

YIĞIN BİYOOKSİDASYON TEKNOLOJİSİNİN REFRAKTER ALTIN KONSANTRELERİNE UYGULANMASI

Haluk ÇELİK

Uşak Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, 64200, Uşak, haluk.celik@usak.edu.tr

Geliş Tarihi: 12.11..2008 Kabul Tarihi: 01.06.2009

ÖZET

Dünya çapında öğütmeyle serbestleşebilen ve oksitli altın cevherlerinin hızla tükenmesi, madencilik endüstrisini refrakter altın yataklarına yönelmiştir. Bunun sonucu olarak araştırma şirketleri altın üretimi için yeni yöntemleri incelemeye başlamışlar ve altının refrakter cevherlerin çok farklı türlerinden kazanımı yönünde atılımlar yapmışlardır. GeoBiotics Şirketince geliştirilen tescilli bir proses olan GEOCOAT® teknolojisi (yıgın biyooksidasyonu); işletme ölçeğinde kendini kanıtlamış ve başarılı iki proses olan yığın liçi ve biyooksidasyon yöntemlerini birleştirmektedir. Yöntem; altın içeren öğütülmüş sülfürlü mineral konsantrelerinin göreceli olarak daha iri inert cevher tanelerinin üzerine kaplanması ve daha sonra bu kaplanmış malzemenin biyo-yığın oksidasyonunu içermektedir. Bu çalışmada ilk olarak madencilik endüstrisinde biyoteknolojinin kullanımını tanıtmıştır. Yığın biyooksidasyonu prosesi hakkında detaylı bilgiler verilmiş, bu teknolojinin kullanımıyla laboratuvar ve pilot tesis çapta yürütülen deneyler özetlenmiş ve daha sonra refrakter altın içeren pirit konsantresinin yığın biyooksidasyonunun gerçekleştirildiği ticari tesis tanıtmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Yığın biyooksidasyonu, biyomadencilik prosesleri, biyohidrometallurji*

APPLICATION OF THE HEAP BIOOXIDATION TECHNOLOGY FOR REFRACTORY GOLD CONCENTRATES

ABSTRACT

Rapid depletion of free-milling and oxide gold ores worldwide has forced the mining industry to turn to refractory gold deposits. Hence, research companies have examined novel methods for gold recovery, and advances have been made toward the extraction of gold from many different types of refractory ores. GEOCOAT® technology (heap biooxidation), a proprietary process developed by GeoBiotics, Inc., incorporates elements of two successful and commercially proven processes: heap leaching and biooxidation. The process involves coating of ground gold bearing sulfide minerals concentrate onto relatively coarse inert rock and then bio-heap oxidation of this coated material. In this study, initially the use of biotechnologies in the mining industry was introduced. Detailed information about heap biooxidation process was presented; experiments carried out at laboratory scale and at pilot plant scale by using this technology were summarized; and then commercial plant for heap biooxidation of refractory gold bearing pyrite concentrate was introduced.

Key Words: *Heap Biooxidation, biomining processes, biohydrometallurgy*

1. GİRİŞ

Biyomadencilik; metallerin sülfür ve/veya demir içeren cevher veya mineral konsantrelerinden mikroorganizmaların kullanımı ile kazanımını tanımlamak için kullanılan genel bir ifadedir. Demir ve sülfür mikrobiyolojik olarak oksitlenip ferrik demir ve sülfürik asit oluşmakta; bu kimyasallar bakır, nikel ve çinko sülfür gibi çözünmez mineralleri suda çözünür metal sülfatlara dönüştürmektedir. Mikroorganizmaların yardımıyla metal çözünme prosesi; metallerin çözünmesi mineral yüzeyine ferrik demir ve/veya asidin etkisinin bir sonucu olduğu için kimyasal işlemin ve mikroorganizmalar ferrik demir ve asit oluşumuna sebep olduğundan

mikrobiyolojik işlemin bir kombinasyonudur. Proses; baz metaller çözünerek su içine alındığından dolayı bazen biyoliç olarak ve bazen de altın kazanımında altın mineral içinde kaldığından ötürü biyooksidasyon şeklinde ifade edilmektedir [1, 2 ,3, 4]. Altın bakteriyel etkilere karşı inert bir metal olmasına rağmen, bazı tip cevherlerden altın elde edilmesinde bakteriler kullanılmaktadır. Refrakter altın cevherlerindeki altın tanecikleri siyanür tarafından kolay çözündürülemeyecek şekilde sülfür mineralleri, özellikle pirit ve arsenopirit içerisinde hapsolmuş durumdadır. Bakteriler; sülfürlü minerallerin kafes yapıları içerisinde bulunan altının siyanür ile temasını mümkün kılmak için, bu mineralleri oksitleyip kafes yapılarının parçalanmasına yardımcı olmaktadır [5, 6].

Biyooksidasyon teknolojisinde kullanılan bakteriler, gelişmeleri için gerekli olan sıcaklık değerine göre üç gruba ayrılır [7].

- Mezofilik bakteriler: Fonksiyonlarını etkin olarak 15-45 °C arasındaki sıcaklık aralığında gösterirler. Demir ve sülfür oksitleyebilen *Acidithiobacillus ferrooxidans* türleri, sülfür oksitleyebilen *Acidithiobacillus thiooxidans* türleri ve demir oksitleyebilen *Leptospirillum ferrooxidans* türleri mezofilik bakteri grubuna örnek gösterilebilir.
- Orta derecede termofilik (ısı seven) bakteriler: Sülfür ve demir bileşiklerini 40-65 °C sıcaklık aralığında oksitleme kabiliyetine sahiptirler. Mezofilik bakteriler kadar üzerlerinde fazla çalışılmamıştır. Biyoliç işlemlerinde *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*'ların, *Sulfobacillus acidophilus*'ların, *Acidophilus ferrooxidans*'ların ve *Thiobacillus caldus*'ların en çok kullanılan kısmen termofilik bakteriler olduğu belirtilmektedir [8].
- Aşırı termofilik bakteriler: Sağlıklı bir biçimde gelişmeleri için sıcaklık aralığı 60-95 °C'dir. Üzerinde en çok çalışılan ve tümü *Archaea* ailesinin üyesi olan aşırı termofilik bakterilere örnek olarak *Sulfolobus acidocaldarius*, *Sulfolobus metallicus* ve *Acidianus brierleyi* gösterilebilir.

Biyolojik işleminin meydana geldiği ortamın fizikokimyasal şartları (sıcaklık, pH, redox potansiyeli, oksijen ve karbon dioksit içeriği, besinler vb.), ortamın mikrobiyolojik şartları (mikrobik farklılıklar ve aktiviteler, bakteri popülasyonu, bakteri dağılımı vb.), oksidasyona maruz kalan minerallerin özellikleri (mineral tipi, yapısı ve dağılımı, tane boyutu, yüzey alanı, yüzey özellikleri, porozite vb.) ve işlem şartları (işlemin tipi (yerinde liç, yığın veya karıştırmalı tank liç), pülpün katı oranı, karıştırma hızı, yığın geometrisi vb.) bakteriyel oksidasyonda etkili olan faktörlerdir [7, 9, 10, 11].

Biyomadencilik yöntemlerinin, metallerin kazanımında kullanımlarının artmasının nedenleri şu şekilde sıralanabilir [3, 6, 12, 13, 14]:

1. Cevherdeki metal tenörünün çok düşük olması durumunda bile yöntemin ekonomik olarak uygulanabilmesi,
2. Yöntemin basınçlı oksidasyon gibi yüksek sıcaklık ve basınca gereksinim duyulan ekipmanlara ihtiyaç duymaması,
3. Çoğu fizikokimyasal metal kazanım proseslerinden daha çevre dostu bir yöntem olması,
4. Gerek ilk yatırım, gerekse işletme maliyetinin diğer yöntemlere göre daha düşük olması,
5. Fizikokimyasal proseslerin sonucunda oluşan maden artıkları yağmur ve havaya maruz kaldığında biyolojik olarak asit oluşturmakta ve artıktaki bulunan metaller çözünerek çevreyi tehdit etmektedir (asidik maden drenajı). Bakteriyel proseslerin sonunda oluşan artıklar çok daha az oranda asidik maden drenajına sebep olmaktadır.

Yüksek tenörlü mineral yataklarının işletilip hızla tüketilmesiyle geleneksel metal kazanım proseslerinden olan pirometallurjik yöntemler ekonomikliklerini yitirmişler ve madencilik şirketleri geriye kalan düşük tenörlü mineral yataklarının işletilebilmesi için yeni yöntemleri bulmak ihtiyacını duymuşlardır. Yukarıda sıralanan avantajlarından dolayı bakteriyel yöntemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Araştırmaların neticesinde geliştirilen biyomadencilik prosesleri Çizelge 1.'de verilmiştir. Çizelge 2.'de de refrakter altın içeren cevher veya konsantrelerden bu teknolojilerin kullanılarak altın üretiminin gerçekleştirildiği tesisler verilmiştir.

Bio-hidrometalurjik proseslerin işletme ölçeğinde modern uygulamaları, çok düşük tenörlü tüvenan bakır cevherlerinin biyoliçi ile başlamıştır. 1950'li yıllarda Kennecott Bakır Şirketi (Utah, A.B.D.) bu yöntemi

kullanmış ve diğer işletmelere bu alanda önderlik yapmıştır. Diğer metallerin kazanılmasında Biyo-hidrometalurjik prosesler 1980'li yılların ortalarına kadar kullanılmamış, 1986 yılında Güney Afrika'da (Fairview Altın Madeni'nde) refrakter altın içeren konsantrelerin siyanür liçi öncesinde, ön hazırlanmasında işletme ölçeğinde ilk kez uygulanmıştır [16].

Günümüzde Biyomadencilik prosesleri işletme ölçeğinde bakır, kobalt kazanımında ve altının siyanürleme işlemi öncesi ön iyileştirilmesinde kullanılmakta olup; kömür desülfürizasyonunda (kömür yapısında bulunan piriti oksitleyip suda çözünebilir ferrik sülfata dönüştürmek amacıyla) [15], biyoliç yöntemi ile uranyumun kazanımında (pilot çapta denenmiştir) [18], Co, Ga, Mo, Ni, Zn ve Pb gibi baz metal sülfürlerin biyoliç ile kazanımında (laboratuar ölçeğinde) ve platin grubu metalleri (Pt, Rh, Ru, Pd, Os ve Ir) bünyelerinde hapseden sülfürlü minerallerin biyolojik-ön hazırlanmasında kullanılmaktadır (laboratuar ölçeğinde) [16].

Bakteriyel proseslerin kullanımı ile işletme ölçeğinde faal olarak bakır üretimi yapan 11 tanesi Çin'de olmak üzere toplam 19 adet işletme bulunmaktadır. Ayrıca %1.38 kobalt içeren pirit konsantresinden, karıştırmalı tanklarda gerçekleştirilen biyoliç yöntemi ile işletme ölçeğinde (Kasese-Uganda) %92 verim ile kobalt üretimi yapılmaktadır [16].

Biyomadencilik uygulamaları işlenecek olan ham cevherin özelliklerine bağlı olarak artık (dump) liçi, tank (vat) liçi, karıştırmalı tank (stirred-tank) liçi, yerinde (in situ) liç veya yığın (heap) liçi şeklinde uygulanmaktadır [3, 15, 19, 20]. İşletme ölçeğinde kullanılan biyoliç uygulamaları artık liçi (ABD'de 4 işletmede kullanılmaktadır), yığın liçi ve karıştırmalı tank biyooksidasyonudur [6, 15].

Artık (dump) liçi uygulamasında, maden işletmesinden çıkartılan artık cevherler, düşük tenörlü cevher veya konsantre içeren atıklar depolandıkları yerde biyoliçe maruz bırakılıp, içerdikleri birtakım değerli metaller kazanılabilmektedir. Liç periyodunun birkaç gün olduğu karıştırmalı tank teknolojisinde, tank içindeki katı madde miktarı %20 ile sınırlı olmaktadır. Bu orandan daha yüksek pülp yoğunluklarında fiziksel ve mikrobiyolojik problemler oluşmaktadır. Tank içindeki süspansiyon, etkili gaz transferini engelleyecek ölçüde çok kalın olmakta ve karıştırıcıların oluşturduğu makaslama gücü bakteri hücrelerini fiziksel zarara uğratmaktadır. Tank içindeki katı konsantrasyon oranındaki bu sınırlama ve ilave olarak yığın liçinden daha yüksek olan işletme ve yatırım maliyetleri, karıştırmalı tank biyoliçinin kullanımını yüksek tenörlü cevher veya konsantreler ile sınırlandırmaktadır [3, 6, 15, 19, 21]. Karıştırmalı tank teknolojisinde bir diğer çözülmesi gereken problem düşük karıştırma hızı, potansiyel oksijen gereksinimi, uzun liç süresi ve soğutma işlemine olan gereksinimden dolayı enerji tüketiminin yüksek olmasıdır [22].

Çizelge 1. Günümüzde Kullanılmakta Olan Biyomadencilik Prosesleri [15]

Şirketin Adı	Prosesin Adı	Uygulama Alanı
Newmont Madencilik	BIOPRO	Refrakter altın cevherlerinin yığın liçi
Gold Fields, Ltd.	BIOX	Refrakter altın cevherlerinin karıştırmalı tank oksidasyonu
BHP Billiton, Ltd.	BIOCOP	Bakır sülfürlerin karıştırmalı tank oksidasyonu ve liçi
	BIONIC	Nikel sülfürlerin karıştırmalı tank oksidasyonu ve liçi
	BIOZINC	Çinko sülfürlerin karıştırmalı tank oksidasyonu ve liçi
BacTech Enviromet	BacTech/Mintek	Bakır sülfürlerin karıştırmalı tank oksidasyonu ve liçi
GeoBiotics, Inc.	GEOCOAT	Sülfür mineral konsantrelerinin yığın liçi
BRGM (Bureau de Recherches Geologiques et Minières)	BRGM*	Kobalt içeren pirit konsantresinin karıştırmalı tank oksidasyonu

*[6,16] kaynaklarından eklenmiştir

Çizelge 2. Biyooksidasyon Proseslerinin Kullanıldığı Altın Madenleri [4, 6]

Tesisin Adı	Yeri	Kapasitesi (t/gün)	Kullanılan Proses	Yıl
Fairview	Güney Afrika	62	BIOX	1986, 1991-
Sao Bento	Brezilya	150	BIOX	1990-
Harbour Lights	Avustralya	40	BIOX	1992-1994
Wiluna	Avustralya	158	BIOX	1993-
Sansu-Ashanti	Gana	960	BIOX	1994-
Tamboraque	Peru	60	BIOX	1999-
Fosterville	Avustralya	211	BIOX	2005-
Sudzal	Kazakistan	196	BIOX	2006-
Bogosa/Prestea	Gana	825	BIOX	2007-
Kokpatas	Özbekistan	1069	BIOX	2007-
Youanmi	Avustralya	120	BacTech	1994-1998
Beaconsfield	Avustralya	68	BacTech/Mintek	1999-
Laizhou	Çin	100	BacTech/Mintek	2001-
Agnes	Güney Afrika	50	GEOCOAT	2003-
Carlin-Nevada*	A.B.D	10.200	BIOPRO	2000-

*[17]

Yığın liçi işlemi işletme ve yatırım maliyeti yönünden avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte cevherin tamamının yığın liçine maruz bırakılması; harici bir ısıtma işlemine gereksinim duyulmadan sıcaklığın yığın içerisinde istenilen değerlerde sağlanabildiği durumlarla sınırlıdır. Aynı zamanda, başlıca yığın geçirgenliği ve yığılda çözeltinin dağıtımından kaynaklanan nedenlerle tepkime zamanının aşırı uzun olması, cevherin tamamının yığın liçine maruz bırakılması, işlemi olumsuz etkilemektedir [23]. Geleneksel yığın liçi işlemi çok düşük tenörlü cevherlere uygulandığından dolayı, birim yığın hacmindeki mineral konsantrasyonu düşük olmaktadır ve bunun sonucu olarak yöntem düşük ısı oluşturma oranına sahiptir. Yığın içerisindeki zayıf çözelti ve hava dağılımı ve minerallerin daha büyük taneler içinde kapanım halinde bulunması, etkili ısı üretimine daha fazla engel olmaktadır [24].

GeoBiotics, LLC (Colorado, ABD) Şirketi tarafından geliştirilip patenti alınmış olan yığın biyooksidasyon prosesinde öğütülmüş mineral konsantresi, göreceli olarak daha iri olan inert veya düşük tenörlü cevher parçalarının üzerine püskürtmeyle kaplanmakta ve daha sonra bu kaplanmış malzemeler biyo-yığın liçine maruz bırakılmaktadır. Böylelikle yığın liçi işleminin avantajlarından olan düşük işletme ve yatırım maliyetinden yararlanılmakta ve yukarıda değinilen cevherin tamamının yığın liçi işlemine tabi tutulması durumunda karşılaşılan uzun liç zamanı ve yığın içerisinde oluşan ısının düşük olması gibi dezavantajların önüne geçilmiş olmaktadır [6, 24, 25]. Yöntem günümüzde işletme ölçeğinde, Afrika Pioneer Madencilik'in sahibi olduğu Agnes Altın Madeni'nde (Barberton, Güney Afrika), refrakter nitelikteki altın içeren pirit konsantresinin siyanür liçi öncesinde yığın-biyooksidasyonu amacıyla kullanılmaktadır [4, 23].

Bu çalışmada; düşük yatırım ve işletme maliyetli yığın liçi uygulaması ile yüksek verimli karıştırılmalı tank prosesinin birleşiminden oluşan bir proses olan ve altın içeren refrakter özellikte sülfürlü mineral konsantrelerinin yığın liçi işlemi ile biyooksidasyonunun gerçekleştirildiği yığın biyooksidasyon uygulaması tanıtılmıştır.

2. YIĞIN BİYOOKSİDASYON TEKNOLOJİSİ

Yığın biyooksidasyon yöntemi madencilik sanayinde başarı ile uygulanan ve kendini kanıtlamış iki teknoloji olan yığın liçi yöntemi ve biyooksidasyon yöntemini birleştirilmektedir [23, 24, 26]. Bu metotla yığın liç prosesinin; cevherin ince taneciklerinin çözelti ve hava akışına engel olması ve sülfürlü minerallerin hava, liç çözeltisi ve bakteriler ile olan temasının sınırlı olması gibi iki önemli sorunu çözülmüş olmaktadır. İnce taneciklerin uzaklaştırılması ve sülfürce zengin biyooksidasyon ortamının oluşması oksitlenme hızını önemli derecede artırmaktadır [25].

Yığın biyooksidasyon uygulamasında sülfürlü mineraller içeren flotasyon konsantresi veya gravite konsantresi, değersiz yan kayacın veya düşük tenörlü altın içerikli sülfürlü-oksitli mineraller içeren cevherin kırılmış ve boyutlandırılmış taneleri (kaplama malzemesi) üzerine kaplanıp liç sahasına yığılmakta ve biyooksidasyona tabi tutulmaktadır. Proses sülfürlü refrakter altın cevherlerinin biyooksidasyonu ve bakır, nikel, kobalt, çinko ve polimetallik baz metal konsantrelerinin biyoliçi için uygulanabilir bir teknolojidir [4, 23, 24, 25, 27, 28].

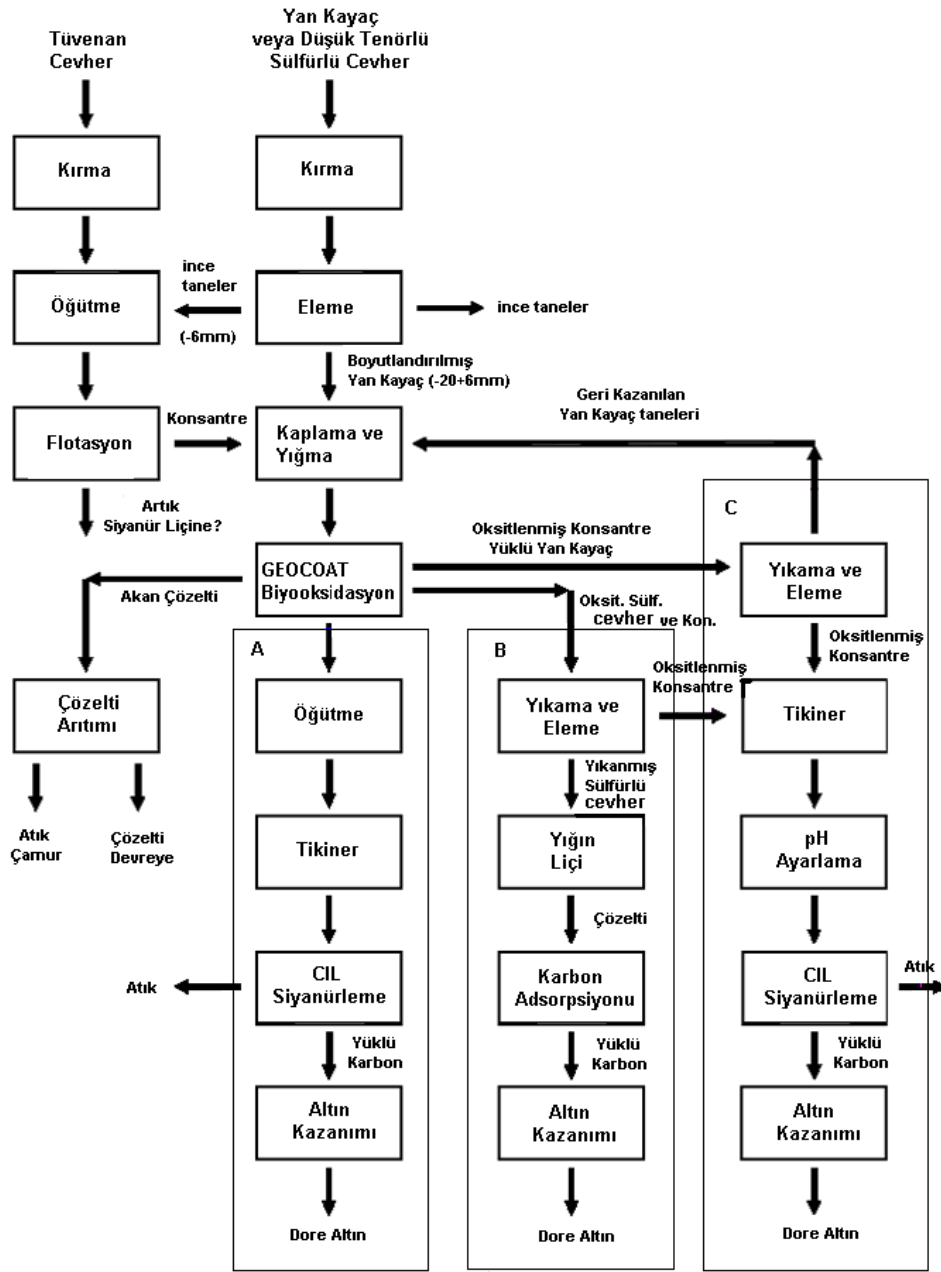
Yığın biyooksidasyon prosesinde sülfürlü minerallerin oksidasyonunu veya liçini hızlandırmak amacıyla demir ve sülfür oksitleyebilen mezofilik (*Acidithiobacillus ferrooxidanslar*, *Acidithiobacillus thiooxidanslar* ve *Leptospirillum ferrooxidanslar*) veya termofilik (*Archaea Sulfolobus* ve *Acidianus*) mikroorganizmalar kullanılmaktadır [27].

Refrakter altın cevherlerinin işlenmesinde yığın biyooksidasyon uygulamasının sonucunda altın katı artık içinde kalmakta ve yığın liç sahasından siyanürleme işlemine gönderilmektedir. Bakır ve diğer baz metal sülfürlerinin işlenmesinde ise, değerli metal çözünmekte ve liç çözeltisinden kazanılırken, artık malzeme yığın liç sahasında kalmaktadır. Bu nedenle bakır ve diğer baz metal sülfürlerinin yığın biyooksidasyon uygulamasında liç sahası zemini, üzerine yığılan malzeme için kalıcı olmakta ve özel dizayn edilen geçirimsiz liç sahası zemini ihtiyaca göre genişletilmekte veya alternatif olarak bir önceki yığının üzerine yeni kaplanmış malzeme yığılmaktadır. Refrakter altın cevherlerin işlenmesinde ise oksitlenen sülfürlü mineraller liç zemininden uzaklaştırılırken, aynı zemine yeni kaplanmış malzemeler serilmektedir [27].

Şekil 1.'de yığın biyooksidasyonu prosesinin refrakter altın cevherlerine uygulanmasında kullanılacak akım şeması seçenekleri gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere yığın biyooksidasyonu uygulamasında, tüvenan sülfürlü cevherden öncelikle flotasyon ile konsantre elde edilmektedir. Daha sonra altın içeren sülfürlü konsantre kaplama malzemesi üzerine kaplanmakta ve yığın oluşturularak biyooksidasyona maruz bırakılmaktadır. Altın içermeyen çözelti arıtma tesisine gönderilirken, yığın sahasında kalan altın içeren katı için farklı seçenekler söz konusudur.

Eğer konsantre elde edildiği altın içeren sülfürlü cevher üzerine kaplanmış ise proses şu şekillerde gelişebilir.

Seçenek A: Biyooksitlenmiş cevher ve konsantre birlikte öğütülüp CIL (liçte karbon) yöntemi ile siyanürleme işlemine tabi tutulabilir veya (Seçenek B ve C) oksitlenmiş cevherden yıkama/eleme işlemi ile oksitlenmiş konsantre ayrılıp, cevherden altın yığın liçi ile çözündürülüp karbon adsorpsiyon tesisine gönderilirken; yıkama/eleme işlemi ile ayrılan oksitlenmiş konsantre koyulaştırıcıda koyulaştırılıp, pH derecesi ayarlandıktan sonra CIL yöntemi ile siyanür liçi uygulanabilir.



Şekil 1. Yığın biyooksidasyon prosesinin refrakter altın cevherlerine uygulanmasına ait akım şeması seçenekleri [27]

Konsantrenin değersiz yan kayaç üzerine kaplanması durumunda ise C Seçeneği uygulanıp; oksitlenmiş konsantre yıkama/eleme işlemi ile değersiz yan kayaçtan ayrılmakta, koyulaştırıldıktan sonra pH değeri ayarlanmakta ve CIL metodu ile siyanür liçi uygulanmaktadır.

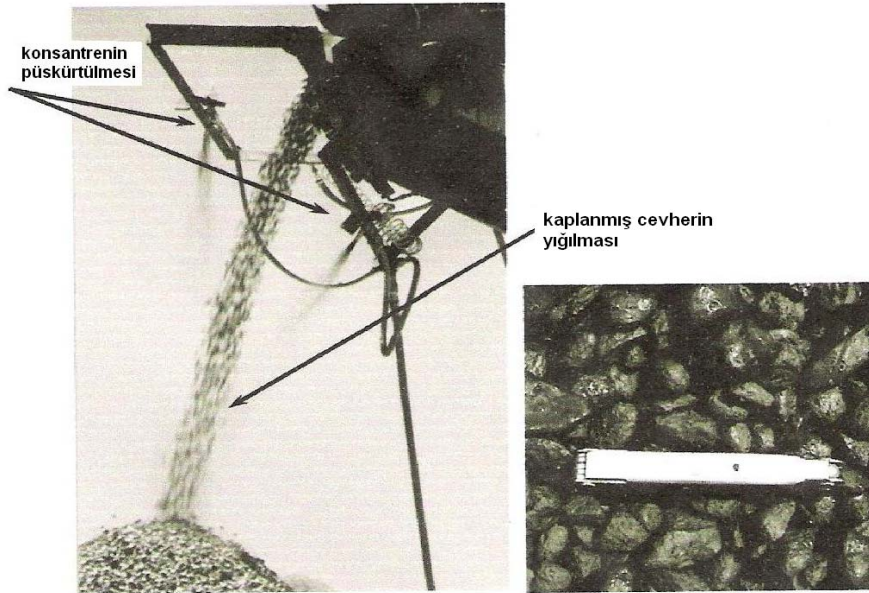
2.1 Konsantrenin Kaplanması ve Yığın Oluşturulması

Flotasyon veya gravite konsantrasyon yöntemleri ile elde edilen konsantrenin boyutlandırılmış kaplama malzemesi üzerine kaplanması işlemi; malzemenin yığın zemini üzerine konveyörler ile yığılması işlemi anında,

kaplanacak olan konsantrenin konveyörlerin uç kısmından cevher parçaları üzerine püskürtülmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Böylelikle prosesin en önemli safhasını oluşturan kaplama işlemi, kaya parçalarının yığılması anında basit bir şekilde gerçekleştirilmiş olmaktadır. Şekil 2.'de kaplama işleminin uygulandığı sistem görülmektedir [27, 28].

Konsantrenin üzerine kaplandığı malzeme -25+6 mm tane iriliğinde olup, üzerine kaplanacak olan konsantrenin yüzeydeki kalınlığının 1 mm'den ince olmasına dikkat edilir. Nispeten birbirine yakın, dar tane iriliğinde malzeme kullanımı, yığın içerisinde hava ve çözelti akışına oldukça uygun bir ortamın oluşmasına sebep olmaktadır. Kaplama oranı karakteristik olarak 1:5 ile 1:10 arasındadır. Konveyörlerde bulunan özel ağırlık ölçer sistemleri ile kaplama malzemesinin ağırlığı ölçülmektedir. Konsantre pülp akış borusuna yerleştirilen yoğunluk ölçme aleti ve akış miktarı ölçerler ile pülp akışındaki katı konsantre miktarı ölçülebilmektedir. Böylelikle kaplama oranı basit akış kontrol sistemleri ile seçilen düzeyde tutulabilmektedir [26, 27, 28].

Kaplanan konsantrenin katı yoğunluğu pülpün viskozitesine bağlıdır ve %50-65 katı yoğunluk değerlerinde kaplama başarıyla gerçekleştirilebilmektedir. Konsantrenin hidrofobik (su-iter) özelliği kaplama malzemesi üzerine doğal olarak bağlanmasına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle bağlayıcı bir kimyasalın kullanımına gerek yoktur. Kaplanan konsantreler yığına çözelti uygulandığında veya aşırı yağmurlu hava şartlarında kaplama malzemesi üzerinden ayrılmamaktadır [26, 28, 29].



Şekil 2. Konsantrenin kaplama işlemi ve kaplanmış cevher/değersiz yan kayaç [29]

Konsantrenin üzerine kaplandığı malzeme parçalarında aranılan özellikler; [27]:

- Fiziksel yeterlilik (mekanik taşınma sırasında parçalanmama),
- Asidik biyoliç çözeltilisine kimyasal dayanım,
- Bakterilere zararlı çözünebilir bileşikler içermemesi,
- Düşük karbonat içeriği,
- Uygun tanecik şekli, boyutu ve yüzey özellikleri,
- Düşük maliyetlerde yöresel bulunabilirlik,
- Yüksek kil içeriğinin giderilmesi için yapılan yıkama işlemlerine gereksinim duyulmadan, kırma ve eleme sonunda temiz ve boyutlandırılmış ürünler elde edilebilmesi.

Yığınlar karakteristik olarak 6 m yüksekliğe kadar oluşturulabilir. Bununla birlikte, özellikle iklimsel şartların aşırı olduğu bölgelerde ısı denge düşünüldüğünde, yığın yüksekliği daha düşük veya daha yüksek olabilmektedir [27].

2.2 Biyooksidasyon Aşaması

Biyooksidasyon prosesi; her biri havalandırma oranının ve uygulanan çözelti miktarının ayarlanmasına bağlı olan üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada az miktarda biyooksidasyon gerçekleşirken, bakteriler üremektedir. Bu aşamada hava miktarı bakterilerin üremesi için yeterli olacak en az seviyede tutularak, yığın içindeki sıcaklık değerinin uygun değerlere yükselmesine izin verilmektedir. Yığına verilen çözelti miktarı ise artırılarak asidin yığın içinde hızla dağıtımı sağlanmakta ve neticede yığın içersindeki çözeltinin pH değeri hızlı bir şekilde düşürülmektedir. İkinci aşamada ise yığın içindeki sıcaklık en uygun değerlere yükselerek biyooksidasyon hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu aşama boyunca çözelti miktarı ayarlanmakta, hava miktarı ise belirlenen en yüksek orana yükseltilmektedir. Üçüncü aşamada ise biyooksidasyon hemen hemen tamamlanmış durumdadır ve yığındaki sıcaklık düşmeye başlamıştır. Bu aşamada ise yığına verilen hava miktarı minimum seviyelere düşürülmektedir [27].

Liç sahasına serilen kaplanmış malzeme üzerine 10-20 lt/m²/saat miktarında özel tasarlanmış yağmurlama sistemi ile çözelti verilir. Bu çözelti aynı zamanda bakteriler için gerekli olan besinleri de içermektedir. Biyooksidasyon ilerledikçe konsantrede bulunan sülfürlü mineraller oksitlenmekte ve konsantrede bulunan çinko, demir, arsenik gibi çözünen metaller çözelti ile yığından uzaklaştırılırken, altın yığında katı malzemeler içersinde kalmaktadır. Yığın içersinden süzülen çözelti drenaj tabakasına ulaşmakta ve oradan da delikli drenaj boruları ile toplanmaktadır. Çözelti, drenaj boruları ile yığın kenarında bulunan çözelti toplama kanalına iletilmekte, oradan da çözelti havuzuna akmaktadır. Refrakter altının biyooksidasyonunda havuzda toplanan çözelti değerli metal içermediğinden, çözelti atık arıtma sistemine gönderilerek kireçtaşı ve kireç ilavesi ile nötrale edilmekte ve demir, arsenik ve diğer metaller çöktürülmektedir [27, 28, 29].

Yığının altına yerleştirilen delikli özel bir boru sistemi ile yığın içersine fanlardan hava verilmektedir. Verilen hava; sülfürlü minerallerin oksidasyonu için gerekli oksijeni sağlamakta, bakterilerin oksijen gereksinimini karşılamakta ve yığın içersinde oluşan ısının biyooksidasyon için gerekli olan en uygun aralıklarda tutulmasına yardımcı olmaktadır. Hava miktarı; konsantrenin mineralojik ve kimyasal yapısına, yığının birim hacminde bulunan sülfürlü mineral miktarına (kaplama oranına), sülfürlü minerallerin tepkime oranına ve yığının bulunduğu ortamın şartlarına bağlı olarak değişmektedir [27, 28, 29].

Sülfür oksidasyonu ekzotermik bir tepkime olduğundan, yığın içindeki sıcaklık artmaktadır. Oluşan bu sıcaklık sistemden başlıca yığın tabanından verilen hava ile uzaklaştırılırken, yığına verilen çözelti de bir dereceye kadar sıcaklığın düşürülmesinde etkili olmaktadır. Mezofilik bakterilerin kullanıldığı proseslerde en uygun sıcaklık aralığı 38-42 °C iken, termofilik bakteriler için 65-70 °C'dir. Yığın içersinde oluşan sıcaklığın ölçülebilmesi için, özel nitelikteki sıcaklık ölçerler yığınların inşası sırasında yığın içersinde oluşturulan dikey termal boşluklara yerleştirilirler. Aynı zamanda yığın tabanındaki cevherlerden oluşan drenaj katmanı içersine de sıcaklık ölçerler yerleştirilmektedir. Böylelikle yığının ve çözeltinin sıcaklık değerleri gözlenebilmektedir [27].

Biyooksidasyonun derecesinin gözlenmesi direk veya indirek yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Direk yöntemde çözelti akımından ve/veya yığındaki katıdan numuneler alınır. Katı numunelerden daha fazla bilgi elde edilebilirken, bu numunelerin alınması daha zahmetli bir işlemdir. Çözelti numuneleri kolayca toplanabilmekle birlikte, istenilen tüm verilere ulaşamayabilmek. Örneğin, konsantrenin temel olarak pirit veya pirotitten oluştuğu durumlarda, çözeltideki baskın olan metal demir olacaktır. Bununla birlikte termofilik bakterilerin kullanıldığı durumlarda gerekli olan yüksek sıcaklık değerlerinde (60-70°C) demirin yığın içinde çökme eğilimi, çözeltide ölçülen demir miktarının düşük çıkmasına ve dolayısıyla oksidasyonun derecesi hakkında güvenilir olmayan veriler elde edilmesine sebep olacaktır. Bakır, nikel, kobalt ve çinko sülfür minerallerinin oksidasyonunda ise; bu metaller kolay bir şekilde çökmediğinden, oksidasyonun derecesi çözelti numunelerinin analizi ile kolay bir şekilde takip edilebilir. İndirek yöntemde ise oksidasyonun derecesinin belirlenmesi, sıcaklık değerleri ve oksidasyon zamanının takibi ile yapılmaktadır [27].

Biyooksidasyon işlemi tamamlandığında, yığın paneline çözelti uygulaması durdurulur ve çözeltinin yığın içinden tamamen akması için panel yaklaşık 8 saat bekletilir. Sonrasında oksidasyonun bittiği yığın bölümü su ile yıkanarak, oksitlenmiş konsantre üzerinde bulunan siyanür sarfiyatını artıran bileşikler uzaklaştırılır. Siyanür harcayan bu bileşikler, konsantrenin üzerine kaplandığı malzemeden tromel eleklerde yıkanarak ayrılması işlemi esnasında da uzaklaştırılır [27].

Yığının yıkanması işleminden sonra, yığın malzemesi yerinden kaldırılarak tromel eleklerde veya titreşimli eleklerde yıkanmakta ve böylelikle oksitlenmiş konsantreler kaplama malzemesi üzerinden kazanılmaktadır. Yıkanmış değersiz yan kayaç malzemesi üzerlerine yeni konsantrelerin kaplanması amacıyla devreye geri beslenebilmektedir. Oksitlenmiş konsantreleri içeren elek altı ürün ise tikinere pompalanmaktadır. Tikiner üst akımı yüksek konsantrasyon değerlerinde adapte olmuş bakteri içerdiğinden devreye geri beslenmektedir. Böylelikle yeni oluşturulan yığınlar için biyooksidasyonun az gerçekleştiği ilk aşamadaki bekleme zamanı düşürülmüş olmaktadır. Tikiner alt akımı ise, pH değeri kireç kullanılarak istenilen seviyeye yükseltilecek siyanürleme tesisine gönderilmektedir [26, 27, 29].

Yığın içinde taneler arasında oluşturulan boşluklar ve tane yüzeyindeki ince konsantre tabakası biyooksidasyon için uygun şartları sağlamaktadır. Sülfür mineral taneleri ve üzerlerine yapışan bakteriler aşağıya doğru olan çözelti akımına ve buna ters yönde olan hava akımına maruz bırakılmaktadır. Bu durum etkili oksijen transferine ve hızlı oksidasyon oranlarına sebep olmaktadır. Cevherinin tamamının yığın içine tabi tutulması durumunda birkaç yüz günlük liç zamanları komple oksidasyonun sağlanması için yeterli olmazken, bu uygulama ile oksidasyon işlemi 60-120 gün arasında tamamlanmaktadır [23, 27].

2.3 Yöntemin İşletme, Laboratuvar ve Pilot Ölçekte Uygulanması

Yapılan bir çalışmada [29]; Rosh Pinah Çinko Madeninde (Nabibya) çinko flotasyon devresinde kazanılamayıp şlam barajına gönderilen yaklaşık 15 milyon ton miktarında ve %1.9 Zn tenörlü atıktan, öncelikle flotasyon ile pilot çapta %70 verim ile %12.8 Zn tenörlü konsantre elde edilmiştir. Elde edilen bu konsantre yan kaya üzerine bağlanmış ve 6 m yüksekliğinde 144 mm çapında kolonlarda biyooksidasyon işlemine tabi tutulmuştur. Konsantrenin üzerine kaplandığı malzemenin konsantreye oranı 7.5:1 olup, yüksek çinko ve demir seviyelerine adapte edilmiş mezofilik bakteriler kullanılmıştır. Kolonların altından düşük basınçlı hava verilerek bakterilerin oksijen gereksinimi sağlanmıştır. Bu şartlar altında 66 gün sonunda çinkonun %95.2'si çözeltiliye alınabilmiştir.

Bir diğer çalışmada, %26.8 Cu ve %27.5 Fe içeren konsantre, öncelikle %80 -40 µm olacak şekilde öğütülmüştür. Sonrasında su ile sulandırılmış, 5-10 mm iriliğinde ve 8.75:1 oranında granit çakıllarının üzerine bağlanmıştır. Kaplanan malzeme, 30-80 °C sıcaklık değerlerine ayarlanabilen su banyosunda bulunan kolonlara yerleştirilmiştir. Kolonların üst kısmından 5 lt/m²/saat miktarında verilen çözelti, kolonların alt kısmından toplanmıştır. Alt kısımdan %1 CO₂ ile zenginleştirilmiş 2 m³/m²/saat oranında hava verilmiştir. Termofilik bakterilerin kullanıldığı sistemde 140 gün sonunda %97 oranında bakır çözeltiliye alınmıştır. Başlangıçta 12 g/t miktarında altın içeren konsantre, oksidasyon sonrasında kütle kaybından dolayı 20.6 g/t altın içermektedir. Biyooksidasyon artığından altın kazanımı için artık siyanür liçine tabi tutulmuştur. 5000 ppm NaCN konsantrasyonunda, 6.5 kg/ton kireç ve 2.04 kg/ton siyanür sarfiyatında, altın %85.9 oranında CIL yöntemi ile çözeltiliye alınmıştır [28].

Oksitli ve refrakter altın cevherinden altın üretiminin yapıldığı Ashanti Goldfields Şirketi'nce işletilmekte olan Obuasi Altın Madeninde (Gana), refrakter cevherden üretilen flotasyon konsantresi kavurma ve karıştırılmalı tank biyooksidasyonu ile iyileştirilmektedir. İşletmede yığın biyooksidasyon yönteminin kullanımını hedefleyen pilot çapta denemeler yapılmıştır. Oluşturulan yığın 125 ton refrakter altın içeren konsantre ve tane iriliği -25+6 mm olan 1082 ton cevher içermektedir. Konsantrenin üzerine kaplandığı malzemeye bağlanması; malzemenin konveyörler ile sahaya yığılması sırasında, konsantrenin püskürtülmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yığın yüksekliği 3.8m'dir. Mezofilik bakterilerden oluşan bir karışımın kullanıldığı sistemde, yığının sıcaklığı alt kısımdan verilen hava ile ayarlanmıştır. Oksitlenmiş konsantreye siyanür liçi uygulanmış ve 8.6 kg/t siyanür tüketimi ile %91.5 Au kazanma verimi elde edilmiştir. Konsantrenin doğrudan siyanür liçine maruz bırakılması durumunda verim değeri %53.8'dir [26].

Yapılan bir çalışmada %22.4 Cu ve %32.5 Fe içeren konsantre; 8cm çapında ve tabanından yeterli miktarda oksijen verilen kolonlarda biyolojik oksidasyona tutulmuşlardır. Kolonlar; 25ml miktarında ve ml'de 10⁸ adet bakteri bulunan mezofilik bakterilerden oluşan bir karışım (35-45 C° sıcaklığında) ile aşılacaktır. 500 gr kalkopirit konsantresi 6.4x13 mm iriliğindeki 3.5 kg kuvars parçaları üzerine kaplanmıştır. pH değeri; bakteriler için besin içeren düşük pH değerli çözeltiler ile, günlük bir litre akış miktarında kontrol altında tutulmuştur. Başlangıç pH değeri 1.5-2.3 arasında iken, deneyin ileri safhalarında demirin çökmesini engellemek için 1.1-1.5 civarında ayarlanmıştır. Gümüşün katalizör olarak kullanıldığı bu şartlar altında 160 gün sonunda bakırın %97'si

çözeltiye alınmıştır. Aynı çalışmada termofilik bakteriler (60-70 C° sıcaklığında) ayrı kolonlarda denenmiş ve az miktarda klorit tuzu içeren ortamda 90 gün sonunda bakır çözünmesi %94 dolayında gerçekleşmiştir [25].

(Petersen ve Dixon, 2002) tarafından %75 kalkopirit ve %7 pirit içeren konsantre, inert cevher üzerine kaplanıp laboratuarda termofilik yığın liçine tabi tutulmuştur. Konsantre, tane iriliği %80 -40 µm olacak şekilde öğütülmüş; granit çakıl taşlarının tane iriliği ise 5-10 mm'dir. Bir kg öğütülmüş kuru konsantre, 600 gr saf su ile karıştırılıp koyu çamur oluşturulmuş; sonrasında kuru granit taşlarının üzerine bağlanmıştır. Yaklaşık olarak 115 gr konsantre, 1 kg granit üzerine kaplanmıştır. Deneylerde kullanılan kolonlar, 10 cm çapında ve 50 cm yüksekliğinde olup; sıcaklığı 30-80 C° değerlerine ayarlanabilen su banyolarına yerleştirilmiştir. Tabanından hava, üst kısımdan ise çözelti verilen kolonlara 320 gr konsantre içeren, 2.8 kg yüklü granit taşları yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılmadan önce bakterilerin konsantre üzerine 3-5 hafta adaptasyonu sağlanmıştır. Aşırı termofilik bakterilerin kullanımı ile 100 gün içerisinde bakır çözünme oranı %95 civarında gerçekleşmiştir [24].

Yığın biyooksidasyon yönteminin düşük tenörlü sfalerit konsantresine uygulanabilirliği araştırılmıştır [23]. Dolomit gibi asit harcayan gang minerallerinin uzaklaştırılması amacıyla konsantre öncelikle ön hazırlama işlemine tabi tutulmuştur. Asit ile ön hazırlanan konsantrede başta %18.1 Zn, %4.51 Fe olmak üzere 0.25 gr/t Au bulunmaktadır. Konsantrenin tane iriliği %80 -53 µm'dir. Konsantrenin bağlanacağı malzeme olarak 19-25 mm iriliğinde granit çakılları seçilmiştir. Konsantre, granit çakıl tanelerine kütsel oran 1:7.5 olacak şekilde bağlanmıştır. Deneylerde kullanılan kolonlar 6.5 m yüksekliğinde ve 1.2 m çapındadır. Kolon içerisindeki sıcaklık 22 sıcaklık ölçer ile tespit edilmiştir. Kolon içerisinde asit dengesinin 1.5-1.8 mertebesine düşürülmesinden sonra, sfalerit konsantresine adapte edilmiş mezofilik bakteri kültüründen oluşan karışım ile kolonlar aşılacaktır. Kolonlara çözelti uygulaması ve hava verilmesi ile sıcaklık değeri maksimum 49 C° olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu şartlar altında 90 gün sonundaki çinko çözünme oranı %91 mertebesindedir.

Yöntem günümüzde işletme ölçeğinde Afrika Pioneer Madencilik'in sahibi olduğu Agnes Altın Madeni'nde (Barberton, Güney Afrika), refrakter nitelikteki altın içeren pirit konsantresinin siyanür liçi öncesinde yığın-biyooksidasyonu amacıyla kullanılmaktadır. Yeraltı madencilik yöntemleri ile işletilen ve altın içeren refrakter sülfürlü cevherden flotasyon yöntemi ile altın içeren konsantre elde edilmektedir. Konsantrenin kaplanacağı malzeme, kırılmış ve elenmiş cevherlerden oluşmaktadır. Bu malzeme yığın makineleri ile zemine yüksekliği 6 m olacak şekilde, saatte 34.5 ton miktarında yığılmaktadır. Oksidasyonun gerçekleştirildiği zemine çift katmanlı jeomembran tabaka serilmiş ve bu iki tabaka arasına sızıntı belirleme sistemi yerleştirilmiştir. Bu zeminin üzerine kırılmış cevherlerden oluşan 1 m kalınlığında bir katman serilmiş ve bunun içersine de yığına düzenli olarak hava verecek olan özel borular yerleştirilmiştir. Yığma işlemi yapılırken konveyörün uç kısmına yerleştirilen bir sistem ile konsantre saatte 4.6 ton miktarında püskürtülmektedir. Yeterli miktarda yığın oluşturulduktan sonra, yığının üst kısmına çözelti dağıtım boruları yerleştirilip yığının oksidasyonu başlatılır. Çözelti 10-30 lt/m²/saat miktarında tatbik edilmektedir. 60 gün olan biyooksidasyon zamanından sonra, oksitlenmiş konsantrelerin üzerine bağlı olduğu malzeme yığın sahasından alınarak tromel elekte yıkanmakta ve konsantreler ayrılmaktadır. Tromel elek altı ürün tükine pompalanmakta, tükine alt ürünü de pH ayarlama tankına gönderilmektedir. Konsantre pülü 6 adet 20 m³ kapasiteli CIL tesisinde siyanür liçine maruz bırakılmaktadır. Yığından süzülen çözelti liç sahası zeminine, buradan da çözelti kanallarına akmakta ve bir seri karıştırılmalı tank içeren nötralizasyon ünitesine gönderilmektedir. Bu ünite karbonat mineralleri içerdiğinden flotasyon tesisi artığı kullanılarak, çözelti ucuz bir şekilde nötrleştirilmekte ve demir çökeltilerek atık barajına pompalanmaktadır [27].

3. SONUÇ

Günümüzde toplam altın üretiminin 1/3'ü refrakter altın yataklarından yapılmaktadır. Bu oran oksitlenmiş, yüze yakın olan altın yataklarının tükenmesi ile giderek artmaktadır [30]. Bunun sonucunda madencilik endüstrisi altın arzının sağlanabilmesi için refrakter altın yataklarına yönelmeye mecbur kalmıştır. Araştırma şirketleri altın üretimi için yeni yöntemleri geliştirmeye başlamışlar ve altının refrakter cevherlerin çok farklı türlerinden kazanımı yönünde atılımlar yapmışlardır.

Refrakter altın cevherlerinin siyanür liçi öncesinde ön iyileştirilmesinde kullanılan kavurma ve basınçlı oksidasyon yöntemleri, sahip oldukları bir takım dezavantajlardan dolayı kullanımları sınırlı kalmıştır [12]. Bakterilerin kullanımıyla gerçekleştirilen biyooksidasyon yönteminin ise; yüksek sıcaklık ve basınç gereksinim duyulan ekipmanlara ihtiyaç duymaması, çevreye zararlı bileşikler oluşturmaması, gerek ilk yatırım, gerekse

işletme maliyetinin diğer yöntemlere göre daha düşük olması ve cevherdeki metal tenörünün çok düşük olması durumunda bile yöntemin ekonomik olarak uygulanabilmesi gibi önemli avantajları bulunmaktadır. Bu üstünlüklerinden dolayı biyoteknolojilerin madencilik endüstrisinde kullanımları giderek artmaktadır. Şöyle ki; 1980'li yıllarda dünya bakır üretiminin yaklaşık olarak %10'u bakteriyel yöntemlerle gerçekleştirilmiş iken, bu oran 1997 yılında %15-30 mertebesine yükselmiştir. Günümüzde üretilen altının %20'sinde ve uranyumun %10-15'inde biyomadencilik uygulamalarının payı vardır [20].

Dünyanın çeşitli bölgelerindeki 13 altın madeninde bakteriyel oksidasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tesislerin 11'inde refrakter altın içeren özellikle pirit ve arsenopirit konsantreleri, karıştırmalı tank biyooksidasyon tekniği ile siyanür liçi öncesi oksidasyona maruz bırakılmaktadır. Newmont Madencilik Şirketi'nin Carlin-Nevada Altın Madeni'nde ise refrakter sülfürlü altın cevheri yığın biyooksidasyonuna tabi tutulduktan sonra, yığın sahasından alınan oksitlenmiş cevher öğütülmekte ve geleneksel siyanür liçi-karbon üzerine adsorpsiyon tekniği ile altın üretimi yapılmaktadır. Agnes Altın Madeni'nde ise flotasyon yöntemi ile elde edilen refrakter nitelikteki altın içeren pirit konsantresi, GEOCOAT® teknolojisi ile siyanür liçi öncesi biyolojik oksidasyona uğramaktadır.

Bakterilerin kullanımı ile karıştırmalı tanklarda biyooksidasyonun gerçekleştirilmesinde; tank içindeki katı madde miktarının %20 ile sınırlı olması, enerji sarfiyatının yüksek olması ve yığın liçinden daha yüksek olan işletme ve yatırım maliyetlerinin karıştırmalı tank biyoliçinin kullanımını yüksek tenörlü cevher veya konsantreler ile sınırlandırması gibi dezavantajlar bulunmaktadır.

Yığın liçi işlemi işletme ve yatırım maliyeti yönünden avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanında cevherin tamamının yığın liçine maruz bırakılması durumunda ince taneciklerin yığının geçirgenliğini düşürüp, hava ve çözelti akışına engel olmasından dolayı çözeltme süresi aşırı uzun olmaktadır. Ayrıca geleneksel yığın liçi işlemi çok düşük tenörlü cevherlere uygulandığından dolayı, birim yığın hacmindeki mineral konsantrasyonu düşük olmaktadır ve bunun sonucu olarak yöntem düşük ısı oluşturma oranına sahiptir. Yığın içersindeki zayıf çözelti ve hava dağılımı ve minerallerin daha büyük taneler içinde kapanım halinde bulunması, etkili ısı üretimine daha fazla engel olmaktadır.

GeoBiotics Şirketince geliştirilen tescilli bir proses olan GEOCOAT® teknolojisi; işletme ölçekte kendini kanıtlamış ve başarılı iki proses olan yığın liçi ve biyooksidasyon yöntemlerini birleştirerek, refrakter altın içeren sülfürlü konsantrelerin yığınlarda biyooksidasyonunu mümkün kılmaktadır. Böylelikle yığın liçi işleminin avantajlarından olan düşük yatırım ve işletme maliyeti özelliği ve yukarıda sıralanan biyooksidasyonun sahip olduğu avantajlar birlikte değerlendirilmektedir. Konsantrenin iri cevher parçaları üzerine kaplanmasıyla yığının birim hacmindeki sülfürlü mineral konsantrasyonu artmakta ve bunun sonucunda yığın içersinde ısı oluşum oranı yükseltilmekte, aynı zamanda yığın içersindeki ince tanelerin yığın geçirgenliğine olan olumsuz etkileri ortadan kaldırılarak yığına verilen çözeltinin ve havanın yığın içersinde düzenli dağılımı sağlanmaktadır. Dolayısıyla cevherin tamamına yığın liçi uygulanması durumunda karşılaşılan uzun liç zamanı gibi önemli bir dezavantaj ortadan kaldırılmış olmaktadır.

Bu avantajlarından dolayı yığınlarda gerçekleştirilen bakteriyel oksidasyon prosesinin, gelecekte refrakter nitelikteki altın cevherlerinin siyanür liçi öncesinde ön iyileştirilmesinde ve diğer metallerin cevherlerden kazanılmasında önemli oranda söz sahibi olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Rawlings, D.E., "Biomining: Theory, Microbes and Industrial Processes", Springer-Verlag, Berlin, (1997).
- [2] Sand, W., Gehrke, T., Hallmann, R. and Schippers, A., "Appl. Microbial. Biotechnol", 43:961-966, (1995).
- [3] Rawlings, D.E., "Microbially Assisted Dissolution of Minerals and its Use in the Mining Industry", Pure Appl. Chem., V:76, 4:847-859, (2004).
- [4] Ndlovu, S., "Biohydrometallurgy for Sustainable Development in the African Minerals Industry", Hydrometallurgy, Article in Press., (2007).
- [5] Brierley, L.C., "Bacterial Oxidation: Master Key to Unlock Refractory Gold Ores?", Engineering & Mining Journal, May, (1995).

- [6] Rawlings, D.E., Dew, D. and Plessis, C.D., “Biomining of Metal Containing ores and Concentrates, Trends in Biotechnology”, V.21, 1:38-44, January, (2003).
- [7] Brierley, L.C. ve Briggs, A.P., “Selection and Sizing of Biooxidation Equipment and Circuits”, Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control, Edited by Andrew, L. Mular, Doug, N. Halbe, Derek, J., published by SME, (2002).
- [8] Norris, P.R., “Thermophiles and Bioleaching, Biomining: Theory, Microbes and Industrial Processes”, ed. D.E. Rawlings, Chapter 12. (1997).
- [9] Seifelnassr, A.A.S., and Abouzeid, A.Z.M., “New Trends in Mineral Processing: Exploitation of Bacterial Activities”, Ore Dressing, 4:18-41, (2000).
- [10] Spencer, A.P., “Influence of Bacterial Culture Selection on the Operation of a Plant Treating Refractory Gold Ore”, Int. J. Miner. Processing, 62:217-229, (2001).
- [11] Brandl, H., “Microbial Leaching of Metals”, Zürich, Switzerland, <http://www.infomine.com>, (2005).
- [12] Çelik, H., “Refrakter Altın Cevherlerinin/Konsantrelerinin Ön İyileştirilmesinde Biyooksidasyon Yönteminin Kullanımı”, MADENCİLİK, Cilt 44, 3:35-46, Eylül, (2005).
- [13] Deng, T.L., Liao, M.X., Wang, M.H., Chen, Y.W. and Belzile, N., “Investigation of Accelerating Parameters for the Biooxidation of Low Grade Refractory Gold Ores”, Minerals Engineering, 13:1543-1553, (2000).
- [14] Bouffard, S.C. and Dixon, D.G., “Heap Biooxidation of Refractory Gold Ores: Current State of the Art”, Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., 25:159-192, (2004).
- [15] Drescher, W.H., “Copper Applications in Mining and Extraction”, <http://www.copper.org/innovations/2004/05/>
- [16] Brierley, J.A. and Brierley, C.L., “Present and Future Commercial Applications of Biohydrometallurgy”, Hydrometallurgy, 59:233-239, (2001).
- [17] Brierley, J.A., “Response of Microbial Systems to Thermal Stress in Biooxidation Heap Pretreatment of Refractory Gold Ores”, Hydrometallurgy, 71:13-19, (2003).
- [18] McCready, R.G. and Gould, W.D., “Bioleaching of Uranium”, Ehrlich, H.L. and Brierley, C.L. (Eds.), Microbial Mineral Recovery, McGraw-Hill, New York, p.107, (1990).
- [19] Williams, T., Hunter, C. and Arnall, B., “Pacific Ore Technology’s Bacterial Leaching of Chalcopyrite”, http://www.pacificore.com.au/uploads/media/POTCopper_paper.pdf, (2007).
- [20] Brombacher, C., Bachofen, R. and Brandl, H., “Biohydrometallurgical Processing of Solids: a Patent Review”, Appl. Microbiol. Biotechnol, 48:577-587, (1997).
- [21] İnternet (a), Lesson 12: topic. BIOMINING, http://www.rocw.raifoundation.org /.../MscBioinformatics/enviraentalbiotechnology/lecture_notes/lecture-12.pdf, (2007).
- [22] Harvey, T., “It’s a bug’s life”, World Mining Equipment, March, (2005).
- [23] Sampson, M.I., Van der Merwe, J.W., Harvey, T.J. and Bath, M.D., “Testing the Ability of a Low Grade Sphalerite Concentrate to Achieve Autothermality During Biooxidation Heap Leaching”, Minerals Engineering, 18:42-437, (2005).
- [24] Petersen, J. and Dixon, D.G., “Thermophilic Heap Leaching of a Chalcopyrite Concentrate”, Minerals Engineering, 15:777-785, (2002).
- [25] Johansson, C., Shrader, V., Suissa, J., Adutwum, K. and Kohr, W., “Use of the GEOCOAT Process for the Recovery of Copper from Chalcopyrite”, Presented at IBS Biomin ’99 in Madrid, Spain, (1999).
- [26] Harvey, T.J., Shield, J.W., Richard, M. and Crowell, P.E., “GEOCOAT Biooxidation Demonstration at Ashanti Goldfields Obuasi Operations”, Ghana, West Africa, Presented at Randol Gold Forum, Denver, Colorado, May, (1999).
- [27] İnternet (b), Geobiotics Technologies, <http://www.geobiotics.com>, (2008).
- [28] Harvey, T.J., Holder, N. and Stanek, T., “Thermophilic Bioleaching of Chalcopyrite Concentrates with GEOCOAT Process”, Presented at Alta Nickel/Cobalt-Copper Conference, Perth, Australia. (2002a).
- [29] Harvey, T.J., Van der Merwe, J.W. and Afewu, K., “The Application of the GeoBiotics GEOCOAT Biooxidation Technology for the Treatment of Sphalerite at Kumba Resources Rosh Pinah Mine”, Minerals Engineering, 15:823-829, (2002b).
- [30] İnternet (c), Refractory Gold-Bacox, <http://www.mintek.co.za>, (2004).