



## فعالیت کاتالیستی جوانه های بیولوژیکی و اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس در فرایند تشکیل جاروسیت آمونیوم

نسیم افتخاری<sup>۱</sup>، محمد کارگر\*<sup>۲</sup>، فرخ رخ بخش زمین<sup>۳</sup>، ناهید رستاخیز<sup>۴</sup>، زهرا منافی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه میکروبیولوژی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران، <sup>۲</sup> استاد، گروه میکروبیولوژی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران، <sup>۳</sup> استادیار، گروه میکروبیولوژی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران، <sup>۴</sup> استادیار، گروه شیمی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران، <sup>۵</sup> دانشجوی دکتری، امور تحقیق و توسعه، معدن مس سرچشمه، کرمان، ایران.

### چکیده

**سابقه و هدف:** به دلیل کاهش راندمان آبخوبی میکروبی لازم است آهن فریک محلول لیچینگ قبل از استحصال مس با استفاده از روش هایی مانند جوانه جاروسیت حذف گردد. این پژوهش با هدف بررسی عملکرد کاتالیزوری جوانه های بیولوژیکی و باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس با استفاده از بیوستز جاروسیت انجام شد.

**مواد و روش ها:** ابتدا باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس در محیط 9K به منظور سنتز جوانه های جاروسیت کشت داده شد. تاثیر فعالیت جوانه های بیولوژیکی در مقادیر مختلف (۵ و ۱۰ گرم بر لیتر) در تشکیل جاروسیت مورد آزمون قرار گرفت. نوع جاروسیت سنتز شده با آنالیزهای طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)، پراش اشعه ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی (SEM) ارزیابی گردید. سپس مورفولوژی کریستال های جاروسیت سنتز شده مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته ها:** نتایج آنالیزهای طیف سنجی مادون قرمز، پراش اشعه ایکس نشان داد که جوانه جاروسیت بیوستز شده از نوع جاروسیت آمونیوم است. میزان رسوب جاروسیت با افزایش غلظت جوانه افزایش معنی داری داشت و زمان القای تشکیل رسوب کاهش یافت. با افزایش جوانه pH و پتانسیل اکسایش محیط کشت کاهش یافت. همچنین رشد باکتری در حضور جوانه های بیولوژیکی نسبت به محیط بدون جوانه کاهش داشت. نتایج میکروسکوپ الکترونی نشان داد که جوانه های جاروسیت اثرات قابل توجهی در مورفولوژی کریستال های جاروسیت دارد. کریستال های جاروسیت با حضور جوانه های بیولوژیکی ساختارهای صاف تر، یکنواخت تر و بزرگتری را در مقایسه با جاروسیت های بدون حضور جوانه داشتند.

**نتیجه گیری:** نتایج نشان داد که تشکیل جاروسیت با حضور جوانه های بیولوژیکی کامل تر می گردد. نتایج به دست آمده از این تحقیق می تواند راندمان فرایند حذف آهن را در بیولیچینگ مس بهتر نماید و موجب کاهش هزینه های تولید گردد.

**واژگان کلیدی:** اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس، بیولیچینگ، آهن، جاروسیت.

پذیرش برای چاپ: آبان ماه ۹۸

دریافت مقاله: مهر ماه ۹۸

مقدمه  
وابسته است و حضور آهن در محلول لیچینگ مس به میزان قابل توجهی بازده انرژی عملیات را کاهش می دهد (۱ و ۲). فرایند تشکیل جاروسیت یک روش حذف آهن است که از

استخراج مس به میزان ناخالصی آهن در محلول لیچینگ

(\* آدرس برای مکاتبه: جهرم، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه میکروبیولوژی،

تلفن: ۰۹۱۷۳۱۴۹۲۰۳ پست الکترونیک: [mkargar@jia.ac.ir](mailto:mkargar@jia.ac.ir)

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه (<http://creativecommons.org/licenses/bync/4.0/>) در

فصلنامه دنیای میکروبیها منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



الف) سویه میکروبی و محیط کشت: این پژوهش به صورت تجربی با استفاده از باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) تهیه شده از بانک میکروبی آزمایشگاه بیوهیدرومتالورژی واحد تحقیقات مجتمع مس سرچشمه کرمان سازگار شده با کانی های کم عیار معدن مس انجام گرفت. کشت باکتری در محیط کشت 9K انجام شد.

ب) سنتز جوانه بیولوژیکی جاروسیت: مراحل تولید در ارلن های ۲۵۰ میلی لیتری حاوی ۱۳۵ میلی لیتر محیط کشت 9K (مرک، آلمان)، حاوی ۷۵ گرم بر لیتر سولفات آهن فرو (مرک، آلمان) انجام شد. pH محیط کشت با استفاده از اسیدسولفوریک در محدوده ۲ تنظیم گردید. تراکم سوسپانسیون باکتریایی در محیط کشت برابر ۱۰ درصد (حجمی/حجمی) بود (۱۰). سپس ظروف کشت در گرمخانه شیکردار (Innova 4200) حرارت ۳۲ درجه سلسیوس و ۱۳۰ دور در دقیقه نگهداری شد. در نهایت نمونه ها فیلتر شدند و پسماندشان به منظور حذف باکتری و یون های حبس شده پس از سه بار شستشو با اسید سولفوریک رقیق و آب مقطر به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط خشک گردیدند. آنالیزهای شیمیایی نمونه های پسماند و محلول با روش جذب اتمی انجام شد.

همچنین روش تیتراسیون با دی کرومات پتاسیم با استفاده از الکترودهای پلاتینی مدل Metrohm انجام شد. برای شناسایی رسوبات و مشخصات بلوری موجود در نمونه های پسماند از آنالیزهای پراش پرتو ایکس (XRD) (STADI-P, STOE) و طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) (Nicolet 8700, Thermo Scientific) استفاده شد (۳ و ۱۱).

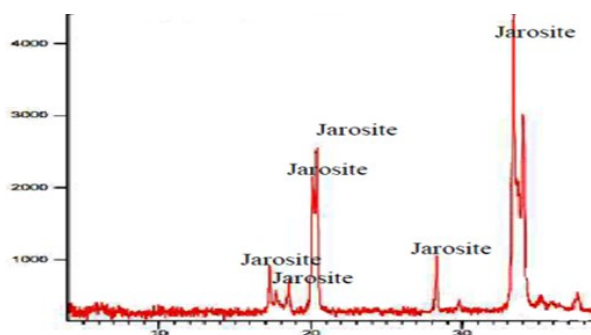
ج) اثر کاتالیستی جوانه ها در فرایند تشکیل جاروسیت: در ارلن های ۵۰۰ میلی لیتری حاوی ۲۰۰ میلی لیتر محیط کشت 9K، سوسپانسیون باکتری های تکثیر یافته در مرحله قبل به نسبت ۱۰ درصد (حجمی/حجمی) اضافه شد. همچنین از سولفات آهن فرو ۷۵ گرم بر لیتر به عنوان منبع انرژی استفاده شد. جوانه های جاروسیت سنتز شده از مرحله قبل با غلظت های ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر و یک نمونه (A) به عنوان کنترل و یک نمونه (D) با مقدار ۴۴/۴ گرم بر لیتر سولفات آهن

مهمترین مزایای آن سادگی و کاهش هزینه های اجرایی می باشد (۱). با این وجود تغییرات این فرایند آهسته و طولانی است (۳-۵). رابطه بین مقدار جوانه کریستالی و سرعت تشکیل جاروسیت اهمیت قابل توجهی دارد (۱ و ۲). جاروسیت با فرمول عمومی  $MFe_3(SO_4)_2(OH)_6$  یک کانی هیدرواکسی سولفات آهن است که در شرایط اسیدی به وجود می آید و در خاک های سولفاته اسیدی و پساب های معدنی حاصل از اکسیداسیون کانی های سولفیدی وجود دارد. در فرمول یادشده M می تواند ترکیباتی مانند  $K^+$ ،  $Na^+$ ،  $NH_4^+$ ،  $Ag^+$  و  $H_3O^+$  باشد و هر کدام شکل های مختلف گروه جاروسیت را به وجود می آورند (۱، ۳، ۵ و ۶). جاروسیت با روش های شیمیایی و بیولوژیکی سنتز می شود. در روش شیمیایی جوانه های جاروسیت در در دمای بالا تولید می شوند، اما در روش بیولوژیک در دمای اتاق تشکیل می شوند (۱ و ۵).

در تحقیقات مختلف نشان داده شده است که جوانه های جاروسیت می توانند کاربردهای فراوانی مانند: استفاده به عنوان ماده کاتالیزور، حذف فلزات، پیگمان زرد، مواد ساختمانی و جذب کننده را داشته باشند (۱).

داوود (Daoud) و همکاران (۸) با بررسی pH در محدوده ۱ تا ۳ در محیط کشت 9K، نشان دادند که کمترین میزان تشکیل جاروسیت در محدوده ۱/۷-۱/۶ pH به دست می آید. افتخاری (Eftekhari) و کارگر (Kargar) در سال ۲۰۱۸ نشان دادند که مقدار جاروسیت با افزایش غلظت سولفات آهن فرو افزایش می یابد و کمترین میزان جاروسیت در غلظت سولفات آهن ۹ تا ۱۰ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر تشکیل می گردد (۹). جاروسیت بر اساس سنتز شیمیایی انجام شده است. اما با وجود هزینه اندک، پژوهش های محدودی در مورد روش های ساخت بیولوژیک انجام شده است. هدف از این پژوهش، بررسی عملکرد کاتالیزوری جوانه های بیولوژیکی و باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس با استفاده از روش بیوسنتز جاروسیت بود.

## مواد و روش ها



شکل ۱: الگوی پراش پرتو ایکس رسوبات تولید شده جاروسیت توسط باکتری اسیدی تیویاسیلوس فرواکسیدانسان

گردید (۱۳ و ۱۲) (شکل های ۱ و ۲). نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس نشان داد که رسوب سنتز شده جاروسیت می باشد (شکل ۱).

آنالیز طیف سنجی مادون قرمز (شکل ۲) یک جذب قوی در ناحیه ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰  $\text{cm}^{-1}$  را نشان داد. این جذب مربوط به پیوند O-H می باشد. همچنین جذب در ناحیه ۱۴۲۸  $\text{cm}^{-1}$  باند  $\text{NH}_4$  را نشان می دهد. نوسانات در محدوده های ۱۰۰۶، ۱۰۸۸، ۱۱۹۸ و ۱۳۵  $\text{cm}^{-1}$  نیز نشان دهنده نوسانات  $\text{SO}_4^{2-}$  است. پیک در محدوده زیر ۵۰۰  $\text{cm}^{-1}$  وجود  $\text{FeO}_6$  را نشان می دهد. پیک مشاهده شده در ۱۶۳۹  $\text{cm}^{-1}$  مربوط به گروه های تشکیل دهنده آب (HOH) است. نتایج آنالیز نشان داد که جوانه بیولوژیکی تولید شده از نوع جاروسیت آمونیوم  $(\text{NH}_4)\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$  است.

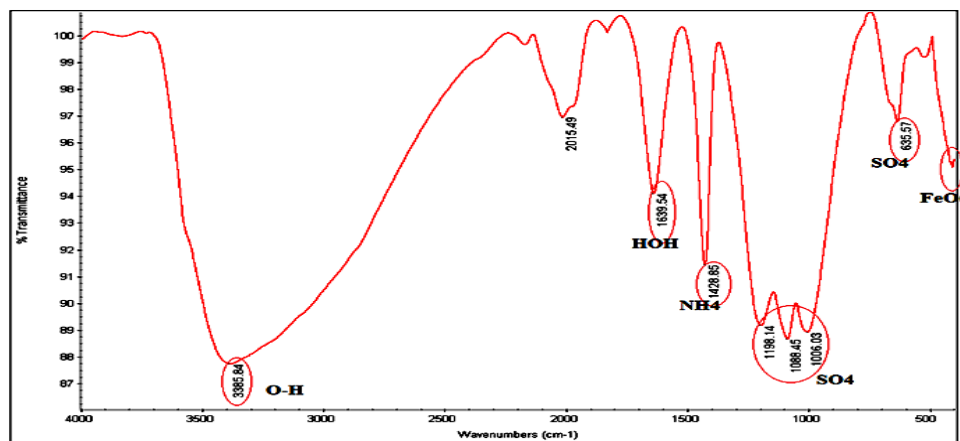
(ب) اثر کاتالیستی جوانه ها در تشکیل جاروسیت: میزان

فرو در نبود جوانه جاروسیت مورد ارزیابی قرار گرفت. ظروف کشت در گرمخانه شیکردار با حرارت ۳۲ درجه سلسیوس و ۱۳۰ دور در دقیقه در شرایط کنترل pH در محدوده ۲، نگهداری گردید (۲ و ۳). تغییرات pH و Eh با افزودن جوانه جاروسیت به طور روزانه ارزیابی گردید. شمارش باکتری ها روزانه با استفاده از لام نئوبار پیشرفته و میکروسکوپ نوری (Standard Zeiss مدل ۲۰) انجام شد. پتانسیل احیا (Eh) محیط های کشت با Eh متر (مدل wtw ۳۲۳) و اسیدیمتر با pH متر (مدل Mettler ۱۲۰ Mp) به طور روزانه ثبت شدند (۱۰ و ۱۱).

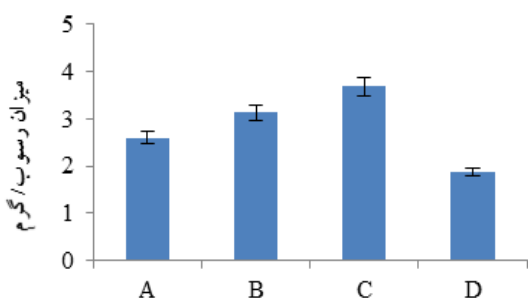
پس از مشاهده رسوب نمونه های محیط کشت با کاغذ صافی واتمن فیلتر شده و رسوب حاصل به منظور حذف یون های حبس شده و باکتری پس از سه بار شستشو با اسید سولفوریک ۵ درصد و شستشو با آب مقطر به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط خشک گردیدند (۱۱). ساختار، شکل و اندازه رسوبات نیز با استفاده از آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM=Scanning electron microscopy) مدل LEO-440i تعیین گردید.

### یافته ها

(الف) شناسایی رسوبات: رسوبات تشکیل شده در محیط کشت 9K (pH ۲) پس از فیلتر کردن و خشک شدن در مجاورت هوا جمع آوری گردید. برای شناسایی رسوبات از آنالیزهای طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)، پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده



شکل ۲: طیف سنجی مادون قرمز رسوبات تولید شده جاروسیت آمونیوم توسط باکتری اسیدی تیویاسیلوس فرواکسیدانسان.



شکل ۳: میزان رسوب جاروسیت تولید شده در غلظت های مختلف جوانه. (A: کنترل، B: ۵ گرم بر لیتر جوانه، C: ۱۰ گرم بر لیتر جوانه، D: ۴/۴ گرم بر لیتر سولفات آهن فرو بدون جوانه)

(شکل ۴B). در جدول ۲، نتایج آنالیز عنصری از کریستال های جاروسیت نشان داده شده است.

ج) تاثیر افزایش جوانه جاروسیت بر pH محیط کشت: با افزایش جوانه جاروسیت میزان pH کاهش پیدا کرد. احتمالاً دلیل این مساله شکسته شدن جاروسیت و آزاد سازی اسید در محیط می باشد (رابطه ۵ و شکل ۵A). بیشترین تغییرات pH ( $\Delta$  pH) در روز اول مشاهده شد و برای نمونه B و C به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۳۳ بود. اما این تغییرات در نمونه های بدون جوانه جاروسیت (A و D) زیادتر مشاهده شد (شکل ۵B)، که نشان دهنده کاهش بیشتر pH با افزایش غلظت جوانه جاروسیت در محیط می باشد. میزان تغییرات برای غلظت کمتر آهن و بدون افزایش جوانه نسبت به سایر نمونه ها پایین تر بود و پس

جدول ۲: آنالیز عنصری رسوب جاروسیت با جوانه های متفاوت

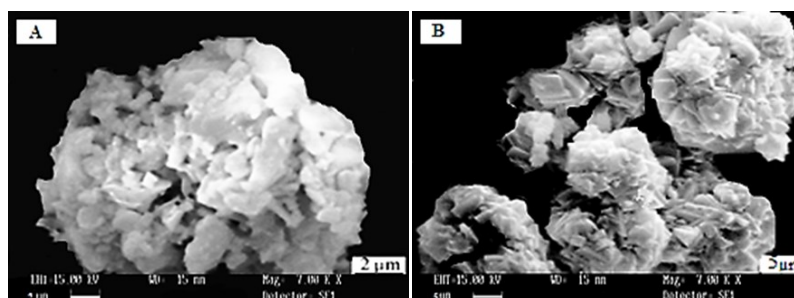
نمونه	x(Fe)/%	x(S)/%	n(Fe): n(S)
بدون جوانه جاروسیت (A)	۱۴/۱۳	۱۵/۰۶	۱:۱
با جوانه جاروسیت (B)	۳۳/۹۰	۲۲/۸۰	۳:۲

جدول ۱: میزان رسوبات تولید شده و جمعیت باکتری در غلظت های مختلف جوانه جاروسیت.

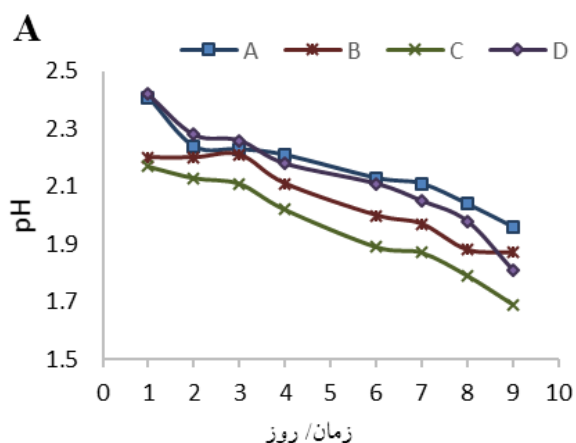
نمونه	سولفات آهن فرو (g/L)	جوانه جاروسیت (g/L)	میزان رسوب (g)	باکتری cell mL <sup>-1</sup>
A	۷۵	-	۲/۵۹	$1/96 \times 10^8$
B	۷۵	۵	۳/۱۳	$2/7 \times 10^7$
C	۷۵	۱۰	۳/۶۸	$4/4 \times 10^7$
D	۴۴/۴	-	۱/۸۷	$2/8 \times 10^8$

رسوبات تشکیل شده برای نمونه های A، B، C و D در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که میزان رسوبات جدید شکل گرفته با افزودن جوانه جاروسیت افزایش می یابد. حداکثر رسوب تشکیل شده در غلظت جوانه ۱۰ گرم بر لیتر بود (شکل ۳) و افزایش جوانه باعث کاهش جمعیت نهایی باکتری در محیط گردید. حداکثر تراکم باکتریایی در نمونه دارای میزان کمتر آهن و بدون افزودن جوانه جاروسیت به وجود آمد (جدول ۱).

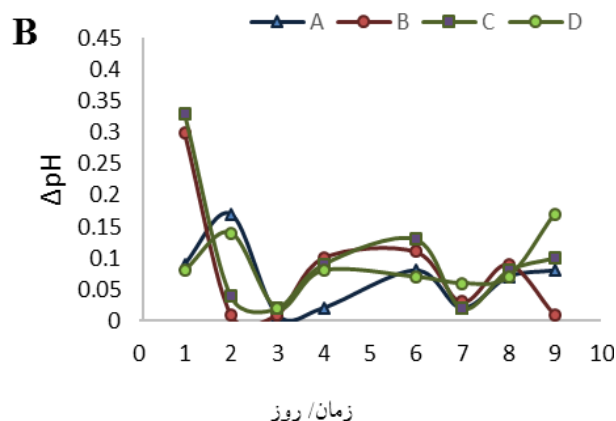
نتایج میکروسکوپ الکترونی جاروسیت بیوستزی با حضور جوانه های بیولوژیکی و عدم حضور جوانه ها در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که (شکل ۴) اندازه ذرات و سطح کریستال ها متفاوت می باشد. در نمونه بدون جوانه (شکل ۴A)، رسوب های تشکیل شده دانه های آمورف با اندازه غیر یکنواخت و چسبناک مشاهده شد. جاروسیت های تشکیل یافته با حضور جوانه ها نسبت به بدون جوانه ظاهر کریستال های کامل تر و اندازه آن ها درشت تر (۵-۲ میکرومتر) بود و همچنین دوره تشکیل جاروسیت نمونه های با حضور جوانه جاروسیت بسیار کمتر از نمونه های بدون جوانه بود



شکل ۴: جاروسیت تولید شده توسط باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس با میکروسکوپ الکترونی روبشی (بزرگنمایی ۷۰۰۰ KX). A: بدون جوانه جاروسیت، اندازه ذرات ۲ میکرومتر؛ B: با حضور جوانه جاروسیت، اندازه ذرات ۵ میکرومتر.



شکل ۵: تغییرات pH (A): نسبت به زمان، (B): تغییرات  $\Delta$  pH نسبت به زمان.



حضور جوانه، کاهش یافت. نتایج نشان داد که غلظت اضافی آهن می تواند مهارکننده فرآیند اکسایش باشد.

### بحث

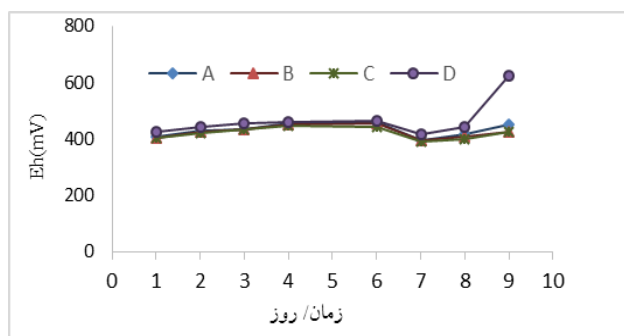
امکان استفاده از رسوب جاروسیت به منظور کنترل ناخالصی ها، جدایش یون آهن فریک و سولفات از محلول های حاوی این یون ها در مدارهای عملیاتی هیدرومتالورژی وجود دارد. همچنین جاروسیت به طور گسترده ای در صنعت روی برای جدایش آهن محلول در مدار مورد استفاده قرار می گیرد (۱ و ۳).

اگر چه مطالعاتی در مورد سنتز شیمیایی جاروسیت انجام شده است، اما بررسی اثر جوانه های بیولوژیکی در تشکیل جاروسیت کمتر مورد توجه قرار گرفته است (۳، ۷ و ۹). در مطالعه حاضر اثر کاتالیستی جوانه های بیولوژیکی توسط باکتری اسیدی تیویاسیلوس فرواکسیدانس در فرایند تشکیل جاروسیت مورد بررسی قرار گرفت.

مطالعه حاضر نشان داد که جاروسیت تولید شده با جوانه های بیولوژیکی توسط اسیدی تیویاسیلوس فرواکسیدانس از نوع جاروسیت آمونیوم با فرمول  $(\text{NH}_4)\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$  می باشند. در پژوهش انجام شده در سال ۲۰۱۵ توسط هو (Hou) و همکاران (۳) نشان داده شد که اسیدی تیویاسیلوس فرواکسیدانس توانایی سنتز مقادیر زیادی از جاروسیت را دارد. همچنین گان (Gan) و همکاران (۱۴) در سال ۲۰۱۷ سنتز

از روز ۴ میزان آن ثابت شد و از روز ۸ دوباره افزایش یافت. دلیل این مساله می تواند کنترل میزان اسیدته از روز ۴ تا ۸ با مصرف اسید توسط یون های آهن فرو و همچنین تولید اسید در اثر هیدرولیز یون های آهن فریک و تشکیل رسوبات باشد (شکل ۵A) همچنین در این بازه زمانی تشکیل جاروسیت در محیط مشاهده گردید. احتمالاً از روز ۸ به بعد، به دلیل کاهش غلظت یون فرو مصرف اسید کاهش یافته است. همچنین با افزایش غلظت یون فریک و هیدرولیز آن اسیدیته محیط افزایش پیدا می کند. به دلیل بازه تغییرات بیشتر pH، در نمونه های حاوی جوانه جاروسیت رشد باکتری محدودتر می گردد.

(د) تاثیر افزایش جوانه جاروسیت بر پتانسیل احیا: شکل ۶ نشان می دهد که حداکثر پتانسیل اکسایش در محیط دارای غلظت آهن کمتر و بدون جوانه (نمونه D)، ۶۲۵ میلی ولت است. اما میزان پتانسیل احیا در نمونه های دارای غلظت بیشتر آهن و با



شکل ۶: تغییرات پتانسیل احیا (Eh) نسبت به زمان

جاروسیت توسط افتخاری (Eftekhari) و کارگر (Kargar) انجام شد، گزارش نمودند که رشد اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس و توانایی آن در اکسایش آهن به طور قابل توجهی به غلظت آهن فرو بستگی دارد (۹). به این صورت که با افزایش بیش از اندازه غلظت آهن فرو، باکتری کاهش می یابد و در نتیجه کاهش درصد اکسیداسیون را به دنبال دارد. نتایج پژوهش یاد شده با مطالعه حاضر در ارتباط با جوانه های بیولوژیکی جاروسیت حاوی آهن هم خوانی دارد.

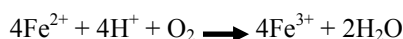
در پژوهش انجام شده توسط لیو (Liu) و همکاران (۱۵) در سال ۲۰۱۹ نشان داده شد که عوامل موثر در شکل گرفتن کریستال ها اثر قابل توجهی در مورفولوژی جاروسیت ها دارند. در پژوهش حاضر نتایج آنالیز عناصری کریستال های جاروسیت رسوبی بدون حضور جوانه (جدول ۲)، نشان داد که نسبت مولی Fe به S معادل ۱:۱ است. این مساله نشان می دهد که تنها بخش جزئی از هیدروکسید آهن (Fe(OH)<sub>3</sub>) به درون ساختار جاروسیت انتقال یافته است. همچنین کریستال های جاروسیت رسوب یافته با حضور جوانه، نسبت مولی Fe به S برابر با ۳:۲ داشتند، این مساله نیز نشان دهنده فعال شدن هیدروکسید آهن و جذب میزان زیادی از سولفات آهن به وسیله اثر کلئیدی از محلول است. با مقایسه شکل جاروسیت های تشکیل یافته در حضور جوانه ها و بدون جوانه مشخص شد که در حضور جوانه جاروسیت، کریستال های کامل تر و واکنش رسوب نیز باشتاب بیشتری انجام می شود (شکل ۴B). دلیل این مساله، pH کمتر و بستر مناسب تر جوانه های افزوده شده در تشکیل رسوبات جدید می باشد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد با افزایش جوانه میزان pH محیط کاهش پیدا می کند که این نشان دهنده شکسته شدن جاروسیت و آزاد سازی اسید در محیط می باشد.

در پژوهشی که توسط لیو (Liu) و همکاران (۱۱) در سال ۲۰۰۹ بر روی تولید جاروسیت انجام شد، نشان دادند که فرایند تشکیل جاروسیت با تولید اسید همراه است. این مساله نیز با نتایج مطالعه حاضر هم خوانی دارد. نتایج ما در این پژوهش نشان داد که افزایش غلظت آهن عامل مهار کنندگی فرآیند

مقادیر قابل توجه جاروسیت توسط این باکتری را تایید نمودند که با مطالعه حاضر هم خوانی دارد.

مطالعات دوتریزاک (Dutrizac) و همکاران (۶) در سال ۲۰۰۰ و همچین داوود (Daoud) و همکاران (۸) در سال ۲۰۰۶ نشان دادند که تشکیل جاروسیت در چندین مرحله انجام می شود. وقتی که آهن فرو توسط باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس اکسید می شود یون فریک تولید می گردد (رابطه ۱). با هیدرولیز آهن فریک تولید شده در فاز آبی هیدروکسید آهن فریک تولید می شود (رابطه ۲) که در صورت ترکیب با سولفات موجب تشکیل هیدرواکسید سولفات آهن می گردد (رابطه ۳). سپس در حضور کاتیون های مختلف (M) هیدروکسید سولفات آهن به جاروسیت تبدیل می شود (۶ و ۸) (رابطه ۴).

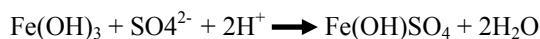
(رابطه ۱)



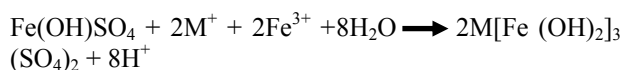
(رابطه ۲)



(رابطه ۳)



(رابطه ۴)



در پژوهش حاضر نیز میزان تشکیل جاروسیت با افزودن جوانه جاروسیت افزایش یافت و رنگ رسوب های ایجاد شده در محیط های حاوی جوانه نسبت به محیط های بدون آن روشن تر بود. عموماً جاروسیت ها به صورت زرد کم رنگ مشاهده و تنها در شرایط اکسایش ( $E_h > 400 \text{ mv}$ ) و اسیدی (۴-۲ pH) پایدار می شوند.

داوود (Daoud) و همکاران (۸)، نشان دادند در گستره های بالاتر pH جاروسیت تشکیل شده از باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس به رنگ زرد تیره مشاهده می شوند. نتایج به دست آمده نشان داد که ارتباط نزدیکی بین جوانه ها، غلظت آهن و فعالیت باکتری وجود دارد. در پژوهشی که در سال ۲۰۱۸ در مورد اثر غلظت های مختلف آهن فرو بر تشکیل

جوانه های سنتزی را به منظور تشکیل جاروسیت در فرایندهای کاربردی همچون حذف آهن مورد استفاده قرار داد که سبب کاهش هزینه های تولیدی می گردد.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمامی نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند.

### تشکر و قدردانی

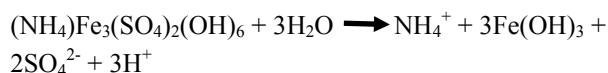
این مقاله حاصل بخشی از رساله دکتری میکروبیولوژی دانشگاه آزاد اسلامی کرمان با عنوان "حذف آهن از رافینیت ورودی به هیپ های مجتمع مس سرچشمه کرمان" می باشد که با حمایت صنایع ملی مس ایران اجرا شده است.

### تعارض در منافع

وجود ندارد.

اکسایش می باشد. در نتیجه غلظت اضافی آهن فرو و فریک می تواند عامل جلوگیری کننده اکسایش و کاهش دهنده پتانسیل احیا محیط باشد.

(رابطه ۵)



### نتیجه گیری

نتایج آنالیزهای طیف سنجی مادون قرمز، پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی در فرآیند تشکیل جاروسیت توسط باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس نشان داد که رسوب تشکیل شده جاروسیت آمونیوم  $(NH_4)Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$  است. جوانه های بیولوژیکی کفایت و کارایی مناسب در فرایند تشکیل جاروسیت دارند. تشکیل جاروسیت با حضور جوانه ها، کریستال های یکنواخت و بزرگ تری نسبت به شرایط بدون جوانه دارند. بنابراین فرایند تشکیل جاروسیت با حضور جوانه های بیولوژیکی کامل تر و سریع تر می گردد. با در نظر گرفتن پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه می توان

## References

1. Eftekhari N, Kargar M, Rokhbakhsh Zamin F, Rastakhiz N, Manafi Z. A review on various aspects of jarosite and its utilization potentials. *Annales de Chimie Science des Matériaux*. 2020; 44(1): 43-52.
2. Nurmi P, Özkaya B, Sasaki K, Kaksonen AH, Riekkola-Vanhanen M, Tuovinen OH, Puhakka JA. Biooxidation and precipitation for iron and sulfate removal from heap bioleaching effluent streams. *Hydrometallurgy*. 2010; 101(1-2): 7-14.
3. Hou Q, Fang D, Liang J, Zhou L. Significance of oxygen supply in jarosite biosynthesis promoted by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Plos one*. 2015; 3: 1-12.
4. Zhu J, Gan M, Zhang D, Hu YH, Chai LY. The nature of schwertmannite and jarosite mediated by two strains of *Acidithiobacillus ferrooxidans* with different ferrous oxidation ability. *Material Sci Eng*. 2013; 33: 2679-2685.
5. Dutrizac J. The effect of seeding on the rate of precipitate of ammonium jarosite and sodium jarosite. *Hydrometallurgy*. 1996; 42(3): 293-312.

6. Kazemi M J, Kargar M, Nowroozi J, Sepahi A, Doosti A, Manafi Z. The wide distribution of an extremely thermoacidophilic microorganism in the copper mine at ambient temperature and under acidic condition and its significance in bioleaching of a chalcopyrite concentrate. *Revista Argentina de Microbiologia*. 2019; 51(1): 56-65.
7. Sasaki K, Konno H. Morphology of jarosite group compounds precipitated from biologically and chemically oxidized Fe ions. *Can Mineral*. 2000; 38: 45-56.
8. Daoud J, Karamanev D. Formation of jarosite during Fe<sup>2+</sup> oxidation by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Minerals Eng*. 2006; 19: 960-967.
9. Eftekhari N, Kargar M. Assessment of optimal iron concentration in the precipitation of jarosite and the activity of *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Modares Journal of biotechnology*. 2018; 9 (4): 525-529 [In Persian].
10. Nemati M, Harrison STL, Hansford GS, Webb C. Biological oxidation of ferrous sulfate by *Thiobacillus ferrooxidans*: A review on the kinetic aspects. *Biochemical Engineering*. 1998; 3: 171-190.
11. Liu JY, Xiu XX, Cai P. Study of formation of jarosite mediated by *Thiobacillus ferrooxidans* in 9K medium. *Procedia Earth Planetary Sci*. 2009; 1: 706-712.
12. Sandy Jones F, Bigham JM, Gramp JP, Tuovinen OH. Formation and characterization of ternary (Na, NH<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>O) jarosites produced from *Acidithiobacillus ferrooxidans* cultures. *Appl Geochem*. 2018; 91: 14-22.
13. Najorka J, Lewis J M T, Spratt J, Sephton M A. Single-crystal X-ray diffraction study of synthetic sodium-hydronium jarosite. *Phys Chem Minerals*. 2016; 43: 377-386.
14. Gan M, Li MM, Zeng J, Liu XX, Zhu Jv, Hu YH, Qiu GZ. *Acidithiobacillus ferrooxidans* enhanced heavy metals immobilization efficiency in acidic aqueous system through bio-mediated coprecipitation. *Transaction Nonferrous Metals Soc China*. 2017; 27: 1156-1164.
15. Liu PF, Zhang YF. Crystallization of ammonium jarosite from ammonium ferric sulfate solutions. *Hydrometallurgy*. 2019; 189: 1-8.





## The catalytic activity of biological seeds and *Acidithiobacillus ferrooxidans* on the process of ammonium jarosite

Nasim Eftekhari<sup>1</sup>, Mohammad Kargar<sup>2</sup>, Farokh Rokhbakhsh Zamin<sup>3</sup>, Nahid Rastakhiz<sup>4</sup>,  
Zahra Manafi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Candidate, Department of Microbiology, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, <sup>2</sup>Professor, Department of Microbiology, Jahrom Branch, Islamic Azad University, Jahrom, Iran, <sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Microbiology, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, <sup>4</sup>Assistant Professor, Department of Chemistry, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, <sup>5</sup>Ph.D. Candidate, National Iranian Copper Industries Co., Sarcheshmeh Mine, Iran

### Abstract

**Background & Objectives:** Ferric iron that commonly exists in the leaching solution needs to be removed before the recovery of copper bioleaching using methods such as jarosite seed. The objective of this study was to investigate the catalytic performance of biological seeds and *Acidithiobacillus ferrooxidans* in the process of jarosite formation via the biosynthesis process.

**Materials & Methods:** *Acidithiobacillus ferrooxidans* was first grown in 9K medium. Jarosite seeds were synthesized using this bacterium. Then the effect of the biological activity of different seeds (5, 10 g/L) on jarosite formation was investigated. The type of jarosites synthesized was identified by X-ray diffraction (XRD), Fourier transforms infrared spectroscopy (FTIR), and scanning electron microscope (SEM) analysis. Meantime, the morphologies of jarosite crystals were studied.

**Results:** The FTIR and XRD results showed that biosynthetic jarosite seeds are ammonium jarosite type. The amount of jarosite increased with increasing seed concentration and the induction time of precipitation decreased. The pH and Eh of culture medium with increasing seed decreased. Bacterial growth also decreased in the presence of jarosite seeds compared to medium without biological seeds. According to the results of SEM, The morphologies of ammonium jarosite crystals were significantly affected by the jarosite seeds. The jarosite crystals were precipitated with the presence of seeds that had a smooth, uniform, and larger surface than non-seeding jarosite.

**Conclusion:** The results showed that the precipitation process of jarosite is more complete with biological seeds. The results of this study can improve the efficiency of the iron removal process in copper bioleaching and reduce production costs.

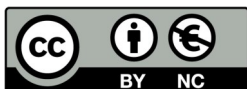
**Keywords:** *Acidithiobacillus ferrooxidans*, Bioleaching, Iron, Jarosite

Correspondence to: Mohammad Kargar

Tel: +989173149203

E-mail: [mkargar@jia.ac.ir](mailto:mkargar@jia.ac.ir)

Journal of Microbial World 2020, 12(4): 355-363.



Copyright © 2019, This article is published in Journal of Microbial World as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License. Non-commercial, unrestricted use, distribution, and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.