



Orijinal Araştırma / Original Research

ATIK SİYANÜR ÇÖZELTİLERİNDEN ANYONİK REÇİNELER İLE AĞIR METALLERİN ADSORPSİYONU

ADSORPTION OF HEAVY METALS FROM WASTE CYANIDE SOLUTIONS WITH ANIONIC RESINS

Fırat Ahlatcı^{a,*}, Elif Yılmaz^{a,**}, Ersin Y. Yazıcı^{a,***}, Oktay Celep^{a,****}, Hacı Deveci^{a,*****}

^a Hydromet B&PM Araştırma Grubu, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı, Maden Müh. Böl., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 61080, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 16 Mayıs / May 2018
Kabul Tarihi / Accepted : 19 Ağustos / August 2018

Anahtar Sözcükler:

Siyanür,
Atık çözelti,
Ağır metaller,
Reçine,
Adsorpsiyon.

ÖZ

Bu çalışmada, atık siyanür çözeltilerinden ağır metallerin (Cu, Zn ve Fe) anyonik reçineler ile uzaklaştırılması araştırılmıştır. Testler, siyanür liçi tesisinden alınan atık çözeltiler (135 mg/L Cu, 196 mg/L Zn ve 5,3 mg/L Fe) ile gerçekleştirilmiştir. Üç farklı anyonik reçine kullanılarak (Dowex 21K XLT, Purolite A193 ve Purolite S992) Cu ve Zn adsorpsiyon performansları (24 sa.) karşılaştırılmış ve en etkin reçinenin Dowex 21K XLT olduğu belirlenmiştir. Dowex 21K XLT kullanılarak farklı reçine dozajlarında (1-5-10-20 g/L) yapılan 24 saatlik kinetik testlerde, reçine miktarının artması ile metallerin adsorpsiyonları da artmıştır. Bakır adsorpsiyon verimlerinde 1. saatten sonra önemli bir değişim olmazken, 5 g/L reçine dozajında %57 (24 sa.), 10 g/L'de ise yüksek verimler (1 saatte %94) elde edilmiştir. Test edilen en yüksek reçine dozajında (20 g/L) ise bakırın tamamı ilk 1 saatte uzaklaştırılmıştır. Bakır için elde edilen sonuçlara benzer olarak, çinko ve demir için de yüksek adsorpsiyon verimlerine (≥ 97) ulaşmak için ≥ 10 g/L reçine kullanılması gerektiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, Dowex 21K XLT anyonik reçine kullanılarak atık siyanür çözeltilerinden ağır metallerin (Cu, Zn ve Fe) yüksek verimlerle uzaklaştırılabileceği görülmektedir.

ABSTRACT

In this study, removal of heavy metals (Cu, Zn and Fe) from cyanidation effluents using anionic resins was investigated. The effluent obtained (135 mg/L Cu, 196 mg/L Zn and 5.3 mg/L Fe) from a cyanide leach plant was used in tests. Cu and Zn adsorption performances (24 h.) of three different resins (Dowex 21K XLT, Purolite A193 and Purolite S992) were compared and Dowex 21K XLT was found to be the most effective resin. Kinetic tests at different dosages (1-5-10-20 g/L) of Dowex 21K XLT were carried out for 24 h. significant changes were observed to copper adsorption recoveries after 1. hour. Copper adsorption was fast in that no significant change in adsorption profile was observed after 1 h. Fifty seven percent of copper was adsorbed at 5 g/L resins. Adsorption of copper increased to 94% with increasing the resin dosage from 5 g/L to 10 g/L. Copper removal was almost complete at the highest resin dosage tested (20 g/L). Similarly, high resin dosages (≥ 10 g/L) appeared to be required to achieve high adsorption recoveries (≥ 97) for zinc and iron. These findings demonstrate that heavy metals (Cu, Zn and Fe) can be readily removed from cyanidation effluents by using Dowex 21K XLT anionic resin.

Keywords:

Cyanide,
Effluent,
Heavy metals,
Resin,
Adsorption.

* firatahlatci@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-4751-4725>

** elifkoc@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-8789-0007>

*** eyazici@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-8711-0784>

**** Sorumlu yazar: ocelep@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9024-4196>

***** hdeveci@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-4105-0912>

GİRİŞ

Siyanür, madencilik, naylon, akrilik plastik vb. kimyasal madde üretimi, sentetik fiber/kauçuk üretimi, elektrolitik kaplama, alüminyum elektrolizi, kömür koklaştırma/gazlaştırma ve endüstriyel gaz temizleme gibi birçok endüstri tarafından kullanılmasına rağmen yüksek toksik özelliğe sahip bir kimyasaldır (Akcil, 2014; Akcil, 2002; Jackson ve Logue, 2017; Zagury vd., 2004). Bununla birlikte, Dünya’da üretilen siyanürün %18’i madencilik sektöründe kullanılmaktadır (Yazıcı, 2005; Logsdon vd., 1999).

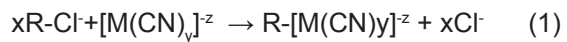
Siyanür liçi ile değerli metallerin (özellikle Au ve Ag) kazanımı tüm dünyada başarıyla uygulanan bir yöntemdir (Akcil vd., 2015). Değerli metal üretimi sonrasında ortaya çıkan atık çözeltinin, bir atık havuzuna deşarjından önce siyanür içeriğinin çevresel açıdan kabul edilebilir yasal sınırlara indirilmesi gerekmektedir. Örneğin ülkemizde Maden Atıkları Yönetmeliği’ne göre siyanürlü maden atığının atık barajına deşarj noktasında siyanür konsantrasyonu 10 mg/L’yi aşmamalıdır (Resmi Gazete, 2015). Ayrıca değerli metallerin yüklü liç çözeltisinden kazanımı (aktif karbon adsorpsiyonu veya Zn sementasyonu) sonrasında kalan atık çözeltiler, siyanürün yanı sıra ağır metal siyanür kompleksleri de ($\text{Cu}(\text{CN})_3^{-2}$, $\text{Zn}(\text{CN})_4^{-2}$, $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, $\text{Ni}(\text{CN})_4^{-2}$, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4}$, $\text{Hg}(\text{CN})_4^{-2}$, $\text{Co}(\text{CN})_6^{-4}$ vs.) içerir. Atık çözeltilerde ağır metallerin varlığı ve çeşitliliği, maden yatağının jeokimyasal karakteristiği ve cevherin mineralojisi ile ilişkilidir (Jung, 2001). Ağır metaller çevre ve insan sağlığı açısından önemli riskler oluşturmaktadır. İnsanlarda büyüme ve gelişimi olumsuz etkiler, kanser, organlarda ve sinir sisteminde tahribat ve hatta ölüme sebep olabilmektedir (Barakat, 2011).

Atık çözeltilerdeki siyanür konsantrasyonunun düşürülmesi amacıyla bozundurma yöntemleri ($\text{INCO SO}_2/\text{Hava}$ ve H_2O_2 ile oksidasyon) kullanılmaktadır. Ancak siyanür bozundurma işlemleri hem ilave bir yatırım ve işletme maliyeti oluşturmakta hem de bozundurulmuş siyanürün yerine sürekli yeni siyanür kullanımını gerektirmektedir (SGS, 2009). Bu nedenlerden dolayı özellikle yüksek siyanür tüketiminin gerektiği cevher (örneğin; bakırlı altın cevherleri) tiplerinde genellikle siyanür geri kazanım yöntemleri tercih edilmektedir (Kuyucak ve Akcil, 2013). Siyanür geri kazanımı için AVR (acidification-volatilisation-resorption), SART (sulphidisation-acidification-recycling-thickening), aktif karbon adsorpsiyonu,

iyon değişimi ve solvent ekstraksiyon yöntemleri kullanılmaktadır (Adams ve Lloyd, 2008; Zheng vd., 2015; Zhang vd., 2015).

İyon değişimi yöntemi değerli metallerin liç çözeltilerinden kazanımının yanı sıra atık liç çözeltilerindeki ağır metallerin uzaklaştırılması için de kullanılabilir. Bu yöntem, atık çözeltilerdeki metal kirliliğini kontrol altına almak için uygun reçine seçimi ile etkin ve ekonomik bir yöntem olarak uygulanabilir (USEPA, 1981; USEPA, 2000).

İyon değişimi yöntemi, reçinelerin yüksek kimyasal/mekanik duraylılığı ve yüksek kapasiteleri gibi avantajlara sahip olan siyanürün geri kazanımı için önemli bir alternatiftir (Zhang vd., 2015). Ağır metallerin atık siyanür çözeltilerinden uzaklaştırılması sonrasında elde edilen temiz atık çözeltisi tesis suyu olarak tekrar kullanılarak su ve kısmen siyanür tüketiminin azaltılması da yöntemin diğer bir avantajıdır. Siyanür çözeltilerinde bakır, çinko, nikel, demir gibi metaller siyanür ile kararlılığı yüksek kompleksler oluşturur (örn.; $\text{Cu}(\text{CN})_3^{-2}$, $\text{Zn}(\text{CN})_4^{-2}$, $\text{Ni}(\text{CN})_4^{-2}$, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4}$). İyon değişimi esnasında metal siyanür komplekslerinin reçinelere adsorplanması aşağıdaki gibi gösterilebilir (Eşitlik 1) (Ok ve Jeon, 2014).



R: Reçine; x,y,z: atık çözelti içerisinde konsantrasyona veya pH’a bağlı katsayılar; M: Metal

Siyanürün reçineler ile geri kazanımı ile ilgili çalışma ilk kez 1950’lerde Goldbaltt (1956, 1959) tarafından yapılmıştır. Çalışma ile iyon değişimi yöntemi sonrasında asitleştirme ve çöktürme işlemlerinin uygulandığı bir proses geliştirilmiştir. Bu proses bir tesis atığından iyon değişimi yöntemi kullanılarak bakır ve diğer metal siyanür komplekslerinin reçinelere yüklenmesi, sonrasında yüklü reçinelerin sülfürik asit ile yıkanması adımlarını kapsamaktadır. Asitleştirme sonrasında gaz formundaki siyanür (HCN) kapalı ve bazik ortamda tekrar çözelti formuna getirilerek siyanür kazanılmaktadır. Özellikle katı/sıvı ayrımının problem olduğu, lateritik, yüksek kil içerikli, yapışkan veya viskoz cevherlerin atıklarından, pulp içinde reçine (RIP) yöntemi ile siyanür geri kazanımı mümkündür (Fleming, 2010; Kuyucak ve Akcil, 2013). Genellikle kuvvetli bazik reçineler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, atık siyanür çözelti içerisinde bu-

lunan ağır metallerin iyon değişimi yöntemi ile uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Farklı anyonik reçinelerin Cu, Zn ve Fe gibi ağır metalleri adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırılmış ve seçilen uygun anyonik reçine ile sürenin ve reçine dozajının etkisi araştırılmıştır.

1. MATERYAL VE METOT

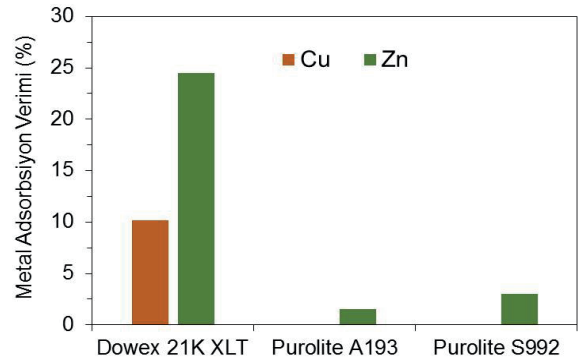
Çalışmada kullanılan atık siyanür çözeltisi 135 mg/L Cu, 196 mg/L Zn ve 5,3 mg/L Fe içermektedir. Çözeltinin serbest siyanür konsantrasyonu ise 1,5 g/L NaCN'dir. Atık çözeltilerden metallerin uzaklaştırılması için üç farklı anyonik reçine (Dowex 21K XLT, Purolite A193, Purolite S992) kullanılmıştır (Çizelge 1). Reçinelerin metal adsorpsiyon performansları arasındaki farkı belirlemek için 24 saatlik testler yapılmıştır. Bu testler ışığında belirlenen, adsorpsiyon performansı en yüksek reçine ile kinetik testler yapılmış ve metal uzaklaştırma verimleri hesaplanmıştır. Testlerin tümü pH 10,5'te, oda sıcaklığında (25°C) orbital çalkalayıcıda 200 dev/dk. hızda çalkalanarak, 150 mL hacimli flasklar içerisinde ve 100 mL atık siyanür çözeltisi ile gerçekleştirilmiştir. Çözelti metal konsantrasyonları Atomik Adsorpsiyon Spektrometresi (AAS, Perkin Elmer AAnalyst 400) ile belirlenmiştir. Çözeltilerin seyreltilmesi 1,5 g/L NaCN çözeltisi ile yapılmıştır.

Reçinelerin performansının değerlendirildiği testler 1 g/L reçine dozajında gerçekleştirilmiştir. 24 saatlik çalkalama sonunda çözeltideki Cu ve Zn konsantrasyonları karşılaştırılarak adsorpsiyon performansı en yüksek reçine belirlenmiştir. Daha sonra performansı en yüksek reçine kullanılarak farklı dozajlarda (1 g/L, 5 g/L, 10 g/L, 20 g/L) kinetik testler yapılmıştır. Kinetik testlerde çözeltilerden 1, 2, 4, 8 ve 24 saat sonunda örnekler alınarak

Cu ve Zn konsantrasyonlarındaki değişimler takip edilmiştir. Fe konsantrasyonu sadece 24. saat sonunda belirlenmiştir.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

Reçinelerin performanslarının değerlendirildiği adsorpsiyon testleri sonucunda, Dowex 21K XLT ile 24 saatlik adsorpsiyon sonucunda bakır uzaklaştırma verimi %10,2 ve çinko uzaklaştırma verimi ise %24,5 olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Purolite A193 ile kayda değer bir bakır ve çinko adsorpsiyonu gözlenmemiştir. Benzer şekilde Purolite S992 ile de sadece %2,2 Cu ve %3 Zn adsorpsiyon verimleri belirlenmiştir. Bu verilere göre en yüksek adsorpsiyon performansına sahip Dowex 21K XLT ile çalışmalar yürütülmüştür.



Şekil 1. Farklı anyonik reçinelerin bakır ve çinko adsorpsiyon performansları (Cu: 135 mg/L; Zn: 196 mg/L; Anyonik reçine miktarı: 1 g/L; Serbest siyanür: 1,5 g/L NaCN; pH: 10,5; Adsorpsiyon süresi: 24 saat)

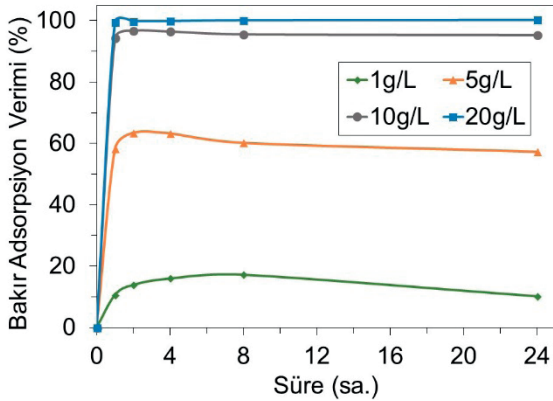
Literatürde kuvvetli bazik reçineler ile orta/zayıf bazik reçinelerin karşılaştırıldığı bazı çalışmalarda da benzer şekilde bakır ve çinko adsorpsiyonunun kuvvetli bazik reçinelerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Schoeman vd., 2017; Ba-

Çizelge 1. Deneyler kullanılan reçinelerin özellikleri

Reçine Adı	Dowex 21K XLT	Purolite A193	Purolite S992
Tipi	Kuvvetli bazik	Orta (intermediate) bazik	Orta (intermediate) bazik
Fonksiyonel Grup	Kuaterner aminler	Karma aminler	Karma aminler
Nem İçeriği	%50-60	%46-56	%47-55
Yoğunluk	1,08 g/mL	1,06 g/mL	1,05 g/mL
Kapasite	1,4 eq/L dk	3,8 eq/kg	4,4 eq/kg
Tane boyut aralığı	525-625 µm	800-1300 µm	800-1300 µm

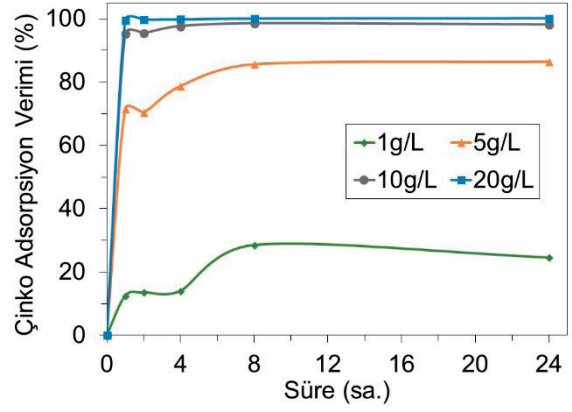
chiller vd., 2004; Fleming ve Cromberge, 1984). Adsorpsiyon testlerinde en iyi sonucun elde edildiği Dowex 21K XLT reçinesi ile 24 saatlik kinetik testler yapılmıştır. Reçine dozajındaki artışın (1 g/L-20 g/L) Cu, Zn ve Fe adsorpsiyon verimlerine doğrudan etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 2, 3 ve 4). İlk 1 saatten sonra 5, 10 ve 20 g/L reçine dozajlarında bakır adsorpsiyon verimlerinde önemli bir artışın olmadığı gözlenmektedir. Reçine dozajının 1 g/L'den 5 g/L'ye artırılması ile 24 saat sonunda, bakır adsorpsiyon veriminin ~5,5 kat (%10,2'den %57,3'e) arttığı belirlenmiştir.

8. saatin sonunda 1 g/L reçine dozajında bakır adsorpsiyon verimi %17,2'ye ulaşmış ancak 24. saat sonunda verim %10,2'ye düşmüştür. 10 g/L reçine dozajında ise bakır kazanma veriminin 1. saat sonunda %94,3'e, 24. saat sonunda ise biraz daha artış göstererek %95,4'e ulaştığı tespit edilmiştir. Reçine dozajının 20 g/L olması durumunda ise 1. saat sonunda bakırın tamamı çözültiden uzaklaştırılmıştır (Şekil 2).



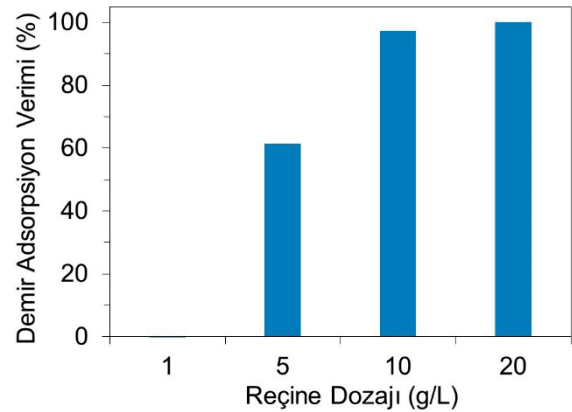
Şekil 2. Dowex 21K XLT reçine dozajının bakır adsorpsiyon verimine etkisi (Cu: 135 mg/L; Serbest siyanür: 1,5 g/L NaCN; pH 10,5)

Çinko adsorpsiyon veriminin 1 g/L ve 5 g/L reçine dozajlarında, 8. saat sonuna kadar artış gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 3). İlk 8 saatlik adsorpsiyon süresi sonunda, 1 g/L reçine dozajında çinko adsorpsiyon veriminin 2 kattan fazla artış göstererek %12,4'den %28,5'e ulaştığı, 5 g/L reçine dozajında ise verimin %71,5'ten %86,4'e ulaştığı tespit edilmiştir. Daha yüksek reçine dozajlarındaki (10 g/L ve 20 g/L) çinko adsorpsiyon verimlerinde ise ilk bir saatten sonra önemli bir değişimin olmadığı ve çinkonun tamamı ya da tamamına yakınının (sırasıyla %98,2 ve %100) çözültiden uzaklaştırıl-



Şekil 3. Dowex 21K XLT reçine dozajının çinko adsorpsiyon verimine etkisi (Zn: 196 mg/L; Serbest siyanür: 1,5 g/L NaCN; pH 10,5)

Demir adsorpsiyon verimleri incelendiğinde, 24 saat adsorpsiyon süresi sonunda 1 g/L reçine dozajında demirin adsorplanmadığı; ancak, daha yüksek reçine dozajlarında (5, 10, 20 g/L) adsorpsiyon veriminin arttığı görülmektedir (Şekil 4). Demir adsorpsiyon veriminin 5 g/L reçine dozajında %61,3'e ulaştığı tespit edilmiştir. Reçine dozajı 10-20 g/L'ye artırıldığında, çözültiden demirin neredeyse tamamı (%97,4-100) uzaklaştırılmıştır (Şekil 4). Bu çalışmada 1 g/L reçine dozajında gözlemlenen düşük bakır, çinko ve demir adsorpsiyon verimlerinin aksine, Schoeman vd. (2017) Fe, Ni, Cu, Zn, Pd, Pt ve Au içeren sentetik çözelti (serbest siyanür 150 mg/L CN⁻) ile Dowex 21K XLT (dozaj 1g/L) reçinesini test etmiş ve 24. saat sonunda Cu, Zn ve Fe adsorpsiyon verimlerinin >%80 olduğunu tespit etmişlerdir.



Şekil 4. Dowex 21K XLT reçine dozajının demir adsorpsiyon verimine etkisi (Fe: 5,3 mg/L; Serbest siyanür: 1,5 g/L NaCN; pH 10,5)

SONUÇLAR

Bu çalışmada atık siyanür çözeltilisinden ağır metallerin uzaklaştırılmasında Dowex 21K XLT, Purolite A193 ve Purolite S992 gibi bazik anyonik reçineler kullanılarak ağır metallerin (Cu, Zn, Fe) uzaklaştırılması araştırılmıştır. Dowex 21K XLT anyonik reçinenin bakır ve çinko adsorpsiyon veriminin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında Dowex 21K XLT reçinesi ile farklı dozajlarda (1, 5, 10, 20 g/L) kinetik testler (24 saat) yapılmıştır. Bu testlerde bakır, çinko ve demirin adsorpsiyon verimlerinin reçine dozajının artması ile arttığı tespit edilmiştir. Yüksek reçine dozajlarında >10 g/L bakır, çinko ve demirin yüksek oranlarda (\geq %95,4 Cu, \geq %98,2 Zn ve \geq %97,4 Fe) uzaklaştırılabildiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, atık siyanür çözeltilerinden ağır metallerin (Cu, Zn ve Fe) uzaklaştırılması için Dowex 21K XLT reçinesinin kullanılabilirliğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Deneysel çalışmalarda kullanılan Purolite A193 ve Purolite S992 reçinelerinin temin edildiği Purolite Firması'na teşekkür ederiz.

AÇIKLAMALAR

Bu çalışma Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu'nda (ISME 2017) sunulmuştur.

KAYNAKLAR

Adams, M., Lloyd, V., 2008. Cyanide Recovery by Tailings Washing and Pond Stripping, *Minerals Engineering*, 21, 501–508.

Akcil, A., 2002. First Application of Cyanidation Process in Turkish Gold Mining And Its Environmental Impacts, *Minerals Engineering*, 15, 695–699.

Akcil, A., 2014. Siyanür Yönetilebilir Bir Kimyasal Mı? *Madencilik Türkiye*, 38, 68-72.

Akcil, A., Erust, C., Gahan, C.S., Ozgun, M., Sahin, M., Tuncuk, A., 2015. Precious Metal Recovery From Waste Printed Circuit Boards Using Cyanide and Non-Cyanide Lixiviants – A review, *Waste Management*, 45, 258–271.

Bachiller, D., Torre, M., Redueles, M., Diaz, M., 2004. Cyanide Recovery by Ion Exchange from Gold Ore Waste Effluents Containing Copper, *Minerals Engineering* 17, 767–774.

Barakat, M.A., 2011. New Trends in Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater, *Arabian Journal of Chemistry*, 4, 361-377.

Fleming C.A., 2010. Cyanide Management in The Gold Industry, *SGS Minerals Services Technical Paper*, 4, s. 3.

Fleming, C.A., 2016. Cyanide Recovery, *Advances in Gold Ore Processing*, 2nd Edition, Edited by Adams, M.D., Western Australia: Elsevier, 647-661.

Fleming, C.A., Cromberge, C., 1984. The Elution of Aurocyanide from Strong- Aand Weak-Base Resins. *J. S. Afr. Min. Metal.* 84 (9), 269-280.

Goldblatt, E., 1956. Recovery of Cyanide from Waste Cyanide Solutions by Ion Exchange. *Ind. Eng. Chem.* 48, 12, 2107.

Goldblatt, E., 1959. Recovery of Cyanide from Waste Cyanide Solutions by Ion Exchange. *Ind. Eng. Chem.* 51, 241-246.

Jackson, R., Logue, B.A., 2017. A Review of Rapid and Field-Portable Analytical Techniques for The Diagnosis of Cyanide Exposure, *Analytica Chimica Acta*, 960, 18-39.

Jung, M.C., 2001. Heavy Metal Contamination of Soils and Waters in and Around The Imcheon Au–Ag Mine, Korea, *Applied Geochemistry* ,16, 1369–1375.

Kuyucak, N., Akcil, A., 2013. Cyanide and Removal Options from Effluents in Gold Mining and Metallurgical Processes, 50-51, 13–29.

Logsdon, M.J., Hagelstein, K. ve Mudder, T.I., 1999. The Management of Cyanide in Gold Extraction, *International Council on Metals and The Environment*, Ottawa, Ontario, Canada.

Ok, Y.S., Jeon, C., 2014. Selective Adsorption of The Gold–Cyanide Complex from Waste Rinse Water Using Dowex 21K XLT Resin, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 1308-1312.

Resmi Gazete, 2015. Maden Atıkları Yönetmeliği, 15 Temmuz.

Schoeman, E., Brandshaw, S.M., Akdoğan, G., Snyders, C.A, Eksteen, J.J., 2017. The Extraction of Platinum and Palladium from A Synthetic Cyanide Heap Leach Solution with Strong Base Anion Exchange Resins, *International Journal of Mineral Processing*, 162, 27-35.

SGS, 2009. Cyanide Recovery, Technical Paper, No. T3 SGS 019, SGS Minerals Services.

USEPA, 1981. Control and Treatment Technology for The Metal Finishing Industry Ion Exchange, Summary Report, s. 46.

USEPA, 2000. Managing Cyanide in Metal Finishing, Capsule Report, s. 23.

Yazıcı, E.Y., 2005. Atık Sulardaki Siyanürün Hidrojen Peroksit, Aktif Karbon Adsorpsiyonu ve Ses Ötesi Dalgalarla Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Zagury, G.J., Oudjehani, K., Deschenes, L., 2004. Characterization and Availability of Cyanide in Solid Mine Tailings from Gold Extraction Plants, Science of the Total Environment, 320, 211–224.

Zhang, Y., Yu, X., Wang, Q., Jiang, Z., Fang, T., 2015. Adsorption of Zinc onto Anionic Ion-Exchange Resin from Cyanide Barren Solution, Chinese Journal of Chemical Engineering, 23, 646–651.

Zheng, Y., Li, Z., Wang, X., Gao, X., Gao, C., 2015. The Treatment of Cyanide from Gold Mine Effluent by A Novel Five-Compartment Electrodialysis, Electrochimica Acta, 169, 150–158.