



## بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر روی تشکیل جاروسیت در بیولیچینگ کانسنگ

### سولفیدی معدن مس سرچشمه

بهمن نظری<sup>۱\*</sup>، هادی هانی<sup>۱</sup>، اسماعیل جرجان<sup>۲</sup>، زهرا منافی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه معدن،  
<sup>۲</sup> دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه معدن،  
<sup>۳</sup> کارشناس ارشد، امور تحقیق و توسعه، معدن مس سرچشمه

#### چکیده

سابقه و هدف: جاروسیت یکی از عوامل محدودکننده بازیابی مس از کانی‌های سولفیدی مس می‌باشد. این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر فاکتورهای غلظت سولفات فرو، pH و دما بر تشکیل جاروسیت در فرآیند بیولیچینگ کانی‌های سولفیدی معدن مس سرچشمه انجام شد. مواد و روش‌ها: در این پژوهش نمونه‌ای از دپوی سنگ شکنی هیپ بیولیچینگ معدن مس سرچشمه تهیه گردید. آزمایش‌های بیولیچینگ در ارلن‌های ۵۰۰ میلی لیتری، درصد جامد ۱۰٪ (وزنی/حجمی) نمونه سولفیدی، حجم پالپ ۲۰۰ میلی لیتر، محیط کشت 9K، درصد تلقیح ۱۰٪ (حجمی/حجمی) باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس و دور همزن ۱۳۰ دور در دقیقه در آنکوباتور شیکردار انجام گرفت. یافته‌ها: نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان داد که با افزایش pH و غلظت سولفات فرو میزان ترسیب آهن فریک افزایش می‌یابد. بیشترین ترسیب فریک در غلظت ۵۰ گرم بر لیتر سولفات فرو، دمای ۳۲ درجه سانتی گراد و pH ۲/۲ ایجاد گردید. با توجه به نتایج حاصل از آنالیزهای XRD و FTIR پسماند بیولیچینگ، مشخص گردید که رسوبات فریک ایجاد شده غالباً از نوع جاروسیت پتاسیم و آمونیم می‌باشند. نتیجه گیری: با در نظر گرفتن شرایط بهینه پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه امکان کنترل تشکیل جاروسیت در فرآیند بیولیچینگ و افزایش راندمان تولید مس از کانه‌های سولفیدی مس وجود دارد.

واژگان کلیدی: جاروسیت، بیولیچینگ، اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس، اکسیداسیون، ترسیب

پذیرش برای چاپ: فروردین ۱۳۹۰

دریافت مقاله: آذر ۱۳۸۹

#### مقدمه

اسچورتمانیت ( $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6\text{SO}_4$ ) و انواع مختلف جاروسیت

$(\text{K}, \text{Na}, \text{NH}_4, \text{H}_3\text{O})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$  می‌باشند (۱).

جاروسیت یکی از زیر گروه‌های کانی‌های آلونیت - جاروسیت

بر مبنای فرمول  $(\text{Mn}(\text{Fe}^{3+})_6(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12})$  است که در این جا

M می‌تواند یکی از عناصر K,  $\text{NH}_4$ , Na, Ag یا Pb باشد ( $n=2$ )

برای کاتیون‌های تک ظرفیتی و  $n=1$  برای کاتیون‌های دوظرفیتی)

(۲). برای تشکیل جاروسیت در بیولیچینگ به حضور کاتیون‌های

اکسیداسیون و ترسیب آهن در بیولیچینگ کانی‌های

سولفیدی، مخلوطی از کانی‌های هیدرواکسی سولفات آهن تولید

می‌کند. این ترکیبات شامل فری هیدریت ( $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ),

\* آدرس برای مکاتبه: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه معدن.

تلفن: ۰۹۱۳۵۴۱۷۵۷۳

پست الکترونیک: nazari.bneem@yahoo.com

این پژوهش از کشت ۷ روزه این باکتری ها (کانت  $10^8 \times 1/96$ ) استفاده گردید. در ادامه نمونه‌ای از دپوی سنگ شکنی هیپ بیولیچینگ معدن مس سرچشمه تهیه و به منظور تعیین ترکیبات شیمیایی و کانی شناسی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های بیولیچینگ در ارلن‌های ۵۰۰ میلی لیتری، درصد جامد ۱۰٪ (وزنی/حجمی) از نمونه سولفیدی، حجم پالپ ۲۰۰ میلی لیتر، محیط کشت 9K، درصد تلقیح ۱۰٪ (حجمی/حجمی) اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس و دور همزن ۱۳۰ دور در دقیقه در انکوباتور شیکردار مدل Innova 4200 انجام گردید (۱۲ و ۱۳). همچنین اثر هر یک از غلظت‌های سولفات فرو ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۷۵ گرم بر لیتر، مقادیر pH اولیه ۱، ۱/۳، ۱/۶، ۱/۹، ۲/۲ و ۲/۵، و نیز دمای ۳۲ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد بر روی تشکیل رسوبات فریک در بیولیچینگ کانی‌های سولفیدی مس مورد ارزیابی قرار گرفت.

در تمامی مراحل آزمایش از سولفات آهن فرو آب دار ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) به عنوان منبع یون فرو و از اسیدسولفوریک به منظور تنظیم اسیدیته استفاده گردید. مقادیر Eh و pH به طور روزانه ثبت شدند (۱۴). در نهایت نمونه‌ها فیلتر شده و پسماند جهت حذف یون‌های حبس شده و باکتری پس از سه بار شستشو با اسید سولفوریک رقیق (۵٪) و آب مقطر به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیطی خشک گردیدند. آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های پسماند و محلول به روش جذب اتمی با استفاده از الکترودهای پلاتینی مدل Metrohm انجام گرفت. برای شناسایی رسوبات موجود در نمونه‌های پسماند از آنالیزهای XRD و FTIR استفاده شد.

نتایج بر اساس آنالیزهای شیمیایی (جدول ۱) و کانی شناسی (جدول ۲) بر روی نمونه دپوی سنگ شکنی هیپ بیولیچینگ معدن مس سرچشمه، مشخص گردید که نمونه دارای مس اکسید ناچیزی بوده و کانی مس سولفیدی آن بیشتر از نوع کالکوپیریتی می باشد. میزان آهن نمونه ۷/۳۱ درصد بود که عمدتاً در کانی‌هایی

جدول ۱: آنالیز شیمیایی نمونه معرف.

عنصر	Cu	Fe	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>
عیار (%)	۰/۷	۷/۳۱	۴/۲۱	۳/۱

تک ظرفیتی نیاز است. این کاتیون‌ها می‌توانند به وسیله نمک‌های موجود در محیط‌های کشت باکتریایی، از طریق انحلال کانی‌های فرعی مانند میکا (که پتاسیم بین لایه‌ای خود را از دست می‌دهد) و یا افزودنی‌های خنثی کننده اسیدیته از جمله NaOH، KOH،  $K_2CO_3$  تأمین گردند (۳).

مطالعات لیو (Liu) و همکاران نشان داد که تشکیل جاروسیت در محیط کشت 9K با رسیدن باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدانس (*Thobacillus ferrooxidans*) به فاز لگاریتمی آغاز می‌گردد (۴). دائود (Daoud) و کارامانو (Karamanev) با بررسی pH در محدوده ۱ تا ۳ در محیط کشت 9k، نشان دادند که کم‌ترین میزان تشکیل جاروسیت در محدوده pH ۱/۷-۱/۶ به دست می‌آید (۵). نتایج به دست آمده در مطالعه هونگمی (Hongmei) و همکاران اثبات کرد که در محیط‌های بیولوژیک در شرایط افزایش دما از ۳۶ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد، اسچورتمنیت به جاروسیت آمونیم/هیدرونیم تبدیل می‌گردد (۶). بیشتر مطالعات انجام شده در مورد شناسایی عوامل مؤثر در تشکیل جاروسیت در محیط‌های کشت خالص باکتریایی صورت گرفته است و به این فاکتورها در بیولیچینگ نمونه سولفیدی مس اشاره چندانی نشده است. این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر فاکتورهای غلظت سولفات فرو، pH و دما بر تشکیل جاروسیت در فرآیند بیولیچینگ کانی‌های سولفیدی معدن مس سرچشمه انجام شد.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه از باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس جداسازی شده از آب‌های اسیدی معدن مس سرچشمه استفاده گردید. این باکتری به صورت سازگار شده با کانی کم عیار معدن مس سرچشمه در بانک میکروبی مجتمع موجود بود. در ابتدا مقدار مشخصی از باکتری در محیط 9K کشت داده شد. سپس در درون انکوباتور شیکر با سرعت ۱۳۰ دور در دقیقه، pH ۱/۸ و دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. همچنین در این محیط کشت از ۷۵ گرم بر لیتر سولفات آهن فرو ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) به عنوان منبع انرژی استفاده شد (۷-۱۱). در

جدول ۲: بررسی مینرالوژیکی نمونه معرف.

نوع کانی	مولیدنیت	مگنتیت	اسفالریت	هماتیت	پیریت	کولیت	کالکوسیت	کالکوپیریت
فرمول شیمیایی	MoS <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	ZnS	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeS <sub>2</sub>	CuS	Cu <sub>2</sub> S	CuFeS <sub>2</sub>
درصد وزنی	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۱۱۶	۰/۳۳۹	۱۳/۸۸۶	۰/۰۲۲	۰/۰۵۲	۱/۸۶

### بحث

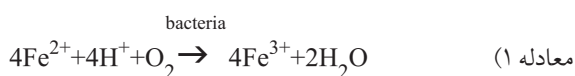
مانند پیریت، کالکوپیریت، هماتیت و مگنتیت یافت می شود.

نتایج آنالیز XRD نمونه در شکل ۱ نشان داده شده است.

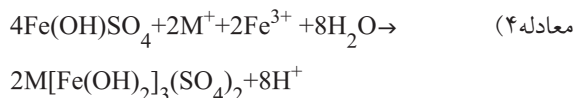
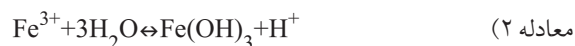
در این مطالعه بیشترین میزان فریک تولیدی (۱۰/۵۰ گرم بر لیتر) و درصد اکسایش آهن (۷۱/۲۷٪) در غلظت سولفات فرو ۵۰ گرم بر لیتر و کمترین مقدار فریک تولیدی (۰/۶۶ گرم بر لیتر) و درصد اکسایش آهن (۱۴/۱٪) در آزمایش بدون افزودن سولفات فرو می باشد (جدول ۳). بنابراین می توان چنین نتیجه گرفت که با افزایش غلظت سولفات فرو و pH، درصد اکسایش آهن فرو، میزان فریک تولیدی و فریک راسب شده افزایش پیدا می کند. درصد اکسایش آهن فرو و میزان تولید و ترسیب یون فریک در pH ۱/۶ تا ۲/۵، در دمای ۳۲ درجه سانتی گراد نسبت به دمای ۳۷ درجه سانتی گراد بیشتر بود. اما در pH ۱ تا ۱/۶، در دمای ۳۷ درجه نسبت به دمای ۳۲ درجه سانتی گراد میزان ترسیب افزایش داشت (شکل ۲).

آنالیزهای XRD و FTIR پسماند بیولیچینگ نمونه سولفیدی دپوی هیپ بیولیچینگ معدن مس سرچشمه با شرایط عملیاتی: غلظت سولفات فرو ۵۰ گرم بر لیتر، دمای ۳۲ درجه سانتی گراد و pH اولیه ۲/۲ نشان دهنده حضور کانی ثانویه جاروسیت (KFe<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>) و پیوندهای مربوط به تشکیل آن بود (شکل های ۳ و ۴).

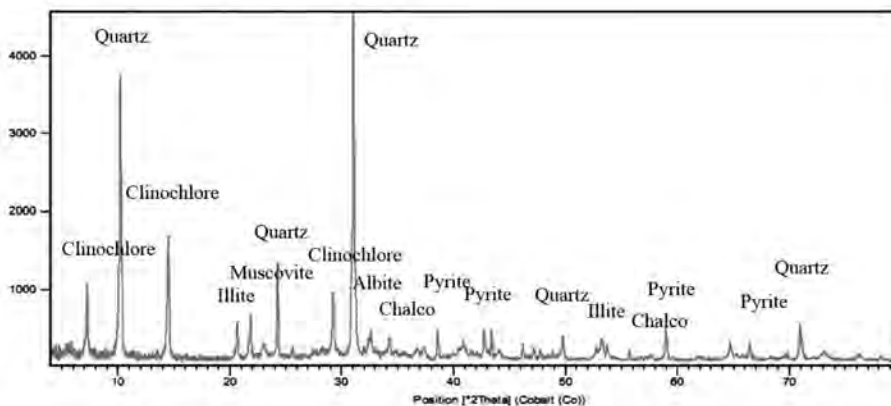
زمانی که آهن فرو توسط باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس اکسید می شود، یون فریک تولید می گردد (معادله ۱) (۱۲).



با هیدرولیز آهن فریک تولید شده در فاز آبی، هیدرواکسید آهن فریک تولید می شود (معادله ۲) که در صورت ترکیب با سولفات، موجب تشکیل هیدرواکسی سولفات آهن می گردد (معادله ۳). در حضور کاتیون های مختلف (M) هیدرواکسی سولفات آهن به جاروسیت تبدیل می شود (معادله ۴) (۲، ۱۵، ۱۶، ۱۷).



پارامترهای pH و غلظت سولفات فرو بر سینتیک و میزان تشکیل رسوب جاروسیت تأثیرگذار می باشند. بر اساس معادلات فوق وجود غلظت مناسب آهن در محیط می تواند عاملی بسیار مؤثر در تشکیل رسوب جاروسیت باشد. بر اساس معادله ۱ به



شکل ۱: آنالیز XRD نمونه معرف.

جدول ۳: درصد اکسایش و ترسیب آهن در غلظت‌های مختلف سولفات فرو.

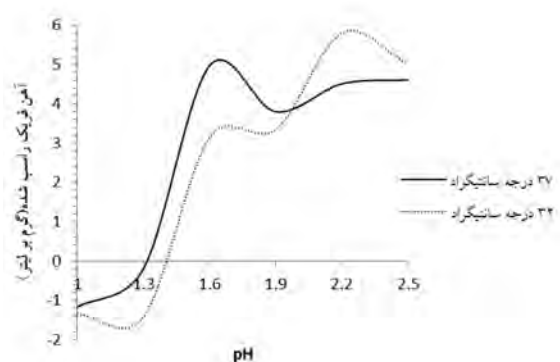
درصد ترسیب آهن فریک	نسبت $Fe^{3+}/Fe^{2+}$	درصد اکسایش آهن	فریک تولیدی (گرم بر لیتر)	غلظت سولفات فرو (گرم بر لیتر)
۵/۰۷	۰/۸۲	۱۴/۱	۰/۶۶	۰
۹/۵۸	۰/۹۵	۲۰/۷	۱/۰۵	۲
۱۶/۶۶	۱/۵۲	۳۷/۳۷	۲/۱۲	۵
۱۶/۰۹	۱/۴۱	۳۹/۹	۲/۶۷	۱۰
۲۱/۶۰	۱/۶	۴۹/۳	۴/۲۹	۲۰
۲۳/۶۷	۲/۲۶	۵۸/۹۱	۶/۳۱	۳۰
۲۶/۳۵	۲/۵۳	۶۵/۵۶	۸/۳۴	۴۰
۳۲/۷۷	۲/۹۸	۷۱/۲۷	۱۰/۵۰	۵۰
۴/۴۱	۰/۵۹	۱۹/۵۳	۳/۸۶	۷۵

پس از آن میزان فریک تولیدی و نیز درصد اکسایش آهن کاهش می‌یابد.

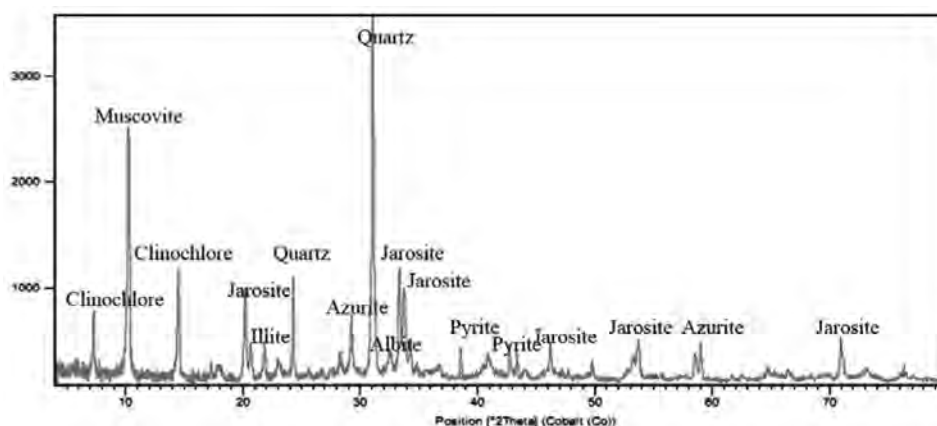
در پژوهش حاضر بیشترین میزان اکسیداسیون آهن فرو در غلظت ۵۰ گرم بر لیتر سولفات مشاهده گردید. بارون (Barron) و لوکینگ (Luecking) در سال ۱۹۹۰ نشان دادند که رشد باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس و نیز توانایی آن در اکسایش آهن به طور قابل توجهی وابسته به غلظت آهن فرو می‌باشد. به طوری که افزایش بیش از اندازه غلظت آهن فرو موجب کاهش رشد باکتری و به دنبال آن کاهش درصد اکسیداسیون می‌گردد (۱۰).

نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین میزان رسوب فریک (۵/۵۲ گرم بر لیتر) و بازدهی ترسیب (۳۲/۷۷٪) در غلظت ۵۰ گرم بر لیتر سولفات فرو ایجاد شده است. با افزایش غلظت سولفات فرو تا ۵۰ گرم بر لیتر میزان ترسیب فریک افزایش یافته اما مقادیر پس از آن، موجب کاهش میزان ترسیب فریک می‌گردد. این کاهش در میزان رسوبات می‌تواند به دلیل غلظت بالای یون فرو باشد. کوردوبا (Cordoba) و همکاران در سال ۲۰۰۸ نشان دادند که حضور یون فرو در محلول باعث ایجاد تعادل در غلظت یون فریک شده و همچنین از تشکیل هسته‌زایی رسوبات فریک جلوگیری می‌نماید (۱۸). نتایج به دست آمده در بررسی ژو (Zhu) و همکاران در سال ۲۰۰۸ نیز نشان داد که جاروسیت به طور فزاینده‌ای با ورود آهن فرو در درون محلول

منظور اکسیداسیون آهن فرو به ازای هر مول آهن فرو ( $Fe^{2+}$ ) یک مول اسید ( $H^+$ ) مورد نیاز است که در صورت غیاب آن اکسیداسیون انجام نخواهد پذیرفت. بنابراین pH محیط که معیاری از میزان غلظت اسید در محیط می‌باشد، فرآیند اکسایش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین ادامه واکنش هیدرولیز آهن فریک ( $Fe^{3+}$ )، موجب تولید اسید می‌شود. با افزایش میزان اسید واکنش به سمت چپ ادامه پیدا کرده و از هیدرولیز آهن و تشکیل رسوب جلوگیری می‌نماید (معادله ۲). نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش میزان غلظت سولفات فرو، درصد اکسایش آهن و میزان یون فریک تولیدی افزایش پیدا می‌کند (جدول ۴). این افزایش تا غلظت ۵۰ گرم بر لیتر ادامه پیدا کرده و



شکل ۲: تغییرات آهن فریک رسوب شده نسبت به pH و دما در غلظت ۵۰ گرم بر لیتر سولفات فرو.



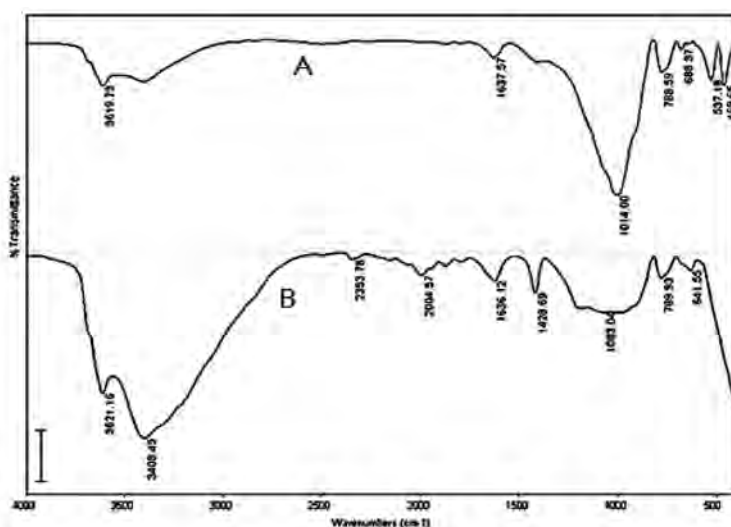
شکل ۳: آنالیز XRD پسماند بیولیچینگ نمونه سولفیدی دپوی سنگ شکنی هیپ بیولیچینگ معدن مس سرچشمه.

رسوب فریک بیشتری تشکیل می‌گردد (شکل ۲). اما در pH کمتر از ۱/۳ به دلیل ناچیز بودن اسید از هیدرولیز و رسوب نمک‌های فریک جلوگیری می‌شود. در این شرایط یون فریک ترسیب می‌شود و حتی بخشی از فریک موجود در نمونه نیز حل شده و وارد فاز آبی می‌گردد. بنابراین در مقادیر pH پایین، یون فریک بیشتری به صورت محلول باقی می‌ماند. جری (Jerry) و همکاران تأثیر دمای ۲ تا ۴۰ درجه را بر روی تشکیل جاروسیت به روش شیمیایی مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که با افزایش دما میزان رسوبات نیز افزایش می‌یابد (۳). میزان ترسیب فریک در مقادیر pH بالاتر از ۱/۹ در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد بیشتر می‌باشد. زیرا در مقادیر pH

جامد ناپایدار می‌گردد (۱۶). بر اساس معادله ۵ در غلظت‌های بالای یون فرو محلولی جامد، به نام کوپاییت، بین یون فرو و فریک تشکیل شده که نسبت به جاروسیت ناپایدار بوده و مجدداً حل می‌شود (۲).



یافته‌های گرامپ (Gramp) و همکاران در سال ۲۰۰۸ نشان داد که حلالیت  $\text{Fe}^{3+}$  تابعی از pH محلول لیچ می‌باشد. به طوری که با افزایش pH، میزان ترسیب یون فریک به دلیل کاهش انحلال‌پذیری یون فریک افزایش می‌یابد (۱). نتایج به دست آمده در مطالعه جاری نشان می‌دهد که در مقادیر pH بالاتر از ۱/۶



شکل ۴: آنالیز FTIR نمونه سولفیدی دپوی سنگ شکنی قبل از بیولیچینگ (A) و نمونه پسماند بیولیچینگ با شرایط غلظت سولفات فرو ۵۰ گرم بر لیتر، دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد و pH اولیه ۲/۲ (B).

اولیه ۲/۲ در مقایسه با نمونه قبل از بیولیچینگ، اکسیده و هیدراته گردیده است. این رویداد نشانگر تشکیل رسوبات هیدرواکسی آهن می باشد. همچنین پیک موجود در محدوده  $1083-641 \text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده پیوند  $\text{SO}_4^{2-}$  می باشد که در این حالت امکان تشکیل هیدرواکسی سولفات آهن وجود دارد.

### نتیجه گیری

بر اساس آنالیزهای FTIR و XRD رسوبات فریک تشکیل شده در فرآیند بیولیچینگ نمونه سولفیدی دپوی سنگ شکنی هیپ بیولیچینگ معدن مس سرچشمه عموماً ترکیبی از انواع هیدرواکسی سولفات های آهن از قبیل جاروسیت پتاسیم و آمونیم است. با در نظر گرفتن شرایط بهینه پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه می توان تشکیل جاروسیت در فرآیند بیولیچینگ را کنترل نمود و موجب افزایش راندمان تولید مس از کانه های سولفیدی مس گردید.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از مرکز تحقیقات مجتمع مس سرچشمه، جناب مهندس شهرام دانش پژوه ریاست واحد هیدرومتالورژی و آقای احمد مغویی نژاد به دلیل همکاری صمیمانه در اجرای این پژوهش کمال امتنان را دارند.

بالتر از ۱/۹ و دمای ۳۲ درجه شرایط بهینه فرآیند بیولوژیک با استفاده از باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس غالب بوده و یون فریک بیشتری تولید می گردد. اما در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد به دلیل مناسب نبودن شرایط برای رشد باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس فرآیند شیمیایی غالب بوده و میزان تولید و ترسیب یون فریک در دامنه pH ۱/۳ تا ۱/۹ نسبت به شرایط مشابه در دمای ۳۲ درجه سانتی گراد بیشتر است. با توجه به نتایج حاصل از این بررسی ها بیشترین ترسیب فریک در غلظت ۵۰ گرم بر لیتر سولفات فرو، دمای ۳۲ درجه سانتی گراد و pH ۲/۲ ایجاد شده است. در نهایت بر اساس آنالیزهای FTIR و XRD رسوبات فریک تشکیل شده عموماً ترکیبی از انواع هیدرواکسی سولفات های آهن از قبیل جاروسیت پتاسیم و آمونیم می باشند.

در مطالعه حاضر در ناحیه  $3408 \text{ cm}^{-1}$  جذب قوی مشاهده شده در نمونه پسماند بیولیچینگ با شرایط عملیاتی: غلظت ۵۰ گرم بر لیتر سولفات فرو، دمای ۳۲ درجه سانتی گراد و pH اولیه ۲/۲ (شکل ۴-B) مربوط به پیوند O-H بود. این امر نشان دهنده هیدراته شدن نمونه پسماند بیولیچینگ می باشد. همچنین وجود پیک در ناحیه  $1428 \text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده ایجاد ترکیب  $\text{NH}_4$  در نمونه می باشد. این امر می تواند به دلیل استفاده از محیط کشت 9K به عنوان محیط بیولیچینگ باشد. پیک شدید در محدوده زیر  $500 \text{ cm}^{-1}$  در پسماند بیولیچینگ نشان دهنده حضور اکسید آهن است. در نتیجه نمونه پسماند بیولیچینگ با شرایط عملیاتی غلظت ۵۰ گرم بر لیتر سولفات فرو، دمای ۳۲ درجه سانتی گراد و pH

### References

1. Gramp JP, Sandy Jones F, Bigham JM, Tuovinen OH. Monovalent cation concentration determine the types of Fe(III) hydroxysulfate precipitates formed in bioleach solutions. Hydrometallurgy. 2008; 94(1-4): 29-33.
2. Basciano L. Crystal chemistry of the jarosite group of minerals: solid-solution and atomic structures. A thesis submitted to the Department of Geological Sciences and Geological Engineering In conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. 2008; Section 1, 1-9.
3. Bigham JM, Sandy Jones F, Ozkaya B, Sahinkaya E, Puhakka JA, Tuovinen OH. Characterization of jarosite produced by chemical synthesis over a temperature gradient from 2 to 40 OC. Int J Miner Process. 2010; 94(3-4): 121-128.
4. Liu JS, Li BM, Zhong DY, Xia LX, Qui, GZ. Preparation of jarosite by *Acidithiobacillus ferrooxidans* oxidation. J Cent South Univ Technol. 2007; 14(5): 623-628.
5. Daoud J, Karamanev D. Formation of jarosite during  $\text{Fe}^{2+}$  oxidation by *Acidithiobacillus ferrooxidation*. Miner Eng. 2006; 19(9): 960-967.
6. Wang H, Bigham JM, Tuovinen OH. Formation of schwertmannite and its transformation to jarosite the presence of acidophilic iron-oxidizing microorganisms. Mater Sci Eng C. 2006; 26(4): 588-592.



7. Nemati M, Harrison STL, Hansford GS, Webb C. Biological oxidation of ferrous sulfate by *Thiobacillus ferrooxidans*: a review on the kinetic aspects. *Biochem Eng J*. 1998; 1(3): 171-190.
8. Lacey DT, Lawson F. Kinetics of the liquid-phase oxidation of acidferrous sulfate by the bacterium *Thiobacillus ferrooxidans*. *Biotechnol Bioeng*. 1970; 12(1): 29-50.
9. Karamanev DG. Model of the biofilm structure of *Thiobacillus ferrooxidans*. *J Biotechnol*. 1991; 20 (1): 51-64.
10. Barron JL, Luecking DR. Growth and maintenance of *Thiobacillus ferrooxidans* cell. *Appl Environ Microbiol*. 1990; 56 (9): 2801-2806.
11. Jensen AB, Webb C. Ferrous sulfate oxidation using *Thiobacillus ferrooxidans*: a Review. *Process Biochem*. 1995; 30 (3): 225-236.
12. Qui MQ, Xiong SY, Zhang WM, Wang GX. A comparison of bioleaching of chalcopyrite using pure culture or a mixed culture. *Miner Eng*. 2005; 18(9): 987-990.
13. Askari Zamani MA, Vaghar R, Oliazadeh M. Selective copper dissolution during bioleaching of molybdenite concentrate. *Int J Miner Process*. 2006; 81(2): 105-112.
14. Ozkaya B, Sahinkaya E, Nurmi P, Kaksonen AH, Puhakka JA. Iron oxidation and precipitation in simulated heap leaching solution in a *Leptospirillum ferriphilum* dominated biofilm reactor. *Hydrometallurgy*. 2007; 88(1-4): 67-74.
15. Jiang H, Lawson F. Reaction mechanism for the formation of ammonium jarosite. *Hydrometallurgy*. 2006; 82(3-4): 95-198.
16. Zhu L, Lin C, Wu Y, Lu W, Liu Y, Ma Y, Chen A. Jarosite-related chemical processes and water ecotoxicity in simplified anaerobic microcosm wetlands. *Environ Geol*. 2008; 53(7): 1491-1502.
17. Grishin S, Bigham JM, Tuovinen OH. Characterization of jarosite formed upon bacterial oxidation of ferrous sulfate in a packed-bed reactor. *Appl Environ Microbiol*. 1988; 54(12): 3101-3106.
18. Cordoba EM, Munoz JA, Blazquez ML, Gonzalez F, Ballester A. Leaching of chalcopyrite with ferric ion. Part II: Effect of redox potential. *Hydrometallurgy*. 2008; 93(3-4): 88-96.



## The effect of various parameters on the Jarosite formation in bioleaching of Sarcheshmeh copper mine sulfide ores

Bahman Nazari<sup>1</sup>, Hadi Hani<sup>1</sup>, Esmaeil Jorjani<sup>2</sup>, Zahra Manafi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc., Department of Mining Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Mining Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

<sup>4</sup>M.Sc., Research and Development Unit, Sarcheshmeh Copper Complex, Kerman, Iran.

---

### Abstract:

*Background and Objective:* Jarosite is one of the limiting factors for recovery of copper from copper sulfide minerals. This study aimed to evaluate the influence of concentration of ferrous sulfate, pH and temperature on the jarosite formation during the sulfide ore bioleaching of Sarcheshmeh copper mine.

*Material and Methods:* In this study, samples were collected from the depot crushing heap bioleaching site of Sarcheshmeh Copper Mine. The bioleaching experiments were performed in 500 ml flasks, containing 10% solids of sulfide ore (w/v), pulp (200 ml), the 9K culture medium, bacteria inoculation (10% v/v of *Acidithiobacillus ferrooxidans*). The flask were shaken at 130 rpm throughout incubation.

*Results:* Our results showed that increase in pH and concentration of ferrous sulfate facilitate rate of ferric iron precipitation. Maximum precipitation rate of ferric was achieved in 50 g/l of sulfate concentration, temperature 32 ° C and pH 2/2. According to XRD and FTIR analysis of Bioleaching residue, the produced ferric precipitations are often potassium and ammonium jarosite.

*Conclusion:* With regard to the optimal conditions in this study in terms of pH, temperature and concentration of ferrous sulfate it is possible to regulate Jarosite formation through bioleaching process and to increase the production of copper efficiency from copper sulfide ores.

*Keywords:* Jarosite, Bioleaching, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, Oxidation, Precipitation.