



## تاثیر کانی‌شناسی بر بیولیچینگ مزوفیلیک مس از غبار کوره‌ها و کنسانتره فلوتاسیون

علی بهزاد<sup>۱\*</sup>، زهرا منافی<sup>۲</sup>، دکتر محمد رنجبر<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه فراوری مواد معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد، امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه، شرکت ملی صنایع مس ایران

<sup>۳</sup> استاد، گروه مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

### چکیده

سابقه و هدف: امروزه استفاده از باکتری‌ها به طور گسترده‌ای برای بازیابی فلزات از باطله‌ها، کانسنگ‌ها و کنسانتره‌های مس استفاده می‌شود. درک عملکرد باکتری‌ها نسبت به انواع مواد باکانی‌شناسی مختلف به منظور بهبود فرایندها و انتخاب باکتری‌های مناسب بسیار حائز اهمیت است. هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر کانی‌شناسی غبار کوره‌ها و کنسانتره فلوتاسیون بر بازیابی مس با استفاده از باکتری‌های مزوفیل می‌باشد.

مواد و روش‌ها: تاثیر کانی‌شناسی مواد مورد عملیات بر بازیابی بیولوژیکی مس به روش بیولیچینگ با استفاده از دو نوع مواد غبار متالورژیکی و کنسانتره کارخانه تغلیظ مجتمع مس سرچشمه باکانی‌شناسی متفاوت بررسی شد. آزمایش‌های بیولیچینگ با استفاده از مخلوط باکتری‌های اسیدیتوباسیلوس فرواکسیدانس، اسیدیتوباسیلوس تیواکسیدانس و لپتوسپریلیوم فرواکسیدانس در ظروف لرزان انجام شدند. یافته‌ها: عمده کانی‌های موجود در غبار سولفیدهای ثانویه مانند کالکوسیت و کوولیت و عمده کانی‌های موجود در کنسانتره سولفیدهای اولیه همانند کالکوپیریت بودند. نرخ بازیابی مس از غبار  $0/135 \text{ g/L/day}$  و از کنسانتره  $0/403 \text{ g/L/day}$  بدست آورده شد. بررسی‌های سینتیکی نیز نشان دادند که ثابت نرخ در مورد غبار  $0/125 \text{ day}^{-1}$  و در مورد کنسانتره  $0/10 \text{ day}^{-1}$  می‌باشد.

نتیجه‌گیری: ویژگی‌های کانی‌شناختی مواد مورد عملیات تاثیر شاخصی را در بیولیچینگ نشان داد. به علت نرخ حلالیت بالای سولفیدهای ثانویه، نرخ بازیابی و نیز بازیابی کلی غبار نسبت به کنسانتره بیشتر بود. اکسیداسیون کالکوپیریت در مقدار اکسیداسیون نسبتاً پایین (حدود ۴۴٪) متوقف شد و زمان آب‌شویی اضافی، افزایش بازیابی را به دنبال نداشت. آزمایش‌ها نشان داد که کشت مزوفیلیک استاندارد در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد در اکسید کردن کانی‌های سولفیدی ثانویه بسیار موفق بود، اما برای کانی‌های سولفیدی اولیه مس به ویژه کالکوپیریت موثر نبود.

واژگان کلیدی: کانی‌شناسی، غبار کوره‌ها، کنسانتره فلوتاسیون، بازیابی بیولوژیکی مس، مزوفیل‌ها.

دریافت مقاله: تیر ۸۸ پذیرش برای چاپ: شهریور ۸۸

کالکوپیریت ( $\text{CuFeS}_2$ ) نسبت به لیچینگ شیمیایی و بیولوژیکی بسیار ناکارآمد می‌باشد (۱). به همین دلیل، نرخ‌های حلالیت کالکوپیریت در فرایندهای بیولیچینگ پایین گزارش می‌شود. لیچینگ کالکوپیریت با تشکیل سولفور عنصری و سولفیدهای مس میانی کنترل می‌شود که هر دو مورد نسبت به کالکوپیریت اولیه

مقدمه  
فرایندهای بیولیچینگ به ویژه برای عمل‌آوری سولفیدهای مس ثانویه مناسب هستند. اما به دلیل طبیعت ساختمانی مقاوم

(\* آدرس برای مکاتبه: کرمان، دانشگاه شهید باهنر، گروه فراوری مواد.

تلفن: +۹۸۹۱۴۹۵۳۶۰۴۹

پست الکترونیک: Alibehzad86@yahoo.co.uk

واکنش پذیری کمتری دارند (۲). کانسنگ‌های سولفیدی شباهت‌ها و پیچیدگی‌هایی در ویژگی‌ها و روابط کانی‌شناختی دارند، که اغلب چالش‌هایی را در فراوری هیدرومتالورژیکی آن‌ها مطرح می‌کند. پیچیدگی‌های این کانسنگ‌های سولفیدی و به طور کلی حلالیت پایین آن‌ها محدودیت‌هایی را در طول فراوری بیوهیدرومتالورژیکی به وجود می‌آورد. در میان دیگر روش‌ها، یک روش برای افزایش حلالیت آن‌ها در تماس قرار دادن اتم‌های فلزی با ارگانسیم‌ها است (۳). اکسیداسیون باکتریایی کانی‌های سولفیدیک واکنش سطحی است و نرخ واکنش متناسب با مساحت سطح کانی است (۴).

همچنین سینتیک زاینده‌هایی مانند هیپ‌لیچینگ (۵)، اکسیداسیون آمونیاکی اسفالریت (۶)، حلالیت پتاسیم از ماسه‌سنگ گلوکونیت در محیط اسیدی (۷) و حلالیت منیزیت طبیعی در محلول‌های اسید استیک (۸) و اکسیداسیون سولفید روی با استفاده از باکتری اسیدیتوباسیلوس فرواکسیدانس (۹) بخشی از پژوهش‌های انجام شده در مورد لیچینگ می‌باشند. اسیدیتوباسیلوس فرواکسیدانس، اسیدیتوباسیلوس تیواکسیدانس و لپتوسپیریوم فرواکسیدانس نقش محوری در اکسیداسیون آهن و کانی‌های سولفیدی بازی می‌کنند.

مانع اصلی بزرگ مقیاس کردن بیولیچینگ، سینتیک پایین این فرایند است. به طور کلی هدف از مطالعات بیولیچینگ مقابله با این فرایند می‌باشد. در پژوهش‌های بیولیچینگ کالکوپیریت، اصلی‌ترین مانع در زمان حلالیت کانی، تشکیل فیلم منفعل‌کننده است که از تماس مستقیم بین محلول و کانی جلوگیری می‌کند (۱۰). هدف از این پژوهش، مطالعه مقایسه‌ای تاثیر کانی‌شناسی غبار کوره‌ها و کنسانتره فلوتاسیون با کانی‌شناسی متفاوت بر بازیابی بیولوژیکی مس از آن‌ها با استفاده از باکتری‌های مزوفیل در دمای ۳۵ °C است.

## مواد و روش‌ها

الف) جداسازی نمونه: کنسانتره استفاده شده در این پژوهش از کارخانه فراوری و همچنین غبار مورد استفاده از جریان بالن فلوالکتروفیلترهای کوره‌های ریورب و کانورتور مجتمع مس

سرچشمه جمع‌آوری شد. دانه بندی غبار ریورب و کانورتور ۸۰٪ زیر ۵۰ میکرومتر و دانه بندی کنسانتره ۸۰٪ زیر ۵۴ میکرومتر بود. ب) تلقیح: باکتری‌های تلقیح شده در این پژوهش مخلوطی از باکتری‌های مزوفیل جداسازی شده از معدن مس سرچشمه بود. این باکتری‌ها پس از سازگاری با غبار و غلظت بالای مس در آزمایش‌های بیولیچینگ استفاده گردید. همه آزمایش‌ها با ۷۰ گرم در لیتر جامد در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد با نرخ ۱۵۰ دور در دقیقه انجام شد. همچنین محیط کشت مورد استفاده 9k با ترکیب  $K_2HPO_4$ , 0.5 g/L,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 3 g/L  $(NH_4)_2SO_4$ , 0.014 g/L,  $Ca(NO_3)_2 \cdot H_2O$ , 0.6 g/L, KCl, 0.63 g/L بود. باکتری‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها با غلظت بالای مس سازگار و توانایی آن‌ها برای تحمل شرایط سخت محیط و رشد و فعالیت در این شرایط افزایش یافته بود. چون نتایج آنالیزهای انجام شده نشان دهنده میزان بالای مس و عناصر مزاحم دیگر بود، به همین دلیل در این مرحله سازگاری باکتری با شرایط محیط حاوی غبار انجام شد. بنابراین آزمایش‌هایی با چگالی پالپ‌های مختلف طراحی گردید و درصد پالپ به تدریج افزایش داده شد. در تمامی آزمون‌های انجام شده مخلوطی از باکتری‌های اسیدیتوباسیلوس فرواکسیدانس، اسیدیتوباسیلوس تیواکسیدانس و لپتوسپیریوم فرواکسیدانس استفاده گردید.

## یافته‌ها

در جداول ۱ و ۲ به ترتیب نتایج آنالیز شیمیایی کانی‌شناختی کنسانتره فلوتاسیون و غبار متالورژیکی نشان داده شده است. عمده‌ترین کانی سولفیدی مس در غبار کالکوسیت ۲۴/۳۳ درصد، کالکوپیریت ۵/۴۸ درصد، کوولیت ۱/۲۵ و بورنیت ۸/۶۴ درصد بود. کنسانتره فلوتاسیون به طور عمده حاوی سولفیدهای اولیه مانند کالکوپیریت (۴۰/۷۲۳٪) بود و سولفیدهای ثانویه به میزان کمتری در کنسانتره حضور داشت. همچنین میزان کانی آهن‌دار موجود در کنسانتره پیریت ۳۱/۰۹۸٪ بود، اما میزان آن در غبار پیریت بسیار کم بود.

در شکل ۱ تغییرات پتانسیل اکسیداسیون-احیای محیط بیولیچینگ غبار و کنسانتره در طول آزمایش‌های ظروف لرزان نشان

و به ندرت خورده شدن اطراف کانی‌های کالکوپیریت مشاهده شد. در طول آزمایش‌های بیولیچینگ به طور منظم نمونه‌ای به مقدار ۱ سی‌سی از محلول به منظور آنالیز مس با استفاده از دستگاه آنالیز جذب اتمی به آزمایشگاه مجتمع فرستاده شد. با استفاده از نتایج این آنالیزها میزان بازیابی تجمعی محاسبه گردید و در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل، نرخ بازیابی و بازیابی نهایی کنسانتره در مقایسه با غبار نشان داده شده است. بازیابی نهایی کنسانتره و غبار در شرایط عملیاتی یکسان به ترتیب حدود ۴۴ درصد و ۸۳ درصد بدست آورده شد.

به علاوه، مطالعات سینتیکی به منظور بررسی پارامترهای سینتیکی فرایندهای بیولیچینگ کنسانتره و غبار انجام شد که نتایج آن در شکل ۴ و ۵ آورده شده است. در این تصاویر دیده می‌شود که نتایج با ضریب همبستگی بالایی با مدل همسازی دارند.

## بحث

آنالیز کانی شناختی غبار کوره‌ها و کنسانتره فلوتاسیون نوع و مقدار کانی‌های موجود در آن‌ها را نشان می‌دهد. این مقادیر با کارهای قبلی در مورد غبار (۱۱) و کنسانتره (۱۲) در مجتمع مس سرچشمه مطابقت داشتند. همچنین، با استفاده از آنالیز شیمیایی می‌توان میزان عناصر موجود در نمونه‌های کنسانتره و غبار را قبل و بعد از

جدول ۲. آنالیز شیمیایی و کانی شناختی غبار متالورژیکی قبل از عملیات بیولیچینگ.

غبار متالورژیکی			
آنالیز شیمیایی		آنالیز کانی شناختی	
درصد	عنصر	درصد	کانی
۳۳/۶۷	Cu	۵/۴۸۱	CuFeS <sub>2</sub>
۲۱/۱۹	Fe	۲/۱۲۸	FeS <sub>2</sub>
۹/۰۲	S	۶/۲۴	SiO <sub>2</sub>
۰/۱۳	Mo	۱/۹۵	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۶/۴۶	Pb	۱۶/۱۳۳	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
۰/۸۰۲	As	۲۴/۳۳۴	Cu <sub>2</sub> S
		۱/۲۵۵	CuS
		۸/۶۳۷	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>

داده شده است. در محیط بیولیچینگ کنسانتره پتانسیل اکسیداسیون- احیای محیط به سرعت (حدود ۲ روز بعد از شروع آزمایش) در مقادیر بالاتری قرار گرفت در حالی که در بیولیچینگ غبار با شرایط عملیاتی مشابه پتانسیل اکسیداسیون- احیای محیط به کندی تغییر پیدا کرد به طوری که بعد از حدود ۱۵ روز از شروع آزمایش میزان پتانسیل اکسیداسیون- احیای در مقادیر بالاتر قرار گرفت.

مطالعات گسترده میکروسکوپی با استفاده از میکروسکوپ نور انعکاسی (میکروسکوپ سنگ شناسی) قبل از انجام آزمایش و پس از آن انجام شد. نمونه‌های غبار قبل از بیولیچینگ حاوی سولفیدهای ثانویه (کالکوسیت، کولیت و بونیت) بودند و بعد از بیولیچینگ با باکتری‌های مزوفیل همین سولفیدها در زیر میکروسکوپ بسیار کم مشاهده شدند. همچنین نمونه کنسانتره قبل از بیولیچینگ به طور عمده دارای کالکوپیریت و پیریت بود (این تصاویر نشان داده نشده است). اما به دلیل اهمیت تصویر میکروسکوپی کنسانتره کالکوپیریتی بعد از فرایند بیولیچینگ با باکتری‌های مزوفیل در شکل ۲ آورده شده است. در این شکل اطراف کالکوپیریت با هاله‌ای از کولیت پوشیده شده است که در چند مورد تصویر میکروسکوپی از باقی مانده جامد کنسانتره بعد از بیولیچینگ مزوفیلیک مشاهده گردید. همچنین، بسیاری از کانی‌های کالکوپیریت مشاهده شده دست نخورده باقی مانده بودند

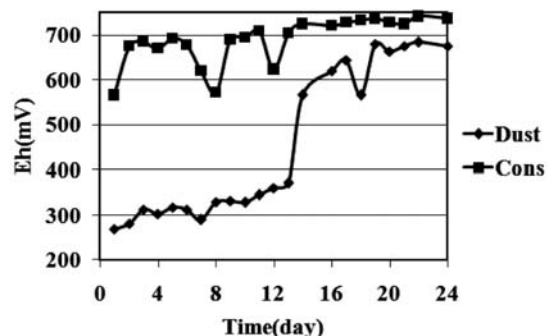
جدول ۱. آنالیز شیمیایی و کانی شناختی کنسانتره فلوتاسیون قبل از عملیات بیولیچینگ.

کنسانتره فلوتاسیون			
آنالیز شیمیایی		آنالیز کانی شناختی	
درصد	عنصر	درصد	کانی
۲۷/۳۲	Cu	۴۰/۷۲۳	CuFeS <sub>2</sub>
۲۸/۸۷	Fe	۳۱/۰۹۸	FeS <sub>2</sub>
۳۰/۵۴	S	۵/۸۲	SiO <sub>2</sub>
۰/۰۷۸	Mo	۳/۴۰	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۰/۱۴	Pb	۸/۴۵۴	Cu <sub>2</sub> S
		۷/۰۹۵	CuS
		۰/۹۵۷	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>

بیولیچینگ و نیز میزان بازیابی آن‌ها در طول فرایند بیولیچینگ را با دقت بررسی نمود.

تغییرات پتانسیل اکسیداسیون- احیا (ORP) در طول آزمایش‌های بیولیچینگ حاکی از افزایش سریع میزان این پتانسیل در محیط بیولیچینگ کنسانتره است. دلیل این موضوع سازگاری سریع و افزایش تعداد باکتری‌ها در محیط بیولیچینگ کنسانتره با استفاده از باکتری‌های مزوفیل می‌باشد. مطابق با معادله نرنست ORP محلول در طول بیولیچینگ بستگی به نسبت آهن فریک به آهن فرو ( $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ ) دارد (۱۳). نتایج نشان دادند که باکتری‌های سازگار شده مقادیر ORP محیط را از حدود ۳۸۰ میلی ولت در شروع آزمایش به حدود ۷۰۰ میلی ولت در طول ۲ روز تغییر دادند. اما، مقادیر ORP پایین‌تر در محیط بیولیچینگ غبار با استفاده از همین باکتری‌های مزوفیل می‌تواند به دلیل وجود عناصر سنگین و سمی مانند ترکیبات سرب و آرسنیک باشد. با وجود اینکه باکتری‌ها پس از مرحله سازگاری با غبار در این آزمایش استفاده شدند، رشد و افزایش تعداد باکتری‌ها حدود ۱۵ روز به تاخیر افتاد. پس از این مدت، باکتری‌ها رشد خوبی نشان دادند و تعداد آن‌ها به میزان قابل قبولی رسید که به همین دلیل میزان ORP محیط به بیشتر از ۶۰۰ میلی ولت ارتقا پیدا کرد.

مطالعات میکروسکوپی غبار قبل از عملیات بیولیچینگ وجود سولفیدهای ثانویه را همراه با مس خالص و نیز مگنتیت و فایالیت را نشان داد که حاصل عملیات ذوب می‌باشند. سولفیدهای ثانویه در مطالعه مقاطع صیقلی اغلب به صورت کالکوسیت و به مقدار خیلی کمتری بورنیت و کوولیت مشاهده شد. همچنین غبار حاوی

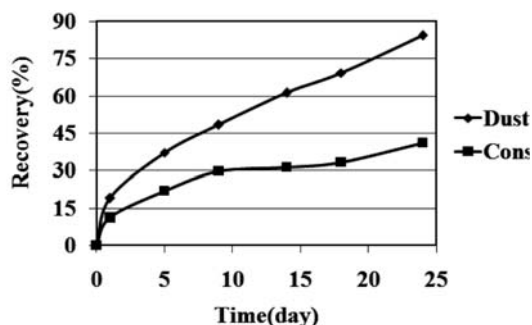


شکل ۱. مقایسه تغییر پتانسیل اکسیداسیون- احیای محیط در بیولیچینگ مزوفیلیک غبار و کنسانتره در دمای ۳۵°C.

مقادیر کمی کالکوپیریت بود. پس از عملیات بیولیچینگ بر روی غبار با استفاده از باکتری‌های مزوفیل در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، جامد باقی‌مانده حاوی مگنتیت و فایالیت‌های دست نخورده (غیر قابل تجزیه توسط باکتری‌ها) و نیز مقادیر کمی کالکوپیریت و همچنین سولفیدهای ثانویه به صورت کوولیت بود. ارگانوسم‌های موجود در عملیات بیولیچینگ به طور معمول از کانی آهن دار پیریت به عنوان منبع انرژی و تغذیه استفاده می‌کند (۱۴). بنابراین، مقایسه تغییر پتانسیل اکسیداسیون- احیای محیط بیولیچینگ غبار و کنسانتره نشان می‌دهد که باکتری‌ها در محیط بیولیچینگ غبار منبع آهن کمتری برای تغییر نسبت  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  در اختیار دارند و این نسبت به کندی در این محیط تغییر می‌کند. اما در محیط بیولیچینگ کنسانتره با همان شرایط، نسبت یاد شده به سرعت بالا می‌رود. دلیل این مساله می‌تواند وجود منبع آهن قابل استفاده باکتری‌ها در محیط بیولیچینگ کنسانتره باشد. همچنین رشد کمتر باکتری‌ها در محیط بیولیچینگ غبار نسبت به کنسانتره را می‌توان به کمبود منابع آهن مورد استفاده باکتری‌ها برای رشد و فعالیت نسبت داد.

تصاویر کانی‌شناختی پس از عملیات بیولیچینگ کنسانتره با استفاده از باکتری‌های مزوفیل در دمای پایین وجود سولفیدهای ثانویه را بر روی جامد باقیمانده پس از عملیات به صورت نواری اطراف کانی کالکوپیریت نشان داد. کانی کالکوپیریت در عملیات بیولیچینگ ابتدا به سولفیدهای ثانویه تبدیل می‌شود و سپس این سولفیدهای ثانویه در طول عملیات حل می‌شود. فروشویی این سولفیدهای ثانویه سخت‌تر از سولفیدهای ثانویه طبیعی است. بدیهی است که این سولفیدها در دمای پایین‌تر پایدارتر می‌باشند (۱۵).

مطابق با نرخ بازیابی‌های مس از کنسانتره و غبار با استفاده از باکتری‌های مزوفیل در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد نتیجه می‌شود که کانی‌های سولفیدی ثانویه (کالکوسیت و کوولیت و بورنیت) موجود در غبار به راحتی با استفاده از باکتری‌های مزوفیل در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد حل شده است. بنابراین، نرخ بازیابی بالا و نیز بازیابی کلی بیشتری نسبت به بیولیچینگ کنسانتره مشاهده شد. در بیولیچینگ کنسانتره با استفاده از باکتری‌های مزوفیل، روی سطح کالکوپیریت موجود در کنسانتره ابتدا سولفیدهای ثانویه



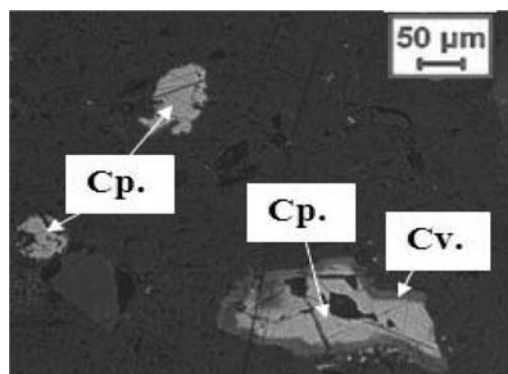
شکل ۳. استخراج های مس بدست آورده شده در طول آزمایش های بیولچینگ بر روی غبار و کنسانتره با استفاده از باکتری های مزوفیل در دمای °C ۳۵.

$n \cdot \ln(k)$  است.

در شکل ۴، داده های حاصل از بیولچینگ غبار مورد ارزیابی سینتیک قرار گرفت و مرتبه واکنش برابر  $0/560$  و ثابت سینتیک واکنش  $0/125 \text{ (day}^{-1}\text{)}$  بدست آورده شد. با توجه به شکل ۵، مرتبه واکنش و ثابت سینتیک به ترتیب  $0/455$  و  $0/010 \text{ (day}^{-1}\text{)}$  بدست آمد. پارامترهای سینتیک معیار مهندسی مناسبی برای مقایسه کارایی عملیات است. از این رو، هر چه ثابت سینتیک بالاتر باشد نشان دهنده وضعیت مناسب فرایند از لحاظ نرخ می باشد. بنابراین، با توجه به ثابت سینتیک بالای بدست آمده از فرایند بیولچینگ غبار می توان گفت که در شرایط مشابه این فرایند نسبت به فرایند بیولچینگ کنسانتره از نرخ بالایی برخوردار است. تفاوت نرخ دو فرایند یاد شده به اختلاف کانی شناسی مواد مورد استفاده در عملیات مربوط می شود. با توجه به این که غبار به طور عمده حاوی سولفیدهای ثانویه است توسط باکتری های مزوفیل به راحتی عمل آوری می شود، اما سولفیدهای اولیه موجود در کنسانتره در دمای پایین به وسیله این باکتری ها در سطوح بازیابی پایین متوقف می گردد.

### نتیجه گیری

در این مطالعه تاثیر کانی شناسی در ارتباط با توانایی باکتری های مزوفیل برای فروشویی میکروبی مواد پرعیار با دو گونه مختلف کانی شناسی بررسی شد. ویژگی های کانی شناسی مواد مورد عملیات تاثیر شاخصی در بیولچینگ نشان داد. تشکیل فیلم منفعل کننده در مورد سولفیدهای اولیه به عنوان عامل اصلی در نرخ حلالیت پایین این کانی ها با استفاده از مطالعات میکروسکوپی



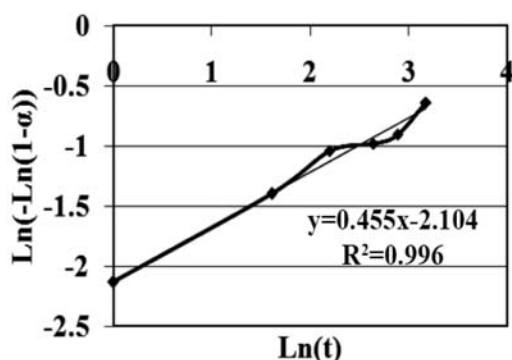
شکل ۲. تصویر کانی شناختی از جامد باقیمانده پس از عملیات بیولچینگ بر روی کنسانتره با استفاده از باکتری های مزوفیل در دمای °C ۳۵.

تشکیل می شود. سولفیدهای ثانویه با توجه به رنگ آبی شان در مطالعه مقاطع صیقلی کولیت تشخیص داده شدند. سولفیدهای ثانویه تشکیل شده در این شرایط با توجه به دمای پایین محیط از خود کالکوپیریت اولیه نسبت به فروشویی پایدارتر بود و با توجه به شکل ۲ به صورت نواری اطراف کالکوپیریت ظاهر شد. در عملیات بیولچینگ کالکوپیریت با مزوفیل ها، غیرفعال شدن سطح بوسیله سولفور عنصری، رسوب فریک به صورت جاروسیت یا پلی سولفیدهای مس میانی در پتانسیل های محلول بالا ( $>600 \text{ mV}$  نسبت به  $\text{Ag/AgCl}$ ) مهم ترین مشکل برای حل کالکوپیریت است (۱۶-۱۸).

به طور معمول، نرخ واکنش ها در محلول ها به صورت توابع ریاضی از غلظت های گونه های واکنش دهنده به عنوان متغیرها بیان می شوند که این موضوع قانون نرخ نامیده می شود. تفاوت های چشمگیری بین مدل های سینتیک برای واکنش های انجام شونده در فاز جامد نسبت به فاز گاز یا محلول وجود دارد (۱۹). وقتی جامدی تحت تبدیل فازی قرار می گیرد، این تغییر به طور معمول در نقاط فعالی شروع می شود که می تواند شامل نقاط با نواقص ساختاری باشند. زمانی که این جامد تغییر ساختاری به طرف خارج از چنین نقاط فعالی می دهد، این پدیده می تواند از قانون زیر تبعیت کند:

$$[-\ln(1-\alpha)]^{\frac{1}{n}} = kt$$

که در این فرمول  $\pm$  بخش واکنش داده،  $k$  ثابت سرعت و  $t$  نشان دهنده زمان است. در مورد واکنش درجه  $n$  نمودار  $\ln(-\ln(1-\alpha))$  نسبت به لگاریتم طبیعی زمان، خطی با شیب  $n$  و عرض از مبدا

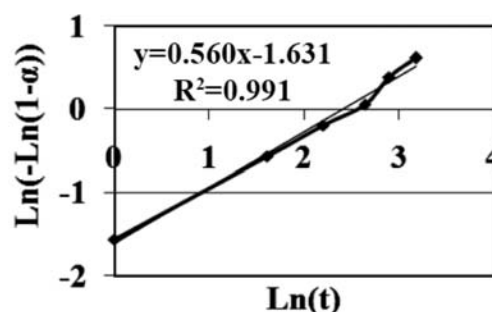


شکل ۵. تعیین مرتبه واکنش و ثابت سینتیک با استفاده از داده‌های بیولیچینگ مزوفیلیک کنسانتره در دمای ۳۵ °C.

در بیولیچینگ کنسانتره ۰/۰۱۰ (day<sup>-1</sup>) بدست آورده شد. همچنین نرخ بازیابی مس از غبار ۰/۸۵۳ g/L/day و از کنسانتره ۰/۴۰۳ g/L/day بدست آورده شد.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی شرکت ملی صنایع مس ایران انجام شده است. نویسندگان این مقاله از جناب آقای دکتر بختیاری به دلیل راهنمایی‌های ارزنده و تمامی پرسنل دلسوز مجتمع مس سرچشمه کمال سپاس و قدردانی را دارند.



شکل ۴. مطالعه سینتیکی بازیابی مس از غبار با استفاده از باکتری‌های مزوفیل در دمای ۳۵ °C.

کنسانتره قبل و پس از عملیات بیولیچینگ نشان داده شد. به علت نرخ حلالیت بالای سولفیدهای ثانویه، نرخ بازیابی و نیز بازیابی کلی بالاتری از غبار نسبت به کنسانتره بدست آورده شد. اکسیداسیون کالکوپیریت در مقدار اکسیداسیون نسبتاً پایین (حدود ۴۴٪) متوقف شد و زمان آب‌شویی اضافی بازیابی را بهبود نداد. آزمایش‌ها نشان داد که کشت مزوفیلیک استاندارد در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد در اکسیدکردن کانی‌های سولفیدی ثانویه بسیار موفق است، اما برای کانی‌های سولفیدی اولیه مس به ویژه کالکوپیریت موثر نمی‌باشد. همچنین، درجه واکنش در بیولیچینگ غبار با استفاده از باکتری‌های مزوفیل ۰/۱۲۵ (day<sup>-1</sup>) و

### References

1. Akcil A, Ciftci H, Deveci H. Role and contribution of pure and mixed cultures of mesophiles in bioleaching of a pyritic chalcopyrite concentrate. *Minerals Engineering*, 2007; 20: 310-318.
2. Rodrí'guez Y, Ballester A, Blázquez M.L, González F, Muñoz J.A. New information on the chalcopyrite bioleaching mechanism at low and high temperature. *Hydrometallurgy*, 2003; 71: 47-56.
3. Olubambi P.A, Ndlovu S, Potgieter J.H, Borode J.O. Effects of ore mineralogy on the microbial leaching of low grade complex sulphide ores. *Hydrometallurgy*, 2007; 86: 96-104.
4. Boon M, Heijnen J.J. Gas-liquid mass transfer phenomena in bio-oxidation experiments of sulphide minerals: A critical review of literature data. *Hydrometallurgy*, 1998; 48: 187-204.
5. Lizama H.M, Harlamovs J.R, McKay D.J, Dai Z. Heap leaching kinetics are proportional to the irrigation rate divided by heap height. *Minerals Engineering*, 2005; 18: 623-630
6. Ghosha M.K, Dasa R.P, Biswas A.K. Oxidative ammonia leaching of sphalerite Part II: Cu(II)-catalyzed kinetics. *Int. J. Miner. Process*, 2003; 70: 221-234.
7. Yadav V.P, Sharma T, Saxena V.K. Dissolution kinetics of potassium from glauconitic sandstone in acid lixiviant. *Int. J. Miner. Process*, 2000; 60: 15-36.
8. Oral Lacin, Bqnyamin Dfmez, Fatih Demir. Dissolution kinetics of natural magnesite in

- acetic acid solutions. *Int. J. Miner. Process*, 2005; 75: 91-99
9. Boon M, Snijder M, Hansford G.S, Heijnen J.J. The oxidation kinetics of zinc sulphide with *Thiobacillus ferrooxidans*. *Hydrometallurgy*, 1998; 48: 171-186.
  10. Cancho L, Blázquez M.L, Ballester A, González F, Muñoz J.A. Bioleaching of a chalcopyrite concentrate with moderate thermophilic microorganisms in a continuous reactor system. *Hydrometallurgy*, 2007; 87: 100-111.
  11. Ahmadi A, Schaffie M, Manafi Z, Ranjbar M. Electrochemical bioleaching of high grade chalcopyrite flotation concentrates in a stirred bioreactor. *Hydrometallurgy*, 2010; 104: 99-105.
  12. Bakhtiari F, Atashi H, Zivdar M, Seyed Bagheri S.A. Continuous copper recovery from a smelter's dust in stirred tank reactors. *Int. J. Miner. Process*, 2008; 86: 50-57.
  13. Rossi G. *Biohydrometallurgy*. McGraw-Hill, Hamburg, 1990.
  14. Sanhueza A, Ferrer I.J, Vargas T, Amils R, Sánchez C. Attachment of *Thiobacillus ferrooxidans* on synthetic pyrite of varying structural and electronic properties. *Hydrometallurgy*, 1999; 51: 115-129.
  15. Fathi Habashi. *Handbook of hydrometallurgy*. Laval University, Quebec City, Canada. 2001; 116-120.
  16. Hiroyoshi N, Miki H, Hirajima T, Tsunekawa M. Enhancement of chalcopyrite leaching by ferrous ions in acidic ferric sulfate solutions. *Hydrometallurgy*, 2001; 60: 185-197.
  17. Pinches A, Myburgh P.J, Merwe C. Process for the rapid leaching of chalcopyrite in the absence of catalysis. 2001, Patent No: US 6, 277, 341 B1.
  18. Third K.A, Cord-Ruwisch R, Watling H.R. Control of the redox potential by oxygen limitation improves bacterial leaching of chalcopyrite. *Biotechnology and Bioengineering*, 2002; 78 (4): 433-441.
  19. James E. House. *Inorganic Chemistry*. Elsevier Inc., 2008; 258-277.



## The mineralogical effect on the mesophilic bioleaching of copper from smelter dust and flotation concentrate

Ali Behzad<sup>1</sup>, Zahra Manafi<sup>2</sup>, Mohammad Ranjbar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. of Mineral Processing, Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

<sup>2</sup>M.Sc. of Microbiology, National Iranian Copper Industry Company, Sarcheshmeh, Kerman, Iran.

<sup>3</sup>Professor of Mining Engineering, Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

### Abstract

**Background and objectives:** Nowadays, bacteria are widely used to recover copper from waste, ore, and concentrate. It is very important to understand bacterial performance in relation to materials with different mineralogy in order to select appropriate bacteria and improve bioleaching processes with high performance. As a consequence, the aim of this study is to investigate the effect of smelter dust and flotation concentrate mineralogy on copper recovery from the materials using mesophilic bacteria.

**Materials and Methods:** The effect of processing material mineralogy on biological extraction of copper was investigated using a couple of material with different mineralogy, metallurgical dust and concentrate of Sarcheshmeh copper complex. Bioleaching experiments were performed by using mixed culture of *A. ferrooxidans*, *A. thiooxidans* and *L. ferrooxidans* from Sarcheshmeh Copper Mine in shaker utensils.

**Results:** Metallurgical dust mostly contained secondary sulphides products such as chalcocite and covellite, and concentrate mostly contained primary sulphides product such as chalcopyrite. The extraction rate of copper was achieved 0.835 g/L/day and 0.403 g/L/day from dust and concentrate, respectively. Also, kinetic studies showed that the rate constants of dust and concentrate were 0.125 day<sup>-1</sup> and 0.010 day<sup>-1</sup>, respectively.

**Conclusion:** The impact of mineralogical characteristics of the material on bioleaching operations was significant. Due to highly solubility rates of secondary sulphides, recovery rate and a higher overall copper recovery was obtained from dust in comparison to concentrate. Chalcopyrite oxidation was stopped at relatively low amounts (about 44%) and additional bioleaching time have not been improve it. The experiments showed that standard mesophilic culture at 35°C was very successful in bioleaching of secondary sulfide minerals, but bioleaching of primary copper sulfide minerals especially chalcopyrite by the culture was not effective.

**Keywords:** Mineralogy, Metallurgical Dust, Flotation Concentrate, Biological Copper Recovery, Mesophiles.

---

Correspondence to: Ali Behzad

Tel: (+98)914-9536049

E-mail: alibehzad86@yahoo.co.uk

Journal of Microbial World 2009, 2(3), 141-148