



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>

MADEN TETKİK VE ARAMA
DERGİSİ



KONULAR

Düşük bakır içerikli siyanür liç çözeltilerinde altının elde edilmesi süreçlerinde iyon-değiştirici reçinelerin ve aktif karbonun karşılaştırılması

A comparison of ion-exchange resins and activated carbon in recovering gold from cyanide leach solutions with low levels of copper

Deus Albert MSUMANGE^{a*}, Ersin Yener YAZICI^a, Oktay CELEP^a ve Hacı DEVECİ^a

^aKaradeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı, Hydromet B ve PM Araştırma Grubu, Trabzon, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Bakırca Zengin
Altın Cevheri, Altın
Adsorpsiyonu, Aktif
Karbon, Reçine, Seçicilik.

ÖZ

Bu çalışma; gerçek bir siyanür liç çözeltisinden altının Adsorpsiyon için kullanılmış üç farklı adsorbanın etkilerini belirlemek için yapılmıştır. Aktif karbon (NORIT GAC 1240), kuvvetli bazik (Purogold A194) ve zayıf bazik (Purogold S992) reçineleri adsorbanlar olarak deneylere tabi tutulmuşlardır. Yüklü liç çözeltisi (YLÇ) kavrulmuş bakırca zengin, H₂SO₄ ile ön işleme tabi tutulmuş refrakter altın cevherinin siyanür liçinden (1,5 g/L NaCN, %25 w/w katı oranları, 1,5 L/dk hava akış debisi, pH 10,5-11, 24 sa) elde edilmiştir. YLÇ içerisindeki altın ve bakır konsantrasyonları sırasıyla 26,1 mg/L ve 62,4 mg/L olacak şekilde analiz edilmiştir. Aktif karbonun kullanımı; en yüksek altın yüklemesi sağlaması sebebiyle en iyi performans sağlayan adsorban olarak belirlenmiştir. Purogold A914 ise diğer adsorbanlara nazaran en yüksek miktarlarda bakır yüklemesi sağlamıştır. Aktif karbon ile yüksek miktarlarda altın yüklenmesi yapılmasına rağmen Purogold S992 adsorbanına göre daha az seçicidir. Purogold A914, Purogold S992 ve aktif karbon ile karşılaştırıldığında; altından bakıra dağılımın oranı olarak tanımlanan en düşük seçiciliği sergilemiştir. Bu sebepten, testlere tabi tutulan adsorbanların seçicilik sırası; Purogold S992 > Aktif karbon > Purogold A914 olarak belirlenmiştir.

Geliş Tarihi: 05.02.2021

Kabul Tarihi: 16.06.2021

Keywords:

Copper-Rich Gold
Ore, Gold Adsorption,
Activated Carbon, Resin,
Selectivity.

ABSTRACT

This study was conducted to determine the effectiveness of three different adsorbents for the adsorption of gold from a real cyanide leach liquor. An activated carbon (NORIT GAC 1240), strong base (Purogold A194), and weak base (Purogold S992) resins were tested as the adsorbents. The pregnant leach solution (PLS) was derived from cyanide leaching (1.5 g/L NaCN, 25% w/w solids ratio, 1.5 L/min air flow rate, pH 10.5 – 11. 24 h) of the roasted copper-rich refractory gold ore pretreated with H₂SO₄. Gold and copper concentrations in the PLS were analysed to be 26.1 mg/L Au and 62.4 mg/L Cu, respectively. Activated carbon was found to be the best performing adsorbent as it achieved the highest gold loading. Purogold A194 loaded the highest amount of copper amongst the adsorbents tested. Despite the fact that activated carbon loaded a high amount of gold, it was less selective than Purogold S992. Purogold A194 exhibited the lowest selectivity, which was defined as the distribution ratio of gold to copper, compared with Purogold S992 and activated carbon. Therefore, the order of selectivity of the adsorbents tested was as follows: Purogold S992 > Activated carbon > Purogold A194.

*Başvurulacak yazar: Deus Albert MSUMANGE, msudeak8@gmail.com

1. Giriş

Bazı altın cevherleri, siyanürleme yoluyla altının kazanımı sırasında belirli zorluklar yaratan yüksek düzeyde bakır içerebilmektedir. Serbest öğütme cevherlerinin hızlı tükenmesi nedeniyle, dünya şimdi Cu - Au cevherleri de dâhil olmak üzere refrakter cevherlere dönmektedir, bu grup daha önce ekonomik olarak çekici gözükmemiştir. Fleming vd. (2011), 2009 yılı itibarıyla dünya toplam altın üretiminin %20'sinden fazlasının bakır - altın cevherlerinden olduğuna dikkat çekmiştir. Bu cevherlerden altın elde etme süreci genellikle çoğu zaman, çoğu bakır mineralinin siyanür çözeltilerinde çabuk çözünmesine atfedilen farklı problemlerle ilişkilidir (Sceresini, 2005; Bas vd., 2012, 2015; Msumange vd., 2020). Bakır minerallerinin çözünmesi ise yüksek oranlarda siyanür kullanımına ve düşük altın kazanımlarına yol açmaktadır (Marsden ve House, 2006).

Cevherin refrakter karakterine birçok faktör katkıda bulunabilmektedir. Bunlar arasında cevherde bulunan inorganik / organik karbon, arsenopirit ve pirit gibi sülfid mineralleri içerisinde bulunan altın olarak verilebilir. Bakır gibi siyanürlerin varlığı, refrakter davranışın başka bir nedenidir (Habashi, 1999; Marsden ve House, 2006; Adams, 2016; Chryssoulis ve McMullen, 2016). Altın cevherlerindeki sülfür, yalnızca siyanür ve oksijen tüketmekle kalmaz, aynı zamanda altın taneleri üzerinde bir katman oluşturur. Bu pasif katman ise altının liç olmasına engel olmaktadır (Marsden ve House, 2006; Bas vd., 2012). Yen ve Aghamirian (2002) tarafından yapılan çalışmada sülfid minerallerinin altının liç olmasını etkileyebileceğini belirtmişlerdir. Antimonit, kalkosit ve pirotin negatif etki yaratırken; pirit, kalkopirit, arsenopirit ve sfalerit mineralleri ise altının liç edilmesi süreçlerinde ciddi bir şekilde pozitif veya negatif yönde etkilemez. Galenitin ise altın liçini artırabilir (Yen ve Aghamirian, 2002).

Siyanür liç çözeltilerinden altının geri kazanılması, aktif karbon üzerinde adsorpsiyon ile yaygın olarak gerçekleştirilir (Dai vd., 2012; Van Deventer vd., 2014). Altının geri kazanımı için kullanılan üç endüstriyel aktif karbon adsorpsiyon işlemi vardır; yıkamada karbon (CIL), posada karbon (CIP) veya sütunlarda karbon (CIC). Bununla birlikte, siyanür liç çözeltilerinde bakır varsa, adsorpsiyon işlemi sırasında

altınla beraber hareket eder (Van Deventer, 2014; Msumange, 2019; Msumange vd., 2021). Yüksek bakır konsantrasyonu, altın Adsorpsiyonunu ciddi şekilde etkileyebilmektedir (Van Deventer vd., 2014). Bu bağlamda, $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$ ile $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ direkt olarak beraber hareket edeceği için, $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$ kompleksi aktif karbonun üzerine bakır yüklenmesini azaltmak amaçlı kontrol edilmelidir. Bu durum fazla siyanürü koruyarak veya pH'ı yükselterek başarılabılır (Van Deventer, 2014). Bazı araştırmacılar, liç ve adsorpsiyon aşamalarında bakır girişini ortadan kaldırmak için siyanür liçi öncesinde alkalin (Bas vd., 2012, 2015) veya asit çözeltiler (Yazıcı vd., 2015; Msumange, 2019) içinde bakırın giderilmesine odaklanmışlardır.

Çeşitli araştırmacılar (Kotze vd., 2005; Kotze, 2010; Van Deventer vd., 2012; Van Deventer, 2014), liç çözeltilerinden altının geri kazanılması için iyon değiştirici reçinelerinin aktif karbona göre bazı avantajları olduğu konusunda tartışmışlardır. Bunlar arasında bakır yerine altın için daha iyi seçicilik, önceden alınmış cevherlerden geliştirilmiş altın geri kazanımları ve termal rejenerasyon gerekliliği yoktur. İyon değiştirici reçinelerin başlıca dezavantajı ise aktif karbondan daha pahalı olmalarıdır (Van Deventer, 2014).

Bu çalışmanın amacı, düşük bakır konsantrasyonlu (62,4 ppm Cu) siyanür çözeltilerinden altının geri kazanılmasında aktifleştirilmiş karbon ve farklı reçine türlerinin (Purogold A194 ve Purogold S992) etkinliğini karşılaştırmaktır. Altının bakıra göre seçiciliği (Au / Cu), dağılım oranları ve adsorbanların Au ve Cu yükleme kapasiteleri değerlendirilmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Başlıca kuvarstan (%67,3) oluşan ve Koza Altın İşletmeleri A. Ş. (Gümüşhane / Mastra, Türkiye) tarafından sağlanan bakırca zengin refrakter altın cevheri numunesi (108 g/t Au, %1,6 Cu) liç çözeltileri üretmek için kullanılmıştır. Cevher, standart siyanürleme koşulları altında (24 saat üzerinde, %18,4 Au altın kazanımı) siyanür liçine (1,5 g/L NaCN, %25 w/w katı oranları, 1,5 L/dk hava akış debisi, pH 10,5 - 11) düşük dereceli tepkisi sebebiyle refrakter olarak sınıflandırılabilir. Farklı öncel işlemler ile testler yapılmış ve cevherden yüksek oranlarda altın elde edilmesi için kavurmanın elverişli bir yol olduğu ortaya konmuştur (Msumange, 2019).

Adsorpsiyon testleri, önceden reaktif bakırın uzaklaştırılması için asit liçi (1 M H₂SO₄, liç etme süresi: 2 saat) ile işlem görmüş kavrulmuş cevherden (650 °C'de 8 saat süreyle) siyanür liçinden (1,5 g/L NaCN) elde edilen yüklü liç çözeltisi kullanılarak yapılmıştır. Kavrulmuş cevherden siyanürün liç edilmesi 1,5 g/L NaCN, %25 w/w katı oranları, 1,5 L/dk hava akış debisi, pH 10,5 - 11 koşullarında ve 24 saatlik zaman içerisinde gerçekleştirilmiştir. YLÇ'lerdeki altın ve bakır konsantrasyonları sırasıyla 26,1 mg/L Au ve 62,4 mg/L Cu olarak analiz edilmiştir. YLÇ'ler adsorpsiyon deneylerinde kullanılmışlardır.

Elde edilen siyanür liç çözeltisinden altın geri kazanımı için; kuvvetli bazik (Purogold A194) ve zayıf bazik (Purogold S992) reçinelerinin etkinliği, aktif karbon (NORIT GAC 1240) ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu reçineler, siyanür çözeltilerinde altın - siyanür komplekslerinin adsorpsiyonu için özel olarak geliştirilmiştir. Bakıra göre altın seçiciliği ve adsorbanların yükleme kapasitesi değerlendirilmiş ve Au ile Cu'nun dağılım oranı da ayrıca incelenmiştir. Kullanılan aktif karbon numunesi (NORIT GAC 1240) 0,65 mm boyutundadır (NORIT, 2003) ve çalışmada kullanılan reçinelerin teknik özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

YLÇ'ler 50 mL'lik Erlenmeyer deney tüplerinde hazırlanmış ve daha sonra orbital (dairesel) çalkalayıcıya (Wiggen Hauser) yerleştirilmişlerdir. Adsorbanların eklenmesinden önce, YLÇ'li deney tüpleri 1,5 L/dk süresince havalandırılmış ve gerektiğinde de pH değerleri 1 M NaOH kullanılarak 10,5 - 11 değerlerine uygun hale getirilmiştir. Zayıf baz reçinesi (Purogold S992) yüksek alkaliliğe hassaslığı sebebiyle (>pH 10,5), kullanıldığı noktalarda pH 10 - 10,5 değerlerinde tutulmuştur. Liç çözeltisinin buharlaşmasının engellenmesi amacı ile deney tüplerinin üst kısımları süngerler yardımıyla kapatılmıştır. Adsorpsiyon testleri, adsorbanlar (5 g/L) kullanılarak 25 °C sıcaklık altında 170 rpm karıştırma hızında 4 saatlik bir süre boyunca gerçekleştirilmiştir.

Her tüpten numune alma, 1 mL'lik bir çözelti çıkarılmak suretiyle 30 dk, 1, 2 ve 4 saatte gerçekleştirilmiştir. Çözelti içerisindeki metal konsantrasyonları (Au ve Cu), atomik adsorpsiyon spektroskopisi (AAS, Perkin Elmer AAnalyst 400) kullanılarak analiz edilmişlerdir.

Zayıf bazik reçine (Purogold S992), adsorpsiyon testlerinde kullanılmadan önce sülfat formuna dönüştürülmüştür. Reçine iki yatak hacimli 0,5 M Na₂SO₄.10H₂O çözeltisi ile bir kolonda saatte 2 yatak hacimlik akış debisi ile birleştirilmiştir. Daha sonra ise reçineden gelen fazla reaksiyon maddelerinin uzaklaştırılması için, reçine 4 yatak hacimli su ile işleme tabi tutulmuştur (Van Deventer vd., 2014).

Seçicilik (μ) ve absorban yükleme kapasiteleri aşağıda verilen denklemler yardımıyla elde edilmiştir: D_{Au} ve D_{Cu} sırasıyla Au ve Cu'ya ait dağılım oranlarını ifade ederken, C_o : çözelti içerisindeki absorbanın başlangıç konsantrasyonunu (mg/L), C_f : çözelti içerisindeki absorbanın nihai konsantrasyonunu (mg/L), A: absorban yüklenmesini (mg/g), V: çözelti hacmini (L), m: absorban kütesini (g) ifade etmektedir.

$$\mu = \frac{D_{Au}}{D_{Cu}} = \frac{[Au]_{adsorban} \times [Cu]_{adsorban}}{[Au]_{\text{çözelti}} \times [Cu]_{\text{çözelti}}} \quad (1)$$

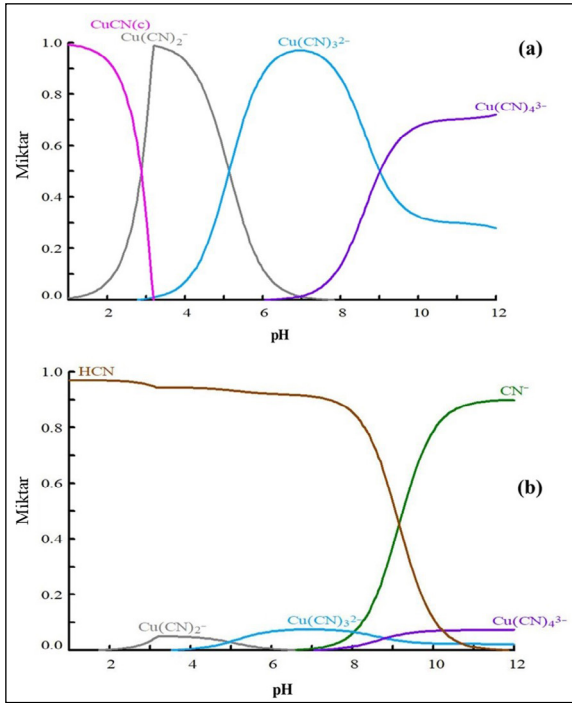
$$A = (C_o - C_f) \times V \times m^{-1} \quad (2)$$

3. Bulgular

Yüklü liç çözeltisi içerisindeki Cu(I) - siyanür türevlerinin pH - bağımlılık dağılımları Medusa (2009) programı yardımıyla çizilmiştir (Şekil 1a). Bu grafik, adsorpsiyon deneylerinde kullanılan yüklü liç çözeltisi içerisinde ve pH 10 - 11 aralığında baskın Cu(I) - siyanür türevlerinin $\approx 70\%$ ile Cu(CN)₄³⁻ ve bunu $\approx 30\%$ ile takip eden Cu(CN)₃²⁻ olduğunu göstermektedir. Şekil 1b'de verilen grafik ise siyanürün (CN⁻) türleşmesinin yüklü liç çözeltilerindeki pH değerlerinin bir işlevi olarak göstermektedir. Siyanürün %78-88'i,

Çizelge 1- Deneylerde kullanılan iyon değiştirici reçinelerin teknik özellikleri (PUROLITE, 2015; 2016a, b; 2020).

Reçine İsmi / Markası	Matriks / Tip	İşlevsel Grup	İyonik Yapı	Kapasite	Nem Tutma (%)	Etken Boyut
Purogold A194	Makro gözenekli / Kuvvetli baz anyon	Kuaterner Aminler	Cl ⁻	3 eq/kg	44 - 52	710 - 1300 μ m
Purogold S992	Makro gözenekli polistiren-divinilbenzen / Zayıf baz, bağlayıcılar	Karışık Aminler	Serbest Baz	4.4 eq/kg	47 - 55	800 - 1300 μ m

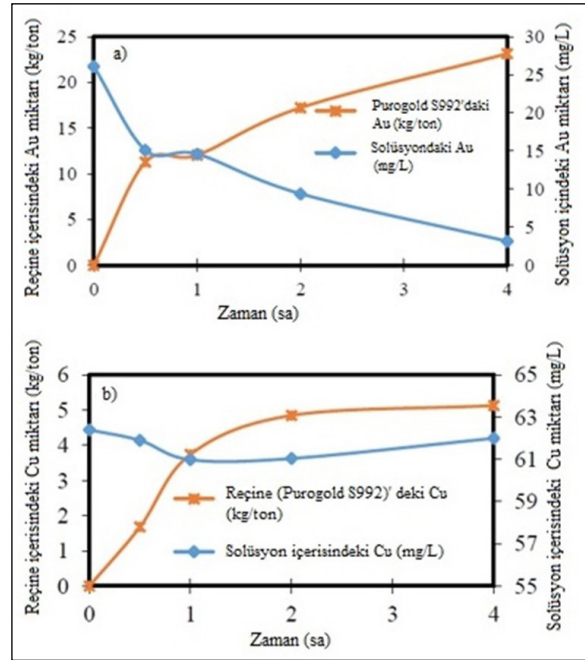


Şekil 1- a) Cu(I) türlerinin pH'a karşı değişimi, b) siyanür türlerinin (CN⁻) pH'a karşı değişimi (CN_{Toplam}=38.8 mM (1.90 g/L NaCN), Cu(I)=62.4 mg/L, Au(I)=26.1 mg/L) değerleri üretilen yüklü liç çözeltilerinin koşullarını göstermektedir (Medusa, 2009).

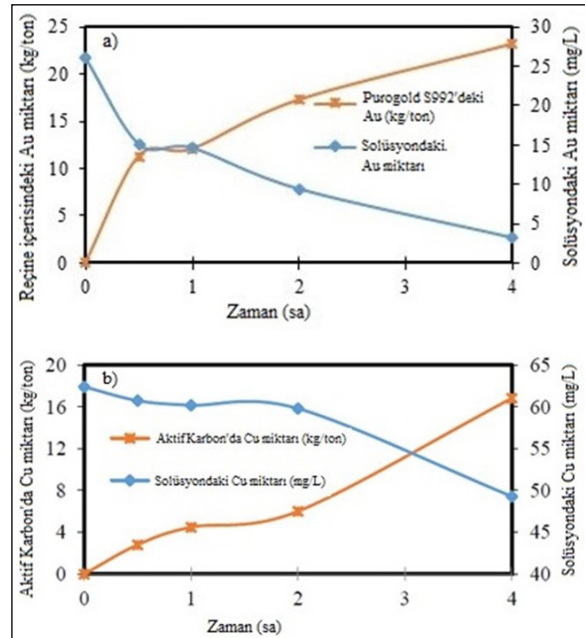
pH 10-11 aralığındaki koşullarda, serbest siyanür (CN⁻) formunda gözlenmektedir.

Adsorpsiyon testlerinde, altının bakıra göre seçiciliği ve metal yüklenmeleri Çizelge 2'de verilmiştir. Şekil 2 - 4 ise absorbanlar üzerinde altın / bakır yüklenme kinetiklerini ve 10,5 - 11 pH (Purogold A194 için) veya 10 - 10,5 (Purogold A194 için) değer aralıklarında çözelti metal konsantrasyonundaki değişimi göstermektedir. 25 kg altının her tonda aktif karbon ile 4 saatte yüklendiği gözlenmiştir (Şekil 3). Adsorpsiyonun ilk saatinde, çözeltide başlangıçta bulunan altın miktarının yaklaşık yarısının 12 kg/ton ile Purogold S992 reçinesine yüklendiği gözlenmiştir. Aynı zaman aralığında; 20 kg/ton altının aktif karbon ile, 16 kg/ton altının ise Purogold A194 ile yüklendiği gözlenmiştir.

Adsorpsiyonun birinci saatinde aktif karbona yüklenen altının %80'i elde edilmiştir. Bu sonuca göre ise geriye kalan sadece %20'lik kısım adsorpsiyonun diğer üç saatlik süre içerisinde yüklenmiştir. Purogold A194 kullanımında ise birinci saat içerisinde %70'e



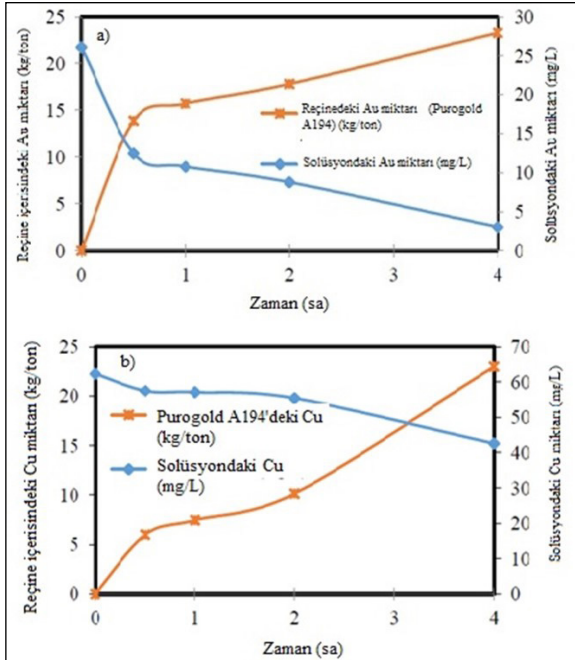
Şekil 2- a) Altın, b) bakır yüklenme kinetiklerinin Purogold S992'ye yüklenmeleri ve metal konsantrasyonları (adsorban içeriği: 5 g/L, pH 10 - 10,5, 25 °C).



Şekil 3- a) Altın, b) bakır yüklenme kinetiklerinin aktif karbona yüklenmeleri ve metal konsantrasyonları (adsorban içeriği: 5 g/L, pH 10,5 - 11, 25 °C).

kadar altın yüklenmesine ulaşılmıştır. Bu veriler (Şekil 2) aktif karbonun deneylere tabi tutulan diğer reçinelere nazaran daha hızlı kinetiklere sahip olduğunu ve altın Adsorpsiyonu için daha yüksek

kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Bakır söz konusu olduğunda ise, Purogold S992 yalnızca 5 kg/ton bakırın 4 saat içerisinde yüklenmesini sağlamıştır. Fakat ikinci saat ile dördüncü saat süreçleri arasında bu reçineye bakırın yüklenmesi (örn; sadece 0,3 kg/ton) açısından dikkate değer bir değişim söz konusudur (Şekil 4). Buna karşılık, aktif karbon kullanımında ise 17 kg/ton kadar bakır yüklenmesi aynı zaman aralığında elde edilmiştir. Kuvvetli baz anyon reçinesine (Purogold A194) Adsorpsiyon ise oldukça yüksektir ve 23 kg/ton kadar bakırın 4 saatlik zaman aralığında yüklenmesi gözlenmiştir. Purogold S992 ile karşılaştırma yapıldığında, aktif karbondaki 11 kg/ton kadar bakırın ikinci saat ile dördüncü saat aralıklarında yüklendiği görülürken, Purogold A194 reçinesinde 13 kg/ton bakırın ikinci ve dördüncü saat aralıklarında yüklendiği gözlenmiştir. Deneylere tabi tutulan reçinelerle göre aktif karbonun altın yükleme açısından daha yüksek kapasiteye sahip olmasına rağmen, bakıra göre altının Purogold S992'ye göre seçimi daha düşüktür. Aktif karbona yüklenen bakır miktarı, Purogold S992'ye göre 11,7 kg/ton kadar daha yüksektir. Bu sonuçlar, Purogold S992'nin aktif karbona ve Purogold A194'e göre daha seçici adsorban olduğunu göstermektedir.

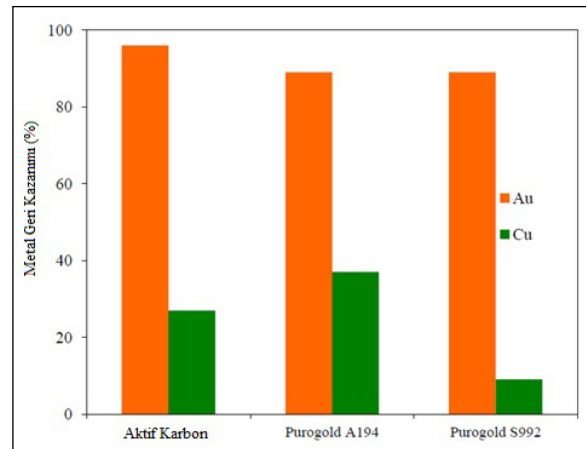


Şekil 4- a) Altın, b) bakır yüklenme kinetiklerinin Purogold A194'e yüklenmeleri ve metal konsantrasyonları (Adsorban içeriği: 5 g/L, pH 10,5 - 11, 25 °C).

Şekil 5, liç çözeltilisinden metallerin (Au ve Cu) aktif karbon ve reçineler yoluyla geri kazanım yüzdesini göstermektedir. Sonuçlar, altının %96 'sının ve bakırın sadece %27'sinin aktif karbon üzerine adsorbe edildiğini göstermektedir. Altın ve bakırın dağılım oranları sırasıyla 20027 ve 342'dir. Bu durum, aktif karbon için 59'luk bir seçicilik vermiştir. Altın ve bakır dağılım oranı sırasıyla 7757 ve 540 olarak belirlenen Purogold A194 için de benzer bulgular (%89 Au ve %37 Cu) gözlenmiştir ve seçicilik 14 olarak belirlenmiştir. Purogold S992 için altının %89'unun ve bakırın %9'unun alındığı gözlenmiştir (Şekil 5). Altının dağılım oranının bakıra göre önemli miktarlarda yüksek olarak gözlenmesi Purogold S992 reçinesinin altın açısından en seçici adsorban olduğunu göstermektedir (Çizelge 2). Bu açıdan Purogold S992, Çizelge 2'de de gösterildiği gibi sırasıyla aktif karbon ve Purogold A194'ten 1,5 ve 6 kat daha seçici olduğu belirlenmiştir.

İyon değiştirici reçineler ile aktif karbon kullanılarak refrakter cevherlerden altının kazanılması konusunda sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Mevcut bulgular önceki çalışmalarla tutarlı görünmektedir. Van Deventer (2014) tarafından yapılan önceki bir çalışmada, Purogold S992'nin seçici bir adsorban olduğunu göstermektedir. Araştırmacı, çözeltide 9 mg/L Au, 13,6 mg/L Cu, 1 mg/L Zn ve 10,4 mg/L Ni içeren sentetik bir siyanür çözeltilisi kullanmıştır.

Karbon ve Purogold S992 üzerine altın yüklemeleri sırasıyla 16450 mg/kg ve 4183 mg/kg olarak



Şekil 5- Adsorbanlar tarafından kazanılan metallerin yüzdeleri (adsorban içeriği: 5 g/L, pH 10,5 - 11, 25 °C, 4 saat).

Çizelge 2- Siyanür liç çözeltilisinden Au ve Cu adsorpsiyonu için kullanılan IX reçineleri ile aktif karbonun karşılaştırılması (26,1 mg/L Au, 62,4 mg/L Cu, Adsorban içeriği: 5 g/L, pH 10,5 - 11, 25 °C, 4 saat).

Adsorban	D (Au)	D (Cu)	μ (Seçimlilik)	Adsorbanda Au (kg/ton)	Adsorbanda Cu (kg/ton)
Aktif Karbon	20,027	342	59	25	17
Purogold A194	7,757	540	14	23	23
Purogold S992*	7,353	83	89	23	5

*Purogold S992 için pH 10 - 10,5 aralığında tutulmuştur.

bulunmuştur. Aktif karbon üzerine bakır yüklemesi 105 mg/kg iken, araştırmacı tarafından Purogold S992'ye bakır yüklemesi belirtilmemiştir. Bu bulgulara göre, Purogold S992'nin bakıra göre altın için yüksek seçiciliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer araştırmacılar (Fleming ve Cromberge, 1984; Van Deventer vd., 2012) tarafından yapılan çalışmalarda da bakıra göre altın için, zayıf / orta baz reçinelerinin seçiciliğinin kuvvetli baz reçinelere göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Voiloshnikova vd. (2014a), Purogold S992 kullanarak siyanür çözeltilerinden metallerin adsorpsiyonunu incelemiş ve altının seçiciliğinin çinko, gümüş, demir (III) ve bakırdan daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ahlatcı vd. (2018) ise bakır adsorpsiyonunun Purogold S992 üzerine düşük olduğunu ve 135 mg/L Cu, 196 mg/L Zn ve 5,3 mg/L Fe içeren atık siyanür çözeltilisinden (1,5 g/L NaCN, pH 10.5) %2,2 ile sınırlı olduğunu belirtmiştir.

4. Sonuçlar

Üç farklı adsorban (aktif karbon, Purogold S992 ve Purogold A194) düşük oranlarda bakır içerikli yüklü siyanür çözeltilisinden altın ve bakırın kazanılması süreçlerindeki verimliliklerinin karşılaştırılması amaçlı kullanılmışlardır. Yüklü liç çözeltisi 26,1 ppm altın ve 62,4 ppm bakır içermektedir. Aktif karbon (25 kg/ton), deneye tabi tutulan diğer adsorbanlara göre (23 kg/ton) en yüksek altın yüklemesini sağlarken, Purogold S992 reçinesi yaklaşık 5 kg/ton ile en düşük bakır yüklemesini sağlamıştır. Aktif karbondaki ise bu oran 17 kg/ton Cu iken, Purogold A194 reçinesinde ise 23 kg/ton Cu değerlerine ulaşmıştır. Seçicilik Purogold A194, aktif karbon ve Purogold S992 için sırasıyla 14, 59 ve 89 olarak bulunmuştur ve ikincisi, Purogold S992'nin bakır üzerinde altın için en yüksek seçiciliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Bu bulgular, Purogold S992'nin bakır yüklü siyanür liç

çözeltilerinden altının seçici olarak geri kazanılması için seçici adsorban olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Katkı Belirtme

Yazarlar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje no: FBA - 2018 - 7399) finansal destek için, reçine numunelerini sağladığı için PUROLITE'e ve bakırca zengin altın cevheri örneklerini sağladığı için Koza Altın İşletmeleri AŞ'ye (Gümüşhane / Mastra, Türkiye) en içten teşekkürlerini sunarlar.

Değinen Belgeler

- Adams, M. D. 2016. Gold Ore Processing: Project Development and Operations. Elsevier, 15(2).
- Ahlatcı, F., Koç, E., Yazıcı, E., Celep, O., Deveci, H. 2018. Adsorption of heavy metals from waste cyanide solutions with anionic resins, Scientific Mining Journal 57, 17-22.
- Bas, A. D., Yazıcı, E. Y., Deveci, H. 2012. Treatment of copper - rich gold ores by ammonia assisted cyanide leaching. Proceedings of the XXVI International Mineral Processing Congress (IMPC), New Delhi, India, 356–365.
- Bas, A. D., Koç, E., Yazıcı, E. Y., Deveci, H. 2015. Treatment of copper - rich gold ore by cyanide leaching, ammonia pretreatment, and ammoniacal cyanide leaching. Transactions of Nonferrous Metals Society of China 25 (2), 597-607.
- Chryssoulis, S. L., McMullen, J. 2016. Mineralogical Investigation of Gold Ores: Gold Ore Processing - Project Development and Operations. Elsevier, 57-93.
- Dai, X., Simons, A., Breuer, P. 2012. A Review of copper cyanide recovery technologies for the cyanidation of copper containing gold ores. Minerals Engineering 25, 1-13.

- Fleming, C. A., Cromberge, G. 1984. The elution of aurocyanide from strong- and weak- base resins. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy* 84(9), 269-280.
- Fleming, C. A., Mezei, A., Bourricaudy, E., Canizares, M., Ashbury, M. 2011. Factors influencing the rate of gold cyanide leaching and adsorption on activated carbon, and their impact on the design of CIL and CIP circuits. *Minerals Engineering* 24(6), 484-494.
- Habashi, F. 1999. *A Textbook of Hydrometallurgy*. Metallurgie Extractive Quebec Publications, Canada, 220-223.
- Kotze, M. 2010. Gold ion exchange. ALTA 2010 Gold Conference. ALTA Metallurgical Services, Melbourne, Australia.
- Kotze, M., Green, B., Mackenzie, M., Virnig, M. 2005. Resin - in - Pulp and Resin - in - Solution.: *Advances in Gold Ore Processing*. Elsevier Science, 15.
- Marsden, J., House, I. 2006. *The Chemistry of Gold Extraction*. The Society for Mining Metallurgy and Exploration Incorporated, USA 2, 318-392.
- Medusa, 2009. Software for chemical equilibrium diagrams, 32 bit version. Royal Institute of Technology, Sweden.
- Msumange, D. A. 2019. Recovery of gold from copper -rich ores using ion exchange resins. Master Thesis, Karadeniz Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mining Engineering, Trabzon.
- Msumange, D. A., Yazıcı, E. Y., Celep, O., Deveci, H. 2020. Investigation of the amenability of a copper - rich refractory gold ore to cyanide leaching. *Scientific Mining Journal* 59(4), 225-234.
- Msumange, D. A., Yazıcı, E. Y., Celep, O., Deveci, H. 2021. The effectiveness of the adsorbents for selective recovery of gold from copper - bearing cyanide leach solutions. *Scientific Mining Journal* 60(1), 21-30.
- NORIT. 2003. Data sheet. NORIT GAC 1240, Granular Activated Carbon, Report No: 2201, 2.
- PUROLITE. 2015. Purogold ion exchange resins for metals recovery applications: P - 000033 - 250PP - 0515 - PCO, 2.
- PUROLITE. 2016a. Product data sheet. Purogold A193, 1 August, 1.
- PUROLITE. 2016b. Product data sheet. Purogold S992, 1 August, 1.
- PUROLITE. 2020. Product information. Purolite product guide: P-000023-NPOLD-0120-R2-ENG-PCO, 25.
- Sceresini, B. 2005. *Gold - Copper Ores*. *Advances in Gold Ore Processing Developments in Mineral Processing*. Elsevier, Amsterdam, 89-824.
- Van Deventer, J. 2014. New developments in ion exchange resins for the recovery of gold from complex ores: *Hydrometallurgy*. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, Canada, 677-687.
- Van Deventer, J., Kotze, M., Yahorava, V. 2012. Gold recovery from copper - rich ores employing the Purolite S992 gold - selective ion exchange resin. ALTA 2012 Gold Conference. ALTA Metallurgical Services, Melbourne, Australia, 8.
- Van Deventer, J., Bazhko, V., Yahorava, V. 2014. Comparison of gold - selective ion exchange resins and activated carbon for the recovery of gold from copper gold leach liquors. ALTA 2014 Gold - Precious Metals Conference, ALTA Metallurgical Service, Melbourne, Australia, 18.
- Voiloshnikova, N., Deemytyev, V., Voiloshnikov, G., Grigoryeva, I., Moskaeva, N. 2014a. Comparison of anion exchange resins for adsorption processes in the gold industry. XXVII International Mineral Processing Congress, Santiago - Chile, 1-10.
- Yazıcı, E. Y., Ahlatci, F., Koc, E., Celep, O., Deveci, H. 2015. Pre - treatment of a copper - rich gold ore for elimination of copper interference. 8th European Metallurgical Conference (EMC), Duesseldorf, 2, 601-613.
- Yen, W. T., Aghamirian, M. M. 2002. Effect of sulfide minerals and dissolved ions on gold dissolution. *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum*, Montreal, 79-86.

