



بررسی کارایی بیولیچینگ بمنظور بازیابی مس از باطله تغليظ

مجتمع مس سرچشمه

سعید زندوکيلی^{۱*}، محمد رنجبر^۲، زهرا منافی^۳

- ۱- کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، گروه مهندسی معدن دانشکده فنی، دانشگاه کرمان
- ۲- استادیار، گروه مهندسی معدن دانشکده فنی، دانشگاه کرمان
- ۳- پژوهشگر بیولیچینگ، امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه

E-mail: SaeedZand2001@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش استخراج بیولوژیکی مس از باطله تغليظ مجتمع مس سرچشمه مورد بررسی قرار گرفته است. آنالیز شیمیایی باطله (سد رسوبگیر و تازه تغليظ) به ترتیب نشان دهنده وجود ۰/۲۲ و ۰/۱۸ درصد مس بود که دو سوم آن را مس سولفیدی به خود اختصاص می‌داد. در این راستا ابتدا گونه‌های باطله، طی چهار مرحله در ظروف لرزان آزمایشگاهی، توسط باکتریهای مزوپلیت تحت فرآیند بیولیچینگ قرار گرفت و پس از بهینه سازی اتحلال بیولوژیکی، میزان بازیابی مس از دو گونه باطله سد رسوبگیر و باطله تازه تغليظ در محیط شاهد فاقد باکتری ترتیب ۴۹ و ۴۸ درصد و در محیط کشت باکتریایی به ۶۰ و ۷۲ درصد رسید. نتایج حاصل از آزمایشات فروشوابی میکروبی در بیوراکتور همزندار و ستون در مورد دو نمونه خاک باطله نشان داد که در صورت استفاده از بیوراکتور همزندار (در شرایط بهینه) امکان استحصال بیش از ۶۴ و ۶۸ درصد مس به ترتیب از باطله سد رسوبگیر و باطله تازه تغليظ وجود دارد. از طرفی نظر به قابل توجه بودن درصد توزیع مس در باطله، فرایند آگلومراسیون توسط اسید سولفوریک ۱۷۵ گرم در لیتر و آب اعمال گردید. سپس به مدت ۸۰ روز در ۸ ستون باکتریایی و شاهد فروشوابی میکروبی و شیمیایی در نظر گرفته شد. مطابق نتایج، میزان بازیابی مس در ستون باکتریایی حاوی باطله سد رسوبگیر و باطله تازه تغليظ به ترتیب به ۶۲ و ۷۲ درصد گزارش شد در حالیکه این میزان بازیابی در ستون شاهد حاوی باطله سد رسوبگیر باطله تازه تغليظ به ترتیب به ۳۹ و ۴۷ درصد رسید. با توجه به نتایج فوق، استفاده از میکرووارگانیسمها در بازیابی مس از باطله می‌تواند سهم بسزایی را به خود اختصاص دهد.

واژه‌های کلیدی: معدن مس سرچشمه، بیولیچینگ، باطله، بازیابی مس، فلوتاسیون



مقدمه

یکی از شاخصهای مهم در ارتباط با صنعت، اقتصاد و محیط زیست، دستیابی به بیشترین بازیابی با حداقل هزینه و کمترین میزان آلودگی است. با این دیدگاه، افق تازه‌ای از تکنولوژی مدرن به روی ما گشوده خواهد شد[۱]. خصوصاً اینکه استفاده مدام از معادن نسبتاً غنی سبب کاهش منابع پرعیار و افزایش منابع کم‌عیار شده است لذا این روند ارائه راهکاری جهت استفاده از منابع کم عیار را ضروری می‌نماید. در این راستا روش‌های بیوهیدرومالتالورژی مورد توجه قرار گرفته است. کاربرد میکروارگانیسمها در مورد سنگهای معدنی شرایط خاص خود را می‌طلبد. این شرایط بسته به ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی، کانی‌های همراه، خواص فیزیکی و غیره متغیر است، بنابراین این فرایند در شرایط مختلف باقیتی بهینه‌سازی گردد[۲]. در این تحقیق با توجه به اتلاف مقادیر زیادی مس از طریق باطله، کارایی بیولیچینگ به منظور استحصال آن مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش تحقیق

ابتدا با استفاده از روش‌های مناسب نمونه برداری، سعی شد تا نمونه‌ای شاخص از هر دو گونه باطله تهیه گردد. سپس بمنظور آگاهی کیفی و کمی از ترکیب دو گروه باطله موجود، نمونه‌ای معرف از آنها مورد آنالیز شیمیایی و مینرالوژی قرار گرفت. جدول ۱ تجزیه شیمیایی و جدول ۲ تجزیه کانی‌شناسی دو گروه باطله را نشان می‌دهد. جهت تعیین دانه‌بندی خاک باطله از سردهای متفاوتی استفاده شد. منحنی دانه‌بندی در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. جدول ۳ ترکیب نمکی محیط کشت‌های مصرفی در فرآیند فروشوبی میکروبی را نشان می‌دهد. آزمایشهای بیولیچینگ بمنظور استحصال مس از باطله، در ظروف لرزان، بیوراکتور همزندار و ستون در نظر گرفته شد.

آزمایشهای بیولیچینگ باطله در ظروف لرزان

آزمایشهای ظروف لرزان جمعاً طی ۴ مرحله طراحی شد. در مرحله اول از روش طراحی آرمایش تاگوچی استفاده گردید[۳]. در سایر مراحل بمنظور تاثیر هر یک از پارامترها در میزان بازیابی، ضمن مقایسه نتایج حاصله با نتایج مرحله اول، پارامترهای بهینه انتخاب گردید. یکی از این پارامترها نحوه کشت می‌باشد که بر اساس میزان تلقیح و نوع گونه باکتریایی تعیین شده است. بدین معنا که در نحوه تلقیح A با میزان تلقیح ۵ درصد، مقدار ۴ سی سی باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدانس، ۳ سی سی تیوباسیلوس تیواکسیدانس و ۳ سی سی لپتوسپریلوم فرواکسیدانس استفاده شده است. بهمین ترتیب در نحوه تلقیح B و C با میزان



تلقیح ۵ درصد، این مقادیر به ۰, ۳, ۵, ۶ و ۴ تغییر یافته است. شرایط انجام هر یک از آزمایشات ظروف لرزان در جدولهای ۴، ۵، ۶ و ۷ به اختصار نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی

Run	<i>Cu</i> %	<i>CuO</i> %	<i>Fe</i> %	<i>Na</i> %	<i>Ag</i> ppm	<i>Zn</i> ppm	<i>Mg</i> %	<i>Ca</i> %	<i>S</i> %	<i>Mo</i> %
باطله تازه	۰/۱۸	۰/۰۶	۳/۷۲	۰/۹	۲	۲۰۰	۰/۵۸	۱/۳	۲/۹	۱/۱۱
باطله سد	۰/۲۲	۰/۰۷	۳/۷۰	۰/۶	۲	۱۶۴	۰/۵۶	۱/۴	۲/۱	۱/۱۵

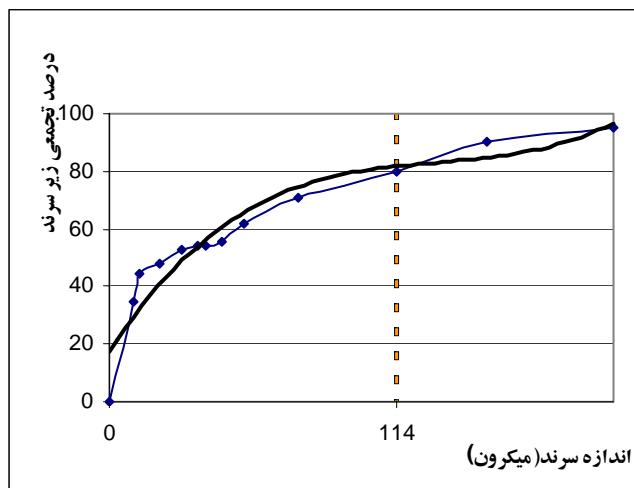
جدول ۲- آنالیز کانی شناسی نمونه باطله سد رسوبگیر و باطله تازه تغییط

% وزنی در باطله تازه	% وزنی در باطله سد	ترکیب	نوع مینرال
۰/۰۶۳	۰/۰۳۹	Cu_γS	کالکوسیت
۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	CuS	کوولیت
۰/۱۷۷	۰/۲۵۹	CuFeS_γ	کالکوپیریت
۰/۰۰۰	۰/۰۲۱	Cu-N	مس-طبعی
۰/۰۰۰	۰/۰۰	$\text{Cu}_\delta\text{Fe}_\tau\text{S}$	بورنیت
۶/۹۷۲	۱۱/۵۵۸	FeS_γ	پیریت
۰/۰۱۸	۰/۰۲۲	MoS_γ	مولیدینیت
۰/۱۱۶	۱/۶۴۶	FeOOH	لیمونیت
۰/۱۴۹	۰/۲۹۹	$\text{Fe}_\tau\text{O}_\tau$	هماتیت
۷/۷۵۸	۱۴/۹۵۶		کانیهای فلزی
۹۲/۱۳۷	۸۴/۹۴۰		کانیهای غیر فلزی

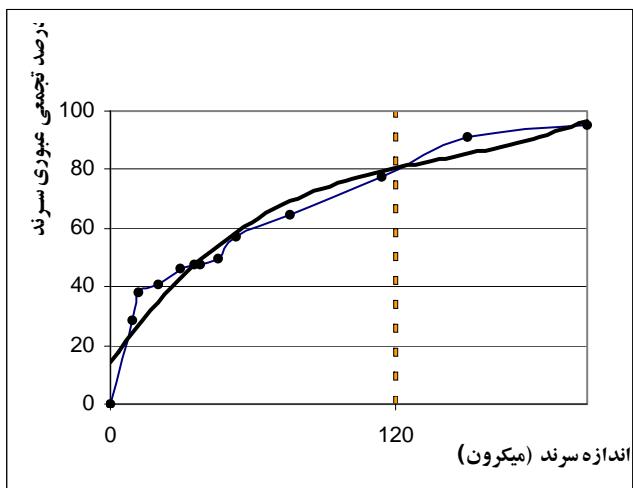


جدول ۳- ترکیب نمکی محیط کشتهای مصرفی در فرآیند فروشوبی

محیط کشت	$9K$	Hp	Norris	D_1	S
$(NH_4)_2SO_4$	۳	۰/۴	۰/۲	۰/۰۶	۰/۴
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	۰/۵	۰/۴	۰/۲	۰/۰۶	۰/۰۱۲
K_2HPO_4	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۰۲	-
KCl	۰/۱	-	-	۰/۰۲	-
$Ca(Na_3)_2 \cdot H_2O$	۰/۰۱	-	-	-	-
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	-	-	-	-	۰/۰۱
$Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$	-	-	-	-	۰/۰۳
KH_2PO_4	-	-	-	-	۰/۰۱۲



شکل ۱- منحنی دانه بندی باطله سد رسوبگیر



شکل ۲- منحنی دانه بندی باطله تازه تغليظ

جدول ۴- شرایط انجام آزمایشات ظروف لرزان(سری اول)

Run	دانسی ته بالا	مقدار تلقیح	تأثیر متقابل	pH	نحوه کشت	محیط کشت	(e)
۱	%۵	%۵		۱/۸۵	A	9K	
۲	%۵	%۵		۲/۰۵	B	Norris	
۳	%۵	%۱۰		۱/۸۵	A	Norris	
۴	%۵	%۱۰		۲/۰۵	B	9K	
۵	%۱۰	%۵		۱/۸۵	B	9K	
۶	%۱۰	%۵		۲/۰۵	A	Norris	
۷	%۱۰	%۱۰		۱/۸۵	B	Norris	
۸	%۱۰	%۱۰		۲/۰۵	A	9K	



جدول ۵- شرایط انجام آزمایشهای ظروف لرزان(سری دوم)

Run	دنسیته پالپ	میزان تلقیح	pH	محیط کشت	نحوه کشت
۱	%۱۰	%۵	۱/۹	۹K	C
۲	%۱۰	%۵	۱/۹	Norris	C
۳	%۱۰	%۵	۱/۹	S	C

جدول ۶- شرایط انجام آزمایشهای ظروف لرزان(سری سوم)

Run	دنسیته پالپ	میزان تلقیح	pH	محیط کشت	نحوه کشت
۱	%۱۰	%۵	۱/۸۵	S	B
۲	%۵	%۵	۱/۸۵	S	B
۳	%۱۰	%۱۰	۱/۸۵	S	B
۴	%۵	%۵	۱/۸۵	۹K Norris	B B

جدول ۷- شرایط انجام آزمایشهای ظروف لرزان(سری چهارم)

آزمایش	محیط کشت	آزمایش	محیط کشت	آزمایش	محیط کشت
۱	Leathen	۵	S	۹	۹K pH بدون تنظیم
۲	9K	۶	H _p	۱۰	بدون تلقیح باکتری
۳	Norris	۷	D ₁		
۴	M - S	۸	T.f	۹K	نهایا

آزمایشهای بیولیچینگ باطله در بیورآکتور همزندار

آزمایش بیولیچینگ باطله در یک بیورآکتور همزندار با ظرفیت ۵۰ لیتر انجام شد. بیورآکتور مورد نظر یک تانک استوانه‌ای دو جداره مجهز به سیستم اختلاط مکانیکی است که شرایط بهینه آزمایشهای ظروف لرزان



با دو گروه باطله مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمایش ۹ روز به طول انجامید. جدول ۸ شرایط عملیاتی آزمایشات بیولیچینگ مخزنی باطله را نشان می‌دهد.

جدول ۸- شرایط عملیاتی آزمایش‌های بیولیچینگ مخزنی باطله

دما (C)	میزان تلقیح (%)	محیط کشت	دنسیته پالپ(%)	سرعت همزن	نوع همزن	میزان هوادهی L/min	حجم پالپ (L)	نوع رآکتور همزندار
۳۲	۵ ۱۰	9K Norris	۱۰	۱۵۰	شعاعی	۳۰	۳۰	رآکتور همزندار

آزمایش‌های فرآیند آگلومراسیون

بر اساس نتایج حاصله از تجزیه ابعادی نمونه‌ها بر روی دو گروه باطله، مشخص گردید که بیش از ۸۰ درصد نمونه‌ها دارای ابعادی زیر ۱۳۵ مش می‌باشند. بنابراین به منظور جلوگیری از مشکلات نفوذپذیری از اتصال دهنده‌های متفاوتی همچون آب، پلیمر پلی‌اکریل آمید، آهک(٪۰.۵)، سیمان(٪۰.۵)، گچ(٪۰.۵) و مخلوط اسید سولفوریک و آب در غلظت‌های مختلف به طور جداگانه استفاده گردید. برای آگلومراسیون ذرات باطله از دستگاه آگلومراتور دیسک دوران شیبدار با شیب ۳۵ درجه و سرعت دوران ۱۵ دور بر دقیقه استفاده گردید.

آزمایش‌های ستونی باطله آگلومره شده

آزمایشات ستونی بعنوان مدلی از فرآیند هیپ لیچینگ، توسط باطله آگلومره شده طی روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت انجام آزمایش‌های ستونی از ۸ ستون به ارتفاع ۱ متر و قطر ۵/۱۳ سانتی‌متر استفاده گردید. شرایط انجام این آزمایش‌های فروشوبی ستونی در جدول ۹ به اختصار آمده است.



جدول ۹- شرایط عملیاتی ضمن اجرای عملیات بیولیچینگ ستونی

ستون ۸	ستون ۷	ستون ۶	ستون ۵	ستون ۴	ستون ۳	ستون ۲	ستون ۱	
۲/۵	۲/۵	۵/۴	۵/۶	۴/۳	۴/۵	۴	۲/۶	جرم نمونه: کیلوگرم
سد	تغليظ	سد	سد	تغليظ	تغليظ	سد	تغليظ	نوع باطله
-	-	+	+	+	+	+	+	آگلومراسیون
9K	9K	Norri	S	9K	S	آب مقطر	آب مقطر	محیط کشت
-	-	-	-	-	-	%۲ تمیول	%۲ تمیول	ترکیب ضد بیولوژیک

در تمامی این مراحل pH اولیه برابر با ۱/۸۵ است، زمان آماده سازی ۲ روز، زمان استراحت ستون ۱ روز، حجم نهایی محلول بالای ستون ۵ لیتر و میزان تلقیح ۵ درصد یا همان ۲۵۰ سی سی در نظر گرفته شد. عملیات فروشوبی نیز ۸۰ روز بطول انجامید. تنها ستون ۷ و ۸ یک روز تحت فروشوبی قرار گرفتند. دلیل آن مسدود شدن ستون و عدم عبور محلول از ستون بدلیل عدم آگلومراسیون بوده است.

نتایج

نتایج حاصل از سری اول آزمایشات ظروف لرزان

آزمایش‌های ظروف لرزان به منظور تعیین تاثیر پارامترهای موثر در فروشوبی و بهینه نمودن آنها و نهایتاً بهینه‌سازی اتحال بیولوژیکی انجام گرفت. نتایج سری اول آزمایش‌های ظروف لرزان که با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی انجام شد، در جدول ۱۰ نشان داده شده است. مطابق جدول، حداقل میزان بازیابی ۷۸ درصد در باطله تازه تغليظ به دست آمد. این در حالی است که حداقل بازیابی در باطله سد رسوبگیر به مرز ۵۲ درصد رسید. در مرحله بعد بمنظور تعیین سهم هر یک از پارامترها بر میزان بازیابی، یکسری تجزیه و تحلیلهای آماری و آنالیز واریانس انجام شد که نتایج آن در جداول ۱۱ و ۱۲ به اختصار آمده است. نتایج حاصله نشان داد که در مورد باطله تازه تغليظ، دانسیته پالپ هیچگونه تاثیر بارزی بر میزان بازیابی نداشت لیکن در مورد باطله سد رسوبگیر، دانسیته پالپ و مقدار تلقیح بالاترین تاثیر را در میزان بازیابی به خود اختصاص داد. تاثیر متقابل بالا بین دانسیته پالپ و میزان تلقیح نشانگر تاثیر همزمان این دو پارامتر بر یکدیگر است. در ادامه با بررسی تاثیر سطوح بر میزان بازیابی شرایط بهینه انتخاب گردید. نتایج حاصله در اشكال ۳ و ۴ نشان می‌دهد که در باطله تغليظ پارامتر محیط کشت بیشترین تاثیر را بر بازیابی داشته است.



جدول ۱۰- میزان بازیابی مس از باطله
(سری اول آزمایشات ظروف لرزان)

شماره آزمایش	بازیابی٪	
	سد رسوبگیر	باطله تغليظ
آز-۱	۵۲/۵	۷۸/۷۸
آز-۲	۵۲/۲۵	۷۴/۰۹
آز-۳	۴۷/۳۶	۶۸/۳
آز-۴	۴۷/۸۵	۷۳/۷۵
آز-۵	۴۷/۹۶	۷۹/۲۲
آز-۶	۴۸/۱۸	۶۸/۸۵
آز-۷	۴۷/۸	۷۳/۹۹
آز-۸	۴۸/۱۸	۷۴

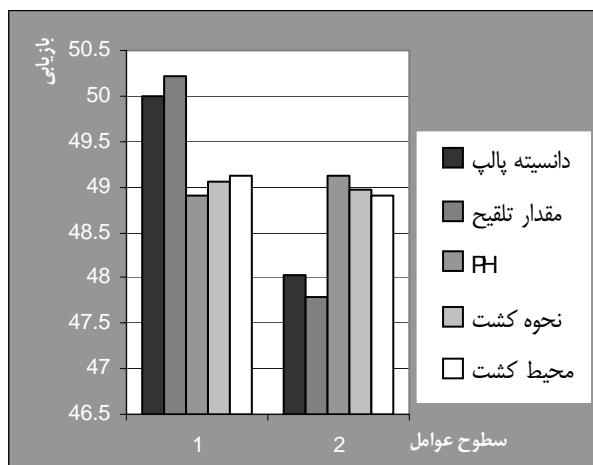
جدول ۱۱- آنالیز واریانس باطله سد

منبع	f	S	V	S	F	%
دانسیته پالپ	۱	۷/۶۸۵	۷/۶۸۵	۷/۶۱۲	۱۰۴/۱۶	۲۴/۸۳
مقدار تلقیح	۱	۱۱/۷۵۰	۱۱/۷۵۰	۱۱/۶۷۷	۱۵۹/۷۸	۳۸/۰۹
pH	۱	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶			
نحوه کشت	۱	۱۰/۹۷	۱۰/۹۷			
محیط کشت	۱	۰/۱۰۲	۰/۱۰۲			
تأثیر متقابل	۱	۱۰/۹۷	۱۰/۹۷	۱۰/۸۹۷	۱۴۹/۱۱	۳۵/۵۵
e	۱	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲			
(e)	۲	۰/۱۴۶	۰/۰۷۳			
Total	۷	۳۰/۶۵۴	۳۰/۶۵۴			۹۸/۴۷

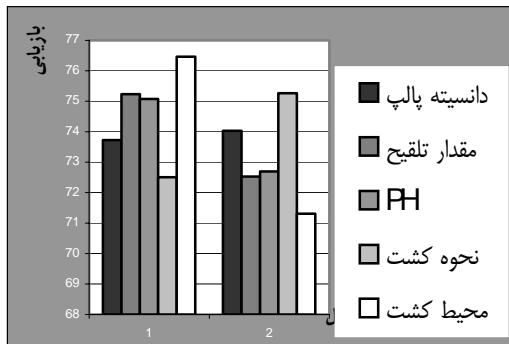


جدول ۱۲- آنالیز واریانس باطله تازه تغليظ

منبع	f	S	V	S	F	%
دانسیته پالپ	۱	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵			
مقدار تلقیح	۱	۱۴/۶۵۵	۱۴/۶۵۵	۱۴/۵۵۵	۱۴۵/۹۹	۱۳/۳۴
pH	۱	۱۱/۲۹۴	۱۱/۲۹۴	۱۱/۱۹۵	۱۱۲/۲۹	۱۰/۲۶
نحوه کشت	۱	۱۵/۲۴۷	۱۵/۲۴۷	۱۵/۱۴۸	۱۵۱/۹۴	۱۳/۸۸
محیط کشت	۱	۵۳/۰۵۴	۵۳/۰۵۴	۵۲/۹۴۵	۵۳۱/۰۷	۴۸/۵۴
تاثیر متقابل	۱	۱۴/۶۴۰	۱۴/۶۴۰	۱۴/۵۴	۱۴۵/۸۵	۱۳/۳۳
e	۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴			
(e)	۲	۰/۱۹۹	۰/۰۹۹			
Total	۷	۱۰۹/۰۸	۱۰۹/۰۸			۹۹/۳۶



شکل ۳- بررسی تاثیر سطوح عوامل بر بازیابی سد



شکل ۴- بررسی تاثیر سطوح عوامل بر بازیابی تغلیط

نتایج حاصل از سری دوم آزمایش‌های ظروف لرزان

این آزمایشها با هدف بررسی شرایط مرزی، با تغییر pH و نحوه تلقیح مطابق شرایط C انجام شد. نتایج حاصله همانگونه که در جدول ۱۳ آمده است، حاکی از بازیابی ۶۸ درصد طی آزمایش‌های ۱ و ۳ در باطله تازه تغلیط و ۵۲ درصد در باطله سد بود. با مشاهده نتایج به سادگی می‌توان دریافت که تغییر شرایط در مورد باطله سد همانگونه که انتظار می‌رفت نتوانسته هیچ تاثیری بر افزایش میزان بازیابی داشته باشد اما سبب کاهش نسبی بازیابی در باطله تازه تغلیط شده است. لذا با توجه به نتایج حاصله و مقایسه آنها با نتایج حاصل از مرحله اول آزمایش‌های ظروف لرزان می‌توان نحوه کشت B، محیط کشتهای Noris، S و pH را برابر با ۱/۸۵۰ را بعنوان بهترین نتایج در نظر گرفت. لذا در آزمایش‌های مرحله سوم با ثابت نگه داشتن این پارامترها، میزان بازیابی ضمن تغییر دانسیته پالپ و میزان تلقیح بررسی گردید.

جدول ۱۳- میزان بازیابی مس از باطله (سری دوم آزمایشات ظروف لرزان)

Run	باطله سد		باطله تغلیط	
	بازیابی	بازیابی	باطله	تغلیط
آز-۱	۵۲/۶۷		۶۸/۹۷	
آز-۲	۴۸/۵۶		۶۳/۰۶	
آز-۳	۵۳/۰۷		۶۸/۸۳	



نتایج حاصل از سری سوم آزمایش‌های ظروف لرزان

این آزمایشات با هدف مطالعه بیشتر تغییرات حاصله ضمن جایجایی شرایط، میزان تلقیح و دانسیته پالپ انجام شد. نتایج حاصله مطابق جدول ۱۴، نشان داد که در کلیه آزمایش‌های انجام شده در مورد باطله تازه تغییط، بازیابی تقریباً ثابت ۶۸ تا ۷۰ درصد بدست آمد. این در حالی است که طی آزمایش ۲، حدکثر بازیابی در باطله سد رسوب‌گیر به مرز ۶۱ درصد رسید. این نتایج دقیقاً با نتایج حاصل از آنالیز واریانس آزمایش سری اول مطابقت می‌نمود، لذا نتایج کلی حاکی از این بود که انتخاب شرایط یکسان از نظر میزان تلقیح و دانسیته پالپ می‌تواند تأثیر بازگشتی بر میزان بازیابی در باطله سد رسوب‌گیر داشته باشد اما در باطله تازه تغییط، این تأثیر حداقل می‌باشد.

جدول ۱۴- میزان بازیابی مس از باطله

(سری سوم آزمایشات ظروف لرزان)

Run	باطله سد	باطله تغییط
	بازیابی	بازیابی
آز-۱	۵۳/۲۳	۶۸/۴۷
آز-۲	۶۱/۷۳	۶۸/۶
آز-۳	۵۹/۳۲	۷۰/۹۷
آز-۴	۵۸/۹۱	۷۰/۲۶

نتایج حاصل از سری چهارم آزمایش‌های ظروف لرزان

مرحله نهایی آزمایشها ظروف لرزان با هدف مطالعه تأثیر محیط‌کشتهای مختلف بر میزان بازیابی انجام گرفت. بنابراین کلیه پارامترهای بهینه بدست آمده از آزمایشها قبلی انتخاب شده و تأثیر محیط‌کشتهای مختلف بررسی گردید. میزان بازیابی در جداول ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است. مطابق نتایج بدست آمده بیشترین بازیابی در باطله تازه تغییط با انتخاب محیط‌کشتهای K9 و S به ۷۴ درصد و در باطله سد رسوب‌گیر با انتخاب محیط‌کشتهای بهینه Noris و S، به ۶۰ درصد رسید. پس از انجام آزمایشات ظروف لرزان و بهینه سازی پارامترهای موثر در فرآیند بیولیچینگ باطله، فرآیند فروشوبی میکروبی در بیوراکتور همزندار و ستونی مورد ارزیابی قرار گرفت.



جدول ۱۵- میزان بازیابی مس از باطله تازه تغليظ (سری چهارم آزمایشات ظروف لرزان)

محیط کشت	بازیابی از خاک	بازیابی از محلول	بازیابی بعد Recalculation از
<i>9K</i>	۷۴/۴۶	۷۲/۲۲	۷۳/۸۷
<i>Norris</i>	۶۸/۷۸	۶۶/۶۶	۶۸/۱۱
<i>S</i>	۷۴/۴۱	۶۶/۶۶	۷۲/۲۷
<i>Hp</i>	۶۸/۸۳	۶۱/۱۱	۶۶/۰۸
<i>D₁</i>	۶۸/۸۳	۶۶/۶۷	۶۸/۱۴
(<i>T.f</i>) ۹ <i>K</i> (باتلچیج)	۶۴/۶۶	۵۵/۵۵	۶۱/۱۲
(<i>pH</i>) ۹ <i>K</i> (بدون تنظیم)	۵۸/۲۲	۶۶/۶۷	۶۱/۴۷
بدون تلچیج باکتری	۵۲/۰۷	۴۴/۴۴	۴۸/۱۱

جدول ۱۶- میزان بازیابی مس از سد رسوبگیر (سری چهارم آزمایشات ظروف لرزان)

محیط کشت	بازیابی از خاک	بازیابی از محلول	بازیابی بعد Recalculation از
<i>9K</i>	۵۳/۳	۵۹/۰۹	۵۵/۸۶
<i>Norris</i>	۵۸/۰۹	۶۳/۶۴	۶۰/۲۹
<i>S</i>	۵۷/۰۷	۶۳/۶۳	۵۹/۷۱
<i>Hp</i>	۵۳/۴	۵۹/۰۹	۵۵/۹۱
<i>D₁</i>	۵۷/۵۷	۵۰	۵۴/۱۰
<i>T.f</i> ۹ <i>K</i> تنهایا	۵۳/۶۵	۶۳/۶۳	۵۷/۸۵
(<i>pH</i>) ۹ <i>K</i> (بدون تنظیم)	۵۸/۰۵	۵۹/۰۹	۵۸/۴۸
بدون تلچیج باکتری	۵۳/۱۷	۴۵/۴۵	۴۹/۲۶



نتایج آزمایش‌های بیورآکتور همزندار

نتایج حاصل از آزمایش‌های مخزنی باطله سد رسوبگیر و باطله تازه تغليظ در جداول ۱۷ و ۱۸ به اختصار آمده است. نتایج کلی حاصل از آزمایش‌های مخزنی بیانگر این واقعیت بود که دستیابی به حداکثر بازیابی ۶۸ درصد در باطله تغليظ و حداکثر بازیابی ۶۴ درصد در باطله سد رسوبگیر پس از یک هفته امکان پذیر است. اما نکته‌ای که بیش از هر چیز مهم به نظر می‌رسد دقت و توجه به اصول فنی و اقتصادی این مسئله است.

جدول ۱۸- میزان بازیابی

باطله تازه تغليظ

روز	بازیابی
۱	۳۶/۹۴
۲	۴۷/۵
۳	۵۲/۷۸
۴	۶۲/۳۳
۵	۶۳/۳۳
۶	۶۸/۶۱
۷	۶۸/۶۱
۸	۶۸/۶۱
۹	۶۸/۶۱

جدول ۱۷- میزان بازیابی

باطله سد رسوبگیر

روز	بازیابی
۱	۳۵/۵۴
۲	۵۱/۸۲
۳	۶۴/۷۷
۴	۶۰/۵۵
۵	۶۰/۴۵
۶	۶۴/۷۷
۷	۶۴/۷۷
۸	۶۴/۷۷
۹	۶۴/۷۷

آزمایش‌های آگلومراسیون

فرآیند آگلومراسیون با اتصال دهنده‌های گوناگون بررسی شد، مطابق نتایج، بهترین آگلومره با رعایت کلیه اصول(مقاومت مکانیکی، مقاومت در برابر پاشش و شرایط اقتصادی)، محلول آب و اسید سولفوریک در غلظتهاي ۱۷۵ تا ۱۸۰ گرم در لیتر در نظر گرفته شد [۱].

نتایج حاصل از آزمایش‌های ستونی

باطله تازه تغليظ در عدم حضور باکتری حداکثر ۴۷ درصد و در حضور باکتری ۷۲ درصد بازیابی داشت. در مورد باطله سد نیز حداکثر میزان بازیابی به ترتیب ۳۹ و ۶۲ درصد بود. نتایج حاصل از آزمایشها در جدول ۱۹ به اختصار آمده است.



جدول ۱۹- میزان بازیابی مس از باطله ضمن آزمایشات بیولیچینگ ستونی

شماره ستون	درصد بازیابی موجود در محلول	درصد بازیابی مس موجود در باطله	درصد بازیابی (Recalculation)
ستون ۱	۴۹/۹	۴۴/۴	۴۷/۳
ستون ۲	۴۰/۹	۳۶/۴	۳۹/۲
ستون ۳	۷۶/۱	۶۶/۶	۷۰
ستون ۴	۷۳/۴	۷۲/۲	۷۲/۵
ستون ۵	۵۷/۹	۵۴/۵	۵۶
ستون ۶	۶۰/۱	۶۳/۶	۶۱/۳

نتیجه‌گیری

- تجزیه سرندی نمونه معرف از باطله تازه تغليظ و باطله سد رسوبگیر نشان داد که بیش از ۸۰ درصد ذرات دارای ابعاد زیر ۱۱۵ میکرون میباشد.
- نتایج آنالیز شیمیایی و کانی شناسی در مورد باطله تغليظ با عیار مس ۱۸/۰ درصد نشان داد که تنها ۰/۰۶ درصد آن را فاز اکسیدی تشکیل میدهد. و ۷۰ درصد از گونه سولفیدی آن را، کالکوپیریت به خود اختصاص داده است. میزان پیریت موجود در خاک ۷ درصد می باشد.
- نتایج آنالیز شیمیایی و کانی شناسی در مورد باطله سد رسوبگیر با عیار مس ۲۲/۰ درصد حاکی از ۰/۰۷ مس اکسیدی بود. همچنین ۸۳ درصد از بخش سولفیدی باطله، کالکوپیریتی می باشد. میزان پیریت موجود در خاک نیز ۱۲ درصد گزارش شده است.
- بدليل مشکلات ناشی از عدم نفوذپذیری فرآیند آگلومراسیون در نظر گرفته شد.
- مناسبترین ذرات آگلومره توسط مخلوط آب و اسید سولفوریک در غلظت ۱۷۵ گرم در لیتر به دست آمد. این ذرات آگلومره شده در طول مدت انجام آزمایش ستونی (۸۰ روز) پایداری خود را کاملاً حفظ نمودند. این درحالی بود که ستون حاوی کانی آگلومره نشده در نخستین روز انجام فرآیند، نفوذ ناپذیر و از مدار خارج شد.
- غلظت بالای اسید در مراحل اولیه (ضمن آگلومراسیون) هیچ مزاحمتی برای رشد باکتریها ایجاد نکرد، بلکه نیاز به اجرای عملیات پیش‌آماده سازی را نیز مرتفع نمود.
- نتایج حاصل از آزمایشهای ظروف لرزان مشخص نمود، دستیابی به بازیابی بالای ۷۰ درصد در باطله تازه



- و ۶۰ درصد در باطله سدروسبیگیر امکان پذیر است. تغییر شرایط کانی شناسی خاک از نظر حضور کالکوپیریت و پیریت دلیل این اختلاف می‌باشد.
- ۸- پارامترهای مهینه جهت دستیابی به حداکثر بازیابی در باطله تازه و باطله سد رسبوگیر عبارتند از: درصد جامد(٪)، میزان تلقیح (٪)، pH برابر با ۱/۸۵، و محیط کشتهای S_{9K} در مورد باطله تازه و Norris, S در مورد باطله سد.
- ۹- آزمایشات مخزنی پس از ۷ روز حداکثر میزان بازیابی در باطله سد رسبوگیر ۶۴ درصد نشان داد. این در حالیست که این میزان بازیابی در باطله تازه تغییل به ۶۸ درصد رسید.
- ۱۰- نتایج حاصل از بررسیهای pH و Eh در تستهای ستونی نشان دادند که فعالیت باکتریها از روز هفتم در ستون آغاز شده و در روزهای ۴۰ تا ۵۵ به اوج خود رسید و پس از آن روند نسبتاً ثابتی به خود گرفت. این در حالیست که هیچگونه افزایش pH و Eh در ستونهای شاهد مشاهده نگردید.
- ۱۱- نتایج حاصل از انجام آزمایشهای ستونی نشان داد که حداکثر بازیابی ۷۲ درصد از باطله تازه و بازیابی ۶۲ درصد از باطله سد رسبوگیر قابل دستیابی است.

مراجع

- [۱] منافی، ز.، (۱۳۸۱)، بولیچینگ ستونی کانستنگ کم عیار آگلومره شده مس توسط تیوباسیلوس فروکسیدانس و تیوباسیلوس تیواکسیدانس، پایان نامه کارشناسی ارشد(میکروبیولوژی)، دانشگاه آزاد واحد جهرم.
- [۲] مرندی، ر.، (۱۳۸۱)، بررسی جذب بیولوژیکی سلنجیم بر پایه تصفیه لجن آندی مجتمع مس سرچشم، پایان نامه مقطع دکتری(محیط زیست)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- [۳] کارآموزیان، م.، (۱۳۸۰)، کاربرد روش تاگوچی جهت بهینه سازی فلواتاسیون مجتمع مس سرچشم، پایان نامه کارشناسی ارشد (فرآوری مواد معدنی)، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [۴] Escobar, B., (۱۹۹۵), *Bioleaching of Copper Concentrate by Thiobacillus Ferrooxidans at Increasing Pulp Density*, jour Biohydrometallurgical processing, vol. 1, pp. ۲۷۳-۲۸۱.
- [۵] Brierly, C.L., (۱۹۷۸), *Bacterial Leaching*, Critical rev. Microbiol. ۳:pp. ۲۰۷-۲۶۲.
- [۶] Acevedo, F., (۲۰۰۰), *The Use of Reactors in Biomining Processes*, EJB Electronic Journal of Biotechnology, Vol ۳.