

Polimerik Membranların Uygulamaları-Kısa Bir Derleme

Yasemin YILDIZ^{1*}

¹Sakarya Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Tıbbi Hizmetler ve Teknikleri Bölümü, Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Programı, Sakarya

¹<https://orcid.org/0000-0003-2855-0496>

*Sorumlu yazar: yyildiz@sakarya.edu.tr

Derleme

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.06.2022

Kabul tarihi: 26.07.2022

Online Yayınlanma:09.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Polimerik membran

ISE

Sensör

Gaz arıtma

PIM

Bu araştırma, yeni ve özgün uygulamalarda kullanıldığı için polimer içeren membranlara (PIM) artan ilgiyi vurgulamaktadır. PIM'ler polimer destekli sıvı membranlardır ve ilk kullanımları iyon seçici elektrotlarda ve optik kimyasal sensörlerde algılama membranları olmuştur. Son zamanlarda, ayırma işlemlerine alternatif olmuş ve ayrıca otomatik analiz sistemlerine dahil edilmiştir. Bu inceleme, bugüne kadar literatürde rapor edilen PIM'lerin uygulamalarına genel bir bakış sağlar ve PIM'lerin çok yönlülüklerini gösterir.

Applications of Polymeric Membranes-A Brief Review

Review Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 05.06.2022

Accepted:26.07.2022

Published online:09.12.2022

Keywords:

Polymeric membrane

Sensor

ISE

Gas purification

PIM

This research highlights the growing interest in polymer inclusion membranes (PIM) as they are used in novel and novel applications. PIMs are polymer-supported liquid membranes and their first use was sensing membranes in ion-selective electrodes and optodes. Recently, it has become an alternative to separation processes and has also been incorporated into automated analysis systems. This review provides an overview of the applications of PIMs reported in the literature to date and demonstrates their versatility.

To Cite: Yıldız Y. Polimerik membranların uygulamaları-kısa bir derleme. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 2(2): 316-327.

Giriş

Ayırma teknolojisinde dikkat çekici alanlardan ve en hızlı büyüyenlerinden biri membran prosesleridir. Membran proseslerinin arasında yer alan polimer içerikli membranlar (PIM) ilk olarak iyon seçici elektrotlarda (ISE) ve optodlarda (optik kimyasal sensörler) algılama bileşeni olarak ortaya çıkmıştır. Fakat PIM destekli ayırmanın çözücü ekstraksiyonuna kıyasla daha çekici ve daha çevreci bir alternatif olduğu kanıtlandığından,

onlara olan ilgi giderek artmaktadır (Almeida ve ark., 2012). Günümüzde çevresel yasa ve yönetmelikler ile çevresel farkındalık artışı da bu ilginin nedenleri arasındadır (Nghiem ve ark., 2006). Ayırma tekniklerinde kullanılan cihazların hedef numuneyi tespit sınırı oldukça düşüktür. Bunun yanında örnek karışık matrislerde içerdiği için genellikle ön arıtma gereksinimi vardır. Bu süreçte maliyeti artırmaktadır (Almeida ve ark., 2017). PIM'lerin bu durumda kullanımı tercih sebebidir.

PIM'ler bir destek polimerden ve bir sıvı fazdan oluşan bir sıvı membrandır. Genellikle kullanılan taşıyıcı (ekstraktant) ve özel uygulamaya göre seçilen destek polimer [örneğin poli(vinil klorür) (PVC) veya selüloz triasetat (CTA)] (Pereira ve ark., 2009; Kolev ve ark., 2015), mekanik mukavemet sağlayan membranın ve sıvının iskeletidir. Sıvı faz, kompleksleşme veya iyon çifti oluşumu ile ilgili türlerin bağlanmasından sorumlu olan bir ekstraktant /taşıyıcı içerir. Bazı taşıyıcılar plastikleştirici özelliklere sahiptir. Bununla birlikte PIM esnekliğini geliştirmek veya ekstrakte edilen türleri membran sıvı fazında daha çözünür hale getirmek için membran bileşimine ilave bir plastikleştirici veya modifiyer eklenebilir.

PIM'lerin hazırlanması genellikle tüm membran bileşenlerinin küçük bir hacimde tetrahidrofuran gibi uçucu bir çözücü içinde çözülmesi ve çözeltinin amaçlanan uygulamaya göre belirli bir yüzeye dökülmesiyle gerçekleşir. Bir elektrot gövdesinin ucuna dökülerek ISE hazırlanabilir ya da düz bir tabaka membran oluşturularak bir cam plaka üzerine dökülerek bir optodun sensör membranı olarak kullanılabilir ya da bir cam kılcal borunun iç duvarlarına dökülerek bir analitin ayrılması ve ön artırması yapılabilir. Membran bileşiminin, uygun ekstraktantlar, plastikleştiriciler/modifiyerler ve polimerler seçilmesi ile belirli bir analite karşı seçici olacak şekilde ayarlanabilmesi, PIM'lerin yalnızca fiziksel olarak çok yönlü değil aynı zamanda kimyasal olarak çok yönlü olmasına neden olur (Pereira ve ark., 2009).

Membranların bileşimindeki farklılıklar morfolojik yapılarında da değişikliklere neden olur. Genel olarak bir membran için en önemli morfolojik parametreler gözeneklilik, gözenek boyutu, gözenek boyutu dağılımı, kıvrımlılık, yüzey pürüzlülüğü, moleküler ağırlık sınırı ve kalınlıktır. Örneğin, gözenek boyutu membran sınıflandırmasında kritik bir rol oynar (Peter-Varbanets ve ark., 2009; Pendergast ve ark., 2011; Warsinger ve ark., 2018). Ayrıca membran performansları doğrudan morfolojisine (gözenek boyutu ve dağılımı) bağlıdır, bu nedenle morfoloji kontrolü membran üretiminde anahtar faktördür (Spiridonov ve ark., 1987; Yu, 1993; Sahai, 2000; Shen, 2013; Wegner, ve ark., 2014).

Gözeneklerin tümü aynı boyuta ve/veya geometriye sahip olmadığından, gözenek boyutu dağılımının bir temsilini elde etmek için doğrusal olmayan optimizasyon ve Monte

Carlo entegrasyonu gibi bir model kullanılarak bazı istatistiksel analizler yapılmalıdır (Bhattacharya, 2006).

Polimerik membranlar nispeten ucuz olmasının yanı sıra üretimi de kolaydır. Bunlara ek olarak geniş yelpazede gözenek boyutuna sahiptirler ve genellikle çeşitli sektörlerde kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, pH, sıcaklık, basınç, klor toleransı vb. işletim koşullarında sınırlamalara sahiptir ki bu durum çoğu polimerik membranların geniş uygulama alanları bulmasına engel olur (Cui ve ark., 2010).

Destekli sıvı membranlar (SLM, supported liquid membranes) (Parhi, 2013) gibi diğer sıvı membranlara benzer şekilde, PIM'ler ayrıca membranın karşılıklı iki tarafında da eş zamanlı olarak ekstraksiyon ve geri ekstraksiyonun gerçekleşmesine izin verir. Bu da hedef analitin membran boyunca seçici olarak taşınmasını sağlar ve böylece ayrılma ve/veya ön arıtma işlemi gerçekleşir. Bu membranların çevre dostu olarak kabul edilmesi, toksik ve uçucu organik çözücülerin kullanımını içermemesi ve membran için gereken ekstraktant miktarının çok az olmasıdır. Kullanılan ekstraktant miktarı aynı zamanda pahalı ekstraktantlar kullanılarak yapılacak ayırmalarda ekonomik uygulamalar sağlamaktadır.

PIM'ler aynı zamanda SLM'lerden önemli ölçüde daha kararlı ve sağlamdır; bu kararlılık membran sıvı fazının destek polimerin dolaşmış/dolaşmış zincirlerinin içerisinde olmasından kaynaklanır. Bu durum PIM'leri bitişik sulu fazlara sızmaya daha az eğilimli hale getirir (Almeida ve ark., 2012; Kemperman ve ark., 1996).

PIM'lerin tüm bu özellikleri, seçiciliğinin yanında duyarlılığının da gelişmesi ile birçok uygulama alanında (ayırma, ön arıtma, ISE vb.) ilgi odağı olmasına neden olmuştur. Bu nedenle, bu derleme, PIM'lerin uygulamalarına genel bir bakış sunmayı amaçlamaktadır.

Materyal ve Metod

Derleme, 22 Mayıs 2022 tarihine kadar olan yayınlar için aşağıdaki veri tabanlarında literatür taramasına dayalı olarak hazırlanmıştır; Pub Med; Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar ve ResearchGate'den faydalanılmıştır. Arama için kullanılan anahtar kelimeler; polimerik membran veya polimer içerikli membranlar veya PIM'ler veya ekstraksiyon veya ve atıksu/su, gaz arıtma ve gaz giderme. Aramanın tüm sonuçları ilgili bilgiler için manuel olarak tarandı ve ilgili olabilecek ek yayınlar için referansları da arandı. Analit atıksu/su tespiti hakkında bilgi vermeyen polimerik membranlarla ilgili makaleler, ancak bu membranların yapıları hakkında bilgi vermeleri şartıyla dikkate alınmıştır.

Polimerik Uygulama Alanları

Polimer membranlar geleneksel olarak paketlenme uygulamaları için geliştirilmiştir fakat zamanla polimer biliminin gelişmesi ile farklı birçok alanda uygulama alanı bulmuştur. 1950'lerde; polimer destekli membranlar, doğal gaz arıtmada büyük bir etki yapmıştır. Asit gazı taşıma özellikleri, özellikle H₂S gaz taşıma ve polimer filmler için mevcut literatürün çoğu 1950'lere ve 1960'lara dayanmaktadır (Koros ve Mahajan, 2000; Merkel ve Toy, 2006; Yampolskii, 2012). Asit gaz geçirgenliği üzerine 1968'de Robb tarafından rapor edilen daha önceki çalışmalarda 25°C'de polidimetilsiloksan (PDMS) kullanımı tartışılmıştır (Robb, 1968; Stern, 1989) ayrı ayrı çalışmalarında polimerde hidrojen sülfürün daha yüksek çözünürlüğüne ve yoğunlaşabilirliğine atfedilen, H₂S gazının CO₂'den nispeten daha geçirgen olduğunu ifade etmişlerdir.

Membranlar, 1960'larda ISE'lerde katyon ve anyon analizi için sıvı membranların kullanılabilmesi ile kimyasal sensörlerde de çok önemli bir rol oynamaya başlamışlardır (Eisenman ve ark., 1967). İlk ticari ISE'ler, Ca⁺² iyonunu ve uzun zincirli alkil amonyum tuzlarını belirlemek için sıvı iyon değiştiricileri olarak kullanıldı. 1970 yılında PVC'de organik fazın bağlanması (immobilizasyonu), ISE'lerde sensör membranını oluşturmak için daha uygun bir yol olarak ifade edildi (Moody ve ark.,1970). Bu membranlar "polimer membranlar" diye isimlendirilmiştir. Bu polimer membranlar, son yıllarda hem iyonik hem de nötr kimyasal türlerin ayrılmasında kullanılan "polimer içerikli membranlar" (PIM'ler) diye ifade edilen membranlarla temelde aynı görünmektedirler (Nghiem ve ark., 2006). Sensör için, membran bileşiminin, hedef iyonun membrandan son derece düşük bir geçiş hızıyla membran/numune solüsyonu arayüzünde hızlı iyon değişimini sağlaması gerekirken, PIM'de ekstraksiyon ve taşıma için hem hızlı iyon değişimi hem de geçişe ihtiyaç vardır. Membrana bu özellikleri kazandırmanın yolu membran bileşimindeki değişikliklerdir.

1980'lerin sonlarına gelindiğinde ilk kez rapor edilen optik kimyasal sensörlerde de PIM'ler kullanılmıştır ve literatürde bunların sayısız örneği mevcuttur (Tan ve ark., 1989; Bakker ve ark., 1997). Polimer membran ISE'leri son araştırmalarda endüktif olarak eşleştirilmiş plazma (ICP) tabanlı spektrometri tekniğine alternatif olacak kadar analiz sınırına sahip olmuşlardır (Bakker ve Pretsch 2005). Katı temaslı ISE'ler (kaplanmış tel elektrotlar) ile yapılan bazı çalışmalar ise klinik ve çevresel uygulamalarda gerçek zamanlı ve uzaktan izleme için son derece kararlı ve tekrarlanabilir minyatür algılama cihazları olarak kullanılmıştır (Cattrall ve Freiser 1971; Bobacka, 2016).

Polimer membran ISE'ler birkaç yayında, voltametrik sensörlerin üretimi için de kullanılmıştır. Bunlardan birinde (Zhang ve ark., 2010), elektroaktif bir tür, iyonofor,

plastikleştirici ve destekleyici elektrolit içeren camsı bir karbon destek üzerine kaplanmış PVC bazlı bir PIM kullanılmıştır. Bahsi geçen iyon sensörleri, biyolojik ve çevresel örneklerin analizinde de kullanılabilir hassaslıktadır.

PIM'ler sensör uygulamalarının yanı sıra yakın zamana kadar karbondioksitin doğal gazdan uzaklaştırılmasıyla sınırlıydı. Son zamanlarda ise PIM'ler doğal gaz işleminin diğer uygulamaları (örneğin nitrojen, hidrojen sülfür ve doğal gaz sıvılarının ayrılması) için rekabetçi hale gelmektedir (Dortmundt ve Doshi, 1999). Yeni membran malzemeleri ve düzenlemeleri daha iyi verimlilik sergileyebilir ve doğal gazda/gaz karışımlarında bulunan kirleticilere karşı daha fazla kararlılık sağlayabilir. Spesifik bir ayırma için bir membran malzemesi seçerken, gerekli geçirgenlik ve seçicilik ile zarin mekanik ve kimyasal özelliklerinin uygun bir kombinasyonu da dahil olmak üzere bir dizi faktör dikkate alınmalıdır (Bessarabov, 1999; Lange ve ark., 1995).

Polimer membran yapımında silikon, polipropilen, polifuran, polialkilsülfon, selüloz asetat, hidrofilik poliolefinler, polikarbonat, selüloz nitrat, polialkilsülfon, sülfolanmış polistiren, polivinilidendiflorid, polieterimid, poliakrilonitril, akrilikler, polimetilmetakrilat, naylon 6, karbon, polivinilklorür, naylon 6,6, polieteramid, aromatik poliamid, polistiren, polieterüre, sülfolanmış polifenilenoksit, zirkonya, paslanmaz çelik vb. çeşitli maddeler kullanılmaktadır (Yıldız, 2014). Son çalışmalarda inflamatuvar reaksiyonları azaltması, toksik olmaması ve vücuttaki enzimler tarafından bozunması nedeniyle polimerlerin tıpta ve eczacılıkta birçok uygulaması vardır. Bu tür polimerler biyolojik olarak parçalanabilir polimerler olarak ifade edilir. Bunlara poli (laktik-ko-glikolik asit) (PLGA), poli(DL-laktik asit-ko-glikolik asit)-g-etilen glikol) (PLGA g-PEG), poli (DL-laktik asit-ko-glikolik asit) ve poli (etilen glikol) gibi polimerlerden örnek verilebilir. Bu polimerlerden polikaprolaktonun (PCL) kemik ve kırıkta rejenerasyonunda kullanılacak biyouyumlu bir yapı iskelesi olduğunu göstermektedir. PLGA-g-PEG, doku mühendisliği ve ilaç taşıma sistemlerinde kullanılan biyolojik olarak parçalanabilen ve biyolojik olarak emilebilen bir başka polimerdir (Asghari ve ark., 2017).

Polimer içerikli membranlar aynı zamanda evsel atıksu içerisindeki organik madde gideriminde de kitosan ve Fe_3O_4 katkılı poliakrilonitril (PAN) membranlar kullanılmıştır. Çalışmada membranlardaki akı azalmasının kitosan ve Fe_3O_4 nanopartiküllerinden değil, atıksu içerisindeki organik ve inorganik askıdaki katı maddelerin membran yüzeyinde birikmesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir (Elcik ve ark., 2016). Bu ifadeden de anlaşıldığı gibi membran kirliliği akı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kirlenme, membranın aktif

alanında bir azalmaya ve bu durum membranın teorik kapasitenin altında bir akı azalmasına sebep olur (Yıldız, 2014).

Membran yüzeyinde meydana gelen kirlilik tabakası nedeni ile kullanılan membranlarda filtrasyondan sonra membran yüzeyindeki hidrofobikliğin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, temas açılarındaki bu artış membranların karakteristik özelliklerine (membran malzemesi, gözenek boyutu vb.) göre değişiklik göstermiştir. Nanofiltrasyon membranının temas açısındaki artış ultrafiltrasyon membranlarına göre daha fazla olur (Elcik ve ark., 2016). Ayrıca membranlar hidrofilik ve hidrofobik olarak da ayrılmaktadır. Tablo 1’de polimerik hidrofilik membranların özellikleri, uygulamaları ve sektörleri ifade edilmiştir. Tablo 2’de ise polimerik hidrofobik membranların özellikleri, uygulamaları ve sektörleri ifade edilmiştir.

Tablo 1. Polimerik hidrofilik membran

Membran tipi	Özellikler	Uygulamalar	Sektörler
CA	Hidrofilik, spesifik olmayan düşük bağlama, düşük adsorpsiyon, termal olarak stabil, standart gözenek yapısı	Protein veya enzim filtrasyonu, protein geri kazanımı, doku kültür ortamı filtrasyonu, şarap filtrasyonu, plazma fraksiyonları ve aşuların ön filtrasyonu Kaba partikül filtrasyonu (büyük gözenek), nihai filtrasyon (küçük gözenek), biyolojik numune hazırlama, intravenöz (IV) filtreler	Laboratuvar-Filtrasyon; Çevresel-İçecek ve Su Testi
PES	Hidrofilik, düşük protein bağlama, yüksek verimli, asimetrik yapı	İntravenöz (IV) filtreler, onkoloji ilaç uygulaması, uzun dönemli uygulama	Çevresel-İçecek Testi; Laboratuvar Filtrasyonu, Tıbbi İnfüzyon
PES Pozitif Yüklü	Hidrofilik, düşük protein bağlama, yüksek verim	İntravenöz hava haznesi	Tıbbi İnfüzyon
Hava Akışı Durdurma PES	Hidrofilik hava akışı durdurma membranı	Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) numunesi hazırlama, sulu ve organik solvent ve alkali solüsyon arıtma, içecek ve ilaç işleme	Laboratuvar-Filtrasyon, Analitik, Biyoişleme; Farmasötik; Çevresel-İçecek Testi
NY	Hidrofilik, dahili olarak destekli, yüksek yüzey alanı, yüksek protein bağlama, düşük ekstrakte edilebilirlik, otomatik ekipman kullanımı için dayanım takviyesi	Radyoaktif işaretli ve radyoaktif işaretli olmayan tespit sistemleri, Kuzey ve Güney blotlama (nükleik asitler), Çoklu yeniden sondalama, Alkali transferler, DNA parmak izi, UV çapraz bağlama, İntravenöz filtreler	Laboratuvar-Filtrasyon; Biyoloji ve Tanıma, Tıbbi İnfüzyon
NY Pozitif Yüklü Membranı	NC’den daha yüksek bağlama kapasitesi, dahili olarak destekli, çoklu yeniden sondalamaya dayanıklılık, hidrofilik endotoksin tutma	Gravimetrik ve sulu solüsyonlarla arıtma;	Laboratuvar-Filtrasyon; Çevresel-İçecek ve Su Testi
NC	Hidrofilik, zayıf asitlere, hidrokarbonlara, formaldehit ve petrol eterlerine karşı		

	dayanıklı, yüksek protein bağlama	mikrobiyal yakalama ve tespit	
PVDF Hidrofilik	Yüksek debi, düşük ekstrakte edilebilirlik, geniş kimyasal uyumluluk, çok düşük protein bağlama	Farmasötik, içerik maddeleri, HPLC	Farmasötikten ilaca
RC Rejenere Selüloz	Hidrofilik, yüksek dayanım, mükemmel kimyasal uyumluluk ve solvent direnci, düşük ekstrakte edilebilirlik, üstün termal direnç	Sulu ve organik solüsyonların filtrasyonu, organik solventlerden partikül giderimi, HPLC, arıtma, Protein kimyası	Laboratuvar-Filtrasyon

* <http://www.gvslifesciences.com.tr/filtrasyon-kilavuzu/6-polimerik-membran-uygulama-kilavuzu.html>

Tablo 2. Polimerik hidrofobik membran

Membran tipi	Özellikler	Uygulamalar	Sektörler
PVDF destekli / saf Filtrasyon Membranı	Doğal olarak hidrofobik, saf, yüksek hassasiyet, düşük arka plan, geniş kimyasal uyumluluk	Batı blotlama yoluyla protein tespiti, amino asit analizi, protein dizileme, Gaz kromatografisi (GC) numune hazırlama	Laboratuvar-Moleküler Biyoloji ve Tanıma
PVDF Oleofobik /Hemofobik	Doğal olarak hidrofobik, uygulama esnasında ve sonrasında üstün	Hava / gaz havalandırma, dönüştürücü koruyucu, emme-aspirasyon, tıbbi cihaz	Farmasötikten ilaca, Endüstriyel, Yiyecek ve İçecek, Tıbbi Havalandırma, Otomotiv

* <http://www.gvslifesciences.com.tr/filtrasyon-kilavuzu/6-polimerik-membran-uygulama-kilavuzu.html>

Yakın tarihli bir çalışmada ise, poli(stiren-blok bütadien-blok-stiren) triblok kopolimer (SBS) bazlı PIM'lerin hem asidik/alkali ortamlara karşı iyi bir stabiliteye sahip olduğunu, hem de PIM sentezinde kullanılan yaygın solventlerde [örneğin tetrahidrofur (THF)] kolayca çözüldüğünü ve ticari olarak PVDF-HPDF'den önemli ölçüde daha ucuz olduğunu bildirmiştir (Xiong ve ark., 2019). Destek polimer olarak SBS kullanan tüm PIM'ler, PVC veya PVDF-HFP tamamlayıcılarının aksine üstün analit uzaklaştırma kabiliyeti göstermiştir. Ancak PIM tabanlı uygulamalar için kritik olan, etkili membran performansı için uyumlu bir taşıyıcı seçimi gereklidir. Taşıyıcı olarak D2EHPA'lı PIM yeniden kullanılmazken, LIX84I tabanlı PIM, en az üç kez yeniden kullanıldığında kabul edilebilir kaldırma verimliliği göstermiştir.

Son çalışmalar, PVC bazlı PIM'lerin farklı sulu ortamlarda olağanüstü stabiliteye sahip olduğunu göstermiştir (Jha ve ark., 2020; Witt ve ark, 2018; Almeida ve ark, 2015). Pasif bir numune alma cihazının yardımıyla polimer matrisinin PIM stabilitesi ve amonyak başlangıç akışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. PVC bazlı PIM, CTA bazlı muadili ile karşılaştırıldığında üstün stabiliteye sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak, bu çalışma PVC bazlı PIM'lerin CTA'ya göre olağanüstü performansını göstermiştir (Almeida ve ark, 2015).

Ayrıca eser metal iyonlarının taşınması için ağırlıkça %5-15 gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) içeren bir polivinil klorür (PVC) bazlı PIM'i modifiye ederek kullanan

çalışmalarda mevcuttur (Maiphethlho ve ark, 2020). AgNP'lerin membrana dahil edilmesi ile hem hidrofilisite iyileşmesi hem de sadece PIM'den oluşan membrandan daha yüksek bir analit akışına sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmalarda da görüleceği gibi modifiye etmek suretiyle birçok yeni nesil membranlar elde edilmektedir.

Tartışma ve Sonuç

Bu gözden geçirme, PIM'lerin yeni uygulamalarına ilişkin son makalelerde gösterilen analizlerde PIM'lere artan ilgiyi vurgulamıştır. Bilhassa klinik, biyolojik ve çevresel analizlerde kullanım için yüksek bir hassasiyete sahip minyatür sensörler üretmeye odaklanarak kimyasal algılamada ilgi çekmeye devam edeceği görülmektedir. Ayrıca, PIM tabanlı ayırma sistemleri otomatik hale getirilebilir ve yanı sıra ebatları küçültülebilir. Böylece taşınabilir özellik kazanır ve kimyager olmayan kullanıcılar için kolay uygulama imkanı sağlayabilir (Jayawardane, 2013; Pantuckov, 2015).

Son zamanlardaki çalışmaların odağı PIM'lerin performansında neredeyse hiç kayıp olmadan çoklu yeniden kullanımlarına olanak verecek membranların kararlılığının daha da geliştirilmesidir (Mikhelson ve Peshkova, 2015; Bonggotgetsakul, 2016).

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar, makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

Almeida MIGS, Cattrall RW, Kolev SD., 2012. Recent trends in extraction and transport of metal ions using polymer inclusion membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*, 415.

Almeida, MIGS, Silva, AML, Cattrall RW, Kolev SD., 2015. A study of the ammonium ion extraction properties of polymer inclusion membranes containing commercial dinonylnaphthalene sulfonic acid. *Journal of Membrane Science*, 478: 155-162.

Almeida GS, Cattrall RW, Kolev SD., 2017. Polymer inclusion membranes (PIMs) in chemical analysis- A review. *Analytica Chimica Acta*, 987: 1-14.

Asghari F, Samiei M, Adibkia K, Akbarzadeh A, Davaran S., 2017. Biodegradable and biocompatible polymers for tissue engineering application: a review. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 45(2):185-192.

Bakker E, Buhlmann P, Pretsch E., 1997. Carrier-based ion-selective electrodes and bulk optodes. 1. General characteristics. *Chemical Reviews*, 97: 3083-3132.

Bakker E, Pretsch E., 2005. Potentiometric sensors for trace-level analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 24(3): 199-207.

Bessarabov D., 1999. Membrane gas-separation technology in the petrochemical industry. *Membrane Technology*, 9–13.

Bhattacharya S, Gubbins KE., 2006. Fast method for computing pore size distributions of model materials. *Langmuir*, 22: 7726–7731.

Bobacka J., 2006. Conducting polymer-based solid-state ion-selective electrodes. *Electroanalysis*, 18: 7-18.

Bonggotgetsakul YYN, Cattrall RW, Kolev SD., 2016. Recovery of gold from aqua regia digested electronic scrap using a poly (vinylidene fluoride-co hexafluoropropene) (PVDF HFP) based polymer inclusion membrane (PIM) containing Cyphos (R) IL 104. *Journal of Membrane Science*, 514: 274-281.

Cattrall RW, Freiser H., 1971. Coated wire ion selective electrodes. *Analytical Chemistry*, 43, 1905-1906.

Cui F, Jiang Y, Field RW., 2010. *Membrane technology*. Elsevier, 1-12, Oxford, UK.

Dortmundt D, Doshi K., 1999. Recent developments in CO₂ removal. *Membrane Technology*, UOP LLC, Des Plaines, IL.

Eisenman G, Sandblom JP, Walker JL., 1967. Membrane structure and ion permeation. *Science*, 155: 965-974.

Elcik H, Çelik SÖ, Çakmakçı M, Ünal E, Kaya B., 2016. Farklı özelliklere sahip polimerik membranlarla evsel atıksuların arıtılması. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt 5(2)*: 104-116.

GVS Filtre. 2022. Polimerik membran uygulama klavuzu. <http://www.gvslifesciences.com.tr/filtrasyon-kilavuzu/6-polimerik-membran-uygulama-kilavuzu.html> (Erişim Tarihi: 22 Mayıs 2022).

Jayawardane BM, Coo LD, Cattrall RW, Kolev SD., 2013. The use of a polymer inclusion membrane in a paper-based sensor for the selective determination of Cu(II). *Analytica Chimica Acta*, 803: 106-112.

Jha R, Rao MD, Meshram A, Verma HR, Singh KK, 2020. Potential of polymer inclusion membrane process for selective recovery of metal values from waste printed circuit boards: a review. *Journal of Cleaner Production* 265, 121621.

Kemperman AJB, Bargeman D, Den Boomgaard T, Van Strathmann H., 1996. Stability of supported liquid membranes: state of the art. *Separation Science and Technology*, 31: 2733-2762.

Kolev SD, Almeida MIGS, Cattrall RW., 2015. Polymer inclusion membranes. in: A.K. Pabby, S.S.H. Rizvi, A.M. Sastre (Eds.), *Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food and Biotechnological Applications*, CRC Press, Boca Raton, 721-737.

Koros WJ, Mahajan R., 2000. Pushing the limits on possibilities for large scale gas separation: which strategies. *Journal of Membrane Science*, 175: 181–196.

Lange R De, Keizer K, Burggraaf A., 1995. Analysis and theory of gas transport in microporous sol-gel derived ceramic membranes. *Journal of Membrane Science*, 104: 81-100.

Maiphethlo K, Shumbula N, Motsoane N, Chimuka L, Richards H., 2020. Evaluation of silver nanocomposite polymer inclusion membranes (PIMs) for trace metal transports: selectivity and stability studies. *Journal of Water Process Engineering*, 37: 101527.

Merkel T, Toy L., 2006. Comparison of hydrogen sulfide transport properties in fluorinated and nonfluorinated polymers. *Macromolecules*, 39: 7591-7600.

Mikhelson KN, Peshkova MA., 2015. Advances and trends in ionophore-based chemical sensors. *Russian Chemical Reviews*, 84: 555-578.

Moody GJ, Oke RB, Thomas JDR., 1970. Calcium-sensitive electrode based on a liquid ion exchanger in a poly(vinyl-chloride) matrix. *Analyst* 95: 910-918.

Nghiem LD, Stern P, Potter ID, Perera JM, Cattrall RW, Kolev SD., 2006. Review-extraction and transport of metal ions and small organic compounds using polymer inclusion membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*, 281: 7-41.

Pantuckov P, Kuban P, Bocek P., 2015. In-line coupling of microextractions across polymer inclusion membranes to capillary zone electrophoresis for rapid determination of formate in blood samples. *Analytica Chimica Acta*, 887: 111-117.

Parhi PK., 2013. Supported liquid membrane principle and its practices: a short review. *Journal of Chemistry*, 11 s, Article ID 618236.

Pendergast MM, Hoek EM., 2011. A review of water treatment membrane nanotechnologies. *Energy Environmental Science*, 4: 1946-1971.

Pereira N, John ASt, Cattrall RW, Perera JM, Kolev SD., 2009. Influence of the composition of polymer inclusion membranes on their homogeneity and flexibility. *Desalination* 236: 327-333.

Peter-Varbanets M, Zurbrügg C, Swartz C, Pronk W., 2009. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research*, 43: 245–265.

Robb W., 1968. Thin silicone membranes-their permeation properties and some applications. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 146: 119–137.

Sahai R., 2000. Membrane separations/filtration. In *Encyclopedia of Separation Science*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 1717–1724.

Shen JZ, Kosmac T., 2013. Advanced ceramics for dentistry: Chapter 16. In *Advanced Dental-Restoration Materials: Concepts for the Future*, Elsevier Inc.: Philadelphia, PA, USA,

Spiridonov V, Belov S, Kirikova O., 1987. Calculation of mean pore size in porous materials. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 53: 1169-1172.

Stern SA, Mi Y, Yamamoto H, Clair AKS., 1989. Structure/permeability relationships of polyimide membranes. Applications to the separation of gas mixtures. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 27: 1887-1909.

Tan SSS, Hauser PC, Chaniotakis NA, Suter G, Simon W., 1989. Anion-selective optical sensors based on a coextraction of anion-proton pairs into a solvent polymeric membrane. *Chimia*, 43: 257-261.

Warsinger DM, Chakraborty S, Tow EW, Plumlee MH, Bellona C, Loutatidou S, Karimi L, Mikelonis AM, Achilli A, Ghassemi A., 2018. A review of polymeric membranes and processes for potable water reuse. *Progress in Polymer Science*, 81: 209–237.

Wegner G, Allard N, Al Shboul A, Auger M, Beaulieu AM, Bélanger D, Bénard P, Bilem I, Byad M, Burette F., 2014. *Functional materials: For energy, sustainable development and biomedical sciences*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG: Berlin, Germany.

Witt K, Radzaminska-Lenarcik E, Kosciuszko A, Gierszewska M, Ziuziakowski K, 2018. The influence of the morphology and mechanical properties of polymer inclusion membranes (PIMs) on zinc ion separation from aqueous solutions. *Polymers* 10: 134. <https://doi.org/10.3390/polym10020134>.

Xiong X, Almeida MIGS, Simeonova S, Spassov TG, Cattrall RW, Kolev SD, 2019. The potential of polystyrene-block-polybutadiene-block-polystyrene triblock copolymer as a base-polymer of polymer inclusion membranes (PIMs), *Separation and Purification Technology*, 229: 115800. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115800>.

Yampolskii Y., 2012. Polymeric gas separation membranes. *Macromolecules*, 45: 3298–3311.

Yıldız Y., 2014, Polimer içerikli membranlar ile kobalt ve nikelin ayrılması. *Sakarya Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, 166 s.

Yu AB, Standish N., 1993. Characterisation of non-spherical particles from their packing behaviour. *Powder Technology*, 74: 205–213.

Zhang J, Harris AR, Cattrall RW, Bond AM., 2010. Voltammetric ion-selective electrodes for the selective determination of cations and anions. *Analytical Chemistry*, 82: 1624-1633.