



**Fe(III) VE Cu(II) İYONLARININ POLİMERİK
KOMPOZİT MEMBRANLAR İLE SULU
ORTAMDAN UZAKLAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Raşit BAYRAKTAR

Danışman
Prof. Dr. Cemal ÇİFCİ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fe(II) VE Cu(III) İYONLARININ POLİMERİK KOMPOZİT MEMBRANLAR
İLE SULU ORTAMDAN UZAKLAŞTIRILMASI**

Muhammed Raşit BAYRAKTAR

Danışman
Prof. Dr. Cemal ÇİFCİ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Fe(III) VE Cu(II) İYONLARININ POLİMERİK KOMPOZİT MEMBRANLAR İLE SULU ORTAMDAN UZAKLAŞTIRILMASI

Muhammed Raşit BAYRAKTAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cemal ÇİFCİ

Bu araştırmada, yeni membran geliştirme çalışmasında; poli(vinil alkol – co - etilen) ile selüloz filtre kullanılarak kompozit membranlar üretildi. Üretilen kompozit membranlar kompleksiz ve kompleksli ajan varlığında Fe(III) ile Cu(II) iyonlarının sulu çözeltilerden ayrıştırılmasında kullanılmıştır. Ayrışmanın yüksek olması amacı ile metal iyonlarının iyi tutulması için aljinik asit (AA) ile kompleks oluşturulmuştur. Ultrafiltrasyon denemeleri kesikli ultrafiltrasyon hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada parametre olarak basınç, karıştırma hızı, pH ve konsantrasyon farkı seçilmiştir.

Çalışma sonuçlarında % 5,25(m/w) poli(vinilalkol – co - etilen) / selüloz kompozit membranlar kullanılarak aljinik asit varlığında 300 dev/dk hızda 45 Psi basınçta ve pH 4'te $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III) için en yüksek ayrıştırma verimi %50 olduğu gözlemlenmiştir. Cu(II) iyonları için en yüksek ayrıştırma verimi Aljinik asit varlığında, pH 4'da, 45 Psi basınçta, $0,75 \times 10^{-4}$ M Cu(II) derişiminde ve 300 dev/dk hızda %5,25(m/w) poli(vinilalkol – co - etilen) / selüloz kompozit membran kullanıldığında %77 olduğu gözlemlenmiştir.

2022, ix + 57 sayfa

Anahtar Kelimeler: Polimer 1, Kompozit membran 2, Ultrafiltrasyon 3, Metal uzaklaştırma 4.

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

REMOVAL OF Fe(III) AND Cu(II) IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY POLYMERIC COMPOSITE MEMBRANES

Muhammed Raşit BAYRAKTAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

Supervisor: Prof. Cemal ÇİFCİ

In this research, in the new membrane development study; Composite membranes were produced using poly (vinylalcohol - co - ethylene) and cellulose filter. It has been used in the separation of Fe (III) and Cu (II) ions from aqueous solutions of the produced composite membranes without complex and in the presence of complex agents. It is complexed with alginic acid (AA) in order to keep metal ions well in order to achieve high dissociation. Ultrafiltration trials were carried out using a batch ultrafiltration cell. Pressure, stirringspeed, pH and concentration difference were used as parameters in this study.

In the results of the study, using 5.25% (m / w) poly (vinylalcohol -co - ethylene) / cellulose composite membrane in the presence of alginic acid at 300 rpm at a pressure of 45 Psi and at pH 4. It was observed that the highest separation efficiency for $5 \cdot 10^{-4}$ M Fe (III) concentration was 50%. The highest separation efficiency for Cu (II) ions is 5.25% (m / w) at pH 4, 45 Psi pressure, $0.75 \cdot 10^{-4}$ M Cu (II) concentration and 300 rpm speed in the presence of alginic acid. Poly (vinylalcohol -co - ethylene) / cellulose composite membrane efficiency was observed to be 77%.

2022, ix + 57pages

Keywords: Polymer 1, Composite membrane 2, Ultrafiltration 3, Metal removal 4.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın konusunu belirleme, deneysel çalıőmalardaki kritik yönlendirmeleri, sonuçların detaylı bir Şekilde incelemeleri ve değerlendirmeleri ve yazımı aşamasında sağladığı büyük katkıları için tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Cemal ÇİFCİ'ye, araőtırma boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR'a, her konuda öneri, destek ve eleőtirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaőlarıma (zellikle Jesur Abdusselamov) teşekkür ederim.

Bu araőtırma süresince maddi ve manevi desteğini bir an dahi eksik etmeyen aileme teşekkür ederim.

Muhammed Raőt BAYRAKTAR
AFYONKARAHİSAR 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ..... | iv |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ | 3 |
| 2.1 Membran Tanımı | 3 |
| 2.2 Membranların Türlerinin Sınıflandırılması | 5 |
| 2.2.1 Gözenek çapına göre sınıflandırma | 6 |
| 2.2.1.1 Mikrofiltrasyon (MF)..... | 6 |
| 2.2.1.2 Ultrafiltrasyon (UF) | 8 |
| 2.2.1.3 Nanofiltrasyon (NF)..... | 9 |
| 2.2.1.4 Ters Osmoz (TO) | 11 |
| 2.2.2 Membranları yapısı ve morfolojisine göre sınıflandırma | 12 |
| 2.2.3 Membranları malzemesine göre sınıflandırma | 13 |
| 2.3 Membran Performansını ve Seçimini Etkileyen Faktörler | 14 |
| 2.3.1 Giderim verimi | 14 |
| 2.3.2 Akı Faktörü..... | 14 |
| 2.3.3 BasınçFaktörü | 16 |
| 2.3.5 pHFaktörü | 16 |
| 2.3.6 Membran KirliliğiFaktörü | 17 |
| 2.3.7 Kirlili Membranların Temizliği | 18 |
| 2.4 Adsorpsiyon Hakkında Genel Bilgiler..... | 19 |
| 2.4.1 Fiziksel Adsorpsiyon Hakkında | 20 |
| 2.4.2 Kimyasal AdsorpsiyonHakkında..... | 20 |
| 2.4.3 İyonik AdsorpsiyonHakkında..... | 21 |
| 2.5 Membranların Kullanımının Enerji Tasarrufu İle İlişkisi | 21 |
| 2.6 Ağır Metaller..... | 23 |
| 2.6.1 Ağır metaller hakkında genel bilgilendirme | 23 |

| | |
|--|----|
| 3. MATERYAL ve METOT | 31 |
| 3.1 Mataryel | 31 |
| 3.1.1 Deneylerde Kullanılan Alet ve Düzenekler..... | 31 |
| 3.1.2 Deneylerde Kullanılan Maddeler..... | 32 |
| 3.2 Metot..... | 34 |
| 3.2.1 Polimer Membranın Hazırlanması..... | 34 |
| 3.2.2 Membranların Filtrasyon İşleminde Kullanılması..... | 37 |
| 4. BULGULAR | 38 |
| 4.1 Membranın Saf Su Geçişinin Araştırılması | 38 |
| 4.2 Fe(III)'nin Kompleksiz Ortamda Sulu Çözeltilerden Uzaklaştırılması | 39 |
| 4.2.1 pH'nın Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi | 39 |
| 4.2.2 Konsantrasyonun Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi..... | 40 |
| 4.3 Fe(III)'ün Aljinik Asit(AA) Varlığında Sulu Çözeltilerinden Ayrılması..... | 42 |
| 4. 3. 1 pH'ın Tutulma ile Akı Üzerine Etkisi | 42 |
| 4. 3. 2 Konsantrasyonun Tutulma ile Akı Üzerine Etkisi..... | 44 |
| 4.4 Cu(II)'nin Kompleksiz Ortamda Sulu Çözeltilerden Uzaklaştırılması..... | 45 |
| 4.4.1 pH'ın Tutulma ile Akı Üzerine Etkisi | 45 |
| 4.4.2 Konsantrasyonun Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi..... | 46 |
| 4.5 Cu(II)'nin Aljinik Asit (AA) Varlığında Sulu Çözeltilerinden Ayrılması | 48 |
| 4.5.1 pH'ın Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi | 48 |
| 4.5.2 Konsantrasyonun Tutulma ile Akı Üzerine Etkisi..... | 49 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ | 51 |
| 6. KAYNAKLAR..... | 53 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 58 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

| | |
|------------------|--|
| $C_{Cu(II)}$ | Cu(II) çözeltisinin başlangıçtaki derişimi |
| $C_{Cu(II)+AA}$ | Cu(II)+AA çözeltisinin başlangıçtaki derişimi |
| $C_{Fe(III)}$ | Fe(III) çözeltisinin başlangıçtaki değişimi |
| $C_{Fe(III)+AA}$ | Fe(III)+AA çözeltisinin başlangıçtaki derişimi |
| C_k | Konsantredeki çözünenlerin konsantrasyonu |
| C_s | Filtrattaki çözünenlerin konsantrasyonu |
| $^{\circ}C$ | Derece Celcius |
| dev | Devir(Hız) |
| dk | Dakika(Zaman) |
| mg | Miligram(Ağırlık) |
| mL | Mililitre(Hacim) |
| μL | Mikrolitre(Hacim) |
| m^2 | Metrekare(Alan) |
| R | Tutulma(Verim) |
| Sa | Saat(Zaman) |

Kısaltmalar

| | |
|-----|---------------------------|
| AA | Aljinik Asit |
| C | Konsantrasyon(Derişim) |
| MF | Mikrofiltrasyon(Filtre) |
| NF | Nanofiltrasyon(Filtre) |
| PVA | Polivinil alkol |
| PVP | Poli(vinilpirilidon) |
| SMP | Çözünmüş mikrobik ürünler |
| TO | Ters osmoz |
| UF | Ultrafiltrasyon(Filtre) |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 2. 1 Farklı membranlarda farklı kütle aktarımları bir arada gösterilmektedir..... | 4 |
| Şekil 2. 2 Membran türlerinin sınıflandırılması | 5 |
| Şekil 2. 3 Mikrofiltrasyon membranların çalışma prensibi | 7 |
| Şekil 2. 4 Ultrafiltrasyon çalışma prensibinin şeması | 9 |
| Şekil 2. 5 Nanofiltrasyon membranların kullanım prensibi | 10 |
| Şekil 2. 6 Ters osmoz(TO) prosesinin şematik olarak incelenmesi | 11 |
| Şekil 2. 7 Membran morfolojisinin sınıflandırılmaları | 12 |
| Şekil 2. 8 Membranda akının azalması | 15 |
| Şekil 2. 9 Membran kirlenme şeması | 18 |
| Şekil 2. 10 Adsorpsiyonun çalışma prensibi | 19 |
| Şekil 2. 11 Atomların, iyonların veya moleküllerin katı yüzeyi üzerine fiziksel adsorpsiyonu | 20 |
| Şekil 2. 12 Atom, iyon ve moleküllerin katı yüzey üzerindeki kimyasal adsorpsiyonu | 21 |
| Şekil 2. 13 1980-2015 yıllarında ülkemizdeki endüstride harcanan enerji miktarı..... | 22 |
| Şekil 2. 14 Ağır metallerin doğaya yayılmasının şematik gösterimi | 26 |
| Şekil 3. 1 Filtrasyon prosesinin şeması | 32 |
| Şekil 3. 2 Poli(vinil-alcohol-co-ethylene) 'nin açık kimyasal formülü | 33 |
| Şekil 3. 3 Aljinik asit açık kimyasal formülü..... | 33 |
| Şekil 3. 4 Ayrıntılı membranların hazırlanış şeması | 35 |
| Şekil 3. 5 SEM görüntüleri..... | 36 |
| Şekil 4. 1 Üretilen membranın farklı basınçlar altındaki saf su akıları..... | 38 |
| Şekil 4. 2 Fe(III)'ün filtrasyonunda pH'ın tutulma ile akı üzerindeki etkisi | 40 |
| Şekil 4. 3 Fe(III)'ün filtrasyon uygulamasında farklı konsantrasyonların tutulma ile akı üzerine etkisi..... | 41 |
| Şekil 4. 4 Fe(III) ve AA birleşimiyle oluşan kompleksin yapısı..... | 42 |
| Şekil 4. 5 Fe(III) Aljinik asit(AA) filtrasyon uygulamasında pH değerinin tutulma ile akı üzerindeki etkisi..... | 43 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4. 6 Fe(III) Aljinik asit(AA) varlığında filtrasyon uygulamasında konsantrasyon farkının tutulma ile akı üzerindeki etkisi | 45 |
| Şekil 4. 7 Cu(II) filtrasyon uygulamasında pH değerinin tutunma ile akıyla etkileşimi | 46 |
| Şekil 4. 8 Cu(II) filtrasyon uygulamalarında farklı konsantrasyon değerlerinin tutunma ile akı üzerine etkisi..... | 47 |
| Şekil 4. 9 Cu(II) ve AA birleşimiyle oluşan kompleksin yapısı..... | 48 |
| Şekil 4. 10 Cu(II)-Aljinik asit(AA) çözeltisinde filtrasyon uygulamasında farklı pH değerlerinin tutulma ile akı üzerine etkisi..... | 49 |
| Şekil 4. 11 Cu(II)-Aljinik asit(AA) çözeltisi filtrasyon uygulamasında konsantrasyon farkının tutulma ile akı üzerine etkisi | 50 |



ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Çizelge 2.1 Farklı gözenek çaplı membranların özellikleri | 6 |
| Çizelge 2.2 İçme sularında bulunması gerekli en fazla ve ayrıca sağlık açısından tavsiye edilen ağır metal değerleri..... | 24 |
| Çizelge 2.3 Genelde temel olarak sanayilerden atılan metal çeşitleri..... | 27 |
| Çizelge 3.1 Analizlerde kullanılan membran içeriği çizelgesi..... | 35 |
| Çizelge 4.1 Üretilen membranların uygulanan farklı basınç altında saf su geçiş akı değerleri..... | 38 |
| Çizelge 4.2 Demir(III)'ün filtrasyon işleminde tutulma ve akı üzerine pH değerinin etkisi..... | 39 |
| Çizelge 4.3 Fe(III)'ün filtrasyon uygulamasında farklı konsantrasyon değerlerinin tutulma ile akı üzerindeki etkisi..... | 41 |
| Çizelge 4.4 Fe(III) AA varlığında filtrasyon uygulamasında pH değerinin tutulma ile akı üzerindeki etkisi..... | 43 |
| Çizelge 4.5 Fe(III) Aljinik asit(AA) varlığında filtrasyon uygulamasında farklı konsantrasyonların tutulma ile akı üzerindeki etkisi..... | 44 |
| Çizelge 4.6 Cu(II) filtrasyon uygulamalarında tutulma ile akı değerleri üzerine pH değerinin etkisi..... | 45 |
| Çizelge 4.7 Cu(II) filtrasyon uygulamalarında konsantrasyon farkının tutunma ile akı üzerindeki etkisi..... | 46 |
| Çizelge 4.8 Cu(II)-Aljinik asit(AA) çözeltisinin filtrasyon uygulamasında pH değerinin tutunma ve akı üzerine etkisi..... | 48 |
| Çizelge 4.9 Cu(II)-Aljinik asit(AA) çözeltisinin filtrasyon uygulamasında derişimin tutunma ile akı üzerine etkisi..... | 50 |

1. GİRİŞ

Membran hakkında görülen ilk çalışmalar 18. yy'da başlamıştır. Abbe Nolet 1748 yılında suyu bir zardan geçirmiş ve bu olayı "ozmoz" ile adlandırmıştır. 19. yy'da ve 20. yy'ın ilk dönemlerinde membran çeşitleri laboratuvarlarda teorik olarak geliştirilmiştir. 1887 yılında farklı konsantrasyonlardaki çözeltilerin ozmotik basınçlarının ölçümünde ilkel membranlar kullanılmıştır. Bechhlod 1907 yılında nitroselüloz kullanarak yeni bir membran üretmek için teknik bulmuşlardır. Daha sonra bilim insanları nitroselüloz membran üretim tekniğini daha ileriye taşımışlardır. 1930 yılında ise nitroselüloz membranlar ilk olarak ticari bir ürün haline gelmiştir. 1945 yılından sonra içme sularında membranların kullanılması ilk önemli uygulama olarak görülmektedir. Su kaynaklarının güvenilirliğini test etmek için filtrelere ihtiyaç olduğu görülüp yeni filtre malzemelerinin araştırılması için yürütülen uygulamalar desteklenilmiştir. 1960 yılından itibaren ileri membran bilimi geliştirilmiş olsa da çok düşük akıda olmaları, ayrıştırmalarının yetersiz olması ve yüksek maliyet nedenlerinden dolayı membranlar laboratuvarlarda ve az sayıdaki küçük endüstriyel alanlarda kullanılabilmiştir. 1980 yılına kadar modern membranların gelişiminde çok ciddi uygulamalar yapılarak faydalı ilerlemeler gerçekleştirilmiştir. Bu gelişme süreci içerisinde çok ince ve seçiciliği yüksek tabakası olan modern membranlar oluşturulmuştur. 1980 yılından itibaren çeşitli gözenek boyutlarında membranlar geliştirilmiştir. Bunlar gözenek boyutu büyükten küçüğe doğru isimlendirilirse; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, ters ozmoz, elektrodiyaliz membranlar olarak sıralanabilirler. Geliştirilen bu membran çeşitleri gün geçtikçe daha verimli ve ekonomik olacak şekilde üretilmiştir (Sarıhan 2015).

Membran uygulamalarındaki gelişmeler ile birlikte membran talepleri ve alanları gün geçtikçe genişlemiştir. Sanayi işletmeleri için daha ekonomik olmaları, farklı filtreleme uygulamaları ile birlikte çalışması için maliyetli ekipmanlar gerektirmemesi, hazırlandıktan sonra membran ile filtrasyon için ek kimyasal maddelere ihtiyaç duyulmaması, üretim sonrası taşıma, kurulum ve temizliğinin kolay olması ve genellikle basınç uygulayarak çalıştığı için enerji harcamalarının düşük olması gibi birçok avantaja sahip olmaları membran taleplerini cazip hale getirmiştir (Aydın 2018).

Ağır metalller genel olarak zararlı, kirletici ve zehirli olarak görülmektedir. Çoğu endüstriyel atıkların sıvı olanları çeşitli yollarla gllere ve akarsulara karışarak birçok bitki çeşitine ve balık türüne zehir etkisi oluşturarak ciddi zararlar vermektedir. Dolayısı ile ekosistemi ve bağlantılı olarak insan sağlığını da olumsuz yönde çok fazla etkilemektedir (Aksoy 2012).

Sanayi devrimi ile başlayıp hızla ilerleyen evre sorunları başlı başına bir kriz olarak ele alınması gereken ciddi bir meseledir. Doğal kaynakların dengesiz kullanımı, evre düzenlemesinin öneminin anlaşılmadığı ve canlılara verilecek zararların göz önüne alınmadığı bakış açısının tam tersine dönüştürülmesi için harcanan zaman ve eforun arttırılması gerekmektedir. Sanayi atıkları başta olmak üzere zararlı bütün atıkların en dikkatli şekilde, çevreye herhangi bir zararı olmadan ve düşük enerji kullanımı ile filtre edilerek zararlı içeriklerinden arındırılması önemsenmesi gereken, ucu çevreden sağlığa kadar uzanan bir konudur.

Sanayi atık sularından ağır metallerin arındırılmasında birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Membran çeşitlerin kullanılmasında bu yöntemlerdendir. Bu çalışmada da laboratuvarında geliştirilen polimer kompozit membran su içerisinde çözünen ağır metallerin bulunduğu çözeltiden ayrıştırılması üzerine denemeler, çalışmalar ve analizler yapılmıştır. Suni bir atık su oluşturmak için ağır metal olarak yaygın olarak karşılaşılan demir ve bakır elementleri kullanılmıştır.

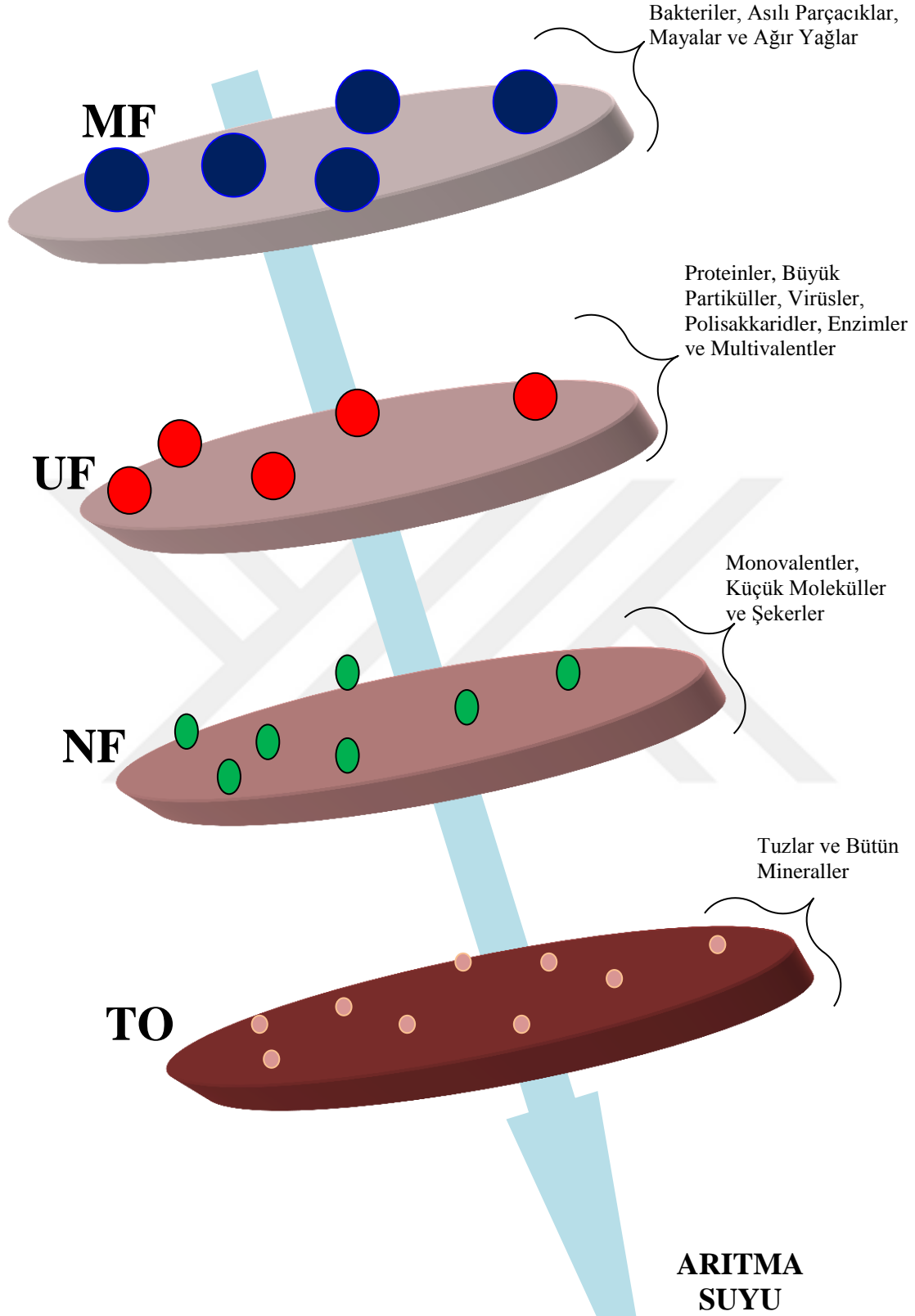
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Membranın Tanımı

Membranlar, seçici olarak ayırıştırmanın ve aktarımının sağlandığı yarı geçirgen filtreler olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle membranlar, yapı ve gözenek boyutlarına göre bileşenleri birbirinden yüksek oranda ayıran bir ara faz olarak açıklanabilirler.

Membranların ayırma işlemi hem kimyasal hem de fiziksel yapıları ile belirlenmektedir. Seçici tanımı membranlara yada membran teknolojilerine ait bir tanımdır (Aydın 2018). Ayrıca membranlar belirli parametrelerle birlikte ayırma işlemini gerçekleştirmektedir. Bu parametreler; basınç değeri, konsantrasyon, pH değeri, elektriksel potansiyel farkı, karıştırma hızı ve sıcaklık değişim değerleridir. Ayırma işlemi bu parametrelerden bir veya birkaçı ile birlikte gerçekleştirilmektedir. ve sıcaklık farkının biri veya birkaçı müşterek sürücü kuvvetleri ile gerçekleşmektedir.

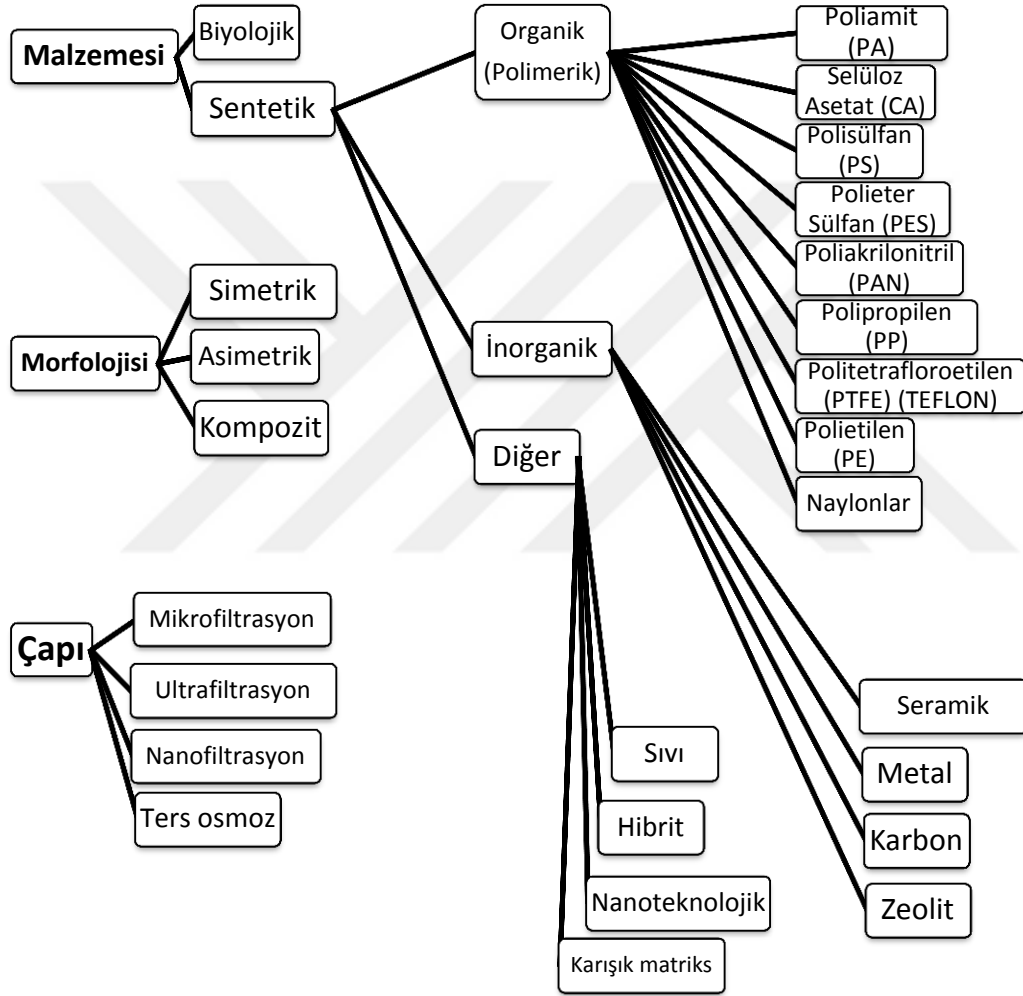
Membranların yapısı yarı geçirgendir. Membran yapısına ve ayırıştırılacak olan çözeltinin yapısına bağlı olarak çözelti içeriğindeki maddelerin bazıları membrandan geçebilirken bazıları membran yüzeyinde tutulur. Bu ayırıştırma durumu iki farklı modelle açıklanabilir; çözünme ve gözenekli akış modeli. Çözünme modelinde süzülmesi beklenen madde membran içerisinde çözünmekte ve sabit basınç altında aktarılırken sadece konsantrasyon değeri bir değişim oluşmaktadır. Gözenekli akış modelindeyse membran gözeneklerinden bazı maddeler geçerken bazıları geçmeyecek kadar büyüktür. Son yıllarda membran uygulamalarının çoğunda gözenekli akış modeli kullanılmaktadır. Şekil 2.1’de farklı membranlarda gerçekleşen farklı kütle aktarımı modelleri bir arada gösterilmektedir (Saka 2017).



Şekil 2.1 Farklı membranlarda gerçekleşen farklı kütle aktarımları bir arada gösterilmektedir (Aslan 2016).

2.2 Membran Türlerinin Sınıflandırılması

Membranlar çok farklı materyallerden üretilebilir. Sınıflandırılmalarında ise öncelik olarak üretildikleri malzemeye bağlı olacak şekilde biyolojik ve sentetik membran şeklinde iki ana gruba ayrılabilirler. Sentetik olarak üretilen membranlar organik (polimerik) ve de inorganik (seramik, metalik) olarak iki gruba ayrılabilirler. Şekil 2.2’de membran türlerinin sınıflandırılmaları hiyerarşik şemalar halinde gösterilmektedir (Aslan 2016).



Şekil 2.2 Membran türlerinin sınıflandırılması (Aslan 2016).

2.2.1 Gözenek çapına göre sınıflandırma

Membran çeşitleri gözenek genişliklerine göre mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz olarak sınıflara ayırabilmektedir. Bu gözenek farkından kaynaklanan ayrıştırma farkları da oluşmaktadır. Her birinin filtre edebildiği maddeler birbirinden farklıdır. Bu farklar aşağıdaki Çizelge 2.1 üzerinden daha iyi okunabilmektedir.

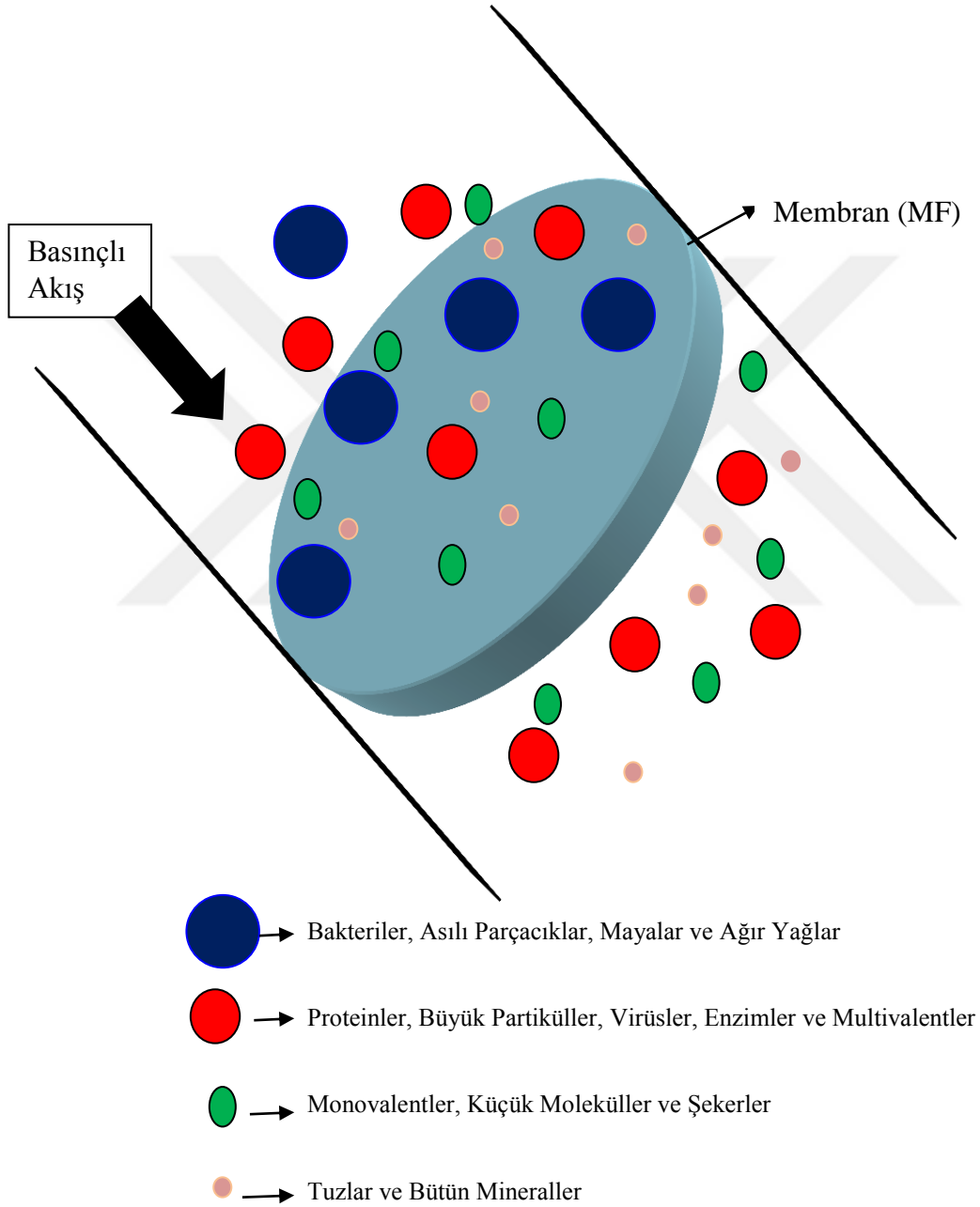
Çizelge 2.1 Farklı gözenek çaplı membranların özellikleri (Aydın 2018).

| Proses | İtici güç | Gözenek Çapı (µm) | Alınan | Geçen |
|-----------------|-----------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Mikrofiltrasyon | Basınç | 0,5 - 0,1 | Asılı parçacıklar, Bakteriler | Proteinler, Yağlar, Mineraller |
| Ultrafiltrasyon | Basınç | 0,1 – 0,005 | Büyük parçacıklar, Yağlar, Proteinler | Küçük moleküller, Şeker, Tuz |
| Nanofiltrasyon | Basınç | 0,005 - 0,001 | Küçük moleküller, Multivalent, Şeker | Su, Monovalent, Tuz |
| Ters Osmoz | Basınç | <0,001 | Tüm Çözünenler | Su |

2.2.1.1 Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyonlar en fazla kullanılan ve sürücü kuvvet olarak basınç kullanılan membran prosesidir. Mikrofiltrasyon membranları sıvı ve gazların içinde bulunan mikron yada daha küçük parçacıkları ayrıştırmak için kullanılır. Gözenek büyüklükleri genel olarak 0.5 ile 0,1 µm arasındadır. Mikrofiltrasyon membranlar 100.000 dalton ve daha yüksek bir molekül ağırlıklı partikülleri engelleyebilmektedirler. Genel olarak 15 - 60 Psi (100 – 400 kPa) arasında, düşük basınç uygulamalarında sıklıkla tercih edilen bir membran ayrıştırma prosesi olarak açıklanabilir. Bu membranlar yapıları gereği 0.05 ile

2 µm aralığındaki çaplara sahip büyük molekülleri ve askıda kalan partikülleri ayırma özelliğine sahiptir. Mikrofiltrasyon membranları kullanılan prosesler ile genel olarak nişasta, bakteriler, ağır yağlar, mayalar, alg ve benzeri boyutlardaki parçacıklar ayrıştırılabilmektedir (Kavuştu 2016, Saka 2017). Mikrofiltrasyon membranlarının çalışma prensibi şematik olarak Şekil 2.3’de gösterilmektedir.

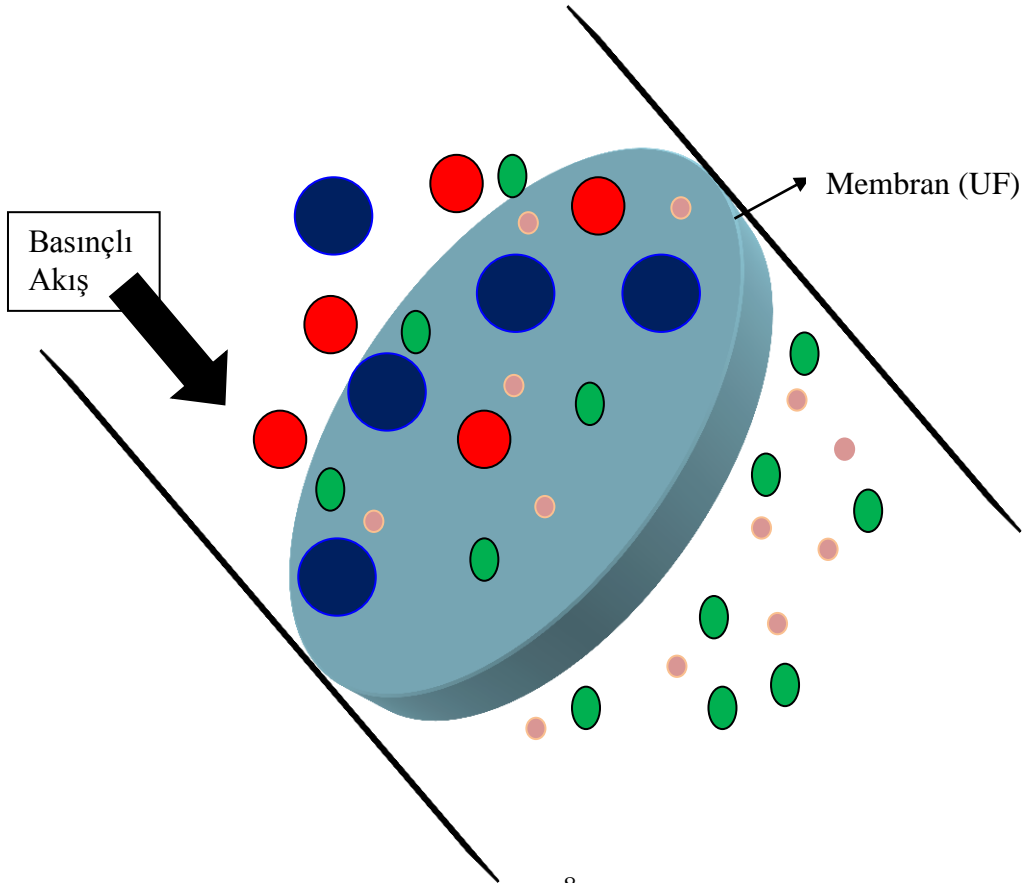


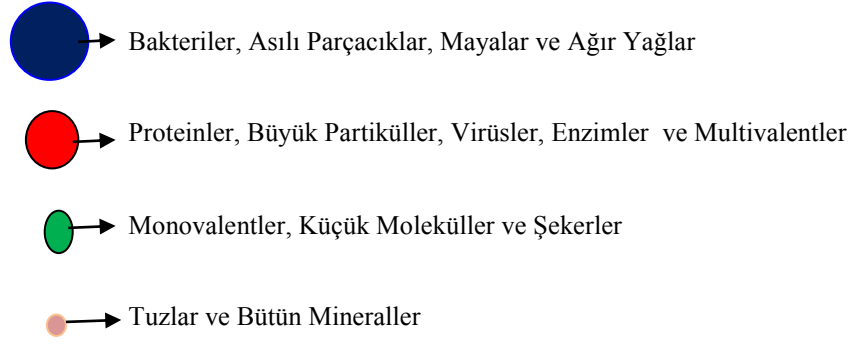
Şekil 2.3 Mikrofiltrasyon membranlarının çalışma prensibi (Aslan 2016).

2.2.1.2 Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon membranları 0,1 – 0,005 µm aralığında gözenek çaplarına sahiptirler. Ultrafiltrasyon işleminde ayrıştırma molekül iriliklerine bağlı olmasının yanında iyonik yüklerine ve geometrilerine de bağlıdır. Bunun yanında iyonik olmayan partikülleri de ayrıştırabilmektedirler (Kavuştu 2016). Ultrafiltrasyon membranların üst katmanlarının gözenekleri 0,1 – 0,005 µm aralığında iken filtrasyona etkisi olmayan görevi sadece bu membrana destek olan daha büyük gözenekli bir membran katmanı bulunmaktadır. Asıl filtrasyon işlemini üst katman gerçekleştirir (Saka 2016).

Ultrafiltrasyon membranı uygulama tarafından incelendiğinde mikrofiltrasyon ile benzer olduğu görülmesine rağmen ters ozmozla neredeyse birebir benzeşen bir süreci bulunan sistemdir. Ultrafiltrasyon membran sistemi virüslerin giderilmesi, ilaç üretim proseslerinde, gıda endüstrisinde, gerektiğinde mikrofiltrasyon yerine, boya endüstrisinde, ters ozmoz süreci başında ön arındırma sürecinde ve atık suların geri kazanımı ve tekrar kullanılmasında kullanılmaktadır. (Aslan 2016). Ek olarak protein, virüs, organik maddeleri ve enzim ayrıştırma özelliği bulunmaktadır (Güçlü 2018). Ultrafiltrasyon membran sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.4'tedir.



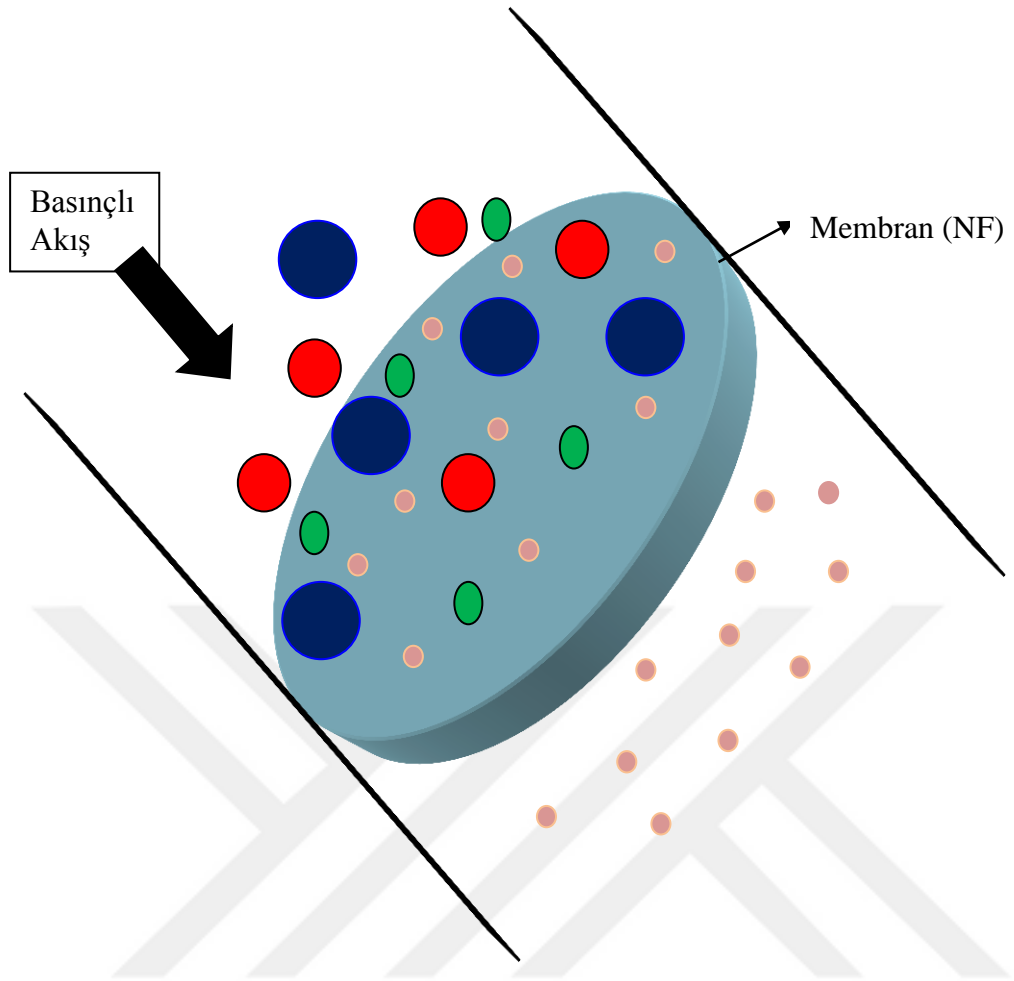






Şekil 2.4 Ultrafiltrasyon çalışma prensibinin şeması (Aslan 2016).

2.2.1.3 Nanofiltrasyon (NF)

Nanofiltrasyon membranlar çapı 0,001 μ dan büyük olan ve 200-300 dalton aralığında molekül ağırlığına sahip organik bileşiklerin ayrıştırılmasını sağlar(Aslan ve Kavuştu 2016). Gözenek büyüklükleri ise 0,005-0,001 μm aralığında ve gözenek çapının genişliğine göre ultrafiltrasyon ile ters osmoz aralığında bulunmaktadır(Güçlü 2018). Malzeme yapısı olarak daha çok kompozit membranları kullanıldığı görülen bu süreçlerde ters osmoza göre daha az basınca ihtiyaç duyulmasına bağlı olarak daha düşük enerji harcamaları ile karşılaşıldığı için tercih edilmelerinin önemli etkenlerindedir (Sarıhan 2015). Tek iyonların tutunması düşük çok değerlikli iyonlarınkine ise yüksektir (Kavuştu 2016).

Nanofiltrasyon ters ozmos ve ultrafiltrasyon arasında bir bölgedeki sıvıyı ayırır. Nanofiltrasyon membranlar 0.001 μm ve daha düşük çapa sahip monovalent iyonlarının geçmelerine engel olamazken, divalent ve multivalent iyonların ayrıştırılmasını yüksek oranda sağlarlar. Nanofiltrasyon membran sistemleri bir yandan maddi öneme sahip ve geri kazanımları istenebilecek bileşiklerin ayrıştırılması için kullanılabilir iken diğer yandan su veya çözeltilerde bulunması arzu edilmeyen toksin vb. bileşiklerin uzaklaştırılması için de kullanılabilir. Kullanılmış suların içinde barındırdığı renk, koku veya tatları oluşturan bileşiklerin uzaklaştırılmasında iyi sonuçlar sağlar. Şekil 2.5'te nanofiltrasyon membranların kullanılması işlemi şematik olarak gösterilmektedir.



-  → Bakteriler, Asılı Parçacıklar, Mayalar ve Ağır Yağlar
-  → Proteinler, Büyük Partiküller, Virüsler, Enzimler ve Multivalentler
-  → Monovalentler, Küçük Moleküller ve Şekerler
-  → Tuzlar ve Bütün Mineraller

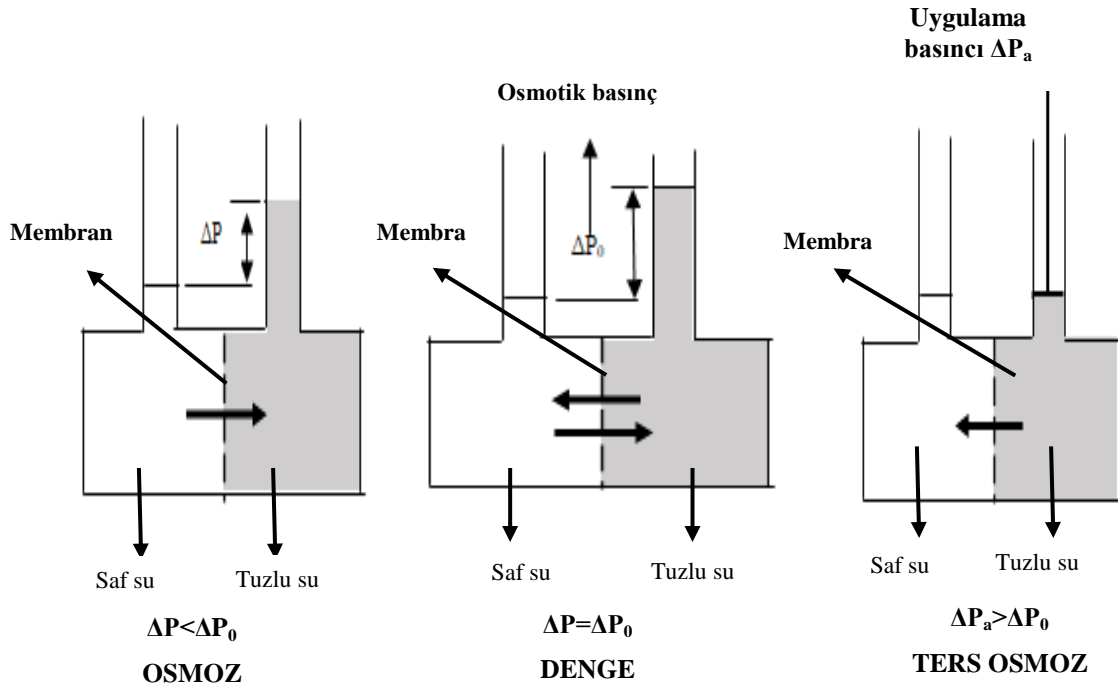
Şekil 2.5 Nanofiltrasyon membranların kullanım prensibi (Aslan 2016).

2.2.1.4 Ters Osmoz (TO)

Osmoz, suyun herhangi bir dış kuvvet olmaksızın bir membrandan geçmesi işlemidir. Membran suyu geçirirken tuz gibi büyük molekülleri yapıları geçirmez. Derişim dengeye varıncaya kadar bu işlem devam eder. Derişim düşük olandan yoğun olana doğru su geçişi gözlemlenir. Bu hiçbir dış etki yapılmadan kendiliğinden gerçekleşen bir durumdur.

Bu durumu yüksek basınç uygulayarak tersine çevirdiğimizde ters osmoz (TO) oluşmaktadır. Uygulanan yüksek basınç değer aralığı 30-100 bardır. Ayrıca ayrıştırdığı partikül aralığı 0,0001-0,001 μ 'dur (Kavuştu 2016).

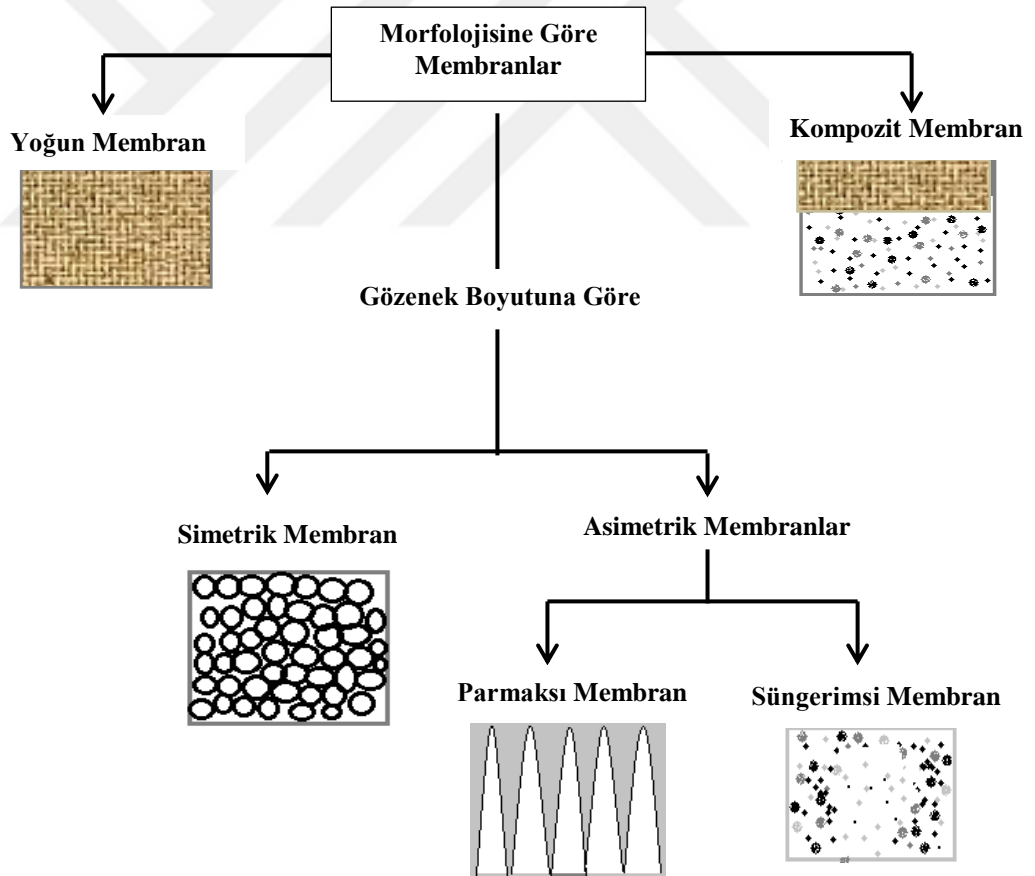
Bu prosesin (TO) çalışma prensibinde saf olmayan su basınç yardımı ile membrandan geçirilir. Membran ile süzülen saf su konsantrasyon oluşturan maddelerden ayrılarak diğer tarafa saf bir biçimde geçer. Süzilemeyen ve su miktarı azalırken konsantrasyonu artan karışım ters osmoz cihazından uzaklaştırılır. Osmoz ve ters osmoz(TO) prosesinin şematik şekilde Şekil 2.6'da gözlemlenmektedir.



Şekil 2.6 Ters osmoz(TO) prosesinin şematik olarak incelenmesi (Yaşa 2009).

2.2.2 Membran yapıları ile morfolojisinin sınıflandırılması

Membran çeşitleri morfolojisine göre yoğun ile kompozit, simetrik ile asimetrik olarak sınıflandırılmaktadırlar (Güçlü 2018). Membranların morfolojisi performansını yüksek miktarda olumlu yada olumsuz yönde değiştirmektedir. Simetrik olan membranların mikron kalınlığı 10 μm ile 200 μm arası farklılık göstermektedir. Asimetrik olan membranlarda ise kalınlıkları simetrik membranlara ile yaklaşık olarak aynı (10-200 μm) olmasının yanında asimetrik membran 50 μm ile 150 μm kalınlığında gözenekleri olan bir katman ve ayrıca 0,5 μm 'lik konsantre üst katmanları bulunmaktadır. Ana filtreleme bu üst katman sayesinde sağlanmaktadır. Bu üst katmanın kullanıldığı membranlar ince film kompozit membran olarak sınıflandırılmaktadır (Sert 2015). Morfolojisine göre membran sınıflandırmaları Şekil 2.7'dedir.



Şekil 2.7 Membran morfolojisinin sınıflandırılmaları (Güçlü 2018).

2.2.3 Membranların oluşturulduğu maddelere göre sınıflandırması

Membranlar organik yada inorganik maddelerden oluşturulanlar olarak sınıflandırılabilir.

Organik membran çeşitleri; polimerik maddelerin neredeyse hepsinin kullanıma uygun olmasına karşın süre veya proses etkenlerinden dolayı polimerlerin sadece bir bölümü kullanılmaktadır. Organik membran içeriği olarak selüloz ve selülozun türevleri en çok kullanılan maddelerdir. Selülozik membranların dışında organik olarak kullanılan maddelere örnek olarak polieter, polisülfon, poliamid, politetrafloroetilen (PTFE) ve polipropilen gösterilebilecek organik polimerlerdir (Özyaka 2011).

İnorganik membranların oluşturulmasında bir destek katmanı kullanılır. İnorganik maddeler toz haline getirilir ve bu destek katmanının gözenekleri üzerine preslenerek doldurulur ve kristallendirilir (Hasar 2001). İnorganik membranlar kimyasal etkilere ve termik kuvvetlere karşı organik membranlardan çok fazla dayanıklıdır. Fakat inorganik membranları oluşturmak yüksek maliyet gerektirmektedir. Ayrıca inorganik membranlar çok kırılğan yapıdadırlar. Bu özelliklerinden dolayı çok nadir işlemlerde kullanılmaktadırlar (Kavuştu 2016).

2.3 Membranların Performans ve Kullanım Alanına Göre Seçim Faktörleri

Akı ve filtreleme verimleri ile membran performansları belirlenmektedir.

2.3.1 Filtreleme Verimi Faktörü

Filtreleme verimi 0 ve 1 arasında bir değerdir. 0 değeri hiç tutunma olmadığını, 1 değeri ise ayrıştırılması beklenen maddenin hepsinin tutulduğunu göstermektedir. Yüzde giderim verimini hesaplamak için giren derişim ile çıkan derişim ölçülerek belirlenir. Formü olarak ise Eşitlik 1 kullanılmaktadır (Yaşar 2016).

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

R: Yüzde giderim verimi

C_s: Toplanan süzüntü derişimi

C_k: Başlangıçtaki konsantre çözelti derişimi

2.3.2 Akı Faktörü

Birim zaman içinde membranların birim alanlarından geçirdiği debi miktarlarıdır. Formülasyon birimleri m^3/m^2 . gün veya L/m^2 .saat şeklinde gösterilmektedir. Akı değeri belirlenirken membran içinden geçen çözeltinin miktarı, membran gözenek boyutu, geçen çözeltinin fizikokimyasal yapısı ve basınç farkı gibi birçok etkene bağlıdır. Darcy kuramına göre Eşitlik 2'de akı eşitliği verilmektedir (Yaşar 2016).

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

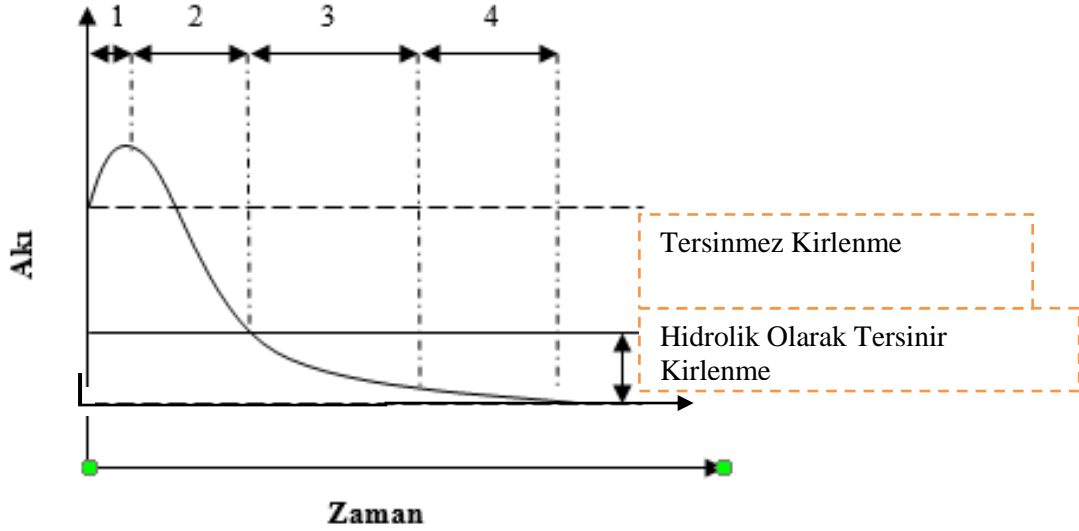
J : Akı

ΔP : Basınç farkı

μ : Akışkan viskozitesi

- R_t : Membranın direnci
($R_m + R_k$): Membranın kirlenme direnci toplamı
A : Etkili membranın alanı
 dV/dt : Süzüntü akışı hızı

Proses sürecinde membranlarda akı azalması; membranların kirlenmesi nedeniyle zamanla membran akı değerinin azalması olarak açıklanabilir.



Şekil 2.8 Membranlarda akının azalması (Yaşar 2016).

1. Bölümde membran yüzey deformasyonu ile akı artışı görülür. 2. Bölümde derişim artışı ile sınır tabakası oluşmasıyla akı hızlı bir düşüşe maruz kalır. 3. Bölümde membranların yüzeyinde oluşan yoğun konsantrasyon ile jel tabaka oluşur ve ikinci bir membranmış gibi bir etki oluşturur. 4. Bölümdeyse akı neredeyse sabitlenir ve çok yavaş bir şekilde azalır ve filtrasyon kararlı olarak ilerler. Membranlar temizlenerek yeni bir proste kullanılmasında tersinir bölge sonrası gibi davranır, eski verimliliğini gösteremezler (Aydiner 2006).

2.3.3 Basınç Faktörü

Membranlar ile filtrasyon işlemlerinde basınç çözelti akışının kontrollü bir şekilde gerçekleşmesi etkin bir unsurdur. Basıncın akı ile farklı iki bağıntısı bulunmaktadır. Basıncın düşük olduğu denemelerde beklenildiği üzere akıyla doğru orantılı olduğu gözlemlenirken yüksek basınçlarda (kritik basınç) akının etkilenmediği görülmektedir (Gökçek 2016). Yüksek basıncın en çok karşılaşılan olumsuz etkilerinden biri kek oluşumudur. Kek oluşumu akışı yavaşlatmaktadır (Yaşar 2016).

2.3.4 Sıcaklık Faktörü

Sıcaklık faktörü ozmotik basınç değerlerinin yanında akış hızınının da değerleri üzerine etki yapmaktadır. Sıcaklık 1°C değiştiğinde akış yaklaşık olarak % 3 değişiklik göstermektedir. Sıcaklık standart bir sonuç elde edilmesi için sabit kalması gerekmektedir. Genel olarak filtrasyon işlemlerinde sıcaklık standart olarak 21°C kabul edilmektedir. 28°C üzerinde tutulduğunda membran bozulmaları hızlandığı için sorun oluşturmaktadır (Durak 2015).

2.3.5 pH Faktörü

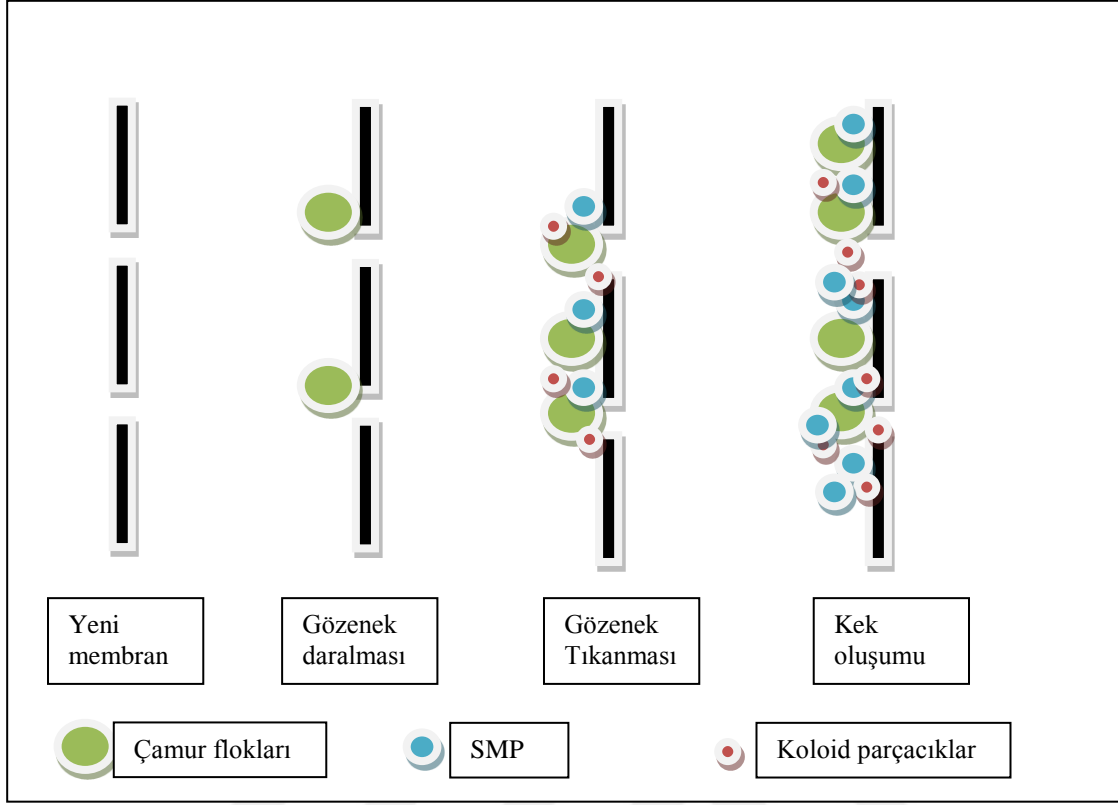
pH faktörünün etkisi inorganik membranlarda düşük iken organik membranlarda daha yüksek etkiye sahip olduğu görülmektedir. İnorganik membranlarda pH çalışma aralığı 3 ile 13 arasında değişebilirken en uygun pH 4-5 aralığındadır. Organik membranlarda genel olarak uygun görülen pH değerleri 4,5-8 aralığındadır (İnt. Kyn. 1).

2.3.6 Membran Kirliliği Faktörü

Membranlarda kirlenmeyle üç farklı şekilde karşılaşılabilir. Biyolojik, fiziksel ve kimyasal olarak kirlenmeler gerçekleşmektedir. Membran gözeneklerinde birikme yada yüzeyinde kek katmanı oluşturma olarak iki grupta tanımlanırlar. Kirliliğin ana olumsuz etkisi geçirgenliğin azalması sebebi ile yüksek basınç gerektirmesi dolayısı ile fazla enerji gereksinimi ve düşük verimlilik ile karşılaşılmasıdır. Çözeltilerden arındırılmak istenen partiküllerin membran tarafından geçişi engellendiği için birikme yaparak membran kirlenmesini oluşturmaktadır. Partiküllerin membran üzerinde birikme yaparak derişimi yüksek bir çözelti katmanı oluşturur ve bu katman derişim polimerizasyonu olarak isimlendirilmektedir. Membran kirlenmesinde olumsuz sonuç olarak kek oluşumu, gözenek küçülmesi yada tıkanması olaylarıyla karşılaşılır. (Sarıhan 2015).

Membran kirlenmesini oluşturan faktörlerden biri yüksek basınçtır. Basınç yükseltildiğinde gözenek yüzeylerinde birikme yaparak kirlenme oluşturmaktadır. Bir diğer faktör ise gözenek boyutudur. Küçük gözenekli mebranların seçilmesi de mebran kirlenmesini hızlandırmaktadır. Membranda kirlilik olarak adlandırılan maddeler de türlerine göre biyolojik, organik, inorganik ve koloidal kirlenme olarak ayrılmaktadır (Sarıhan 2015).

Membranlarda kirlenmeye adsorbsiyon da etki eder. Çözünen bileşikler ve koloidal maddeler adsorbsiyon etkisi ile mebran yüzeyine tutunurlar. İnorganik maddelerin çözeltilerinde ise adsorbsiyon etkisi yerine pH ve oksidasyon etkisi ile çökelerek membran yüzeyinde kirlenmeye yol açar. Biyolojik kirlenmeye örnek olarak da mikroorganizmaların biyofilm katmanı oluşturmalarıdır (Tirol 2016). Membranlarda kirlenme şeması Şekil 2.9'de gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Membran kirlenme şeması (Öztürkmen 2018).

2.3.7 Kirli Membranların Temizliği

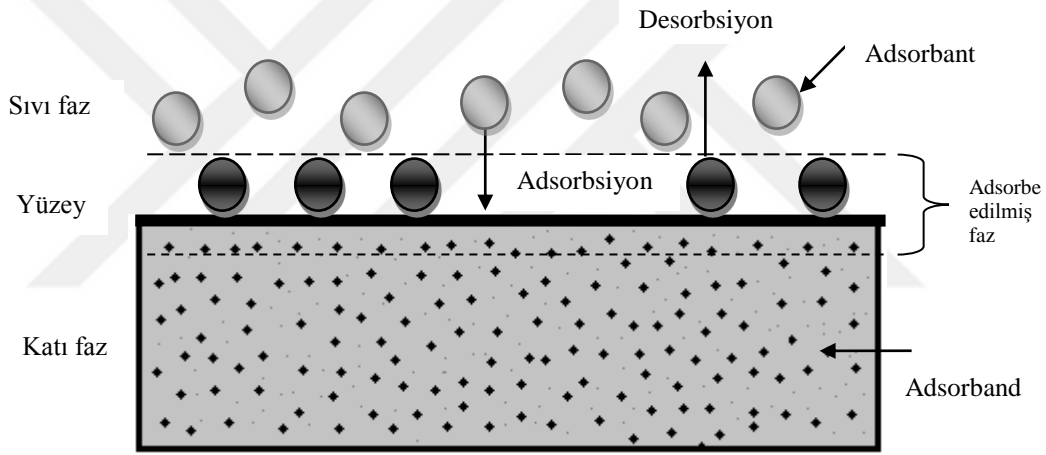
Membranlar genelde akıları % 30-40 civarında azaldığında endüstride kirlenmiş membran kategorisine girmektedir (Koyuncu 2010). Membranlar kirlenme durumuna göre fiziksel yada kimyasal yöntemler kullanılarak temizlenmektedir. Fiziksel temizlik yöntemleri olarak titreştirme, ses dalgası kullanma, tersten yıkama ve düzden yıkama kullanılmaktadır. Kimyasal temizlik yönteminde ise kimyasallar yardımı ile membranlar temizlenir. Kullanılacak olan kimyasal birikme yapan partiküllerin ve membranın yapısı göz önünde bulundurularak belirlenir. İnorganik kirlenmelerde temizlik maddesi olarak membrana zarar vermeyecek şiddetteki asidik kimyasallar arasından belirlenirken organik kirlenmelerde bazik kimyasallar kullanılması gerekmektedir.

Mikrobiyal partiküllerden kaynaklı kirlenmelerde dezenfektan maddeler kullanılmaktadır. Kimyasal temizlemenin gerekliliği endüstride % 15-20 akı kaybı yada

% 10-15 fazla basınç gerekliliği sınırına ulaşılması olarak belirlenmiştir. Filtrasyon prosesinin verimlilik durumuna göre kimyasal temizlik işlemi tekrarlanmaktadır (Hepşen 2010).

2.4 Adsorpsiyon

Elektrik ve kimyasal özelliklerini kullanarak katı halde bulunan maddeler gaz, sıvı veya çözelti formundaki maddelerin atomik, iyonik yada molekül hallerini yüzeyinde tutması adsorbsiyon olarak adlandırılır. Bu olayın tersi olarak tutunan maddelerin yüzeyden uzaklaşması desorbsiyon olarak adlandırılır. Adsorbsiyon ise katı maddenin yüzeyinde bulunan taneciklerin içerisine ilerleyip yayılması olayının adlandırılmasıdır (Aksoy 2012). Adsorbsiyon çalışma prensibi ve kavramları Şekil 2.10'da gösterilmektedir.

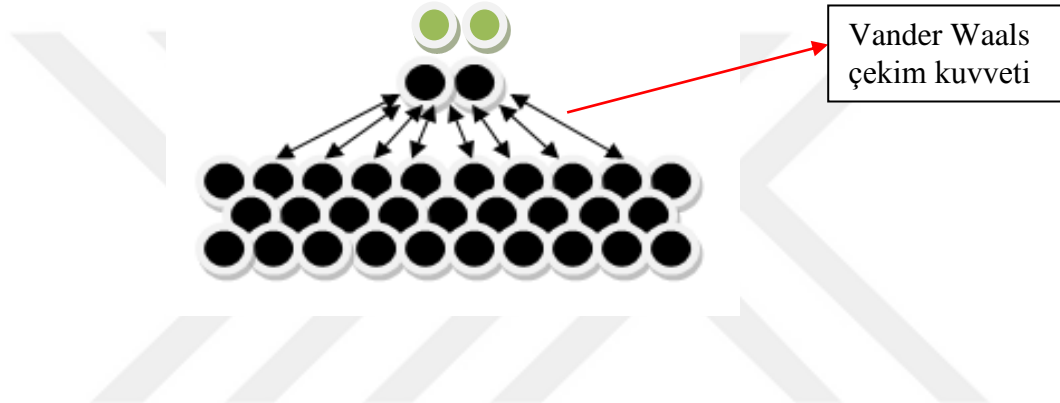


Şekil 2.10 Adsorbsiyonun çalışma prensibi (Worch 2012).

Adsorbsiyonun çalışma prensibinde sıvı, gaz veya çözeltilerin içerisinde çözünen atom, molekül veya iyonlar adsorbant madde olarak adlandırılan katı maddeler tarafından tutulur. Sıvı, gaz veya çözelti içerisinde bulunan iri taneli atom, iyon veya moleküller yüksek yüzey alanına sahip olan adsorbantın gözenekleri içindeki büyük yüzeylere tutunurken çok az bir bölümü yüzeyin dışında adsorbe olmaktadır. Belli bir zaman geçmesinin ardından sıvı, gaz veya çözelti içerisindeki çözünmekte olan maddelerle tutunan maddelerin konsantrasyonları eşit seviyede sabitlendiği gözlemlenilmektedir (Sönmez 2014).

2.4.1 Fiziksel Adsorbsiyon Hakkında

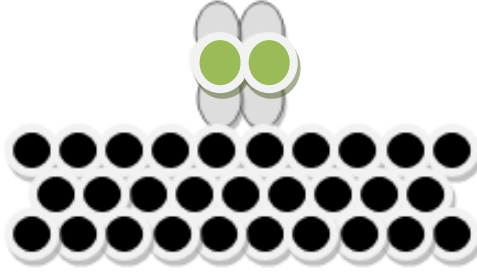
Adsorbsiyonun fiziksel kuvvetleri ile absorblanan maddelerin katı yüzeyler ile arasında Vander Waals çekim kuvvetinin baskın bir şekilde görüldüğü durumlardaki adsorbsiyona fiziksel adsorbsiyon denir. (Torgut 2009). Düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilen bir adsorpsiyon çeşididir (Topal 2011). Fiziksel adsorpsiyon çok katmanlı olabilmekte ve ayrıca fiziksel adsorpsiyonun meydana gelmesi için ilave olarak aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyulmamaktadır. Şekil 2.11’de fiziksel adsorbsiyon çalışma prensibi gösterilmektedir (Kayacan 2007).



Şekil 2.11 Atomların, iyonların veya moleküllerin katı yüzeyi üzerine fiziksel adsorpsiyonu (Kayacan 2007).

2.4.2 Kimyasal Adsorbsiyon Hakkında

Adsorbsiyonun kimyasal şekilde gerçekleşmesi yönteminde absorblanan partikülle katı yüzey arasında kimyasal bağ kurulması ile meydana gelen adsorpsiyon olayı kimyasal adsorbsiyon olarak adlandırılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda meydana gelemeyen, sadece yüksek sıcaklıklarda meydana gelebilen adsorpsiyon çeşididir. (Topal 2011). Sıcaklık değerinin çok fazla artması durumunda fiziksel adsorpsiyon kimyasal adsorpsiyona dönüşebildiği görülmektedir. Kimyasal bağların bağ şiddeti adsorbantların her çeşidi için farklılık gösterir. Ancak fiziksel adsorpsiyondaki Vander Waals çekim kuvvetinden çok daha güçlüdürler. Kimyasal adsorpsiyon katı maddenin yüzeyine yayılacak şekilde tek katmanlı olarak meydana gelmektedir. Şekil 2.12’de kimyasal adsorpsiyonun çalışma prensibi gösterilmektedir (Kayacan 2007).



Şekil 2.12 Atom, iyon veya moleküllerin katı yüzey üzerindeki kimyasal adsorpsiyonu (Kayacan 2007).

2.4.3 İyonik Adsorbsiyon Hakkında

İyonik adsorbsiyonda elektrostatik çekim kuvveti yoğun bir şekilde iyonların yüzeydeki yüklü bölgelere iyonik yüklerinin özelliklerine bağlı olarak tutunması işlemidir (Topal 2011). Bu adsorbsiyon çeşidinde zıt elektrik yüklü adsorbant ile adsorbant yüzeyinin karşılıklı birbirini çekmesi durumu ile iyonik bağ yaparak adsorbsiyon oluşturması söz konusudur (Kayacan 2007).

Adsorbsiyon çeşitleri olan fiziksel, kimyasal ve iyonik adsorpsiyon arasında kesin bir ayırım yapılamaz. Çünkü üçü peş peşe gerçekleşebilmesinin yanında aynı anda da gerçekleşebilmektedirler (Topal 2011).

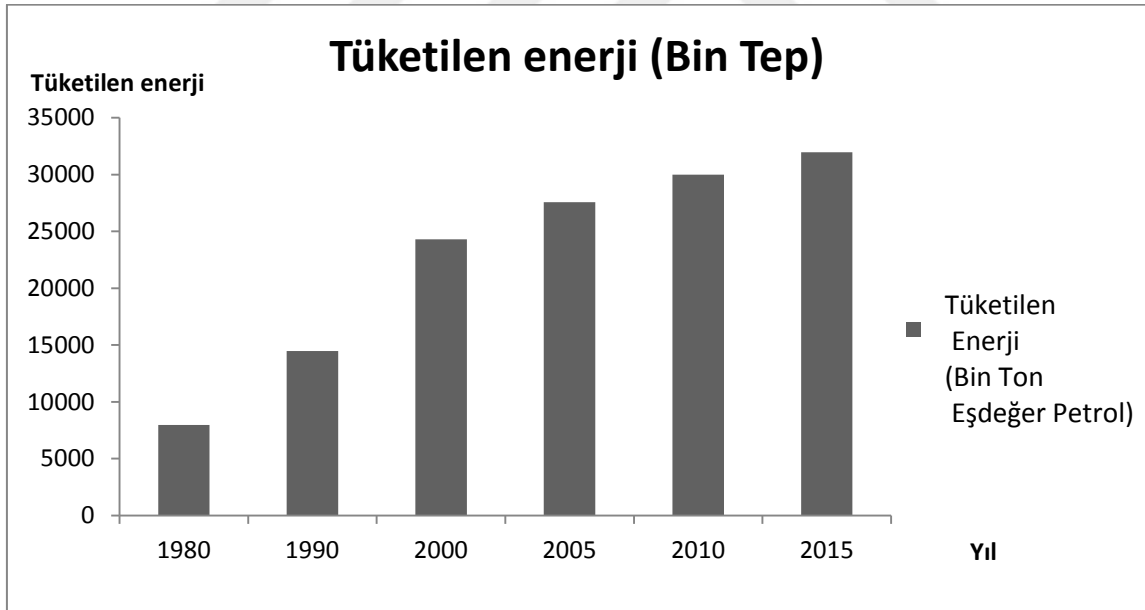
2.5 Membranların Enerji Tasarrufuna Etkisi

Kolay bir şekilde enerjiye dönüştürülebilen doğal kaynakların tükenme olasılığının artması insanları bu doğal kaynaklara alternatif kaynaklar ve çözümler üretmeye yönlendirmektedir. Ayrıca üzerine politikalar yapılan dikkatte alınması gereken önemli bir konudur. Enerji harcamalarının düşürülmesi ve israf edilmesinin sıfıra indirilmesi büyük bir ihtiyaç olmuştur. Bu durumu iyileştirmek için devamlı yeni çözümler araştırılmaktadır.

Şu an ülkemiz harcadığı enerjinin neredeyse yarısını yurtdışından almak durumundadır. Ülkemizde enerji tasarrufuyla alakalı araştırmaların önemi 1970 senelerinde meydana gelen petrol krizinin ardından çok daha iyi anlaşılmıştır (Akbaş 2018).

“Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Arttırılması İçin Alacakları Önlemler” konusundaki yönetmelik 1995 yılına çıkarılmıştır. Endüstrideki enerji tasarrufu, az enerji kullanılarak daha yüksek kapasite ve kalitede ürün elde etmek olarak tanımlanmaktadır. Bugün rekabetçi koşulların doğmasıyla şirketlerin enerji giderlerinin artmasıyla işletmelerde enerji tasarruflarının gerçekleştirilebilmesiye teknolojinin geliştirilmesi, işletme üretim koşullarının iyileştirilmesi, devamlı olarak kontrol edilmesi ile mümkündür (Akbaş 2018).

Enerjinin en fazla harcandığı yerlerin başında endüstriyel sanayidir. Ülkemizde 1980 - 2015 yıllarında endüstrideki enerji tüketimi Şekil 2.13’te gösterilmektedir.



Şekil 2.13 1980-2015 yıllarında ülkemizdeki endüstride harcanan enerji miktarı (İnt. Kyn. 2).

Enerji harcamalarının azaltılması yönünde oluşan ihtiyaç membran teknolojileri açısından da dikkate alınan bir konu olmuştur. Membranların çok düşük bir enerji tüketimi ile küçük maliyetlerle filtrasyon işlemlerinde kullanılması tercih edilmesini arttırdı ve günümüz teknolojisinde göz odağı haline geldi.

Bu konu ile alakalı olarak ABD’de kimyasal ayrıştırma yaklaşık yarı enerjisini, ülke genelinde ise %10- 15 oranlarında enerji tüketmektedir. Bu sebep ile ısının gerek olmadığı düşük enerjili alternatifler geliştirilmektedir. Membran ve düşük enerji görüşünün birleşmesi ile ayırmaların % 80 i için 10 kat daha fazla enerji tasarrufu elde edilebilir (Sholl, Lively 2016).

2.6 Ağır Metaller

2.6.1 Ağır metaller hakkında genel bilgilendirme

Yoğunluğu 5 g/cm^3 ’ün üzerindeki iri taneli ve atom ağırlığı 63,546 g ile 200,590 g arasında değişiklik gösteren yüksek toksikite etkisini bünyesinde bulunduran elementlerdir. Kobalt, demir ve bakır vb. gibi ağır metallerin düşük derişimleri insan sağlığı açısından ihtiyaç olsa da yüksek derişimlerde şiddetli toksik sonuçlara neden olmaktadır. Kontrol altına alınmayan sanayileşme, durgun göllerde ve su havzalarında yeterli seviyede önlem alınmamasının sonucu olarak su bulunan ortamlarda ağır metal derişimleri devamlı olarak artmakta ve kirlilik olarak tekrar karşımıza çıkmaktadır. Bugün endüstriyel atıklar başta olmak üzere çevreye yayılan toksik bileşenler doğanın dengesini bozacak dereceldedir (Güler, Can 2017). TSE 266 (2005) ve ayrıca WHO (2011)’de verilen bilgilendirmelere göre içme sularında bulunması gerekli en fazla metal miktarları Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 İçme sularında bulunması gerekli en fazla ve ayrıca sağlık açısından tavsiye edilen ağır metal değerleri (Göksel 2015).

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

Ağır metaller yerkürede doğal bir şekilde var olan bileşenlerdir. Bozularak ortadan kaldırma imkanı bulunmamaktadır. Sürekli olarak biyobirikim eğiliminde bulunmalarından dolayı insan sağlığı açısından çok tehlike arz etmektedirler. Çevredeki kirlenme ile alakalı olarak şu örnek verilebilir; 1932 yılında Japonya’da cıva içeriği yüksek olan atık maddeler Minimata sahiline dökülmesinin ardından deniz ürünlerinin içerisinde cıva birikerek olayın gerçekleşmesinden tam 20 yıl sonra 1952’de cıvayla kirlenmiş su ürünlerinin tüketilmesinin sebep olduğu cıva zehirlenmesi meydana gelmiştir. Bu olaydan sonra Japonya sanayide katı çevresel kanunlar oluşturmuştur (Güler ve Can 2017).

Şu bilinçte olmalıyız ki; suları ağır toksit metaller değil insanlar kirletir. Bunun ciddi bir örneği de maden ocaklarından çıkan ağır metallerin direkt olarak akarsu ve yer altı sularına karışması ile sıklıkla karşılaşılmasıdır. Burada tek etken insandır. Ağır metaller çevresel kirlilik bakımından şiddetli sorunlar meydana getirmektedir. Bahsi geçen bu

zararlı sayılan ağır metallerin az miktarda bulunmaları sağlıklı büyüme ve birçok farklı konuda insan sağlığı açısından gerekli olabilirken diğer yandan bu oranın artması ile vücutta bulunmaları toksik sonuçlara sebep olmaktadır. Bunun bir örneği de askeri gemilerde görülmektedir. Gemilerin su altında kalan bölgelerinde kullanılan zehirli boyadan devamlı sızan bakır ve diğer toksit maddeler dipte bulunan tortulaşmış maddelerle karışırlar. Bir süre sonra bu miktar çok fazla artması ile tehlike arz etmektedir (Çeliksaş 2007).

İnsan vücuduna ağır metallerin girmesi üç farklı yol ile olur. Solunum, sindirim ve deri yoluyla girebilmektedirler. Ağır metallerin bazıları canlılar için çok zararlıdır. Canlı vücudunda kanserojen veya zehir etkisi yapmaktadırlar. Tarım ilaçları, evsel ve bilhassa endüstriyel atıklar, radyoaktif kalıntılar ve maden ocakları gibi antropojen kaynakların kullanımıyla ağır metallerin çevre kirliliğine sebep olmasının yanında vasıtalarda kullanılan lastiklerin aşınması ve yüksek bir oranla ısınma ve enerji amacı ile kullanılan fosil yakıtlar da doğaya ciddi ve tehlikeli bir miktarda ağır metal salınımı yaparak kirliliğe sebep olmaktadır. Yiyeceklerin, içeceklerin ve diğer maddelerin ağır metallerle kirlenmesi, dünyada ciddi sağlık bozukluklarını da beraberinde getirmektedir. Bugün ilk olarak kanser hastalığı olmak üzere büyüme geriliği, vücut direncinin düşmesi, kısırlık ve diğer hastalıklara dayanıklılığın azalması gibi durumların doğmasında ağır metaller yüksek oranda rol almaktadır (Göksel 2015).

Sanayi atıkları yada asit yağmuru yağması durumunda toprağın ve içerisinde barındırdığı ağır metallerin çözünmesi olayı meydana gelir. Çözünen bu ağır metaller nehir, akarsular, göller, denizler ve yer altı sularına karışırlar. Büyük sular ile karışan ağır metaller çok seyrelirler ve sülfat, karbonat ve sülfür oluşturarak katı hal alıp dibe çökerler ve zamanla burada zenginleşirler. Oluşturdukları tabakanın adsorbsiyon özelliği çok düşük olduğu için kendi konsantrasyonu giderek artar ve ağır metal katmanı oluştururlar. Türkiye’de tuz gölünde en yüksek seviyede olmasının yanında bütün sularımızın civarındaki kontrolsüz sanayileşmenin sonucu olarak ağır metal konsantrasyonu devamlı artmaktadır (Çeliksaş 2007).

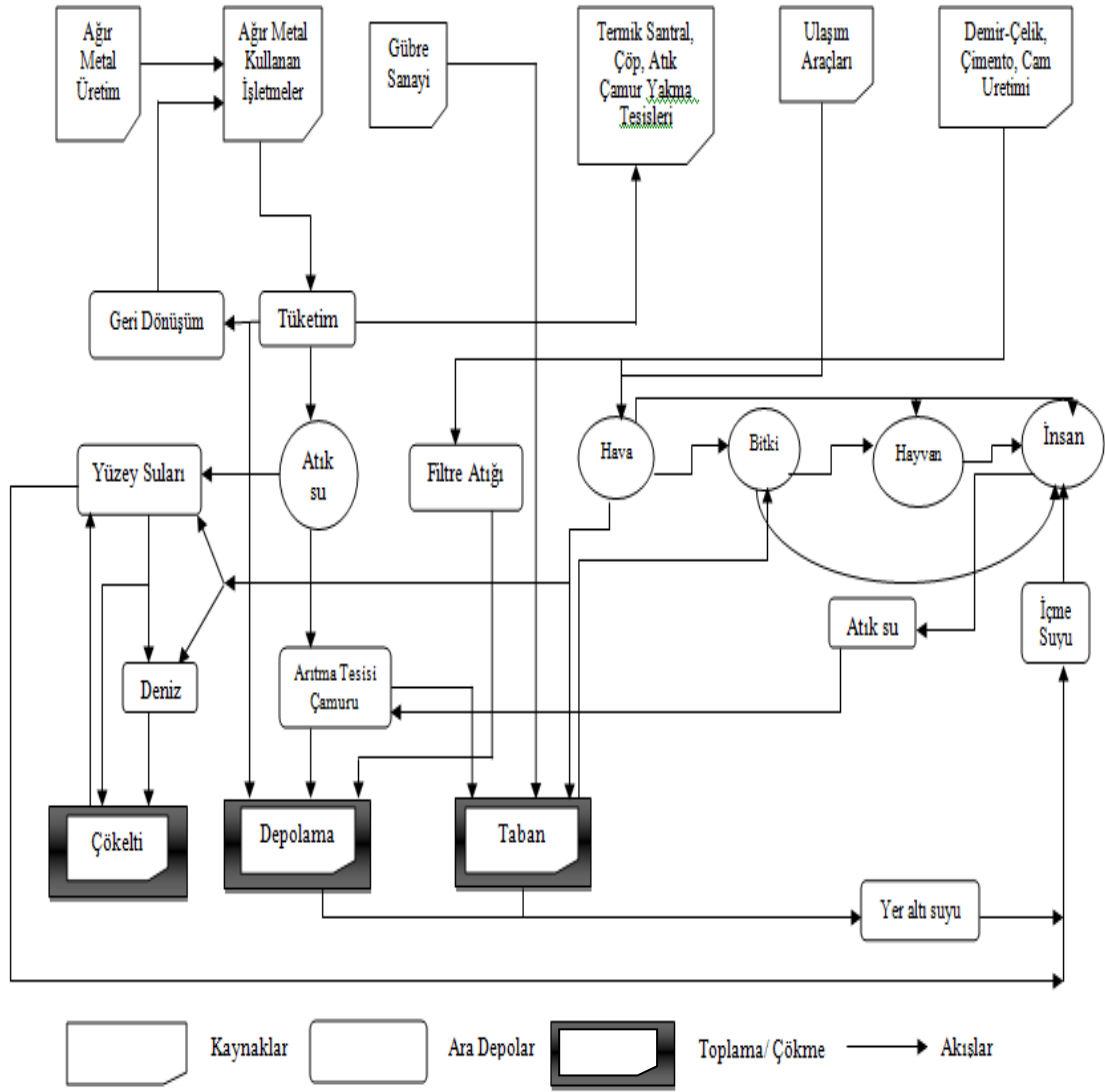
Çevre kirliliğindeki çoğu etkenin sorumlusu olduğu gibi insan ağır metallerin çevreye yayılmalarında da insanın sebep olduğu etkiler diğer etkenlere göre çok daha yüksektir. Devamlı olarak ayrıca kullanıma da bağlı olarak kirlenmenin dışında kazaların sebep olduğu d ağır metallerin çevreye yayınımları da ciddi seviyelere ulaşabilmektedir. Örnek olarak 1979 yılında Lengrich içinde bulunan çimento tesisinde oluşan kazadaki talyum kaçağı gösterilmektedir (Çeliksaş 2007).

Ağır metal salınımının en büyük etkeni olan insan ciddi endüstriyel faaliyetler; çimento üretimi, termik santraller, atık çamur yakma tesisleri, çöp, cam üretimi ve demir-çelik sanayi gerçekleştirmektedir. Egzoz ve bacalar ile havaya salınan ağır metaller hem aerosolleşerek solunum ile direkt olarak, hemde bitkilerin üzerine yapışıp besin zincirine karışarak yine insana dönüp ciddi zararlı etki yapmaktadır (Çeliksaş 2007). Genelde temel olarak sanayilerden atılan metal çeşitleri Çizelge 2.3'te verilmektedir.

Çizelge 2.3 Genelde temel olarak sanayilerden atılan metal çeşitleri (Çeliksaş 2007).

| Endüstriler | Cd | Cr | Cu | Hg | Pb | Ni | Sn | Zn |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Kağıt endüstrisi | - | + | + | + | + | + | - | - |
| Petrokimya endüstrisi | + | + | - | + | + | - | + | + |
| Klor-alkali endüstrisi | + | + | - | + | + | - | + | + |
| Gübre endüstrisi | + | + | + | + | + | + | - | + |
| Demir-çelik endüstrisi | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Enerji üretimi(Termik) | + | + | + | + | + | + | + | + |

Her endüstriyel işletmenin farklı seviyelerde belirli bölümlerinden biyosfere ağır metal salınımı gerçekleştirmektedirler. Genel olarak atık sulara karışan bu ağır metallerin büyük bir bölümü arıtma çamurunda tutulurken bir bölümü de suda çözünmüş vaziyette genel olarak denize dökülürler. Ağır metallerin farklı endüstrilerden doğaya yayılmaları şematik olarak Şekil 2.14’te gösterilmektedir (Çeliksaş 2007).



Şekil 2.14 Ağır metallerin doğaya yayılmasının şematik gösterimi (Çeliktaş 2007).

Demir; yer kürenin % 5'ini oluşturan demir B1 grubundaki geçiş elementlerindedir. Fe^{+2} hiç zorlanmadan çözünebilirken Fe^{+3} ne kadar seyrelse de çözünmez. Fe^{+2} 'den Fe^{+3} 'e geçişlerin gayet basit olması nedeni ile de arındırılması gayet güçtür. Demir elementi, membrana zarar verdiği için bazı membran proseslerinde karşılaşılmamasından kaçınılır. Demir metali suyu seyreltik kırmızı ya da kahverengi renge çevirir. Genel olarak içme sularında risk teşkil etmeden 1-3mg/l civarında bulunur. Sağlıklı bir insan vücudunda bulunması gereken en fazla miktar 3mg/l'dir. Fe^{+2} 'i solventler yada seyrelten kimyasal maddeler yardımı ile, demir arıtma filtreleri ve bazı filtrasyon yöntemleriyle arındırılabilirler. Ayrıca demir elementini bir enerji kaynağı gibi kullanan bazı mikroorganizmalar demir elementini indirgeyip gerçekleştiği yüzey üzerinde yığılma yaparak biyofilm katmanı meydana getirirler. Biyolojik kirliliğe sebep veren bu olay ters osmoz aktarma gözeneklerini tıkayabilmekte ve buradaki süreçte membranı olumsuz etkilediği için istenmemektedir (Ünal 2015).

Bakır; geçiş elementlerindedir ve 1B grubunda yer almaktadır. Demir ile aynı grupta olmasına karşın çok daha kolay işlenen ve doğada sıklıkla bulunan bir madendir. Oldukça yüksek iletkenliğe sahiptir. İletkenliğinin yüksek olmasının ve doğada bol miktarda bulunmasının yanında kolay işlenebilir olması başta elektrik olmak üzere endüstrinin birçok alanında sıklıkla kullanılmaktadır (Aksoy 2012). Kimyasal yapısı gereği bakır hava sever grupta yer almaktadır. Havanın bulundurduğu bakır derişimi organize sanayi bölgelerine olan uzaklığına göre farklılık göstermektedir. Sanayi tarafından kirletilmemiş bölgelerde bulunan deniz sularındaki bakır derişimi 0,15µg/L iken akarsularda ise bu değer 1-20 µg/L aralığındadır. Dünya Sağlık Örgütünün açıklamasına göre bakırın içme sularında bulunabileceği üst sınır değeri 2 mg/L'dir (Alkan 2008).

Krom; 6B grubuna mensuptur ve 24 atom numarasına sahiptir. Bulunduğu duruma göre 3 veya 6 değerlik alırlarken bu durumu sedimentler yada topraklarda bulunmasına göre değişiklik göstermektedir. Değerliği 3 iken toksikitesi düşük iken 6 değerliğini aldığıda çok daha etkili toksik bir forma geçmektedir. Kaynama noktası inert olmasında etkisi ile birlikte çok yüksek bir kimyasaldır. Krom elementi yaygın olarak metal işlemlerde, kağıt fabrikalarında, elektrik santrallerinde ve kimya endüstrisinde kullanılır. Ayrıca metalik süreçler, elektrostatik kaplama, tekstil ve benzeri endüstrilerin

atıklarıyla krom kirliliği oluşabilir (Brad 2005).

Kromun insan vücuduna faydalı etkilerinden birisi insülin aktarıcılığını üstlenmiş olmasıdır. Kromun insan vücudunda bulunması gereken değer altına düştüğünde yalancı şeker diye adlandırılan olay belirmeye başlamaktadır. Cr^{+6} yüksek toksikiteye sahip olduğu için kanserojen sonuçlar doğurmaktadır. Zararlı yönlerinden bir diğeri ise korozyon ve tahriş edici olmalarıdır. Sindirim sistemi, akciğer ve deriyle teması sonucunda insan sağlığını bozmaktadır (Gökal 2014).

Arsenik; doğada yapısını koruyarak uzun süre boyunca bozunmadan durabilmektedir. Doğada bulunan çoğu canlıda toksik etki oluşturmaktadır (Yılmaz ve Ekici 2004). Arseniğin kullanım alanlarından birkaçı; boya endüstrisi, boya endüstrisi, cam endüstrisi, tarım ürünlerinin korunması ve tarımda böcek ilacı olarak kullanılmasıdır. Dünya üzerinde genel olarak kükürt çıkan madenlerin arasına karışmış vaziyette, demir oksitlerinin içeriğinde ve sülfürlü madenlerde konsantre halleri ile bulunan arsenik jeolojik doğa olayları esnasında yeraltı sularına karışması durumunda canlı yaşamında risk teşkil etmektedir (Kovancı 2008). Arsenik'in doğaya dağılmasında su etkindir. Petrol türevleri fosillerden elde edilmektedir ve bunların yanması sonucu doğaya arsenik yayılımını gerçekleştirmektedir (Kahraman 2007).

Arsenik insan vücuduna girdiği gibi hızlıca kana karışmaktadır. Kan yolu ile kaslara, karaciğere, deriye, dalağa ve böbreğe geçer (Güler ve Çobanoğlu 1997). WHO'nun açıklamasına göre içme sularında ve kullanma sularında en fazla bulunması gereken arsenik seviyesi 10 ppb'dir. İçeriğinde 50 ppb ve daha fazla arsenik bulunduran sular sağlık açısından kesinlikle kullanılmamalıdır (Kahraman 2007). Arseniğin 70-180mg aralığındaki bir miktarda alınmasının sonucu canlılar için öldürücüdür (Çağlarırnak ve Hepçimen 2010). Arsenik zehirlenmelerinde karşılaşılan durumlar; kusma, mide bulantısı, şiddetli karın ağrısı gözlemlendikten sonra kalp ve dolaşım eksikliği sonucu olarak birkaç saat içinde ölüm ile karşılaşılabilmektedir (Kahraman 2007).

Bor; yer kürede genel olarak kömür madenlerinde, okyanuslarda, bazı toprak türlerinde ve tortul kayaçlarda bulunan elementlerdendir. Seramik endüstrisinde, cam sanayinde, metalürji endüstrisinde, nükleer çalışmalarda, yakıt, enerji ve sağlık alanlarında kullanılmaktadır (Kot 2009). Bor elementinin olumsuz etkilerinden biri sıcak sularda çok fazla oranda rastlanılan kirleticilerdendir (Şimşek 2005). Borun insan vücuduna girme yolları; bor miktarı fazlaca bulunan kozmetik ürünlerinin kullanılarak deri yolu ile alınması, bor oranı yüksek olan denizlerdeki su ürünlerinin tüketilmesiyle alınması, bitkilerin üretiminde bor bileşeni bulunan gübrelerin tercih edilmesiyle yada yüksek bor miktarlı bir toprakta yapılan tarımdan elde edilen gıdaların tüketilmesi ile gerçekleşmektedir (Güler ve Çobanoğlu 1997). Yetişkin bir birey üzerine öldürücü etki yapabilecek bor miktarı günlük 15-20g'dır. Bebek ve çocuklarda bu miktar günlük 3-6g civarındadır (Çağlarırnak ve Hepçimen 2010).

Cıva; biyolojik herhangi bir etkisi bulunmayan cıva toksik maddeler listesinde ilk sıralarda bulunmaktadır (Zhou *et al.* 1998). Cıva ve türevleri boya endüstrisinde ve kağıt endüstrisinde, termometre üretiminde, diş dolgusu yapımında ve kozmetik ürünlerde bulunmaktadır (Akcan ve Dursun 2008). Cıvanın yüksek oranda vücuda girişi sonucunda merkezi sinir sistemindeki düzeni bozarak beyin gelişimini engellemektedir. Bunun yanında böbreklerin içeriğine zarar vermesi sonucu egzama şekillenmesine sebep olur (Poyraz 2014).

Kadmiyum; ağır metaller listesindedir ve toksikitesi yüksek zararlı bir elementtir. Metal halinde bulunan kadmiyum gıdaların bulunduğu malzemelerin üretiminde yada kaplanılmasında kesinlikle kullanılmamalıdır. Saf elementinin yanında buhar hali ve bileşiklerinden olan bazı tuzlar da toksiktir. Kadmiyum doğaya maden ocakları tarafından, rafineriler tarafından, endüstriyel atıklar tarafından, fosfatlı tarım gübreleri tarafından, bazı böcek ilaçları tarafından ve motorlarda kullanılan pinomatik yağlar ile yayılabilmektedir (Orbak 2009).

Kurşun; yerkürede ve biyosfer katmanında sürekli olarak bulunmaktadır. Kurşunun taşınması ve yayılması genel olarak atmosfer sayesinde gerçekleşmektedir. Genel de saf halden çok bileşik olarak gümüş, bakır, çinko, antimon ve demir metalleri ile bir arada görülmektedir. Canlı yaşamında sağlık açısından eksikliği bir sorun teşkil etmemekle beraber besin ve atmosfer aracılığı ile vücutta bulunmaktadır. Dışarıdan insan vücuduna genel olarak büyük bölümünü kapsayan su ve diğer içecekler, solunum ile atmosferden taşınması ve ayrıca besinler aracılığı ile giren kurşun oranı yükselir ve vücuttan uzaklaştırılmayacak miktarlara gelir kas, doku, böbrek, karaciğer ve diğer organlarda birikirler (Güler ve Çobanoğlu 1997).



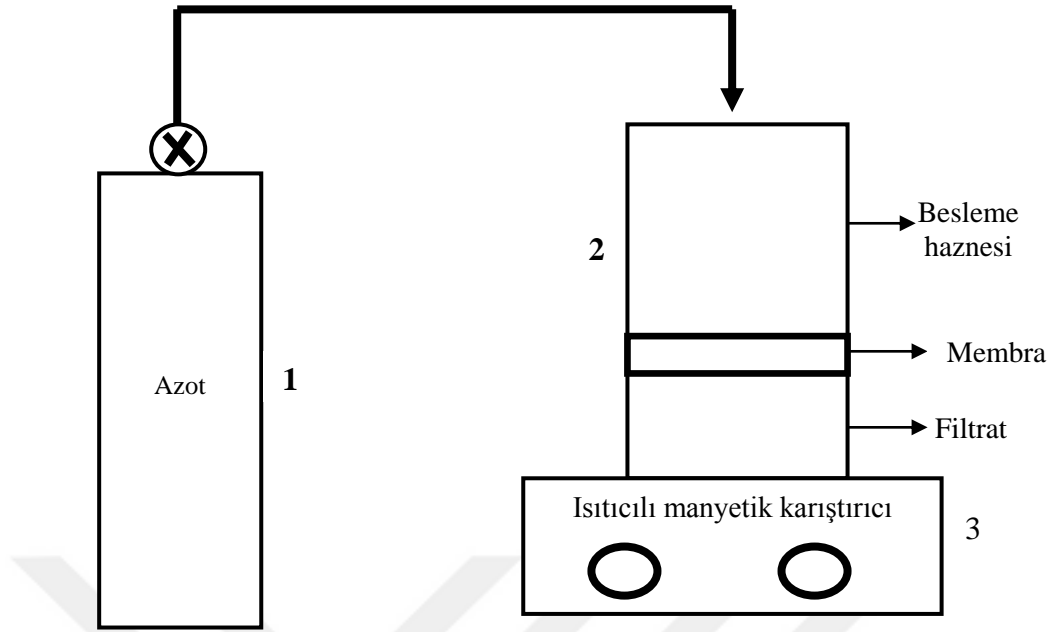
3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyaller

3.1.1 Deneyleerde Kullanılan Alet ve Düzenekler

- Filtrasyon Cihazı (Milipore Amicon 8400)
- pH Metre (OHAUS)
- Etüv (İsolab)
- Otomatik pipet (Eppendorf)
- Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı (İka)
- eker Ocağı (ORKALAB)
- UV-VisSpektrofotometre (UV-1700 Pharma SHIMADZU)

Filtrasyon prosesi Şekil 3.1'den anlaşılacağı üzere filtrasyon mekanizması, ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ve basınç ayarlı azot gazı tüpünün bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Filtrasyon mekanizmasının içerisindeki yerine hazırlanan membran yerleştirilir. Belirlenmiş derişimde hazırlanmış olan metal çözeltisinin pH değeri istenilen değere ayarlanarak filtrasyon mekanizmasının besleme bölümüne mez r ile ölçülerek 300 ml hacmine getirilip dökülür. Filtrasyon mekanizmasının contalı sızdırmaz olan kapağı ve olası basınç yükselmesine karşı koruyucu olan apart takılır ve ısıtıcılı manyetik karıştırıcıya yerleştirilir. Isıtıcılı manyetik karıştırıcı belirlenen hıza ayarlanır ve filtrasyona hazır duruma getirilir. Sürücü basınç kuvveti için kullanılan azot gazı contalı dişlileri yardımı ile filtrasyon mekanizmasına bağlanır. Azot tüpünün basınç göstergesi yardımı ile belirlenmiş olan basınç değerine getirilir. Basınç değeri ayarlandığı anda filtrasyon işlemi başlamış olur. Basınç yardımı ile membran içinden geçen s z nt  çıkış hortumu ile erlene aktarılır. Filtrasyon işlemi başladığı andan 300ml çözeltinin bittiği ana kadar geçen süre kronometre ile gözlemlenerek akı değeri hesaplamalarında kullanmak üzere not edilir. Filtrat denilen s z nt den membran verimini hesaplamak için analizde kullanmak üzere deney tüplerine numuneler alınır.

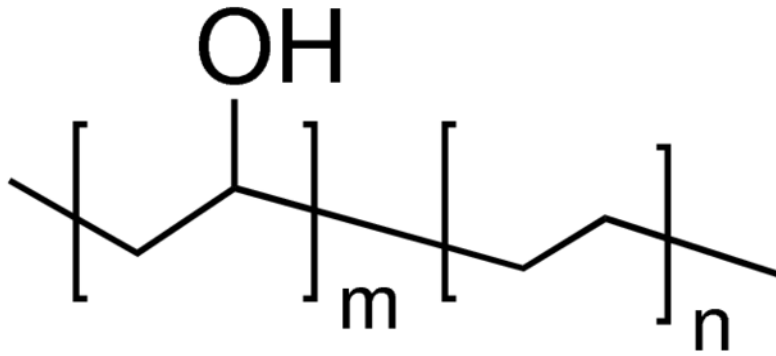


Şekil 3.1 Filtrasyon prosesinin şeması

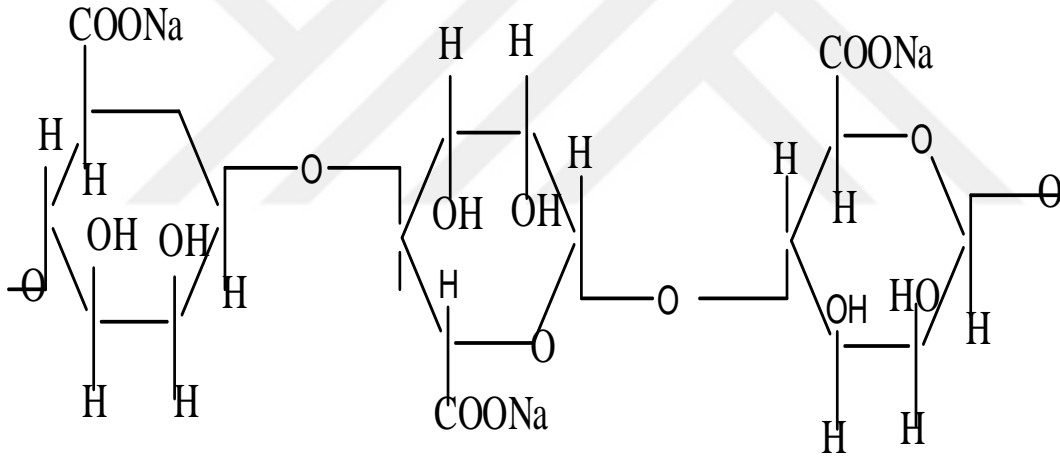
- 1: Basınç ayarlı azot tüpü
- 2: Filtrasyon mekanizması
- 3: Isıticılı manyetik karıştırıcı

3.1.2 Deneylerde Kullanılan Maddeler

- Poli(vinil alkol-co-etilen)
- Dimethyl Sulfoxide (DMSO) (Merck)
- 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 (AA) (Sigma)
- Potasyum tiyosiyanat KSCN (Riedel)
- HCl (Merck)
- NH_3 (Sigma-Aldrich)



Şekil 3.2 Poly(vinil-alhol-co-ethylene)'nin açık kimyasal formülü (İnt. Kay. 3).



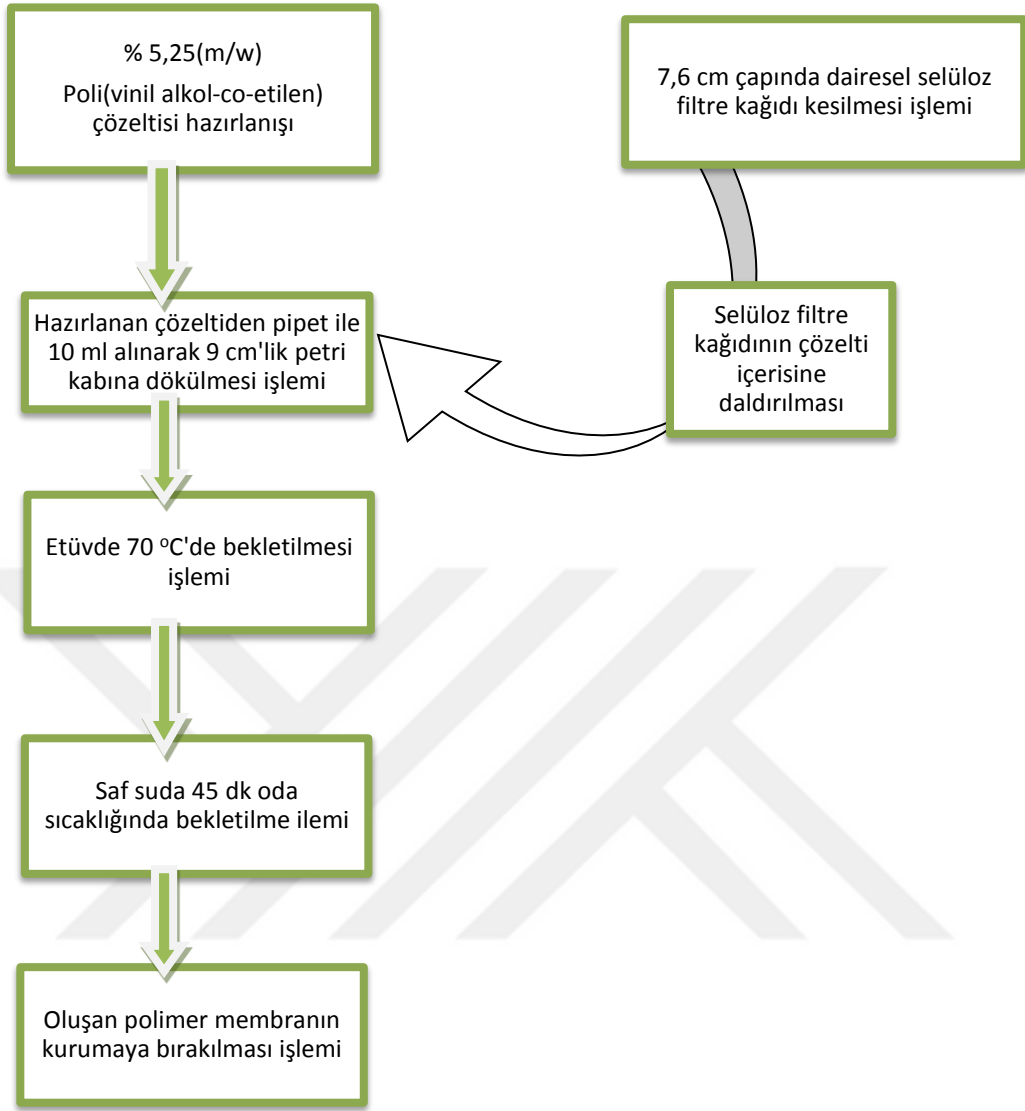
Şekil 3.3 Ajinikasitin (Sodyum tuzu) açık kimyasal formülü (İnt. Kay. 4).

3.2 Metotlar

3.2.1 Polimer Membran Hazırlanması

Çalışmalarda öncelikli olarak Selüloz Kompozit Membran kullanımına karar verilmiştir. Bu membranın hazırlanışında selüloz olarak MN 640 de 125 mm selüloz filtre kağıdı, polimer olarak ise poli(vinil alkol-co-etilen) seçilmiştir. Bu kompozit membranın hazırlanış şu şekildedir;

İlk olarak selüloz filtre kağıt 7,6 cm çaplı daire şeklinde kesilmiştir. Daha sonra polimer çözeltisi hazırlanmıştır. Polimer çözeltisinde çözücü olarak DMSO (dimetil sülfoksit) kullanılmıştır. Konsantrasyonu akı ve tutulmaya en uygun olan % 5,25 derişimindeki polimer çözelti seçilmiştir. Hazırlanan polimer çözeltisinden 10 ml alınarak 9 cm çaplı petri kabına pipet yardımıyla konulmuştur. Önceden hazırlanmış 7,6 cm çaplı selüloz filtre kağıt petri kabındaki çözeltiye daldırılmıştır. Ardından 70 °C'ye sabitlenmiş etüvde 17 saat 40 dakika kurutulmuştur. Çözücü buharlaşınca poli(vinil alkol-co-etilen)/selüloz kompozit membran oluşturulmuştur. Kurutma sonrası petri kabı etüvden çıkartılarak üzerine iyice su altında kalacak şekilde oda sıcaklığında saf su eklenip 45 dakika bekletilip membran zarar görmeden petri kabından alınmıştır. Şekil 3.5'te ayrıntılı membran hazırlanış şeması gösterilmektedir.

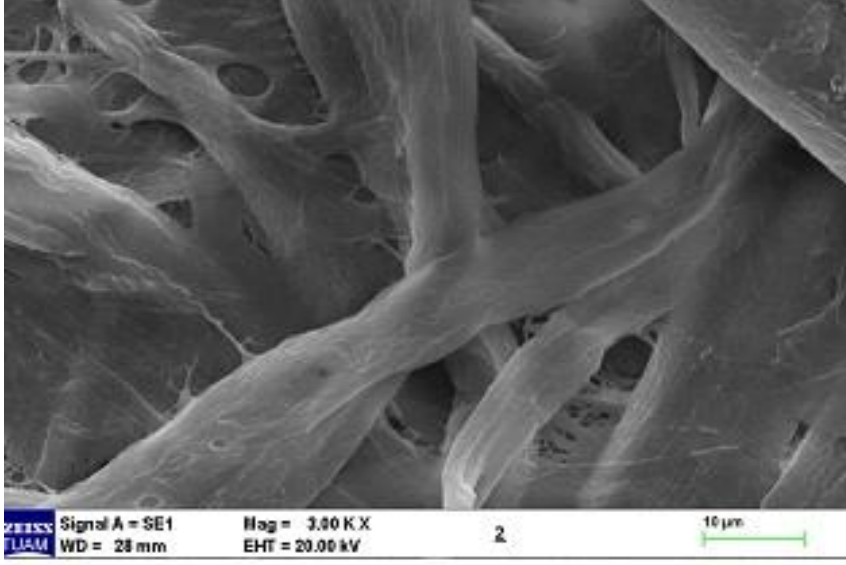


Şekil 3.4 Ayrıntılı membranların hazırlanış şeması.

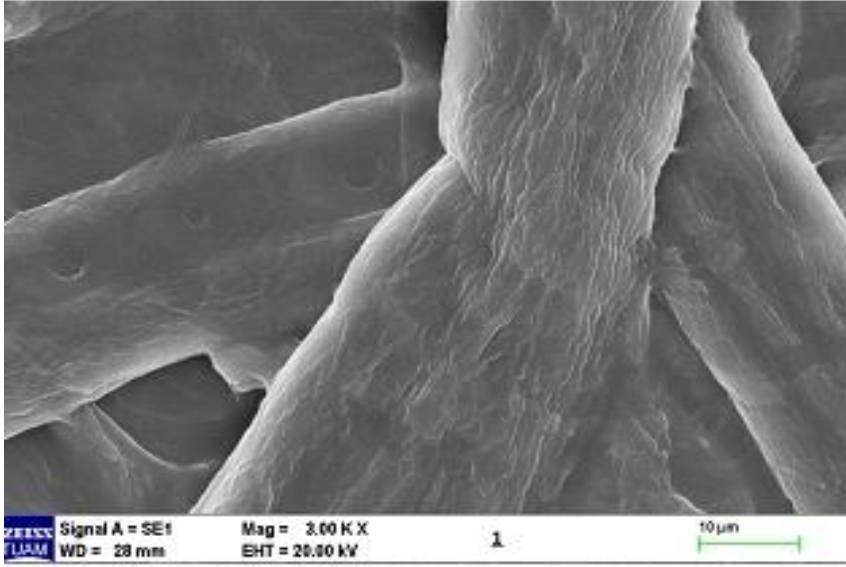
Oluşturulan membranın içeriği Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Analizlerde kullanılan membran içeriği çizelgesi.

| Membran | Membran içeriği |
|----------------------------------|---|
| Selüloz kompozit polimer membran | %5,25 (m/v) Poli(vinil alkol-ko-etilen)/Selüloz |



(a)



(b)

Şekil 3.5 Yeni membranların SEM görüntüleri

(a) Selüloz filtre kağıdı

(b) %5,25 (m/v) Poli(vinil alkol-ko-etilen)/selüloz filtre kağıdı ile oluşturulan polimer kompozit membran.

Büyütme derecesi: $3000 \times$ (a ve b için)

3.2.2 Membranların Filtrasyon İşleminde Kullanılması

Bu çalışmada hazırladığımız %5,25 (m/v) Poli(vinil alkol-ko-etilen) / selüloz kullanılarak oluşturulan polimer kompozit membranlar filtrasyon mekanizmasındaki yerlerine koyularak önceden hazırlanan 300 ml'lik Fe(III), Fe(III)+AA, Cu(II), Cu(II)+AA çözeltilerinden belirlenen pH'a ayarlanarak filtrasyon mekanizmasının besleme haznesine mezür yardımı ile dökülmüştür. Azot tüpü ve ayar vanası yardımı ile basınç uygulanarak membrandan üzerinden geçişi sağlanıp çözeltinin tamamı membran içerisinden geçtiğinde erlende toplanılan süzüntülerden numuneler alınmıştır. Filtratlardaki metal derişimleri Fe(III), Fe(III)+AA, Cu(II) ve Cu(II)+AA çözeltileri için UV-Vis Spektrometre cihazı ile belirlenmiştir. Fe(III) çözeltisi için KSCN ve HCl kullanılır ve dalga boyu olarak 456 nm seçilir. Fe(III)AA çözeltisi için KSCN ve HCl kullanılmaz, dalga boyu olarak ise 290 nm kullanılarak ölçülmektedir. Cu(II) için 357 nm dalga boyu kullanılırken Cu(II)AA için 238 nm dalga boyu belirlenmiştir. Ağır metal iyonlarının tutulma yüzdesi de aşağıda belirtilen denklem yardımı ile hesaplanmıştır.

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

C_f : Süzüntü çözeltisi konsantrasyonu

C_b : Besleme çözeltisi konsantrasyonu

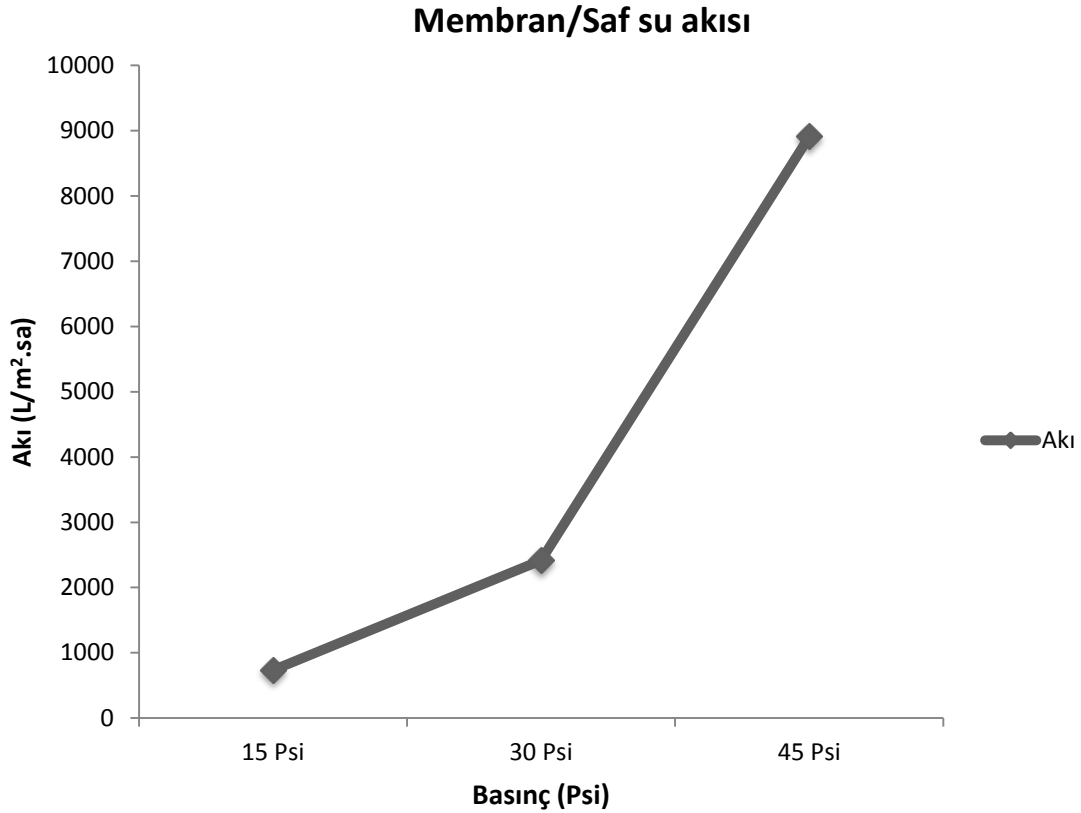
4. BULGULAR

4.1 Membranın Saf Su Geçişinin Araştırılması

Üretilmiş olan ve içeriği %5,25 (m/v) Poli(vinil alkol-ko-etilen)/selüloz olan polimer kompozit membrana 15 Psi, 30 Psi ve 45 Psi basınç değerleri altında saf su geçirgenlikleri araştırılmıştır. Basınç değeri yükseldikçe akı değerinin de yükseldiği görülmüştür. Üretilen polimer kompozit membranların saf su geçirgenlikleri Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1 üzerinde ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Üretilen membranların uygulanan farklı basınç altında saf su geçiş akı değerleri.

| Membran | 15 Psi | 30 Psi | 45 Psi |
|---|--------|--------|--------|
| Membranın akı değeri ($L/m^2 \cdot sa$) | 734 | 2415 | 8909 |



Şekil 4.1 Üretilen membranın farklı basınçlar altındaki saf su akıları.

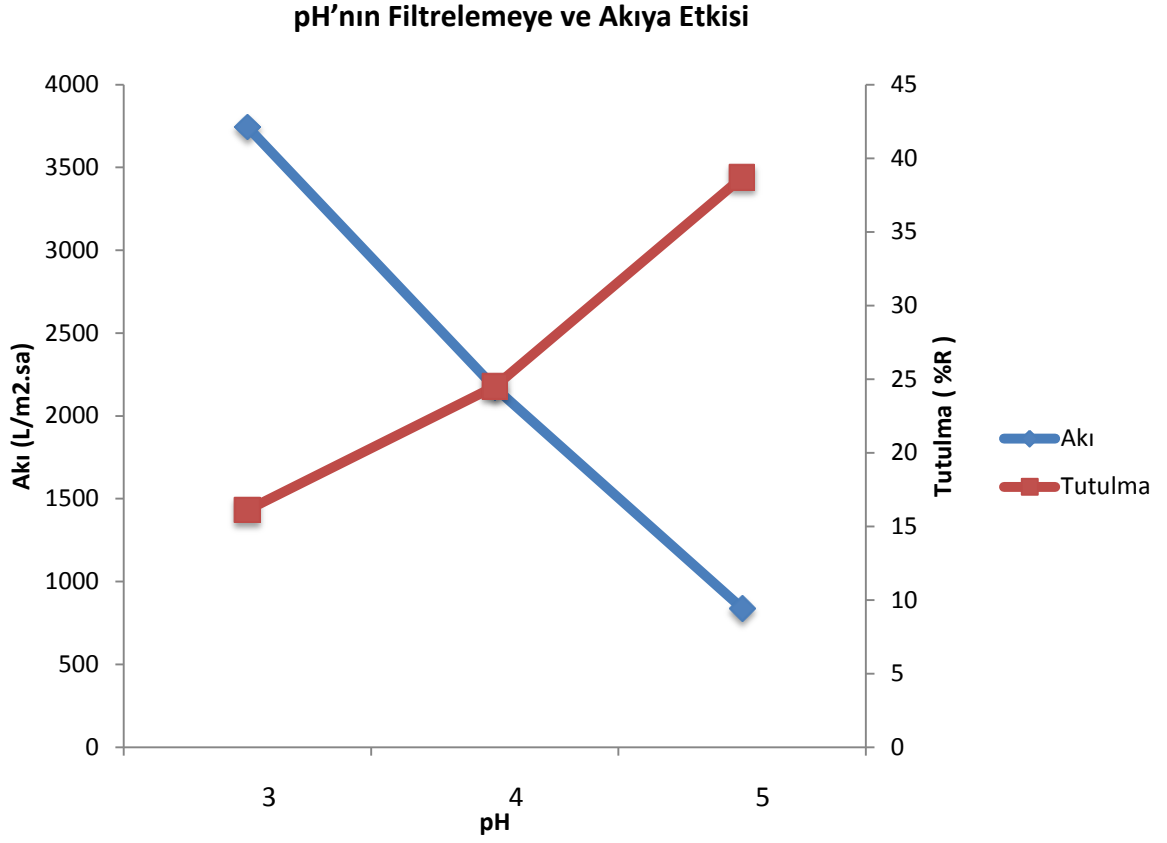
4.2 Fe(III)'nin Kompleksiz Ortamda Sulu Çözeltilerden Uzaklaştırılması

4.2.1 pH'nin Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi

Ağır metal olarak demirin kullanıldığı $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisiyle pH etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan bu Fe(III) çözeltisi önceden hazırlanmış olan membran ile 45 Psi basınç altında, sürekli 300dev/dk hızında karıştırma farklı pH'larda filtrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu pH'ların tutulma ile akıya yaptıkları etkileri araştırılmıştır. pH değeri düşük iken tutulma oranının da düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçların ise H^+ iyonlarının pozitif yüklü olan Fe(III) iyonlarını itmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Fe(III) filtrasyon uygulamaları için pH'ın tutulmaya ve akıya uyguladığı etkiler Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2 üzerinden ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Demir(III)'ün filtrasyon işleminde tutulma ve akı üzerine pH değerinin etkisi ($C_{Fe(III)}$: $0,5 \times 10^{-4}$ M, P:45psi, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

| pH | Tutulma (%R) | Akı ($L/ m^2 \cdot Sa$) |
|----|--------------|---------------------------|
| 3 | 16,1 | 3745 |
| 4 | 24,5 | 2171 |
| 5 | 38,7 | 839 |



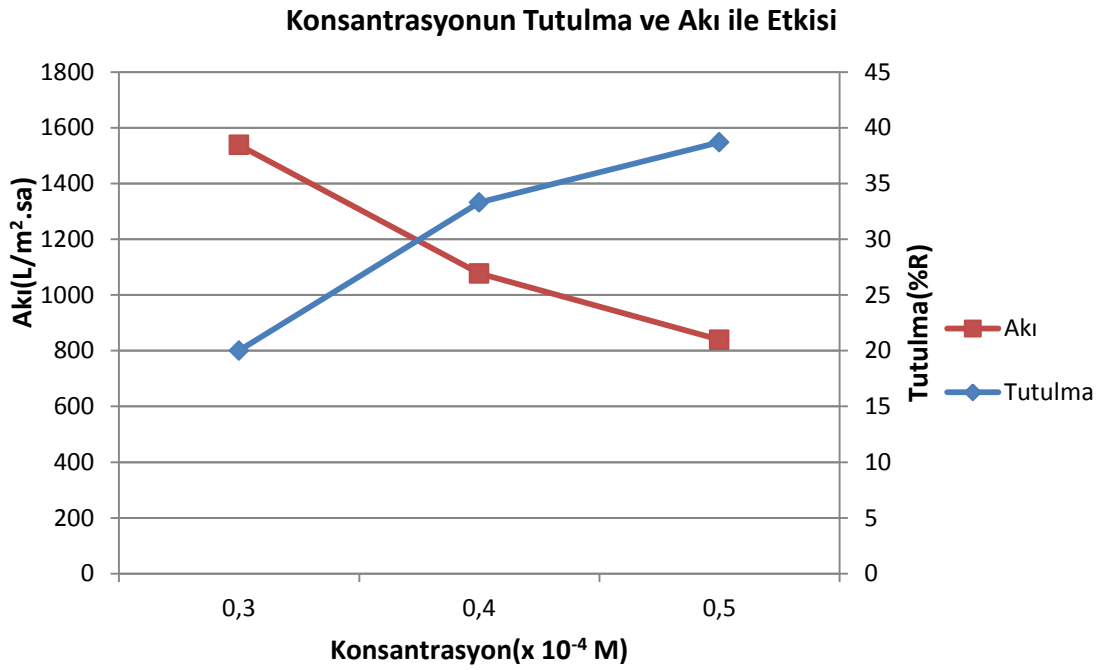
Şekil 4.2 Fe(III)'ün filtrasyonunda pH'ın tutulma ile akı üzerindeki etkisi ($C_{Fe(III)}$: $0,5 \times 10^{-4}$ M, P: 45psi, karıştırma hızı: 300 dev/dk.)

4.2.2 Konsantrasyonun Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonda hazırlanan Fe(III) çözeltilerinin tutulma ile akı üzerindeki etkileri Çizelge 4.3 ile Şekil 4.3'te görülmektedir. pH 5'teki Fe(III) seyreltik çözeltisi için hazırlanan polimer kompozit membranlar kullanılarak 45 Psi basınç altında, 400 dev/dk karıştırma hızında karıştırılarak farklı derişimlerdeki filtrasyon denemeleri gerçekleştirilerek sonuçları araştırılmıştır. En yüksek seviyedeki tutulma $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisinde gözlemlenmiştir. Konsantrasyon arttırıldığı zaman akı değeri yüksek olasılık ile membran üzerinde kek oluşturduğu için azalma gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3 Fe(III)'ün filtrasyon uygulamasında farklı konsantrasyon değerlerinin tutulma ile akı üzerindeki etkisi (pH: 5, P: 45 psi, Karıştırma hızı: 300dev/dk).

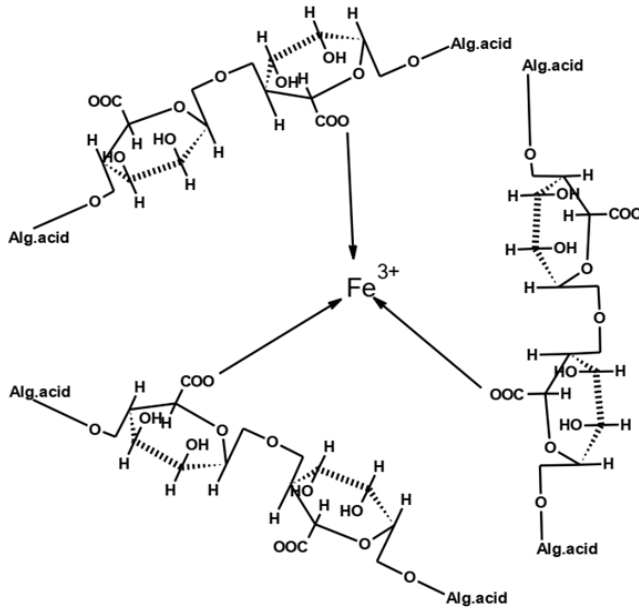
| Konsantrasyon | Tutulma (%R) | Akı (L/ m ² . sa) |
|----------------------|--------------|------------------------------|
| $0,3 \times 10^{-4}$ | 20 | 1538 |
| $0,4 \times 10^{-4}$ | 33,3 | 1077 |
| $0,5 \times 10^{-4}$ | 38,7 | 839 |



Şekil 4.3 Fe(III)'ün filtrasyon uygulamasında farklı konsantrasyonların tutulma ile akı üzerine etkisi (pH: 5, P: 45 psi, Karıştırma hızı:300dev/dk).

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

Fe(III) ve AA birleşimi ile oluşan kompleksin yapısı Şekil 4.4'te görülmektedir. AA Fe(III)'ü bağlayarak büyük çaplı kompleks oluşturmak için kullanılmıştır. Bu büyük çaplı kompleksten dolayı tutulma da artmaktadır.



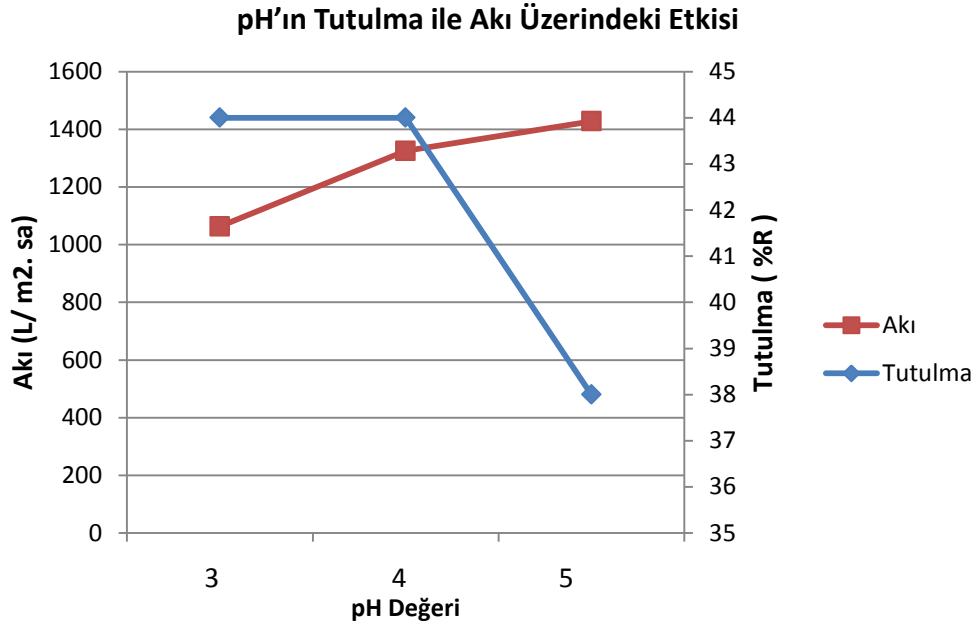
Şekil 4.4 Fe(III) ve AA birleşimiyle oluşan kompleksin yapısı (Çifci C 2020).

4.3.1 pH'nın Tutulma ile Akı Üzerine Etkisi

pH değerlerinin artırılmasının tutulma ile akı üzerindeki etkisi Çizelge 4.4 ile Şekil 4.5 üzerinde ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir. İçeriğinde $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III) ile 1×10^{-4} M AA olan çözelti 45Psi basınç altında, 300 dev/ dk karıştırma hızında önceden hazırlanmış olan polimer kompozit membranlar kullanılarak filtrasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada pH 3 ve 4'te yüksek tutulmalar gözlenirken pH 5'te tutulma düşmüştür. pH 4'te membran üzerindeki kekleşme bozunması neticesi akı artışıyla tutulmanında düştüğü düşünülmektedir.

Çizelge 4.4 Fe(III) AA varlığında filtrasyon uygulamasında pH değerinin tutulma ile akı üzerindeki etkisi ($C_{Fe(III)}$: $0,5 \times 10^{-4}$ M, C_{AA} : 1×10^{-4} g/L, P: 50 Psi, Karıştırma hızı: 300 dev/dk).

| pH değeri | Tutulma (%R) | Akı (L/ m ² . sa) |
|-----------|--------------|------------------------------|
| 3 | 44 | 1063 |
| 4 | 44 | 1325 |
| 5 | 38 | 1428 |



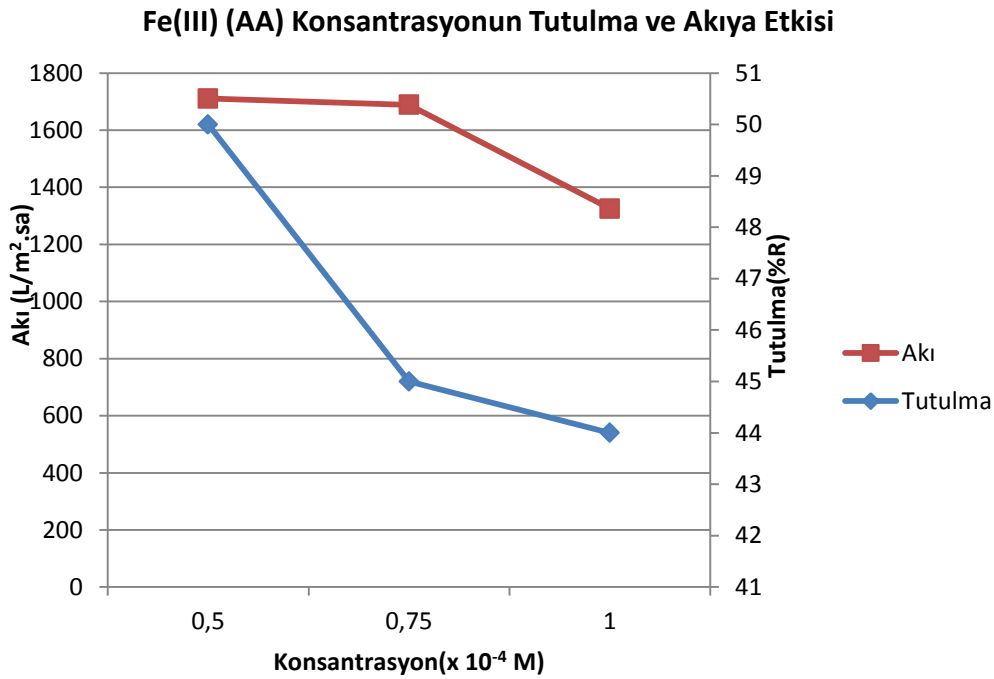
Şekil 4.5 Fe(III) Aljinik asit (AA) filtrasyon uygulamasında pH değerinin tutulma ile akı üzerindeki etkisi ($C_{Fe(III)}$: $0,5 \times 10^{-4}$ M, C_{AA} : 1×10^{-4} g/L, P:50 Psi, Karıştırma hızı: 300 dev/dk).

4.3.2 Konsantrasyonun Tutulma ile Akı Üzerine Etkisi

Tutulma ile akı üzerine konsantrasyon farkının etkisi Çizelge 4.5 ile Şekil 4.6 üzerinde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. pH 4 değerliğinde Fe(III) kompleksleştirici ajan aljinik asit (AA) varlığında 45psi basınç altında önceden hazırlanan polimer kompozit membran kullanılarak 400 dev/dk'lık karıştırma hızında farklı konsantrasyonlar kullanılarak filtrasyon uygulaması gerçekleştirilirken oluşan sonuçları verilmiştir. 1×10^{-4} g/L aljinik asit (AA) varlığında $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III) konsantrasyonunda en yüksek tutulma gözlemlenmiştir. Derişim arttırıldığında akının azalması iri kompleks tanelerinin membran gözeneklerini tıkanmasıyla oluştuğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.5 Fe(III) Aljinik asit (AA) varlığında filtrasyon uygulamasında farklı konsantrasyonların tutulma ile akı üzerindeki etkisi ($C_{Fe(III)}$: $0,5 \times 10^{-4} M$, C_{AA} : $1 \times 10^{-4} g/L$, $C_{Fe(III)}$: $0,75 \times 10^{-4} M$, C_{AA} : $1,5 \times 10^{-4} g/L$, $C_{Fe(III)}$: $1 \times 10^{-4} M$, C_{AA} : $2 \times 10^{-4} g/L$, pH: 5, P: 45 psi, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

| Konsantrasyon | Tutulma (%R) | Akı (L/ m ² . sa) |
|-------------------------|--------------|------------------------------|
| $0,5 \times 10^{-4} M$ | 50 | 1711 |
| $0,75 \times 10^{-4} M$ | 45 | 1689 |
| $0,1 \times 10^{-4} M$ | 44 | 1325 |



Şekil 4.6 Fe(III) Aljinik asit(AA) varlığında filtrasyon uygulamasında konsantrasyon farkının tutulma ile akı üzerindeki etkisi ($C_{Fe(III)}$: $0,5 \times 10^{-4} M$, C_{AA} : $1 \times 10^{-4} g/L$, $C_{Fe(III)}$: $0,75 \times 10^{-4} M$, C_{AA} : $1,5 \times 10^{-4} g/L$, $C_{Fe(III)}$: $1 \times 10^{-4} M$, C_{AA} : $2 \times 10^{-4} g/L$, pH: 5, P: 45 psi, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

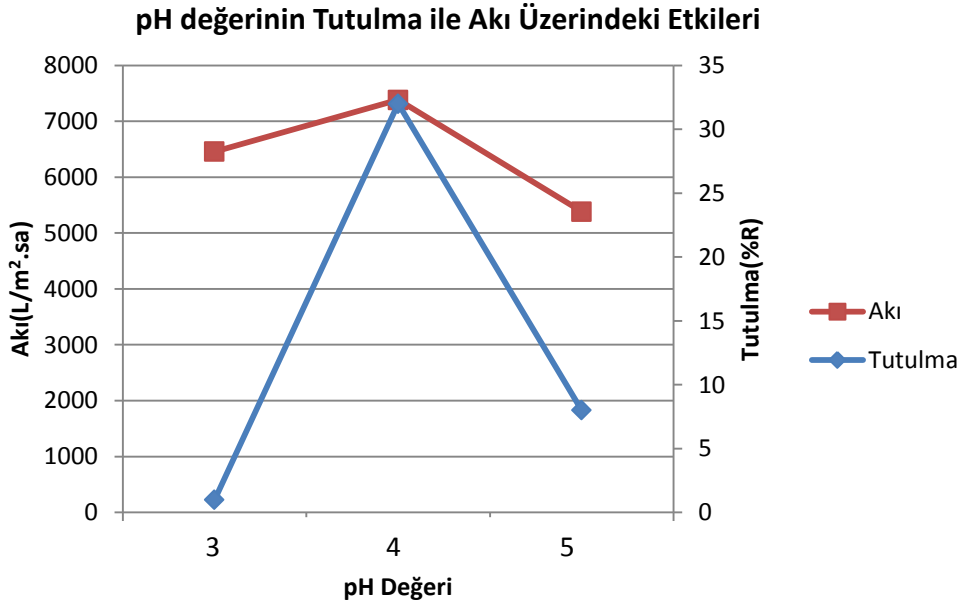
4.4 Cu(II)'nin Kompleksiz Ortamda Sulu Çözeltilerden Uzaklaştırılması

4.4.1 pH'ın Tutulma ile Akı Üzerine Etkisi

$0,5 \times 10^{-4}$ M Cu(II) ağır metali seyreltik çözeltisi önceden hazırlanan polimer kompozit membran kullanılarak 45 Psi basınç altında, 300 dev/dk karıştırma hızı ile farklı pH değerlerinde filtrasyon uygulamaları yapılmıştır. pH değerinin tutulma ile akı üzerine etkileri Çizelge 4.6 ile Şekil 4.7'de verilmiştir. pH değeri düşük iken tutulma oranının da düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuçların ise H^+ iyonlarının pozitif yüklü olan Cu(II) iyonlarını itmesi kaynaklı olduğu düşünülmektedir. En yüksek tutulma pH 4'te gözlenmiştir. fazla yükseltildiğinde de tutulma veriminin ve akının düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin H^+ iyonları ile Cu(II) iyonları sürekli uzaklaşmak istemesi ve membran gözeneklerin yönelmenin zorlaştığı düşünülmektedir. Cu(II) ağır metali kullanıldığında

Çizelge 4.6 Cu(II) filtrasyon uygulamalarında tutulma ile akı değerleri üzerine pH değerinin etkisi ($C_{Cu(II)}$: $0,5 \times 10^{-4}$ M, P: 45 psi, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

| pH | Tutulma (%R) | Akı (L / m ² . sa) |
|----|--------------|--------------------------------|
| 3 | 1 | 6459 |
| 4 | 32 | 7382 |
| 5 | 8 | 5383 |



Şekil 4.7 Cu(II) filtrasyon uygulamasında pH değerinin tutunma ile akıyla etkileşimi ($C_{Cu(II)}$: $0,5 \times 10^{-4}$ M, P: 45 psi, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

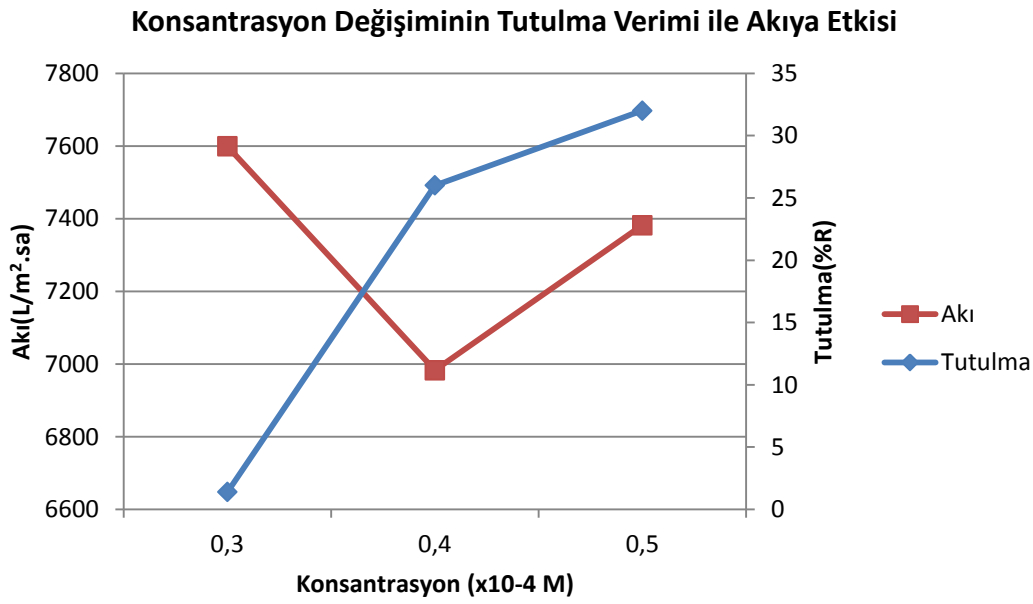
4.4.2 Konsantrasyonun Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi

pH'nin en uygun değerinin 4 olduğu belirlenmiştir. Cu(II) çözeltinin pH'ı 4'e ayarlanarak önceden hazırlanan polimer kompozit membran kullanılarak 45 Psi basınç altında ve 400 dev/dk'da farklı konsantrasyonlu çözeltiler ile filtrasyon uygulaması gerçekleştirilerek oluşan sonuçlar gözlemlenmiştir. Konsantrasyon farklılığının tutunma ile akıya etkisi Çizelge 4.7 ile Şekil 4.8 üzerinde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

İncelemeler sonucunda konsantrasyon yükseldikçe tutulma veriminin arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek konsantrasyona sahip Cu(II) çözeltisinde tutulma veriminin de en yükseklerde olduğu anlaşılmıştır

Çizelge 4.7 Cu(II) filtrasyon uygulamalarında konsantrasyon farkının tutunma ile akı üzerindeki etkisi (P:45psi, pH:4, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

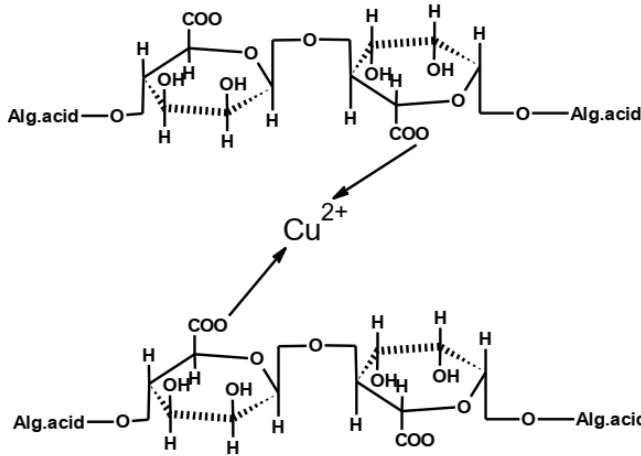
| Konsantrasyon | Tutulma(%R) | Akı(L/ m ² . sa) |
|------------------------|--------------|------------------------------|
| 0,3×10 ⁻⁴ M | 1,4 | 7599 |
| 0,4×10 ⁻⁴ M | 26 | 6983 |
| 0,5×10 ⁻⁴ M | 32 | 7382 |



Şekil 4.8 Cu(II) filtrasyon uygulamalarında farklı konsantrasyon değerlerinin tutunma ile akı üzerine etkisi (P: 45 psi, pH:4, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

4.5 Cu(II)'nin Aljinik Asit (AA) Varlığında Sulu Çözeltilerinden Ayrılması

Cu(II) ve AA birleşimiyle oluşan kompleksin yapısı Şekil 4.9'da görülmektedir. AA Cu(II)'yi bağlayarak büyük çaplı kompleks oluşturmak için kullanılmıştır. Bu büyük çaplı kompleksten dolayı tutulma da artmaktadır.



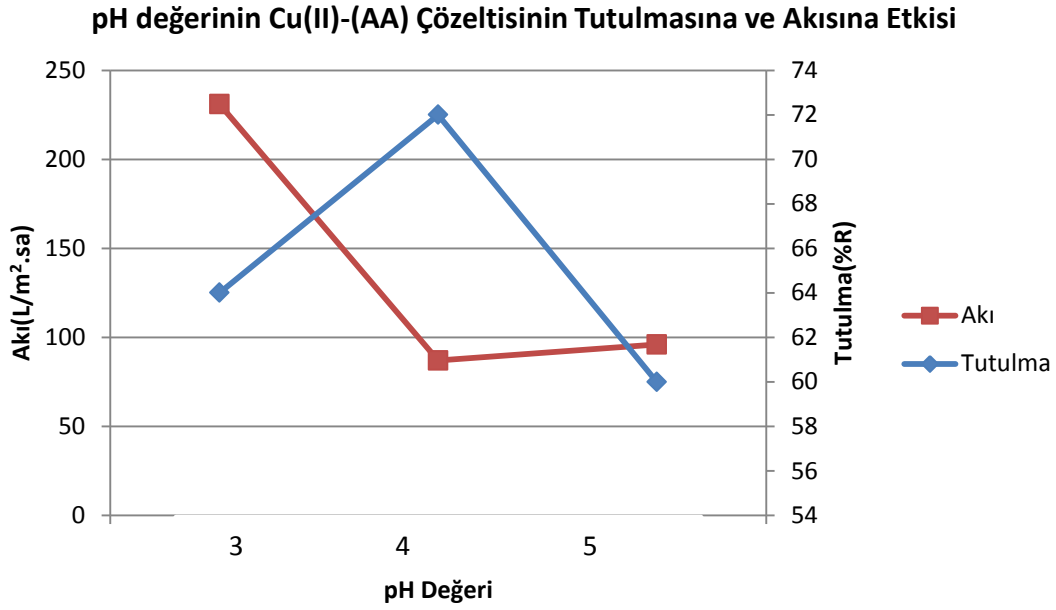
Şekil 4.9 Cu(II) ve AA birleşimiyle oluşan kompleksin yapısı (Çifci C 2020).

4.5.1 pH'in Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi

Hazırlanan kompleks çözelti için pH değerinin değiştirilmesinin tutunma ile akıya etkileri Çizelge 4.8 ile Şekil 4.10 üzerinde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. 1×10^{-4} M konsantrasyonundaki içeriğide Cu(II) ve 1×10^{-4} g/L Aljinik asit bulunan çözelti 45 Psi basınç altında, 300 dev/dk'lık karıştırma devirinde farklı pH değerlerinde filtrasyon uygulamaları yapılmıştır. Aljinik asit (AA) varlığında Cu(II) ağır metalinin en yüksek tutulma sergilediği değer pH 4'tür. Bu oluşan değerlerden yola çıkarak Cu(II)-AA kompleksinin H^+ iyonları ile arasında bir etkileşimin olduğu, bu nedenle de orta seviyede bir pH değerinin seçilmesi gerektiği sonucuna varılabilmektedir.

Çizelge 4.8 Cu(II) - Aljinik asit (AA) çözeltisinin filtrasyon uygulamasında pH değerinin tutunma ve akı üzerine etkisi ($C_{Cu(II)}$: 1×10^{-4} M, C_{AA} : 2×10^{-4} g/L, P: 45 psi, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

| pH değeri | Tutulma (%R) | Akı (L/ m ² . sa) |
|-----------|--------------|------------------------------|
| 3 | 64 | 231 |
| 4 | 72 | 87 |
| 5 | 60 | 96 |



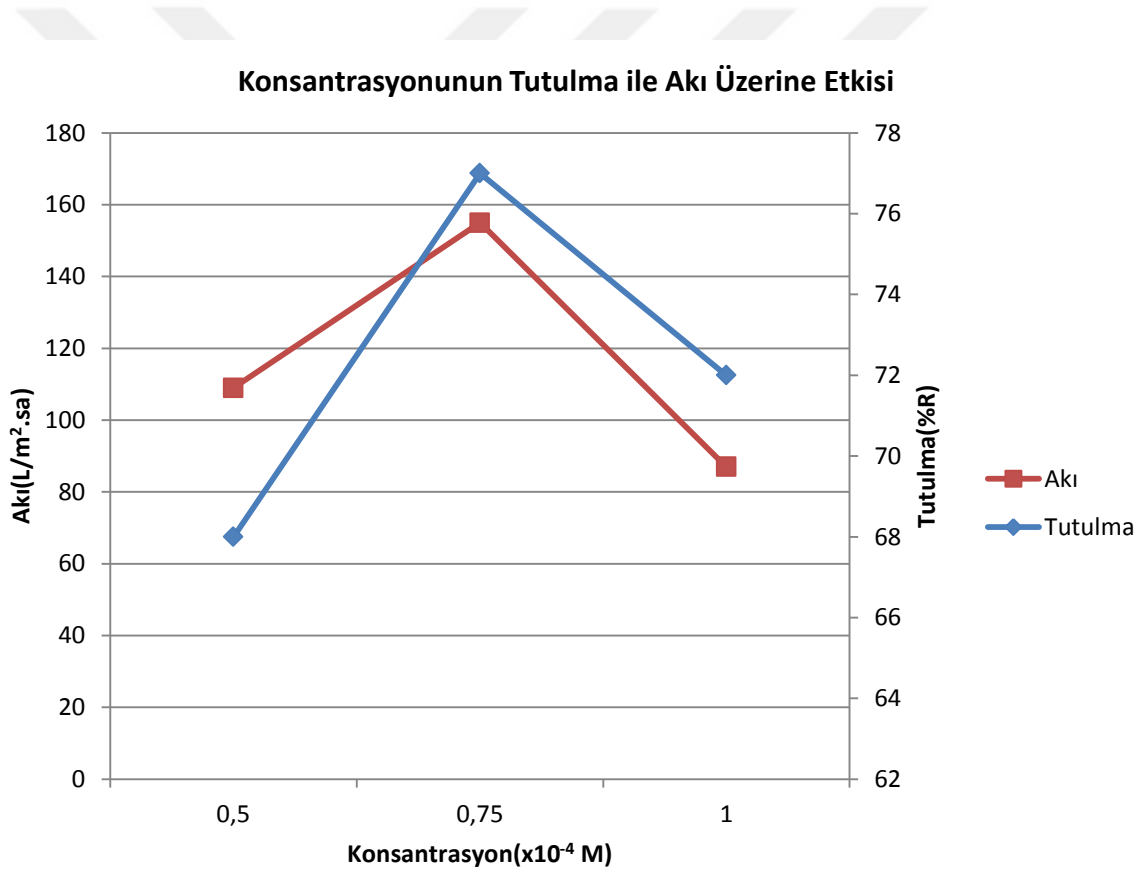
Şekil 4.10 Cu(II)-Aljinik asit (AA) çözeltisinde filtrasyon uygulamasında farklı pH değerlerinin tutulma ile akı üzerine etkisi ($C_{Cu(II)}$: 1×10^{-4} M, C_{AA} : 2×10^{-4} M, P: 45 psi, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

4.5.2 Konsantrasyonun Tutulma ile Akı Üzerine Etkisi

Konsantrasyon değiştirildiğinde çözeltinin tutulma verimi ile akıya etkisi Çizelge 4.9 ile Şekil 4.11’de verilmiştir. pH değeri 4 iken Cu(II)- AA çözeltisi 45 Psi basınç altında önceden hazırlanmış olan polimer kompozit membran kullanılarak 300 dev/dk karıştırma devrinde konsantrasyon etkileri araştırılmıştır. Tutulmanın en verimli olduğu değerlerin $0,75 \times 10^{-4}$ M Cu(II) ve $1,5 \times 10^{-4}$ g/L AA’da olduğu gözlemlenmiştir. Derişimler arttırıldığında membran üzerindeki kekleşmelerden dolayı akının düştüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.9 Cu(II)-Aljinik asit (AA) çözeltisinin filtrasyon uygulamasında derişimin tutunma ile akı üzerine etkisi ($C_{Cu(II)}$: $0,5 \times 10^{-4}$ M, C_{AA} : 1×10^{-4} g/L, $C_{Cu(II)}$: $0,75 \times 10^{-4}$ M, C_{AA} : $1,5 \times 10^{-4}$ g/L, $C_{Cu(II)}$: 1×10^{-4} M, C_{AA} : 2×10^{-4} g/L, pH:4, P: 45 psi, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

| Konsantrasyon | Tutulma (%R) | Akı (L/m ² .sa) |
|-------------------------|--------------|----------------------------|
| $0,5 \times 10^{-4}$ M | 68 | 109 |
| $0,75 \times 10^{-4}$ M | 77 | 155 |
| 1×10^{-4} M | 72 | 87 |



Şekil 4.11 Cu(II)-Aljinik asit (AA) çözeltisi filtrasyon uygulamasında konsantrasyon farkının tutulma ile akı üzerine etkisi ($C_{Cu(II)}$: $0,5 \times 10^{-4}$ M, C_{AA} : 1×10^{-4} g/L, $C_{Cu(II)}$: $0,75 \times 10^{-4}$ M, C_{AA} : $1,5 \times 10^{-4}$ g/L, $C_{Cu(II)}$: 1×10^{-4} M, C_{AA} : 2×10^{-4} g/L, pH: 4, P: 45 psi, karıştırma hızı: 300 dev/dk).

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada ilk aşama olarak selüloz kullanılarak polimer kompozit membran oluşturuldu. Oluşturulan polimer kompozit membranın gözenek boyut çalışmaları yaparak uygun gözenek boyutları belirlendi. Gözenek boyut uygunluğuna membranlardan basınç yardımı ile saf su geçirilip akılarının incelenmesi sonucu karar verilmiştir. Uygunluğu tespit edilen polimer kompozit membran olan membranların % 5,25(m/w) Poli(vinil alkol-ko-etilen)'nin selüloz filtre ile oluşturduğu polimer kompozit membrandır. Hazırlanan membranlarda farklı basınç çalışması yaparak 45 psi basınç değerine kadar yapısını bozmadan çalışılabileceği belirlendi.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise oluşturulan membranların ağır sanayinin atıklarından çevre ve insan sağlığı açısından en risklisi olan ağır metallerin arındırılmasında kullanılabilmesi için ağır metal iyonları ile çözeltiler hazırlandı. Ağır metal olarak Fe(III), Cu(II) ve bunların aljinik asit ile kompleksleştirilmiş bileşikleri kullanıldı. Hazırlanan bu çözeltilerin farklı pH ve konsantrasyonlardaki tutulma verimlilikleri ve akı değerleri incelendi.

Fe(III) ağır metalinin kompleksiz ve aljinik asit ile kompleksleştirilmiş çözeltilerinin pH'ları değiştirilerek tutulma ve akı değerinin nasıl etkilendiği araştırıldı. Fe(III) iyonları kompleksiz halde iken membranda tutulma değeri çok düşük olduğu gözlemlendiğinden Fe(III)'e kompleksleştirici olarak AA'lar eklenmiştir.

Konsantrasyon etkisi incelenirken Fe(III) iyonlarının kompleksiz ortamda yüksek konsantrasyonlarda daha yüksek tutulduğu gözlemlenmiştir. Fe(III)'lerde AA'lar eklenmesiyle yüksek konsantrasyonlarda kekleşme kaynaklı olarak akılar düşmüştür.

Yine aynı parametreler göz önünde bulundurularak Cu(II) iyonları üzerine araştırmalar yapılmıştır. İncelemeler sonucunda Cu(II) ağır metalinin kompleksiz ortamda tutulma için en uygun pH değerinin 4 olduğu bulunmuştur. Yine Cu(II)'e tutulmayı arttırmak amacıyla Fe(III) çalışmaları gibi AA'lar kompleksleştirici olarak seçilmiştir.

Konsantrasyon ile ilişkisine bakıldığında ise kompleksiz ortamda derişim arttıkça tutulma verimliği arttığı gözlemlenir iken Cu(II) ağır metalinin aljinik asit ile kompleks oluşturmuş formunda polimer kompozit membranda gösterdiği en verimli tutulma konsantrasyon değer 0,3x10⁻⁴ M olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmaların sonucunda Fe(III)'nın aljinik asit ile kompleks varlığında pH 3 değerliğinde ve 0,5x10⁻⁴M Fe(III) konsantrasyonunda ve 1x10⁻⁴g/L AA değerlerinde en yüksek tutulma verimini %50 olarak gözlenmiştir. Cu(II) iyonlarında ulaşılan en yüksek tutulma yine aljinik asit ile oluşturduğu komplekslerinin pH 4 değerinde ve 0,75x10⁻⁴ M Cu(II) konsantrasyon ve 1x10⁻⁴g/L AA varlığında %77 olarak bulunmuştur.

6. KAYNAKLAR

- Akbaş B, 2018, Bir Otomobil Fabrikası Enerji Tüketim Analisi ve Enerji Tasarrufu Potansiyeli Değerlendirme, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Akcan A B, 2008, Cıva Zehirlenmeleri, Güncel Pediatri Dergisi, 6, 72-5.
- Aksoy Ö, 2012, Sulu Çözeltilerden Bazı Boya Maddelerin ve Bakır Metalinin Uzaklaştırılmasında Yeni Adsorblayıcı Olarak Nar Posasının Değerlendirilmesi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır.
- Alkan E, 2008, Bardakçı Kili Kullanılarak Sulu Çözeltiden Ağır Metal Uzaklaştırılması ve Adsorbsiyon Kinetiğinin İncelenmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van.
- Andırcı Y, 2014, Membran Ayırma Tekniği İle İçme Suyu Elde Edilmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Aslan M, 2016 Membran Teknolojileri, Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Ankara. 286, 9.
- Aydın M, 2018, CNT/TiO₂ ile Kompozit Membran Hazırlama ve Karakterizasyonu, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Aydıner C, 2006, Hibrit Mikrofiltrasyon Çözeltisi ile Sulu Ortamdan Nikel Giderimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 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, 1-148.
- Büyükgüngör H 2015, Kütle Aktarımının Membran Sistemindeki Rolü, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21, 224-238.
- Can Ö P, 2017, Kimyasal Kontaminantların Çevre Sağlığı ve Gıda Güvenliği Üzerine Etkileri, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1, 170-195
- Çağlarımak N, Hepçimen A Z, 2010, Ağır metal kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi, Akademik Gıda, 8, 31-35.
- Çeliktaş A, 2007, Ayırmada Kompozit Membranların Kullanılması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Çifci C, Bayraktar M R, Erol İ, Enginar H, 2020, Synthesis Of Poly(vinyl alcohol-co-ethylene)/cellulose Composite Membranes And Their Application İn Wastewater Treatment, Journal of Taibah University for Science, Suudi Arabistan.

- Çobanoğlu Z, 1997, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:50, Kimyasallar ve Çevre, Ankara.
- Durak S G, 2015, Sentezlenen Yeni Membranların Kimyasal Yöntemlerle Modifiye Edilerek Membran Biyoreaktörde Kullanılması, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Durmaz Ö, 2016, Sıvı Membran Tekniği ile Bazı Ağır Metal İyonlarının Ekstraksiyonlarının İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli.
- Dursun O, 2008, Cıva Zehirlenmeleri, Güncel Pediatri Dergisi, 6, 72-5.
- Eriş Ç, 2017, Ters Osmoz Membranları İçin Destek Tabakası Üretiminin Pilot Ölçekli Sistemde Optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Gökcal A C, 2014, Konya Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Çamurlarının Ağır Metaller Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Gökçek Ö B, 2016, Melas Atığı ve Endüstriyel Atık su Karışımının Anaerobik ve Membran Hibrit Sistemle Arıtılabilirliği, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sivas.
- Göksel E, 2015, Afyon İli Çeşme Sularında Bazı Ağır Metal Kirlilik Düzeylerinin İcp- Ms İle Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.
- Güçlü M C, 2018, Düz Plaka Polimerik Membranların Bisbal Kullanılarak Modifikasyonunun Membranların Performans ve Biyokirlenmelerine Olan Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Güler Ü A, 2017, Kimyasal Kontaminantların Çevre Sağlığı ve Gıda Güvenliği Üzerine Etkileri, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1, 170-195
- Güler Ç, 1997, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:50. Kimyasallar ve Çevre, Ankara.
- Gürel L, 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, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Hepçimen A Z, 2010, Ağır metal kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi, Akademik Gıda, 8, 31-35.
- Hepşen R, 2010, Süt Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojisi İle Geri Kazanımı ve Deneysel Tasarım Uygulaması, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kahraman Ü C, 2007, Konya Garnizon Birliklerindeki Kuyu Suları İle Şehir Şebeke Sularının Su Kalitesi ve Ağır Metaller Yönünden Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Kanezashi M, 2018, Pervaporation Dehydration of Aqueous Solutions of Various Types of Molecules Via Organosilica Membranes: Effect of Membrane Pore Size and Molecular Sizes, Separation and Purification Technology, 207, 108-115.
- Kavuştu O, 2016, Endüstriyel Atık Sularının Membran Biyoreaktör (MBR) Sisteminde Arıtım Çalışmaları ve Verim Değerlendirmeleri, Anadolu Üniversitesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik.
- Kayacan S, 2007, Kömür ve Koklarla Sulu Çözeltilerden Boyar Maddelerin Uzaklaştırılması, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Kot F S, 2009, Boron sources, speciation and its potential impact on health, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 8, 3-28.
- Kovancı A, 2008, Çanakkale Şehir Şebeke Suyunda Ağır Metal Analizi ve Bakteriyolojik İnceleme, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale.
- Koyuncu A, 2010, Hibrit Membran Prosesleri Kullanılarak İçme Suyundan Arseniğin Giderimi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
- Lively R P, 2016, Seven Chemical Separationsto Change the World, Nature, 532, 435-437.

- Moriyama N, 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.
- Nagasawa H, 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, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Okuyan C, 2013, Çevre Mühendisliğinde Membran Teknolojileri ve Uygulama Alanları, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.
- Orbak İ, 2009, Aktif Karbon İle Çevre Kirlenici Bazı Unsurların Giderilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Öztürkmen G, 2018, Membran Biyoreaktörlerde Ventüri Enjektörü Kullanılarak İşletme Şartlarının İyileştirilmesinin Araştırılması, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Diyarbakır.
- Özyaka V Ş, 2011, Kompost ve Geri Kazanım Tesisi Sızıntı Sularının Membran Proseslerle Arıtılabilirliği: İstanbul Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 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 Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lisans Tezi, 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, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Sholl D S, 2016 Seven Chemical Separationsto Changethe World, Nature, 532, 435-437
- Sönmez N A, 2014, Sulardan Adsorbsiyon Yöntemi İle Bor Giderimi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 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, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Topal T, 2011, İçme Sularında Doğal Organik Maddelerin Reçine Adsorbsiyon Yöntemi ile Karakterizasyonu, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Torgut G, 2009 Barbiturik Asit Halkası İçeren Metakrilat Polimerlerin Sentezi ve Adsorpsiyon Çalışmaları, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Tsuru T, 2018, Pervaporation Dehydration of Aqueoussolutions of varioustypes of Molecules Viaorganosilica Membranes: Effect of Membrane Poresizesand Molecular Sizes, Separation and Purification Technology, 207, 108-115.
- Ünal S, 2015, Nihai Kullanım Amacına Göre Uygulanan Membran Prosesler ve Diğer Su Arıtma Yöntemleri İle İçme ve Proses Suyu Üretiminin Maliyet Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Weis J S, 1998, Mercury burden in two populations of Fundulus heteroclitus after sublethal methylmercury exposure, Aquatic toxicology, 42-37.
- Weis P, 1998, Mercury burden in two populations of Fundulus heteroclitus after sublethal methylmercury exposure, Aquatic toxicology, 42-37.
- Worch E, 2012, Adsorption Technology in Water Treatment, 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, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kocaeli.
- Yılmaz O, Ekici K, 2004, Van Yöresindeki İçme Sularının Arsenikle Kirlenme Düzeyleri, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 15-47.
- Zhou T, Weis P, Weis J S, 1998, Mercury burden in two populations of *Fundulus heteroclitus* after sublethal methylmercury exposure, *Aquatic toxicology*, 42-37.

İnternet Kaynakları

- 1) https://www.researchgate.net/profile/Mustafa_Aslan5/publication/301701202_Membran_Teknolojileri/links/58de2123aca27206a8a1d71e/Membran-Teknolojileri.pdf, 08.04.2021
- 2) <http://www.yegm.gov.tr>, 06.04.2021
- 3) <https://www.sigmaaldrich.com/TR/en/substance/polyvinylalcoholcoethylene1234525067349>, 11.12.2021
- 4) https://stringfixer.com/tr/Alginate_acid 23.12.2021