

## Kerozende Di-2-etilhekzil Fosforik Asit İçeren Bulk Sıvı Membranla Çinko İyonlarının Taşınımına Karıştırma Hızının Etkisi

Züleyha BİNGÜL<sup>1</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, sıvı membran prosesiyle çinko iyonlarının çift yönlü taşınımına taşıyıcı ve verici faz karıştırma hızlarının etkisi incelenmiştir. Taşıyıcı olarak kerozende çözünmüş di-2-etilhekzil fosforik asit kullanılmıştır. Denemelerde verici faz karıştırma hızı 100 rpm’de sabit tutulurken yakalayıcı faz karıştırma hızı 100, 200, 300 ve 450 rpm olarak değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar çalışılan karıştırma hızlarında verici fazdaki çinko iyonlarının zamanla tek üssel logaritmik eğri verecek şekilde azaldığını, yakalayıcı fazda ise arttığını göstermiştir. Denemelerde karıştırma hızının artmasıyla çinko iyonlarının giderim hızının arttığı, ancak çok yüksek karıştırma hızlarında organik çözücünün verici ve yakalayıcı fazlar içerisinde emülsiyon zerrecikleri şeklinde dağıldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atıksu arıtımı, bulk sıvı membran, çift yönlü taşınım, çinko giderimi, D2EHPA, karıştırma hızı.

## The Effect of Stirring Speed of Zinc Ions Transport Through Bulk Liquid Membrane Containing Di-2-ethylhexyl Phosphoric Acid (D2EHPA) in Kerosene

**ABSTRACT:** In this study, the effect of carrier and donor phase stirring speed on the coupled transport of zinc ions through bulk liquid membrane was investigated. As carrier, di-2-ethylhexyl phosphoric acid dissolved in kerosene was used. In experiments, the stirring speed of the donor phase was kept constant at 100 rpm while the stirring speed of the acceptor phase was changed to 100, 200, 300 and 450 rpm. The results obtained show that zinc ions in the donor phase decrease mono-exponentially with time, while in the acceptor phase it increases. It has been determined that the rate of removal of zinc ions increases with increasing stirring speed, but at very high stirring speeds, the organic solvent is dispersed as emulsion particles in the donor and acceptor phases.

**Keywords:** Bulk liquid membrane, coupled transport, D2EHPA, stirring speed, wastewater treatment, zinc removal.

<sup>1</sup> Züleyha BİNGÜL (0000-0003-2472-9077), Iğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Iğdır, Türkiye  
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Züleyha BİNGÜL, zuleyha.bingul@igdir.edu.tr

## GİRİŞ

İnsan ihtiyaçlarını gidermek ve yaşam kalitesini artırmak için ortaya çıkan teknolojik ve endüstriyel gelişmişler ile birlikte çevre sorunları da artarak devam etmektedir. Endüstriyel tesisler ham madde olarak ağır metalleri yoğun bir şekilde kullanmakta ve üretim faaliyetleri esnasında oluşan atıklarıyla da bu metallerin doğal çevrimler dışında çevreye yayılmalarına sebep olmaktadır. Bu endüstriyel tesislerin yüksek kirlilik yüküne sahip atıksuları etkili bir arıtım yapılmadan göl, nehir, deniz, okyanus gibi alıcı ortamlara deşarj edildiğinde, ekosistemde ağır metal kirliliğine neden olmakta ve suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlı sistemleri ve çevresi için oldukça toksik etki göstermektedirler. (Sağlam ve Cihangir, 1995; Mirea et al., 2016). Ağır metaller insan metabolizmasında alerjen olarak, kimyasal reaksiyonlara, fizyolojik ve taşınım sistemlerine, kanserojen ve mutojen olarak yapı taşlarına etki ederler (Kartal ve ark., 2004). Ayrıca ağır metaller arıtım sistemlerinde hiçbir zaman parçalanmadığından suların kendi kendine temizlenmesinde ve arıtımda etken olan, özellikle biyolojik arıtım süreçlerinde önemli rolü bulunan mikroorganizmalar (aktif çamur vb) için de çok küçük miktarlarda bile toksik etkiye neden olmaktadır (Sağlam ve Cihangir, 1995; Leon and Guzman, 2008). Atıksularında ağır metal içeren başlıca endüstriler maden işletmeleri, metal kaplama, fotoğrafçılık, elektrik-elektronik, matbaacılık, eczacılık, plastik, kozmetik, demir-çelik, otomotiv, boya, kimya, seramik, deri, cam ve tekstil endüstrisidir.

Çinko bu endüstriyel proseslerde en yaygın kullanılan ağır metallerden biridir. Yetişkin bir insan vücudu 2-3 gr çinko içerir. Çinko insan vücudunda fiziksel ve zihinsel gelişme, yaraların iyileşmesi ve solunum sisteminin çalışıp iş görebilmesi gibi birçok yaşamsal foksiyonda hücrelerin yapısal bütünlüğü için önemli rol oynar (Belgemen and Akar, 2004). Düşük konsantrasyonlarda bitkilerin gelişimi için de gereklidir. Ancak sulu çözeltilerde serbest çinko iyonlarının yüksek konsantrasyonu bitkilerde güçlü bir fitotoksitite etkiye sahiptir ve büyümeyi geciktirir. Çinko yüksek dozlarda insanlarda da anemi, ateş, titreme, mide bulantısı, kusma, böbrek yetmezliğine neden olmaktadır. 100-500 mg G<sup>-1</sup> olması durumunda ise kansorejen olarak etki göstermektedir (Abdelwahab et al., 2013; Maret and Sandstead, 2006, Gupta et al., 2005, Senthilkumar et al., 2006).

Atıksulardan ve kirlenmiş sulardan çinko giderimi ve geri kazanımı çevre ve insan sağlığı açısından çok önemlidir. Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından alıcı ortama deşarj edilen atıksuda çinko deşarj standartı 5 mg L<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Türkiye’de su kirliliğinin önlenmesi amacıyla uygulanan yasal uygulamalardan biri olup, Yönetmelikte endüstriyel atıksu kaynaklarının üretim tiplerine göre alıcı ortama deşarjında çinko deşarj standartları verilmiştir. Endüstriyel tesisler atıksularını alıcı ortama deşarj etmeden önce uygun arıtım yöntemleri ile belirlenen deşarj standartlarına kadar arıttıktan sonra deşarj etmelidir. Atıksulardan çinko iyonlarının giderimi ve geri kazanımı için adsorpsiyon (Martins et al., 2004), biyosorpsiyon (Bingül et al., 2016), kimyasal çöktürme (Gonzalez-Munoz et al., 2006), iyon değişimi (Shek et al., 2009), sıvı-sıvı ekstraksiyonu (Vahidi et al., 2009), elektrokimyasal arıtım (Hunsom et al., 2005), ters osmoz (Bakalar et al., 2009) gibi birçok metod geliştirilmiştir.

Bu metodların yanı sıra, sıvı membranlarda sulu çözeltilerden çinkonun giderimi ve geri kazanımı için alternatif bir metod olarak uygulanmaktadır (Bingül, 2002; Oleinikova et al; 1999). Sıvı membran prosesi ekstraksiyon ve sıyırma fazlarının tek bir adımda gerçekleştiği sıvı-sıvı ekstraksiyonu prosesinin daha gelişmiş bir şeklidir. Sıvı membran prosesinin temeli iki sıvı fazın bu fazlara karışmayan üçüncü bir sıvı ile birbirinden ayrılması esasına dayanmaktadır. Bir fazdan diğer faza geçiş ara sıvı aracılığıyla olmaktadır. Bu geçişi sürücü kuvvet sağlamaktadır. Ayırma sıvı filmde çözünme ve difüzyon farkından ileri gelmektedir (Noble and Way, 1989). Sıvı membranlar yüksek seçicilik, kolay kullanım, düşük maliyet ve taşınım veriminden dolayı uranyum (Zahakifar et al., 2018), bakır (Leon et al., 2016), nitrat (İrdemez et al., 2006), nitrit (Demircioğlu et al., 2000), p-nitrofenol (Pourkhanali et al., 2018), bizmut (Yamini et al., 2002), nikel (Yulizar et al., 2000) gibi ağır metal ve organik madde içeren sulu çözeltilerin arıtımında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Bulk sıvı membran, bir membran fazla temas eden verici ve sıyırıcı fazdan oluşan bir sıvı membran türüdür. Membran-ekstraksiyon ve membran-sıyırma ara yüzeylerinde karışmayan sulu ve organik tabakalar mevcuttur. Bu fazlarda taşınım konveksiyon ile

meydana gelir ve konsantrasyon gradyanı oluşmaz (Ata, 2000).

Bu çalışmada, bulk sıvı membran yoluyla çinko iyonlarının çift yönlü taşınımına taşıyıcı ve verici faz karıştırma hızlarının etkisi incelenmiştir. Taşıyıcı olarak kerozende çözülmüş di-2-etilhekzil fosforik asit kullanılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

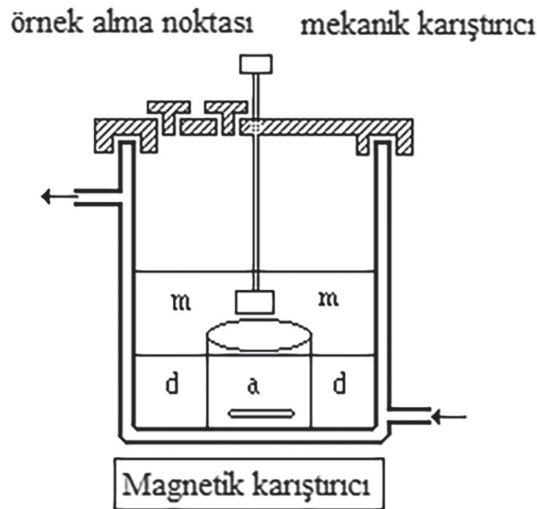
Sulu çözeltilerden çinko iyonlarının sıvı membran prosesiyle taşınımı üzerine karıştırma hızının

etkisini incelemek için denemelerde verici faz olarak  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 'dan hazırlanan  $5 \cdot 10^{-3}M$   $ZnSO_4$  çözeltisi kullanılmıştır. Yakalayıcı faz olarak 2 M  $H_2SO_4$  çözeltisi ve organik membran faz olarak kerozende çözülmüş di-2-etil-hekzil fosforik asit (D2EHPA) çözeltisi kullanılmıştır. D2EHPA'nın kimyasal formülü  $C_{16}H_{35}O_4P$ 'dür. Deneylerde kullanılan kimyasallar merck marka olup, D2EHPA %99, kerozen ve  $H_2SO_4$  %98 saflıktadır.

### Yöntem

### Deneysel Sistem

Denemeler Şekil 1'de gösterilen deney düzeneğinde yürütülmüştür.



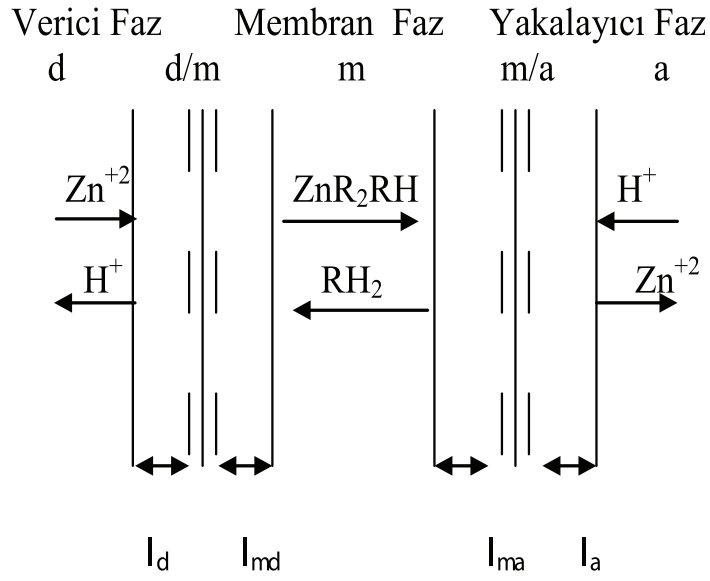
Şekil 1. Sıvı membran ile taşınım denemelerinin yapıldığı deney düzeneği

Reaktörde m, d ve a ile gösterilen üç faz bulunmaktadır. Bunlardan m membran fazı, d verici (döner) ve a yakalayıcı (akseptör) fazı ifade etmektedir. İç içe geçmiş iki silindirik reaktörden oluşan deney düzeneğinden, içteki reaktöre 50 mL yakalayıcı fazı oluşturan 2 M  $H_2SO_4$  çözeltisi konulmuştur. İçteki küçük reaktör ile dıştaki büyük reaktör arasındaki bölmeye ise 50 mL  $5 \cdot 10^{-3}M$   $ZnSO_4$  çözeltisi konulmuştur. Reaktörün üst kısmına ise 200 mL kerozende çözünenek hazırlanan  $1 \cdot 10^{-3}M$  di-2-etil-hekzil fosforik asit (D2EHPA) çözeltisi konulmuştur. Organik membran fazın yoğunluğu 1'den küçük olduğundan reaktörün en üst kısmında olup, verici ve yakalayıcı fazın her ikisi ile temas halindedir. Yakalayıcı faz magnetik karıştırıcı ile organik membran faz ise dijital hız göstergeli mekanik

karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Verici ve yakalayıcı fazların herbirinden deney başlangıcından itibaren 15 dakika aralıklarla numuneler alınmıştır. Numunelerdeki çinko miktarı kompleksometrik titrasyon yöntemiyle tayin edilmiştir. Analizlerde indikatör olarak müreksit, titrasyon çözeltisi olarak  $1 \cdot 10^{-3} M$  EDTA çözeltisi kullanılmıştır.

### Taşınım Kinetiği

Çalışmada, çinko iyonlarının sıvı membran sistemi ile çift yönlü taşınımında birinci dereceden birbirini takip eden tersinmez reaksiyonların oluştuğu gözönüne alınarak kinetik eşitlikler yazılmıştır. Sıvı membran ile çinko iyonlarının çift yönlü taşınımı şematik olarak Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Sıvı membran sistemiyle çinko iyonlarının çift yönü taşınımı

Verici, membran ve yakalayıcı fazlardaki çinko derişimi sırasıyla  $C_d$ ,  $C_m$  ve  $C_a$  şeklinde, verici fazda

başlangıç anındaki çinko derişimi de  $C_{do}$  şeklinde gösterilmiştir.

$$d \xrightarrow{k_1} m \xrightarrow{k_2} a \quad (1)$$

$$R_d = \frac{C_d}{C_{do}} \quad R_m = \frac{C_m}{C_{do}} \quad R_a = \frac{C_a}{C_{do}} \quad (2)$$

$$R_d = \exp(-k_1 t) \quad (3)$$

$$R_m = \frac{k_1}{k_2 - k_1} [\exp(-k_1 t) - \exp(-k_2 t)] \quad (4)$$

$$R_a = 1 - \frac{1}{k_2 - k_1} [k_2 \exp(-k_1 t) - k_1 \exp(-k_2 t)] \quad (5)$$

Bu eşitliklerden  $R_d$ 'nin  $t$ 'ye karşı tek üssel logaritmik bir şekilde azaldığı,  $R_m$  ve  $R_a$ 'nın ise  $t$  ile çift üssel olarak değişim gösterdiği görülmektedir. Geri dönüşümsüzlük kinetiğinde  $R_d$  ve  $R_m$  değerlerinin

zamanla sıfır olması,  $R_a$  değerinin ise 1 ya da 1'e yaklaşması istenir.  $dR_d/dt=0$  olduğunda;  $R_m$ 'nin maksimum değeri  $R_m^{max}$  ile  $t^{max}$ 'ı vermektedir.

$$R_m^{max} = \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{-k_2/(k_1-k_2)} \quad (6)$$

$$t_{max} = \frac{\ln(k_1/k_2)}{k_1 - k_2} \quad (7)$$

### Deneyel Verilerin Numerik Analizi

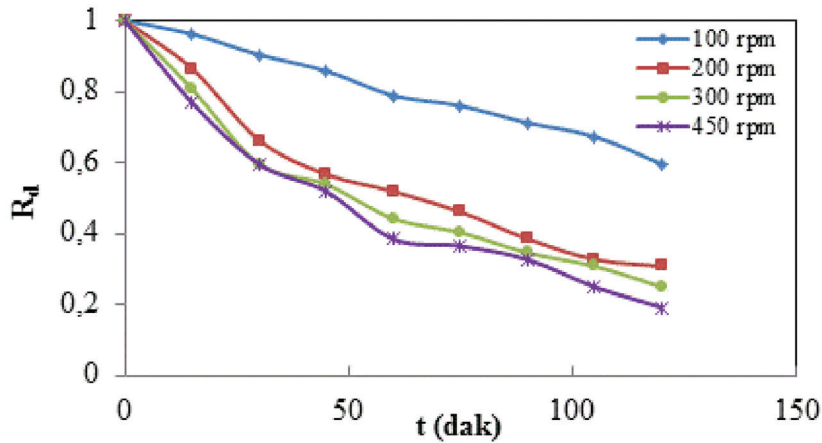
Deneyel çalışmalardan elde edilen verilerin analizinde BASIC dilinde yazılmış iterasyon programı kullanılmıştır.

Bilgisayar programı non-linear eğriye uyarlama, hesaplama yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Programda ilk önce verici faz, yani  $R_d$  değerleri ile zaman arasındaki ilişkiyi gösteren Eşitlik (3) itere edilerek membran giriş hız sabiti  $k_{1d}$  hesaplanmıştır.

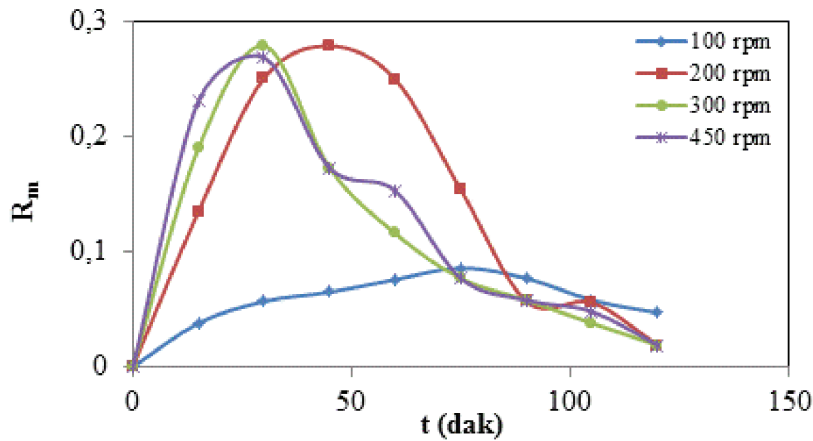
Daha sonra Eşitlik (4) ve (5) ile membran akış hız sabiti  $k_{1a}$  ve membran çıkış hız sabiti  $k_{1a}$  değerleri hesaplanmıştır.

### BULGULAR VE TARTIŞMA

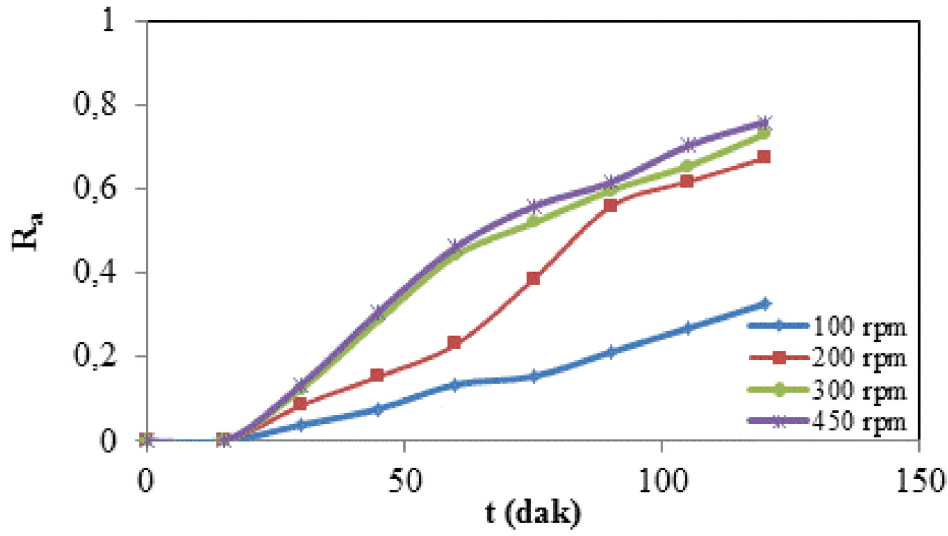
Sıvı membran prosesiyle çinko iyonlarının çift yönlü taşınımına karıştırma hızının etkisini incelemek için yakalayıcı faz karıştırma hızı 100, 200, 300 ve 450 rpm hızlarında değiştirilerek denemeler yapılmıştır. Denemelerde verici faz karıştırma hızı 100 rpm'de, sistemin sıcaklığı 298 °K'de ve verici fazın pH'sı 5.5'te sabit tutulmuştur. Belirli zaman aralıklarında verici ve yakalayıcı fazlardan numuneler alınmış ve mureksit indikatörü ilave edilerek renk turuncudan mor menekşeye dönüncüye kadar  $1.10^{-3}$  M EDTA ile titre edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 2, 3 ve 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Farklı karıştırma hızlarında  $R_d$ 'nin zamana göre değişimi



Şekil 4. Farklı karıştırma hızlarında  $R_m$ 'nin zamana göre değişimi



Şekil 5. Farklı karıştırma hızlarında  $R_s$ 'nin zamana göre değişimi

Şekillerden de görüldüğü gibi karıştırma hızı 100 rpm'den 450 rpm'e arttığında çinko taşınım oranı artmıştır. 450 rpm'den daha yüksek karıştırma denemelerinde analiz yapılamamıştır. Bunun nedeni çift yönlü taşınım sistemlerinde ara yüzeylerin yüksek karıştırma hızlarında deformasyona uğrayarak bozunmasıdır.

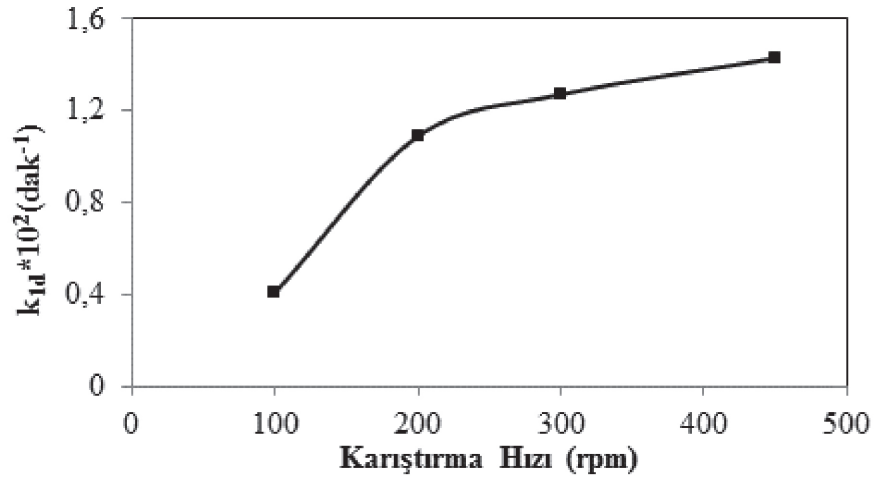
Yüksek karıştırma hızlarında yapılan denemelerde verici ve yakalayıcı fazlar birbirine karışmış ve taşıyıcı olan organik membran faz verici ve yakalayıcı fazlar

içerisinde emülsiyon zerrecikleri şeklinde dağılım göstermiştir. Yakalayıcı faz karıştırma hızı 300 rpm'den 450 rpm'e artırıldığında taşınım oranları hemen hemen aynı olduğundan optimum karıştırma hızı 300 rpm olarak belirlenmiştir.

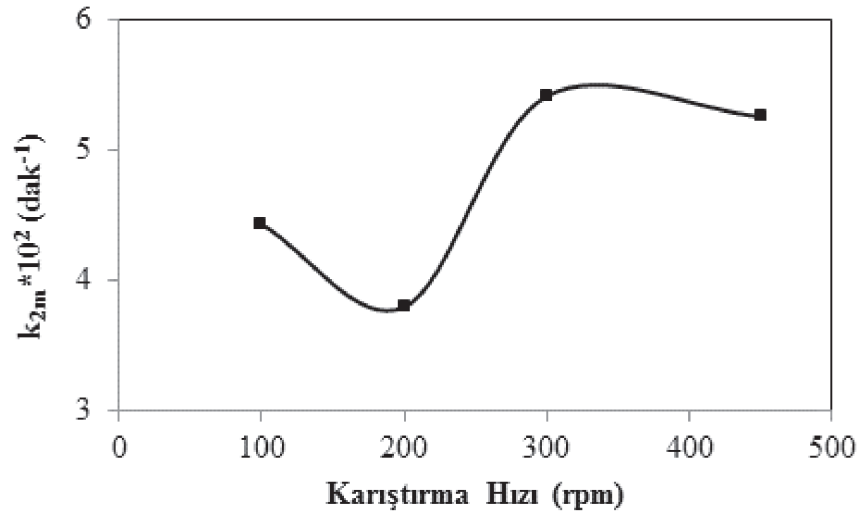
Farklı karıştırma hızlarında yapılan denemelerde elde edilen sonuçlardan hesaplanan kinetik sabitler Tablo 1'de verilmiştir. Kinetik sabitlerin karıştırma hızına göre değişimi de Şekil 6, 7 ve 8 de gösterilmiştir.

Tablo 1. Farklı karıştırma hızlarında kinetik parametreler

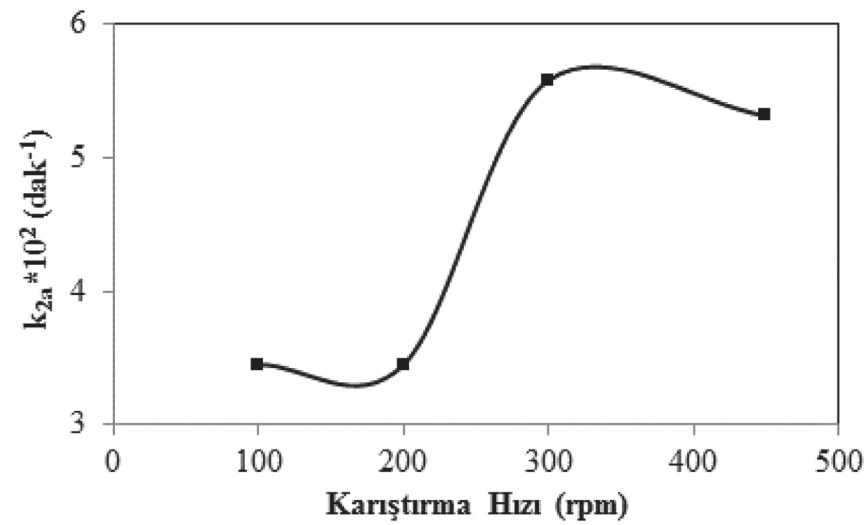
Karıştırma hızı (rpm)	$k_{1d} \cdot 10^2$ (dak <sup>-1</sup> )	$k_{2m} \cdot 10^2$ (dak <sup>-1</sup> )	$k_{2a} \cdot 10^2$ (dak <sup>-1</sup> )	$R_{m,max}$	$t_{max}$	$k_{1d} / k_{2m}$
100	0.4050	4.4300	3.4500	0.0719	59.44	0.0919
200	1.0876	3.7959	3.4500	0.1734	46.15	0.2865
300	1.2700	5.4100	5.5858	0.1505	35.01	0.2348
450	1.4282	5.2531	5.3151	0.1672	34.05	0.2719



Şekil 6. Farklı karıştırma hızlarında  $k_{1d}$ 'nin değişimi



Şekil 7. Farklı karıştırma hızlarında  $k_{2m}$ 'nin değişimi



Şekil 8. Farklı karıştırma hızlarında  $k_{2a}$ 'nin değişimi

Elde edilen kinetik sabitler ve çizilen grafikler sulu çözeltilerden çinko iyonlarının çift yönlü taşınımı üzerine karıştırma hızının etkili bir parametre olduğunu göstermektedir. Taşınım sitemlerinde hız sınırlayıcı aşama film tabakları içerisine çinko taşıyıcı komplekslerin difüzyonudur. Bu film tabakaların kalınlıkları da karıştırma hızı arttıkça azalmaktadır (Demircioğlu et al., 2000; Ma et al., 2001). Şekillerden de görüldüğü gibi karıştırma hızı arttıkça çinko iyonlarının taşınım verimi artmaktadır.

## SONUÇ

Sulu çözeltilerden çinko iyonlarının çift yönlü taşınımı denemelerinde elde edilen sonuçlar karıştırma hızının taşınım üzerine etkili bir parametre olduğunu göstermektedir. Karıştırma hızı arttıkça çinko taşınım verimi artmış, 450 rpm'den yüksek karıştırma hızlarında verici ve yakalayıcı fazlar birbirine karışmış ve taşıyıcı olan organik membran faz, verici ve yakalayıcı fazlar içerisinde emülsiyon zerrecikleri şeklinde dağılım göstermiştir. Yakalayıcı faz karıştırma hızı 300 rpm'den 450 rpm'e artırıldığında taşınım oranları hemen hemen aynı olduğundan optimum karıştırma hızı 300 rpm olarak belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Abdelwahab O, Amin NK, El-Ashtouky E-SZ, 2013. Removal of zinc ions from aqueous solution using a cation exchange resin. *Chemical Engineering Research and Design*, 91:165-173.
- Asri FÖ, Sönmez S, 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Derim*, 23 (2) 36-45.
- Ata ON, 2000. Sfarletin HCl çözeltilerinde çözünmesinin optimizasyonu ve çinkonun destekli sıvı membran ile taşınım. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 35 s, Erzurum.
- Bakalar T, Bugel M, Gadosova L, 2009. Heavy metal removal using reverse osmosis. *Acta Montanistica Slovaca*, 14 (3): 250-253.
- Belgemen T, Akar N, 2004. Çinkonun yaşamsal fonksiyonları ve çinko metabolizması ile ilişkili genler. *Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası*, 57(3).
- Bingul Z, 2002. Çinko iyonlarının sıvı membran prosesiyle giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 91 s, Erzurum.
- Bingul Z, Gurbuz H, Aslan A, Ercisli S, 2016. Biosorption of zinc (II) from aqueous solutions by non living lichen biomass *Xanthoria parietina (L.) Th. Fr.* *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol.15, No. 12, 2733-2740.
- Demircioğlu N, Levent M, Kobya M, Topçu N, 2000. The effects of stirring speed on coupled transport of nitrite ions through liquid membranes. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 14 (4): 109-116.
- Gonzalez-Munoz MJ, Rodriguez MA, Luque S, Alvarez JR, 2006. Recovery of heavy metals from metal industry waste waters by chemical precipitation and nanofiltration. *Desalination*, 200, (1-3): 742-744.
- Gupta VK, Al Khayat M, Minocha AK, Kumar P, 2005. Zinc(II) selective sensors based on dibenzo-24-crown-8 in PVC matrix. *Analytica Chimica Acta*, 532, 153-158.
- Hunsom M, Pruksathorn K, Damronglerd S, Vergnes H, Duverneuil P, Electrochemical treatment of heavy metals (Cu<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Ni<sup>2+</sup>) from industrial effluent and modeling of copper reduction. *Water Research*, 39 (4): 610-616.
- İrdemez Ş, Topçu N, Yıldız YŞ, Demircioğlu N, 2006. Effect of organic solvent type on the removal of nitrate ion using liquid membrane technique. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21 (2): 175-181.
- Jamali M, Ghaderian SM, Karimi N, 2014. Effects of cadmium and zinc on growth and metal accumulation of *mathiola flavida* boiss. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13, 2937-2944. *Cryogenics and Isotopes Separation*, 19 (1) 45-54.
- Kartal G, Güven A, Kahvecioğlu Ö, Timur S, 2004. Metallerin Çevresel Etkileri-II. *Metaller Dergisi*, 137, 46-51.
- Leon G, Guzman MA, 2008. Facilitated transport of copper through bulk liquid membranes containing different carriers: compared kinetic study. *Desalination*, 223, 330-336.
- Leon L, Leon G, Senent J, Guzman MA, 2016. Kinetic study of copper(II) simultaneous extraction/stripping from aqueous solutions by liquid membranes using coupled transport mechanisms. *Metal*, 6, 212.
- Ma M, He D, Wang Q, Xie Q, 2001. Kinetics of europium(III) transport through a liquid membrane containing HEH(EHP) in kerosene. *Talanta*, 55, 1109-1117.
- Maret W, Sandstead HH, 2006. Zinc requirements and the risks and benefits of zinc supplementation, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 20, 3-18.
- Martins JE, Pordo R, Boaventura AR, 2004. Cadmium (II) and zinc (II) adsorption by the aquatic moss *Fontinalis antipyretica*: Effect of temperature, pH and water hardness. *Water Research*, 38, (3): 693-699.
- Mirea CM, Diaconu I, Ruse E, Serban EA, Clej DD, Popa GA, Popa DF, Nechifor G, 2016. The removal of heavy metals using the bulk liquid membrane technique. *Progress of Cryogenics and Isotopes Separation*, 19 (1): 45-54.
- Noble RD, Way JD, 1989. Liquid membrane technology an overview. In *Liquid Membrane Technology and Applications*, ACS Syms No:347, Washington, DC.



- Oleinikova M, Gonzalez C, Valiente M, Munoz M, (1999). Selective transport of zinc through activated composite membranes containing di(2-ethylhexyl)dithiophosphoric acid as a carrier. *Polyhedron*, 18: 3353-3359.
- Pourkhanali K, Saleh M, Khayati G, 2018. Performance evaluation of bulk liquid membrane technique on p-nitrophenol removal from aqueous solution. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 32 (1): 83-90.
- Sağlam N, Cihangir N, 1995. Ağır metallerin biyolojik süreçlerle biyosorpsiyonu çalışmaları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11, 157-161.
- Shek TH, Ma A, Lee VKC, Gordon M, 2009. Kinetics of zinc ions removal from effluents using ion exchange resin. *Chemical Engineering Journal*, 146 (1): 63-70.
- SKKY, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 25687, 31.12.2004.
- Senthilkumar R, Ramalingam S, Abhinaya RV, Dinesh KS, Vidhyadevi T, Sivanesan S, 2012. Adsorption equilibrium, thermodynamics, kinetics, mechanism and process design of zinc(II) ions onto cashew nut shell. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 90, 973-982.
- Vahidi E, Raschi F, Moradkhani D, 2009. Recovery of zinc from an industrial zinc leach residue by solvent extraction using D2EHPA. *Minerals Engineering*, 22, 204-206.
- Yamini Y, Chaloosi M, Ebrahimzadeh H, 2002. Highly selective and efficient transport of bismuth in bulk liquid membranes containing Cyanex 301. *Separation and Purification Technology*, 28: 43-51.
- Yulizar Y, Ohashi A, Nagatani H, Watarai H, 2000. Kinetic study of Ni(II) and Zn(II) complexation. with a pyridylazo extractant by a centrifugal liquid membrane method. *Analytica Chimica Acta*, 419, 107-114.
- Zahakifar F, Charkhi A, Torab-Mostaedi M, Davarkhah R, 2018. Kinetic study of uranium transport via a bulk liquid membrane containing Alamine 336 as carrier. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 316: 247-255.