



## تأثیر نسبت تلقیح و محیط کشت روی بیولیچینگ کانسنگ سولفیدی

### با استفاده از باکتری های مزوفیل

دکتر علی زرین پور<sup>۱\*</sup>، زهرا منافی<sup>۲</sup>، محمد نوع پرست<sup>۱</sup>، سید ضیاءالدین شفائی تنکابنی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه فرآوری مواد معدنی، دانشکده فنی دانشگاه تهران، <sup>۲</sup>آمور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه

#### چکیده

سابقه و هدف: استحصال کانی های سولفیدی در گونه های مختلف باکتری های لیتوتروف با مکانیسم های خاصی انجام می شود. بنابراین امکان بازیابی بیشتر فلزات با تغییر نسبت اختلاط باکتری های یاد شده وجود دارد. با توجه به پیچیده نبودن نیازهای غذایی میکروارگانیسم هایی که برای استحصال فلزات از کانی های سولفیدی استفاده می نمایند، بنابراین ترکیب غذایی محیط کشت می تواند تاثیر قابل توجهی در فرایند بیولیچینگ داشته باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی تاثیر نسبت تلقیح گونه های مختلف باکتری های مزوفیل و ترکیب محیط کشت در بیولیچینگ مس از کانسنگ سولفیدی باقیمانده از هیپ شماره ۱ معدن مس سرچشمه می باشد.

مواد و روش ها: کانسنگ باقیمانده از هیپ شماره ۱ معدن مس سرچشمه به علت فروشویی با اسید، بیشتر از نوع سولفیدی می باشد. عیار مس در نمونه گرفته شده از هیپ، ۰/۲۳ درصد بود. حدود ۶۶ درصد از کانی های مس، سولفیدی گزارش شد که حدود ۵۱ درصد از آنها را کالکوپیریت تشکیل می داد. میزان پیریت در نمونه ۶ درصد بود. این آزمایش ها در ظروف لرزان (shake flask) و به کمک مخلوطی از باکتری های مزوفیل انجام شد. طراحی آزمایش ها بر اساس طرح فاکتوریل کامل با ۲ سطح انجام گرفت.

یافته ها: باکتری ها با تولید اسید سولفوریک در محیط باعث انحلال بیشتر و مصرف اسید کمتر می شود. محیط کشت Norris نسبت به محیط کشت ۹k برای خاک سولفیدی مورد نظر موجب بازیابی بالاتر می گردد که دلیل آن، افزایش آهن در محیط جامد در اثر رسوب یون های آهن محلول و احتمالاً تشکیل جاروسیت می باشد. از میان عوامل در نظر گرفته شده، نسبت تلقیح تاثیر چندانی در بازیابی نشان نداد و میزان یون آهن افزوده شده تأثیر بسزایی داشت.

نتیجه گیری: شرایط بهینه برای حداکثر بازیابی در محیط کشت Norris دارای pH ۱/۶، افزودن ۱/۵ گرم در لیتر یون  $Fe^{+2}$  و نسبت های تلقیح باکتری های تیوباسیلوس فرواکسیدانس، تیوباسیلوس تیواکسیدانس و لپتوسپریلم فرواکسیدانس به ترتیب ۴۰، ۴۰ و ۲۰ بود. همچنین حداکثر بازیابی مس پس از ۲۵ روز، ۶۶/۳۸٪ مس بود.

واژگان کلیدی: بیولیچینگ، نسبت تلقیح، محیط کشت، باکتری های مزوفیل

دریافت مقاله: تابستان ۸۸ پذیرش برای چاپ: تابستان ۸۸

#### مقدمه

محیطی و مصرف انرژی کمتر می باشد (۲). اقتصادی بودن استحصال مس از خاک های کم عیار نیازمند استفاده از روش های کم هزینه ای مانند لیچینگ (فروشویی) درجا، هیپ و دامپ می باشد. روش هیپ لیچینگ یک تکنولوژی جدید است که سولفیدهای کم عیار مس برای استخراج مس از کانی های سولفیدی ثانویه مانند کولیت و کالکوسیت با موفقیت در سرتاسر جهان بکار برده شده است (۳). در این راستا بیولیچینگ به طور فزاینده و به عنوان یک روش ساده و کارا جهت استحصال فلزات از

نیاز روزافزون به مواد اولیه و کاهش ذخایر معدنی پرعیار، استفاده از منابع معدنی کم عیار و پیچیده را ضروری ساخته است (۱). هیدرومتالورژی به عنوان یک روش استخراج فلزات، طی چند دهه اخیر شاهد تحولات و گسترش زیادی بوده است. این پیشرفت ها ناشی از سازگاری بیشتر این روش با مسائل زیست

\* آدرس برای مکاتبه: تهران، دانشکده فنی، تلفن: ۰۹۱۳۲۷۳۳۷۶۸  
پست الکترونیک: azarinpour@gmail.com

در حال حاضر عملیات لیچینگ در هیپ شماره ۱ معدن مس سرچشمه در حال انجام می باشد. کانسنگ باقیمانده لیچینگ شده در این هیپ عیار ۰/۲۳ را دارد که بیشتر از نوع کالکوپیریت می باشد. هدف از این پژوهش ارزیابی روش بیولیچینگ برای انحلال کالکوپیریت و استحصال مس باقیمانده با استفاده از میکروارگانیسم ها می باشد.

### مواد و روش ها

الف) میکروارگانیسم ها و محیط کشت: میکروارگانیسم های مورد استفاده در این پژوهش، باکتری های مزوفیل اسید دوست، تیوباسیلوس فرواکسیدانس، تیوباسیلوس تیواکسیدانس و لپتوسپرلیم فرو اکسیدانس بودند. باکتری های یاد شده با خاک معدن مس سرچشمه سازگار شده بودند و به صورت مستقیم از آنها استفاده گردید. تعداد باکتری های تلقیح شده به طور میانگین برابر  $1 \times 10^8$  سلول در یک میلی لیتر بود. از دو محیط کشت ۹k و Norris در آزمایش ها استفاده گردید (جدول ۱).

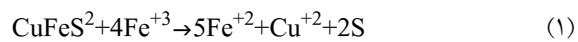
ب) کانسنگ مورد استفاده: برای آزمایشات بیولیچینگ از کانسنگ بکار رفته در هیپ لیچینگ شماره ۱ معدن مس سرچشمه استفاده شد. از نقاط مختلف هیپ شماره ۱ سرچشمه نمونه برداری به عمل آمد. نمونه مورد استفاده تا ابعاد زیر ۱۵۰ میکرون خرد شدند و  $d_{80}$  نمونه ها برابر ۶۵ میکرون شد. آنالیز شیمیایی و کانی شناسی نمونه در جدول ۲ نشان داده شده است.

در این پژوهش آزمایش های بیولیچینگ در ارلن های ۵۰۰ میلی لیتر انجام شد. هر ارلن شامل حدود ۲۲ گرم نمونه و ۲۰۰ میلی لیتر از مخلوط محیط کشت و ترکیب باکتری (تلقیح ۱۰٪) بود. درصد جامد پالپ ۱۰٪ در نظر گرفته شد. آزمایش ها در انکوباتور شیکر دار با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۵ روز انجام گرفت. برای انجام آزمایش ها طراحی فاکتوریل کامل دو سطحی با چهار عامل pH، محیط کشت، نسبت ترکیب باکتری ها و غلظت یون  $Fe^{2+}$  در نظر گرفته شد که به همراه سطوح آنها در جدول ۳ نشان داده شده است. بر این اساس ۱۶ آزمایش طراحی گردید. در فواصل زمانی مشخص

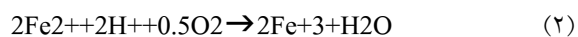
کانسنگ های کم عیار و کانسنگ های سولفیدی که فرآوری آنها توسط روش های معمول دیگر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیستند، بکار می رود (۴). فرایند بیولیچینگ اغلب به عنوان پاکیزه ترین روش استحصال فلزات از منابع سولفیدی شناخته می شود. فروشویی زیستی در حال حاضر در مورد فلز مس عمدتاً به روش هیپ بیولیچینگ بر روی کانسنگ های ثانویه مس آگلومره شده انجام می شود. هزینه سرمایه گذاری و عملیاتی پایین، شروع سریع فرایند، مزایای زیست محیطی، سادگی عملیات و سابقه درخشان اجرای آن، هیپ بیولیچینگ را یک فن آوری مورد توجه ساخته است (۵).

میکروارگانیسم هایی که برای استحصال فلزات از کانه های سولفیدی بکار می روند، به طور نسبی نیازهای غذایی پیچیده ای ندارند و تنها به مواد معدنی اندکی جهت تغذیه نیاز دارند که آنها را از محیط و موادی که تحت فروشویی قرار می گیرند، تامین می کنند. باکتری ها برای دستیابی به بیشترین رشد و تکثیر، علاوه بر ترکیبات آهن و گوگرد موجود در کانی های سولفیدی، به املاح معدنی نظیر یون های کلرید، آمونیوم، فسفات، سولفات و نترات به عنوان منبع انرژی نیز نیاز دارند که باید به محیط کشت اضافه شود. وجود مقادیر جزئی فلزاتی نظیر پتاسیم، آهن، مس، منگنز، روی، کلسیم و منیزیم در محیط کشت این باکتری ها ضروری است (۶).

کانی های سولفیدی مس مانند کالکوپیریت در حضور یک اکسید کننده قوی مانند یون فریک و در محیط اسیدی حل می شوند و پس از انحلال مس تولید گوگرد عنصری و یون فرو می کنند (واکنش ۱) (۷).



اکسیداسیون باکتریایی سولفید ها یک سیستم بسته می باشد. میکروارگانیسم ها نقش یک کاتالیزور را در اکسیداسیون یون فرو به یون فریک ایفا می کنند تا یون اکسند فریک مجدداً در محلول تولید شود (واکنش ۲). آنها همچنین گوگرد را به سولفات تبدیل کرده و اسید تولید می کنند (واکنش ۳). به این دلیل عملیات بیولیچینگ کمترین هزینه ها را دارد (۳ و ۷).



جدول (۱): ترکیب نمک ها برای محیط کشت های 9k و Norris (۸).

(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	KCL	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	ترکیب
۳	۰/۵	۰/۶۳	۰/۱	۰/۰۱۴	۹k
۰/۲	۰/۴	۰/۱	-	-	Norris

\*غلظت ها بر حسب گرم در لیتر می باشد.

پارامتر	سطح ۱	سطح ۲
pH	۱/۶	۲
محیط کشت	۹k	Norris
نسبت تلقیح	A	B
غلظت $Fe^{2+}$ (g/l)	۰	۱/۵

نسبت تلقیح (%)	L.f	T.t	T.f
A	۲۰	۴۰	۴۰
B	۳۰	۳۰	۴۰

جدول (۳): پارامتر و سطوح طراحی آزمایش. T.f: تیوباسیلوس فرواکسیدانس، T.t: تیوباسیلوس تیواکسیدانس، L.f: لپتوسپرلیم فرواکسیدانس

اختلاف معنی داری ۰/۰۱ تحلیل گردید و پارامترهای مؤثر تعیین شدند. شکل ۳ افزایش بازیابی در اثر تغییر محیط کشت را نشان می دهد.

### بحث

محیط کشت Norris نسبت به محیط کشت ۹k برای خاک سولفیدی مورد نظر موجب بازیابی بالاتر می گردد. با بررسی نمونه ها پس از انجام آزمایش ها مشاهده گردید که میزان آهن در جامد باقی مانده از آزمایش هایی که از محیط کشت ۹k در آنها استفاده شده است بالا می رود. دلیل این افزایش آهن در جامد رسوب یون های آهن محلول و احتمالاً تشکیل جاروسیت می باشد که این امر یکی از دلایل کمتر بودن بازیابی در محیط کشت ۹k نسبت به Norris می باشد. از میان عوامل در نظر گرفته شده، نسبت تلقیح تأثیر چندانی

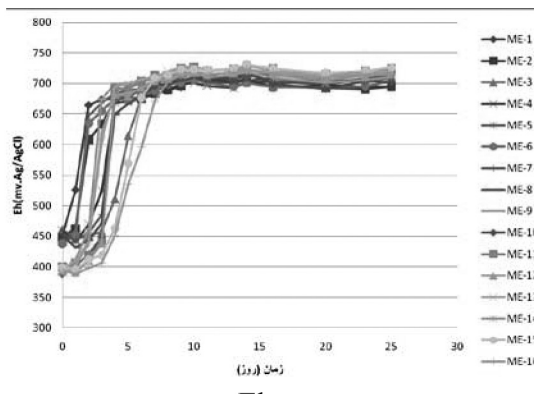
ترکیب	درصد وزنی	ترکیب	درصد وزنی
Cu	۰/۰۸۳	$Cu_2S$	۰/۲۳
Fe	۰/۰۵۲	CuS	۴/۹۸
$CuFeS_2$	۶/۱۹۸	$FeS_2$	۰/۱۴۱

جدول (۲): آنالیز شیمیایی و کانی شناسی نمونه مورد آزمایش.

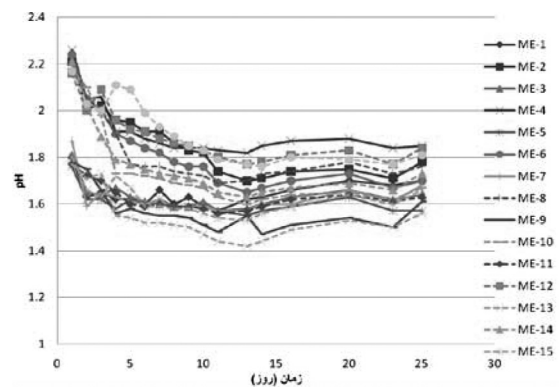
pH و پتانسیل اکسیداسیون و احیا (ORP) محلول ثبت شد و نمونه ای از محلول تهیه شد. میزان حداکثر ۱/۵ گرم در لیتر یون فرو با توجه به کارهای مشابه قبلی انتخاب گردید (۹). تمامی آنالیزهای مس با استفاده از رقیق سازی و دستگاه جذب اتمی مدل VARIAN-AA220 انجام شد.

### نتایج

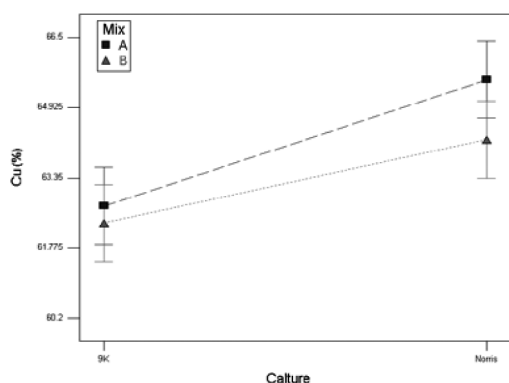
در شکل ۱ تغییرات pH و در شکل ۲ تغییرات Eh محلول ها را در طول زمان آزمایش نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود pH محلول ها به مرور زمان پایین می آید که می تواند به علت کند شدن واکنش ها بین خاک و اسید و یا به علت رشد باکتری ها و تولید اسید توسط آنها باشد. نمودار تغییرات Eh دلیل دوم یعنی رشد باکتری ها و تولید اسید را تأیید می کند. با رشد باکتری ها و تولید یون  $Fe^{3+}$ ، Eh محلول ها به سرعت افزایش می یابد و به حدود ۷۰۰ mv.Ag/AgCl می رسد. بنابراین رشد باکتری ها مناسب بوده و نتایج مربوط به روشی باکتریایی قابل استناد است. پس از اتمام آزمایش ها بازیابی برای حالت های مختلف بدست آمد. سپس نتایج توسط نرم افزار DX7 و به کمک آنالیز واریانس با



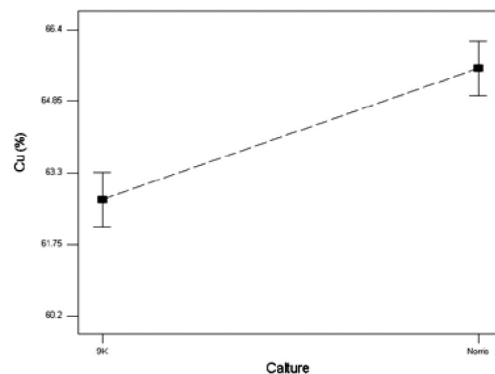
شکل (۲): تغییرات Eh بر حسب زمان.



شکل (۱): تغییرات pH بر حسب زمان.



شکل (۴): تأثیر متقابل محیط کشت و نسبت تلقیح.



شکل (۳): تغییرات بازیابی در اثر تغییر غلظت محیط کشت (۲ pH، تلقیح A و غلظت یون  $1/5 Fe^{2+}$  گرم در لیتر).

غلظت نمک های بالا و نیز نمک های موجود در خاک باعث ایجاد جاروسیت و رسوب آهن شده و بازیابی را کاهش می دهد.

### نتیجه گیری

بیشترین افزایش بازیابی در هنگام استفاده از محیط کشت Norris زمانی حاصل می شود که pH برابر ۱/۶، نسبت تلقیح مورد استفاده، A و غلظت یون آهن اضافه شده برابر ۱/۵ گرم در لیتر باشد؛ این وضعیت بهینه ترین حالت بوده و بازیابی در این حالت برابر ۶۶/۳۸٪ مس می باشد.

در بازیابی نشان نداد. در شکل ۴ نمودار تأثیر متقابل بین محیط کشت و نسبت تلقیح نشان داده شده است. در هنگام استفاده از نسبت تلقیح A تغییر محیط کشت از ۹k به Norris باعث افزایش بیشتر بازیابی می شود. نسبت اختلاط گونه های باکتری مزوفیل تأثیر زیادی در بازیابی مس از کانسنگ سولفوره ندارد. محیط کشت اثر قابل توجهی در افزایش بازیابی مس دارد. به علت وجود نمک های لازم برای یک محیط کشت در خاک کم عیار هیپ ۱ سرچشمه، محیط کشت کمتر غنی Norris بازیابی بهتری نسبت به محیط کشت غنی تر ۹k دارد. محیط کشت ۹k به علت وجود

### References

1. Devasia, P., and Natarajan, K.A., "Bacterial leaching", Biotechnology in the Mining Industry, 2004, pp. 27-35.
2. Brent, J., et al., "Electrochemical Processes in the Leaching of Metal Sulfides and Oxides", Process and fundamental consideration of selected hydrometallurgical systems, SME, 1981.
3. Watling, H.R., "The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides - A review", Hydrometallurgy, 2006, Vol. 84, pp. 81-108.
4. Rawlings, D.E., "Heavy Metal Mining Using Microbes", Annual Review Microbial, 2002, Vol. 56, pp. 65-91.
5. Lawrence, R.W., Poulin, R., "The Demand for Biotechnology in Mining in the 21st Century", Biohydrometallurgical processing, 1995, Vol. I, pp. 185-195.
6. Brierley, C.L., and Briggs, A.P., "Selection and Sizing of Biooxidation Equipment and Circuits", In: Mular, A.L., Halbe, D.N., Barret, D.J., (Eds.), Mineral processing plant design, practice and control. Society of Mining Engineers, Littleton, Colo., 2002, pp. 1540-1568.
7. Mousavi, S.M., et al., "comparison of bioleaching ability of native mesophilic and thermophilic bacteria on copper recovery from chalcopyrite concentrate in an airlift bioreactor", Hydrometallurgy, 2005, Vol. 80, pp. 139-14.
8. Gomez, C., Blazquez, M.L. and Ballester, A., "Bioleaching of a Spanish Complex Sulphide Ore Bulk Concentrate", Minerals Engineering, 1999, Vol. 12, No. 1, pp. 93-106.

۰۹. دره زرشکی، ۱۳۸۷. «بررسی امکان افزایش بازیابی مس از هیپ شماره ۳ مجتمع مس سرچشمه به روش بیولیچینگ». پایان نامه کارشناسی ارشد (فراوری مواد معدنی)، دانشگاه باهنر کرمان.



## The effect of mix ratio and culture type on the bioleaching of a low grade sulfide copper ore using Mesophile bacteria

Ali Zarrinpour<sup>1\*</sup>, Zahra Manafi<sup>2</sup>, Mohammad Noaparast<sup>1</sup>,  
Seyed Ziaaldin Shafaei<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mining Engineering Faculty, University of Tehran, Tehran

<sup>2</sup>Research & Development division, Sarcheshmeh Copper Complex

### Abstract

*Background and Objective:* In this research, the effect of mix ratio and culture type on the bioleaching of a heap leaching 1 sulfide copper ore using Mesophile bacteria has been investigated. The different bacteria types have a special mechanism in sulfide ore dissolution. So increase recovery can be reached with change of bacteria mix ratio. The microorganism, employed in bioleaching process, reach energy for existence from culture and the materials which has been rest under leaching. So the poor and strong culture can be effective for increase of recovery.

*Materials and Methods:* The residual ore of Sarcheshmeh copper heap leaching 1 because of leaching is more than sulfide type. The copper grade at provided sample of heap was 0.23%. About 66% of copper minerals were sulfide which about 51% of them was chalcopyrite. The pyrite amount at the sample was 6%. These tests were down at the shake flask and by using of mixture of mesophile bacteria. Design of experiments was down based on perfect factorial with two levels.

*Results:* Bacteria with producing sulfuric acid at the medium cause more solution and less acid consumption. Norris culture medium in comparison to 9K culture medium causes more recovery for sulfide ore. The reason of this is increase of iron in the solid medium due to precipitation of iron ions and probably formation of Jarosite. The insemination ratio did not show a remarkable effect but amount of added iron ions had a remarkable effect.

*Conclusion:* The maximum of copper recovery was 66.38% after 25 days. The optimum conditions were obtained for reaching to maximum recovery with Norris culture, pH equal 1.6, mix ratio equal 40,40,20 for Tf, Tt, Lf and adding Fe<sup>2+</sup> ion (1.5 g/l).

*Keywords:* Bioleaching, mix ratio, culture, Mesophile bacteria.

---

Correspondence to: Noorollah Saadaee Jahromi

Email: azarrinpour@gmail.com

Journal of Microbial world 2009, 2(2), 117-121