

تأثیر اندازه ذرات و دانسیته پالپ بر سینتیک بیولیچینگ کنسانتره کالکوپیریتی

محمد رضا اسمعیل بگی کرمانی^{۱،۲}، عطا... کامیابی^۳، مهین شفیعی^{۴،۳}، محمد رنجبر^{۴،۱*}

- ۱- بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
- ۲- انجمن پژوهشگران جوان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
- ۳- بخش مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
- ۴- پژوهشکده صنایع معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده

مشکل عمده و محدود کننده فرآیندهای بیولیچینگ سرعت نسبتاً کم انحلال کانی های سولفیدی مس بویژه کالکوپیریت است. پارامترهای عملیاتی متعددی از جمله اندازه ذرات و درصد جامد بر سرعت انحلال کالکوپیریت در عملیات بیولیچینگ مخزنی موثر می باشند. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی تأثیر اندازه ذرات و درصد جامد بر کارایی باکتری های ترموفیل معتدل و سینتیک فرآیند در عملیات بیولیچینگ مخزنی کنسانتره کالکوپیریتی می باشد. در این راستا باکتری های ترموفیل معتدل جداسازی شده از مجتمع مس سرچشمه با کنسانتره کالکوپیریتی این مجموعه در درصد جامدهای مختلف سازگار و آزمایش ها در یک رآکتور همزن دار آزمایشگاهی برای بررسی تأثیر درصد جامد و اندازه ذرات طراحی و اجرا شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش دانسیته پالپ و کاهش اندازه ذرات ویسکوزیته پالپ افزایش می یابد. در محدوده بررسی شده با افزایش درصد جامد سرعت انحلال کاهش می یابد در حالی که کاهش اندازه ذرات تا میزان مشخصی (۱۶ میکرومتر) باعث افزایش سرعت انحلال و بازیابی مس می شود. تحت شرایط بهینه مربوط به این تحقیق (درصد جامد ۱۰ و اندازه ذرات ۱۶ میکرومتر) بیش از ۸۸ درصد مس از کنسانتره کالکوپیریتی بازیابی می شود.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۱ خرداد ۱۳۹۶

دریافت پس از اصلاح: ۲۰ آذر ۱۳۹۶

پذیرش نهایی: ۲۷ دی ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

بیولیچینگ،

کنسانتره کالکوپیریتی،

درصد جامد،

اندازه ذرات،

سینتیک

* عهده دار مکاتبات

آدرس پست الکترونیکی

m.ranjbar@uk.ac.ir

حقوق ناشر محفوظ است.

۱- مقدمه

توسعه بیوفناوری به عنوان یک تکنولوژی سازگارتر با محیط زیست، تحقیقات در صنایع معدنی را به سوی کاربرد از این روش ها برای استحصال فلزات از منابع معدنی سوق داده است [۱، ۲]. کالکوپیریت مهمترین کانی سولفیدی مس موجود در جهان است. یکی از مشکلات عمده فرآیند بیولیچنگ کنسانتره کالکوپیریتی مس بویژه با باکتری های مزوفیل سرعت پایین واکنش انحلال و بازیابی کم مس ذکر شده است [۳، ۴]. به نظر می رسد با استفاده از باکتری های ترموفیل بتوان به دلیل دمای بالاتر، ظرفیت تحمل بیشتر به فلز و ویژگی های متابولیکی مناسبتر به نتایج مناسبتری دست یافت [۵، ۶]. سازگار کردن باکتری ها با درصد جامد بالا مرحله مهمی در بهینه سازی بیولیچنگ کنسانتره های سولفیدی مس محسوب می گردد [۷]. در این صورت مقاومت باکتری به غلظت های بالای فلزی نیز افزایش می یابد.

عوامل مختلفی بر فعالیت باکتری ها و کارایی عملیات بیولیچنگ برای انحلال کانی های سولفیدی بویژه کنسانتره های کالکوپیریتی مس موثر هستند که مهمترین آنها، نوع باکتری، ترکیب محیط کشت، دما، اسیدیته (pH)، پتانسیل اکسیداسیون و احیا، میزان انحلال اکسیژن و گاز کربنیک در محلول، نرخ انتقال جرم، هوادهی و نرخ همزنی و ویژگی های مینرالوژیکی، فیزیکی و شیمیایی فاز جامد می باشند. در ارتباط با نقش درصد جامد و اندازه ذرات می توان به موارد زیر اشاره نمود.

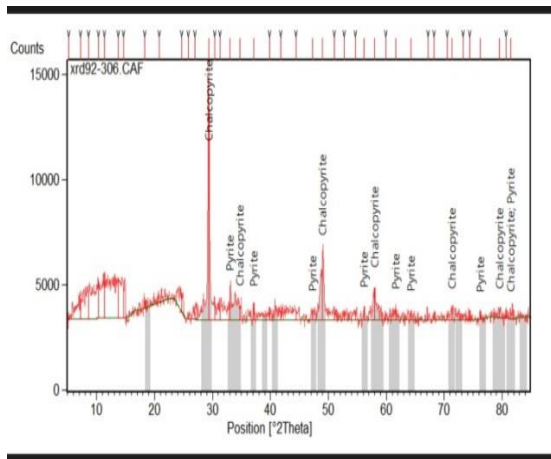
احمدی و همکاران به بررسی بیولیچنگ کنسانتره کالکوپیریتی در دانسیته پالپ های بالا پرداخته و نشان دادند که در مقایسه با باکتری های مزوفیل کارایی باکتری های ترموفیل معتدل در دانسیته پالپ های بالا بهتر می باشد [۸] و همچنین حضور پیریت در کنسانتره کالکوپیریتی باعث ایجاد سلول گالوانیکی شده که با افزایش انتقال الکترون توسط باکتری ها نرخ انحلال را بهبود می بخشد [۹]. بهراد در سال ۲۰۱۱ به بررسی بیولیچنگ کنسانتره های کالکوپیریتی و غبارهای حاصل از ذوب با استفاده از باکتری های مزوفیل و ترموفیل معتدل پرداخت و نشان داد که کارایی باکتری های ترموفیل نسبت به مزوفیل بالاتر بوده و بیولیچنگ کنسانتره بسیار متاثر از مینرالوژی آن می باشد و همچنین میکروارگانیزمها توانایی سازگاری با شرایط سخت را دارا می باشند [۱۰]. در حالی که در

خصوص نقش درصد جامد در عملیات بیولیچنگ اطلاعاتی منتشر شده است [۹، ۱۱]، کمتر به تاثیر اندازه ذرات پرداخته شده است. دلیل اصلی این موضوع می تواند به پیچیده بودن نقش اندازه ذرات مرتبط باشد [۱۲، ۱۳]. بررسی ها در زمینه نقش درصد جامد در سیستم نشان می دهد که در دانسیته های بالای جامد در اثر وجود نیروهای برشی مخرب در سیستم سلول های باکتریایی از بین می روند [۱۴، ۱۵] و همچنین با افزایش درصد جامد در انتقال جرم و نرخ انجام فرآیند محدودیت ایجاد می شود [۶، ۱۶، ۱۷]. نتایج تحقیقات اخیر حاکی از آن است که اندازه ذرات به دلیل تاثیر چند گانه بر فرایند نقش قابل توجهی در فعالیت باکتریایی و کارایی فرآیند دارد از جمله می توان به این مسئله اشاره کرد که در سیستم های همزن دار اندازه ذرات وابسته به اندازه گرداب های ایجاد شده در سیستم می تواند نقش مخربی بر فعالیت باکتریایی داشته باشد [۱۸] و از دیدگاهی دیگر با کاهش ابعاد ذرات، سطح واکنش افزایش یافته و باعث تسریع واکنش های شیمیایی می شود. در این ارتباط مکانیسم و مدت زمان خردایش ذرات نقش موثری بر تولید گونه های سمی (گونه های اکسیژن فعال) و کاهش کارایی فرایند دارد [۱۹، ۲۰]. لطفعلیان و همکاران نشان دادند که کاهش اندازه یک مقدار بحرانی داشته که با گذشت از این مقدار، کارایی فرآیند کاهش می یابد [۲۱]. اندازه ذرات و دانسیته پالپ تاثیر قابل توجهی بر رئولوژی پالپ دارد که رئولوژی پالپ به عنوان پارامتر موثری بر انتقال جرم در فرآیندهای باکتریایی ارزیابی می شود. با افزایش درصد جامد پالپ و کاهش اندازه ذرات تعداد برخوردها در واحد حجم پالپ و تجمع یون ها افزایش یافته، و ویسکوزیته پالپ افزایش می یابد که می تواند تحت شرایط مشخص کاهش نرخ انتقال جرم بویژه انتقال اکسیژن و گاز کربنیک به عنوان پارامتر های موثر بر فعالیت باکتریهای ترموفیل هوازی را به همراه داشته باشد [۲۲-۲۴]. با توجه به موارد ذکر شده و نتایج حاصل از تحقیقات مرتبط با بیولیچنگ الکتروشیمیایی کنسانتره کالکوپیریتی، نتایج حاکی از ضرورت بررسی جامع تر نقش اندازه ذرات بر کارایی عملیات بیولیچنگ مخزنی کنسانتره مجتمع مس سرچشمه برای بهینه سازی پارامتر های عملیاتی می باشد. در این راستا در تحقیق حاضر تاثیر اندازه ذرات و درصد جامد بر سینتیک فرآیند با استفاده از باکتری های ترموفیل معتدل بررسی می شود.

۲- مواد و روش تحقیق

۱-۲ مواد و تجهیزات

در این تحقیق از کنسانتره مس مجتمع مس سرچشمه استفاده شد. با انجام آنالیز شیمیائی و مینرالوژی نمونه شاخص مشخص گردید که کالکوپیریت و پیریت به ترتیب با ۶۶/۵ و ۳۰/۸ درصد، فازهای اصلی نمونه و کالکوسیت و کانی‌های اکسیدی به عنوان کانی‌های فرعی در مجموع کمتر از ۳ درصد کنسانتره را تشکیل می‌دهند. میزان کلی مس و آهن در کنسانتره به ترتیب برابر ۲۵/۴۸ و ۲۷/۱۱ درصد تعیین شد (شکل ۱ و جدول ۱).



شکل ۱- آنالیز XRD کنسانتره مجتمع سرچشمه (ترکیب فازی نمونه)

باکتری‌های ترموفیل معتدل بومی مجتمع مس سرچشمه در محیط کشت 9k [۲۰] و ۰/۰۲ درصد مخمر با مقادیر مختلف کنسانتره سازگار شدند و چگونگی رشد باکتری‌ها و جمعیت باکتریایی توسط میکروسکوپ نوری Nikon و اندازه گیری پتانسیل اکسیداسیون و احیا ORP و pH بررسی شد.

به منظور بررسی تأثیر خردایش بر روی بیولیچینگ کنسانتره کالکوپیریتی، خردایش نمونه‌ها بوسیله آسیای گلوله-ای آزمایشگاهی Denver (۲۰۳*۳۰۵ میلیمتر) انجام گردید. در این راستا از گلوله‌های فولادی با ابعاد مختلف به منظور واسطه خردایش استفاده شد (جدول ۲). در این نوع آسیای آزمایشگاهی ذرات در اثر سایش بین گلوله‌ها خرد می‌شوند.

برای اندازه گیری ویسکوزیته پالپ از دستگاه رنومتر BROOKFIELD استفاده شد. اندازه گیری کشش سطحی با استفاده از دستگاه KRUSS (K12) و روش صفحه ویلهلمی انجام شد.

۲-۲ طراحی آزمایش

برای بررسی تأثیر اندازه ذرات (d_{80}) و دانسیته پالپ بر بیولیچینگ کنسانتره‌های کالکوپیریتی با استفاده از نرم افزار Design Expert7 و طرح آزمایشی فاکتوریل کامل D-Optimal، آزمایشها طراحی و طرح پیشنهادی ارائه شد (جدول ۵). اندازه ذرات کنسانتره و درصد جامد پالپ به عنوان متغیرهای طرح آزمایشی انتخاب شدند. اندازه ذرات کنسانتره در سه سطح ۴۵، ۳۲ و ۱۶ میکرومتر و با توجه به

جدول ۱- آنالیز شیمیائی کنسانتره

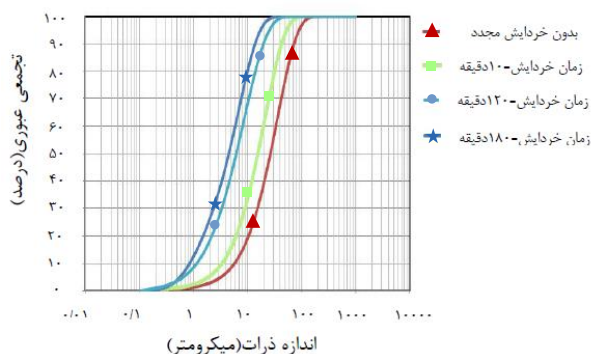
درصد	عنصر (ترکیب)	درصد	عنصر (ترکیب)
۲/۰	Al ₂ O ₃	۲۵/۴۸	Cu
۰/۴۶	K ₂ O	۲۷/۱۱	Fe
۰/۲۶	PbO	۰/۲۶	CaO
۰/۱۳	TiO ₂	۴/۶۷	SiO ₂
۰/۸۴	ZnO	۴۱/۸۰	SO ₃

جدول ۲- توزیع وزنی اندازه گلوله‌های آسیا

اندازه گلوله (میلی متر)	درصد وزنی (%)
۱۲	۳۰
۱۰	۵/۶
۹	۱۴/۱
۸	۱۰/۷
۷	۷/۷
۶	۴/۳
۵	۰/۵
۴	۰/۳

۳-۲- خردایش کنسانتره

نتایج آنالیز لیزری کنسانتره سرچشمه، حاکی از آن است که ۸۰ درصد ذرات آن زیر ۴۵ میکرومتر می‌باشند. برای بررسی نقش اندازه ذرات بر کارایی عملیات بیولیچینگ خردایش کنسانتره در آسیای گلوله ای بصورت خشک انجام و تاثیر زمان خردایش (۱۰، ۱۲۰، ۱۸۰ دقیقه) بررسی شد. نتایج آنالیز لیزری نشان می‌دهند که با افزایش زمان خردایش D_{80} نمونه‌ها از ۴۵ میکرون به ترتیب به زیر ۳۲ و ۱۶ و ۹ میکرومتر کاهش می‌یابد (شکل ۲). با توجه به اطلاعات منتشر شده در خصوص نقش مدت زمان خردایش بر تولید گونه‌های سمی (گونه‌های اکسیژن فعال) و کاهش کارایی فرایند [۱۹، ۲۰] و همچنین نتایج آزمایش‌های مقدماتی مدت زمان ۱۰ و ۱۲۰ دقیقه برای خردایش و همگن سازی نمونه‌ها انتخاب شد.



شکل ۲- دانه بندی کنسانتره قبل و بعد از خردایش

نتایج تحقیقات مقدماتی درصد جامد در دو سطح ۱۰ و ۱۵ درصد بررسی شد. تست‌های بیولیچینگ در راکتور همزن‌دار مکانیکی به حجم تقریبی ۵ لیتر در شرایط ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه، تلقیح ۱۰ درصد، ۱/۵ لیتر بر دقیقه هوادهی، دمای 50°C و مدت زمان ۱۰ روز انجام شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر غربالگری بر سازگاری و جمعیت باکتریایی

سازگاری مجموعه باکتریایی با شرایط پیش بینی شده برای تست‌های بیولیچینگ همراه با سه مرحله غربالگری انجام شد. نتایج حاصل از این مرحله نشان می‌دهد که وابسته به درصد جامد مدت زمان سازگاری با افزایش مراحل غربالگری از حدود ۲۰ روز به کمتر از ۲ روز کاهش می‌یابد. همچنین غربالگری تاثیر بارزی بر جمعیت باکتریایی به عنوان شاخص عملیات دارد به نحوی که جمعیت باکتریایی پس از سه مرحله غربالگری رشد قابل توجه داشته است و به عنوان مثال هنگام استفاده از 9×10^8 درصد جامد تعداد سلول‌های زنده از $1.0 \times 10^8 \times 1/2$ به $3/4 \times 10^8$ سلول بر میلی لیتر افزایش نشان می‌دهد (جدول ۳).

جدول ۳- تاثیر غربالگری بر تغییرات جمعیت باکتریایی

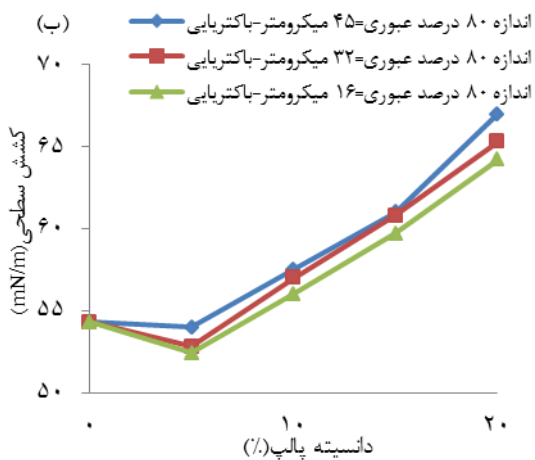
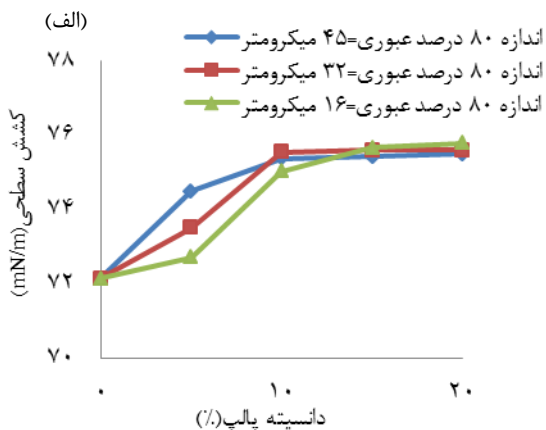
درصد جامد (%)	مرتب‌تکرار سازگاری	زمان رسیدن به پتانسیل ۵۰۰ میلی ولت (روز)	جمعیت باکتریایی (Cell/ml)
۹	۱	۲۳	$1/2 \times 10^8$
	۲	۲۲	$1/5 \times 10^8$
	۳	۳	$3/4 \times 10^8$
۱۲	۱	۳۳	$1/5 \times 10^8$
	۲	۲۵	$2/1 \times 10^8$
	۳	۳	$3/2 \times 10^8$
۱۵	۱	۴۵	$2/2 \times 10^8$
	۲	۳۶	$3/3 \times 10^8$
	۳	۱	4×10^8

۳-۳- تاثیر اندازه ذرات بر ویسکوزیته و کشش سطحی

نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان می‌دهند که افزایش درصد جامد از ۵ به ۲۰ و همچنین کاهش اندازه ذرات از ۴۵ به ۱۶ میکرون باعث تغییرات معناداری در مقدار ویسکوزیته پالپ می‌شود. در روش ویسکوزیته نسبی در اندازه گیری سرعت حرکت سیال در لوله موئین علاوه بر ویسکوزیته، کشش سطحی نیز موثر می‌باشد و به همین دلیل تغییرات ویسکوزیته نسبی با تغییر اندازه ذرات و درصد جامد از تئوری‌های موجود پیروی نمی‌کند، برای بررسی تایید صحت داده‌های گرانیوی نسبی، یک سری تست‌های کشش سطحی انجام شد و نشان داده شد که با افزایش درصد جامد کشش سطحی نیز افزایش می‌یابد (شکل ۳ الف). فعالیت‌های باکتریایی هنگام اضافه نمودن باکتری به سیستم که می‌تواند شامل انحلال فاز جامد و در

تأثیر اندازه ذرات و دانسیته پالپ بر سینتیک بیولیچینگ کنسانتره کالکوپیریتی

مشخص شد که با افزایش درصد جامد از ۱۰ به ۱۵ درصد جامد بازیابی مس از کنسانتره بدلیل افزایش ویسکوزیته (شکل ۳) و در نتیجه مشکلات انتقال جرم و کاهش فعالیت باکتریایی [۱۶، ۶] کاهش می‌یابد. کاهش اندازه ذرات تا ۱۶ میکرومتر باعث افزایش حدود ۲۰ درصدی بازیابی مس از کنسانتره تحت شرایط مشابه می‌شود، که عامل اصلی آن افزایش سطح واکنش می‌باشد (جدول ۵).



شکل ۳- تغییرات کشش سطحی الف) بدون حضور باکتری (ب) در حضور باکتری

نتیجه کاهش درصد جامد موثر و یا تولید مواد فعال سطح باشد، باعث می‌شود که تحت شرایط یکسان کشش سطح پالپ هنگام اضافه نمودن باکتری در مقایسه با نمونه های بدون باکتری کاهش محسوسی داشته باشد (شکل ۳ ب).

در نتیجه نقش درصد جامد در رفتار پالپ در ویسکوزیته نسبی در اثر افزایش چسبندگی سیال به لوله موئین و افزایش تعداد برخوردها در واحد حجم سیال می‌باشد. کاهش اندازه ذرات باعث کاهش کشش سطحی پالپ در درصد جامدهای مختلف می‌شود در نتیجه کاهش غیر متعارف ویسکوزیته نسبی پالپ با کاهش اندازه ذرات در اثر کاهش کشش سطحی پالپ و چسبندگی سطح پالپ به دیواره لوله موئین است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که روش ویسکوزیته نسبی برای اندازه گیری گرانیوی سوسپانسون‌ها در اندازه ذرات و درصد جامدهای مختلف مناسب نمی‌باشد. لذا در ادامه از دستگاه ویسکومتر (BROOKFIELD) استفاده شد. نتایج تست های مقدماتی نشان داد که از این روش می‌توان با دقت کافی برای اندازه گیری ویسکوزیته پالپ تا درصد جامد حدود ۵ درصد استفاده نمود. لذا با استفاده از داده‌های گرانیوی تا ۳ درصد جامد و اندازه ذرات مختلف به تخمین ضریبی برای پیش بینی گرانیوی در شرایط مختلف پرداخته شد و معین گردید که هر یک درصد افزایش جامد به طور متوسط باعث افزایش ۱/۰۵ برابری ویسکوزیته می‌شود (شکل ۴). کاهش اندازه ذرات علاوه بر افزایش تعداد برخوردها در واحد حجم سیال، بر خواص دیگری چون کشش سطحی تأثیری بارزی دارد.

۳-۴- ارزیابی آماری نتایج

با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز واریانس مشخص شد که پارامترهای درصد جامد و اندازه ذرات در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای تأثیر بارزی بر بازیابی مس از کنسانتره می‌باشد (جدول ۴). اما همانطور که مشخص است تأثیر متقابل دو پارامتر مورد نظر دارای تأثیر بارزی نمی‌باشد یعنی اینکه تغییر همزمان دو پارامتر با هم باعث ایجاد هم‌افزایی در تغییرات بازیابی مس نمی‌شود و یا اینکه تحت شرایط عملیاتی این تحقیق اختلاف سطوح انتخابی به اندازه ای نبوده است که بتواند به خوبی تأثیر متقابل پارامترها را نشان دهد. با ارزیابی نتایج تست های طراحی شده با استفاده از نرم افزار DesignExpert7 و طرح آزمایشی فاکتوریل کامل (D-Optimal)

جدول ۴- آنالیز واریانس، بررسی تاثیر درصد جامد و D_{80} بر روی باز یابی مس

آنالیز واریانس برای مدل فاکتوریل کامل			
مقدار p	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع
۰/۰۳۲۲	۵	۴۷۶/۱۱	مدل
۰/۰۱۶۹	۱	۱۸۰/۹۷	دانشیته پالپ
۰/۰۱۵۵	۲	۳۹۷/۳	اندازه ذرات
۰/۳۲۴۱	۲	۱۳/۰۸	تاثیر متقابل

جدول ۵- جمع بندی نتایج تست های بیولیچینگ

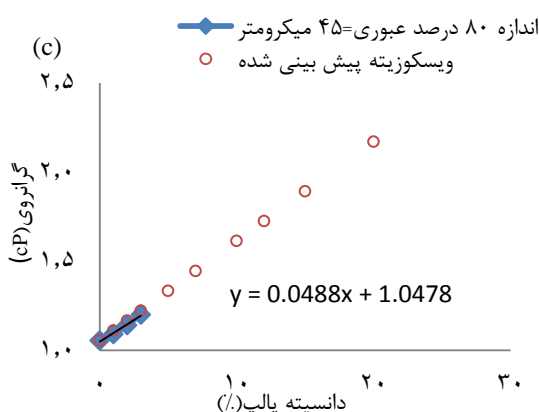
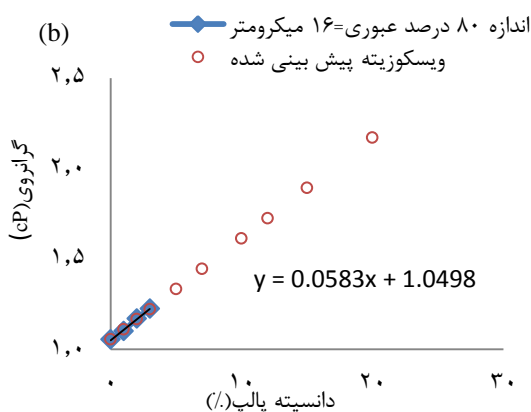
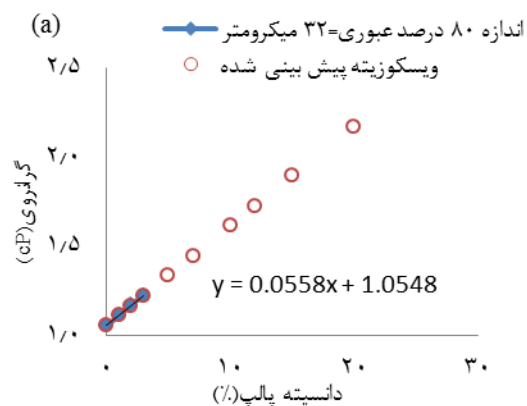
اجرا	درصد جامد پالپ	اندازه ذرات (میکرومتر)	پاسخ: درصد باز یابی مس
۱	۱۵	۱۶	۷۶/۳۹
۲	۱۰	۴۵	۶۹/۳۴
۳	۱۵	۱۶	۷۳/۲
۴	۱۰	۴۵	۶۷/۸
۵	۱۵	۳۲	۶۶/۴۵
۶	۱۰	۳۲	۷۳/۷۸
۷	۱۰	۱۶	۸۸/۲۲
۸	۱۵	۴۵	۶۰/۱۷

۳-۵- بررسی های سینتیکی

با نمونه گیری در بازه های زمانی متفاوت از تست های بیولیچینگ و آنالیز نمونه ها مشخص شد که روند تغییرات غلظت با ضریب قطعیت بیشتر از ۹۵ درصد از سینتیک درجه یک تبعیت می کند (معادله ۱).

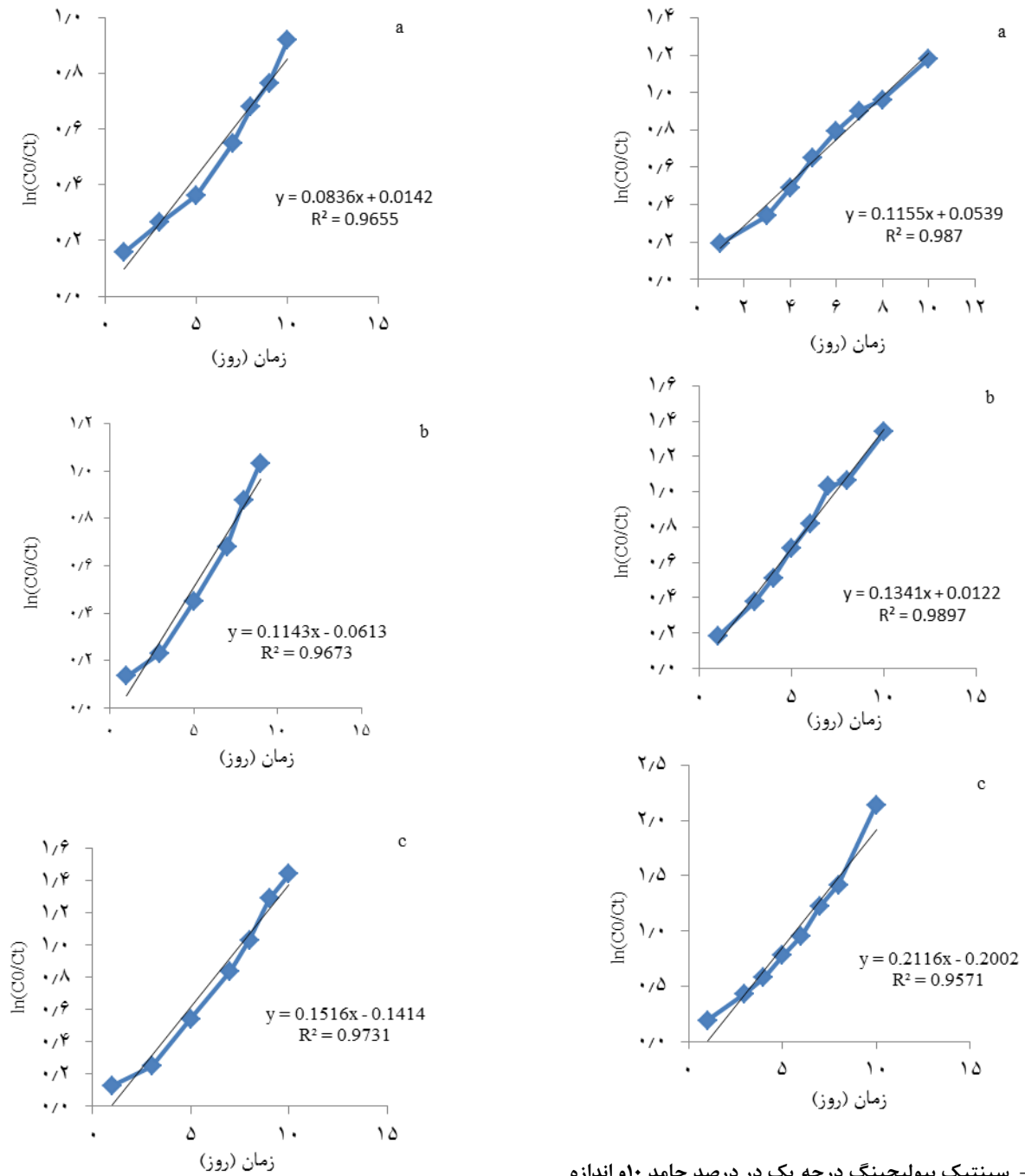
$$n = 1 \rightarrow \frac{dC}{dt} = kC^1 \rightarrow \ln(C_t) = \ln(C_0) - Kt \quad (\text{معادله ۱})$$

با رسم نمودارهای سینتیکی (شکل های ۵ و ۶) نشان داده شد که ثابت سرعت انحلال مس در اندازه ذرات (D_{80}) ۳۲، ۴۵ و ۱۶ میکرومتر و درصد جامد ۱۰ به ترتیب برابر ۰/۱۱، ۰/۱۳ و ۰/۲۱ (day^{-1}) و در درصد جامد ۱۵ به ترتیب برابر ۰/۰۸، ۰/۱۱ و ۰/۱۵ (day^{-1}) می باشد.



شکل ۴- تاثیر درصد جامد بر ویسکوزیته پالپ در اندازه ذرات مختلف (a) ۳۲، (b) ۱۶، (c) ۴۵ میکرومتر

تأثیر اندازه ذرات و دانسیته پالپ بر سینتیک بیولیچینگ کنسائتره کالکوپیریتی



شکل ۵- سینتیک بیولیچینگ درجه یک در درصد جامد ۱۰ و اندازه

ذرات (a) ۴۵ (b) ۳۲ (c) ۱۶ میکرومتر

شکل ۶- نمودارهای سینتیک (درجه یک) برای تست‌های

بیولیچینگ در درصد جامد ۱۵ و اندازه ذرات (a) ۴۵ (b) ۳۲ (c) ۱۶

میکرومتر

نتایج این بخش نشان می‌دهد که ثابت سرعت انحلال مس با کاهش اندازه ذرات زیاد و با افزایش درصد جامد کاهش می‌یابد که عامل اصلی آن می‌تواند افزایش گرانیروی و محدودیت در نفوذ در اثر افزایش دانسیته پالپ باشد [۶, ۱۶].

بهینه سازی و کنترل بهتر پارامتر های عملیاتی و استفاده از باکتریهای موثر تر، دستیابی به بازیابی بیش از ۹۵ درصد دور از دسترس و انتظار نمی باشد.

مراجع

1. Dreisinger. D.B., Copper .W.C., Young. S.K., 2007. "Silver-catalyzed bioleaching of low-grade copper ores. Part 1 : Shake flasks tests" . Hydrometallurgy,88: p. 3-18.
2. Devasia, P., Natarajan, K.A,2004. "Bacteria leaching biotechnology in the mining industry":. p. 40-49.
3. Petersen., J., Dixon., D.G,2002. "Thermophilic heap leaching of a chalcopyrite concentrate". Minerals engineering, 15: p. 777-785.
4. Rawlings.,Dew., Plessis.,2003 Biomineralization of metal-containing ores and concentrates.Trends in biotechnology,vol.21.
5. Dixon., P.a.D.G., 2004, GEOCOAT Heap leaching of copper sulphide concentrates using thermophile bacteria. .
6. Nemati, M., Harrison,S.T.L. 2000, "Effect of solid loading on thermophilic bioleaching of sulfide minerals". Journal of Chemical Technology & Biotechnology., 75(7): p. 526-532.
7. Ayata., S., Yildiran., H., 2001, "A novel technique for silver extraction from silver sulphide ore". Turk JChem, vol.25: p .187-191.
8. Ahmadi.A, Schaffie.M, Petersen.J, Schippers.A, Ranjbar.M, 2011,"Conventional and electrochemical bioleaching of chalcopyrite concentrates by moderately thermophilic bacteria at high pulp density". Hydrometallurgy .,106 :p. 84-92.
9. Ahmadi.A, , Ranjbar.M, Schaffi.M, 2012, "Catalytic effect of pyrite on the leaching of chalcopyrite concentrates in chemical, biological and electrobiochemical systems". Minerals Engineering., 34: p. 11-18.
10. Vakyabad, A.B., 2011," A comparison of bioleaching ability of mesophilic and moderately thermophilic culture on copper bioleaching from flotation concentrate and smelter dust". International Journal of Mineral Processing., 101: p. 94-99.
11. Astudillo.C, 2008,"Adaptation of Sulfolobus metallicus to high pulp densities in the biooxidation of a flotation gold concentrate". Hydrometallurgy., 92: p. 11-15.
12. Acevedo.F, 2004 , "Optimization of pulp density and particle size in the biooxidation of a pyritic gold concentrate by Sulfolobus metallicusq". World Journal of Microbiology & Biotechnology., 20: p. 865-869.
13. Zhaohui Guo , L.Z., Yi Cheng, Xiyuan Xiao, Fengkai Pan, Kaiqi Jiang, 2010, "Effects of pH, pulp density and particle size on solubilization of metals from a Pb/Zn smelting slag using indigenous

با افزایش درصد جامد و کاهش اندازه ذرات منابع در دسترس برای آزاد سازی یون ها افزایش می یابد در نتیجه دانسیته بار الکتریکی و وسیکوزیته پالپ افزایش، وبا کاهش انتقال جرم بازیابی نیز کم می شود [۲۲، ۲۴]. بر این اساس اندازه ذرات دو تاثیر اساسی بر کارائی فرآیند بیولیچینگ کنسانتره های کالکوپیریتی دارند. از یک طرف کاهش اندازه ذرات و افزایش سطح فاز جامد معمولا سرعت انحلال را افزایش می دهد. از طرفی دیگر کاهش اندازه ذرات افزایش گرانبوی پالپ و در نتیجه کاهش نرخ انتقال جرم اکسیژن و دی اکسید کربن را که تاثیر منفی بر فعالیت باکتریائی دارند می شود و کارایی فرآیند را کاهش می دهد. تشریح کامل نقش دو گانه کاهش اندازه ذرات بر سرعت فرآیند بیولیچینگ با در نظر گرفتن امکان بوجود آمدن گونه های سمی (گونه های اکسیژن فعال) طی عملیات خردایش (فعالسازی مکانیکی) [۱۹] نیاز به بررسی های سیستماتیک دارد که در برنامه کاری این گروه تحقیقاتی قرار دارد.

۴- نتیجه گیری

آنالیز دانه بندی کنسانتره نشان داد که D80 کنسانتره با افزایش زمان خردایش تحت مکانیزم سایش به مقادیر حدود ۹ میکرون کاهش می یابد. سازگاری مکرر باکتری ها و غربالگری آنها باعث کاهش زمان رشد و افزایش جمعیت باکتریایی می شود. فرآیند بیولیچینگ در رآکتور همزن دار از سینتیک درجه یک پیروی کرده و ثابت سرعت انحلال در رآکتور همزن دار تحت شرایط عملیاتی این تحقیق وابسته به اندازه ذرات و در محدوده بین ۰/۰۸ و ۰/۲۱ بر روز می باشد. درصد جامد پالپ و اندازه ذرات تاثیر بسزایی در رفتار سیالاتی پالپ و فعالیت باکتریایی دارند. با افزایش درصد جامد و کاهش اندازه ذرات گرانبوی پالپ افزایش می یابد. نقش اندازه ذرات در سیستم بسیار پیچیده می باشد. از طرفی با کاهش اندازه ذرات، سطح ویژه و در نتیجه راندمان عملیات افزایش می یابد. از طرف دیگر کاهش اندازه ذرات می تواند کاهش راندمان بیولیچینگ را بدلیل تولید عوامل مخرب باکتریایی (گونه های سمی) را بهمراه داشته باشد. پارامترهای درصد جامد و اندازه ذرات در سطح اطمینان ۹۵ درصد تاثیر بارزی بر بازیابی مس از کنسانتره دارند. نتایج این تحقیق نشان داد که بازیابی بیش از ۸۸ درصدی مس از کنسانتره کالکوپیریتی ممکن است. با ادامه

- thermophilic bioleaching". Minerals Engineering,. 24: p. 1198–1208.
20. Acevedo, f., Gentina, J, C., 1989, "process engineering aspect of the bioleaching of copper ores". Bioprocess Engineering,. 4: p. 223-229.
21. Lotfalian.M., Fazaelpoor.M, Schaffie.M, Manafi.Z, 2015, "Continuous Bioleaching of Chalcopyritic Concentrate at High Pulp Density". Geomicrobiology Journal,. 32: p. 42–49.
22. Liu Meilin, R.R., Wen Jiankang,Wang Dianzuo, 2007, "Effect of Bacteria on Viscosities of Mineral Bio-leaching Solutions ."Chinese Journal of Rare Metals,.
23. DOETSCH, W.R.S.A.R.N., 1974, "Effect of Viscosity on Bacterial Motility". Journal of Bactriology,. 117: p. 696-701.
24. Liu.M.L, Wen. R.M.R., J. K., Wang. D. Z., 2007, "Investigation of Viscosity and Thermodynamic Properties on the Bioleaching Solution with and without Mesophilic Bacteria". Advanced Materials Research,., 20-21: p. 149-151.
14. Witne, J.Y. and C.V. Phillips, 2001, "Bioleaching of Ok Tedi copper concentrate in oxygen- and carbon dioxide-enriched air". Minerals Engineering,. 14(1): p. 25-48.
15. Rikmanis, M., Berzinš.A, and Viesturs.U, 2007, "Excess turbulence as a cause of turbophobiosis in cultivation of microorganisms". Central European Journal of Biology,. 2(4): p. 481-501.
16. Derksen, J.J., 2000, "Oxygen transfer in agitated silica and pyrite slurries". Minerals Engineering,. 13(1): p. 25-36.
17. Morin, D.H.R. , d'Hugues.P, 2007, "Bioleaching of a Cobalt-Containing Pyrite in Stirred Reactors: a Case Study from Laboratory Scale to Industrial Application, in Biomining", D.E. Rawlings and D.B. Johnson, Editors., Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 35-55.
18. Deveci, H., 2004, "Effect of particle size and shape of solids on the viability of acidophilic bacteria during mixing in stirred tank reactors". Hydrometallurgy,. 71(3): p. 385-396.
19. Gavin C. Jones , K.C.C., Robert P. van Hille, Susan T.L. Harrison, 2011, "The generation of toxic reactive oxygen species (ROS) from mechanically activated sulphide concentrates and its effect on moderate thermophilic bacteria". Hydrometallurgy,. 104: p. 25–31.

Evaluation of the particle size and pulp density on the kinetic of chalcopyrite bioleaching

M. Esmail bagi kermani^{1,2}, A. Kamyabi³, M. Schaffie,^{3,4} M. Ranjbar^{1,4,*}

1- Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Young Researchers Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3- Chemistry Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

4- Mineral Industries Research Center, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

ABSTRACT

Low dissolution rate of the chalcopyrite is the main limiting issue to industrialize microbial leaching of such a recalcitrant mineral. In the agitated reactors, the issue could be influenced by the different parameters such as the pulp density and particle size which were studied to determine their range of influence in the kinetics and efficiency of the chalcopyrite bioleaching using moderately thermophilic bacteria isolated from Sarcheshmeh copper complex. From the results of this study, it can be pointed out that the pulp viscosity influenced by the pulp density and particle size could be increased with reduction of the particle size, and the increased pulp density. Both parameters influence the dissolution rate and the copper recovery. Under optimal conditions (10% solid content and average particle size of 16 microns), more than 88% of copper could be bioleached.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: June 4, 2017

Received in revised form: December 11, 2017

Accepted: January 17, 2018

Key words:

Bioleaching,

Pulp density,

Particle size,

Chalcopyrite concentrate,

Kinetic,

Viscosity.

All right reserved.

* Corresponding author

Email(m.ranjbar@uk.ac.ir)