

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI**

**POLİMERİK DESTEKLİ MEMBRANLARDA KATYONİK  
TAŞIYICI KULLANILARAK BAZI METAL  
KATYONLARININ TAŞINIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DURMUŞ ALİ TUTUŞ**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2023**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI**



**POLİMERİK DESTEKLİ MEMBRANLARDA KATYONİK  
TAŞIYICI KULLANILARAK BAZI METAL  
KATYONLARININ TAŞINIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DURMUŞ ALİ TUTUŞ**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2023**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**Durmuş Ali TUTUŞ**

# ÖZET

**POLİMERİK DESTEKLİ MEMBRANLARDA KATYONİK  
TAŞIYICILAR KULLANILARAK BAZI METAL KATYONLARININ  
TAŞINIMI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
DURMUŞ ALİ TUTUŞ  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HAMZA KORKMAZ ALPOĞUZ)**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2023**

Yapılan çalışmada, polimer içerikli membran yardımıyla  $Pb^{+2}$  metal katyonunun Aliquat 336 kullanılarak taşınımı incelenmiştir. Taşınım verimliliği karıştırma hızı, akseptör faz derişimi, donör faz derişimi, plastikleştirici değişkenleriyle araştırılmıştır. Verimliliğe etkisi araştırılan değişkenlerin her biri için belirli zaman aralıklarında deney düzeneğinden örnek alınmış ve ICP-MS cihazında analiz yapılmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen kinetik veriler doğrultusunda akış hızı ve geçirgenlik değeri hesaplanmış olup sonuçlar tablolar ve grafikler yardımıyla sunulmuştur.

Sonuç olarak sentezlenen polimer içerikli membran kullanılarak  $Pb^{+2}$  metal katyonunun taşınımında süre, karıştırma hızı, donör ve akseptör faz konsantrasyonları için optimum değerler belirlenmiş ve taşınımın başarıyla gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Polimer İçerikli Membran, Aliquat 336, Ağır Metal Taşınımı

## ABSTRACT

### TRANSPORT OF CERTAIN METAL CATIONS IN POLYMER-SUPPORTED MEMBRANES USING CATIONIC CARRIERS

PH.D THESIS

DURMUŞ ALİ TUTUŞ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
CHEMISTRY

(SUPERVISOR:PROF. DR. HAMZA KORKMAZ ALPOĞUZ)

DENİZLİ, AUGUST 2023

In the conducted study, the transport of  $Pb^{+2}$  metal cation using a polymer-based membrane with Aliquat 336 has been investigated. The transport efficiency was examined with various variables such as mixing speed, acceptor phase concentration, donor phase concentration, and plasticizer variables. Samples were taken from the experimental setup at specific time intervals for each tested variable, and analysis was performed using ICP-MS device.

Based on the kinetic data obtained from the study, flow rate and permeability values were calculated, and the results were visualized using tables and graphs. As a result, using the synthesized polymer-based membrane, optimum values for time, mixing speed, and donor and acceptor phase concentrations were determined, and the successful transport of  $Pb^{+2}$  metal cation was observed.

**Keywords:** Polymer-Based Membrane, Aliquat 336, Heavy Metal Transport.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MEMBRAN TANIMI</b> .....	<b>2</b>
2.1 Membranlar .....	2
2.2 Membranların Tarihsel Gelişimi .....	4
2.3 Literatür Araştırmaları.....	5
2.4 Membran Çeşitleri .....	6
2.4.1 Mikrofiltrasyon (MF) .....	8
2.4.2 Ultrafiltrasyon (UF).....	9
2.4.3 Nanofiltrasyon (NF) .....	10
2.4.4 Ters Osmoz (TO).....	11
2.4.5 Diyaliz (D).....	12
2.4.6 Elektrodializ (ED) .....	12
2.5 Ağır Metaller .....	14
2.5.1 Kurşun.....	15
2.6 ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometrisi) .....	15
<b>3. SIVI MEMBRANLAR (LM)</b> .....	<b>18</b>
3.1 Destekli sıvı membranlar (SLM) .....	19
3.2 Yığın sıvı membranlar (BLM) .....	20
3.3 Emülsiyon sıvı membranlar (ELM) .....	21
3.4 Polimer içeren sıvı membranlar (PIM) .....	22
3.5 Sıvı Membranlarda Ara Yüzeyde Gerçekleşen Olaylar.....	23
<b>4. MATERYAL VE METOD</b> .....	<b>24</b>
4.1 MATERYAL .....	24
4.1.1 Kullanılan Cihazlar .....	24
4.1.1.1 Analitik Hassas Terazî.....	24
4.1.1.2 Isıtıcıli Manyetik Karıştırıcı .....	25
4.1.1.3 ICP-MS.....	25
4.1.1.4 Deney Düzenegi .....	25
4.1.2 Kullanılan Kimyasal Maddeler, Taşıyıcı Ligand.....	26
4.1.2.1 Kullanılan Kimyasal Maddeler .....	26
4.2 YÖNTEM .....	28
4.2.1 Membran Senetzi .....	28
4.2.2 Polimer İçerikli Membranlar İle Taşınım Deneyleri .....	29

<b>5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....</b>	<b>33</b>
5.1 Seçimlilik.....	33
5.2 Donör Faz Konsantrasyonlarının Değişiminin Etkisi .....	34
5.3 Akseptör Faz Derişimlerinin Etkisi .....	36
5.4 Karıştırma Hızının Etkisi.....	37
5.5 Plastikleştirici Etkisi .....	39
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>42</b>
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>43</b>
<b>8. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>48</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 Temsili bir membrana ait genel şematik gösterim .....	4
Şekil 2.2 ICP-MS çalışma diyagramı .....	17
Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan RADWAG AS 220/C/2 hassas terazi .....	24
Şekil 4.2 Perkin Elmer marka Nexion 2000 ICP-MS cihazı .....	25
Şekil 4.3 Deney düzeneği .....	26
Şekil 4.4 Aliquat 336 taşıyıcısının yapısı .....	27
Şekil 4.5 Petri kabından ayrılmış PIM .....	28
Şekil 4.6 Pb <sup>+2</sup> metal katyonun kalibrasyon eğrisi .....	30
Şekil 4.7 Pb <sup>+2</sup> metal katyonu için ln(Ci/C)-t grafiği .....	32
Şekil 5.1 Farklı metallerle gerçekleştirilen PIM deneyleri sonucu %Transport- Metal grafiği .....	34
Şekil 5.2 Pb <sup>+2</sup> metal katyonu için akış hızı – donör faz derişimi grafiği .....	35
Şekil 5.3 Pb <sup>+2</sup> metal katyonu için akış hızı – akseptör faz derişimi grafiği .....	37
Şekil 5.4 Pb <sup>+2</sup> metal katyonu için akış hızı – karıştırma hızı grafiği .....	38
Şekil 5.5 PIM transport çalışmalarında kullanılan plastikleştiricilerin açık yapıları .....	39
Şekil 5.6 Pb <sup>+2</sup> metal katyonu için farklı plastikleştiricilere ait akış hızı-çözücü grafiği .....	41



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1 Bazı membran süreçlerinin karakteristik özellikleri.....	7
Tablo 4.1 PIM için kullanılan kimyasal maddeler ve formülleri.....	27
Tablo 4.2 Farklı derişimlerde hazırlanan Pb <sup>+2</sup> metal katyonu için ölçülen absorbans değerleri.....	29
Tablo 4.3 Pb <sup>+2</sup> metal katyonu için elde edilen sonuçlar.....	31
Tablo 4.4 Pb <sup>+2</sup> metal katyonu için hesaplanan P ve J değerleri.....	32
Tablo 5.1 Farklı metallerle gerçekleştirilen PIM deneyleri sonucu metal katyonlarına ait kinetik veriler .....	33
Tablo 5.2 Farklı donör faz derişimleri için Pb <sup>+2</sup> metaline ait kinetik veriler ....	35
Tablo 5.3 Farklı akseptör faz derişimleri için Pb <sup>+2</sup> metal katyonlarına ait kinetik veriler .....	36
Tablo 5.4 Farklı karıştırma hızları için Pb <sup>+2</sup> metal katyonlarına ait parametreler.....	38
Tablo 5.5 PIM transport çalışmamızda kullanılan plastikleştiricilerin fizikokimyasal özellikleri ve kinetik veriler.....	40

## SEMBOL LİSTESİ

<b>2-NPOE</b>	:	2-Nitrofenil Oktil Eter
<b>A</b>	:	Etkin Membran Yüzey Alanı
<b>BLM</b>	:	Yığın Sıvı Membran
<b>C</b>	:	Sıyırılma Fazındaki Metal İyonunun Konsantrasyonu
<b>C<sub>i</sub></b>	:	T Anındaki Konsantrasyon
<b>CTA</b>	:	Selüloztriasetat
<b>D</b>	:	Diyaliz
<b>DOA</b>	:	Bis (2-Etil Hekzil) Adipat
<b>ED</b>	:	Elektro Diyaliz
<b>ELM</b>	:	Emisyon Sıvı Membran
<b>EME</b>	:	Elektro Membran Ekstraksiyonu
<b>FLM</b>	:	Akışkan Sıvı Membran
<b>HFCLM</b>	:	Boşluklu Lif İçeren Sıvı Membran
<b>HFLM</b>	:	Boşluklu Lif Sıvı Membran
<b>HLM</b>	:	Hibrit Sıvı Membran
<b>ICP-MS</b>	:	İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometrisi
<b>ILM</b>	:	İmmobilize Sıvı Membran
<b>J</b>	:	Akış Hızı
<b>k</b>	:	Hız Sabiti
<b>LM</b>	:	Sıvı Membran
<b>MF</b>	:	Mikrofiltrasyon
<b>MHS</b>	:	Çoklu Membran Hibrit Sistem
<b>NF</b>	:	Nanofiltrasyon
<b>P</b>	:	Geçirgenlik Katsayısı
<b>pH</b>	:	Çözeltideki Hidrojen İyonu Molar Konsantrasyonunun -Logaritması
<b>PIM</b>	:	Polimer İçerikli Membran
<b>PV</b>	:	Perva Porasyon
<b>PVC</b>	:	Polivinilklorür
<b>PVDF</b>	:	Poliviniliden Florür
<b>RO</b>	:	Ters Osmoz
<b>rpm</b>	:	Dakikadaki Dönüş Hızı
<b>SLM</b>	:	Destekli Sıvı Membran
<b>t</b>	:	Zaman
<b>T2EHP</b>	:	Tris (2-Etil Hekzil) Fosfat
<b>TBEP</b>	:	Tris (2-Bütoksi Etil) Fosfat
<b>TBEP</b>	:	Tris (2-Bütoksi Etil) Fosfat
<b>TBEP</b>	:	Tris (2-Bütoksi Etil) Fosfat
<b>TO</b>	:	Ters Osmoz
<b>UF</b>	:	Ultrafiltrasyon
<b>V</b>	:	Donör Faz Hacmi

## ÖNSÖZ

“Polimerik destekli membranlarda katyonik taşıyıcı kullanılarak bazı metal katyonlarının taşınımı” adlı bu tez çalışmamın başlangıcından sonuna kadar olan serüvenimde emeği geçen kişilere teşekkürü borç bilirim. Öncelikle, tez danışmanım Prof. Dr. Hamza Korkmaz ALPOĞUZ’a daimî desteği ve yol göstericiliği için en içten teşekkürlerimi sunarım. Değerli rehberlikleri, önerileri ve sabrı sayesinde bu çalışmanın başarıyla tamamlanmasına yardımcı olmuştur. Ayrıca, tez çalışmamın sonuçlarının değerlendirilmesi, yorumlanması kısmında ve kaynak araştırma sürecinde yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Canan ONAÇ ve Arş. Gör. Gamze ÇALIK’a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bu tez çalışmasının başarılı bir şekilde tamamlanmasında bana destek olan eşim Yasemin ve çocuklarıma teşekkür etmek istiyorum. Onların motivasyonu ve moral desteği, bu süreçteki en büyük itici güç olmuştur.

# 1. GİRİŞ

Su kaynaklarının kirlenmesi, çevresel ve insan sağlığı açısından büyük sorunlar doğurmaktadır. Endüstriyel faaliyetler, madencilik operasyonları ve eski su boruları gibi etkenler, atık suların yüksek düzeylerde ağır metallere kirlenmesine yol açmaktadır. Kurşun gibi en tehlikeli ağır metaller, su kaynaklarında yaygın olarak bulunmakta ve ciddi sağlık etkilerine sebep olmaktadır. Bu nedenle, atık sulardan etkin bir şekilde kurşunun arındırılması için araştırmalar önem kazanmıştır.

Son yıllarda, polimer içeren membranlar (PIM), ağır metallerin uzaklaştırılmasında etkili bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. PIM'ler, yüksek seçicilik ve adsorpsiyon kapasitesi ile tanınmaktadır ve çevresel kirleticilerin giderilmesi için umut verici bir seçenek sunmaktadır. Bu bağlamda, PIM membran teknolojisi, atık sularında kurşun giderimi için kullanılabilir bir çözüm sunmaktadır.

Bu çalışma, atık sularda kurşun giderimi için PIM teknolojisini potansiyelini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, PIM sentezi üzerine odaklanılarak farklı metallerin taşınım kapasiteleri, özellikle kurşunun taşınım kapasitesi belirlenmiştir. Ayrıca, PIM'in etkin olduğu faktörlerin (seçicilik, konsantrasyon, kurutma hızı vb.) incelenmesi yapılmıştır.

Çalışmanın kapsamında, uygun polimerlerin seçimi yapılarak PIM membranlarının sentezi gerçekleştirilmiştir. Ardından, sentezlenen membranlarla farklı metallerin taşınımını test edilmiştir. Sonrasında ise kurşunun taşınım performansını etkileyen faktörler araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, PIM kurşun gideriminde etkili olduğunu göstermiştir. PIM kurşun taşınım kapasitesi diğer metallere göre yüksek bulunmuş ve Pb(II) metal katyonunun transportunun kinetik analizi yapılmıştır. Ayrıca Pb(II) metal katyonunun taşınımını üzerine, donör ve akseptör faz konsantrasyonu, taşıyıcı konsantrasyonu ve karışırma hızı gibi farklı parametreler çalışılmıştır.

Bu çalışma, atık sularda kurşun giderimine yönelik PIM membran teknolojisinin başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir. Elde edilen bulgular, su arıtma sistemlerinin iyileştirilmesi ve çevresel kirliliğin azaltılması için PIM teknolojisinin alternatif bir metot olduğu gösterilmiştir.

### **Tezin amacı:**

Bu çalışma, taşıyıcı Aliquat 336 ve CTA ile sentezlenen PIM (polimer içerikli membran) kullanarak çeşitli ağır metallerin ekstraksiyonunu amaçlamaktadır. Araştırmada, seçicilik, karıştırma hızı, döner ve akseptör faz konsantrasyonu gibi çeşitli parametreler detaylı bir şekilde incelenerek optimum koşulların belirlenmesi hedeflenmektedir. ICP-MS cihazıyla belirli zaman aralıklarında numuneler alınarak içerdikleri ağır metallerin tayini yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, en uygun işlem koşullarını belirleyerek verimli bir ağır metal ekstraksiyon süreci geliştirmektir. Bu süreçte, taşıyıcı ve baz polimerin sentezlenmesi ve çeşitli analitik tekniklerin kullanılması, ağır metal tayini ve sürecin optimize edilmesi için önemli adımları içermektedir. Elde edilen sonuçlar, optimum koşulları belirleme ve daha etkili ağır metal ekstraksiyon yöntemleri geliştirme açısından önemli bir katkı sağlamaktadır.

## **2.MEMBRAN TANIMI**

### **2.1 Membranlar**

Membranlar, suyla sürekli temas halinde olan yüzeylerin alt veya üst bölgelerinde su geçişini engellemek amacıyla kullanılan izolasyon materyalleridir. Yaygın olarak kabul edilen dört farklı membran kategorisi bulunmaktadır. Bu kategoriler, kullanıldıkları malzeme boyutuna göre tanımlanmaktadır. Ters ozmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon olmak üzere membran türleri, artan gözenek boyutlarına göre sıralanır (Zhou ve diğ. 2008).

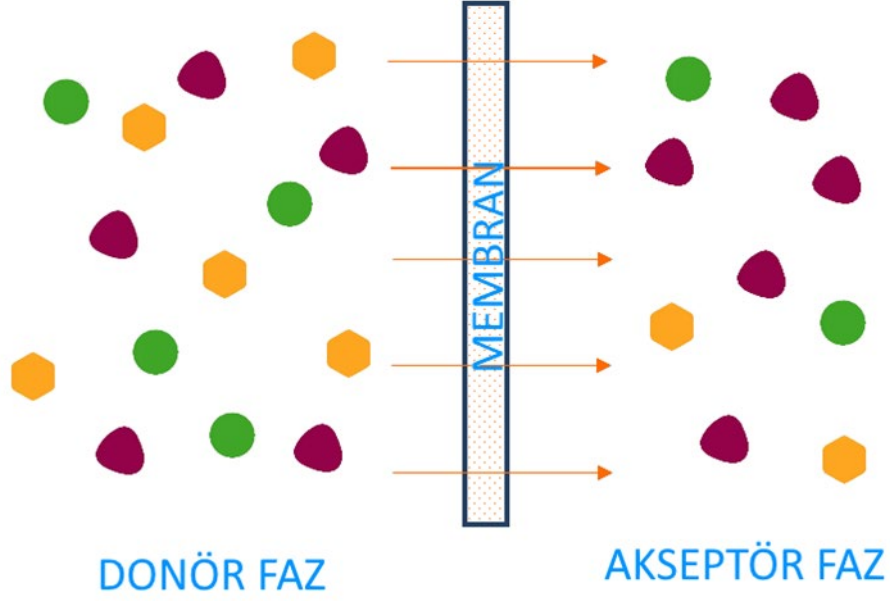
Membranlar, suyun içerisinde bulunan farklı maddeleri ve partikülleri ayırtmak, arıtmak veya yoğunlaştırmak için geniş bir yelpazede uygulamalara sahiptir. Bu uygulamalar arasında su arıtma, deniz suyunu tuzdan arındırma, gıda

işleme, ilaç üretimi, kimyasal endüstri ve biyomedikal alanlar yer almaktadır. Membranlar, bu çeşitli endüstrilerde su ve diğer maddelerin geçişini kontrol etmek için etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Fane ve diğ. 2015).

Membranlar genellikle dört farklı şekilde üretilir ve kullanılır. Bunlar düz plaka, içi boşluklu fiber, tübüler ve çoklu delik membran tipleridir. Düz plaka membranlar, ince ve düz levhalar halinde üretilir ve suyun geçmesine izin veren mikroskobik gözenekler içerir. İçi boşluklu fiber membranlar, içi boş elyaf şeklinde üretilir ve suyun içinden geçebilmesi için bu elyafın gözeneklerine sahiptir. Tübüler membranlar ise uzun silindirik tüpler halinde üretilir ve içerisindeki gözeneklerden suyun geçişine izin verir. Son olarak, çoklu delik membranlar birden fazla küçük deliğe sahip olup, suyun bu deliklerden geçmesine olanak tanır (Altaş 2002).

Şekil 2.1'de temsili bir membrana ait genel şematik gösterimi bulunmaktadır. Bu şekil, membranların yapısını ve çalışma prensibini anlamamıza yardımcı olur. Gözenek boyutlarına göre farklı membran tipleri kullanılarak, su içerisindeki farklı bileşenlerin ayrılması ve arıtılması mümkün hale gelir.

Sonuç olarak, membranlar su geçişini engelleyen ve farklı endüstrilerde kullanılan izolasyon materyalleridir. Ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon gibi farklı membran tipleri, suyun içerdiği farklı bileşenlerin ayrıştırılması ve arıtılması için kullanılır. Membranlar, düz plaka, içi boşluklu fiber, tübüler ve çoklu delik şekillerinde üretilir ve uygulama alanlarına bağlı olarak tercih edilir. Şekil 2.1'deki temsili membran şeması, membranların yapısını ve işleyişini görsel olarak anlamamızı sağlar ve bu önemli izolasyon materyallerinin nasıl çalıştığını açıklar.



**Şekil 2.1:** Temsili bir membrana ait genel şematik gösterim

## 2.2 Membranların Tarihsel Gelişimi

Membran teknolojileri, son 50 yılda hızlı bir şekilde gelişim göstermiştir ve bu alanda çeşitli mühendislik disiplinlerinde aktif çalışmalar yürütülmektedir. Membranların tarihsel gelişimi 18. yüzyıla kadar uzanmaktadır ve osmoz kavramının tanımlanmasıyla birlikte su ve atıksu arıtımında alternatif bir teknoloji olarak öne çıkmıştır (Lonsdale 1982).

1752 yılında Nollet, su-etanol karışımının yarı geçirgen bir membran tarafından seçici olarak geçirildiğini keşfetmiş ve bu, yarı geçirgen membran ve osmotik basınç terimlerinin ilk kez kullanıldığı düşünülmektedir. Ancak, gerçek anlamda membran teknolojileri 1950'lerden itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu dönemde, daha dayanıklı polimerlerden oluşan yeni membranlar üretilmiş ve çözelti-difüzyon modeli gibi membran taşınım modelleri geliştirilmiştir (Koyuncu 2018).

19. ve 20. yüzyıllarda, membran modüllerinin kullanımı genellikle laboratuvar çalışmalarıyla sınırlı kalmıştır. Ancak, 1960'lı yıllardan itibaren büyük ölçekli endüstriyel sistemlere geçiş gerçekleşmiştir. Bu dönemde, membran teknolojileri su

arıtma, gıda işleme, ilaç üretimi ve diğer endüstriyel uygulamalarda önemli bir rol oynamaya başlamıştır (Dane ve diğ. 2002).

2000'li yıllardan itibaren, nano teknolojinin gelişimiyle birlikte membranların özellikleri iyileştirilmiş ve çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Özellikle atık su miktarındaki artış ve maliyetli atık su bertarafı gibi faktörler nedeniyle, membran teknolojisi giderek daha önemli hale gelmiştir. Günümüzde atıksu arıtma teknolojisinin ilerlemesiyle, atık suyun istenilen özelliklere sahip geri kazanımı mümkün hale gelmiştir (Merten 1966).

Membran teknolojilerinin gelişimi, farklı disiplinlerde yapılan araştırmalar sayesinde ivme kazanmıştır. Kimya mühendisliği, malzeme mühendisliği, polimer mühendisliği ve çevre mühendisliği gibi mühendislik disiplinlerindeki aktif çalışmalar, membranların tasarımı, üretimi ve uygulaması konularında önemli ilerlemeler sağlamıştır. Ayrıca, nanoteknoloji ve diğer yenilikçi yaklaşımlar, membranların daha etkili, seçici ve dayanıklı hale getirilmesine yardımcı olmuştur (Maliva ve Missimer 2012).

Gelecekte, membran teknolojilerinin daha da gelişmesi ve çeşitli alanlarda daha geniş bir kullanım alanı bulması beklenmektedir. Su arıtma, enerji üretimi, ilaç endüstrisi, gıda işleme ve biyomedikal uygulamalar gibi birçok alanda membranlar önemli bir role sahip olacaktır. Araştırmacılar ve mühendisler, daha verimli membranlar geliştirmek, membran sistemlerinin ölçeklenebilirliğini artırmak ve maliyetleri düşürmek için çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu şekilde, membran teknolojileri su ve çevre yönetimi gibi küresel sorunlara etkili çözümler sunmaya devam edecektir.

### **2.3 Literatür Araştırmaları**

Alpoğuz ve arkadaşları (2002), Hg (II) taşınım kinetiğini incelemek için kaliks [4] aren nitril türevleri taşıyıcılarla birlikte yığın sıvı membran prosesini kullanmışlardır. Araştırmalarında membrandan giriş ve çıkış hız sabitlerinin sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca, bulunan aktivasyon enerjisi değerleriyle membranlarda gerçekleşen taşınımın difüzyon kontrollü olduğunu tespit etmişlerdir (Alpoğuz ve diğ. 2002).



Çalık ve arkadaşları (2020) yaptıkları çalışmada, Pedersen-Bjegaard ve Rasmussen'in ortaya attığı bir yöntem olan elektriksel potansiyel kuvveti altında elektro membran ekstraksiyonu (EME) kullanarak analitik olarak ekstraksiyon işlemi gerçekleştirmiştir. EME çalışmasında, Cr (VI) metal katyonunun iyon transportu kinetik verileri, elektriksel alan etkisi altında incelenmiştir. Düşük potansiyel (10-50 V) ve akım (0,1-0,4A) değerlerinde çalışma yapılmıştır. Ayrıca, farklı parametrelerin kullanılmasıyla (taşıyıcı derişimi, destek materyali değişimi, taşıyıcı ve çözücü türü değişimi, farklı transport tipleri) araştırmalar ve karşılaştırmalar yapılmıştır (Çalık 2020, Pedersen-Bjegaard ve Rasmussen 1999).

Kebiche-Senhadji ve arkadaşları (2010), kromun taşınmasında polimer içerikli membran kullanmışlardır. Taşıyıcı olarak Aliquat 338, baz polimer olarak CTA ve PVC kullanarak yapılan ekstraksiyonda optimum koşulları belirlemek amaçlı fiziksel koşulları değiştirmişlerdir. Taşıyıcı konsantrasyonu, plastikleştirici özelliği donör fazın Cr(VI)'nın üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. pH 1,2'de  $2 \times 10^{-4}$  M  $H_2SO_4$  içerisindeki Cr(VI)'nin %80 taşındığını saptamışlardır (Kebiche-Senhadji ve diğ. 2010).

Makowka ve arkadaşları (2020) Cyphos IL 104 vasıtasıyla Ce(III) ve La(III)ün sulu çözeltilerden PIM yoluyla ayrılması hakkında çalışmışlardır. Ayırma işleminde pH 3,8'de PIM bileşiminde ağırlıkça %20 CTA, %55 NPOE ve %25 Cyphos IL 104 içeren kompozisyon en iyi sonuçları verdiği tespit etmişlerdir (Makowka ve Pospiech 2020)

## 2.4 Membran Çeşitleri

Membranlar, farklı amaçlar için kullanılan saflaştırma, çözelti deriştirme ve ayırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılan önemli araçlardır. Deriştirme, düşük yoğunluğa sahip çözücünün uzaklaştırılmasıyla gerçekleşir ve bu sayede çözelti deriştirilmiş olur. Saflaştırma işlemi ise çözeltide bulunan saf olmayan maddelerin ayrılması anlamına gelir. Ayırma işlemi ise bir karışımı oluşturan maddelerin veya istenilen bileşenlerin ayırıştırılmasıdır.

Membran teknolojileri üzerine yapılan çalışmaların ilerlemesiyle birlikte, membranların farklı özelliklerinden yararlanılarak sistematik bir sınıflandırma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Membranlar, üzerlerindeki boşluklu yapı boyutları, şekilleri, yüzey yapıları, ham materyalleri, hazırlama yöntemleri ve ayırma prosesleri gibi çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaktadır.

Boşluklu yapı boyutlarına dayalı olarak, membranlar genellikle dört kategoriye ayrılır. Bunlar, ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon olarak bilinir. Her bir kategori, gözenek boyutlarının artmasıyla birlikte suyun ve çözücülerin geçirgenliği ve ayırma kapasitesi gibi özelliklerde farklılık gösterir.

Membranlarda ayırma işlemi, yürütücü kuvvetin etkisiyle gerçekleşir. Yürütücü kuvvetler, membranlarda akışın yönlendirilmesini sağlar. Bu yürütücü kuvvetler, farklı fazlar arasındaki sıcaklık, basınç, yoğunluk ve elektriksel potansiyel farkları gibi faktörler sayesinde madde akışına olanak tanır (Kaya 2014).

**Tablo 2.1:** Bazı membran süreçlerinin karakteristik özellikleri (Tan ve Li 2015).

Proses türü	Tutulan malzemeni	Sürücü kuvvet	Membran tipi	Uygulama alanları
Ultrafiltrasyon	1-100 nm makromol	( $\Delta P$ )(1-10 bar)	Mikrogözenekli	- Protein ve virüslerin ayrılması - Su emülsiyonlarındaki yağ konsantrasyonları
Mikrofiltrasyon	0,1- 10 $\mu\text{m}$ mikropar	( $\Delta P$ )(0,5-2 bar)	Gözenekli	- Bakteri ve hücrelerin çözüldüden ayrılması
Nanofiltrasyon	0,5- 5 nm molekülle	( $\Delta P$ )(10-70 bar)	Mikrogözenekli	- Boya ve şekerin ayrılması - Su yumuşatma
Ters osmoz	1 nm 'den küçük mc	( $\Delta P$ )(10-100bar)	Nanogözenekli	- Deniz ve acı sudan tuzun ayrılması - Su arıtmada
Diyaliz	1 nm'den küçük mo	( $\Delta C$ )	Mikroyadananogözenekli	- Pis kanın temizlenmesi
Elektrodiyaliz	-	( $\Delta E$ )	Mikroyadananogözenekli	-Elektrolitlerin elektrolit olmayanlardan ayrılması
Pervaporasyon	-	( $\Delta C$ )	Nanogözenekli	- Etanol ve organik çözücülerden dehidrasyonunda

En yaygın kullanılan ve Tablo 2.1’de vurgulanan membran ayırma işlemleri şunlardır:

- Mikrofiltrasyon (MF)
- Nanofiltrasyon (NF)
- Ultrafiltrasyon (UF)
- Ters osmoz (RO)
- Diyaliz (D)
- Elektrodializ (ED)
- Pervaporasyon (PV)

Bu işlemler, farklı boyutlardaki parçacıkları veya bileşenleri ayırmak için kullanılır.

#### **2.4.1 Mikrofiltrasyon (MF)**

Membran filtrasyonu, basınç altında çalışan bir ayırma işlemidir ve bir membranın hem mekanik hem de kimyasal olarak partiküllerin ve makromoleküllerin süzülmesini sağlar (Benjamin ve Lawler 2013). Su ve atıksu arıtımında, membran filtrasyonu klasik sabit yatak filtrelemesi yöntemleriyle karşılaştırıldığında önemli avantajlar sunar.

Birincil avantajı, membran filtrasyonunun uygulanan besleme kalitesine bakılmaksızın tam partikül tutma sağlamasıdır. Membranların gözenek boyutu ve yapısal özellikleri doğru şekilde seçildiğinde, su veya çözeltilerde bulunan partiküllerin ve kirleticilerin geçişine engel olurlar. Bu sayede arıtma işlemi sonucunda istenen kalitede su veya çözelti elde edilir (Benjamin ve Lawler 2013).

Ayrıca, membranın gözenek boyutuna bağlı olarak mikropların ve virüslerin büyük ölçüde tutulması sağlanır. Membranların gözenek boyutu, bu

mikroorganizmaların geçişini engeller ve böylece mekanik dezenfeksiyon etkisi sağlanır. Bu özellik, özellikle içme suyu temini ve su arıtımı gibi uygulamalarda büyük bir avantaj olarak kabul edilir.

Membran filtrasyonu, farklı gözenek boyutlarına sahip membranlar kullanılarak gerçekleştirilir. Mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz gibi farklı membran tipleri, uygulamanın ihtiyaçlarına ve arıtılacak su veya çözeltilinin özelliklerine bağlı olarak seçilir (Matter 2018).

Bu yöntem, su ve atıksu arıtımı başta olmak üzere birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılan etkili bir ayırma yöntemidir. Membran filtrasyonunun tam partikül tutma yeteneği ve mikroorganizmaların tutulmasıyla sağladığı mekanik dezenfeksiyon, su kalitesinin iyileştirilmesinde ve temiz içme suyu temininde önemli bir rol oynamaktadır (Matter 2018).

#### **2.4.2 Ultrafiltrasyon (UF)**

Ultrafiltrasyon (UF), büyük çözünen maddeleri küçük çözünen maddelerden ve çözücülerden ayıran etkili bir işlemdir (Strathmann ve diğ. 2016). Bu işlem, basınç gradyantının oluşturduğu itici güç sayesinde gerçekleşir ve kütle taşınımı, membran gözeneklerinden kaynaklanan konvektif akış tarafından domine edilir.

Ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon (MF) ile karşılaştırıldığında daha küçük gözeneklere sahip bir membran kullanır. UF membranları, besleme tarafındaki yüzeylerindeki gözeneklerin çapı genellikle 2 ila 10 nanometre arasında değişir. Bu gözenekler, çözücülerin ve küçük çözünen maddelerin geçişine izin verirken, büyük çözünen maddelerin ve makromoleküllerin tutulmasını sağlar. UF membranları tarafından tutulan bileşenlerin moleküler ağırlığı genellikle 5.000 ile birkaç milyon Dalton arasında değişir (Strathmann ve diğ. 2016).

Ultrafiltrasyon, birçok uygulama alanında başarıyla kullanılan bir ayırma yöntemidir. Özellikle su arıtımı, gıda işleme, ilaç endüstrisi ve biyoteknoloji gibi alanlarda tercih edilen bir teknolojidir. UF, sıvıların saflaştırılması, partikül ve

mikroorganizmaların tutulması, protein fraksiyonları ve enzimlerin konsantrasyonu gibi birçok farklı işlemde kullanılabilir.

Bu yöntem, su ve çözeltilerdeki istenmeyen maddelerin giderilmesi ve hedeflenen bileşenlerin ayrılması için etkili bir seçenek sunar. UF membranları, kullanıcıya istenen kalitede ve temizlikte su veya çözelti elde etme imkânı sağlar. Ayrıca, mikrofiltrasyondan daha küçük gözenek boyutlarına sahip olmaları nedeniyle daha hassas bir ayırma sağlarlar.

### 2.4.3 Nanofiltrasyon (NF)

Nanofiltrasyon (NF), resmi olarak, ters osmoz (RO) ve ultrafiltrasyon (UF) arasındaki boşluğu dolduran basınçla çalışan etkili bir membran işlemidir. İsmi 1980'lerde benimsendiği için ve kabul edildiği zamana göre geç kaldığı için, işlemin sınırları tam olarak tanımlanmamıştır, bu nedenle NF hem komşu işlemlerin özelliklerine sahiptir hem de kendi özgün özelliklerine sahiptir (Strathmann ve diğ. 2016).

NF, 200 ila 2000 g/mol aralığındaki küçük organik çözünen maddelerin giderilmesi ve inorganik iyonların (kısmen) giderilmesi için geniş bir uygulama aralığında çalışır ve tek değerli ve çok değerli iyonları ayırma potansiyeline sahiptir. Bu özelliğiyle, NF bir dizi endüstriyel uygulamada önemli bir rol oynamaktadır. (Strathmann ve diğ. 2016).

NF membranları, gözenek boyutları ve yüzey özellikleri açısından RO ve UF membranları arasında yer alır. Gözenek boyutları genellikle 1 ila 10 nanometre arasında değişir. Bu gözenek boyutları, su moleküllerinin geçişine izin verirken, organik bileşiklerin, iyonların ve bazı inorganik bileşiklerin geçişini kısıtlar. NF, RO'dan daha düşük basınçla çalışır ve enerji verimliliği açısından avantajlıdır.

NF, su arıtımı, gıda işleme, ilaç endüstrisi, metal işleme ve atık su arıtma gibi birçok farklı alanda kullanılır. Örneğin, evsel atıksulardan organik maddelerin giderilmesi, içme suyu üretimi sırasında tatsız ve kokusuz bileşenlerin uzaklaştırılması, gıda endüstrisinde ürün saflaştırması gibi uygulamalarda etkilidir.

NF, yüksek selektiviteye sahip olması ve iyon seçiciliği ile bilinir. İyon seçiciliği, farklı yük ve boyuttaki iyonları ayırıştırma yeteneği anlamına gelir. Bu özelliği sayesinde, su arıtımında sertlik giderimi ve tuzun azaltılması gibi spesifik gereksinimleri karşılamak için kullanılır.

#### **2.4.4 Ters Osmoz (TO)**

Ters osmoz (RO), besleme çözeltisinden saf çözücü (genellikle su) ayıran etkili bir membran işlemidir. Hidrostatik basınç farkı, RO işleminin itici gücünü oluşturur. RO'da kullanılan membran, besleme çözeltisine bakan tarafta yoğun bir bariyer tabakası ve asimetrik bir yapıya sahiptir. Bu tabakada, bireysel bileşenlerin difüzyon yoluyla taşındığı ve gözeneklerden veya iğne deliklerinden viskoz akışın ihmal edilebileceği varsayılır (Strathmann ve diğ. 2016).

RO işlemi, besleme çözeltisindeki çözünmüş katıları, iyonları ve organik bileşikleri etkili bir şekilde gidermek için kullanılır. RO membranları, gözenek boyutları ve seçicilikleri açısından nanofiltrasyon (NF) ve ultrafiltrasyon (UF) membranlarından daha küçüktür. Gözenek boyutları genellikle 0.1 nanometre veya daha küçüktür, bu nedenle RO membranları çözünmüş tuzlar gibi küçük moleküllerin geçişine izin vermezken, su moleküllerinin geçişine izin verir.

RO, içme suyu arıtımı, deniz suyu tuzunu giderme, endüstriyel proseslerde çözücü konsantrasyonlarının düşürülmesi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılır. Özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde ve tuzlu suyun tatlı suya dönüştürülmesi gereken durumlarda RO işlemi büyük önem taşır (Strathmann ve diğ. 2016).

RO işlemi, enerjisi yoğun bir işlem olmasına rağmen, ilerleyen teknolojik gelişmelerle enerji verimliliği artırılmaktadır. Bu nedenle, RO, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve içme suyu ihtiyacının karşılanması için önemli bir çözüm sunar.

### **2.4.5 Diyaliz (D)**

Diyaliz (D), çözünen madde konsantrasyon farkını azaltmak amacıyla kullanılan bir işlem olup yarı geçirgen bir membran kullanılarak gerçekleştirilir. Bu işlemde, Kessler ve Klein'in belirttiği gibi, çözünen maddelerin difüzyon prensibi temel alınır (Kessler ve Klein 1992).

Diyaliz, özellikle böbrek yetmezliği gibi durumlarda vücuttaki zararlı atık maddelerin temizlenmesi için kullanılan bir tedavi yöntemidir. İnsan vücudu, normalde böbrekler aracılığıyla atık maddeleri idrar yoluyla uzaklaştırır. Ancak böbrek fonksiyonları yetersiz olduğunda bu atık maddeler birikir ve sağlığa zarar verebilir. İşte bu noktada diyaliz devreye girer.

Diyaliz işlemi, hastanın kanının yarı geçirgen bir membran aracılığıyla geçirilerek temizlenmesini sağlar. Membran, büyük molekülleri ve atık maddeleri tutarken, su, elektrolitler ve diğer önemli bileşenlerin geçişine izin verir. Bu sayede, zararlı maddeler ve fazla su, hastanın vücudundan uzaklaştırılır.

Diyaliz, hemodiyaliz ve periton diyalizi olmak üzere farklı yöntemlerle uygulanabilir. Hemodiyalizde, hastanın kanı bir diyaliz makinesine yönlendirilir, burada temizlenir ve ardından tekrar vücuda verilir. Periton diyalizinde ise karın boşluğuna yerleştirilen bir kateter aracılığıyla temizleme işlemi gerçekleştirilir.

Diyaliz, böbrek yetmezliği olan hastalar için hayat kurtarıcı bir tedavi yöntemidir. Bununla birlikte, düzenli ve uzun süreli bir tedavi gerektirir ve yaşam kalitesini etkileyebilir. Bu nedenle, hastalar diyaliz işlemine bağlı kalmak zorundadır ve sağlık profesyonelleri tarafından yakından takip edilmelidir.

### **2.4.6 Elektrodiyaliz (ED)**

Elektrodiyaliz (ED), iyonik çözünen maddelerin ayrılmasında elektriksel potansiyel gradyanından yararlanan bir işlemdir. Bu yöntemde, Ho ve Sirkar'ın belirttiği gibi, iyon değişim membranları kullanılır ve iyonların elektriksel göçü prensibi üzerine çalışır (Ho ve Sirkar 1992).

Elektrodiyaliz, özellikle tuzlu su arıtımı ve iyonik bileşiklerin saflaştırılması gibi uygulamalarda etkili bir teknolojidir. İyonik çözünen maddeler, yarı geçirgen membranlar aracılığıyla pozitif ve negatif iyonlar olarak ayrılır. Elektrik potansiyel gradyanı, iyonların hareket etmesini sağlar ve bu şekilde çözeltinin istenilen bileşenlerinden ayrılmasını sağlar.

Elektrodiyaliz, iyon değişim membranlarının seçiciliği ve elektrik akımının kontrolü ile optimize edilir. Pozitif yük taşıyan iyonlar negatif elektrot tarafından çekilirken, negatif yük taşıyan iyonlar pozitif elektrot tarafından çekilir. Bu şekilde, çözelti içerisindeki iyonlar membranlar aracılığıyla hareket eder ve ayrıştırma işlemi gerçekleşir.

Elektrodiyaliz işlemi, enerji verimliliği ve düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca, diğer işlemlerle kıyaslandığında daha hızlı ve daha hassas sonuçlar elde edilebilir. Bu nedenle, su arıtma, gıda endüstrisi, ilaç üretimi ve çevre uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Elektrodiyaliz, iyonik bileşiklerin ayrılması ve saflaştırılması konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Ho ve Sirkar'ın çalışması, bu yöntemin teorik ve pratik temellerini inceleyerek, elektrodiyalizin ilerlemesine katkıda bulunmuştur (Ho ve Sirkar 1992).

Pervaporasyon (PV), bir sıvı karışımının bileşenlerini ayırmak için kullanılan bir işlem olarak tanımlanır. Bu işlem, Fleming ve Slater'ın belirttiği gibi, membran kullanılarak gerçekleştirilir ve bileşenlerin membran boyunca difüzyonu prensibi üzerine dayanır (Fleming ve Slater 1992).

Pervaporasyon, özellikle termolabil bileşiklerin işlenmesi ve teknik olarak zor damıtmaların gerçekleştirilmesi için alternatif bir yöntem olarak uygulanabilir. Pervaporasyon işlemi, sıvı karışımının membran üzerine uygulanmasıyla başlar. Karışım, membranın gözenekli yapısı aracılığıyla geçerken, bileşenlerin membran içerisindeki difüzyonu gerçekleşir. Bu süreçte, bileşenlerin buharlaşma eğilimleri ve difüzyon özellikleri, ayırma işlemi etkiler.

Pervaporasyon, sıvı karışımının komponentlerinin farklı buharlaşma eğilimlerine sahip olmasını kullanır. Karışımdaki bileşenler, membran yüzeyinde



buharlaşarak gaz fazına geçerken, membranın diğer tarafında yoğunlaşır ve ayrışır. Bu sayede, bileşenlerin seçici olarak ayrılması sağlanır.

Pervaporasyonun avantajları arasında düşük enerji tüketimi, düşük işletme sıcaklığı ve yüksek ayırma verimliliği yer alır. Ayrıca, termolabil bileşiklerin işlenmesinde ve zor damıtma işlemlerinde alternatif bir çözüm sunar.

Fleming ve Slater'ın çalışması, pervaporasyon işleminin temel prensiplerini ve uygulama alanlarını detaylı bir şekilde incelemiştir. Bu çalışma, pervaporasyonun endüstriyel uygulamalardaki önemini vurgulamış ve ilerlemesine katkıda bulunmuştur (Fleming ve Slater 1992).

## 2.5 Ağır Metaller

Ağır metaller, genellikle suya kıyasla yüksek yoğunluğa veya atomik ağırlığa sahip olan metallerdir. Bu metallerin yoğunluğu  $5 \text{ g/cm}^3$ 'ten fazladır ve atomik ağırlıkları  $63.5\text{-}200.6 \text{ g/mol}$  aralığındadır, Srivastava ve Majumder'in belirttiği gibi. (Srivastava ve Majumder 2008)

Ağır metallerin insan sağlığı üzerinde potansiyel zararları vardır ve çevre kirliliği ile de ilişkilendirilirler. Bu metaller ve metalloidler, doğal olarak bulunan elementlerin yanı sıra endüstriyel faaliyetler, madencilik, tarım ilaçları, sanayi atıkları ve fosil yakıt kullanımı gibi insan faaliyetleri sonucunda çevreye yayılabilirler. Bu nedenle, ağır metallerin kontrolsüz salınımı çevre ve insan sağlığı için ciddi bir tehlike oluşturabilir.

Ağır metallerin sağlık üzerindeki olumsuz etkileri, uzun süreli maruziyet durumunda ortaya çıkar. Bunlar arasında kurşun, cıva, kadmiyum, arsenik gibi metaller bulunur. Bu metaller, sinir sistemi bozuklukları, kanser, böbrek hasarı, solunum problemleri, zihinsel bozukluklar ve doğumsal anomaliler gibi çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilir. Ayrıca, su kaynaklarına karıştıklarında içme suyu kaynaklarının kirlenmesine ve ekosistemlere zarar vermelerine yol açabilirler.

Bu nedenlerle, ağır metallerin çevresel etkilerini ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel risklerini değerlendirmek, önleme ve kontrol stratejileri geliştirmek büyük önem taşır. Ali ve Khan'ın çalışması, ağır metallerin çevresel etkilerini ve toksisitesini araştırmış ve bu konuda farkındalığı artırmıştır. Bu çalışma, ağır metallerin kontrolü için politika ve yönetmeliklerin geliştirilmesinde bir rehberlik sağlamış ve çevresel sürdürülebilirlik için önemli bir adım olmuştur (Ali ve Khan 2018).

### **2.5.1 Kurşun**

Yıllardır toksik olduğu bilinmekte olan kurşun, doz, vücuda alınış şekli gibi parametreler doğrultusunda zehirleyici etki göstermektedir. Vücuda alınma yolları arasında gaz veya toz hallerinde solunum yoluyla, gıda tüketim ürünleriyle ağız yoluyla ve çeşitli organik bileşiklere temas sonucunda derivasyon yoluyla vücuda alınabilmektedir (Bütün 2006). Vücuttan atılımı noktasında yalnızca idrar yolu ile atıldığı bilinmekle birlikte böbreklerde ve karaciğerde birikimi gözlemlenmektedir (Kutlu 2012).

Kurşun, insan faaliyetleri için ekolojik olarak en zararlı bir numaralı metaldir. Kurşun, metal ve bileşikler halinde atmosfere salındığından, her iki durumda da toksiktir (çalışma ortamında kabul edilebilir sınır  $0,1 \text{ mg/m}^3$ 'tür). Doğada düşük derişimde olmakla beraber en sık karşılaşılan ağır metaldir (Kaya 2008).

Kurşunun vücutta absorpsiyonu çocuklarda daha yüksek olmakla beraber normalde %5 gibi düşük bir orandadır. Bu oran dahilinde kalsiyum ve demir gibi birçok mineralin vücut tarafından emilimini azaltmaktadır. Kurşun bir çeşit nörotoksindir ve anormal beyin ve sinir sistemi fonksiyonlarına sebep olmaktadır. Çocuklar üzerinde yapılan araştırmalarda kanda kurşun miktarı arttıkça IQ seviyesinin düştüğü tespit edilmiştir (Kahvecioğlu ve diğ. 2006).

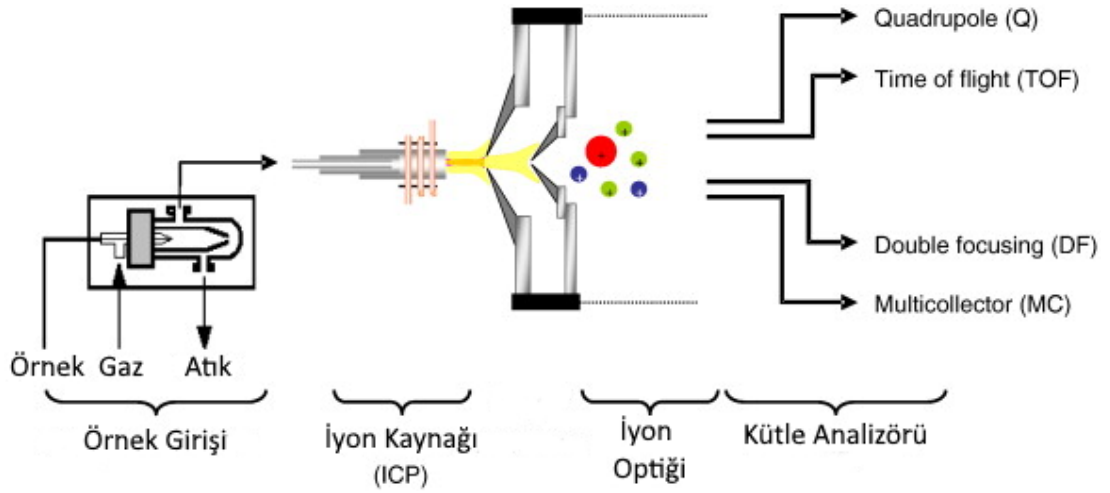
### **2.6 ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometrisi)**

Polimer içerikli membran transport çalışmamızda hangi metalin seçimli olduğuna ilişkin analizin yapılması amacıyla alınan numuneler Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji ve Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan ICP-MS cihazı kullanılarak yapılmıştır.

ICP-MS (İndüktif olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi), katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin ve izotopların hızlı, ucuz, hassas ve doğru bir şekilde ölçülmesini sağlayan bir kütle spektrometresi türüdür. Bu teknik, elektromanyetik indüksiyonla 10,000°C sıcaklığa ulaştırılan argon plazması ile örneğin iyonize edilmesi, iyonize elementlerin kütle/yük oranlarına göre ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamalarını içerir. ICP-MS, gıda, ilaç, jeoloji ve maden gibi alanlarda ağır metal ve eser element analizleri için kullanılan ileri teknoloji bir analitik cihazdır. Ayrıca çevre, toksikoloji, tıbbi ve adli tıp alanlarında da vücut sıvılarındaki metal element analizleri için ICP-MS analizi istenmektedir (URL-5).

ICP-MS cihazının en büyük avantajlarından biri, çok düşük tayin sınırlarına (milyarda birden daha düşük) sahip olmasıdır. Bu sayede iz element tayini ve miktarının belirlenmesi için en uygun metottur. Ayrıca ICP-MS cihazı, çok sayıda elementin kısa sürede (1-2 dakika) ölçülmesine olanak sağlar. Bununla birlikte ICP-MS cihazının bazı dezavantajları da vardır. Örneğin ICP-MS cihazında iyonlaşma sırasında oluşabilecek interferanslar (spektral veya matris kaynaklı) analiz sonuçlarını etkileyebilir. Bu nedenle interferansların azaltılması veya giderilmesi için çeşitli yöntemler (reaktif gaz kullanımı, kütle ayırıcı modifikasyonu, izotop seçimi vb.) uygulanmalıdır. Ayrıca ICP-MS cihazında numune hazırlığı da oldukça önemlidir. Katı numunelerin homojen çözelti haline getirilmesi için öğütme, eritme, füzyon veya mikrodalga fırın gibi yöntemler kullanılmalıdır (URL-6).

ICP-MS cihazında farklı tipteki numunelerin analizi için iki temel yöntem vardır: Çözelti ICP-MS ve Lazer Aşındırma ICP-MS. Çözelti ICP-MS yönteminde numune solüsyon halinde iken Lazer Aşındırma ICP-MS yönteminde numune katı halde analiz edilir. Çözelti ICP-MS yönteminde numune, bir nebulizatör ile plazmaya gönderilir. Nebulizatör, numuneyi ince bir sis haline getirerek plazmaya taşınmasını sağlar. Lazer Aşındırma ICP-MS yönteminde ise numune, bir lazer ışını ile aşındırılır. Lazer ışını, numunenin yüzeyinden küçük parçacıklar kopararak plazmaya taşınmasını sağlar. Her iki yöntemde de plazmada iyonize olan elementler, kütle spektrometresi ile ayrıştırılır ve dedektör ile ölçülür (URL-8).



Şekil 2.2 : ICP-MS çalışma diyagramı (Bettmer ve diğ. 2009)

ICP-MS cihazı, son yıllarda hızla gelişen ve yaygınlaşan bir analitik tekniktir. Gelecekte ICP-MS cihazının daha da geliştirilmesi ve yeni uygulama alanları bulması beklenmektedir. Örneğin ICP-MS cihazının interferans giderme yöntemleri daha da iyileştirilebilir. Ayrıca ICP-MS cihazının lazer aşındırma yöntemi ile katı numunelerin doğrudan analizi daha da yaygınlaşabilir. Bunun yanında ICP-MS cihazının biyolojik numunelerde iz element ve izotop analizleri için kullanımı da artabilir. Özellikle tıbbi alanda ICP-MS cihazının hastalık teşhisi, ilaç izleme ve tedavi değerlendirme gibi amaçlarla kullanılması mümkündür (URL-6).

### 3. SIVI MEMBRANLAR (LM)

Sıvı Membranlar (LM), çeşitli uygulamalarda kullanılan ve bir sıvının, genellikle bir taşıyıcı ve bir çözücü içeren, bir polimerik matris içinde tutulduğu membranlardır. Bu membranlar, kolaylaştırılmış taşıma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Vilt ve diğ. 2010).

Sıvı membranlar, kolaylaştırılmış taşıma sistemlerinde önemli bir rol oynar. Bu sistemler, çeşitli moleküler veya iyonik türlerin seçici olarak geçişini sağlar ve hedef bileşenlerin ayrılması veya konsantrasyonunun değiştirilmesi gibi işlemleri gerçekleştirir. Sıvı membranlar, geleneksel membran teknolojilerine kıyasla daha yüksek seçicilik ve daha iyi ayırma verimliliği sağlar. Ayrıca, sıvı membranlar çevre dostu ve ekonomik açıdan da avantajlıdır (Kislik 2015).

Srivastava ve Majumder'in çalışması, sıvı membranların endüstriyel uygulamalardaki kullanımını araştırmış ve bu alanda önemli bir kaynak sağlamıştır. Bu çalışma, sıvı membranların tasarımı, sentezi, karakterizasyonu ve performansı üzerine derinlemesine bir inceleme sunmuştur. Aynı şekilde, kolaylaştırılmış taşıma sistemlerinin genel prensipleri ve uygulamaları hakkında bir anlayış sağlamıştır (Srivastava ve Majumder 2008).

Sonuç olarak, sıvı membranlar, ayırma ve taşıma işlemlerinde önemli bir rol oynayan membran türleridir. Bu membranlar, endüstriyel süreçlerde, su arıtımında, çevresel kirlilik kontrolünde ve diğer alanlarda kullanılarak verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sağlayabilir.

Sıvı membranlar birçok ayırma sisteminde kullanılmasına rağmen genel olarak dört tipte karşımıza çıkar:

1. Destekli sıvı membranlar (SLM)
2. Yığın sıvı membranlar (BLM)
3. Emülsiyon sıvı membranlar (ELM)
4. Polimer içerikli sıvı membranlar (PIM)

### 3.1. Destekli sıvı membranlar (SLM)

Destekli veya immobilize sıvı membranlar (SLM veya ILM), mikro gözenekli polimerik veya inorganik bir filmde kapiler kuvvetlerle tutulan üç fazlı bir sıvı membran sistemidir. Bu sistemde, destek olarak kullanılan membran, besleme (donör) ve sökme (alma, akseptör) fazlarını ayırır (Kislik 2015).

SLM genellikle, hidrofobik bir mikrofiltrasyon membranının gözeneklerinde immobilize edilmiş bir organik çözücünden oluşur. Organik çözücü, genellikle bir taşıyıcı içerir ve ayrılacak karışımın bileşenlerinden birini seçici olarak bağlayabilme özelliğine sahiptir (Kislik 2015).

SLM, farklı geometrilere üretilir. Düz levha SLM, araştırma amaçlı kullanışlı olsa da endüstriyel uygulamalarda yüzey alanı/hacim oranı düşüktür. Spiral sarılı ve boşluklu lif SLM'leri ise çok daha yüksek yüzey alanlarına sahiptir (sırasıyla  $10^3$  ve  $10^4$  m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>). SLM teknolojisinin karşılaştığı temel zorluklar, taşıyıcının kimyasal stabilitesi, gözenekli desteklerin mekanik stabilitesi gibi stabilite faktörleridir (Kislik 2015).

Destekli sıvı membranlar, birçok avantaja sahiptir. İlk olarak, yüksek seçicilik ve taşıma verimliliği sağlayarak ayırım süreçlerinde etkili bir şekilde kullanılabilirler. Ayrıca, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptirler. Kimyasal endüstride, ağır metallerin geri kazanımı, organik bileşiklerin ayırımı ve su arıtma gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Riedl 2021).

SLM teknolojisi, laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçeğe kadar ölçeklendirilebilir. Endüstriyel uygulamalarda, ölçeklendirilebilirlik ve maliyet faktörleri dikkate alınmalıdır. SLM'lerin stabilitesinin ve dayanıklılığının sağlanması, ticari ölçekte başarılı bir şekilde kullanılmasını destekler (Park ve diğ. 2023).

### 3.2. Yıgın sıvı membranlar (BLM)

Yıgın Sıvı Membranlar (BLM), bir yıgın sulu besleme ve alma fazından oluşan membranlardır. Bu membranlar, bir yıgın organik, suya karşı immiscible sıvı fazıyla ayrılır. Besleme ve alma fazları, mikro gözenekli desteklerle membrandan ayrılabilir veya desteksiz olarak (katmanlı BLM) kullanılabilir (URL-2).

BLM kategorisine dahil edilmesi gereken birçok teknoloji son yıllarda geliştirilmiş ve test edilmiştir. Hibrit sıvı membran (HLM), boşluklu lif sıvı membran (HFLM), boşluklu lif içeren sıvı membran (HFCLM), pertraksiyon, akışkan sıvı membranlar (FLM), membran bazlı ekstraksiyon ve şerit, çoklu membran hibrit sistem (MHS) ve membran kontak sistemleri bu teknolojilere örnek olarak verilebilir (URL-2).

BLM teknolojileri, alkali, alkali toprak, nadir toprak, ağır metal iyonları, değerli metaller gibi çeşitli maddelerin seçici ayırma işlemlerinde kullanılabilir. Bu teknikler, özellikle seçicilik gerektiren uygulamalarda etkili sonuçlar sağlamak için çeşitli yazarlar tarafından incelenmiştir (URL-2).

Yıgın Sıvı Membranlar, farklı uygulama alanlarındaki özel gereksinimlere cevap verebilme yeteneğiyle dikkat çeker. Sağladıkları yüksek taşıma verimliliği ve seçicilik özellikleri, endüstriyel süreçlerde ve çevresel uygulamalarda avantajlı bir seçenek haline gelmelerini sağlar (URL-2).

### 3.3. Emülsiyon sıvı membranlar (ELM)

Emülsiyon sıvı membranlar (ELM), iki karışmayan faz içeren stabil bir emülsiyonun sürekli dış fazda dağıtılmasıyla oluşan membranlardır. Bu membranlar, hedef türlerin taşınmasını kolaylaştıran özel bir taşıma mekanizmasıyla çalışır. ELM'ler metal iyonlarının ve organiklerin geri kazanımı için yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü hızlı ekstraksiyon sağlar ve tek aşamalı bir şerit-ekstraksiyon işlemi sunar (Chakraborty ve diğ. 2010).

ELM'ler genellikle iki farklı yapıya sahip olabilir. Birinci tip, suya karşı yağ emülsiyonu şeklindedir, yani iç faz su ve dış faz ise yağdır. Bu durumda, immiscible yağ fazı membran görevi görür ve sulu fazları birbirinden ayırır. İkinci tip ise yağa karşı su emülsiyonudur, yani iç faz yağ ve dış faz su şeklindedir. Bu durumda, immiscible su fazı membran olarak işlev görür ve iki organik fazı birbirinden ayırır (URL-3).

Emülsiyon sıvı membranlar, diğer membran tiplerine kıyasla daha yüksek kütle transfer alanına ulaşabilme avantajına sahiptir. Bu, daha etkili bir ekstraksiyon süreci sağlar. ELM'lerin yüksek kütle transfer alanına sahip olmasının nedeni, emülsiyon yapısının daha büyük bir yüzey alanı sunmasıdır. Bu da daha fazla etkileşim noktası ve daha hızlı taşıma sağlar.

ELM'lerin uygulama alanları oldukça geniştir. Özellikle metal iyonlarının ve organiklerin geri kazanımı için kullanılırlar. Endüstriyel atık suların arıtılması, madencilik, metal işleme, kimyasal sentez süreçleri gibi alanlarda ELM'lerin kullanımı yaygındır. Ayrıca, biyokimya, biyoteknoloji ve ilaç endüstrisi gibi alanlarda da potansiyel uygulamaları vardır (Mondal 2018).

ELM'ler, desteklenmiş sıvı membranlar ve toplu sıvı membranlar gibi diğer membran tiplerine göre bazı avantajlar sunar. Daha yüksek kütle transfer alanı sayesinde daha verimli ve hızlı bir taşıma sağlarlar. Ayrıca, emülsiyon yapısının stabilitesi ve kullanım kolaylığı da ELM'leri tercih edilebilir hale getirir (Chakraborty ve diğ. 2010).



### 3.4. Polimer içeren sıvı membranlar (PIM)

Polimer içeren sıvı membranlar (PIM), genellikle bir taşıyıcı ve bir plastikleştirici içeren bir polimerik matris içinde tutulan bir sıvıdır. PIM'ler, destekli sıvı membranlara göre (SLM) iyi bir alternatif olarak geliştirilmiş ve birçok özel avantajlara sahiptir. Bu avantajlar arasında kolay sentez, etkili taşıyıcı immobilizasyonu, çok yönlülük ve iyi mekanik özellikler yer almaktadır (Rodríguez de San Miguel 2022).

PIM'ler, metal iyonlarının ve küçük organik moleküllerin ekstraksiyonu ve ayrılması gibi bir dizi uygulamada başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, optik ve katalitik uygulamalar, enerji dönüşümü, pasif örnekleme, tür ölçümü, örnek ön işleme ve metal nanoparçacık sentezi gibi farklı alanlarda da uygun hale getirilmişlerdir. PIM'lerin fiziksel doğası, bu uygulamalara kolayca entegre edilebilmelerini sağlamaktadır (Rodríguez de San Miguel 2022).

PIM'ler genellikle bir baz polimer (CTA, PVC, PVDF vb.), bir taşıyıcı ekstraktan ve bir plastikleştiriciden oluşmaktadır. CTA (selüloz triasetat) ve PVC (polivinil klorür), en yaygın kullanılan baz polimerler arasında yer almaktadır. CTA düşük asitlik aralığında çalışırken, daha yüksek asitliklerde hidrolize uğrayabilir (URL-4).

PIM'lerin taşıma modellenmesi ile ilgili olarak, P. Szczepański tarafından taşıma kinetiğini tanımlamak için yeni bir model önerilmiştir. Bu yeni model, denge ile benzerlik gösteren birinci dereceden kimyasal reaksiyon denklemine dayanmaktadır. Bu model, PIM'lerin taşıma mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasına ve optimize edilmesine yardımcı olmaktadır (Szczepański 2023).

PIM'lerin kullanımı, çeşitli endüstriyel ve araştırma alanlarında önemli bir potansiyele sahiptir. Metal iyonlarının ayrılması, çevre kirliliği kontrolü, kimyasal sentez süreçleri, biyoteknoloji ve enerji üretimi gibi birçok alanda PIM'lerin etkili kullanımı görülmektedir. Bu çalışmalar, PIM'lerin sentezinde ve uygulamalarında yeni gelişmelerin sağlanmasına ve daha verimli ve sürdürülebilir işlemlerin gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır (Rodríguez de San Miguel 2005).

### 3.5 Sıvı Membranlarda Ara Yüzeyde Gerçekleşen Olaylar

Sıvı membranlarda ara yüzeyde gerçekleşen olaylar, sıvı membranların işlevselliğini belirleyen önemli bir faktördür. Sıvı membranlar, iki karışmayan faz arasında bir ara yüzey oluşturur ve bu ara yüzeyde, taşınan bileşiklerin seçici olarak bağlanması ve taşınması gibi olaylar gerçekleşir.

Ara yüzey özellikleri, sıvı membranın yapısı, kullanılan taşıyıcı ve çözücüye bağlı olarak değişir. Bu özellikler, sıvı membranların performansını etkileyerek seçicilik ve taşıma hızını optimize etme imkânı sağlar. Örneğin, ara yüzey özelliklerini değiştirmek için nanopartikül gömülü kaplama membranları gibi gelişmiş teknolojiler kullanılabilir. Bu teknolojiler, sıvı membranların seçiciliğini ve taşıma hızını artırmanın yanı sıra membranların stabilitesini de artırabilir.

Nanopartikül gömülü kaplama membranları, ara yüzey özelliklerini ayarlamak için nanopartiküllerin membran yapısına entegre edilmesini içerir. Bu nanopartiküller, membranın yüzey alanını artırır ve böylece taşıma kapasitesini ve etkinliğini artırır. Ayrıca, nanopartiküllerin yüzeyi, seçici bağlanma sağlayan özelliklere sahip kimyasal gruplarla kaplanabilir. Bu şekilde, istenilen bileşiklerin ara yüzeye bağlanması ve taşınması daha etkili hale gelir.

Nanopartikül gömülü kaplama membranları, çeşitli alanlarda potansiyel uygulamalara sahiptir. Örneğin, su arıtma süreçlerinde zararlı kirleticilerin giderilmesinde kullanılabilirler. Ayrıca, kimyasal endüstride, farmasötik üretimde, gıda işleme ve biyoteknoloji gibi alanlarda da kullanılmaktadırlar.

Bu gelişmiş teknolojiler, sıvı membranların performansını artırarak daha etkili ve verimli ayırım süreçleri sağlar. Ara yüzey özelliklerinin optimize edilmesi, seçicilik, taşıma hızı ve membran stabilitesi gibi kritik faktörlerin kontrol altına alınmasına yardımcı olur.

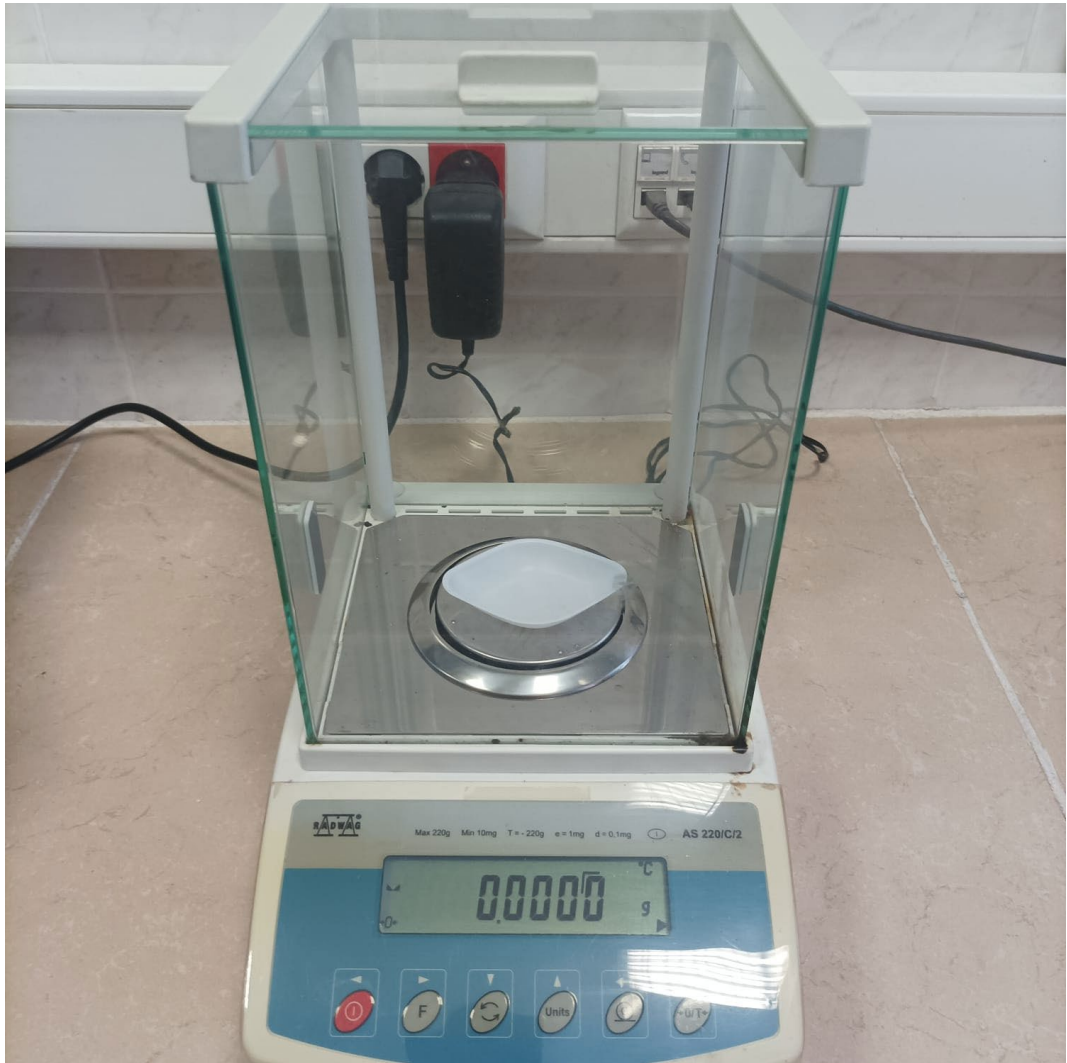
## 4. MATERYAL VE METOD

### 4.1 MATERYAL

#### 4.1.1 Kullanılan Cihazlar

##### 4.1.1.1 Analitik Hassas Terazi

Ölçümlerde RADWAG AS 220/C/2 cihazı kullanılmıştır. Kullanılan teraziye ait görsel Şekil 4.1’de yer almaktadır.



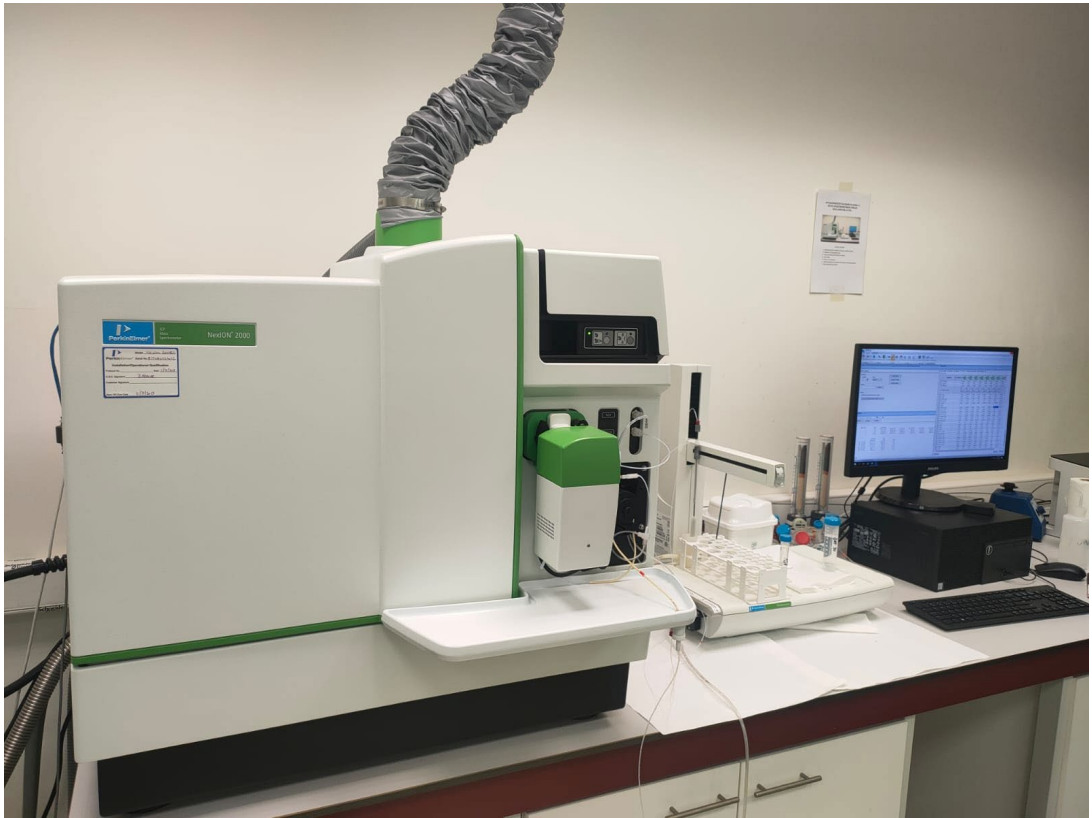
**Şekil 4.1:** Deneylerde kullanılan RADWAG AS 220/C/2 hassas terazi.

#### 4.1.1.2 Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı

Çalışmada J.P. Selecta Aimatic-ED cihazı kullanılmıştır

#### 4.1.1.3 ICP-MS

Çalışmada, Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma Merkezi Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 4.2'de gösterilen Perkin Elmer markasına ait Nexion 2000 model ICP-MS cihazı kullanılmıştır.

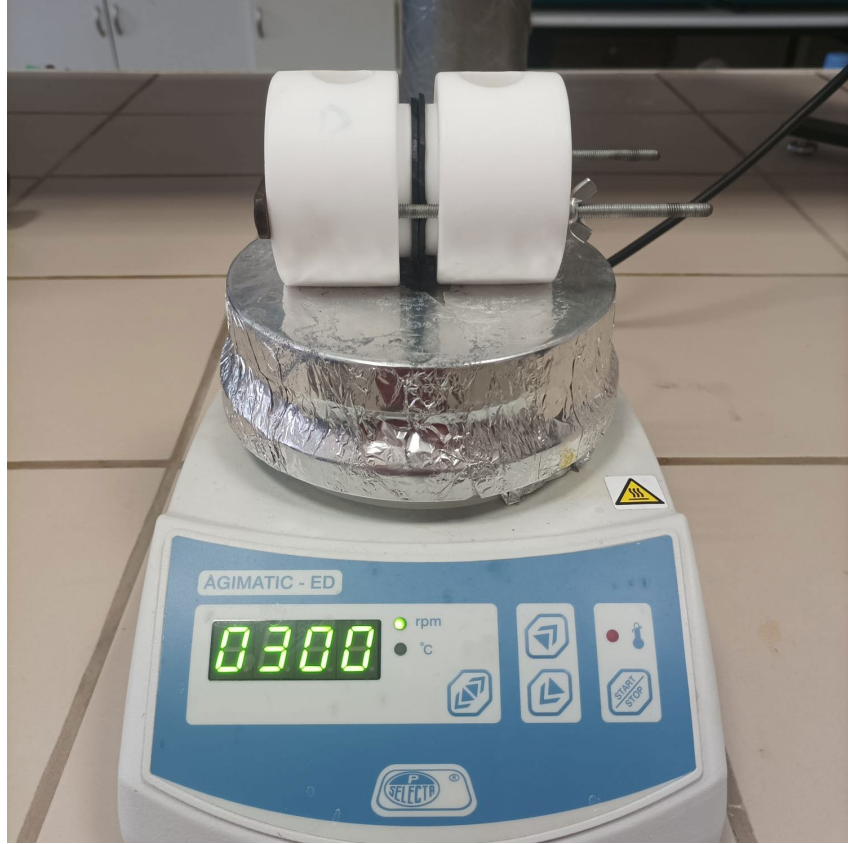


Şekil 4.2 : Perkin Elmer marka Nexion 2000 ICP-MS cihazı

#### 4.1.1.4 Deney Düzenegi

Deney düzenegi, teflondan özel olarak dizayn edilmiş iki bölmeli bir düzenektir. Her bölüm 40 mL'lik bir kapasiteye sahiptir. Membran, halkalar sızıntıyı

önlemek amacıyla bölmeler ortasındaki silikon lastiklerin arasına yerleştirilmiş ve conta yardımıyla sıkıştırılmıştır. Deney düzeneği Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



**Şekil 4.3 : Deney düzeneği**

Şekil 4.3'te 300 rpm değerinde ayarlanmış J.P. Selecta Aimatec-ED manyetik karıştırıcı üzerinde yer alan 40 mL'lik renksiz teflon ünite içerisinde donör ve akseptör fazlar ile her bir bölüm içerisinde bir manyetik balık yer almaktadır. Oluşturulan PIM, her iki bölümün ortasında yer alan birleşim kısmına yerleştirilmiştir.

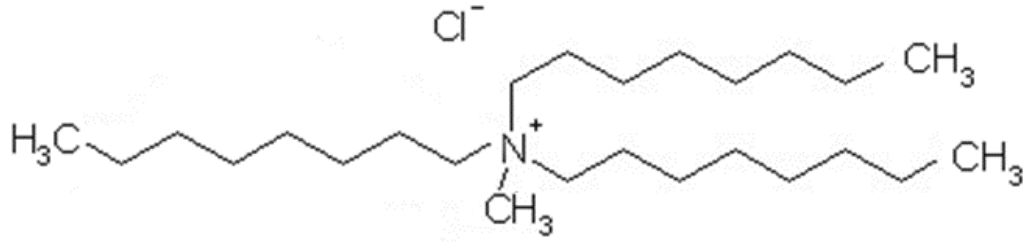
#### **4.1.2 Kullanılan Kimyasal Maddeler, Taşıyıcı Ligand**

##### **4.1.2.1 Kullanılan Kimyasal Maddeler**

Çalışmada kullanılan kimyasal maddeler Merc, Fluka, Sigma-Aldrich firmalarından temin edilmiştir. Membran çalışmaları için;  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ , selüloz triasetat(CTA), Diklorometan, Aliquat 336,

2-NPOE ve HCl kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çözeltiler standart metotlarla hazırlanmıştır.

Çalışmamızda kullandığımız kimyasal maddeler Tablo 4.1’de ve taşıyıcı Aliquat 336’nın yapısı Şekil 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Aliquat 336 taşıyıcısının yapısı

Tablo 4.1: PIM için kullanılan kimyasal maddeler ve formülleri

Kimyasal Madde	Formülü
Bakır(II) Nitrat III Hidrat	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 3H <sub>2</sub> O
Kurşun Nitrat	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Gümüş Nitrat	AgNO <sub>3</sub>
Mangan(II) Nitrat IV Hidrat	Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O
Nikel(II) Nitrat	Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O
Selüloz Triasetat(CTA)	[C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub> (OOCCH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ] <sub>n</sub>
Diklorometan	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>
Aliquat 336	C <sub>34</sub> H <sub>54</sub> CN
Hidroklorik Asit	HCl
2-Nitrofenil Oktil Eter	C <sub>14</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>3</sub>

## 4.2 YÖNTEM

### 4.2.1 Membran Sentezi

Membran sentezi için 2,5 mL diklorometana 0,02 g temel polimer olarak kullanılan CTA eklenerek erlende karıştırıcı yardımıyla 3 saat boyunca çözünmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 1,5 mL diklorometan içerisine taşıyıcı olarak 35 $\mu$ L Aliquat 336 ve 35 $\mu$ L 2-NPOE plastikleştiricisi eklenerek 3 saat karıştırılmıştır. Bu baz polimerin ve taşıyıcı/plastikleştiricinin bulunduğu erlenler birbirine karıştırılarak 3 saat boyunca karıştırılıp bu sürenin sonunda da bir petri kabına (100 mm) dikkatlice dökülerek 1 gece boyunca karışımdaki çözücünün buharlaşması sağlanır. Kullanılmadan önce ise saf suda bekletilerek kolay bir şekilde pens yardımıyla petri kabından çıkartılarak kullanıma hazır hale getirilir. Hazırlanan PIM Şekil 4.5' de gösterilmektedir.



Şekil 4.5 : Petri kabından ayrılmış PIM

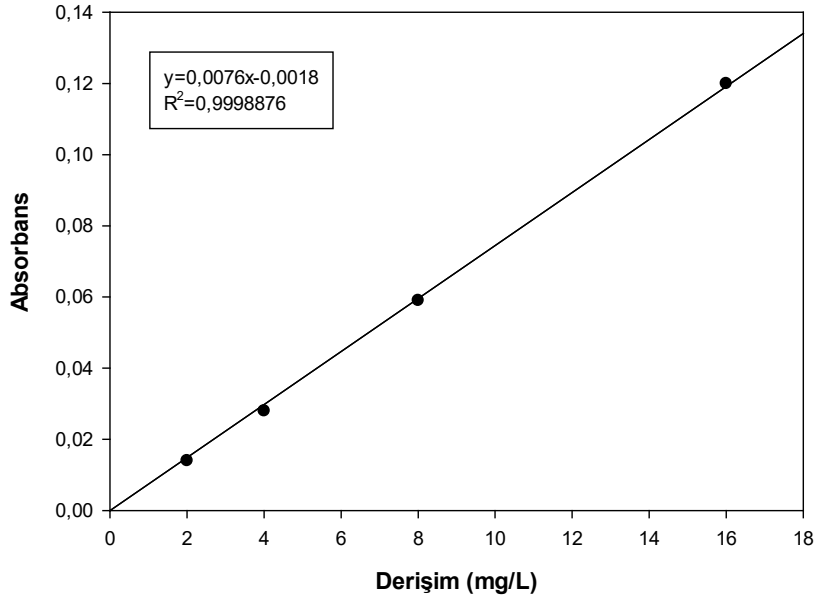
#### 4.2.2 Polimer İçerikli Membranlar ile Taşınım Deneyleri

Taşınım deneylerinde kullanılacak olan polimer içerikli membranın hazırlanması daha önce Ona tarafından belirtilen yönteme göre gerçekleştirilmiştir.(Onac, 2017) Taşınım prosesini gerçekleştirmek üzere oluşturulan düzenek Şekil 4.1.1.4'te verilmiştir. Bu iki yarı hücreden oluşan sistemde (yarı hücre hacmi:40 mL, membran yüzey alanı: 9,08 cm<sup>2</sup>) sentezlenen membran yerleştirilerek, farklı metallerin taşınım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca maksimum taşınma veriminin gerçekleştiği Pb<sup>+2</sup> metalinde optimum koşulların sağlanması için; plastikleştirici etkisi, karıştırma hızı etkisi, donör ve akseptör faz konsantrasyonları etkisine bakılmak üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. 25°C'de gerçekleştirilen çalışmalarımızda, donör ve akseptör fazdan belirli zaman aralıklarında alınan numunelerdeki metal konsantrasyonu ICP-MS ile tayin edilmiştir. ICP-MS parametreleri 1300W güçte, 1,5 mL/dk sürücü gaz, 15mL/dk yardımcı gaz, 0,65mL/dk nebulizer gazı ve 1,5mL/dk numune akış hızı ayarlanmıştır. 20 saniye yıkama süresi ve 3 saniye okuma süresi belirlenmiştir. Kalibrasyon grafiği 10ppb, 50ppb, 100ppb, 250ppb ve 500ppb derişimlerde oluşturulmuş olup, numuneler 100 kat seyreltilerek okutulmuştur. Her okuma sonrasında kalibrasyon teyidi amaçlı 50ppb standart okuması yapılmıştır. Pb<sup>+2</sup> katyonunun kalibrasyon grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. rnek olarak Pb<sup>+2</sup> metal katyonu için farklı konsantrasyonlardaki absorbands değerleri tablo 4.2 ve kalibrasyon grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.2 :** Farklı derişimler de hazırlanan Pb<sup>+2</sup> metal katyonu için ölçülen absorbands değerleri

DERİŐİM (mg/L)	ABSORBANS
0	0
2	0,013
4	0,026
8	0,055
16	0,116





**Şekil 4.6 :** Pb<sup>+2</sup> metal katyonun kalibrasyon eğrisi

Farklı metallerde gerçekleştirilen ICP-MS’de ölçülen konsantrasyon değerleri vasıtasıyla polimer içerikli membranlarla gerçekleştirilen taşınımın kinetik verileri Fick 1. (Sarıkaya 2003) Kanunundan faydalanılarak hesaplanmıştır.

$$J \left( \frac{\text{mol}}{\text{cm}^2 \text{s}} \right) = \frac{V}{A} x \frac{dC}{dt} \quad (1)$$

Bu eşitlikte; J akış hızını, V donör fazının hacmini, A etkin membran yüzey alanını, C sınırlama fazındaki metal iyonunun konsantrasyonunu, t ise zamanı göstermektedir. Ayrıca metallerin transport deneylerinde çalışılan parametrelere geçirgenlik katsayısının etkisinin incelenmesi amacıyla geçirgenlik katsayısı değerleri (P) hesaplanır.

$$P = \frac{dC}{C} \frac{1}{dt} \frac{V}{A} \quad (2)$$

Formülün integre edilmesi ile;

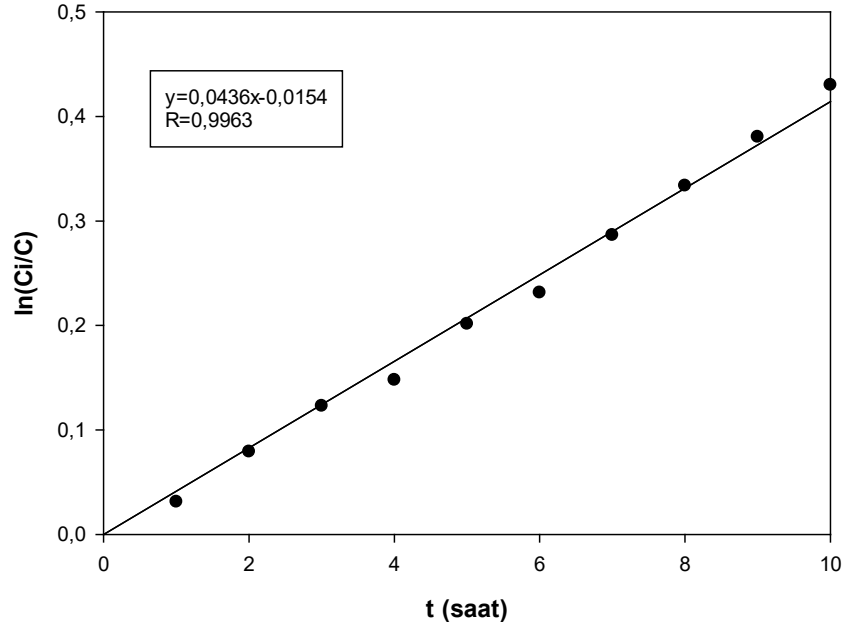
$$\ln \frac{C_i}{C} = \frac{V}{A} P t \quad (3)$$

Elde edilir. Burada  $C_i$ ; donör fazındaki metal iyonunun başlangıç konsantrasyonunu gösterirken  $\ln(C_i/C)$  değerinin zaman grafiğine dönüştürülmesi sonucunda ulaşılan doğru eğimi K değerini (hız sabiti) verecektir. Deneye ait her bir parametre için yukarıdaki hesaplamaların yapılması gerekmektedir.  $Pb^{+2}$  için belirli şartlarda gerçekleştirilen PIM deneylerine ait sonuçlardan elde edilen konsantrasyon ve  $\ln(C_i/C)$  değerlerine ait veriler Tablo 4.3'te belirtilmiştir.

**Tablo 4.3 :**  $Pb^{+2}$  metal katyonu için elde edilen sonuçlar

t(Saat)	C(mg/L)	$C_i/C$	$\ln C_i/C$
1	6,8112	1,0318	0,0313
2	14,0053	1,0825	0,0793
3	24,9481	1,1309	0,1230
4	28,9966	1,1593	0,1478
5	38,3830	1,2232	0,2015
6	42,6380	1,2605	0,2315
7	52,1873	1,3319	0,2866
8	59,2181	1,3962	0,3338
9	65,8933	1,4630	0,3805
10	73,3965	1,5375	0,4302

Tablo 4.3'teki veriler ile oluşturulan  $Pb^{+2}$  metal katyonu için  $\ln(C_i/C)$ -t grafiği Şekil 4.7'de oluşturulup  $\ln C_i/C$  ye t grafiğinden elde edilen eğimden k sabiti hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu k değeri  $0,09348 \text{ s}^{-1}$  olarak bulunmuştur.



**Şekil 4.7 :**  $Pb^{+2}$  metal katyonu için  $\ln(C_i/C)$ -t grafiği

Bu şartlar altında  $Pb^{+2}$  metal katyonu için P ve J değerleri için hesaplanan değerler Tablo 4.4'te yer almaktadır.

**Tablo 4.4 :**  $Pb^{+2}$  metal katyonu için hesaplanan P ve J değerleri

Metal	Taşıyıcı miktarı (Aliquot)	J x 10 <sup>12</sup> (mol/cm <sup>2</sup> s)	P x 10 <sup>6</sup> (cm/s)
$Pb^{+2}$	35 µL	9,05	9,05

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Gerçekleşen polimer içerikli membran çalışmalarımızda:

- Seçimlilik
- Donör faz konsantrasyon etkisi
- Akseptör faz konsantrasyon etkisi
- Karıştırma hızı etkisi
- Plastikleştirici değişim etkisi

Parametreleri incelenmiştir.

### 5.1 Seçimlilik

Polimer içerikli membran (PIM) transport çalışmalarında kullanılan taşıyıcıya bağlı olarak hangi metal katyonuna karşı seçimli olması oldukça önemlidir. Yapmış olduğumuz transport çalışmalarında Aliquat 336 taşıyıcısı için optimum şartlarda farklı metal katyonları ile ( $Pb^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Ni^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$ ,  $Ag^{+}$ ) seçimlilik çalışması gerçekleştirildi. Deneysel sonuçta elde edilen kinetik veriler Tablo 5.1’de verilmiştir.

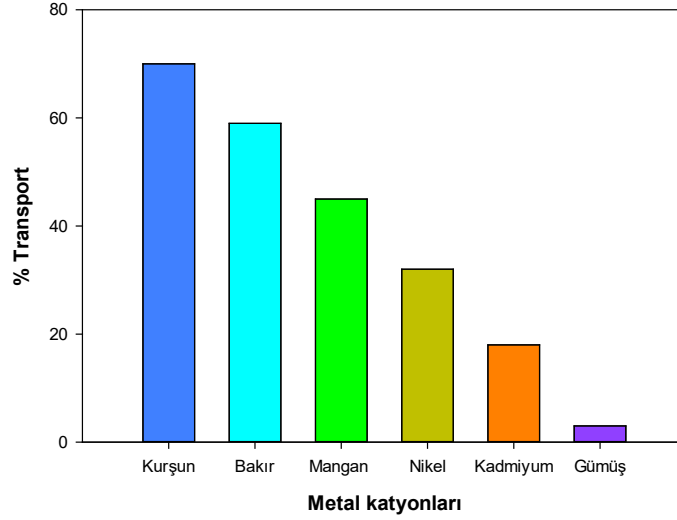
**Tablo 5.1:** Farklı metallerle gerçekleştirilen PIM deneyleri sonucu metal katyonlarına ait kinetik veriler

METAL	$J \times 10^{12} \text{ (mol/cm}^2 \text{ s)}$	$P \times 10^6 \text{ (cm/s)}$
$Pb^{+2}$	9,05	9,05
$Cu^{+2}$	6,12	6,12
$Mn^{+2}$	4,48	4,48
$Ni^{+2}$	3,01	3,01
$Cd^{+2}$	1,97	1,97
$Ag^{+}$	0,88	0,88

$1 \times 10^{-3}$  M donör ve akseptör 1M HCl olarak hazırlanmıştır. Deneyler sırasında karıştırma hızı 300rpm olarak sabit tutulmuştur. Plastikleştirici olarak 35  $\mu$ L CTA kullanılmıştır.

Tablo 5.1’de her bir metal katyonu için p ve j değerleri incelendiğinde  $Pb^{+2}$  metal katyonu için daha yüksek değer elde edilmiştir. Bu durum şekil 5.1’de tanımlanan % transport-metal grafiğinde de oldukça belirgin bir şekilde

görülmektedir.  $Pb^{+2}$  metal katyonu için taşınım, diğer metal katyonlarına göre oldukça yüksektir.  $Pb^{+2}$  metal katyonu için %70 gibi bir taşınım gerçekleşirken,  $Cu^{+2}$  metal katyonu hariç diğer metal katyonlarında bu oran oldukça düşüktür.



**Şekil 5.1:** Farklı metallerle gerçekleştirilen PIM deneyleri sonucu %Transport-Metal grafiği

Elde edilen bu sonuçlardan Aliquat 336 taşıyıcı kullanılarak gerçekleştirdiğimiz PIM çalışmalarında  $Pb^{+2}$  metal katyonunu diğer metal katyonlarına göre seçimli olduğu açıkça görülmektedir.

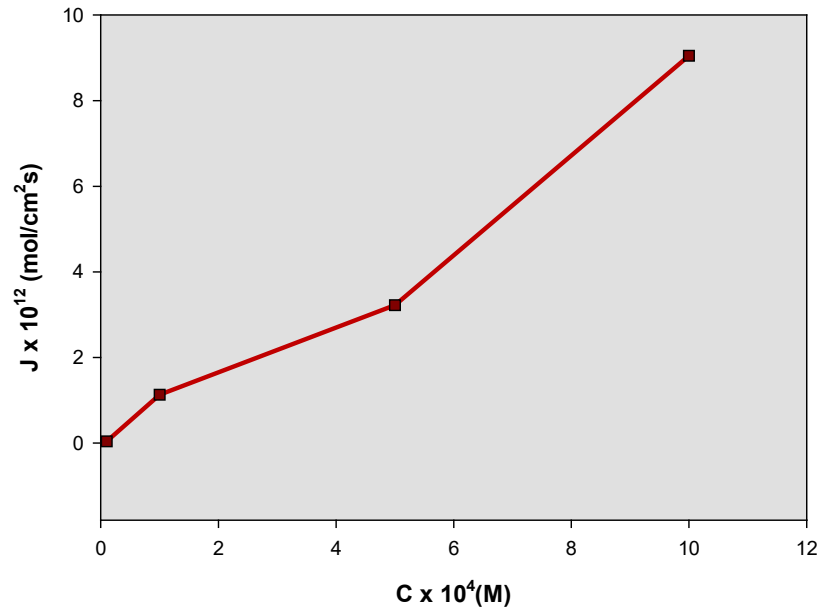
## 5.2 Donör Faz Konsantrasyonlarının Değişiminin Etkisi

Polimer içerikli membran transport çalışmalarında donör faz değişiminin  $Pb^{+2}$  metal katyonunun transportuna etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirdiğimiz deneyler sonucunda elde edilen kinetik veriler Tablo 5.2’de verilmiştir. Dört farklı donör değişiminde gerçekleştirmiş olduğumuz deneylerde membran ve akseptör faz değişimleri sabit tutulmuştur.

**Tablo 5.2 :** Farklı donör faz derişimleri için  $Pb^{+2}$  metaline ait kinetik veriler

METAL	Donör Faz Derişimi (mol/L)	$J \times 10^{12}$ (mol/cm <sup>2</sup> s)	$P \times 10^6$ (cm/s)
$Pb^{+2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	9,05	9,05
	$1 \cdot 10^{-4}$	1,13	1,13
	$5 \cdot 10^{-4}$	3,22	3,22
	$1 \cdot 10^{-5}$	0,04	0,04

Tablo 5.2'deki veriler incelendiğinde  $Pb^{+2}$  metal katyonu için donör faz derişimi arttıkça akışın (J) ve geçirgenlik katsayısının (P) arttığı gözlemlenmektedir. Bu beklediğimiz bir durumdur. Ayrıca PIM transport çalışmalarında donör faz derişiminin etkisini göstermek amacıyla donör fazdaki  $Pb^{+2}$  metal katyonunun derişimlerine karşılık akış hızı Şekil 5.2'de yer alan grafikte verilmiştir.



**Şekil 5.2 :**  $Pb^{+2}$  metal katyonu için akış hızı – donör faz derişimi grafiği

Grafikten anlaşılacağı üzere  $Pb^{+2}$  metal katyonunun artmasıyla akseptör faza geçen  $Pb^{+2}$  metal katyonu derişimi artmakta ve aynı zamanda J değeri de artmaktadır. Hem tablo 5.2' de hem de şekil 5.2'de verilen deneysel sonuçlar PIM transport

çalışmalarında donör faz derişiminin transport verimi üzerine önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuştur.

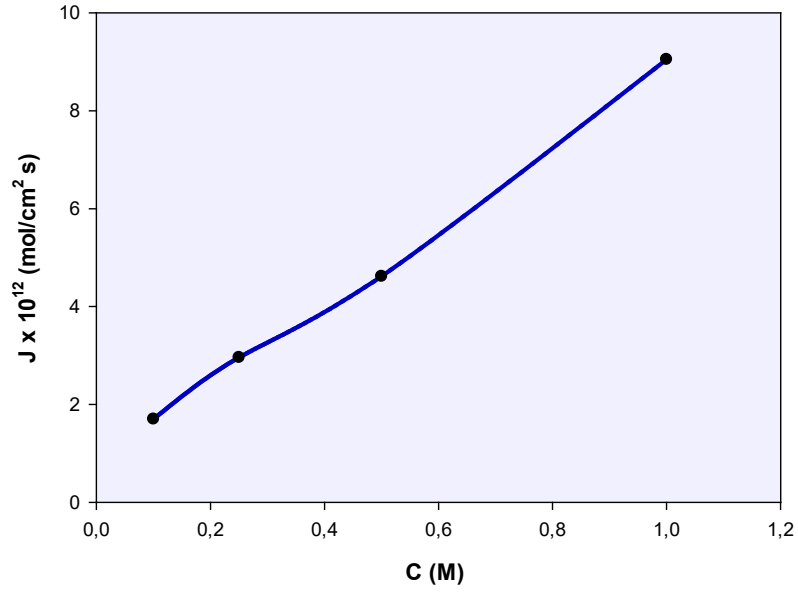
### 5.3 Akseptör Faz Derişimlerinin Etkisi

Aliquat 336 taşıyıcısı kullanılarak  $Pb^{+2}$  metal katyonunun taşınımı üzerine akseptör faz derişiminin etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen deneylere ait kinetik veriler Tablo 5.3'te verilmiştir. Dört farklı faz derişimi için gerçekleştirilen deneylerde donör ve membran faz derişimleri sabit tutulmuştur.

**Tablo 5.3 :** Farklı akseptör faz derişimleri için  $Pb^{+2}$  metal katyonlarına ait kinetik veriler

METAL	Akseptör Faz Derişimi (mol/L)	$J \times 10^{12}$ (mol/cm <sup>2</sup> s)	$P \times 10^6$ (cm/s)
$Pb^{+2}$	0.1	1,70	1,70
	0.25	2,96	1,96
	0.5	4,62	3,62
	1	9,05	9,05

Tablo 5.3'teki veriler açıkça göstermiştir ki akseptör faz derişimleri arttıkça  $Pb^{+2}$  metal katyonu için akış hızı (J) ve geçirgenlik katsayısı (P) değerleri artmıştır. Elde edilen sonuçlar PIM transport çalışmaları için donör faz deneylerinde olduğu gibi akseptör faz için de beklenen bir durumdur. Ayrıca PIM transport çalışmalarında akseptör faz derişiminin etkisini göstermek amacıyla donör fazdan akseptör faza taşınan  $Pb^{+2}$  metal katyonunun derişimine karşılık akış hızınının (J) grafiği şekil 5.3'te grafik olarak verilmiştir.



**Şekil 5.3 :** Pb<sup>+2</sup> metal katyonu için akış hızı – akseptör faz derişimi grafiği

Şekil 5.3'te Pb<sup>+2</sup> metal katyonu için akseptör faz derişiminin artmasıyla akış hızı (J) değerleri artmaktadır. Hem Tablo 5.3 hem de Şekil 5.3 bize PIM transport çalışmalarında akseptör faz derişiminin önemli bir etken olduğunu ortaya koymuştur.

#### **5.4 Karıştırma Hızının Etkisi**

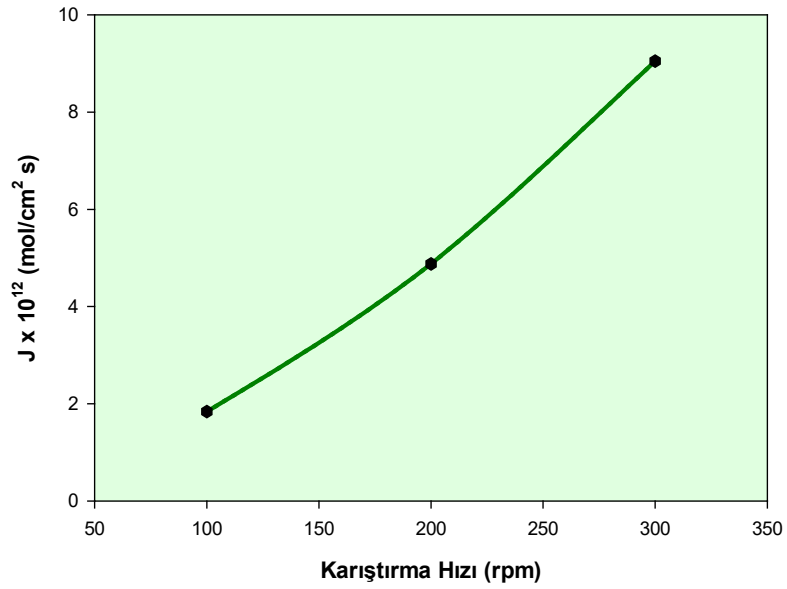
PIM transport çalışmalarında karıştırma hızının transport verimi üzerine etkisi Kaya'nın çalışmasında ortaya konulmuştur (Kaya 2008). Gerçekleştirmiş olduğumuz Aliquat 336 taşıyıcısı ile Pb<sup>+2</sup> metal katyonunun taşınımı deneylerinde 3 farklı karıştırma hızı kullanılarak karıştırma hızının etkisi araştırılmıştır. Deneylerde donör faz, membran ve akseptör faz konsantrasyonları sabit tutulmuştur. Deneylere ait kinetik veriler Tablo 5.4'te verilmiştir.



**Tablo 5.4 :** Farklı karıştırma hızları için  $Pb^{+2}$  metal katyonlarına ait parametreler

METAL	Karıştırma Hızı (RPM)	$J \times 10^{12}$ (mol/cm <sup>2</sup> s)	$P \times 10^6$ (cm/s)
$Pb^{+2}$	100	1,84	1,84
	200	4,88	4,88
	300	9,05	9,05

Ayrıca  $Pb^{+2}$  metal katyonu için akış hızı (J)-karıştırma hızı grafiği Şekil 5.4'te verilmiştir.

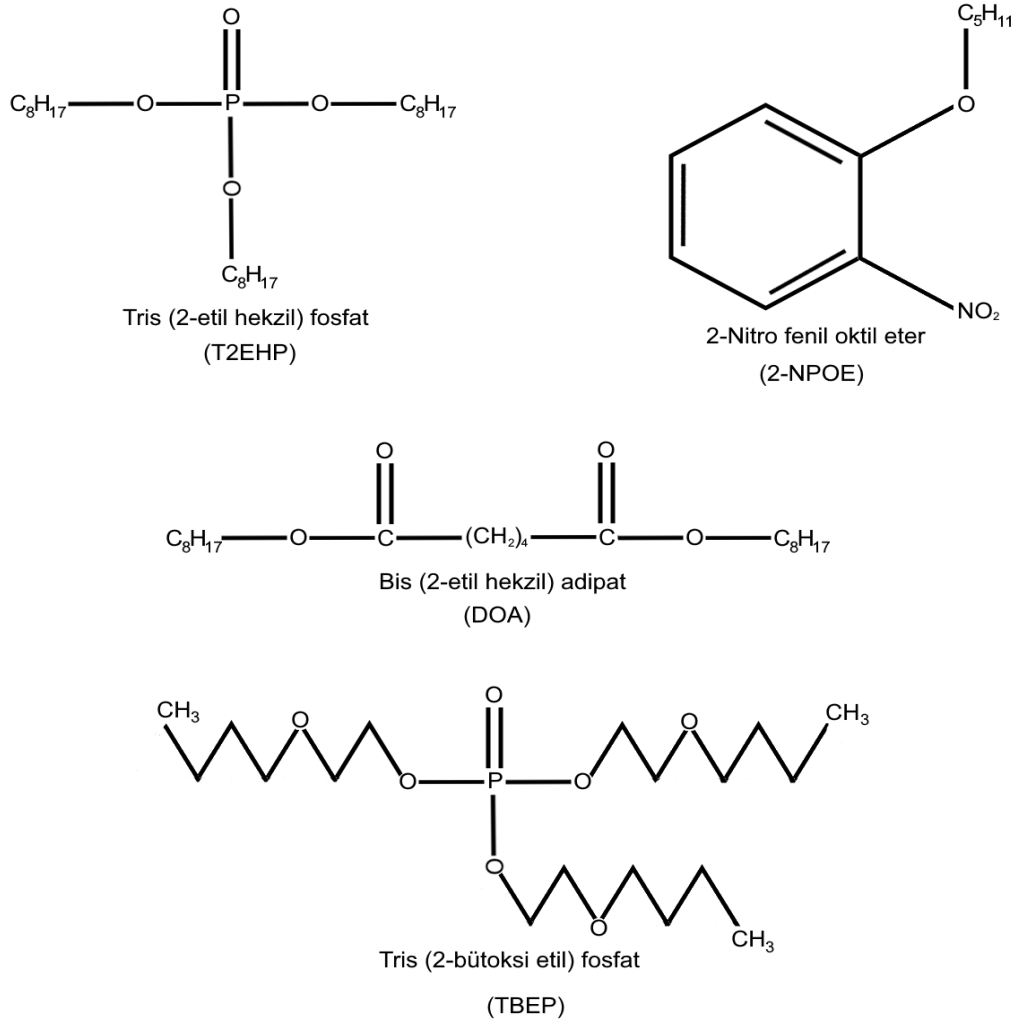


**Şekil 5.4 :**  $Pb^{+2}$  metal katyonu için akış hızı – karıştırma hızı grafiği

Deneyler sonucunda karıştırma hızının artmasıyla kinetik verilerin (P, J) arttığı görülmektedir. En yüksek transport verimliliğine 300 rpm karıştırma hızında, en düşük transport verimliliğine 100 rpm hızında ulaşılmıştır. Daha yüksek karıştırma hızı üzerine çıkıldıkça membran kararlılığı bozulmaktadır. Karıştırma hızı arttıkça  $Pb^{+2}$  metal katyonu için donör/membran ve membran/akseptör faz arayüzlerinin sınır tabakasının kalınlığı azalmakta ve dolayısıyla transport hızı artmaktadır.

## 5.5 Plastikleştirici Etkisi

Aliquat 336 taşıyıcısı kullanılarak  $Pb^{+2}$  metal katyonunun PIM transport çalışmalarında transport verimi üzerine etkili olan bir diğer faktör de plastikleştirici türü etkisidir. Deneysel çalışmalarımızda taşıyıcı türü, membran bileşimi, karıştırma hızı, donör ve akseptör faz sabit tutularak farklı plastikleştirici türleri kullanılmıştır. Çalışmamızda Tris (2-etil hekzil) fosfat (T2EHP), Bis (2-etil hekzil) adipat (DOA), Tris (2-bütoksi etil) fosfat (TBEP), 2-Nitro fenil oktil eter (2-NPOE) 4 farklı plastikleştirici kullanılmıştır. Kullanılan plastikleştiricilerin açık yapıları Şekil 5.5’de verilmiştir.



**Şekil 5.5 :** PIM transport çalışmalarımızda kullanılan plastikleştiricilerin açık yapıları.

Şekil 5.5'te açık yapıları verilen plastikleştiriciler genellikle bir veya birkaç polar çözücü gruplarla hidrofilik alkil yapı içeren bileşiklerdir (Kaya 2014).

Polar gruplar membranla plastikleştiricinin etkileşimini artırırken polar olmayan gruplar temel polimer gruplar ile etkileşerek onları nötralize eder (Kaya 2014).

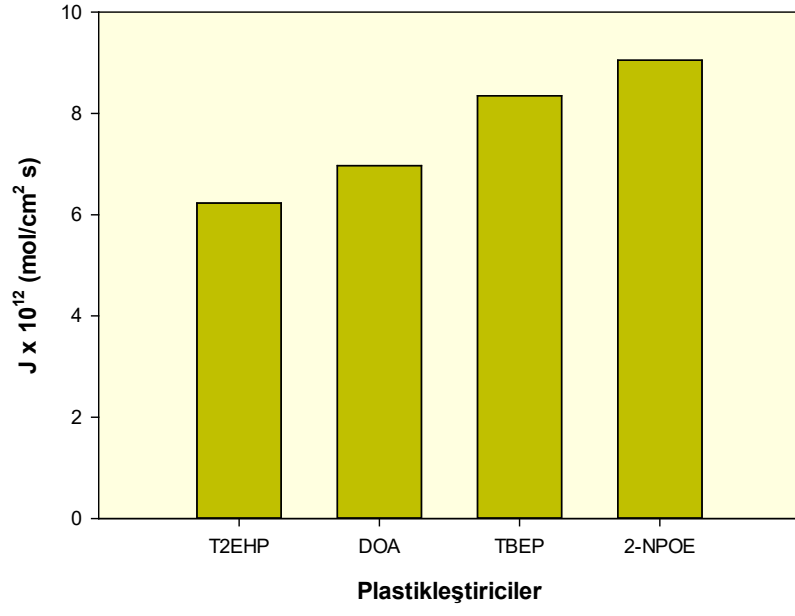
Farklı plastikleştirici türleri ile  $Pb^{+2}$  metal katyonunun transport çalışmalarımızda elde edilen kinetik veriler Tablo 5.5'te verilmiştir.

**Tablo 5.5 :** PIM transport çalışmamızda kullanılan plastikleştiricilerin fizikokimyasal özellikleri ve kinetik veriler.

Plastikleştirici	$\epsilon_r$	$\eta$ (cP)	$J \times 10^{12}$ (mol/cm <sup>2</sup> s)	$P \times 10^6$ (cm/s)
Tris (2-etil hekzil) fosfat (T2EHP)	4,8 <sup>a</sup>	13,1 <sup>a</sup>	6,23	6,23
Bis (2-etil hekzil) adipat (DOA)	4,13 <sup>b</sup>	13,7 <sup>d</sup>	6,97	6,96
Tris (2-bütoksi etil) fosfat (TBEP)	4,2 <sup>c</sup>	13,8 <sup>c</sup>	8,35	8,35
2-Nitro fenil oktil eter (2-NPOE)	24 <sup>a</sup>	13,35 <sup>d</sup>	9,05	9,05

(a:Almedia ve diğ. 2012, b:Scindia ve diğ. 2005 c: Url-1, d: Ulewicz ve diğ. 2007)

Tablo 5.5'te verilen kinetik sonuçlardan dielektrik sabiti en yüksek ve viskozitesi en düşük olan plastikleştirici 2-NPOE'dir ve  $Pb^{+2}$ 'nin en yüksek transport verimine 2-NPOE kullanıldığında ulaşılmıştır. Bu durum ise yukarıda açıklamış olduğumuz polarlığın, plastikleştirici türünde çok önemli bir etken olduğunu doğrulamaktadır. Şekil 5.6'da  $Pb^{+2}$  metal katyonu için farklı plastikleştiricilere ait akış hızı-çözücü grafiği verilmiştir.



**Şekil 5.6 :** Pb<sup>+2</sup> metal katyonu için farklı plastikleştiricilere ait akış hızı-çözücü grafiği

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirmiş olduğumuz polimer içerikli membran (PIM) deneylerinde farklı metallerle çalışılmıştır. Polimer içerikli membran transport çalışmalarında farklı metal katyonları ( $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Ag}^{+1}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ) için  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta, 300 rpm karıştırma hızında, donör faz olarak  $10^{-3}\text{M}$  metal nitrat çözeltisi ve akseptör faz olarak 1M HCl çözeltisi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarımızda membran fazda Aliquat 336 kullanılmıştır. ICP-MS cihazı ile yapılan analizler sonucunda en yüksek metal taşınımının  $\text{Pb}^{+2}$  metal katyonunda olduğu gözlemlenmiştir. Tez çalışmalarımızda donör ve akseptör faz konsantrasyonlarının polimer içerikli membran (PIM) transportu üzerine etkisi detaylıca araştırılmış ve konsantrasyon arttıkça transport verimliliğinin arttığı kinetik verilerle doğrulanmıştır. Yine polimer içerikli membran (PIM) transportu üzerine karıştırma hızı da önemli bir faktördür. Deneylerimizde Farklı karıştırma hızlarında (100, 200 ve 300 rpm) gerçekleştirilen deneylerde en yüksek taşınımın 300 rpm karıştırma hızında olduğu gözlemlenmiştir. Daha yüksek karıştırma hızlarına çıkıldıkça sentezlenen membranların kararlılığı bozulmakta ve membranlarda yırtılma gözlemlenmektedir. Polimer içerikli membran (PIM) transport çalışmalarında araştırdığımız bir diğer önemli faktör de plastikleştirici türüdür. Dört farklı plastikleştirici (T2EHP, DOA, TBEP, 2-NPOE) ile gerçekleştirdiğimiz deneylerde en yüksek transport verimine 2-NPOE kullanıldığında ulaşılmıştır. Elde edilen kinetik veriler, plastikleştirici türü etkisinde polaritenin çok önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuştur.

Sonuç olarak tez çalışmamızda bir ağır metal olan  $\text{Pb}^{+2}$  metal katyonunun polimer içerikli membranlar ile seçimli ve verimli transportunu gerçekleştirdik. Bilindiği üzere ağır metaller hem insan hem de çevremiz için oldukça zararlı etkilere sahiptir. Daha yaşanabilir ve güvenli bir dünyaya sahip olmak için bu tür ağır metallerin uzaklaştırılması elzem öneme sahiptir. Membran teknolojisinin alternatif metotlarından biri olan PIM tekniği hem ekonomik hem de verimli olması sebebiyle ağır metallerin seçimli olarak ayrılmasında çok büyük önem arz etmektedir. Polimer içerikli membran (PIM) teknolojisinin geliştirilerek sanayi ve teknolojide daha büyük ölçeklerde kullanılması hem bugünümüz hem de yarınlarımız için büyük önem taşımaktadır. Bu konudaki akademik ve sanayi bazlı çalışmaların artırılmasının ekonomiye ve bilim dünyasına büyük katkılar sağlayacağı düşüncesindeyiz.

## 7. KAYNAKLAR

Ali, H., & Khan, E. What are heavy metals? Long-standing controversy over the scientific use of the term ‘heavy metals’ – proposal of a comprehensive definition. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 100(1), 6-19. (2018).

Almeida, M. I. G. S., Cattrall, R. W. and Kolev, S. P., Recent trends in extraction and transport of metal ions using polymer inclusion membranes (PIMs), *Journal of Membrane Science*, 415-416, 9-23. (2012).

Alpoguz, H. K., Memon, S., Ersoz, M., & Yilmaz, M. Transport of Hg 2+ through bulk liquid membrane using a bis-calix [4] arene nitrile derivative as carrier: kinetic analysis. *New Journal of Chemistry*, 26(4), 477-480. (2002).

Altaş, L. Emülsiyon sıvı membran tekniğiyle sulardan kurşun giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun (2002).

Benjamin, M. M., & Lawler, D. F. *Water quality engineering: physical/chemical treatment processes*. John Wiley & Sons. (2013).

Bettmer, J., Bayón, M. M., Encinar, J. R., Sánchez, M. L. F., & Medel, A. S. The emerging role of ICP-MS in proteomic analysis. *Journal of proteomics*, 72(6), 989-1005. (2009).

Bütün, M., Sulardaki kurşun iyonunun dolgulu kolonda atkestenesi ile adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 129s. (2006),

Chakraborty, M., Bhattacharya, C., & Datta, S. Emulsion liquid membranes: Definitions and classification, theories, module design, applications, new directions and perspectives. In *Liquid membranes* (pp. 141-199). Elsevier. (2010).

Çalık, G., Polimer Destekli Membranlar Kullanarak Bazı Metal Katyonlarının Yük Taşıyıcılı Ekstraksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2020).

Dane, J.C., & diğ., Transport phenomena. John Wiley & Sons. (2002).

Fane, A. G., Wang, R., & Hu, M. X. Synthetic membranes for water purification: status and future. *Angewandte Chemie International Edition*, 54(11), 3368-3386. (2015).

Fleming, H. L., & Slater, C. S. Applications and economics. In *Membrane Handbook* (pp. 132-159). Boston, MA: Springer US. (1992).

Ho, W.S.W., & Sirkar, K.K. (Eds.). *Membrane Handbook*. Springer US. (1992).

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. Metallerin çevresel etkileri. *Metalurji Dergisi* sayı 136 sayfa 47-53 (2003)

Kaya, A., Sıvı membran teknolojisi kullanılarak bazı metal katyonlarının transport özelliklerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli (2008)

Kaya, A., Polimer İçerikli Membranlarda Kompleksometrik Yöntem Kullanılarak Cr(II) Metal Katyonunun Taşınım Kinetiğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli (2014).

Kebiche-Senhadji, O., Tingry, S., Seta, P., & Benamor, M. Selective extraction of Cr (VI) over metallic species by polymer inclusion membrane (PIM) using anion (Aliquat 336) as carrier. *Desalination*, 258(1-3), 59-65. (2010).

Kessler, SB ve Klein, E. Maliyet tahminleri. *Membran El Kitabı'nda* ( s. 212-215). Boston, MA: Springer AB (1992).

Kislik, V. S. Supported Liquid Membrane. *Encyclopedia of Membranes* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1-2. (2015).

Koyuncu, İ., Su/Atıksu Arıtılması Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Cilt 1: Membran Teknolojileri ve Su Arıtma. (2018).

Kutlu, T., Polimer Membranlar Kullanılarak Bazı Metallerin Sulu Çözeltilerden Destekli Sıvı Membran Tekniği İle Ayrılması, Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli (2012).

Li, X., Liu, J., Qu, R., Zhang, W., Liu, Y., Zhai, H., ... & Feng, L. Universal and tunable liquid–liquid separation by nanoparticle-embedded gating membranes based on a self-defined interfacial parameter. *Nature Communications*, 12(1), 80. (2021).

Lonsdale, H.K., The growth of membrane technology. *Journal of Membrane Science*, 10(1), 81-181. (1982).

Makowka, A., & Pospiech, B. Studies on extraction and permeation of lanthanum (III) and cerium (III) using cyphos IL 104 as extractant and ion carrier. *Separation Science and Technology*, 55(12), 2193-2203. (2020).

Maliva, R.G., & Missimer, T.M., Arid lands water evaluation and management. Springer Science & Business Media. (2012).

Merten, U., On the theory of ultrafiltration: osmotic pressure and solvent flow through a semipermeable membrane. *Desalination*, 1(1), 31-48. (1966).

Matter, C. G. Membrane filtration (micro and ultrafiltration) in water purification. *Handbook of Water and Used Water Purification*. Springer, Cham. DOI [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66382-1\\_3-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66382-1_3-2). Online ISBN, 978-3. (2018).

Mondal, S., Purkait, M. K., & De, S. *Advances in dye removal technologies*. Singapore: Springer Singapore. (2018).

Onaç, C., Polimer İçerikli Membranlar ile Bazı Metal Katyonlarının Yük Taşıyıcılı Ekstraksiyonu, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, (2017).



Park, J., Hwang, Y. E., & Koh, D. Y. Interfacial synthesis: a scalable fabrication method of two-dimensional membranes. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 40, 100903. (2023).

Pedersen-Bjergaard, S., & Rasmussen, K. E. Liquid– liquid– liquid microextraction for sample preparation of biological fluids prior to capillary electrophoresis. *Analytical chemistry*, 71(14), 2650-2656. (1999).

Riedl, W. Membrane-Supported Liquid-Liquid Extraction–Where Do We Stand Today?. *ChemBioEng Reviews*, 8(1), 6-14, (2021).

Rodríguez de San Miguel E. Polymer Inclusion Membranes. *Membranes (Basel)*. 16;12(2):226. doi: 10.3390/membranes12020226. PMID: 35207147; PMCID: PMC8874731, (2022).

Rodríguez-González, P., Marchante-Gayón, J. M., Alonso, J. I. G., & Sanz-Medel, A. Isotope dilution analysis for elemental speciation: a tutorial review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 60(2), 151-207, (2005).

Sarıkaya, Y., *Fizikokimya, Gazi Büro Kitabevi, Birinci Baskı, Ankara*, 536-539s (2003),

Scindia, Y. M., Pandey, A.K. and Reddy, A.V.R., Coupled-diffusion transport of Cr(VI) across anion-exchange membranes prepared by physical and chemical immobilization methods, *Journal of Membrane Science*, 249(1/2), 143-152. (2005).

Srivastava, S., & Majumder, C.B. Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 151(1), 1-8. (2008).

Strathmann, H., Giorno, L., & Drioli, E. *The Principle of Ultrafiltration (UF)*. Springer Berlin Heidelberg (2016).

Szczepański, P. Comparison of Kinetic Models Applied for Transport Description in Polymer Inclusion Membranes. *Membranes*, 13(2), 236. (2023).

Tan, X. ve Li, K. Fundamentals of Membrane Reactors. In Inorganic Membrane Reactors, first edition, s1-26 (2015).

Ulewicz, M., Sadowska, K. & Biernat, J. F., Facilitated transport of Zn(II), Cd (II), and Pb(II) ions through polymer inclusion membranes with imidazole azocrown ethers, *Desalination*, 214(1-3), 352-364, (2007)

URL-1 <http://www.readcube.com/articles/10.3390/membr>

URL-2 [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-642-40872-4\\_83-1](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-642-40872-4_83-1)

URL-3 [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-642-40872-4\\_211-2](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-642-40872-4_211-2)

URL-4 [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-662-44324-8\\_1580](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-662-44324-8_1580)

URL-5 <https://antiteck.com/tr/icp-ms-nedir/>

URL-6 <https://daytam.atauni.edu.tr/altyapi/kimya-bilimi-ve-teknolojileri/kutle-sistemleri-laboratuvari/i%25cc%2587ndu%25cc%2588ktif-olarak-es%25cc%25a7les%25cc%25a7tirilmis%25cc%25a7-plazma-ku%25cc%2588tle-spektrometresi-icp-ms/>

URL-7 <https://arum.ogu.edu.tr/Sayfa/Index/69/induktif-eslesmis-plazma-kutle-spektroskopisi-icp-ms>

URL-8 <http://www.icp.hacettepe.edu.tr/nedir.shtml>

Vilt, M. E., Ho, W. S. W., & Li, N. N. Liquid Membranes. *Comprehensive Membrane Science and Engineering*, 79–107. doi:10.1016/b978-0-08-093250-7.00033-5 (2010).

Zhou, C., Wang, Z., Liang, Y., & Yao, J. Study on the control of pore sizes of membranes using chemical methods Part II. Optimization factors for preparation of membranes. *Desalination*, 225(1-3), 123-138. (2008).