

# ALTIN MADENCİLİĞİNDE BİYOOKSİDASYON UYGULAMALARI VE GELİŞMELER

## Biooxidation Applications and Developments in Gold Mining

Geliş (received) 09 Şubat (February) 2009; Kabul (accepted) 02 Nisan (April) 2009

Hasan ÇİFTÇİ (\*)  
Ata AKÇİL (\*\*)

### ÖZET

Biyooksidasyon, günümüzde refrakter altın cevherleri ve konsantrelerinin siyanür liçi öncesi oksidasyonu için bilimsel olarak kanıtlanmış endüstriyel bir yöntemdir. Biyooksidasyon prosesi, gelişimleri için enerji kaynağı olarak ferros demiri ve/veya sülfürü kullanan kemolitotrofik mikroorganizmaların faaliyetine dayanmaktadır. Günümüzde, piritik/arsenopiritik refrakter altın cevherleri ve konsantrelerinin biyooksidasyonu için yığın ve sürekli karıştırılmalı tank reaktörlerin kullanıldığı endüstriyel prosesler geliştirilmiştir. Bu makalede, refrakter altın cevherleri ve konsantrelerinin ön işleme için geliştirilmiş biyooksidasyon uygulamaları ve endüstriyel gelişmeler incelenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Altın, Biyooksidasyon, Mikroorganizma, Refrakter altın cevheri/konsantresi, Ön işlem

### ABSTRACT

Biooxidation is now a scientifically proven commercial technique for the oxidation of refractory sulphide gold ores and concentrates ahead of cyanide leaching. The process is based on the activity of chemolithoautotrophic microorganisms which are able to use ferrous iron and/or sulphur as their energy source. Currently, there are commercial processes that are carried on using heaps and continuous stirred tank reactors for the biooxidation of pyritic/arsenopyritic refractory gold ores and concentrates. In this article, commercial developments and biooxidation applications which developed for the pretreatment of refractory gold ores and concentrates were investigated.

**Keywords:** Gold, Biooxidation, Microorganism, Refractory gold ore/concentrate, Pretreatment

---

(\*) Dr., S.D.Ü., Müh. Mim. Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, ISPARTA, e-mail: hasan@mmf.sdu.edu.tr

(\*\*) Doç. Dr., S.D.Ü., Müh. Mim. Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, ISPARTA,

## 1. GİRİŞ

Altın cevherleri genel olarak; serbest altın cevherleri, kompleks cevherler ve refrakter cevherler olmak üzere sınıflandırılabilirler. Serbest altın içeren cevherlerden (%80'i <75 µm) direkt siyanür liçiyile %90'ın üzerinde bir verimle altın kazanımı elde edilmektedir. Oldukça yüksek siyanür ve oksijen tüketimi ile kabul edilebilir seviyede altın kazanımının elde edildiği cevherlere ise kompleks altın cevherleri denilmektedir. Yüksek miktarda reaktif ilavelerinde dahi ekonomik olarak altın kazanımı (<%80 Au) elde edilemeyen cevherlere de refrakter tipte cevherler denilmektedir (La Brooy vd., 1994).

Cevher/konsantrenin refrakterliğine bağlı olarak ön işlem gerçekleştirilmeden cevherdeki altının sadece %30-50'si kazanılmasına karşın, biyooksidasyon sonucunda siyanür liçi ile %95'in üzerinde altın kazanımına ulaşılmaktadır (Rawlings, 2002; 2004).

Altın cevherlerinde refrakterliği etkileyen başlıca mineralojik faktörler aşağıda verilmiştir (Komnitsas ve Pooley, 1989; Gasparrini, 1993; Oktay vd., 2001):

- Sülfürlü mineraller (özellikle pirit ve arsenopirit) içerisinde çok küçük boyutta dağılmış altın tanelerinin kapanım halinde bulunması nedeniyle altının siyanür çözeltisi ile temasının mümkün olmaması,
- Siyanisitleri oluşturan bazı sülfürlü minerallerin cevherde bulunması ve aşırı siyanür tüketimine neden olmaları,
- Siyanür liçinde altının çözünmesinde önemli olan oksijeni tüketen ferros demir (Fe<sup>+2</sup>), sülfid (SO<sub>3</sub><sup>-2</sup>), tiyosülfat (S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>-2</sup>) ve arsenit (As<sup>+3</sup>) iyonlarının oluşmasına neden olan minerallerin bulunması,
- Siyanürle çözeltilmeye geçen altını adsorblayan karbon içeren bileşiklerin ve killerin cevher bünyesinde bulunmasıdır.

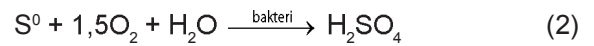
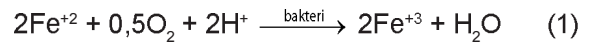
Biyooksidasyon, günümüzde refrakter tipte altın cevher ve konsantrelerinin oksidasyonu için kanıtlanmış endüstriyel bir yöntemdir. Endüstriyel ölçekte ilk olarak 1986 yılında Fairview (Güney Afrika) madeninde uygulanmaya başlanan bu yöntem, siyanüleme işleminde yüksek altın kazanımı elde etmek amacıyla pirit ve arsenopiritin oksidasyonu/çözündürülmesi için günümüzde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır

(van Aswegen vd., 1991; 2007; Brierley ve Briggs, 2002; Rawlings, 2002; Ehrlich, 2004, Brierley, 2008a).

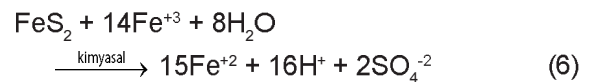
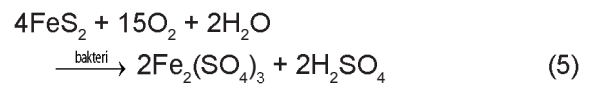
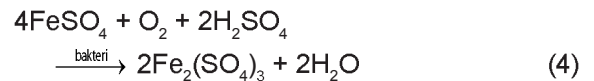
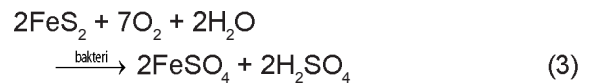
Biyooksidasyon, düşük yatırım ve işletme maliyeti sunması, yüksek sıcaklık ve basınçlarda çalışan ekipmanlara ihtiyaç duymaması, tesis tasarımındaki basitlikten dolayı işletmeye geçiş süresinin kısa sürmesi, yüksek rezervli ve düşük tenörlü refrakter altın cevherlerinin ön zenginleştirme işlemine tabi tutulmadan ucuz bir şekilde oksidasyon işleminin (yığın liçi) uygulanması ve çevresel açıdan daha uygun olması gibi avantajları bulunmaktadır. Yöntemin sahip olduğu dezavantajlar ise, düşük tepkime hızından dolayı oksidasyonun uzun zaman alması, düşük katı oranı ve metallerin bakteriler üzerine toksik etkisi olarak sıralanabilir (Komnitsas ve Pooley, 1989; Fraser vd., 1991; La Brooy vd., 1994; Crundwell, 1995).

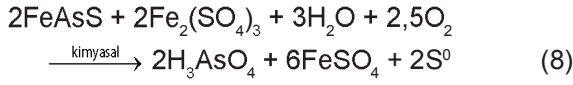
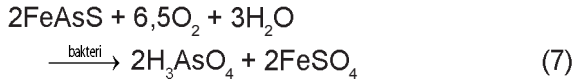
## 2. MEKANİZMA

Biyooksidasyon işleminde asidik ortamda ve farklı sıcaklıklarda gelişen farklı bakteri/arke kültürleri kullanılmaktadır. Bu tür mikroorganizmalar, gelişimleri ve faaliyetlerini sürdürebilmeleri için gerekli enerjiyi demir(II)'yi (Tepkime 1) ve/veya elementer sülfürü (Tepkime 2) oksitleyerek elde etmektedirler (Ehrlich, 1996).



Refrakter altın cevherlerinde bulunan pirit ve arsenopiritin biyooksidasyonu boyunca meydana gelen başlıca tepkimeler, Tepkime 3–8'de görülmektedir.





Biyooksidasyon işleminde kullanılan mikroorganizmalar; mezofilik, orta ve yüksek derecede termofilik kültürler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar. Mezofilik bakteriler, optimum olarak 30-40°C sıcaklık aralığında gelişmektedirler. Bu grupta yer alan en önemli ve liç işleminde en fazla kullanılan bakteriler *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*'tir. Orta derecede termofilik bakteriler optimum olarak 45-55°C sıcaklık aralığında gelişmekte olup bu grubun en fazla bilinen türleri *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* ve *Sulfobacillus acidophilus*'tur. Yüksek derecede termofilik kültürler ise 60-80°C arasındaki sıcaklıklarda gelişimlerini sürdürmektedirler. Termofilik kültürler; *Sulfolobus* sp., *Acidianus* sp., *Metallosphaera* sp. ve *Sulfurococcus* sp. olmak üzere dört gruba ayrılmaktadırlar (Rawlings, 2002; Olson vd., 2003).

Mezofilik demir ve sülfür oksitleyici bakteriler (*Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* ve *Acidithiobacillus thiooxidans*), orta ve yüksek derecede termofilik kültürler

sülfürlü cevher ve konsantrelerin biyoliçinde/ biyooksidasyonunda geniş bir şekilde kullanılmaktadırlar (Brierley, 2008b).

### 3. ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR

Piritik/arsenopiritik refrakter altın cevher/ konsantrelerinin sürekli karıştırılmalı tanklarda biyooksidasyonu için; BIOX®, BacTech ve Mintek-BacTech prosesleri geliştirilmiş ve endüstriyel ölçekte uygulanmaktadır (Rawlings vd., 2003). Bu teknolojilerin günümüzde kullanıldığı ve yakın zamanda kullanılması planlanan tesisler Çizelge 1'de gösterilmiştir. BIOX® prosesi, Gencor Proses Araştırma Şirketi (Johannesburg, Güney Afrika) tarafından 1970'lerin sonlarında geliştirilmiştir (Dew, 1995; Dew vd., 1997; Rawlings, 1998). 1984 yılında bir BIOX® pilot tesisinin kurulması ve bunu takiben 1986'da Fairview (Güney Afrika) madeninde prosesin ilk endüstriyel uygulaması gerçekleştirilmiştir (van Aswegen vd., 1988; Brierley ve Briggs, 2002; Rawlings, 2002; 2008; Akcil, 2004). Bu bakımdan Fairview tesisi bu prosesin gelişmesinde çok önemli bir rol oynamıştır (van Niekerk ve van Aswegen, 2007). Daha sonraki yıllarda Brezilya (Sao Bento), Avustralya (Harbour Lights, Wiluna, Fosterville), Peru (Tamboraque), Gana (Sansu) ve Kazakistan (Suzdal) gibi ülkelerde de biyooksidasyon tesisleri kurulmuştur.

Çizelge 1. Refrakter Altın Konsantresinin Karıştırılmalı Tanklarda Biyooksidasyonun Uygulandığı ve Uygulanacağı Tesisler (Rawlings vd., 2003; van Aswegen vd., 2007; Brierley, 2008a)

Tesis	Kullanılan teknoloji	Kapasite, t/gün	İşletmeye geçiş
Fairview, Güney Afrika	BIOX®	55	1986
Sao Bento, Brezilya <sup>a</sup>	BIOX®	380	1990
Harbour Lights, Avustralya <sup>b</sup>	BIOX®	40	1991
Wiluna, Avustralya	BIOX®	158	1993
Sansu, Gana	BIOX®	960	1994
Youanmi, Avustralya <sup>c</sup>	BacTech	120	1994
Tamboraque, Peru <sup>d</sup>	BIOX®	60	1998
Beaconsfield, Avustralya	Mintek-BacTech	68	1999
Laizhou, Çin	Mintek-BacTech	100	2001
Fosterville, Avustralya	BIOX®	211	2005
Suzdal, Kazakistan	BIOX®	196	2005
Bogoso, Gana	BIOX®	750	2006
Jinfeng, Çin	BIOX®	790	2006
Kokpatas, Özbekistan	BIOX®	2.163	2008
Amantaytau, Özbekistan <sup>e</sup>	BIOX®	1.158	-
TVX, Yunanistan <sup>e</sup>	BIOX®	713	-

<sup>a</sup> BIOX® reaktörleri, yeterli konsantrenin olmaması sebebiyle bakımdadır.

<sup>b</sup> Cevherin tükenmesi sonucunda madencilik faaliyetleri 1999'da bitirildi ve tesis kapatıldı.

<sup>c</sup> Yüksek madencilik maliyetlerinden dolayı tesis 1998'de kapatıldı.

<sup>d</sup> Madencilik ve mali problemler nedeniyle tesis 2003'de kapatılmış olup, 2006 yılında tekrar işletmeye alınmıştır.

<sup>e</sup> Şu anda tasarım ve yapım aşamasında olan ve yakın zamanda işletilecek tesisler.

Gencor Proses Araştırma Şirketi ile Gold Fields Ltd. Şirketi 1998'de birleşmiş ve günümüzde BIOX® prosesinin teknolojisi Gold Fields Ltd. Şirketine bağlı Biomin Technologies Ltd. tarafından işletilmektedir. BIOX® prosesi genel olarak, paralel olarak işletilen üç birincil reaktör ve buna takip eden seri halinde üç ikincil reaktörü içeren altı adet eşit boyutta reaktörden oluşmaktadır (Şekil 1). BIOX® prosesinde, flotasyon konsantrisinin tane boyutu %80'i -75µm ve %100'ü -150µm olacak şekilde öğütülmektedir. Stok tanktan birincil reaktörlere %20 katı oranında konsantre beslenmektedir.

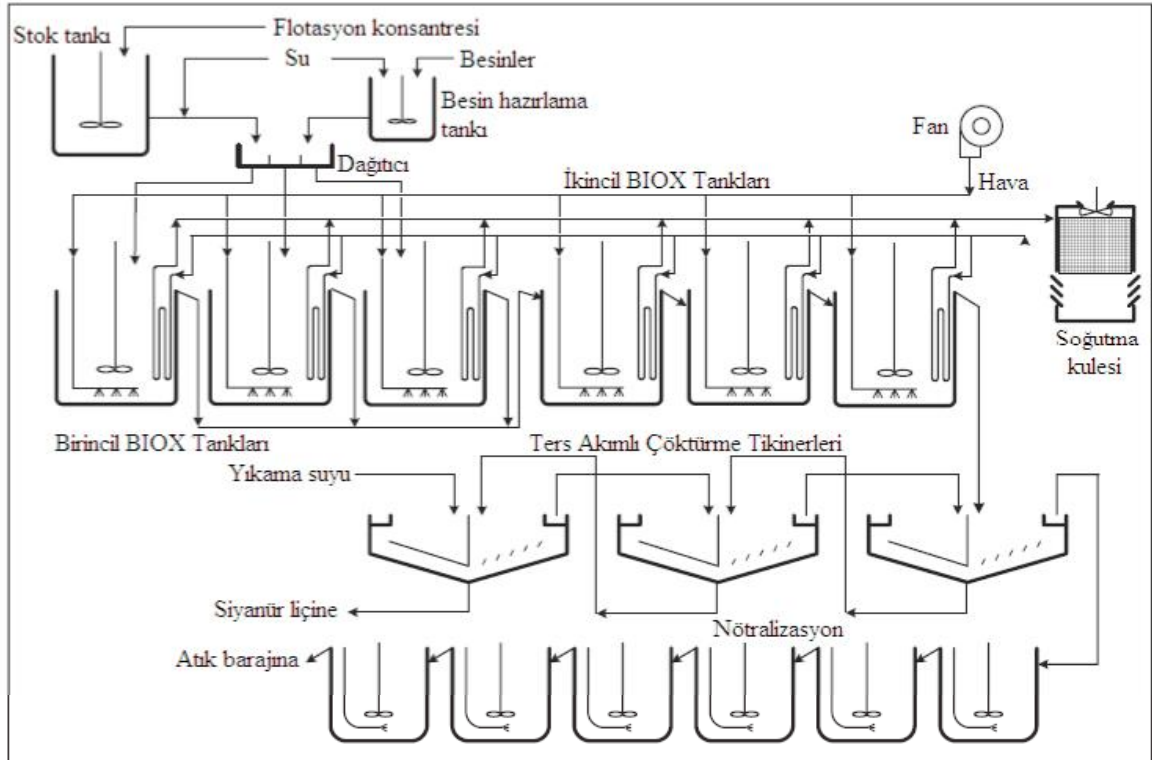
Proseste karışık mezofilik bakteri kültürü (*At. ferrooxidans*, *At. thiooxidans* ve *L. ferrooxidans*) kullanılmakta ve proses 40–45°C sıcaklık aralığında işletilmektedir. Cevherin/konsantrinin oksidasyonunun %50-60'ı birincil reaktörlerde gerçekleştirilmektedir. Minerallerin oksidasyonu, ekzotermik (ısı veren) bir tepkime olması sebebiyle proseste sıcaklık kontrolü gerekli olup reaktörlerin içerisine yerleştirilmiş bir dizi soğutma boruları aracılığıyla soğutulmaktadır (Rawlings, 2002). Bakterilerin gelişimi ve sülfürlü minerallerin oksidasyonu için gerekli oksijen, reaktörlere düşük basınçlı hava verilmesi ile sağlanmaktadır (Arrascue ve van Niekerk, 2006).

Pulpta çözülmüş oksijen derişiminin 2 ppm'den daha yüksek tutulması son derece önemlidir (van Aswegen vd., 2007). BIOX® prosesinin işletme parametrelerinin bir özeti Çizelge 2'de listelenmiştir.

Çizelge 2. BIOX® Prosesinin İşletme Parametreleri (Arrascue ve van Niekerk, 2006; van Aswegen vd., 2007)

Parametreler	
Sıcaklık	40–45°C
pH	1,2–1,6
Besleme katı oranı	%20
Çözülmüş oksijen	> 2 ppm
Oksidasyon süresi	4–6 gün
Bakteriler için besinler	Amonyum, potasyum ve fosfor tuzları

Biyooksidasyon aşamasından sonra oksitlenmiş cevher/konsantre, ters akımlı çöktürme tanklarında (dekantasyon tikinelerinde) yıkanmakta, liç çözeltisi çöktürme tankında üst akım olarak taşarken altın içeren katı taneler çöktürme tankı alt akımından alınmakta ve pH ayarlanmasından sonra siyanür ile liç edilmektedir (Nicholson vd., 1994; Hackl, 1997).



Şekil 1. BIOX® prosesi akım şeması (van Aswegen vd., 2007)

BacTech prosesi, BacTech Madencilik Şirketi (Avustralya) tarafından geliştirilmiş ve ilk olarak 1994 yılında Avustralya'da Youanmi tesisinde uygulanmıştır (Miller, 1997; Brierley, 2008b). Bu tesiste sülfürlü altın konsantresinin biyooksidasyonu için orta derecede termofilik bakteri kültürleri kullanılmıştır (Anon, 2008a). Orta derecede termofilik *Sb. acidophilus* bakteri kültürünün elektron mikroskopunda 10.000 kat büyütmedeki görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. *Sb. acidophilus* bakteri kültürünün elektron mikroskopunda 10.000 kat büyütmedeki görünümü (Anon, 2008b)

BacTech prosenin tasarımı ve işletilmesi BIOX® prosesine oldukça benzemektedir. BacTech prosesi, BacTech Madencilik Şirketi ile Mintek Şirketinin (Güney Afrika) 1997 yılında bakteriyel oksidasyon teknolojilerini birleştirmeleri sonucunda Mintek-BacTech prosesi olarak isim değiştirmiştir. Mintek-BacTech prosesi, 1999 yılında kurulmuş Beaconsfield (Avustralya) ve 2001 yılında kurulmuş Laizhou (Çin) tesislerinde uygulanmakta olup bu tesislerde mezofilik bakteri kültürü kullanılmaktadır (Neale vd., 2000).

Refrakter altın konsantrelerinin biyooksidasyonunda yığın liçi uygulaması olarak kullanılan GEOCOAT® prosesi, Geobiotics Şirketi tarafından geliştirilmiş ve patenti alınmıştır. Bu prosenin akım şeması Şekil 3'de gösterilmiştir. GEOCOAT® prosesinde sülfürlü flotasyon konsantresi veya gravite konsantresi, maden artığı gibi değersiz mineralleri içeren kırılmış ve boyutlandırılmış destek kayacı üzerine pulp halinde püskürtülerek kaplanmaktadır. Bu uygulama, geçirimsiz jeomembran tabakayı içeren bir alanda gerçekleştirilmektedir (Whitlock, 1997).

Proses refrakter sülfürlü altın konsantrelerinin biyooksidasyonu ve bakır, nikel, kobalt, çinko ve çok metalli ana metal konsantrelerinin biyoliçi için uygulanabilmektedir. Destek kayacının tane boyutu genel olarak 6–25mm arasındadır. Destek kayacına 0,5mm'den daha az bir kalınlıkta kaplama gerçekleştirilmektedir. Genel olarak konsantre:destek kayacı oranı 1:7 ile 1:10 arasında olmaktadır. GEOCOAT® prosesinde mezofilik (*At. ferrooxidans*, *At. thiooxidans* ve *L. ferrooxidans*) ve termofilik bakterileri (*Sulfolobus* ve *Acidianus*) içeren demir ve sülfür oksitleyici bakteriler kullanılmaktadır. Oksidasyon 60–120 gün içinde tamamlanmaktadır.

Biyooksidasyondan sonra oksitlenmiş konsantre destek kayacından yaş eleme ile ayrılmakta ve siyanür liçi aşamasına gönderilmektedir. Oksitlenmiş konsantreden ayrılan destek kayacı tekrar biyooksidasyon aşamasında kullanılmaktadır. GEOCOAT® prosesi, African Pioneer Mining (APM) Şirketinin sahip olduğu Agnes madeninde (Güney Afrika) 2003 yılından beri uygulanmaktadır. Bu tesiste yılda 12.000 ton konsantrenin biyooksidasyonu gerçekleştirilmektedir (Harvey ve Bath, 2007).

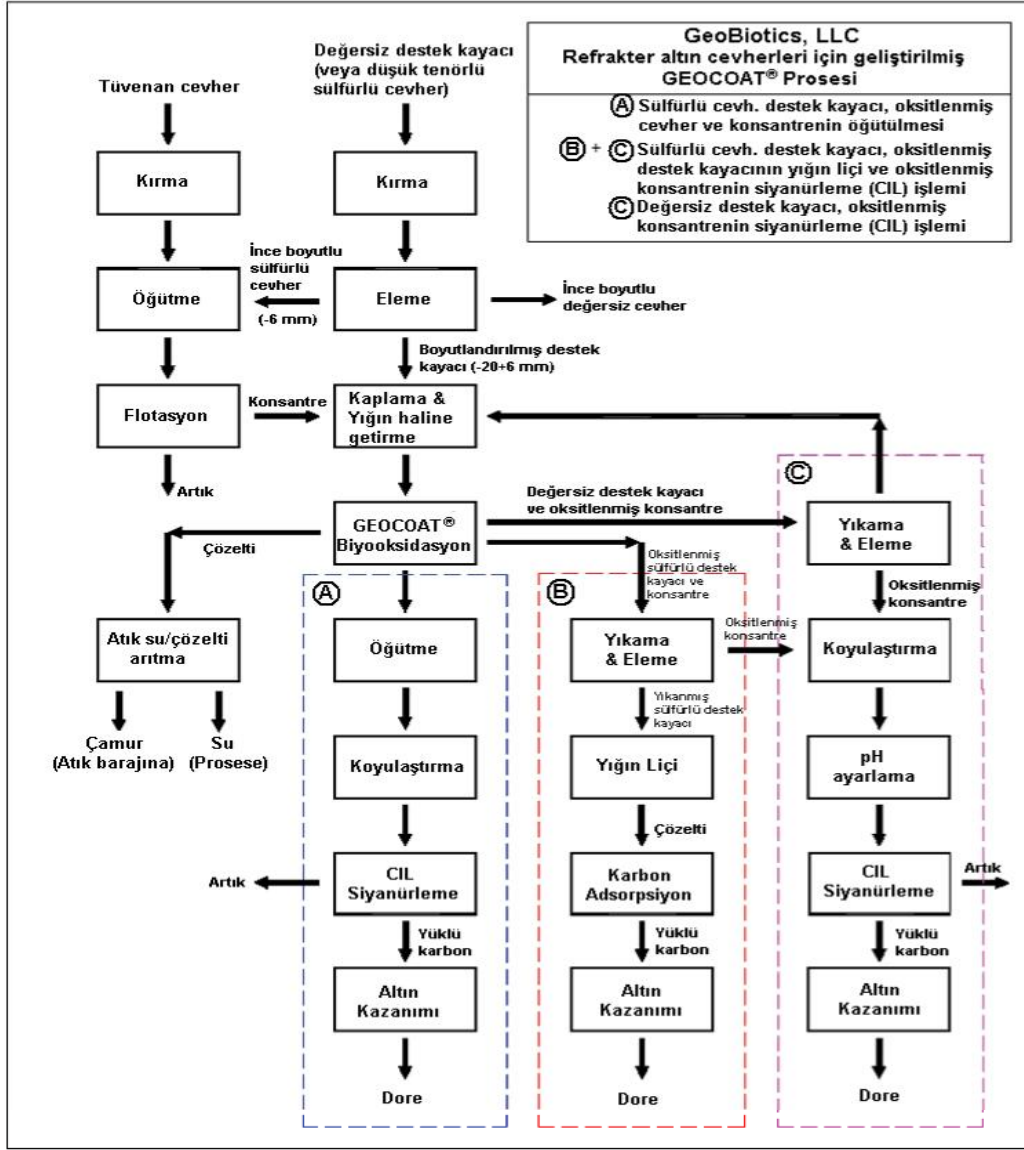
GeoBiotics Şirketi, ayrıca yığın sistemi ile sülfürlü altın cevherlerinin biyooksidasyonu ve diğer metal sülfürlerin biyoliçi için GEOLEACH™ teknolojisi olarak adlandırılan bir proses üzerinde çalışmaktadır. Bu proses, GEOCOAT® prosesine oldukça benzer olmasına karşın, iki proses arasındaki en önemli fark GEOLEACH™ prosenin cevherlere uygulanmasıdır (Harvey ve Bath, 2007).

Biyoteknolojik yöntemlerin, metal madenciliğine (altın, bakır, vb.) yeni bir ufuk açtığı gerek yapılan bilimsel araştırmalarla ve gerekse kurulan endüstriyel tesislerle kanıtlanmıştır. Yapılan bilimsel ve ticari fizibilite çalışmaları, ülkemizde önümüzdeki yıllarda başta sülfürlü refrakter altın cevherleri (Çöpler, Erzincan) olmak üzere, diğer sülfürlü cevher ya da konsantrelerin değerlendirilmesinde biyoteknolojik yöntemlerin gerek çevresel gerekse maliyet açısından alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Akcil, 2004).

Ülkemizde Çöpler (Çukurdere, Erzincan) altın cevheri üzerinde yapılan çalışmada, cevherin doğrudan siyanür liçinde altın kazanım verimi %42'nin altında olmasına karşın, biyoreaktörde

yapılan biyooksidasyon deneyleri sonucunda yaklaşık %98 sülfid oksidasyonu gerçekleşmiş ve oksitlenmiş cevherin siyanür liçinde ise %95'in

üzerinde bir altın kazanım verimi elde edilmiştir (Çiftçi, 2008).



Şekil 3. Refrakter altın cevherleri için geliştirilmiş GEOCOAT® prosesinin akım şeması (Anon, 2008c)

#### 4. SONUÇLAR

Metallerin kazanım yöntemleri, modern teknolojiyle birlikte büyük gelişim göstermektedir. Dünya madenciliği bu teknolojik gelişime paralel olarak, klasik madencilik yöntemleri yerine yeni yöntemlere yönelmektedir. Bu amaçla, biyoteknolojik yöntemler son yirmi beş yılda çok büyük gelişmeler göstermiş ve bu gelişimin yıllarca da devam edeceği öngörülmektedir.

ABD Ulusal Araştırma Konseyinin bir komitesi "metallerin kazanımı ve ekstraksiyonu için biyoteknolojinin kullanılması gittikçe önemi artan bir hidrometalurjik prosestir" ifadesini kullanmıştır (USNRC, 2002).

Biyooksidasyon; basınç oksidasyonu ve kavurmaya göre ekonomik, çevresel ve teknolojik avantajlar sunmaktadır. Biyooksidasyon/biyoliç ile ilgili problemlerden biri, diğer proseslere göre sülfür oksidasyon

hızının düşük olmasıdır. Bu durum, oksidasyon/liç süresinin daha uzun sürmesine neden olmakta ve tank liçinde özellikle büyük hacimli reaktörlerin kullanılmasını gerektirmektedir. BIOX®, BacTech ve Mintek-BacTech gibi endüstriyel ölçekte uygulanan proseslerin geliştirilme aşamalarında yani laboratuvar ve pilot ölçekteki aşamalarında gerçekleştirilen mikroorganizmaların demir ve özellikle arsenik gibi metallerle olan dayanımının artırılmasına yönelik yoğun çalışmalar sonucunda bakterilerin oksidasyon performanslarının artırılması sağlanmıştır. Örneğin, BIOX® prosesinin endüstriyel uygulaması öncesinde yapılan pilot ölçekteki çalışmalarda iki yıllık bir sürede bakteri kültürlerinin arsenik direncinin litrede 1 g'dan 13 g arseniğe çıkarılması, biyooksidasyon süresinin kısılmasındaki önemli etkenlerdendir. Böylece yukarıda bahsedilen biyooksidasyonda sülfürlü minerallerin oksidasyon hızının düşük olması gibi dezavantaj, bakterilerin metallerle dayanımının ve oksidasyon performanslarının artırılması sonucunda belirli bir dereceye kadar ortadan kaldırılmıştır.

*Acidianus* sp. ve *Sulfolobus* sp. gibi yüksek derecede termofilik mikroorganizmalar, mezofilik bakterilere göre sülfürlü mineralleri çok daha hızlı oksitleyebilmektedirler. Bu bakımdan son yıllarda orta ve yüksek derecede termofilik kültürlerin endüstriyel ölçekte refrakter altın cevher/konsantrelerinin oksidasyonunda kullanılmasına yönelik araştırma ve çalışmalar sürdürülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu inceleme makalesini, 1154-D-05 no'lu proje ile destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na ve 107M194 no'lu proje ile destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederiz. Ayrıca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığımız Doç. Dr. Hacı DEVECİ'ye teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Akcil, A., 2004; "Potential Bioleaching Developments Towards Commercial Reality: Turkish Metal Mining's Future", *Minerals Engineering*, **17**, 477-480.

Anon, 2008a; "Technical Summary of Bioleaching and BacTech Processing", <http://www.bactech.com/s/TechDetails.asp>.

Anon, 2008b; "Bioleaching Microbes", <http://wiki.biomine.skelleftea.se/wiki/index.php/Image:Thwx.jpg>.

Anon, 2008c; "GEOCOAT® Process Description", <http://www.geobiotics.com/page.cfm/ID/27/Process-Description>.

Arrascue, M.E.L. ve van Niekerk, J., 2006; "Biooxidation of Arsenopyrite Concentrate Using BIOX® Process: Industrial Experience in Tamboraque, Peru", *Hydrometallurgy*, **83**, 90-96.

Brierley, C.L. ve Briggs, A.P., 2002; "Selection and Sizing of Biooxidation Equipment and Circuits", *Mineral Processing Plant Design, Practice and Control* (Mular, A.L., Halbe, D.N., Barret, D.J., -eds.), Society of Mining Engineers, Littleton, Colo., 1540-1568.

Brierley, C.L., 2008a; "How will biomining be applied in future?", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, **18**, 1302-1310.

Brierley, J.A., 2008b; "A Perspective on Developments in Biohydrometallurgy", *Hydrometallurgy*, **94**, 2-7.

Crundwell, F.K., 1995; "The Prediction of the Bioleaching of Refractory Gold Ores in a Continuous Plant from the Batch Data", *Mineral Bioprocessing*, **2**, 17-39.

Çiftçi, H., 2008; "Refrakter Altın Cevher ve Konsantrelerinin Biyooksidasyonu", Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 356s.

Dew, D.W., 1995; "Comparison of Performance for Continuous Bio-oxidation of Refractory Gold Ore Flotation Concentrates", *Biohydrometallurgical Processing* (Vargas, T., Jerez, C.A., Wiertz, J.V., Toledo, H., -eds.), Santiago, Univ. Chile Press, 239-251.

Dew, D.W., Lawson, E.N. ve Broadhurst, J.L., 1997; "The BIOX® Process for Biooxidation of Gold-bearing Ores or Concentrates". In: *Biomining: Theory, Microbes and Industrial Processes* (Rawlings, D.E., -ed.), Springer-Verlag, Berlin, 45-80.

Ehrlich, H.L., 1996; "Geomicrobiology", Marcel Dekker, New York, NY.

Ehrlich, H.L., 2004; "Beginnings of rational bioleaching and highlights in the development of

- biohydrometallurgy: A brief history", *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*, **4**, 102-112.
- Fraser, K.S., Walton, R.H. ve Wells, J.A., 1991; "Processing of Refractory Gold Ores", *Minerals Engineering*, **4(7-11)**, 1029-1041.
- Gasparrini, C., 1993; "Gold and Other Precious Metals", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 336s.
- Hackl, R.P., 1997; "Commercial Applications of Bacterial-mineral Interactions", *Mineralogical Association of Canada (McIntosh, J.M., Groat, L.A., -eds.)*, 143-167.
- Harvey, T.J. ve Bath, M., 2007; "The Geobiotics GEOCOAT® Technology – Progress and Challenges", *Biomining (Rawlings, D.E., Johnson, B.D., -eds.)*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 97-112.
- Komnitsas, C. ve Pooley, F.D., 1989; "Mineralogical Characteristics and Treatment of Refractory Gold Ores", *Minerals Engineering*, **2(4)**, 449-457.
- La Brooy, S.R., Linge, H.G. ve Walker, G.S., 1994; "Review of Gold Extraction from Ores", *Minerals Engineering*, **7(10)**, 1213-1241.
- Miller, P.C., 1997; "The Design and Operating Practice of Bacterial Oxidation Plant Using Moderate Thermophiles (The BacTech Process)", *Biomining: Theory, Microbes and Industrial Processes (Rawlings, D.E., -ed.)*, RG Landes and Springer-Verlag, Berlin, 81-102.
- Neale, J.W., Pinches, A. ve Deeplaul, V., 2000; "Mintek-BacTech's Bacterial-Oxidation Technology for Refractory Gold Concentrates: Beaconsfield and Beyond", *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, November/December, 415-422.
- Nicholson, H.M., Lunt, D.J., Ritchie, I.C. ve Marais, H.J., 1994; "The Design of the Sansu Concentrator and BIOX facility", In: *Proceedings of the XVth CMMI Congress, Vol. 2*, South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, South Africa, 393-402.
- Oktay, C., Özsuca, D. ve Saklar, S., 2001; "Gümüşhane-Kaletaş Cevherinden Kavurma ve Siyanürleme Yöntemi ile Altın Kazanımı", *MTA Raporu*, Der. No: 10426, 23s.
- Olson, G.J., Brierley, J.A. ve Brierley, C.L., 2003; "Bioleaching Review Part B - Progress in Bioleaching: Applications of Microbial Processes by the Minerals Industries", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **63**, 249-257.
- Rawlings, D.E., 1998; "Industrial Practice and the Biology of Leaching of Metals from Ores, The 1997 Pan Labs Lecture", *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, **20**, 268-274.
- Rawlings, D.E., 2002; "Heavy Metal Mining Using Microbes", *Annu. Rev. Microbiol.*, **56**, 65-91.
- Rawlings, D.E., Dew, D. ve du Plessis, C., 2003; "Biomining of Metal-Containing Ores and Concentrates", *Trends in Biotechnology*, **21(1)**, 38-44.
- Rawlings, D.E., 2004; "Microbially Assisted Dissolution of Minerals and Its Use in the Mining Industry", *Pure Appl. Chem.*, **76(4)**, 847-859.
- Rawlings, D.E., 2008; "High Level Arsenic Resistance in Bacteria Present in Biooxidation Tanks Used to Treat Gold-Bearing Arsenopyrite Concentrates: A Review", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, **18**, 1311-1318.
- USNRC, 2002; United States National Research Council, "Evolutionary and Revolutionary Technologies for Mining", National Academy Press, Washington, D.C.
- Whitlock, J.L., 1997; "Biooxidation of Refractory Gold Ore, The Geobiotics Process", *Biomining: Theory, Microbes and Industrial Processes (Rawlings, D.E., -ed.)*, RG Landes and Springer-Verlag, Berlin, 117-127.
- van Aswegen, P.C., Marais, H.J. ve Haines, A.K., 1988; "Design and Operation of a Commercial Bacterial Oxidation Plant at Fairview", In: *Proceedings of the Perth, International Gold Conference*, Randol, Perth, 181-190.
- van Aswegen, P.C., Godfrey, M.W., Miller, D.M. ve Haines, A.K., 1991; "Developments and Innovations in Bacterial Oxidation of Refractory Ores", *Minerals and Metallurgical Processing*, **8**, 188-192.
- van Aswegen, P.C., van Niekerk, J. ve Olivier, W., 2007; "The BIOX™ Process for the Treatment of Refractory Gold Concentrates", *Biomining (Rawlings, D.E., Johnson, B.D., -eds.)*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1-33.
- van Niekerk, J. ve van Aswegen, P.C., 2007; "The BIOX® Process: Current Status of Operating Plants and Future Developments", 11s. <http://www.bioxgf.co.za/content/publications/publications.asp>.