

بررسی بازیابی روی موجود در سد باطله معدن سرب و روی کوشک به روش ژئوکوت

جواد وظیفه مهربانی^۱، محمد نوع پرست^۲، سید ضیال‌الدین شفائی تنکابنی^۳، سید محمد موسوی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری فرآوری مواد معدنی، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران j_mehrabani@ut.ac.ir
- ۲- استاد دانشکده مهندسی معدن دانشگاه تهران noparast@ut.ac.ir
- ۳- استاد دانشکده مهندسی معدن دانشگاه تهران zshafaie@ut.ac.ir
- ۴- استادیار دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس mousavi_m@modares.ac.ir

(دریافت ۵ خرداد ۱۳۹۲، پذیرش ۱۰ شهریور ۱۳۹۲)

چکیده

در این تحقیق امکان استخراج روی از کنسانتره کم‌عیار تهیه شده از باطله‌های سولفیدی فلوتاسیون معدن سرب و روی کوشک با استفاده از روش بیولیچینگ ژئوکوت بررسی شد. باطله‌های تهیه شده از سد باطله، با عیار متوسط روی ۳/۶۷٪، به سلول‌های فلوتاسیون انتقال و کنسانتره‌ای با عیار روی ۱۱/۹۷٪ و بازیابی متوسط ۴۵٪ تهیه شد. کنسانتره حاصل بر روی سنگ‌های گرانیتی با محدودده دانه‌بندی ۱۰-۵ میلی‌متر پوشش داده شد و در ستون ۰/۵ متری تحت فرآیند بیولیچینگ قرار گرفت. فرآیند به صورت سیکل بسته (مدت زمان هر سیکل ۴ روز) صورت پذیرفت و محلول لیچینگ در هر سیکل برای پاشش در سیکل بعدی استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان استخراج روی از اسفالریت و غلظت آن در محلول پس از ۱۰ سیکل (۴۰ روز) به ترتیب به ۸۱٪ و ۱۲/۶۳ گرم بر لیتر رسید که در این مدت ۴۰٪ آهن موجود در پیریت وارد محلول شد. با افزایش زمان لیچینگ تا سیکل بیستم، بازیابی بیش از ۹۰٪ روی مشاهده شد. بر اساس نتایج، تا سیکل دهم سینیتیک استخراج و غلظت روی بیشتر از آهن است، ولی از سیکل دهم به بعد، روند استخراج روی با سرعت پائینی رخ می‌دهد و ادامه فرآیند بیولیچینگ با افزایش قابل توجهی استخراج آهن موجود در پیریت همراه است. در خاتمه فرآیند، مقدار روی در کنسانتره از ۱۱/۹۷٪ به مقدار ۰/۶۳٪ رسید که نشان می‌دهد که ۹۱٪ روی وارد محلول شده است. بررسی تأثیر باکتری‌های اضافه شده به فرآیند در مقایسه با حالتی که باکتری اضافه نشد، نشان داد که افزودن ترکیب سه گونه باکتری مزوفیل منجر به بهبود ۲۵-۲۰٪ انحلال روی در محلول می‌شود.

کلمات کلیدی

ژئوکوت، باطله، بیولیچینگ، اسفالریت، پیریت

۱- مقدمه

بازیابی روی از باطله‌های فلوتاسیون با استفاده از روش بیولیچینگ مخزنی و ژئوکوت توسط برخی از محققان گزارش شده است. Sampson و همکارانش امکان استحصال روی از کنسانتره روی کم‌عیار حاصل از مرحله فلوتاسیون باطله‌های معدن رش‌پینا را با استفاده از روش ژئوکوت بررسی و بازیابی بالا روی را گزارش کرده‌اند [۹-۱۱].

در این تحقیق امکان بازیابی روی از باطله‌های فلوتاسیون سد باطله معدن سرب و روی کوشگ مورد بررسی قرار گرفت. درصد پیریت بالا، حضور کربن آلی و دانه ریز بودن سه مشخصه عمده، باطله مورد مطالعه بود. عیار روی موجود در نمونه با استفاده از روش فلوتاسیون بهبود داده شد و کنسانتره حاصل با استفاده از روش ژئوکوت و به کمک ترکیب سه گونه باکتری مزوفیل تحت لیچینگ قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه نمونه باطله از سد باطله و تولید کنسانتره

برای تهیه نمونه معرف از سد باطله چاهی به قطر ۱/۵ متر و به عمق ۱۰ متر حفر. و حدود ۳۰۰ کیلوگرم نمونه با خراش دادن ۴ طرف چاه تهیه شد. نمونه‌های تهیه شده پس از آماده‌سازی تحت آزمایش‌های فازشناسی قرار گرفتند. در ادامه باطله به سلول‌های فلوتاسیون منتقل شده و کنسانتره اسفالریت در مرحله رافر به دست آمد.

۲-۲- شرایط آزمایش‌ها:

سنگ گرانیت با ابعاد ۱۰-۵ میلی‌متر به عنوان سنگ نگهدارنده مورد استفاده قرار گرفت. کنسانتره تهیه شده بر روی سنگ-های گرانیت پوشش داده شد و پس از خشک شدن به داخل ستون‌های ساخته شده به ارتفاع ۰/۵ متر و قطر داخلی ۷ سانتی متر انتقال داده شد.

شرایط کلی تست‌های لیچینگ به شرح زیر می‌باشد:

نرخ پاشش: ۱۰ L/m².h

نرخ هوا دهی: ۳۰۰ cc/min

درصد تلقیح باکتری: ۱۰٪

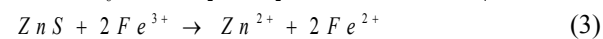
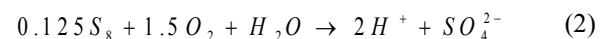
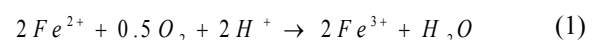
مدت هر سیکل پاشش: ۴ روز

دانه‌بندی: عمدتاً ریزتر از ۳۸ میکرون

جهت تنظیم منظم پاشش از تیلو و اسفنج استفاده شد.

معدن سرب و روی کوشک یکی از معادن مهم سولفیدی کشور می‌باشد که بیش از ۴۰ سال از فعالیت آن می‌گذرد. باطله‌های کارخانه فرآوری در طول چندین دهه فعالیت معدن در سد باطله بر روی هم انباشته شده و حدود ۵ میلیون تن باطله با عیار متوسط ۳/۵٪ روی را تشکیل داده‌اند که یک ذخیره قابل توجه روی به حساب آمده و بررسی روش مناسب جهت استحصال روی آن امری ضروری به نظر می‌رسد. درصد بالایی از باطله، از پیریت‌های دانه‌ریز تشکیل شده‌اند که آغشته به کربن آلی است و همین موضوع باعث می‌شود که در فرآیند جداسازی و تغلیظ اسفالریت به روش فلوتاسیون کارایی بالایی بدست نیامده و در مراحل شستشوی کنسانتره، افزایش عیار روی کنسانتره حاصل نمی‌شود. با توجه به مشخصات نمونه ذکر شده، روش بیولیچینگ روشی مناسب جهت استحصال روی از نمونه باطله به نظر می‌رسد.

امروزه کاربرد روش بیولیچینگ بر روی کانی‌های سولفیدی کم عیار مطرح است که در این روش از قابلیت اکسیداسیون یک سری از میکروارگانیسم‌ها در فرآیند لیچینگ در راستای افزایش سینتیک لیچینگ کانی‌های سولفیدی بهره می‌گیرند. از جمله کانی‌هایی که به عنوان منبع تغذیه این میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شود، پیریت است [۱-۲]. در فرآیند بیولیچینگ میکروارگانیسم‌های انرژی مورد نیاز خود برای رشد را از اکسیداسیون آهن فرو (واکنش ۱) و یا گوگرد (واکنش ۲) تأمین می‌کنند [۳-۴]، و در مراحل بعدی یون‌های تولیدی آهن فریک و پروتن به اسفالریت حمله کرده و باعث انحلال آن می‌شوند [۵] (واکنش‌های ۳ و ۴).



روش ژئوکوت جهت بیولیچینگ کانی‌های سولفیدی در هیپ‌ها توسط شرکت Geobiotic ارائه شده است. در روش ژئوکوت کنسانتره را بر روی سنگ‌های نگهدارنده (گرانیت یا کانسنگ-های کم عیار) پوشش می‌دهند و پس از افزودن باکتری به محلول پاشش یا کنسانتره، به هیپ‌ها انتقال داده و تحت فرآیند لیچینگ قرار می‌گیرند. در حال حاضر از این روش جهت تولید طلا در آفریقای جنوبی در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود [۶-۸].



شکل ۱: نمایی از ستون‌های لیچینگ استفاده شده برای آزمایش‌ها

۲-۵- محیط کشت

در بسیاری از مطالعات انجام شده از محیط کشت 9K برای رشد و نگهداری باکتری اسیدوتیوباسیلوس استفاده شده است. به محیط کشت ساخته شده به هنگام کشت باکتری‌ها ۱۰ گرم بر لیتر گوگرد و ۴۳ گرم بر لیتر سولفات آهن اضافه شد. در این تحقیق نیز از این محیط کشت جهت رشد باکتری‌ها استفاده شد. ترکیب محیط کشت 9K در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: ترکیب محیط کشت 9K مورد استفاده شده جهت کشت باکتری‌ها

مقدار گرم ماده در ۱۰۰۰ میلی لیتر و pH=۲			
۰/۵	KH ₂ PO ₄	۰/۱	KCl
۰/۰۱	Ca(NO ₃) ₂	۳	(NH ₄) ₂ SO ₄
		۰/۵	MgSO ₄ (7H ₂ O)

۳- آزمایش‌های انجام گرفته بر روی نمونه کنسانتره

تهیه شده از باطله‌ها با استفاده از روش فلوتاسیون

۳-۱- دانه‌بندی، آنالیز شیمیایی و کانی‌شناسی باطله

یک کیلوگرم نمونه‌ی معرف باطله، برای تعیین توزیع دانه‌بندی با استفاده از تجزیه‌ی سردی به روش تر مورد استفاده قرار گرفت. پس از تجزیه‌ی سردی، وزن نمونه‌های باقی‌مانده بر روی هر سرنده، پس از خشک شدن، اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه سردی تر دلالت بر آن دارند که ۴۶٪ ذرات باطله ریزتر از ۳۸ میکرون قرار دارند. بنابراین ذرات ریزتر از ۳۸ میکرون با استفاده از سیکلو سایزر دانه‌بندی شدند که ۵۰٪ ذرات ریزتر از ۳۸ میکرون در ابعاد ریزتر از ۱۱ میکرون

پس از دو سیکل پاشش، pH ستون‌ها به ۲ تنظیم و باکتری اضافه شد. ستون‌های بیولیچینگ استفاده شده برای تست‌ها در شکل ۱ نشان داده شده‌اند

۲-۳- باکتری‌های مورد استفاده

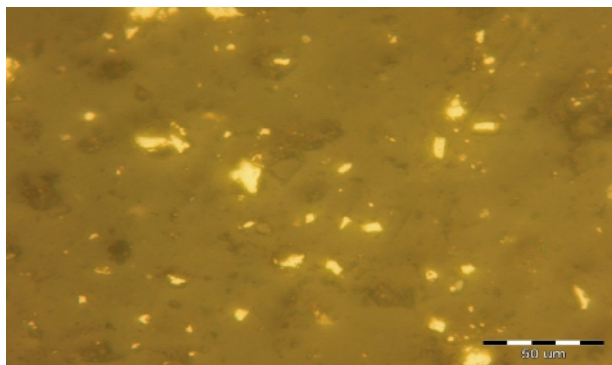
یک سویه باکتری دما پایین از ترکیب سه گونه باکتری اسیدوتیوباسیلوس فرواکسیدانس (AF)، اسیدوتیوباسیلوس تیواکسیدانس (Tt) و لیپتواسپریوم فرواکسیدان (LF) از بانک میکروبیولوژی مجتمع مس سرچشمه تهیه شد. لازم به ذکر است که این باکتری‌ها از سد باطله معدن سرچشمه جداسازی شده بودند. دلیل استفاده از ترکیب سه گونه باکتری مذکور کارایی و عملکرد هر یک از باکتری‌ها می‌باشد. باکتری‌های اسیدوتیوس تیواکسیدانس اکسید کننده گوگرد، لیپتواسپریوم اکسید کننده آهن محیط و باکتری اسیدوتیوس فرواکسیدانس اکسید کننده گوگرد و آهن می‌باشند. ترکیب این سه گونه نشان داده که بازیابی استخراج به روش بیولیچینگ نسبت به حالتی که از یک گونه استفاده می‌شود، بالاتر است. به همین منظور به دلیل مقادیر بالای پیریت در نمونه و حضور اسفالریت تصمیم گرفته شد که از ترکیب سه گونه باکتری مذکور استفاده شود. از طرفی در مراحل پایانی فرآیند لیچینگ با افزایش پتانسیل محیط (بالای ۵۵۰ میلی ولت)، از تعداد و فعالیت باکتری‌های اسیدوتیوس فرواکسیدانس و اسیدوتیوس تیواکسیدانس کاسته می‌شود. در حالیکه باکتری‌های لیپتواسپریوم در پتانسیل‌های بالای به فعالیت خود همچنان ادامه می‌دهند.

باکتری‌های تهیه شده در محیط کشت شناخته شده 9K با

میزان تلقیح ۱۰٪ در انکوباتور شیکر در داخل ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری در دور ۱۵۰ کشت داده شدند.

۲-۴- آنالیز عناصر و یون‌ها

به منظور اندازه‌گیری عناصر روی و آهن از دستگاه جذب اتمی استفاده شد. اندازه‌گیری آهن فریک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. برای اندازه‌گیری آهن فریک، ۰/۱ سی‌سی از هر نمونه با ۳ سی‌سی اسید سولفوسالیسیک ۱۰٪ مخلوط شده و به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده شد. پس از اضافه کردن اسید سولفوسالیسیک به دلیل تشکیل کمپلکس با آهن فریک رنگ محلول ارغوانی می‌شود. محلول‌های ساخته شده در داخل سل‌های ویژه ریخته و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اعداد جذب قرائت شد [۱۲]. اندازه‌گیری کربن آلی به کمک دستگاه LECO انجام پذیرفت.



ب

شکل ۲: الف) اشکال پیریت و اسفالریت در باطله. اسفالریت در ماتریکس پیریت. ب) پیریت فراوان تیغه‌ای (ابعاد عمدتاً زیر ۱۰ میکرون)

۳-۳- اندازه‌گیری میزان مصرف اسید کنسانتره تهیه شده: میزان مصرف اسید کنسانتره در ارلن و ستون اندازه‌گیری شد. در ارلن ۱۰ گرم کنسانتره به ۱۰۰ سی سی محیط با pH جدول ۲: آنالیز عنصری و کانی‌شناسی نمونه باطله و کنسانتره تهیه شده

Elements/minerals	Tailing (%)	Flotation Concentrate (%)
Zn	۳/۶۷	۱۱/۹۷
Fe	۲۴/۱۸	۲۳/۱۷
Pb	۰/۹۷	۱/۲۲
S	۲۸/۶	-
FeS ₂	۶۲/۲	۶۱/۴
ZnS	۵/۳	۱۸/۹
PbS	۲/۱	۲/۸
C _o (Organic carbon)	۲/۲	
C _T (Total Carbon)	۲/۸	
Quartz	۶/۳	۵/۸
Montmorillonite	۵/۸	-
Pyrophyllite	۵/۸	-
Talc	۵/۸	
Gypsum	۴/۳	۶/۹
Albite	۲/۲	۲/۱

معادل ۲ اضافه شد و در داخل شیکر هم زده شد. pH پالپ، هر ۱ ساعت اندازه‌گیری و پس از تنظیم pH محیط به ۲، میزان اسید مصرفی یادداشت شد. این کار تا جایی ادامه یافت که pH ثابت ماند و تغییر محسوسی مشاهده نشد. در این حالت

قرار گرفتند. در نهایت با محاسبه دانه‌بندی کل باطله، D₈₀ ذرات در حدود ۹۰ میکرون به دست آمد.

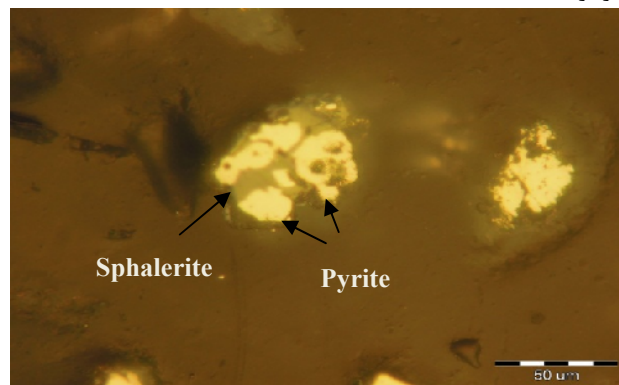
عناصر روی، آهن و سرب با استفاده از روش جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. آنالیز نمونه باطله نشان داد که میزان روی، سرب و آهن به ترتیب برابر ۳/۶۷٪، ۰/۹۷٪ و ۲۴/۱۸٪ می‌باشد. میزان روی، سرب و آهن در فراکسیون ریزتر از ۳۸ میکرون به ترتیب برابر ۳/۴۷٪، ۱/۵۴٪ و ۲۷/۷۶٪ می‌باشد. همچنین حدود ۳۴٪ و ۵۰٪ وزنی روی و سرب در فراکسیون ریزتر از ۱۱ میکرون قرار گرفته‌اند.

مطالعات کانی‌شناسی و آنالیز XRD نشان که پیریت کانی غالب در باطله که حدود ۶۲٪ آن کانی‌های باطله را به خود اختصاص داده است. پس از پیریت، اسفالریت و گالن کانی‌های سولفیدی نمونه می‌باشند. جدول ۲ درصد عناصر و ترکیب کانی‌شناسی باطله را نشان می‌دهد. میزان کربن کل و آلی در نمونه باطله به ترتیب ۲/۸٪ و ۲/۲٪ اندازه‌گیری شد.

مطالعات میکروسکوپی نشان داد که پیریت در ابعاد بسیار ریز و در حد چند میکرونی و به اشکال متفاوت حضور دارد. ب شکل ۲ نمایی از حضور اسفالریت در ماتریکس پیریت و نرمه‌های پیریتی ریزتر از ۱۰ میکرون را نشان می‌دهد.

۳-۲- تهیه کنسانتره از نمونه باطله

باطله تهیه شده با عیار متوسط ۳/۶۷٪ روی به سلول‌های فلوتاسیون انتقال داده شده و کنسانتره‌ای با عیار روی ۱۱/۹۷٪ و بازیابی متوسط ۴۵٪ به دست آمد. میزان پیریت در کنسانتره تهیه شده حدود ۶۱٪ مشخص شد. جدول ۲ نتایج آنالیز شیمیایی و کانی‌های موجود در کنسانتره تهیه شده را نشان می‌دهد. از این کنسانتره جهت انجام آزمایش‌های ژئوکوت استفاده شد.



الف

باشد. از سیکل چهارم غلظت آهن در محیط افزایش یافته و تا غلظت ۲۰ گرم بر لیتر نیز می‌رسد. شکل ۴ غلظت آهن کل و آهن فریک را نشان می‌دهد. با توجه به شکل اکثر آهن محیط به صورت یون فریک هستند.

همزمان با اندازه‌گیری pH و Eh در سیکل‌های مختلف، تعداد باکتری‌ها در محیط نیز شمارش شد. با توجه به پایین بودن تعداد باکتری‌های آزاد در محلول لیچینگ، از ستون نمونه-گیری شد و پس از شستشوی نمونه پوشش داده شده، تعداد باکتری‌ها شمارش شد. شکل ۵ منحنی رشد باکتری‌ها در ستون بیولیچینگ را ارائه می‌دهد. ملاحظه می‌شود که از سیکل چهارم به بعد رشد باکتری‌ها وارد فاز لگاریتمی شد. این مرحله به بعد با اکسیداسیون پیریت و تولید یون‌های فریک توسط باکتری‌ها، غلظت یون‌های آهن فریک در محیط افزایش قابل توجهی را نشان داد

جدول ۳: میزان آب و کنسانتره اضافه شده در مرحله پوشش

دهی بر روی سنگ‌های گرانیات نمونه

نمونه	کنسانتره فلوتاسیون
میزان چسپندگی(%)	۸۴
درصد جامد پالپ(%)	۶۹/۳۱
میزان آب اضافه شده (گرم)	۹۳
وزن خالص چسپیده(گرم)	۲۱۰
وزن گرانیات(گرم)	۱۷۵۰
وزن اولیه نمونه	۲۵۰

میزان مصرف اسید حدود ۷۰-۶۰ کیلوگرم بر تن اندازه‌گیری شد.

نمونه کنسانتره پوشش داده شده بر روی نمونه سنگ‌های گرانیات به ستون نیم متری انتقال داده شد و پاشش محلول اسیدی با دبی ۱۰ lit/h.m² آغاز شد. pH محلول لیچ شده اندازه‌گیری و به pH ۲ تنظیم شد. این کار تا ثابت شدن pH ادامه یافت. میزان مصرف اسید در ستون‌ها ۴۰-۵۰ کیلوگرم بر تن بدست آمد.

۴-۳- شرایط بهینه چسبندگی کنسانتره بر روی نمونه‌های گرانیات

در مرحله پوشش دهی نمونه کنسانتره بر روی سنگ‌های نگهدارنده(گرانیات)، پیدا کردن شرایطی که در آن کنسانتره به خوبی بر سطح سنگ‌ها بچسبد، بسیار مهم است. بنابراین درصد پالپ‌های مختلف تهیه و استحکام کنسانتره چسبیده شده بر روی سنگ‌ها به طور نسبی مقایسه شد. در نهایت درصد جامد ۶۵-۷۰٪ شرایط مناسبی برای پوشش دهی کنسانتره بدست آمد. میزان آب و کنسانتره اضافه شده در اشاره شده است.

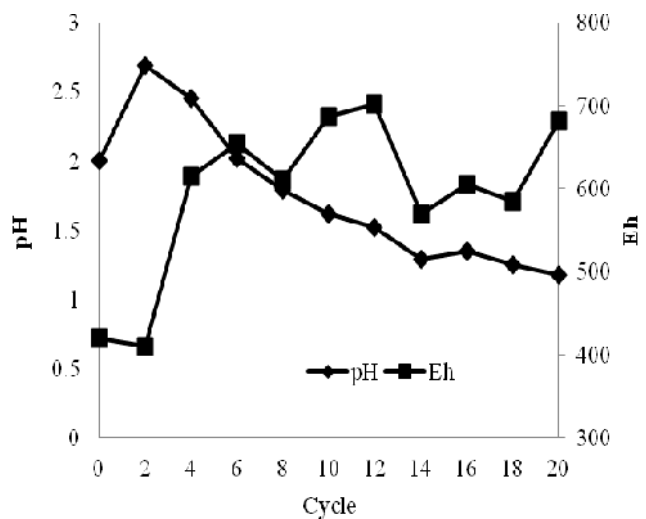
۳-۵- آزمایش ستون بیولیچینگ و نتایج آن

۳-۵-۱- تغییرات pH و Eh ستون لیچینگ

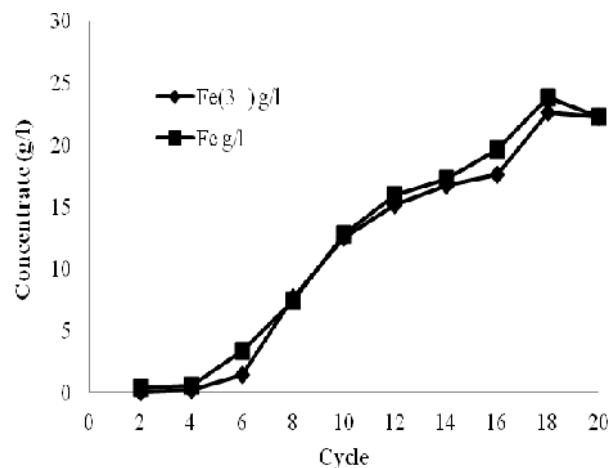
در مرحله پوشش دهی کنسانتره بر روی سنگ‌ها، ۳۲ گرم بر کیلوگرم کنسانتره، اسید اضافه شد تا زمان ثابت شدن pH و نواسانات آن کمتر شود. نمونه‌های پوشش داده شده، پس از خشک شدن به ستون لیچینگ انتقال داده شد و پاشش محلول اسیدی آغاز شد. پس از دو مرحله پاشش، با اضافه کردن ۱۲ گرم بر کیلوگرم اسید سولفوریک pH به ۲ تنظیم شده و باکتری‌ها اضافه شدند. شکل ۳ تغییرات pH و Eh آزمایش را نسبت به سیکل‌های مختلف پس از اضافه کردن باکتری را نشان می‌دهد. همزمان با اضافه کردن باکتری‌ها و آغاز فعالیت آنها، به مرور به pH افزوده شده تا اینکه در سیکل دوم به مقدار ۲/۶۹ می‌رسد و پس از آن روند تغییرات pH نزولی می‌شود. در سیکل ششم مقدار آن به ۲ کاهش یافته و در انتهای فرآیند به ۱/۱۸ می‌رسد. مقادیر Eh نیز تا سیکل ۲ کاهش یافته و پس از آن افزایش ناگهانی مشاهده می‌شود به گونه‌ای که مقدار Eh از ۴۱۰ میلی ولت در سیکل دوم پاشش به مقدار ۶۵۱ در سیکل ششم پاشش رسید. این تغییرات ناگهانی pH و Eh بیانگر شرایط اکسیداسیون محیط در اثر فعالیت باکتریایی و تولید یون‌های آهن فریک و سولفات می-

در آزمایش‌های بیولیچینگ محلول هر مرحله از ستون جهت پاشش مرحله بعدی استفاده شد، به عبارتی عملیات پاشش در ستون به صورت سیکل بسته انجام پذیرفت. شکل ۶ تغییرات استخراج روی و آهن را نسبت به زمان در ستون بیولیچینگ را نشان می‌دهد. در شکل ۶ مشاهده می‌شود که پس از ۱۰ سیکل (۴۰ روز) حدود ۸۱٪ روی وارد محلول شد که در این شرایط ۴۰٪ آهن موجود در پیریت استخراج شده است. غلظت روی و آهن در محلول لیچ شده در انتهای مدت سیکل دهم، به ترتیب برابر ۱۲/۶۳ و ۱۱/۳۸ گرم بر لیتر می‌باشد (شکل ۷). سینتیک استخراج و غلظت روی تا سیکل دهم بیشتر از آهن می‌باشد ولی پس از آن روند استخراج روی با سرعت پائینی اتفاق افتاد و افزایش غلظت روی در محلول قابل توجه نبود. البته این در حالی است که رفتار استخراج و آهن متفاوت می‌باشد. از سیکل دهم به بعد میزان استخراج و غلظت آهن به طور قابل توجهی افزایش یافت به گونه‌ای که غلظت آن به حدود ۲۳ گرم بر لیتر رسید. با توجه به شکل ۶ استخراج بالای ۹۰٪ روی پس از مدت زمان ۲۰ سیکل قابل مشاهده است.

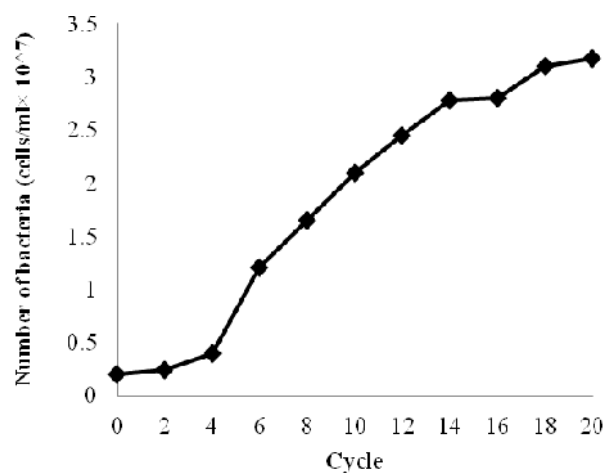
به منظور بررسی تأثیر باکتری‌ها در فرآیند تست کنترل انجام شد. به این صورت که آزمایشی دقیقاً مشابه آزمایش بیولیچینگ انجام گرفت با این تفاوت که باکتری به ستون اضافه نشد. میزان استخراج روی و آهن در شرایط کنترل در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج در سیکل دهم میزان انحلال روی و آهن حدود ۵۷٪ و ۲۷٪ است که در مقایسه با تست بیولیچینگ در مدت زمان معین حدود ۲۱٪ انحلال روی و ۱۳٪ انحلال آهن کمتر است. به عبارت دیگر اضافه کردن باکتری‌ها به فرآیند بازیابی روی را ۲۵-۲۰٪ بهبود داده است. البته باید اذعان داشت که علی‌رغم اینکه باکتری به تست کنترل اضافه نشد، حضور باکتری در محیط مشاهده شد که باکتری‌های موجود، باکتری‌ها همراه نمونه خاک می‌باشند. به همین دلیل است که میزان انحلال روی قابل توجهی در شرایط عدم اضافه کردن باکتری‌ها به فرآیند حاصل شد.



شکل ۳: روند تغییرات pH و Eh ستون بیولیچینگ



شکل ۴: تغییرات غلظت آهن کل و فریک در محلول لیچینگ



شکل ۵: منحنی رشد باکترها در ستون بیولیچینگ

۲-۵-۲- استخراج روی و آهن

۴- نتیجه گیری

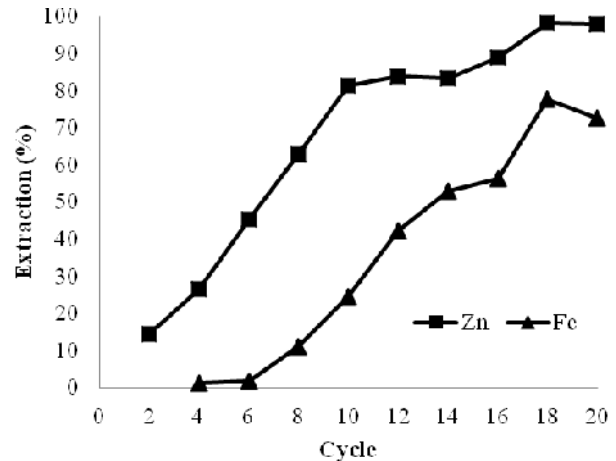
بالغ بر ۵ میلیون تن، باطله‌های فلوتاسیون با عیار متوسط ۳/۵٪ روی به صورت اسفالریت در سد باطله معدن سرب روی کوشک انباشت شده است که ذخیره قابل توجهی از فلز روی را تشکیل می‌دهند. به دلیل وجود درصد بسیار بالای پیریت (حدود ۶۰٪)، حضور کربن آلی و دانه‌بندی ریز، تست‌های فلوتاسیون با مواد شیمیایی و سلول فلوتاسیون مکانیکی قابلیت بالایی در پر عیار سازی روی را نشان نداده است. به همین دلیل در این تحقیق از روش بیولیچینگ جهت انحلال روی موجود در اسفالریت استفاده شد. با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی فرآیند، در مرحله اول با استفاده از فلوتاسیون کنسانتره‌ای با عیار ۱۱/۹۷٪ و بازیابی حدود ۴۵٪ تهیه شده و شد. آزمایش‌ها در داخل سلول‌های ۰/۵ متری صورت پذیرفت و نتایج زیر حاصل شد:

- محاسبه بازیابی بر اساس غلظت روی در محلول، بازیابی بالای ۹۰٪ روی در مدت زمان ۲۰ سیکل (۸۰ روز) را نشان داد. جهت کنترل بازیابی بدست آمده، بازیابی بر اساس وزن و عیار پسماند لیچینگ محاسبه شد. مقدار روی موجود در باقیمانده لیچینگ ۰/۶۷٪ بود که بازیابی ۹۱٪ را روی را نشان می‌دهد.

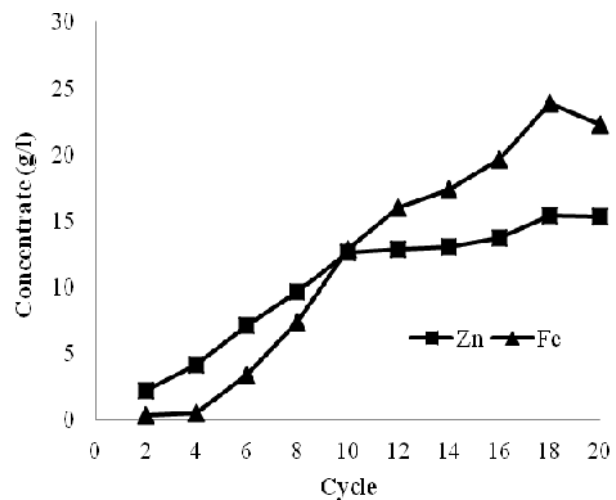
- افزودن ترکیب سه گونه باکتری مزوفیل به ستون لیچینگ، باعث افزایش ۲۵-۲۰٪ انحلال روی موجود در اسفالریت کنسانتره شد.

- تا روز چهارم بیولیچینگ، حدود ۸۱٪ روی و ۴۰٪ آهن وارد محلول شد که غلظت عناصر به ترتیب ۱۲/۶۳ و ۱۱/۳۸ گرم بر لیتر به دست آمد. با ادامه فرآیند، روند انحلال آهن موجود در پیریت نسبت به انحلال اسفالریت بسیار بیشتر شد و همین امر سبب افزایش قابل توجهی ناخالصی آهن در محلول می‌شود.

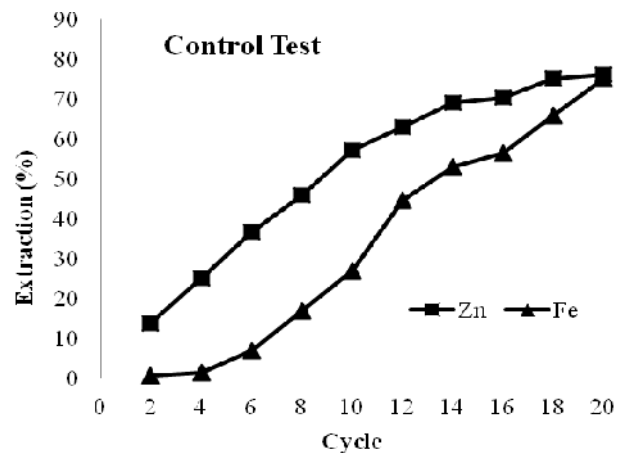
- با توجه به افزایش غلظت آهن در محلول و در نظر گرفتن ملاحظات و محدودیت‌های مراحل بعدی استحصال روی، زمان لیچینگ ۴۰ روز با بازیابی ۸۱٪ روی به عنوان زمان لیچینگ آزمایش‌های ستون ۰/۵ متری پیشنهاد می‌شود.



شکل ۶: میزان استخراج روی و آهن در شرایط افزودن باکتری‌های مزوفیل نسبت به سیکل لیچینگ.



شکل ۷: تغییرات غلظت روی و آهن در محلول لیچینگ نسبت به سیکل لیچینگ



شکل ۸: میزان استخراج روی و آهن در شرایط عدم افزودن باکتری‌های مزوفیل نسبت به سیکل لیچینگ

[7] Harvey, T.J., . Shield, J.W., Crowell R.M.P.E., 1999, “ *GEOCOAT™ Biooxidation Demonstration at Ashanti Goldfields’ Obuasi Operations, Ghana*” West Africa, Presented at Randol Gold Forum, Denver, Colorado, May .

[8] Harvey, T. J., Adutwum, K.O., Potter, G.M., 1998, “*Heap Biooxidation for the Treatment of Low Grade Refractory Ores at Ashanti Goldfiel’ Obuasi Operations*”, Randol Gold Forum, Denver, CO.

[9] Panin, V.V., Adamov, E.V., Krylova, L.N., Pivovarov, T.A., Voronon, D.Yu., Karavaiko, G.I., 2003, “*Bacterial tank leaching of zinc from flotation tailings*” 15th International Biohydrometallurgy Symposium, Athens, Hella, pp: 85-90.

[10] Sampson, M.I., Van Der Merwe, W., Harvey, T.J., Bath, M.D., 2005, “*Testing the ability of a low grade sphalerite tailing to achieve autothermality during biooxidation heap leachin*”, Miner. Eng, 18: 427-437.

[11] Harvey, T. J., Van Der Merwe, W., Afewu, K., 2002, “*The application of the GeoBiotics GEOCOAT biooxidation technology for the treatment of sphalerite at Kumba resources Rosh Pinah mine*” Miner. Eng, 15, 823-829.

[12] Karamanev, D.G., Nikolov, L.N. , Mamatarkova, V., 2002, “*Rapid simultaneous quantitative determination of ferric and ferrous ions in drainage waters and similar solutions*”, Miner. Eng, 15, 341-346.

به منظور طراحی پلنت لیچینگ، انجام آزمایش‌ها در ستون‌های با ارتفاع بیشتر و در مقیاس پایلوت و نیز تست‌های SX-EW ضروری است.

- به علت وجود کانسنگ‌های کم عیار دیو شده در محدود معدن (زیر ۰.۶٪ روی) که به دلیل پایین بودن عیار، وارد کارخانه فرآوری نمی‌شوند، پیشنهاد می‌شود که در مقیاس پایلوت از این سنگ‌ها به جای گرانیات به عنوان سنگ نگهدارنده استفاده شود. تا ضمن انحلال روی موجود در کنسانتره، روی موجود در این کانسنگ‌ها نیز وارد محلول شود.

- مراحل پس از لیچینگ، فرآیندهای SX و EW می‌باشند، ولی با توجه به وجود پیریت بالا در نمونه‌های تحت لیچینگ و به تبع آن غلظت بالای ناخالصی آهن در PLS، حذف ناخالصی آهن امری ضروری است، که این امر با رسوب دادن امکان‌پذیر است

مراجع

[1] Rawlings, D. E., Dew, D., Duplessic, C., 2003, “*Biomining of metal containing ores and concentrates*”, Trends in Biotechnology, 21: 38-44.

[2] Brierly, C.L., 2008, “*How will biomining be applied in future?*” Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 18: 1302-1310.

[3] Rohwerder, T., Gehrke, T., Kinler, K., Sand, W., 2003, “*Bioleaching review part A: Progress in bioleaching: fundamentals and mechanisms of bacterial metal sulfide oxidation*”, Appl Microbiol Biotechnol, 6: 239-248.

[4] Suzuki, I., 2001, “*Microbial leaching of metals from sulphide minerals*”, Biotechnology Advances, 19: 119-132.

[5] Sand, W., Gerke, T., Jozsa, P.G., Schippers, A., 2001, “*(Bio)chemistry of bacterial leaching – direct vs. Indirect bioleaching*”, Hydrometallurgy, 59: 159-175.

[6] Harvey, T.J., Bath, M., 2007 , “*The GeoBiotics GEOCOAT® Technology – Progress and Challenges*”, Rawlings, D. E., Johnson, D.B., (Eds.), “*Biomining*”, Chapter 5, pp:97-112.