6 olarak ayarlanmış olan Cu(II) çözeltisi önceden hazırlanmış olan membranlar kullanılarak 50 Psi basınç, 400 dev/ dk da farklı konsantrasyonlarda filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Konsantrasyon arttıkça tutulma azalmıştır. En düşük akının gözlemlendiği  $0,3 \times 10^{-4}$  M konsantrasyonda en yüksek tutulma gözlenmiştir. Farklı konsantrasyonların tutulma ve akı üzerine etkisi Çizelge 4.10 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 10** Cu(II)'nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi (P: 50 Psi, pH: 6, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| Konsantrasyon          | Tutulma( %R) | Akı( L/ m <sup>2</sup> . sa) |
|------------------------|--------------|------------------------------|
| $0,3 \times 10^{-4}$ M | 38,1         | 175                          |
| $0,4 \times 10^{-4}$ M | 25           | 939                          |
| $0,5 \times 10^{-4}$ M | 7,1          | 1382                         |



**Şekil 4. 10** Cu(II)'nin kompleksiz ortamda filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi(P: 50 Psi, pH: 6, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

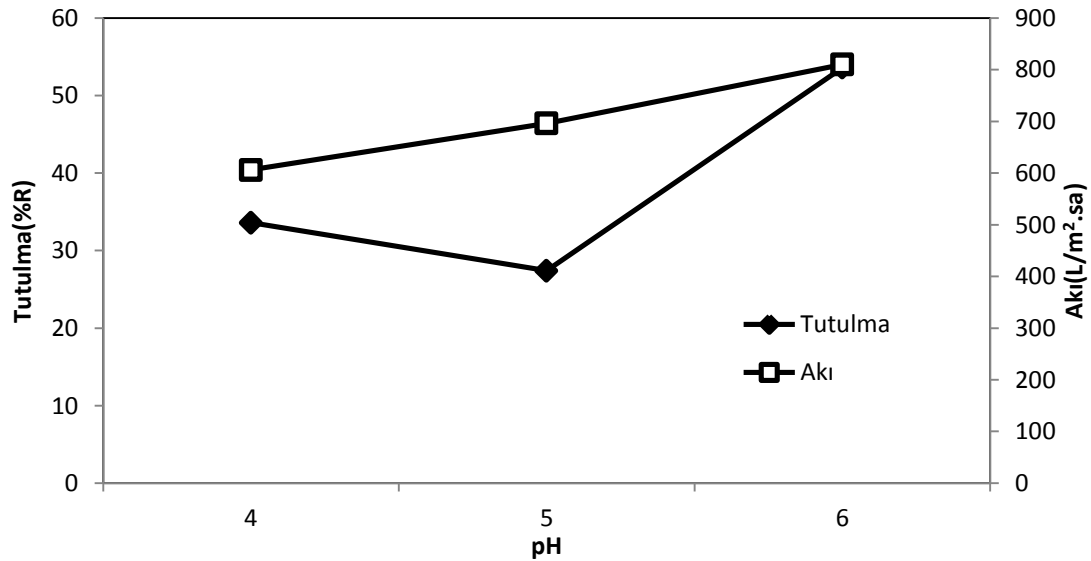
## 4.5 Cu(II) Çözeltisinin Aljinik Asit (AA) Varlığında Sulu Çözeltilerden Ayrılması

### 4.5.1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi

$0,3 \times 10^{-4}$  M, içeriği Cu(II) ve Aljinik asit olan çözelti 50 Psi basınçta ve 400 dev/ dk lık karıştırma hızında farklı pH larda filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. AA varlığında en fazla tutulmanın yüksek pH değerinde olduğu görülmüştür. Bu durumun nedeni yüksek pH değerinde güçlü kompleks oluşması olduğu düşünülmüştür. Düşük pH'taki tutulmadaki azalmalarında ortamdaki fazladan  $H^+$  iyonlarının Cu(II) ile Aljinik asit arasındaki muhtemel kompleks oluşumunu engellemesi kaynaklıdır. Cu(II)-AA çözeltisi için farklı pH ların tutulma ve akı üzerine etkileri Çizelge 4.11 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 11** Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akıya etkisi( $C_{Cu(II)+AA}$ :  $0,3 \times 10^{-4}$  M, P: 50 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| pH | Tutulma ( %R) | Akı( L/ m <sup>2</sup> . sa) |
|----|---------------|------------------------------|
| 4  | 33,6          | 606                          |
| 5  | 27,4          | 696                          |
| 6  | 53,6          | 810                          |



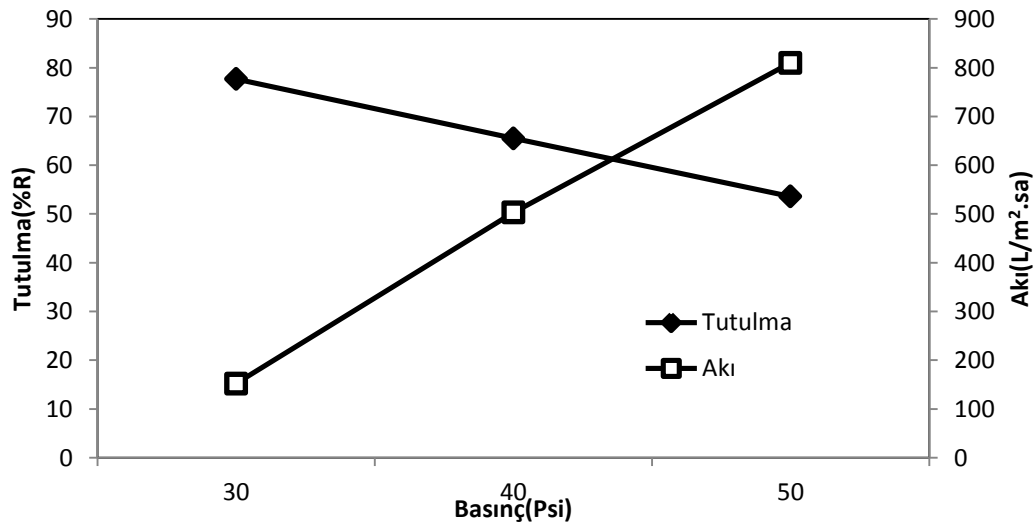
**Şekil 4. 11** Cu(II) nin Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde pH'ın tutulma ve akıya etkisi( $C_{Cu(II)+AA}$ :  $0,3 \times 10^{-4}$  M, P: 50 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

#### 4.5.2 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

$0,3 \times 10^{-4}$  M Cu(II)'nin kompleksleştirici ajan AA varlığında pH 6'da önceden hazırlanmış olan membranlar kullanılarak 400 dev/dk karıştırma hızında farklı basınçlarda filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Basınç arttıkça akı değerinin azaldığı görülmüştür. En iyi tutulma en düşük akının gözlemlendiği 30 Psi'de gözlenmiştir. Farklı basınçların tutulma ve akıya etkisi Çizelge 4.12 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 12** Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında basıncın tutulma ve akıya etkisi(  $C_{Cu(II)+AA}$ :  $0,3 \times 10^{-4}$  M, pH: 6, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| Basınç ( Psi) | Tutulma ( %R) | Akı ( L/ m <sup>2</sup> . sa) |
|---------------|---------------|-------------------------------|
| 30            | 77,7          | 152                           |
| 40            | 65,5          | 503                           |
| 50            | 53,6          | 810                           |



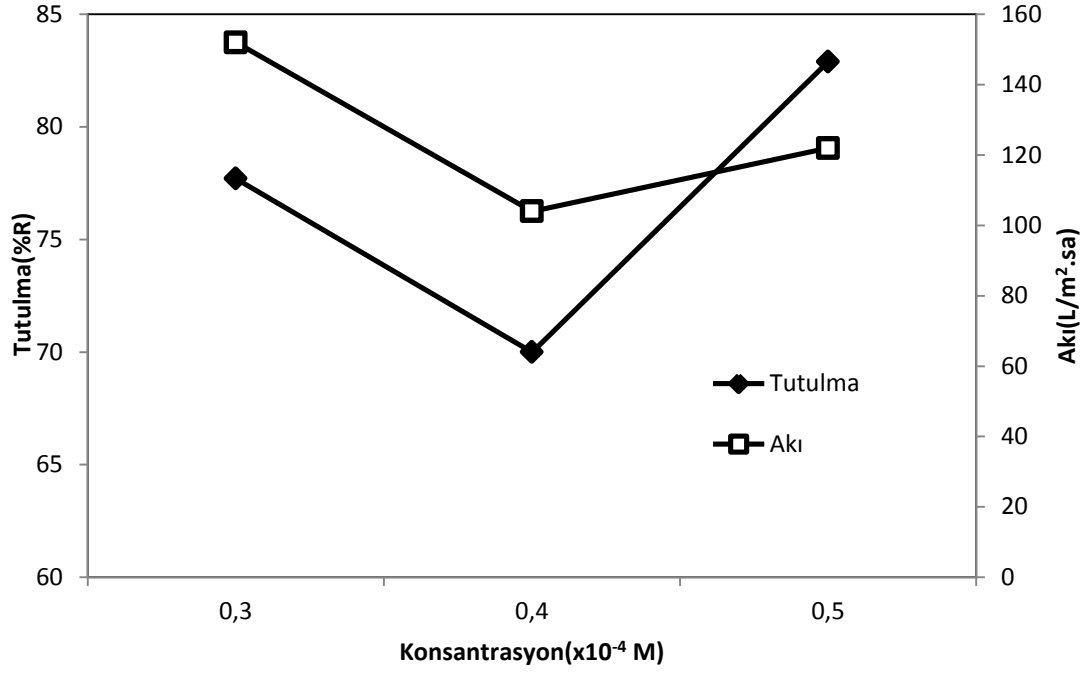
**Şekil 4. 12** Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında basıncın tutulma ve akıya etkisi( $C_{Cu(II)+AA}$ :  $0,3 \times 10^{-4}$  M, pH:6, Karıştırma hızı:400 dev/dk).

#### 4.5.3 Konsantrasyonun Tutulma ve Akıya Etkisi

pH 6'da Cu(II)'nin kompleksleştirici ajan AA varlığında 30 Psi basınçta önceden hazırlanan membranlar kullanılarak 400 dev/dk lık karıştırma hızında farklı konsantrasyonlarda filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. En yüksek tutulmanın en yüksek konsantrasyonda olduğu görülmüştür. Bu beklenen bir durumdur. Akının ise konsantrasyon artışı ile önce azalıp sonra biraz arttığı görülmüştür. Farklı konsantrasyonların tutulma ve akı üzerine etkisi Çizelge 4.13 ve Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 13** Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi(pH: 6. P: 30 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

| Konsantrasyon          | Tutulma ( %R) | Akı ( L/ m <sup>2</sup> . sa) |
|------------------------|---------------|-------------------------------|
| 0,3×10 <sup>-4</sup> M | 77,7          | 152                           |
| 0,4×10 <sup>-4</sup> M | 70            | 104                           |
| 0,5×10 <sup>-4</sup> M | 82,9          | 122                           |



**Şekil 4. 13** Cu(II)'nin Aljinik asit varlığında filtrasyon işleminde konsantrasyonun tutulma ve akıya etkisi(pH: 6, P: 30 Psi, Karıştırma hızı: 400 dev/dk).

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan birinci aşamada; ilk olarak yeni selüloz kompozit membranlar oluşturulup karakterize edildi. Membranlara basınç uygulanarak filtrasyon işlemiyle saf su akıları incelendi. Uygun olan membranların %2 (m/w) PVP- %2 (m/w) PVA/ selüloz kompozit membranlar olduğuna karar verildi. Üretilen bu membranların 50 psi basınca kadar dayanabildikleri bulundu.

Yapılan ikinci aşamada; sulu çözeltilerden ağır metal iyonlarını uzaklaştırma hedefine yönelik çalışmalar yapıldı. Bu amaçla Fe(III) ve Cu(II) çözeltileri üzerinde çalışılmıştır. Bu çözeltilerin yalnız olarak ve kompleksleştirici ajan AA varlığında pH, çözelti konsantrasyonu ve basınç parametrelerinin tutulma ve akı üzerine etkileri araştırıldı.

Fe(III)'ün yalnız ve AA varlığında pH parametresinin tutulma ve akı üzerine etkisinin araştırılması için farklı pH değerleri kullanıldı. pH parametresi için, yalnız haldeki Fe(III) iyonlarının tutulması pH düşükken az olarak bulundu. Bunun nedeni ortamdaki fazla miktardaki  $H^+$  iyonlarının pozitif yüklü Fe(III) iyonlarını itmesidir. Bu durum membranda tutulmanın azalmasına neden olmuştur. Maksimum tutulma ise pH 4'te gerçekleşmiştir. Fe(III) için hidroliz olayı yüksek pH değerinde gerçekleştiği için tutulma pH 5'te tekrar azalmıştır. Fe(III)'ün AA varlığında gerçekleştirilen filtrasyon işleminde ise pH 3'te güçlü kompleks oluşmuştur. pH yükseldikçe hidroliz kaynaklı zayıflayan kompleks oluşumundan dolayı tutulma azalmıştır.

Konsantrasyon ve basıncın Fe(III)'ün tutulma ve akı üzerine etkileri gerek kompleksiz gerekse AA kompleksi varlığında membranların üzerinde oluşan kekleşmelere bağlı olduğu gözlenmiştir.

Cu(II) iyonları için pH parametresinin tutulma ve akı üzerine etkisinin incelenmesi için yapılan çalışmalarda ise Cu(II) iyonları yalnızken pH arttıkça tutulma artmıştır. Cu(II)'nin AA varlığında gerçekleştirilen filtrasyon işlemindedir pH parametresi için en yüksek tutulma en yüksek pH 6'da gerçekleşmiştir. Bu pH'ta yalnız Cu(II) için membrana güçlü tutulma AA kompleks varlığında Cu(II) ile güçlü kompleks oluşumu gözlenmiştir.

Basınç parametresinde yalnız haldeki Cu(II) iyonları için basınç arttıkça tutunma artmıştır. AA varlığında ise basınç yükseldikçe tutulma değeri düşmüştür. Konsantrasyon parametresinde ise yalnız haldeki Cu(II) iyonları için konsantrasyon arttıkça tutulma azalmıştır. AA varlığında ise en yüksek tutulma en yüksek konsantrasyon değerinde görülmüştür. Gerek basınç gerekse konsantrasyon Cu(II)'nin tutulmak ve akı üzerinde oluşan kekleşmelere bağlı olduğu bulunmuştur.

Sonuç olarak en yüksek tutulma Fe(III) iyonları için AA varlığında  $0,3 \times 10^{-4}$  M da, pH 3'te 40 Psi basınçta % 80 olarak bulunmuştur. Cu(II) iyonları için ise AA varlığında  $0,5 \times 10^{-4}$  M da 30 Psi basınçta pH 6'da % 82,9 olarak bulunmuştur.

## 6. KAYNAKLAR

- Akbaş, B. (2018). Bir Otomobil Fabrikası Enerji Tüketim Analizlerinin ve Enerji Tasarrufu Potansiyellerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Akcan, A.B., Dursun, O.(2008). Civa Zehirlenmeleri. *Güncel Pediatri Dergisi*, **6**: 72-5.
- Aksoy, Ö. (2012). Sulu Çözeltilerden Bazı Boyar Maddelerin ve Bakır Metalinin Uzaklaştırılmasında Yeni Bir Adsorblayıcı Olarak Nar Posasının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Alkan, E. (2008). Bardakçı Kili Kullanılarak Sulu Çözeltiden Ağır Metal Uzaklaştırılması ve Adsorbsiyon Kinetiğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Andırıcı, Y. (2014). Membran Ayırma Tekniği İle İçme Suyu Elde Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Aydın, M. (2018). CNT/TiO<sub>2</sub> ile Kompozit Membran Hazırlama ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Aydiner, C. (2006). Hibrit Mikrofiltrasyon Çözeltisi ile Sulu Ortamdan Nikel Giderimi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Brad, H.B. (2005). Heavy metals in the environment Chapter 1, sources and origins of heavy metals, 6, Arthur Hubbard, Elsevier academic pres, Germany, 1-148.
- Çağlarımak, N., Hepçimen, A.Z. (2010). Ağır metal kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi. *Akademik Gıda*. **8**:31-35.
- Çeliksa, A. (2007). Ayırmada Kompozit Membranların Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- D. S. Sholl, R. P. Lively, Seven (2016). Seven Chemical Separations to Change the World. *Nature*, **532**:435-437
- Durak, S. G. (2015). Sentezlenen Yeni Membranların Kimyasal Yöntemlerle Modifiye Edilerek Membran Biyoreaktörde Kullanılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Durmaz, Ö. (2016). Sıvı Membran Tekniği ile Bazı Ağır Metal İyonlarının Ekstraksiyonlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

- Eriş, Ç. (2017). Ters Osmoz Membranları İçin Destek Tabakası Üretiminin Pilot Ölçekli Sistemde Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gökal, A.C. (2014). Konya Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Çamurlarının Ağır Metaller Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Gökçek, Ö. B. (2016). Melas Atığı ve Endüstriyel Atıksu Karışımının Anaerobik ve Membran Hibrit Sistemle Arıtılabilirliği. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Göksel, E. (2015). Afyon İli Çeşme Sularında Bazı Ağır Metal Kirlilik Düzeylerinin İcp-Ms İle Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Afyonkarahisar.
- Güçlü, M. C. (2018). Düz Plaka Polimerik Membranların Bisbal Kullanılarak Modifikasyonunun Membranların Performans ve Biyokirlenmelerine Olan Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güler, Ü. A. Ve Can, Ö. P. (2017). Kimyasal Kontaminantların Çevre Sağlığı ve Gıda Güvenliği Üzerine Etkileri. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **1**:170-195
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. (1997). Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:50. Kimyasallar ve Çevre, Ankara.
- Gürel, L. Ve Büyükgüngör, H. (2015). Kütle Aktarımının Membran Sistemindeki Rolü. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **21**: 224-238.
- Hasar, H. (2007). Batık Membran-Aktif Çamur Sistemlerinin Arıtma Kapasitesinin Geliştirilmesi ve Modellenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hepşen, R. (2010). Süt Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojisi İle Geri Kazanımı ve Deneysel Tasarım Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kahraman, Ü.C. (2007). Konya Garnizon Birliklerindeki Kuyu Suları İle Şehir Şebeke Sularının Su Kalitesi ve Ağır Metaller Yönünden Karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Selçuk Univ. Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

- Kavuştu, O. (2016). Endüstriyel Atık Sularının Membran Biyoreaktör (MBR) Sisteminde Arıtım Çalışmaları ve Verim Değerlendirmeleri. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Kayacan, S. (2007). Kömür ve Koklarla Sulu Çözeltilerden Boyar Maddelerin Uzaklaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kot, F.S. (2009). Boron sources, speciation and its potential impact on health. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. **8**:3-28
- Kovanci, A. (2008). Çanakkale Şehir Sebeke Suyunda Ağır Metal Analizi ve Bakteriyolojik İnceleme. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Koyuncu, A. (2010). Hibrit Membran Prosesleri Kullanılarak İçme Suyundan Arseniğin Giderimi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Moriyama, N., Nagasawa H., Kanezashi, M. ve Tsuru T. (2018). Pervaporation Dehydration of Aqueous solutions of various types of Molecules Via organosilica Membranes: Effect of Membrane Pore sizes and Molecular Sizes. Separation and Purification Technology. **207**: 108-115.
- Nur, H. M. (2019). Bipolar Membranların Elektrodializ Yöntemi ile Evsel Atık Suların Geri Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Okuyan, C. (2013). Çevre Mühendisliğinde Membran Teknolojileri ve Uygulama Alanları. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Orbak, İ. (2009). Aktif Karbon İle Çevre Kirleticisi Bazı Unsurların Giderilmesi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Öztürkmen, G. (2018). Membran Biyoreaktörlerde Ventüri Enjektörü Kullanılarak İşletme Şartlarının İyileştirilmesinin Araştırılması. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Özyaka, V. Ş. (2011). Kompost ve Geri Kazanım Tesisi Sızıntı Sularının Membran Proseslerle Arıtılabilirliği: İstanbul Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Poyraz, B. (2014). Farklı Lokasyonlardan Alınan İçme Sularında Ağır Metal Analizi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2:16-27.
- Saka, T. (2017). İkili Sıvı Karışımların Pervaporasyonla Ayrılmasına Yönelik Zeolit Dolgulu Sodyum Aljnat Kompozit Membranların Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sarıhan, A. (2015). Su Arıtım Sistemleri İçin Yeni Su Sever Katkılı Kompozit Membranların Hazırlanması ve Test Edilmesi. Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Sert, G. (2015). Membran Biyoreaktör (MBR) Prosesi ile Arıtılan Endüstriyel Atık Suların Yeniden Kullanımı İçin Membran Teknolojilerin Uygulanması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova- İzmir.
- Sönmez, N. A. (2014). Sulardan Adsorbsiyon Yöntemi İle Bor Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Şimşek, C. (2005). Balçova Jeotermal Sahasında Bor ve Arsenik Kirliliği. Jeotermal Enerji Semineri.
- Tirol, N. (2016). Pilot Ölçekli Membran Biyoreaktörde Tıkanma Kontrolü İçin Manyetik Titreşim Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topal, T. (2011). İçme Sularında Doğal Organik Maddelerin (DOM)'in Reçine Adsorbsiyon Yöntemi ile Karakterizasyonu. Yüksek Lisan Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Torgut, G. (2009). Barbiturik Asit Halkası İçeren Metakrilat Polimerlerin Sentezi ve Adsorpsiyon Çalışmaları. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ünal, S. (2015). Nihai Kullanım Amacına Göre Uygulanan Membran Prosesler ve Diğer Su Arıtma Yöntemleri İle İçme ve Proses Suyu Üretiminin Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Worch, E. (2012). Adsorption Technology in Water Treatment. Berlin/ Germany.
- Yaşa, E. (2009). Ters Ozmoz(TO) Su Arıtma Tekniği ve Muhtelif Kullanım Alanları. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.

- Yaşar, A. (2016). Membran Teknolojiler Kullanılarak Arıtılmış Kentsel Atıksulardan Sulama Suyu Geri Kazanımı. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Yılmaz, O., Ekici, K. (2004). Van Yöresindeki İçme Sularında Arsenikle Kirlenme Düzeyleri, YYÜ Vet. Fak. Derg., **15** :47-51.
- Zhou, T., Weis, P., Weis, J.S. (1998). Mercury burden in two populations of *Fundulus heteroclitus* after sublethal methylmercury exposure. *Aquatic toxicology*.**42**:37-47.

### **İnternet Kaynakları**

- 1) <http://www.yegm.gov.tr>, 02.05.2019
- 2) [https://www.researchgate.net/profile/Mustafa\\_Aslan5/publication/301701202\\_Membran\\_Teknolojileri/links/58de2123aca27206a8a1d71e/Membran-Teknolojileri.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mustafa_Aslan5/publication/301701202_Membran_Teknolojileri/links/58de2123aca27206a8a1d71e/Membran-Teknolojileri.pdf), 03.05.2019

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Funda Mavili  
Doğum Yeri ve Tarihi : Altındağ 05/09/ 1989  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 546 490 71 82/ fnd-mvl-05@outlook.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Pursaklar Lisesi, (2005-2009)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği  
Bölümü, (2010-2015)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı,  
(2016- Devam ediyor)