

## Kompozit Membranlar Kullanılarak Kırmızı Çamurdan Metallerin Geri Kazanılması

Tuğba SARDOHAN KÖSEOĞLU\*, Esengül KIR, Sabriye PERÇİN ÖZKORUCUKLU, Tuğba ATAN, Özlem ŞENGÜL, Gülsüm AKŞİT, Zekiye ÇAKIR  
Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü / ISPARTA  
Alınış Tarihi:13.01.2012, Kabul Tarihi:14.06.2012

**Özet:** Bu çalışmada, farklı yapılaraya sahip katyon değiştirici özellikleri olan kompozit membranlar (Poli N-etil anilin, Poli N-metil anilin, Polipirol ve Poli 2-flor anilin membran) kullanılarak kırmızı çamur çözeltisinden Ti(IV), Fe(III) ve Al(III) iyonlarının geri kazanılması amaçlanmıştır. Kırmızı çamur, asit çözeltisi ile muamele edilerek metallerin çözeltiye geçmesi sağlanmış ve çözeltideki metallerin farklı katyon değiştirici kompozit membranlar kullanılarak Donnan diyaliz metodu (DD) ile geri kazanım deneyleri yapılmıştır. Deney sonrasında her metal için akış (J) ve geri kazanma faktörü (RF) değerleri hesaplanmıştır. Bütün membranlar için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kırmızı çamur bileşiminde Al(III) iyonunun, Ti(IV) iyonundan daha fazla bulunmasına rağmen, Ti(IV) (% 26-29) iyonunun, Al(III) (% 21-25) iyonundan daha fazla oranda geri kazanılabildiği görülmüştür. Kırmızı çamur bünyesindeki metallerin ayrılmasında, metallerin değerliğinin, hidratlaşma çapının, iyonların mobilite hızının ve membran yapısının etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı membranlarda farklı akış değerlerinin olması da membran yapılarının farklılığı ile açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Donnan diyaliz, Kırmızı çamur, kompozit membranlar, metal taşınması

### Recovery of Metals from Red Mud using Composite Membranes

**Abstract:** The objective of this study was to recover the Ti(IV), Fe(III) and Al(III) ions from red mud solution by using composite membranes (Poly N-ethyl aniline, Poly N-methyl aniline, Polypyrrole and Poly 2-fluoro aniline membrane) which have different structures and cation exchange properties. The metals were taken to the solution by treating of red mud with acid solution and the recovery experiments of metals in the solution was carried out with various cation exchange composite membranes by Donnan dialysis (DD) method. After the experiments, the flux values (J) and recovery factor (RF) for each metal were calculated. It was found that even the amount of Al(III) ion was more than the amount of Ti(IV) ion in the red mud composition, the recovery of Ti(IV) (26-29%) ion was higher than Al(III) (21-25%) ion. It is understood that valence of metals, hydration radius, mobility rate of ions, and membrane structure was significantly important for the separation of metals in the red mud. Different flux values observed for different membranes were explained with the differences in membrane structures.

**Keywords:** Donnan dialysis, Red mud, composite membranes, metal transport

### Giriş

Günümüzde nüfusun hızla artması, şehirleşme ve endüstrileşme sonucu çeşitli kirleticiler sulara karışmakta ve su kaynaklarının kalitelerinin bozulmasına, nihayetinde de kirlenmesine neden olmaktadır. Su kaynaklarını kirleten maddeler arasında ağır metaller, çevrede ve canlılarda birikme özelliği göstermeleri, toksik özellikleri ve çeşitli sağlık sorunlarına sebep olmaları sebebiyle ayrı bir öneme sahiptir ve mutlaka sulardan giderilmeleri gerekmektedir (Nagarale vd., 2004; Kır vd., 2006).

Kırmızı çamur, Bayer prosesi ile Boksitten alüminyum üretildikten sonra sodyum alüminat çözeltisinden ayrılan ve çözünemeyen sodyum alüminyum silikatlar yanında bünyesinde Fe(III), Al(III) ve Ti(IV) gibi birçok metali de içeren atık bir maddedir. Özellikle Ti ekonomik değeri bakımından önemli bir metaldir (Çengelöğlü vd., 2001). Kırmızı çamurun bünyesindeki metallerin özellikle titanın geri kazanılması oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalar sonucunda kırmızı çamurdan daha fazla titan içeren başka bir kaynak bulunmamıştır. Kırmızı Çamur bünyesindeki % 2-8'lik TiO<sub>2</sub> ülkemiz için önemlidir. Titan, endüstri alanında; elektronik sanayi, uçak sanayi ve paslanmaz çelik sanayinde alaşım olarak, birçok sanayi dalında da

pigment olarak kullanılmaktadır. TiO<sub>2</sub>, boya sanayiinde ana maddedir (Kır, 2002). Bu yüzden özellikle titanı yüksek bir verimle geri kazanmak önemlidir.

Kırmızı çamur, alüminyum üreten tesislerin en önemli atık problemidir. Depolanması ve korunumu, canlı organizmalar için önemli bir risk faktörü olan alkali yapısından dolayı alumina endüstrisinde zorlu bir çevresel problemdir. Bazı üretici kuruluşlar kırmızı çamuru olduğu gibi denize pompalarken bazıları da bunu yerleşim birimlerinden uzakta inşa edilen barajlara pompalamaktadırlar. Kırmızı çamur gerek kostik soda içermesi gerekse depolama nedeniyle önemli bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Ayrıca, yazın kuruyan kırmızı çamurun havayı kirletmesi de ayrı bir çevresel problemdir (Kır, 2002; Danış, 2005; Sahu vd., 2010).

Kırmızı çamurun kimyasal kompozisyonu genel olarak; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 30-60, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 5-20, SiO<sub>2</sub> % 1-20, Na<sub>2</sub>O % 1-10, CaO % 2-8, TiO<sub>2</sub> eser-% 10 ve % 5-15 kızdırma kaybı oranındadır (Zambo vd., 1980). Antunes vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada kırmızı çamurun minerolojik yapısının XRD sonuçlarına göre hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), jipsit Al(OH)<sub>3</sub> ve rutil (TiO<sub>2</sub>) şeklinde olduğu

\*[tugbasardohan@sdu.edu.tr](mailto:tugbasardohan@sdu.edu.tr)

belirtilmiştir. Tane büyüklüğü 1 mikronla 2 mm arasında değişir ve çoğu 100 mikronun altındadır. Yoğunluk ise 2.7 - 3.2 ton/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Üretim sürecine giren boksitin yaklaşık % 35 – 40'ı kırmızı çamur halinde atılmaktadır (Zambo vd., 1980).

Kırmızı çamur, hem meydana getirdiği çevre problemlerinin ortadan kaldırılması hem de değerlendirilmesi bakımından adsorban ve inşaat malzemesi gibi çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Ayrıca bünyesindeki değerli bileşenlerin geri kazanılması yönünde de çalışmalar yapılmaktadır (Kır, 2002).

Kırmızı çamurdan metallerin, ticari iyon değiştirici membranlar kullanılarak çözültü ortamından uzaklaştırılması ile ilgili çalışmalar mevcuttur (Cengeloglu vd., 2003). Kompozit membranların toksik metal katyon ve anyon taşıma özelliklerinin belirlenerek ayırma ve saflaştırma işlemlerinde kullanılması özellikle çevre ve insan sağlığı bakımından oldukça önemli hale gelmiştir (Nagarale vd., 2004).

Membranlar, sadece endüstride değil aynı zamanda günlük insan yaşamında da önemli materyaller olmaya başlamıştır. Bu yüzden ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon ve ayırma prosesleri için iyonik olmayan membranlar ve iyon-değiştirici membranlar, ayrıca yapay böbrek gibi medikal kullanımlar için membranlar geliştirilmektedir. Bu membranlar arasında iyon-değiştirici membranlar ayırma membranlarının en gelişmiş tipleri arasındadır. İyon-değiştirici membranlar, tuzlu suyun elektrodialitik demineralizasyonu, toksik metal iyonlarını içeren endüstriyel atıkların iyileştirilmesi gibi çeşitli uygulamalarda kullanıma sahiptir (Nagarale vd., 2004). Son yıllarda yapılan çalışmalarda, polipirol, polianilin ve türevleri gibi iletken polimerlerin iyon değiştirici materyaller ve sensör üretiminde kullanımı büyük önem kazanmıştır (Nagarale vd., 2004; Kır vd., 2006).

Bu çalışmada, alüminyum endüstrisinde, boksitten alumina üretildikten sonra kalan kısmı olan kırmızı çamur bünyesindeki başta Ti(IV) olmak üzere Al(III), Fe(III) iyonlarını geri kazanmak için Donnan Diyaliz metodu uygulanmıştır. Öncelikle, kırmızı çamur asitle muamele edilerek metallerin çözeltiye geçmesi sağlanmış ve çözeltideki metallerin farklı katyon değiştirici membranlarda taşınma deneyleri yapılmıştır. Bu işlemi yaparken hem değerli bir element olan titanyum geri kazanmak hem de ekolojik problemlere yol açan kırmızı çamuru değerlendirmek başlıca amacımızdır. Bunun için, membranlar değiştirilerek farklı membranlarda metallerin taşınması incelenmiş, her metal için akış (*J*) ve % geri kazanma faktörü (*RF*) hesaplanmıştır. Farklı membranlarda gözlenen farklı akış değerleri membran yapılarının farklılığı ile açıklanmıştır.

## Materyal ve Metot

### Kırmızı Çamur

Deneylerde kullanılan kırmızı çamur, Seydişehir Eti Alüminyum A.Ş. Genel Müdürlüğü Tesislerinden temin edilmiştir. Numune, kırmızı çamurun baraja pompalandığı yer olan 6. yıkayıcı altından alınmıştır. En az 2-3 saat dinlendirilerek kırmızı çamurun dibe çökmesi sağlanmış ve üstte kalan sulu kısım atılmıştır. Katı kısım her defasında karıştırılıp dinlendirilerek, 3 defa yıkanmış, daha sonra etüvde 105°C'de sabit tartıma gelinceye kadar bekletilerek bütün analizler ve denemeler bu kurutulmuş (sabit tartıma getirilmiş) kırmızı çamur ile yapılmıştır.

Kırmızı çamur çözeltisi, yıkanıp, kurutulup sabit tartıma getirilen kırmızı çamur numunesinden hazırlanmıştır. Bunun için 10 g kırmızı çamur 500 mL'lik dibi düz bir balona alınmış, üzerine 100 mL 7,14 M HCl eklenerek 30 dk geri soğutucu altında kaynatılmıştır. Kaynatma işleminden sonra sıcak halde siyah band süzgeç kağıdı kullanarak vakum pompası (KNF Neuberger N026) yardımıyla süzölmüş sonra 2-3 sefer seyreltik HCl ve sıcak saf su ile yıkanarak çözelti hacmi litreye tamamlanmıştır. Tüm deneysel işlemler bu kırmızı çamur çözeltisinden yapılmıştır (Çengeloglu 1991). Deneylerde kullanılan bütün çözeltilerin hazırlanmasında deionize su kullanılmıştır. Hazırlanan kırmızı çamur çözeltisinde iyonların çözünme yüzdeleri sırasıyla; Al(III) için 89,66±0,70, Fe(III) için 98,21±0,71, Ti(IV) için 89,26±0,87 ve Na(I) de 89,87±0,86 şeklindedir. Ayrıca çalışmada kullanılan kırmızı çamur bileşiminin % 18,71±0,59 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 39,70±0,67 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 4,90±0,54 TiO<sub>2</sub>, % 8,82±0,96 Na<sub>2</sub>O, % 4,47±0,56 CaO, % 14,52±0,37 SiO<sub>2</sub> ve % 8,15±0,40 kırıma kaybı olduğu belirtilmiştir (Kır, 2002).

### Membranlar

Çalışmada kullanılan Poli N-etil anilin, Poli N-metil anilin ve Polipirol (Percin Ozkorucuklu vd., 2011) membranlar kimyasal sentez esnasında poliviniliden diflorür (PVDF) membran destek tabakasının reaksiyon kabına bırakılarak polimerleşmenin bu destek tabakası üzerinde gerçekleştirilmesiyle, Poli 2-flor anilin membran (Sardohan Koseoglu vd., 2010) ise casting metodu ile hazırlanmıştır.

Deneylerde kullanılan iyon değiştirici membranlar önce asidik ve bazik safsızlıklarını gidermek için ön temizleme işlemine tabi tutulmuş, sonra katyon değiştirici membran oldukları için herbiri hidrojen formuna getirilmiştir (Kır ve Alkan, 2006). Çalışmada, kullanılan membranların yüzey alanı 7,07 cm<sup>2</sup> olarak alınmıştır.

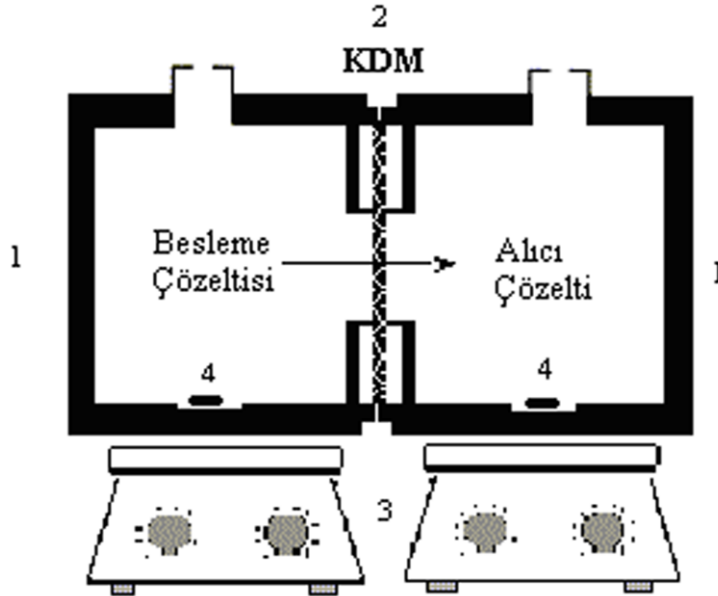
### Donnan Diyaliz

Donnan diyaliz ünitesi, teflondan özel olarak dizayn edilmiş iki bölmeli bir düzeneştir. Her bölüm 45 mL'lik bir kapasiteye sahiptir (Çengeloglu vd., 2001). Kırmızı çamur çözeltisi besleme çözeltisi iken (donor çözelti),

alıcı tarafta 0,1 M HCl çözeltisi bulunmaktadır. Her iki çözelti de 500 rpm sabit hızda magnetik bir karıştırıcı (Labart, SH-5 Heating Stirrer) ile karıştırılmıştır. Bölmeler arasına yüzey alanı 7,07 cm<sup>2</sup> olan membranlar yerleştirilmiş, sızdırmazlığı sağlamak için de özel plastik contalar ve halkalar kullanılmıştır. Deney süresince alıcı çözeltiden belirli zaman aralıklarında (her 30 dakikada bir) örnek numuneleri alınmıştır. Katyon değiştirici membranlar boyunca taşınan Ti(IV), Fe(III) ve Al(III)

iyonlarının miktarları ICP-OES (Perkin Emler 5300 DV model) ile ölçülmüştür. Bu metal iyonlarının miktarından *RF* ve *J* değerleri hesaplanmıştır. Süreye karşılık taşınan metal mmol miktarları grafiğe geçirilmiştir. Tüm ölçümler 25°C'de yapılmış ve her bir deney en az üç kez tekrar edilmiştir. Sonuçlar % 95 güven seviyesinde değerlendirilmiştir. Şekil 1'de donnan diyaliz düzeneğinin şekli verilmiştir.

$$C_B = \text{K.Ç. çözeltisi} \mid \text{Katyon Değiştirici membranlar} \mid C_A = 0,1 \text{ M HCl}$$



Şekil 1. Donnan Diyaliz Ünitesi

1. Teflon hücre, 2. Katyon değiştirici membran (KDM), 3. Magnetik karıştırıcı, 4. Magnetik balık

## Bulgular

Kırmızı çamur çözeltisi ve katyon değiştirici membranlar kullanılarak donnan diyaliz deneyleri yapılmıştır. Membrandan alıcı tarafa taşınan metal iyonlarının miktarı (belirli zaman aralıklarında çözeltinin alınması ile) ICP-OES ile tayin edilmiştir. Bu metal iyonlarının miktarından *RF* ve *J* değerleri hesaplanmıştır. Süreye karşılık taşınan metal iyonlarının mmol miktarları grafiğe geçirilmiştir. İyon akış hızı, *J*, alıcı taraftaki iyon konsantrasyonunun zamana karşı çizilen grafiğin eğiminden bulunmuştur. İyon akış eşitliği aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmiştir (Ersoz ve Kara, 2000).

$$J = \left( \frac{V}{A} \right) \left( \frac{dC^{n+}}{dt} \right)_{t \rightarrow 0} \quad (1)$$

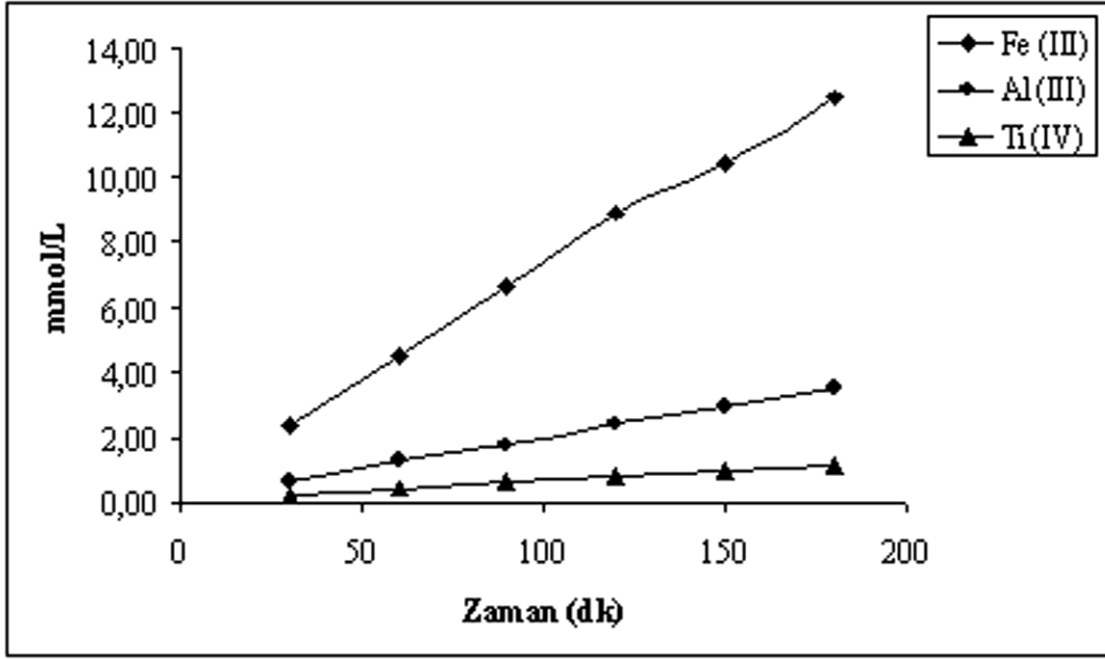
Buradaki *V*, alıcı çözeltinin hacmi, *A* membranın etkin alanı ve *C<sup>n+</sup>* ise *t* zamanındaki iyon konsantrasyonudur.

Donnan diyaliz sistemlerinin % geri kazanma faktörü (*RF*) değerleri de aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmiştir (Wodzki vd., 1999).

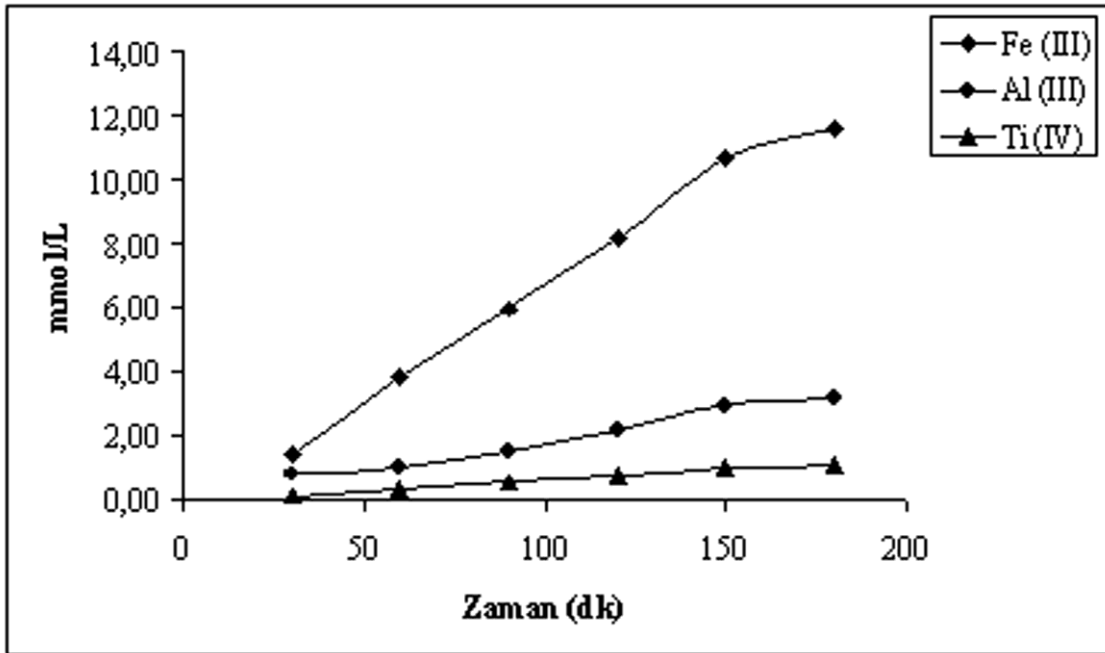
$$RF = 100 \times \left( 1 - \frac{C_t}{C_0} \right) \quad (2)$$

Burada *C<sub>t</sub>*, *t* zamanında besleme fazındaki metal konsantrasyonu, *C<sub>0</sub>* ise besleme fazındaki başlangıç metal konsantrasyonudur.

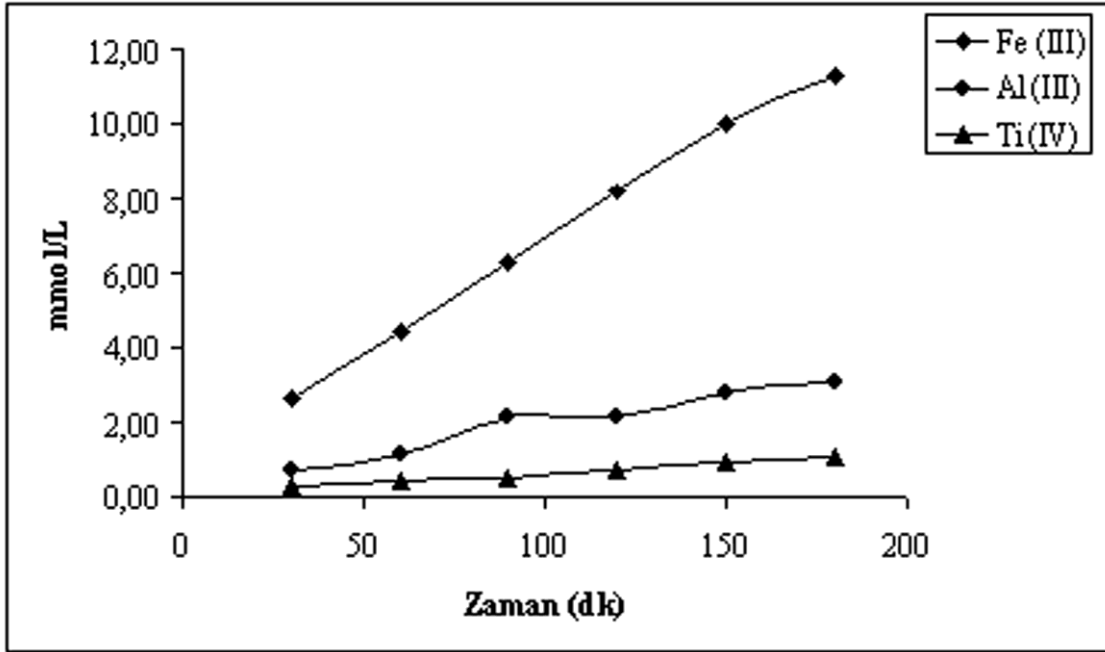
Katyon değiştirici membranlar ile yapılan deneylerde süreye karşı taşınan iyon mmol miktarlarının grafikleri Şekil 2-5'te, iyonların hesaplanmış akış hızları ve *RF* değerleri ise Çizelge 1'de görülmektedir.



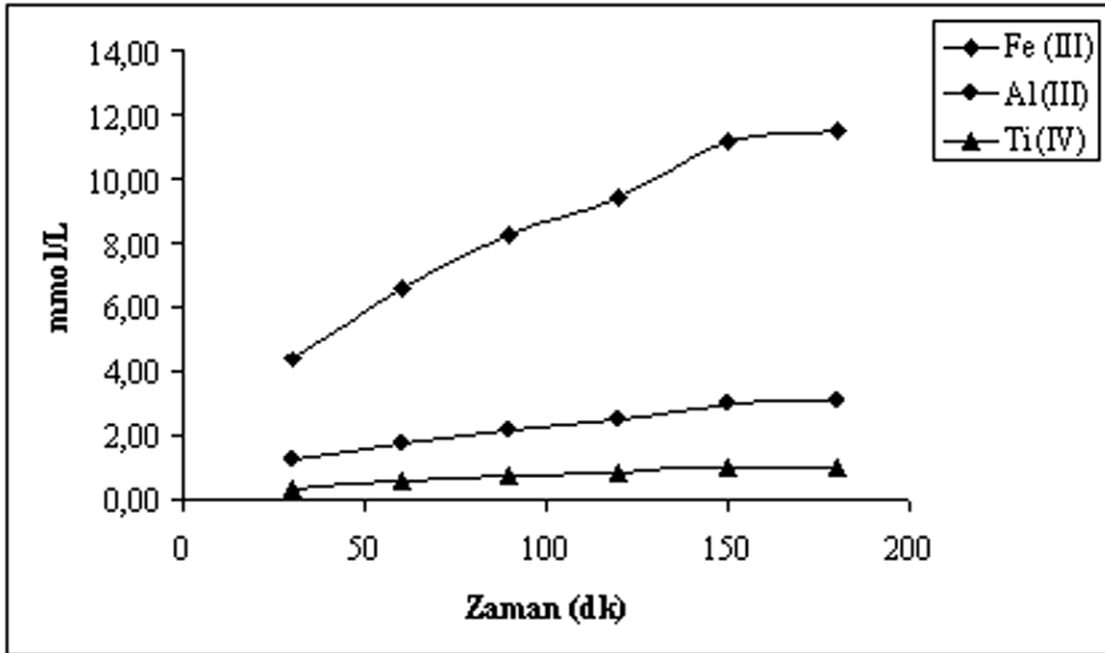
Şekil 2. Poli N-etil anilin membranı için alıcı çözeltideki metal iyonlarının konsantrasyonunun zamana bağlı olarak değişimi (Besleme çözeltisi: K.Ç. çözeltisi; Alıcı çözelti: 0,1 M HCl)



Şekil 3. Poli N-metil anilin membranı için alıcı çözeltideki metal iyonlarının konsantrasyonunun zamana bağlı olarak değişimi (Besleme çözeltisi: K.Ç. çözeltisi; Alıcı çözelti: 0,1 M HCl)



Şekil 4. Polipirol membranı için alıcı çözeltideki metal iyonlarının konsantrasyonunun zamana bağlı olarak değişimi (Besleme çözeltisi: K.Ç. çözeltisi; Alıcı çözelti: 0,1 M HCl)



Şekil 5. Poli-2-flor anilin membranı için alıcı çözeltideki metal iyonlarının konsantrasyonunun zamana bağlı olarak değişimi (Besleme çözeltisi: K.Ç. çözeltisi; Alıcı çözelti: 0,1 M HCl)

Çizelge 1. Farklı yapıdaki membranlar için Al(III), Ti(IV) ve Fe(III) iyonlarının RF ve akış değerleri

	Membranlar	$J \times 10^{11}$ (mol.cm <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	% RF
Al (III)	Poli N-etil anilin	346,00 (± 0,01)	25,03
	Poli N-metil anilin	314,00 (± 1,17)	22,34
	Polipirol	287,00 (± 1,62)	21,76
	Poli 2-flor anilin	232,00 (± 0,70)	21,96
Ti (IV)	Poli N-etil anilin	64,30 (± 0,01)	29,57
	Poli N-metil anilin	66,90 (± 0,09)	27,59
	Polipirol	56,70 (± 0,06)	26,73
	Poli 2-flor anilin	46,60 (± 0,26)	26,97
Fe (III)	Poli N-etil anilin	590,00 (± 0,20)	43,16
	Poli N-metil anilin	618,00 (± 0,75)	40,31
	Polipirol	516,00 (± 0,22)	39,01
	Poli 2-flor anilin	423,00 (± 1,70)	39,86

## Tartışma ve Sonuç

Membranlar için, Şekil 2-5'teki taşınma grafiklerinden de görüldüğü gibi Fe(III) iyonunun taşınma miktarı diğer metallere göre daha fazladır. Çengelöğlü vd. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada kırmızı çamurdan Fe(III), Al(III) ve Ti(IV) iyonlarının geri kazanılması çalışmaları ticari membranlar kullanılarak donnan diyaliz yöntemi ile yapılmıştır. Kırmızı çamur bünyesinde % 38 oranında bulunan Fe(III) iyonu diğer iyonlara nazaran daha yüksek oranda geri kazanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar belirtilen çalışma ile de uyum içindedir. Membranlar boyunca iyonların taşınmasında düşük değerlikli ve düşük hidratlanmış çapa sahip olan iyonların diğer yüksek değerlikli iyonlara nazaran daha fazla taşındığı belirtilmiştir (Miyoshi, 1998). Fe(III) iyonunun hidrasyon hacmi 15,5 cm<sup>3</sup>/mol, Al(III) iyonunun ise 16,8 cm<sup>3</sup>/mol'dür (Marcus, 1985). Fe(III) iyonunun hidrasyon hacminin Al(III) iyonunkinden daha düşük olması da bu durumu doğrulamaktadır. Metallerin hidrasyon hacmi ile katyon değiştirici membranlardan taşınan metal iyonlarının miktarları birbiri ile uyum içindedir. Membranlardan metal akış hızları, Fe(III)>Al(III)>Ti(III) sırasında gözlenmiştir. Bu durum grafiklerden de görülmektedir (Şekil 2-5).

Poli N-etil anilin, poli N-metil anilin ve polipirol membranlar, PVDF destek tabakası üzerinde kimyasal polimerizasyon ile hazırlanmış, poli-2-flor anilin membran ise casting yani polimer çözeltisinin uygun bir çözücü içinde çözünüp PVDF destek tabakası üzerine dökülmesi ile hazırlanmıştır. Kompozit membranların farklı yöntemlerle hazırlanması, bu membranların yapılarında farklı olmasına yol açmıştır. Yapılardaki bu

farklılık metallerin akış hızlarında da görülmektedir. Kimyasal polimerizasyon ile hazırlanan kompozit membranlardaki akış değerleri poli-2-flor anilin membraninkine nazaran daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 1).

Membranlardaki iyonik mobilite oranı katyonun daha küçük çapına göre daha fazla kuvvetlidir. Üç değerlikli iyon olan Fe(III)'ün hidrasyon sayısı (çapı) diğer iyonlardan daha küçüktür. Sonuçta düşük değerlik ve düşük hidrasyon çapı, yüksek akış sağlamaktadır. Elde edilen bu sonuçlar literatürle de uyum içindedir (Miyoshi, 1998). Tourreuil vd. (1998) tarafından yapılan bir çalışmada, donnan diyaliz deneylerinde, katyonların akış hızlarının birbirlerinden farklı olmasını, katyonların hidrasyon sayısının (hidrate olmuş iyon çapı) farklı olmasına bağlamışlardır. Bu çalışmada katyonlar aynı değerlikli (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>) olmasına rağmen, hidrasyon sayılarındaki farklılıklara göre birbirlerinden ayrılarak geri kazanılmışlardır. Bizim çalışmamızda da Fe(III) ve Al(III) iyonlarının yüklerinin aynı olmasına rağmen hidrasyon sayısının (çapının) Fe(III) iyonu için düşük olması bu iyon için daha yüksek akışa neden olmuştur.

Bu çalışmada Al(III), Ti(VI) ve Fe(III) iyonları, sulu çözeltiden kompozit katyon değiştirici N-etil anilin, N-metil anilin, Polipirol ve Poli 2- flor anilin membranlar kullanılarak Donnan diyaliz yöntemiyle uzaklaştırılmıştır. Kırmızı çamurla yapılan deneylerde, bütün membranlar için metallere göre akış hızı sıralaması, Fe(III)>Al(III) >Ti(IV) şeklindedir. Bu çalışmada, bütün membranlar

için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kırmızı çamur bileşeninde Al(III), Ti(IV)'e göre daha fazla bulunmasına rağmen, Ti(IV) (% 26-29), Al(III) (%21-25) iyonundan daha fazla oranda geri kazanılmıştır. Kırmızı çamur bünyesindeki metallerin ayrılmasında, metallerin değerliğinin, hidratlaşma çapının, iyonların mobilite hızının ve membran yapısının etkili olduğu tespit edilmiştir. Kırmızı çamur bünyesindeki metallerin geri kazanılması ile ilgili bundan sonra yapılacak çalışmalarda elektrodializ yönteminin uygulanması ile metaller daha yüksek oranda geri kazanılabilecektir.

## **Kaynaklar**

- Antunes, M.L.P., Couperthwaite, S.J., da Conceição, F.T., de Jesus, C.P.C., Kiyohara, P.K., Coelho, A.C.V., Frost, R.L. 2012. Red Mud from Brazil: Thermal Behavior and Physical Properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51, 775-779.
- Cengelöglu, Y., Kir, E., Ersoz, M., Buyukerkek, T., Gezgin, S. 2003. Recovery and Concentration of Metals from Red Mud by Donnan Dialysis. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, 223, 95-101.
- Çengelöglu, Y., 1991. Kırmızı Çamurun Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 79s.
- Çengelöglu, Y., Kir, E., Ersöz, M., 2001. Recovery and Concentration of Al(III), Fe(III), Ti(IV), and Na(I) from Red Mud. *Journal of Colloid and Interface Science*, 244, 342-346.
- Damış, U., 2005. Chromate Removal from Water Using Red Mud and Crossflow Microfiltration. *Desalination*, 181, 135-143.
- Ersoz, M., Kara, H., 2000. Cobalt(II) and Nickel(II) Transfer through Charged Polysulfonated Cation Exchange Membranes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 232, 344-349.
- Kır, E., 2002. Kırmızı Çamurdan Metallerin Geri Kazanılması ve Değerlendirilme Yollarının Araştırılması. Doktora Tezi, SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 79s.
- Kır, E., Alkan, E., 2006. Fluoride Removal by Donnan Dialysis with Plasma-Modified and Unmodified Anion-Exchange Membranes. *Desalination*, 197, 217-224.
- Kır, E., Oksuz, L., Helhel, S., 2006. Preparation of Poly(2-chloroaniline) Membrane and Plasma Surface Modification. *Applied Surface Science*, 252, 3574-3579.
- Marcus, Y., 1985. *Ion Solvation*. John Wiley and Sons Ltd., Great Britain, 99 pp.
- Miyoshi, H., 1998. Diffusion Coefficients of Ions through Ion Exchange Membrane in Donnan Dialysis Using Ions of Different Valence. *Journal of Membrane Science*, 141, 101-110.
- Nagarale, R.K., Gohil, G.S., Shahi, V.K., Trivedi, G.S., Rangarajan, R. 2004. Preparation and Electrochemical Characterization of Cation- and Anion-Exchange/Polyaniline Composite Membranes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277, 162-171.
- Percin Ozkorucuklu, S., Özdemir, K., Kır, E., 2011. Preparation and Transport Properties of PPy/PVDF Composite Membranes. *Polymers Advanced Technologies*, DOI: 10.1002/pat.2030.
- Sahu, R.C., Patel, R., Ray, B.C., 2010. Utilization of Activated CO<sub>2</sub>-neutralized Red Mud for Removal of Arsenate from Aqueous Solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 179, 1007-1013.
- Sardohan Koseoglu, T., Kir, E., Percin Ozkorucuklu, S., Karamızrak, E., 2010. Preparation and Characterization of P2FAn/PVDF Composite Cation-Exchange Membranes for the Removal of Cr(III) and Cu(II) by Donnan Dialysis. *Reactive and Functional Polymers*, 70, 900-907.
- Tourreuil, V., Dammak, L., Bulvestre, G., Auclair, B., 1998. Dialysis Applied to the Selectivity Study of Cation Exchange Membranes in Contact with Strong Electrolytes. *New Journal of Chemistry*, 22, 1463-1468.
- Wodzki, R., Sionkowski, G., Poźniak, G., 1999. Recovery and Concentration of Metal Ions. IV. Up-hill Transport of Zn(II) in a Multimembrane Hybrid System. *Separation Science Technology*, 34, 627-649.
- Zambo, J., Orban, F., Sigmond, G., Csak, J., 1980. Study on the Disposal and Utilization of Bauxite Residues. Final Report, Budapest.