



بررسی تاثیر متقابل pH و یون فریک بر انحلال مس از کانسنگ به کار رفته در هیپ شماره 3 مجتمع مس سرچشمه به روش بیولیچینگ

- اصاعیل دره زرشکی<sup>۱\*</sup>، مبین شفیعی<sup>۲</sup>، عماد رحیمی<sup>۳</sup> و  
1. دانشگاه شهید باهنر کرمان، پژوهشگاه انرژی و محیط زیست،  
Darezereshki@mail.uk.ac.ir  
2. دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی  
3. دانشگاه شهید باهنر کرمان، پژوهشگاه صنایع معدنی  
4. دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی، گروه مهندسی معدن

### چکیده

در این تحقیق تاثیر آهن فریک و pH و همچنین اثر متقابل این دو بر روی بیولیچینگ خاک کم عیار سولفیدی مس با استفاده از باکتری های مزوفیل و ترموفیل معتدل مورد بررسی قرار گرفته است. آنالیز کانه نشان داد که عمده کانی آن کوولیت (22%) و کالکوپریت (16%) بوده و همچنین میزان پیریت کانسنگ قابل توجه بوده است (10%). بیولیچینگ کانسنگ مذکور توسط آزمایش های شیک فلاسک انجام و تاثیر فاکتور های متفاوت در سه سطح یعنی pH های (1/2، 1/5، 1/8) و غلظت آهن فریک (0/005 و 0/012 M) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش ها نشان داد میزان انحلال مس بدون استفاده از آهن فریک و در pH برابر 1/2 و با استفاده از باکتری های ترموفیل معتدل بیشتر است. حداکثر بازیابی مس در غلظت آهن فریک برابر 0 و در pH برابر 1/2، 87/5% بدست آمد.  
کلمات کلیدی: بیولیچینگ، باکتری های مزوفیل، باکتری های ترموفیل، کانه کم عیار سولفیدی

**The effects of interaction between pH and Ferric ion on the bioleaching of a sarcheshmeh sulfide low-grade copper ore**

### Abstract:

The effects of pH and Ferric ion on the bioleaching of a sulfide low-grade copper ore using mesophile and moderately thermophile bacteria have been investigated. The copper in the ore was mainly composed of covellite (0.22%) and chalcopyrite (0.16%). The pyrite content was about 10%. Bioleaching tests were conducted in shake flask mode and the effects of some variables in three levels like pH (1.2, 1.5 and 1.8) Ferric ion (0, 0.005 and 0.012M) were studied. The results showed that the copper ore dissolved better with moderately thermophile bacteria in pH=1.2 and with out Ferric ion. Maximum copper recoveries in the above conditions were 87.5%.

**Key words:** Bioleaching, mesophile bacteria, low-grade, copper.



### 1- مقدمه

تولید کانه‌های فلزی از ذخایر معدنی در ایران به صورت چشمگیری در دهه‌های اخیر افزایش یافته است. در سال 2006 صنعت معدن ایران حدود 1/4 % تولید جهانی را تشکیل داده است. با این حال، فعالیت‌های اصلی معادن ایران روی آهن و مس متمرکز شده است. ذخایر بالقوه‌ی ایران حداقل 3000 میلیون تن گزارش شده است [1 و 2]. لیچینگ باکتریایی سولفید-های فلزی در دهه‌های اخیر به سرعت توسعه یافته است. امروزه بازیابی فلزات سنگین بوسیله میکروارگانیزم‌ها با تکنیک بیوتکنولوژی محقق گشته است [3]. ذخایر جهانی کانه‌های با عیار بالا به علت نیاز رو ز افزون به مواد اولیه رو به کاهش است. یکی از مشکلات بازیابی مواد از کانه‌های کم عیار با استفاده از روش‌های سنتی مصرف انرژی بالا و نیاز به هزینه‌های سرمایه‌ای بالا می‌باشد. از مشکلات دیگر می‌توان به مسائل مرتبط با حفاظت محیط زیست اشاره نمود. چشم انداز استفاده از بیوتکنولوژی برای حل این مشکلات امیدوار کننده است. کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و همچنین کاهش آلودگی می‌تواند از نتیجه‌های بارز استفاده از فرآیندهای بیولوژیکی باشد [4]. بیواکسیداسیون کانی‌ها هم اکنون به عنوان یک تکنولوژی برتر برای غلبه بر کانه‌های سخت طلا و کنسانتره‌ها و همچنین برای لیچینگ فلزات پایه از دیگر کانه‌ها و کنسانتره‌ها پذیرفته شده است [5]. بیولیچینگ مخزنی در بیوراکتورها، در بدست آوردن بازیابی بالا موفقیت خوبی کسب نموده است اما به دلیل مشکلاتی از قبیل: خوردگی، مقاومت برشی پایین باکتری‌ها با محدودیتهای روبرو است [6]. بیواکسیداسیون به روش هیپ هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی کمتر اما در مقابل نرخ (سرعت) استخراج پایین‌تر و بازیابی‌های کمی‌تر دارد [5]. اقتصادی بودن استحصال مس از خاک‌های کم عیار نیازمند استفاده از روش‌های کم هزینه مانند لیچینگ درجا، هیپ و دامپ لیچینگ می‌باشد. با توجه به افزایش میزان کانی‌های سولفیدی مس در کانسنگ اکسیدی، محققان درصدد استحصال مس از بخش سولفیدی موجود در باطله‌های حاصل از لیچینگ شیمیایی برآمدند. در این فرآیندها ابتدا کانی‌های اکسیدی تحت لیچینگ اولیه (شیمیایی) قرار گرفته و هنگام ساخت هیپ با نصب لوله‌های مشبک بستر لازم جهت هوادهی در مرحله لیچینگ ثانویه (بیولیچینگ) فراهم می‌شود. طی فاز نهایی لیچینگ شیمیایی، با پاشش اسید و باکتری روی هیپ و هوادهی از پایین، لیچینگ ثانویه کانی‌های سولفیدی آغاز گردید [7].

کانسنگ به کار رفته در فرآیند هیپ لیچینگ شماره 3 مجتمع سرچشمه دارای 0/2% مس در بخش سولفیدی و 0/18% مس در قسمت اکسیدی می‌باشد. در این تحقیق بررسی تاثیر متقابل pH و یون فریک در افزایش بازیابی کانسنگ به کار رفته در هیپ شماره 3 به روش بیولیچینگ مورد بررسی قرار گرفته است.

### 2- مواد و روشها

#### 2-1- باکتری و محیط کشت

باکتری‌های به کار رفته در این تحقیق از دو گروه متفاوت بودند:



➤ باکتری‌های مزوفیل که شامل مخلوطی از گونه های اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس، تیوباسیلوس لپتوسیزیلیم فرو اکسیدانس بودند شامل مخلوطی از گونه های سولفوباسیلوس و اسیدی تیوباسیلوس‌ها بودند. همه این گونه ها از آبهای اسیدی جاری معدن مس سرچشمه جداسازی و شناسایی شده بودند. از محیط کشت 9K (جدول شماره 1) برای انجام آزمایش ها بیولیچینگ کانی های کم عیار مس استفاده گردید [8].

### 2-2- کانسنگ کم عیار

آزمایش‌های بیولیچینگ با استفاده از خاک کم عیار به کار رفته در هیپ شماره 3 مجتمع مس سرچشمه انجام شد. نمونه خاک با استفاده از آسیای دیسکی تا ابعاد زیر 300 میکرون خرد شد. ترکیب شیمیایی و مینرالوژی کانه در جدول شماره 2 نشان داده شده است.

### 2-3- روش تحقیق

در این تحقیق آزمایش‌های بیولیچینگ در ارلن های 500ml که حاوی 180ml محیط کشت 9K ، 20ml تلقیح باکتری و 22/22 گرم خاک کم عیار پودر شده ( $10\% \text{ w/w}$ ) انجام شد. آزمایش‌ها در انکوباتور شیکر دار و با سرعت ثابت 145 rpm انجام شد. مدت زمان انجام هر آزمایش 25 روز بود. آزمایش‌های بیولیچینگ بر اساس طرح I.27 تاگوچی طراحی شدند که شامل پنج فاکتور در سه سطح بود. پنج پارامتر مستقل و سطوح در نظر گرفته شده در جدول شماره 3 نشان داده شده است. پارامتر وابسته میزان بازیابی در انتهای آزمایش‌ها بود. شرایط مربوط به هر آزمایش اعمال و ارلن ها داخل انکوباتور گذاشته شدند. از آنجا که در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  تنوع باکتری وجود نداشت از این رو نسبت تلقیح در همه آنها یکسان بود. به منظور بررسی روند پیشرفت فرآیند بیولیچینگ، در فواصل زمانی مشخص pH ثبت می گردید، در صورتی که pH پالپ بیش از مقدار لازم بود با اضافه کردن اسید سولفوریک رقیق مقدار آن مجدداً بر روی مقدار اولیه تنظیم می گردید. میزان آب تبخیر شده توسط آب مقطر جبران می گردید و نمونه ای از محلول جهت تعیین میزان فلز حل شده گرفته می شد و به آزمایشگاه ارسال می گردید.

### 3- نتایج و بحث

#### 1-3-تاثیر $\text{Fe}^{+3}$

در فرایند بیولیچینگ در حضور غلظتهای بالای یون فریک ( $\text{Fe}^{+3}$ ) اکسیداسیون آنزیماتیک یون فرو توسط میکروارگانیسم های اکسیدکننده آهن محدود می شود. این محدودیت باعث تجمع آهن فرو بر روی سطح کانی گردیده و از ادامه فرایند اغلال جلوگیری می کند [2]. در شکل (1) تاثیر آهن فریک بروی فرایند باکتریایی نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می کنید به نظر می رسد اضافه کردن یون فریک بطور مستقیم باعث



ایجاد انحلال در فعالیت آنزیماتیک میکروارگانیسم ها شده و قابلیت انحلال کاهش یافته است. به زبان ساده تر با اضافه کردن آهن فریک به سیستم باکتری تمایل به تبدیل آهن فرو به فریک را نداشته و از طرفی یون فرو در محلول افزایش یافته و رسوب گویتیت رخ داده است. در نتیجه بر خلاف اینکه در فرایند شیمیایی استفاده از آهن فریک به عنوان اکسنده می‌تواند موثر واقع شود ولی در مورد لیچینگ باکتریایی به اندازه لیچینگ شیمیایی موثر نیست و همچنین از نظر اقتصادی نیز این موضوع قابل توجه است.

### 3-2-تأثیر متقابل pH و $Fe^{+3}$

شکل (2) تأثیر متقابل pH و  $Fe^{+3}$  را نشان می‌دهد. می‌توان نتیجه گرفت استفاده از آهن فریک در pH های بالا باعث کاهش بازیابی شده و این پدیده را می‌توان به سبب هیدرولیز سولفات فریک دانست. همان طور که در شکل مشخص است عدم استفاده از سولفات فریک، افزایش انحلال را در پی داشته است.

### 4- نتیجه گیری

با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی خاک کم عیار مورد استفاده در هیپ شماره 3 مجتمع مس سرچشمه این نتیجه حاصل شد که با استفاده از باکتری‌های مزوفیل و ترموفیل معتدل، بهینه ترین pH برابر 1/2 بود. و همچنین در pH برابر 1/2 و بدون استفاده از آهن فریک بازیابی به 87/5 درصد رسید و اینکه استفاده از آهن فریک در pH بالا باعث کاهش بازیابی شد.

### 5- مراجع

- [1] M. Ranjbar, M. Schaffie, M. Pazouki, R. Ghazi, A. Akbary, S. Zanddevakili, S.A. Seiedbagheri; "Aplication potential of biohydrometallurgy in the Iranian mining industry", *Advanced Materials*, (2007), 38-41.
- [2] E.Darezeshki, M.Schaffie, Z.Manafi, M. Lotfalian, "Optimization of copper recovery from Sarcheshmeh low grade ores by bacterial leaching", *Journal of Separation Science and Engineering*, Vol. 1, No. 2, 2009, pp. 15-31.
- [3] Z. Sarcheshmehpour, A. Lakzian, A. Fotovat, A. Berenji, G. Haghnia, S. A. Seyed Bagheri; " Possibility of using chemical fertilizers instead of 9K medium in bioleaching process of low-grade sulfide copper ores", *Hydrometallurgy* 96, (2009), 264-267.
- [4] P.Devasia, K.A.Natarajan; "Bacterial leaching biotechnology in the mining industry", (2004), 40-49.
- [5] D.E.Rawlings, D.B.Gohnson, "Biomining", (2007), Springer.
- [6] J.H.Todd, N.Holder, T.Stanek; "Thermophilic bioleaching of chalcopyrite concentrates with GEOCOAT process", *jour. Alta 2002 Nickel/Cobalt 8 - Copper 7 conference, perth, Australia*, 1-19.
- [7] H.R. Watling; "The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides — A review", *Hydrometallurgy* 84, (2006), 81-108.
- [8] M. Lotfalian, M. Ranjbar, M. Schaffie, E. Darezeshki, S. A. Seyedbagheri, Z. Manafi, "Bioleaching of low-grade chalcopyritic ore using thermophile bacteria", *Journal of Separation Science and Engineering*, Vol. 1, No. 1, 2009, pp. 57-65.

جدول 1- ترکیب محیط کشت استفاده شده در طول آزمایش ها

ترکیب	$NH_4)_2SO_4$	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$K_2HPO_4$	KCl	$\alpha(NO_3)_2 \cdot H_2O$
غلظت )	3	0/5	0/63	0/1	0/014



# اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته

## اسفند ۱۳۸۸

دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد طبس

(g/L)					
-------	--	--	--	--	--

جدول 2- ترکیب شیمیایی و مینرالوژی کانسنگ کم عیار

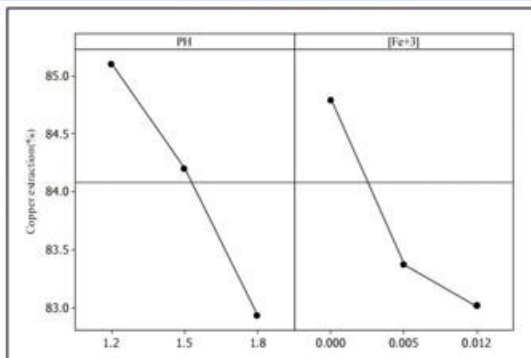
ترکیب	درصد وزنی	کانی	درصد وزنی
<i>Cu</i>	0/4188	<i>CuFeS<sub>2</sub></i>	0/164
<i>Fe</i>	4/98	<i>CuS</i>	0/216
<i>S</i>	1/729	<i>FeS<sub>2</sub></i>	10/045
<i>SiO<sub>2</sub></i>	61/75	<i>ZnS</i>	0/165
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	19/04	مینرال های غیر فلزی	88/733

جدول 3- شرایط انجام آزمایش

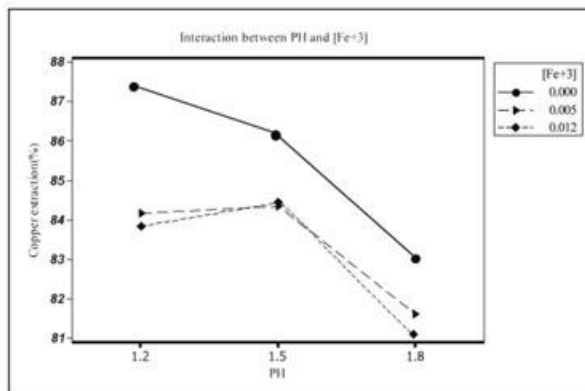
فاکتور ها	سطوح		
Temperature (°C)	32	40	50
pH	2/1	1/5	1/8
inoculation	A	B	C
<i>Fe<sup>2+</sup></i> (M)	0	0/005	0/012
<i>Fe<sup>3+</sup></i> (M)	0	0/005	0/012



inoculation (%)	A.F	T.t	L.f
A	40	40	20
B	60	20	20
C	20	20	60



شکل (1) نمودار تاثیر  $Fe^{+3}$  در استحصال مس



شکل (2) نمودار تاثیر متقابل pH و آهن فریکه استحصال