

Sülfürlü Bakır Cevher ve Konsantrelerinin Bakterilerle Çözünür Hale Getirilmesi

Zekî M. Doğan*

1 — GİRİŞ

Dünyanın bir çok yerinde yüksek tonajda düşük terjörjü bakır cevheri üretimi yapılmaktadır. Üretilen cevherin konsantre edilmesinden meydana gelen artıklarda kalan % 0.1 — 0.2 bakırın eftstraksiyonu ftidrome1£llurjlnin zor problemlerinden birini teşkil etmektedir.

A.B.D. «New Jersey» Zjraat^Tecrübe İstasyonunda yapılan ilk araştırmalarda o zaman tanımını yapılamayan sülfür oksitleyici mikroorganizmalar tarafından pirit ve sülfürlü çinko cevherinin sülfat haline getirildiği izlenmiştir (1), (2).

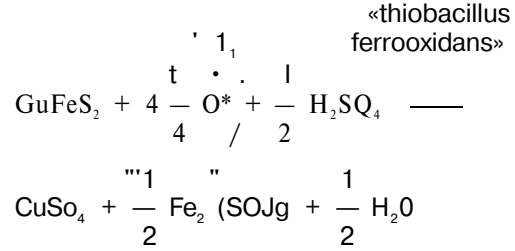
A.B.D. Batı «Virginia» ve «Pennsylvania» eyaletlerinde bulunan kömür ocaklarından dışarıya dökülen maden sularının fazla asitli olması ve yüksek demir konsantrasyonu göstermesi, 1949'da A.R. Colmer, K.L. Temple ve M.E. Hinkle (3) tarafından demir oksitleyici «thiobacillus» cinsi bakterilerin bulunmasına yardımcı olmuştur. «Thiobacillus - ferrooxidans» ismi verilen bu mikroorganizmaların özelliği iki değerli demir iyonunu asitli ortamda çok hızlı oksitlemesidir.

Asitli ortamda bakteriler tarafından demirin oksitlenme özelliği üzerinde yapılan çalışmalar sonunda önce 1954'de İki değerli demiri oksitleyen «ferrobacillus ferrooxidans» (4) ve sonra 1960'da hem demiri hem de kükürdü oksitleyen «ferrobacillus thiooxidans» bakterileri bulunmuştur (5).

Maden ocaklarında ve civarında bulunan «thiobacillus ferrooxidans» cinsi bakteriler iki değerli demir iyonunu üç değerli demire oksitler ve kükürt bileşimlerini indirger ve bu işlemlerden meydana gelen enerjiyi yaşamaları için kullanır. Biyokimyasal ve kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelen sülfürik asit suların pH'nı en az 1.5 değerine düşürmektedir. Böy-

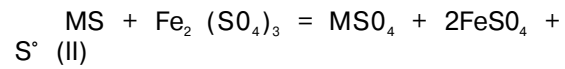
lece doğal olarak meydana gelen asitli sular geçtikleri yerlerde rastladıkları sülfürlü cevherleri oksitleyerek suda çözünür sülfatlar meydana getirmektedirler.

- Kalkopirit «thiobacillus ferrooxidans» tipi bakterilerle asitli ve oksijenli ortamda aşağıda gösterilen şekilde oksitlenmektedir.

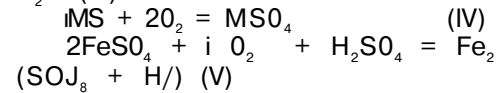
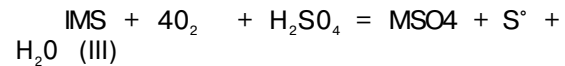


(D -

Mefal sülfidlerinin (MS) demirin katalitik etkiyle oksitlenmesi aşağıdaki formüllerde özetlenmiştir.



M iki değerli bir metal olup bu reaksiyonda üç değerli demir iyonu iki değerli demir iyonuna indirgelenmekte ve kükürtte elemanter kükürde oksitlenmektedir. Ayrıca, oksijen ve sülfürik asitin mevcudiyetinde aşağıdaki reaksiyonlar olmaktadır.



(III) ve (V) numaralı reaksiyonlar özellikle asitli ortamı tercih etmektedir. (IV) numaralı reaksiyon asit olmayan ortamda basınçlı Uç işlemlerinde husule gelmektedir. Bakteriler olmadan atmosferik basınç ve 35°C da metal ekst-

[*) Assoc. Prof. Dr., Maden Müh. Bölümü. O. D.T.Ü. Ankara. Bu mukale, TBTAĞ—350 sayılı proje ile ilgili literatür araştırmasını kapsamaktadır.

raksiyomı, (II), (III) ve (IV) numaralı reaksiyonlarda gösterildiği şekilde gayet yavaş meydana gelmektedir. Diğer taraftan, «thiobacillus ferrooxidans» bakterilerinin mevcudiyetiyle (IV) ve (V) numaralı reaksiyonlar ve sonunda (II) numaralı reaksiyon, mikroorganizmaların anzim etkisiyle kataliz yoluyla hızlanmaktadır (6).

Sülfürlü cevherlerin bakterilerle çözünür hale gelmesi doğada asırlar boyunca süregel-

Arseno-pirit	$rGgnSg&j$
Bravoit	$(Ni.Fe)S$,
Kalkozin	Cu_2S
Kovellit	CuS
Bornit	Cu_5FeS_4
Markasit	FeS
Enargit	$Cu_s (As, SWS,$

Hâlen düşük tenörlü cevher ve flotasyon artık yığınlarından bakır, bakteriler yoluyla elde edilmektedir. «Kennecott» Bakır Şirketi bakterilerle liç metodunu A.B.D. Utah'da Bingham Canyon'da bakır madeninde endüstriyel çapta uygulamaktadır (9), (10).

Endüstriyel çapta bakteri liç metodunun uygulandığı diğer bir mineral de uranyumdur. Bu da Kanada'da (11) Elliot Lake sahası ile Güney Afrika'da (12) yapılmaktadır. Bazı nadir toprak mineraller de uranyum extrasyonu sırasında tâli olarak elde olunmaktadır (13).

Son yıllarda yapılan araştırmalar, bakteri liç metodunun yüksek tenörlü sülfürlü cevher ve konsantrelere de ekonomik olarak uygulanabileceği sonucunu vermiştir (14). Örneğin bakteriler vasıtasıyla kurşun - çinko flotasyon konsantrinden çinkonun ve yüksek fırında elde olunan bakır - kurşun ihtiva eden «mat» dan bakırın selektif olarak çözünür hale getirilmesi mümkün olmuştur (15), (16).

2 — METODLAR

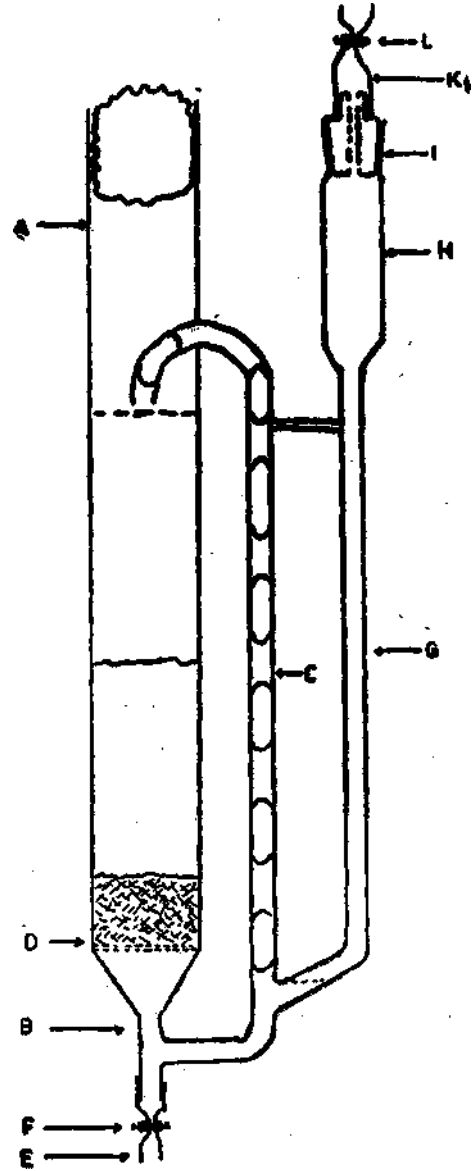
Laboratuvar çapında ilk bakteri liç deneyleri perkolatör cihazı ile yapılmıştır. J.A. De Cuyper (17) tarafından uygulanan teknik aşağıda etraflı olarak izah edilmiştir.

1 numaralı şekilde görülen perkolatör cihazı üstü pamukla tıkalı 40 mm. çapında ve 300 mm. uzunluğundan «pyrex A» tübünden ibaret olup altta daraltılmış «B» kısmında bulunan sabit olmayan delikli «D» diskinin üstü bir tabaka cam yünü ile kaplıdır. «A» tüpü havalandırmanın ve çözeltinin sirkülasyonunun sağlandığı 5 mm çapındaki «C» tüpüne alttan ve üstten birleştirilmiştir. Havalandırma karbon dioksit ve oksijen temin ettiğinden bakterilerin büyümesi için zorunludur. «C» tüpü, basınçlı hava hattına camdan yapılmış «C» tüpü ile bağlı olup

mektedir. Bunun en tipik örneği İspanya'da bulunan Rio Tinto madenidir (7). Burada bakteriler için en uygun ortam meydana gelmiş olmasına rağmen bakterilerin mevcudiyeti ve Uç işleme katkısı ancak 1962 yılında saptanabilmiştir (8).

«Thiobacillus - ferrooxidans» cinsi bakterilerle oksitlenebilen sülfürlü bileşikler aşağıdadır.

Marmatit	$(Zn,Fe)S$
Millerit	NiS
Orpiment	$ASgSg$
Kobaltit	$CoAsS$
Pirit	FeS_2
Sfalerit	ZnS
Stannit	Cu_2FeSnS_4



fftWUI ParkoUtär Cihazı

üstte bulunan pamuklu filitre «H», teflondan yapılmış «I» tıpası ile «k» hortumuna irtibatlıdır. Perkolatör cihazına giren hava miktarı «L» musluğu ile kontrol edilmekte ve F» musluğu ile de cihaz boşaltılabilmektedir. Birçok deney yapmak üzere bir takım perkolatör cihazı güneş ışınlarının girmeyeceği ve ısının 25°C tutulduğu bir kabine içine konmaktadır.

Bu araştırmada kullanılan mikroorganizmalar Kongo Cumhuriyetinin Katanga eyaletinde Luena kömür madenlerindeki suların toplanmıştır. Çözeltilerin pH sı 2.5 olup litrede 1 gram demir ihtiva etmektedir. Besleyici çözeltinin ise kompozisyonu aşağıda verilmiştir.

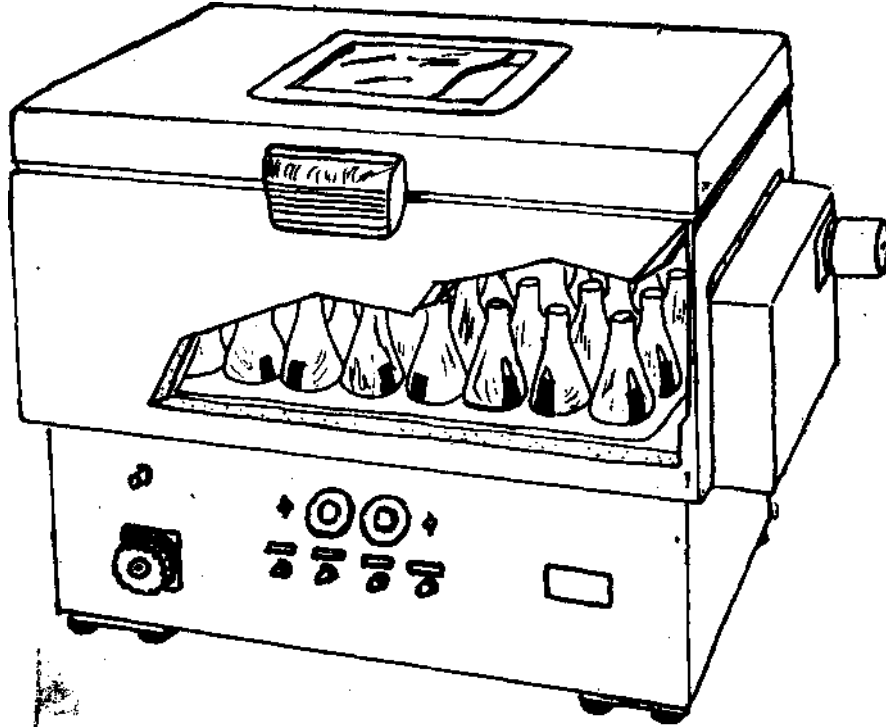
	Grams
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.15
KCl	0.05
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.50
K ₂ HPO ₄	0.05
Ca{NO ₃ MH ₂ O	0.01
Saf su	1000.00 ml

Çözeltiye ya 18 gram toz halde elementer kükürt ya da 10 mi. % 10 luk FeSO₄ veyahut 10 gram CuS ilâve edilir. Bundan amaç çözeltiye oksitleyici özellik vermektir.

Denemeler için British Drug House Ltd. Şirketinden bakır sülfür, Louvain Üniversitesi Mineraloji Bölümünden kalkozin elde edilmiştir.

100 m. besleyici çözelti ve 1 gram kükürt ihtiva eden beherlere birer ml. Luena su numuneleri konarak seri halde yapılan transferlerden sonra L. Bryner ve A.K. Jameson (18) tarafından geliştirilen bir teknik sayesinde th. thiooxidans ATCC No. 8085» in karakterlerine uygun bir sülfür oksitleyici bakteri tecrit edilmiştir. Her iki tip kültür için (kükürt ve bakır sülfür), sülfürlü ortamın pH değeri 7 gün içinde 5 den 1.7 ye düşmüştür, fakat demirli ortamda hiçbir etki görülmemiştir.

Aynı teknik uygulanarak demir ortamında yapılan çalışmalar sonunda, demiri ve sülfürü oksitleyen ve «th. ferrooxidans ATCC No. 13728» e benzeyen ikinci bir mikroorganizma elde edilmiştir. Besleyici çözeltiye bakır sülfür ilâvesiyle deneyler yapılmıştır. 59 gün sonunda 165 mg. bakır çözeltiye geçmiştir. Bakteri ilâve edilmeyen çözeltide ise bu miktar ancak 22 mg. dir. Böylece Luena maden ocaklarındaki suların sülfürlü bileşiklerden bakırın çözünme hızını arttıran bakteriler bulunduğu anlaşılmıştır.



Sakil: 2 Sallantılı ve Mı Kontrollü Inkubator (Kulutka) Cihaz-

Perkolatörde deneyler —200 meşe ufaltılmış 1 gramlık bakır sülfür ve kalkozin numuneleri ile yapılmıştır. Her bir numuneye 50 gram yıkanmış beyaz kum ilâve edilerek ve 100 mi. bakteri ihtiva etmeyen besleyici çözelti ile birlikte perkolatöre konmuştur. Besleyici çözeltinin pH değeri H₂SO₄ ilâvesiyle 1, 2, ve 3 değerlerine getirilmiş sonra besleyici çözelti tazeyle değiştirilmiştir. Bazı perkolatörlere 1 mi. bakteri kültürü ilâve edilmiştir. Belirli zamanlarda çözülden «F» mulsuğu açılarak bir miktar alınmak suretiyle bakır analizi yapılarak, bakır ekstraksiyon oranı saptanmıştır. Yapılan deneylerden sonra bakteriler sayesinde bakır sülfür'den bakırın çözünürlük oranının arttığı izlenmiştir.

Son zamanlarda perkolatör yerine özellikle

	Besleyici çözelti	«9K» besleyici çözeltisi Gram
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.15	3.00
KCl	0.05	0.10
K ₂ HPO ₄	0.05	0.50
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.50	0.50
Ca(NO ₃) ₂	0.01	0.01
Saf su	1000 ml.	700 ml.
FeSO ₄ ·7H ₂ O	10 ml.	300 ml.
	(% 10 luk çözelti]	(% 14.74 lük çözelti)

Kalkopirit numunesi 325 meşin altına ufaltılmış ve bakır bakımından % 95.35 ve demir bakımından % 96.64 saflığı analizle bulunmuştur.

Üç deneyleri 250 mi. lik beherler içinde yapılmış olup herbir behere 1 gram - 325 meşe öğütülmüş kalkopirit ve 2*5 pH'da demir çözeltisi yerine saf suyun bulunduğu 75 ml. «9K» besleyici çözeltisi konmuştur.

Bakteri olmyan kontrol beherlerine üremeyi önlemek için Hg++ iyonları ilâve edilmiştir.

Diğer beherlere, N. Lazaroff (21) un tekniğine göre üretilmiş 8 veya 10 günlük «thiobacillus ferrooxidans» kültüründen üç damla konmuştur. Sonra da beherler inkubatörde karanlıkta 35°C de ve dakikada 180 devirde sallantıya tâbi tutulmuştur. Zaman zaman çözülden 1 mi. alınmak suretiyle bakır ve demir analizleri yapılarak bakır ekstraksiyon oranı saptanmıştır.

Yukarıda izah edilen lâboratuvar tekniklerine ilâveten bakteri liç deneyleri silindirik tank ile perkolasyon liç tekniğine dayanan kolonlarda yapılmaktadır.

ısır kontrollü sallantılı inktibatör (kuluçka) cihazı, lâboratuvar bakteri liç deneyleri için kullanılmaktadır. New Brunswick Scientific Co., Inc. New Brunswick, N.J. A.B.D. firması tarafından imâl edilen bu cihaz 2 numaralı şekilde görülmektedir. Ekstraksiyon deneyleri karanlıkta 35°C de ve dakikada 180 devir sallantıda yapılmaktadır.

D.W. Duncan, P.C. Trüssel, ve C.C. Wallen (19) tarafından kalkopirite uygulanan teknik aşağıda izah edilmiştir.

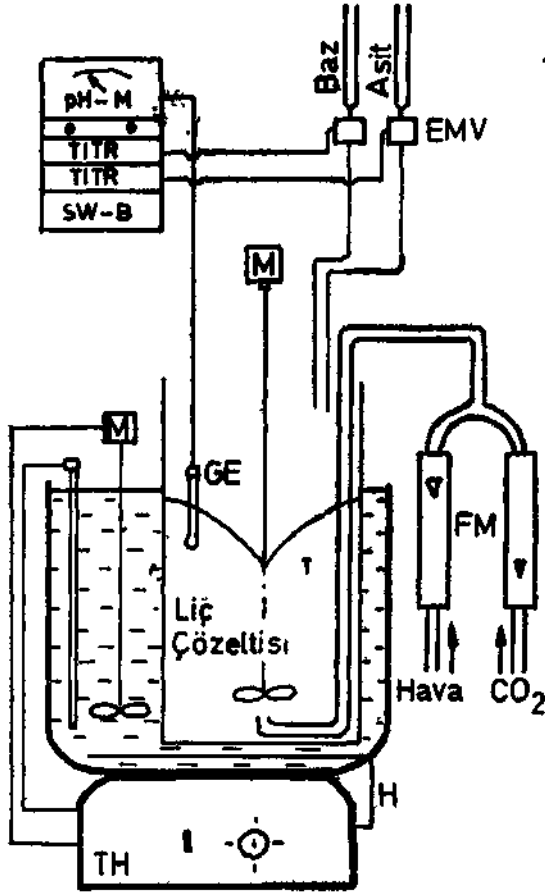
Thiooxidans ferrooxidans bakterileri Howe Sound Mining Co. ye ait Britannie madeninin sularından elde edilmiş 35°C da M.P. Silverman ve DiG. Lundgren (20) tarafından geliştirilen «9K» besleyici çözeltisinde üretilmiştir.

A.E. Torma (6), sülfürlü kobalt ve nikel cevherlerine ait bakteri liç deneylerini 3 numaralı şekilde görülen % 15 — 25 palp yoğunluğunda 8 litre çözelti ve karıştırıcı ihtiva eden ısı kontrollü silindir tankta yapmıştır. Bütün deneyler 2.3 pH da, 35°C de ve 0.2 % CO₂ ihtiva eden hava verilerek yapılmıştır. Kolon liç deneyleri D.W. Duncan, C.C. Waiden, P.C.

Trussel, ve EA. Lowe (22) tarafından — incin

altına kırılmış ve 100 librelilik kalkopirit cevheriyle 5 ayak uzunluğunda ve 6 pus çapındaki kolonlarda yapılmıştır. 1 litre bakteri kültürü kullanılmış ye sirküle eden hacim 10 litreye su ile tamamlanmış ve ilk. pH 2.4 ve 2.8'e ayarlanmıştır. Liç çözeltisi mineral yatağı içinden sürekli olarak dakikada 25 mi. oranında devrettirilmiştir. pH önce H₂SO₄ ile sonra da Na OH ile ayarlanmıştır. Kolon liç deneyleri sonradan yapılması düşünülen cevher yığınlarına icra edilecek endüstriyel çapta liç işlemi için gerekli doneleri vermektedir.

Optimum bakteri liç parametrelerini elde edilmesi mümkün olmakla beraber laboratuvar da sonuçların endüstriyel çapta cevher yığınlarına uygulanması o kadar basit değildir (23).



EMV :	Manyetik Valf
FM :	Manometre
6E :	Kombin* Cam Elektrot
H :	Isıtıcı
pH-M :	pH Mtrr*
SW-B :	Elektrik Tablası
T :	Lif Tankı
TH :	İM Kontrollü Su Ban y or u
TITR :	Titrasyon
M :	Motor

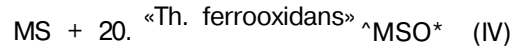
Şikil.3 İst Kontrollü Tank ttç. Cihazı

Zira düşük tenörlü cevher yığınlarında yapılan bakteri uç işleminde asit ortamını devam ettirmede zoriufkar mevcuttur. Diğer taraftan bir bakır konsantrisinde pâlpin pH değerini yükselten bazik unsurlar konsantrasyon işlemi sırasında gang halinde atılmaktadır. Ayrıca optimum uç işleminde sirküle eden havada % 0.2 oranında CO₂ olmalıdır. Ayrıca bakterilerin daha faal olabilmesi için oksijene ihtiyaç hasıl olduğundan bunun da kuvvetli havalandırma ile sağlanması mümkündür. Endüstriyel çapta cevher yığınlarına uygulanacak ve «in situ» yerinde liç işlemlerinde bu iki parametrenin kontrolü oldukça zordun

3 — BAKTERİ UÇ PARAMETRELERİ

3.1 — Cevher Tane Büyüklüğü

Sülfürlü bakır cevher veya konsantrilerinin çözünür hale gelmesi mikroorganizmaların mineral yüzeyleriyle teması ile aşağıda gösterilen denkleme göre meydana gelmektedir.



Bakterilerin mineralin iç kısmına girmesi ancak dış yüzeyinin çözünür hale gelmesiyle kabil olur. Mikroorganizmaların faaliyeti için geniş yüzey alanı önemli bir faktör olduğundan Uç çözeltisinin birim hacmine isabet eden daha büyük mineral yüzey alanı metal ekstraksiyonu oranını arttırmaktadır. Başka bir deyimle tane büyüklüğü ufaldıkça yüzey artacağından bakterilere metal çözünürlüğü de artmaktadır.

E.F. Malouf ve J.D. Prater (9) piritin bakterilerle çözünürlüğü için optimum tane büyüklüğünü —325 meş olarak saptamışlardır.

A.E. Torma ve G. Regault (23A) kalkopiritle % 8 life palp yoğunluğunda yaptıkları bakteri liç deneyinde % 62 iik bir değerden sonra bakır ekstraksiyonu durduğu izlenmiştir. Zira, mineralin yüzeyi bazik ferrik sülfatla ve gang mineraliyle kaplanmaktadır. Diğer taraftan kalkopirit

yeniden öğütülürse yeni yüzeyler meydana geldiğinden bakteri liç işlemi ikinci kademe de tamamlanmakta ve bakır ekstraksiyonu % 95 e ulaşmaktadır.

3.2. CO₂ ve O₂,

«T. ferrooxidans «bakterileri karbondioksiti (CO₂) ve molekular oksijeni (O₂) havadan elde etmekte olup CO₂ i büyüme için karbon kaynağı olarak ve moleküler oksijeni de iki değerli demirin oksitlenmesinden (24) ve inorganik sülfür bileşimlerinin indirgenmesinden (25) enerji kaynağı olarak kullanmaktadır.

ZnS konsantrasyonu laboratuvar çapında yapılan bakteri liç deneylerinde havadaki karbon dioksit % 0.23 e yükseltildiği vakit çinko ekstraksiyonu en yüksek değere ulaşmaktadır (26).

Sülfürlü minerallerin liç işlemi sırasında çözeltideki oksijen miktarı 0.2 — 0.5 ppm (milyonda bir kısım) civarındadır (27). Bu konuda fazla bir bilgi mevcut değildir.

3.3. Besleyici Çözelti

Değiştirilmiş «gk» besleyici çözeltisinin terkibi şöyledir :

	Gram
(NH ₄) ₂ SO ₄	3.0
K ₂ HPO ₄	0.5
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.5
Ca(NO ₃) ₂	0.01
KCl	0.1
Saf Su	1000.0

Burada H₂SO₄, pH kontrolü için ilâve edilir.

Bakterilerin faaliyetinde özellikle çözeltideki amonyum fosfat ve dipotasyum hidrojen fosfat konsantrasyonları çok önemlidir. (28) Optimum miktarlar amonyum sülfat için litrede 3 gram ve dipotasyum hidrojen sülfat için litrede 0.5 gramdır.

Diğer taraftan nitrat, kalsiyum, potasyum ve klorürün çözeltide bulunmayışının sülfürlü minerallerin oksitlenmesine belirli etkisi yoktur. Zira bu gibi besleyicilere mikroorganizmalar tarafından çok az miktarda ihtiyaç olduğundan ve bu da deneylerde kullanılan sülfürlü minerallerin terkinde yabancı madde olarak mevcuttur.

3.4. Isı Derecesi

Bakterilerin Fe⁺⁺ iyonlarını Fe⁺⁺⁺ iyonlarına çevirmede ısı derecesinin etkisi fazladır ve optimum ısı derecesi 35*0 olarak saptanmıştır. Isı 35*0 in altına düştüğünde bakteri faaliyeti de azalmakta, sıvının donma noktası-

na doğru en az fonksiyon göstermektedir. Isj, 45°C nin üstünde olduğu vakit mikroorganizmalar ölmektedir (9), (28).

3.5. pH

Oksitleyici mikroorganizmalar özellikle asit ortamda faaliyet gösterirler. En uygun pK değerleri 1.5 ile 3.5 arasında olup optimum pH 2.3 dür. pH 1 'in altına ve 5 in üstüne çıkarıldığında bakterilerin üremelerine engel olunmakta ve alkali ortamda (pH 9) yok olmaktadır (9), (28).

Bu pH değerleri (1.5 — 3.5), Fe⁺⁺⁺ iyonlarının mevcut olduğu ortama karşıt olmaktadır, zira pH 3.0 değerinin üstüne çıktığında Fe⁺⁺⁺ iyonları Fe (OH)₃ olarak çökmeğe başlamaktadır.

«Thiobacillus ferrooxidans» bakterileriyle S.M. Ahmed (29) tarafından yapılan elektrokinetik etüdlerle KNO₃, KCl, Fe⁺⁺, Fe⁺⁺⁺, NH₄⁺, Mg⁺⁺ ve Ca⁺⁺ iyonlarının bulunduğu àsit ortamda yüzeylerin hiçbir elektrik yüküne sahip olmadığı izlenmiştir. Bakterilerin bu ortamda nötr kalışları yüzeylerinin koruyucu bir membranla kaplı olmalarından ileri gelmektedir. Diğer taraftan KNO₃ ve KCl ihtiva eden alkali ortamda bakteri yüzeyleri negatif yüke sahip olmaktadır. Bu da koruyucu membranın yırtılmasıyla ve hücre yüzeylerinde R< c o b - gruplarının meydana gelmesiyle izah edilmektedir.

3.5. Bakteri Konsantrasyonu ve Reaksiyon Süresi. (16)

«Ferrobacillus ferrooxidans» tipi mikroorganizmalar 0.5 - 0.6 mikron genişliğinde ve 1 .tt mikron uzunluğunda tek veya çift olarak bulunan gram-negatif çubuklardır. Yaklaşık olarak her bir mililitrede 200 mikrogram ferrooxidans» ihtiva eden 1, 2, 3, ve 4 mililitre bakteri kültürü saf su ile 10 mililitreye ve sonra da değiştirilmiş «gk» besleyici çözeltisiyle 30 mililitreye seyreltilmiştir ve bakır-kurşun ihtiva edea kurşun matı ile liç deneyleri yapılmıştır. Bu şekilde değişik bakteri konsantrasyonları kullanıldığında, 2 mililitrelik bakteri kültürü en iy sonuç vermiştir.

D.W. Duncan and a. Bruynesteyn (29), thiobacillus ferrooxidans bakterilerinde iki değerli demir enerji kaynağı olarak kullandığında 6.5: saat içinde bir hücre ikiye bölünmektedir. Diğer taraftan kalkopiritle bu süre 14 - 17 saat arasındadır. Tabiatında bu süre biraz daha uzundur. Thiobacillus ferrooxidans berrak su yerine (mineral) katı yüzeylerini tercih etmektedir.

Mikrobiyolojide temel bir kaideye göre mikroorganizmalar yeni bir ortama geldiklerinde bir alışma devresi geçirdikten sonra faaliyete geçmektedirler. Bu süre kimyasal reaksiyon süresi içinde olmayıp alışma devresi olarak da düşünülebilir. Bakır-kurşun matı için bu süre 5 ile 11 gün arasında değişmektedir.

4 — BAKTERİLERLE ÜÇ İŞLEMİNİN EKONOMİK YÖNÜ (29)

Kalkopirit konsantresi ile bakterilerle yapılan tank liç işleminin fizibilite etüdü A. Bruynesteyn ve D.W. Duncan (14) tarafından yapılmıştır.

100 ton % 30 bakır ihtiva eden kalkopirit konsantresinde günde 60,000 libre bakır elde edilmesi için 200,000 librelik konsantre 7.062,000 libre liç çözeltisiyle temas edecektir. Bu işlemde bakır ekstraksiyon oranı saatte 350 mg/litre olup yatırılan toplam sermaye 1 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi 1 libre bakır 5.72 sente mal olmaktadır. Madencilik ve konsantrasyon maliyetleri bu rakama dahil değildir. Şayet günlük kapasite 1000 tona (600,000 libre) çıkartılırsa 1 libre bakırın maliyeti 3,87 sente düşmektedir.

Tablo 1 — Tank Liç Maliyeti

Masraflar	1 libre bakıra isabet eden miktar sent olarak \emptyset — (1 \emptyset = 14 krş)
İşçilik İdare Masrafı O ₂ ve Kireç	1.99
Bakım % 10 dan amortisman % 10 dan faiz Sigorta ve vergiler	0.98
Elektroliz	2.75
Toplam	5.72

1971 yılında E.E. Malouf (30) tarafından yapılan tahminlere göre demirperde dışında kalan memleketlerde dünya bakır üretiminin % 5 i düşük tenörlü bakır cevherleriyle maden artıklarının liç işleminden elde edilmektedir.

Düşük tenörlü genellikle oksitli bakır cevherlerine uygulanan sülfürik asit liç tekniği (Heap Leaching) yavaş bir işlem olup aylarca sürmektedir. Bu liç işleminin maliyeti Shoemaker ve Darrah (31), (32) tarafından % 0.5 - 1.0 bakır ihtiva eden cevherden günde 60,000 libre bakır üretimi esasına göre hesaplanmıştır. Cevher 50,000 librelik kısımlar halinde 6 aylık sürede 150,000,000 librelik liç çözeltileriyle temas ettirilmiş ve bakır randımanı % 60 civarında kalmıştır. Olanakların müsait veya müsait olmayışı hallerine bağlı olarak elde edilen 1 libre bakıra beş veya dokuz libre sülfürik asit sarfiyatı isabet etmiştir. Tersip bakır elde etmek suretiyle 1 libre bakırın maliyeti 22.5 ve 41 sent, diğer taraftan elektroliz yoluyla mali-

yet 20.4 ve 38,9 sent olarak bulunmuştur. Elektroliz bakır üretiminde yatırım fazla olmakla beraber, kârlılık oranı yüksek olup ayrıca bir izabe işlemine ihtiyaç yoktur. Diğer taraftan tersip bakırının bir izabe tesisinde tasfiyesi gerekmektedir.

Sülfürik asit liç işlemiyle (Heap Leaching) kalkopirit konsantresine uygulanan bakteri liç işlemi ekonomik bakımdan aşağıdaki tabloda karşılaştırılmaktadır.

Bakteri liç işleminin hem düşük tenörlü bakır cevherleri ve hem de yüksek tenörlü bakır konsantrasyonlarına rantabl olarak uygulanmasının mümkün olacağı anlaşılmaktadır. Bu işlemde ilk yatırım yüksek olmayıp işletme masrafı düşüktür. Bakteri Üç tesisi maden yakınında kurulabilir. Yüksek basınç ve ısı gerektirmediğinde çalıştırılması ve kontrolü kolaylıkla yürütülebilir. Ayrıca bu işlemi çevre kirlenmesine de yol açmamaktadır.

Tablo 2 — Bakteri Liç İşleminin H₂SO₄ Uç İşlemiyle Mukayesesi

	H ₂ SO ₄ Liç Müsait	Şartrarı Müsait Değil ;	Kalkopirit Konsantre Bakteri Lier
Madencilik: ve Konsantrasyon (sent/libre]'	5.9	1219	Maliyet verilmemiştir.
Bakir Ėkstraksiyon Masrafları (sent/libre)	7.5	1050 "	2.75
«Solvent» Ekstraksiyon ve/veya Elektroliz Masrafları (sefit/libre)-	7.0	7.0	2.75
Toplam Masraf (sent/libre)	20.4	38.9	5.72

5. S O N U Ç

Uzun süredenberi sülfürlü cevherlerin ta-
biatta bakterilerle «thiöbacillus ferrooxidans»
çözünür hale gelmiş olmasına rağmen bu hu-
sus ancak 1962 yılında kesinlikle anlaşılabil-
miştir.

Bakteriler sayesinde sülfürlü bileşiklerin
sülfat hale dönüşmesi içirt oksijene ihtiyaç var-
dır. Yeterli oksijen havada mevcut olduğuna
göre, bakterilere hava temini çok önemlidir.

Bakteriler pH 1.5 ile 3.5 arasında faaliyet
gösterir ve en uygun pH 2.3 dür..

Bakterilerin çoğalması için bazı önemli
besleyicilere ihtiyaç vardır. Nitrojen protein
için önemli olup amonyak bakteriler tarafın-
dan kolaylıkla alınmaktadır. CO₂, karbon ihtiya-
cı için önemli olup, havada az miktarda bu-
lunmaktadır. Ayrıca, bir miktar fosfat, mänge-
riez, potasyum, kalsiyum ve magenzyuma bak-
terilerin ihtiyacı vardır. Ancak bu mineraller
sudan ve civar kayalardan elde edilebilmekte-
dir.

Su, oksijen, CO₂ ve diğer besleyicileri ta-
şımakta ve meydana, gelen metal sülfat bileşik-
lerini çözeltiye almaktadır. Ayrıca bakteri top-
luluğunun dağılması su sayesinde olmaktadır.

Bakterilerin optimum faaliyeti 35°C da ol-
makta ve 45°C da bütün faaliyet durmaktadır.
Daha düşük ısılarda bakteri faaliyeti önemli
olarak azalmaktadır, fakat 10 — 11 "C yeterli
faaliyet mevcuttur.

Laboratuvar çapında en iyi sonuçlar almak
mümkündür, ancak bunun endüstriyel çapta uy-
gulanmasında bazı zorluklar mevcuttur.

Bakteri liç işleminin endüstriyel çapta uy-
gulanmasının ekonomi bakımından mümkün
olabileceği son zamanlarda yapılan fizibilite e-
tüdlerinden anlaşılmaktadır.

REFERANSLAR

- 1 — Rudolfs, W., «Oxidation of Pyrites by
Microorganisms and Their Use for iMa-
king Mineral Phosphates«, Soil Science,
Vol. 14, pp 135 — 147 (1922).
- 2 — Rudolfs, W., and A. Ielbronner, «Oxidati-
on of Zinc Sulfide by Microorganisms»,
Soil Science, Vol. 14 pp. 459—464:
(1922).
- 3 — Colmer, A.R., K.I. Temple, and M.E. Hink-
le, «An Iron - Oxidizing Bacterium from
the Acid Mine Drainage of Some Bitumi-
nous Coal Mines», Journal of Bacteri-
ology Vol. 59, pp. 317—328 (1950).
- 4 — Leathen, W.W., and SA Bralay, «A New
Iron-Oxidizing Bacterium: Ferrobacillus
Ferroxidans», Bacterid. Proc. pp. 44
(1954).
- 5 — Kinsei, NÀ, «New Sulfur Oxdizlng Iron
Bacterium = Ferrobacillus Sulfooxidans
sp — n. «Journal of Bacteriology,
Vol. 80,pp. — 632 (1960).

- 6 — Torma A.E., «Biometallurgy of Cobalt and Nickel» TMS Paper Selection of A.I.M.E., No. A—72—7, pp. 1—22 (1972).
- 7 — Taylor, J.H., and P.E. Whelan, «The Leaching of Cupreous Pyrites and the Precipitation of Copper at Rio Tinto, Spain». Trans. Inst. Mining and Metallurgy, Vol. 152, pp. 36—96 (1943).
- 8 — Trussel P.C., D.W. Duncan, and C.C. Waiden, «Biological Mining», Canadian Mining Journal, Vol. 85, No. 3, pp. 46-49 (1964).
- 9 — Malouf E.E. and J.D. Prater, «Role of Bacteria in the Alteration of Sulphide Minerals», Journal of Metals, Vol. 13, pp. 353-356 (1961).
- 10 — Malouf E.E., «Copper Leaching Practices», SME Paper Selection of AIME, No. 72-AS - 84 pp. 1-7 (1972).
- 11 — Fisher, J.R., «Bacterial Leaching of Elliot Lake Uranium Ore», Trans. Can. Metall. Bull., Vol. 69, pp. 167-171 (1966)
- 12 — Matic, M., and M. Frost, «In situ leaching of Uranium, from Gold Mine Residue Dumps», South Afr. Ind. Chem; Vol. 18, pp. 127-133 (1964).
- 13 — Popoff, D.R., «Bacterial Leaching Means New Life for Mine», Can. Nucl. Technol, July-August, pp. 31-33 (1966).
- 14 — Bruvnesteyn, A. and D.W. Duncan, «Microbiological Leaching of Sulphide Concentrates», Can Metall Quart., Vol. 10 pp. 57-63 (1971).
- 15 — McElroy R.O., and D.W. Duncan, «Microbiological Leaching of a Bulk Zinc-Lead Concentrate», Paper Presented at the CIM Conference of Metallurgists, Quebec City, August 26-29 (1973).
- 16 — Corrick, J.D., and J.A. Sutton, «Oxidation of Lead Blast Furnace Matte by Ferrobacillus Ferroxidans or a Dilute Acid Solution», U.S. Bur. Min. Rep. of Inv. No. 7126, pp. 1—19 (1968).
- 17 — De Cuyper J.A., «Bacterial Leaching of Low Grade Copper and Cobalt Ores», Unit Processes in Hydrometallurgy, Gordon and Breach Science Publishers, New York, pp. 126-141, (1963).
- 18 — Brynes L.C. and A.K. Jameson, Applied Microbiology, Vol. 6, p. 281 (1958).
- 19 — Duncan D.W., P.C. Trussel, and C.C. Waiden, «Leaching of Chalcopyrite with Thiobacillus Ferroxidans: Effect of Surfactants and Shaking», Applied Microbiology, Vol. 12, pp. 122-126. (1964)
- 20 — Silverman, M.P., and D.G. Lundgren, «Studies on the Chemoautotrophic Iron Bacterium Ferrobacillus Ferroxidans 1. An Improved Medium and A Harvesting Procedure for Securing High Cell Yields» Journal of Bacteriology, Vol. 77, No. 5, pp. 642-647 (1959).
- 21 — Lazaroff, N. «Sulphate Requirements for Iron Oxidation by Thiobacillus Ferroxidans», Journal of Bacteriology Vol. 85, pp. 78-83 (1963).
- 22 — Duncan D.W., C.C. Waiden, P.C. Trussel, and E.A. Lowe «Recent Advances in the Microbiological Leaching of Sulfides», Trans. SME, AIME, Vol. 238, p. 122 (1967)
- 23 — Bruvnesteyn A., and D.W. Duncan, «Construction and Operation of a Series of Biological Test Dumps», Paper Presented at the AIME 101 st Annual Meeting February 20-24, 1972, San Francisco, California.
- 23 — A — Torma A.E., et G. Legault, «Rôle de la Surface des Minerais Sulfurés 4 Lors de leur Biodégradation par Thiobacillus Ferroxidans», Ann. Microbiol. (Inst. Pasteur), Vol. 124 A, pp. 111-121, (1973).
- 24 — Mac Donald, D.G., and R.H. Clark «The Oxidation of Aqueous Ferrous Sulfate by Thiobacillus Ferroxidans, Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 48, pp. 669-676 (1970).
- 25 — Silver, M.. «Oxidation of Elemental Sulfur and Sulfur Compounds and CO₂ Fixation by Ferrobacillus Ferroxidans (Thiobacillus Ferroxidans)», Canadian Journal of Microbiology, Vol. 16, pp. 845-849 (1970).
- 26 — Torma A.E., C.C. Waiden, D.W. Duncan and R.M.R. Branion «The Effect of Carbon Dioxide and Particles Surface Area on the Microbiological Leaching of a Zinc Sulfide Concentrate», Biotechnology and Bioengineering, Vol. XIV, pp. 777-786 (1972).

- 27 — Torma A.E., «Oxygen Mass Transfer into the Fermentation Media of Metal Sulphide Leaching», Unpublished Data (1973).
- 28 — Torma A.E., C.C. Waiden and R.M.R. Branion, «Microbiological Leaching of a Zinc Sulfide Concentrate», *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 12, pp. 501-507 (1970).
- 29 — Duncan D.W., and A. Bruynesteyn, «Enhancing Bacterial Activity in a Uranium Mine», *CUM Transactions*, Vol. LXXIV, pp. 116-120, (1971).
- 30 — Malouf E.E., «The Role of Microorganism in Chemical Mining», *Mining Engineering*, Vol. 20 (12), pp. 68-70, 90-92 (1968).
- 31 — Shoemaker, R.S. and R.M. Darrah, «Bioextractive Mining», *Publ. by Soc. Min. Eng., Denver Colorado*, pp. 93-100 (1970)
- 32 — Shoemaker, R.S. and R.M. Darrah, «The Economics of Heap Leaching», *Mining Engineering Vol. 20 (12)*, pp. 68-70, 90-92 (1968).