



Assessment of Optimal Iron Concentration in the Precipitation of Jarosite and the Activity of *Acidithiobacillus ferrooxidans*

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Eftekhari N.¹ PhD,
Kargar M.^{*2} PhD

How to cite this article

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.

ABSTRACT

Aims *Acidithiobacillus ferrooxidans* is one of the most important microorganism in bioleaching. During this process, biooxidation of iron leads to precipitation of jarosite. Jarosite decreases copper bioleaching efficiency. The aim of this study was to investigate the iron concentration in the precipitation of jarosite and the activity of *Acidithiobacillus ferrooxidans*.

Materials & Methods *Acidithiobacillus ferrooxidans* was cultivated in 9k medium containing ferrous sulfate (Fe^{2+}) with concentrations of 5, 10, 20, 30, and 50g/100ml and also jarosite seed medium with concentrations of 5 and 10g/l. The iron concentration was assessed by atomic absorption. Jarosite was analyzed by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-ray crystallography (XRD) methods.

Findings The cell count of *Acidithiobacillus ferrooxidans*, in Fe^{2+} concentrations of 5, 10, 20, 30, and 50g/100ml was 5×10^7 , 2.5×10^8 , 1.5×10^7 , 10×10^7 , and 7×10^7 cell/ml, respectively. The jarosite precipitation rate in concentrations of 5, 10, 20, 30, 50g/100ml was 1.80, 6.09, 10.90, 16.65, and 28.8g. The minimum rate of jarosite precipitation was in 10g/100ml of Fe^{2+} concentration. Jarosite precipitation rate increased by increment of Fe^{2+} concentration and it was parallel with decrease of *Acidithiobacillus ferrooxidans* cell count in concentrations of 5 and 10g/l of jarosite seed; the jarosite precipitation rate was 3.13, 3.68g. However, the growth of *Acidithiobacillus ferrooxidans* was better than the absence of jarosite seed.

Conclusion The optimal concentration of Fe^{2+} in 9K medium is 10g/100 ml. In this condition, the maximum growth rate of *Acidithiobacillus ferrooxidans* and minimal precipitation of jarosite exist.

Keywords *Acidithiobacillus ferrooxidans*; Biooxidation; Iron; Jarosite

¹Microbiology Department, Science Faculty, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

²Microbiology Department, Science Faculty, Jahrom Branch, Islamic Azad University, Jahrom, Iran

*Correspondence

Address: Jahrom Branch, Islamic Azad University, 15 Kilometer of Jahrom-Shiraz Road, Rahbari Boulevard, Jahrom, Iran. Postal Code: 7414785318
Phone: +98 (71) 54372004
Fax: +98 (71) 54372010
mkargar@jia.ac.ir

Article History

Received: August 24, 2016

Accepted: February 20, 2017

ePublished: December 21, 2018

CITATION LINKS

[1] Biological oxidation of ferrous sulphate by Thiobacillus ferrooxidans: A review on the kinetic aspects [2] Use of Thiobacillus ferrooxidans for iron oxidation and precipitation [3] Formation of jarosite during Fe^{2+} oxidation by *Acidithiobacillus ferrooxidans* [4] Biooxidation and precipitation for iron and sulfate removal from heap bioleaching effluent streams [5] Heap bioleaching of chalcopyrite: A review [6] The kinetics of ferrous ion oxidation by *Leptospirillum ferriphilum* in continuous culture: The effect of pH [7] Preparation of jarosite by *Acidithiobacillus ferrooxidans* oxidation [8] Immobilisation of Thiobacillus ferrooxidans: Importance of jarosite precipitation [9] Jarosite-related chemical processes and water ecotoxicity in simplified anaerobic microcosm wetlands [10] Leaching of chalcopyrite with ferric ion, Part II: Effect of redox potential [11] Jarosite dissolution - Trace cation flux in acid sulfate soils [12] Modelling of Fe^{2+} oxidation by Thiobacillus ferrooxidans

ارزیابی غلظت بهینه آهن در تشکیل جاروسیت و فعالیت باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس

نسیم افتخاری PhD

گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

محمد کارگر* PhD

گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران

چکیده

اهداف: اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) یکی از مهم ترین میکروارگانیسم های فرآیند بیولیچینگ است. طی فرآیند بیولیچینگ مس بیواکسیداسیون آهن موجب تشکیل جاروسیت می شود. تشکیل جاروسیت راندمان بیولیچینگ مس را کاهش می دهد. این پژوهش با هدف بررسی اثر غلظت آهن در فرآیند تشکیل جاروسیت و ارزیابی رشد و فعالیت اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس انجام شد.

مواد و روش ها: در این مطالعه تجربی، باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس در محیط کشت 9K حاوی سولفات آهن فرو با غلظت های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر و همچنین محیط حاوی جوانه جاروسیت با غلظت های ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر کشت داده شد. غلظت آهن با روش جذب اتمی سنجیده شد. تجزیه و تحلیل جاروسیت با روش های طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) و طیف سنجی پرتو ایکس (XRD) صورت گرفت.

یافته ها: تعداد باکتری در غلظت های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر سولفات آهن فرو به ترتیب ۵×10^4 ، ۲×10^5 ، ۱×10^6 ، ۱×10^7 و ۷×10^7 سلول بر میلی لیتر و مقدار رسوب جاروسیت در غلظت های یاد شده به ترتیب ۱/۸۰، ۱/۰۹، ۱۰/۹۰، ۱۶/۶۵، ۲۸/۸ گرم بود. کمترین میزان جاروسیت در غلظت سولفات آهن ۱۰ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر تشکیل شد. میزان غلظت جاروسیت با افزایش غلظت سولفات آهن فرو افزایش یافت و با کاهش تعداد سلول های اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس در غلظت های ۵ و ۱۰ گرم در لیتر جوانه جاروسیت موازی بود؛ میزان غلظت جاروسیت ۳/۱۳ و ۳/۶۸ گرم بود. همچنین رشد باکتری در شرایط عدم حضور جوانه جاروسیت بیشتر بود.

نتیجه گیری: غلظت بهینه آهن فرو در محیط کشت 9K محدوده ۱۰ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر است. در این شرایط حداکثر رشد اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس و حداقل میزان تشکیل جاروسیت وجود دارد.

کلیدواژه ها: اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس، بیواکسیداسیون، آهن، جاروسیت

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۲

*نویسنده مسئول: mkargar@jia.ac.ir

مقدمه

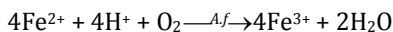
تیوباسیلوس ها گروهی از باکتری های کمولیتوتروف گرم منفی هستند. غالب ترین میکروارگانیسم موجود در زهاب های اسیدی معادن و موثر در فرآیند بیوهیدرومتالورژی کانی های سولفیدی باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) است [1]. این باکتری اثر مهمی در فرآیند بیواکسیداسیون آهن و سولفید دارد [2].

جاروسیت (Jarosite) ترکیبی از هیدرواکسی سولفات های آهن و فلز قلیایی $[K, Na, NH_4, H_3O]Fe_3[SO_4]_2[OH]_6$ است که به دلیل تغییرات شرایط محیطی موجب بروز مشکلاتی در عملیات بیوهیپ لیچینگ مس می شود [2]. مهم ترین آنها، کاهش یون فریک به دلیل جذب شدن به جاروسیت است. جاروسیت تشکیل شده با اتصال به کانی مورد نظر موجب کاهش یون های مورد نیاز باکتری، انسداد پمپ ها و مجاری، لخته سازی، کاهش

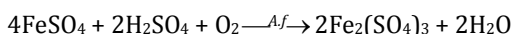
نفوذپذیری در هیپ [3، 4] و نهایتاً کاهش راندمان بیولیچینگ مس می شود [5].

مطالعات نشان می دهند در فرآیند بیولیچینگ، اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس به یک هسته سبک مانند آهن فرو به عنوان تسهیل کننده سیستم انتقال الکترون نیاز دارد (واکنش های ۱ و ۲). اکسیداسیون یون های فرو در خارج از غشای سلولی باکتری و در pH حدود ۲ انجام می شوند [6].

واکنش (۱)

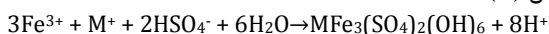


واکنش (۲)

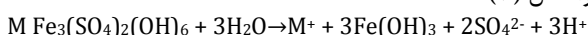


در محیط های اسیدی هیدرولیز شده، اکسیداسیون یون فرو به فریک توسط باکتری موجب تولید انواع ترکیبات پیچیده و نامحلول می شود. عموماً این رسوب ها مخلوطی از هیدرواکسی سولفات های آهن مانند جاروسیت، شوارت مانیت (Fe_2O_3)، گوتیت ($FeOOH$) و هماتیت (Fe_2O_3) هستند [7]. اغلب در شرایط وجود غلظت مناسب از کاتیون های تک ظرفیتی و pH اسیدی، رسوبات جاروسیت تشکیل می شود. براساس واکنش های زیر تشکیل جاروسیت باعث تغییرات pH در محیط می شود (واکنش های ۳ و ۴) [8، 9].

واکنش (۳)



واکنش (۴)



مطالعات نشان می دهند بیولیچینگ کانی ها به طور مشخص متأثر از میزان بیواکسیداسیون آهن محلول و نسبت یون فریک به فرو است. مطالعات لیبو و همکاران نشان داده است که از زمان رسیدن باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس به فاز لگاریتمی رشد در محیط 9K تشکیل جاروسیت آغاز می شود [7]. دثود و کارامانو نشان داده اند که کمترین میزان جاروسیت در محدوده pH حدود ۱/۶-۱/۷ تشکیل می شود [3].

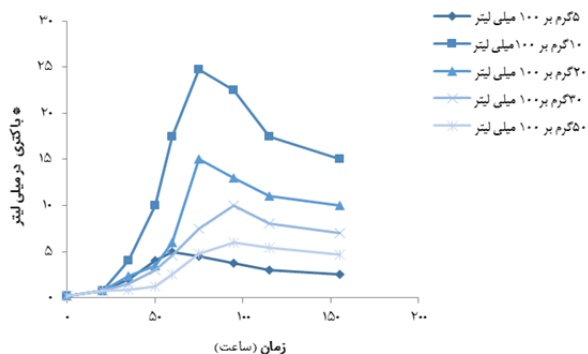
با توجه به انجام مطالعات محدود در مورد تاثیر غلظت آهن بر تشکیل جاروسیت و همچنین ضرورت حضور اجباری آهن به عنوان منبع انتقال الکترون و انرژی میکروارگانیسم در فرآیند بیولیچینگ، این پژوهش با هدف بررسی اثر غلظت آهن در فرآیند تشکیل جاروسیت و ارزیابی رشد و فعالیت اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس انجام شد.

مواد و روش ها

این پژوهش تجربی روی باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس 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 9K انجام شد.

مراحل کشت 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 سولفوریک اسید در حد ۲ تنظیم و تثبیت شد. تراکم سوسپانسیون

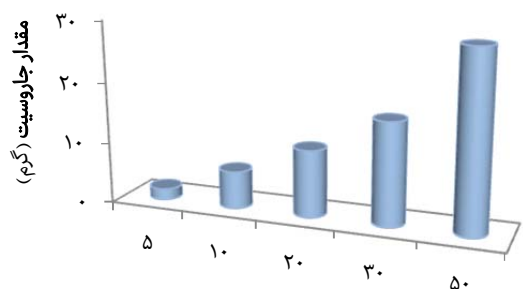
مربوط به پیوند O-H، جذب در ناحیه 1427cm^{-1} مربوط به پیوند NH_4 و همچنین نوسانات در محدوده‌های 1001cm^{-1} ، 1081cm^{-1} ، 1198cm^{-1} و 629cm^{-1} مربوط به SO_4^{2-} و در محدوده 509cm^{-1} نشان‌دهنده FeO_6 بود که بیانگر تشکیل جاروسیت آمونیوم $(\text{NH}_4\text{Fe}_3[\text{SO}_4]_2[\text{OH}]_6)$ بود. وجود رسوب بیولوژیک جاروسیت به‌طور کامل نشان داده شد (نمودار ۴).



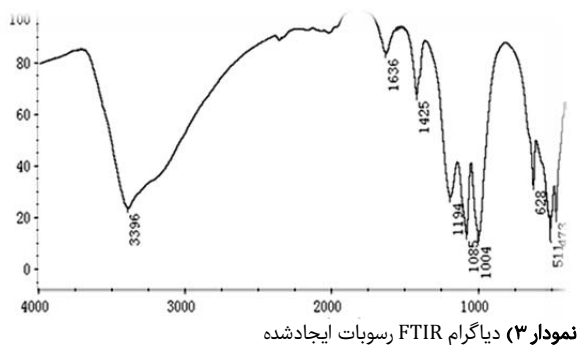
نمودار (۱) تأثیر غلظت اولیه سولفات آهن فرو بر جمعیت باکتری نسبت به زمان؛ * جمعیت باکتری $\times 10^7$ سلول بر میلی لیتر

جدول (۱) میزان بازده اکسایش و وزن جامد باقی‌مانده نسبت به غلظت اولیه آهن

غلظت اولیه سولفات آهن (گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر)	غلظت Fe^{2+} (گرم بر لیتر)	غلظت Fe^{3+} (گرم بر لیتر)	غلظت $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ (بر لیتر)	بازده اکسایش (درصد)	وزن رسوب (گرم)
۵	۰/۰۱۳	۰/۹۸۷	۷۵/۹۲	۹۸/۷	۱/۸۰
۱۰	۰/۱۹۵	۱/۸۰۵	۹/۲۶	۹۰	۶/۰۹
۲۰	۰/۴۳۷	۳/۵۶۳	۸/۱۶	۸۹/۸	۱۰/۹۰
۳۰	۱/۷۲۴	۴/۲۷۶	۲/۴۸	۷۱/۲۷	۱۶/۶۵
۵۰	۴/۳۸۶	۵/۶۱۴	۱/۲۸	۵۶/۱۴	۲۸/۸



غلظت سولفات آهن فرو (گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر)
نمودار (۲) میزان رسوبات شکل گرفته در غلظت‌های مختلف آهن



باکتریایی در محیط کشت برابر ۱۰٪ (حجمی/حجمی) بود [7]. سپس ظروف کشت به مدت ۷ روز در گرمخانه شیکردار (Innova 4200؛ 33°C ، ۱۳۰ دور در دقیقه) نگهداری شد.

آزمون بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف آهن فرو، در ارلن‌های ۵۰۰ میلی لیتری حاوی ۲۰۰ میلی لیتر محیط کشت 9K، سوسپانسیون باکتری‌های تکثیر یافته در مرحله قبل به نسبت ۱۰٪ (حجمی / حجمی) و غلظت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر سولفات آهن فرو انجام شد. ظروف کشت در گرمخانه شیکردار (33°C ، ۱۳۰ دور در دقیقه) همراه با کنترل در pH برابر ۲ نگهداری شد [3].

آزمون‌های تأثیر جوانه جاروسیت، با همان شرایط یاد شده و در حضور سولفات آهن فرو ۷۵ گرم بر لیتر، جوانه جاروسیت با غلظت‌های ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر و یک نمونه (A) شاهد منفی و یک نمونه (D) با مقدار ۴۴/۴ گرم بر لیتر سولفات آهن فرو و عدم حضور جوانه جاروسیت انجام شد. تغییرات pH و پتانسیل اکسیداسیون و احیا (Eh) با افزودن جوانه جاروسیت روزانه مورد ارزیابی شد. شمارش باکتری‌ها روزانه با استفاده از لام‌نوبار پیشرفته و میکروسکوپ نوری مدل ۲۰ Standard (Ziezz؛ آلمان) انجام می‌شد. پتانسیل اکسیداسیون و احیا (Eh) محیط‌های کشت با Eh متر مدل ۳۲۳ (Willis Towers Watson؛ انگلستان) و اسیدیته با pH متر مدل ۱۲۰ Mp (Mettler Toledo؛ ایالات متحده) روزانه ثبت می‌شدند [7].

در پایان روز نهم نمونه‌های محیط کشت با کاغذ صافی و/تمن فیلتر شده و رسوب حاصل به‌منظور حذف یون‌های حبس شده و باکتری پس از ۳ بار شست‌وشو با سولفوریک اسید ۵٪ و شست‌وشو با آب مقطر به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط، خشک شدند [9].

تجزیه و تحلیل مقادیر کلی آهن و آهن فرو با استفاده از دستگاه جذب اتمی Varian Specter AA220؛ (ایالات متحده) در آزمایشگاه واحد تحقیقات مجتمع مس سرچشمه کرمان انجام گرفت. شناسایی رسوبات با استفاده از آنالیزهای طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) در آزمایشگاه دانشکده فنی دانشگاه باهنر و طیف‌سنجی پرتو ایکس (XRD) در آزمایشگاه گروه کانه‌آرایی سازمان زمین‌شناسی ایران انجام شد [7].

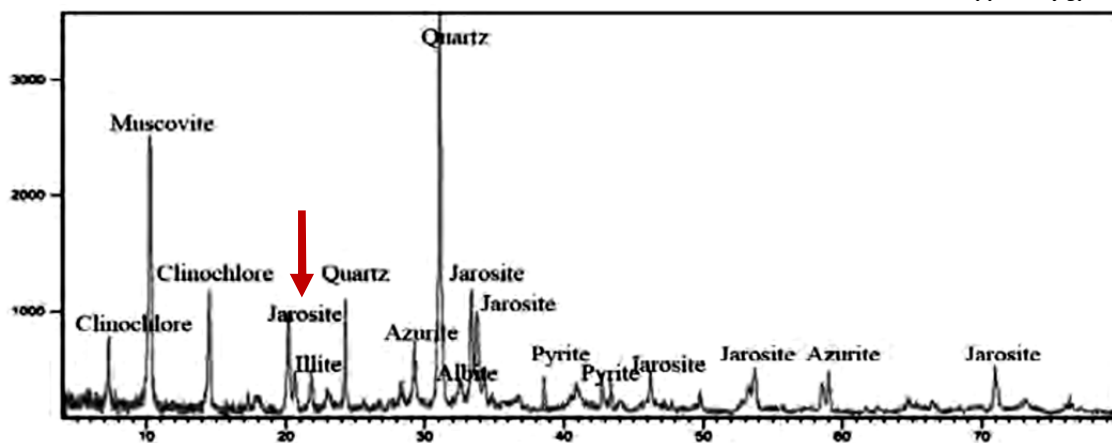
یافته‌ها

تأثیر غلظت اولیه آهن بر رشد باکتری: نتایج رشد اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس در غلظت‌های مختلف آهن فرو در pH برابر ۲ نشان داده شد (نمودار ۱). تعداد باکتری در غلظت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر سولفات آهن فرو به ترتیب 5×10^7 ، 1×10^8 ، 2×10^8 ، 1×10^8 و 7×10^7 سلول بر میلی لیتر و مقدار جاروسیت در غلظت‌های یاد شده به ترتیب ۱/۸۰، ۶/۰۹، ۱۰/۹۰، ۱۶/۶۵، ۲۸/۸ گرم اندازه‌گیری شد.

تأثیر غلظت آهن بر نرخ اکسیداسیون و میزان رسوبات تشکیل شده: با افزایش غلظت آهن، نرخ اکسایش آهن کاهش یافت. بیشینه اکسایش برای غلظت اولیه ۵ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر به میزان ۹۸/۷٪ و برای غلظت ۱۰ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر، بازده اکسایش ۹۰٪ بود (جدول ۱).

میزان رسوبات ایجاد شده با افزایش غلظت آهن، افزایش نشان داد. این افزایش با کاهش جمعیت باکتری همراه بود (نمودار ۲).

شناسایی رسوبات: دیاگرام‌های FTIR و XRD نمایش داده شدند (نمودارهای ۳ و ۴). در ناحیه 2900cm^{-1} تا 3700cm^{-1} یک جذب قوی



نمودار (۴) دیگرام XRD رسوبات ایجاد شده

بحث

جاروسیت $(\text{MFe}_3[\text{SO}_4]_2[\text{OH}]_6)$ یک کمپلکس هیدرواکسی سولفات آهن با یک فلز قلیایی است که در شرایط اسیدی به وجود می‌آید؛ از جمله کانی‌های گروه آلونیت است که به صورت محصول جانبی در فرآیند خالص‌سازی روی و رسوب‌های معدنی حاصل از اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی تشکیل می‌شود [1, 5].

جاروسیت به دلیل محدود نمودن یون‌های مورد نیاز باکتری یکی از عوامل کاهش راندمان در فرآیند بیولیچینگ به شمار می‌آید [1, 5]. مطالعات نشان می‌دهند میزان تولید جاروسیت در محیط کشت علاوه بر pH به غلظت یون فریک وابسته است. یون فریک به طور مستقیم با غلظت اولیه یون فرو در ارتباط است.

دائود و همکاران در سال ۲۰۰۶ نشان دادند باکتری *اسیدی‌تیوباسیلوس فرواکسیدانس* طی فعالیت زیستی خود از یون فرو به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کند که منجر به تشکیل جاروسیت می‌شود [3]. در این پژوهش از تجربه دائود در غلظت‌های اولیه مختلف سولفات آهن فرو در تشکیل جاروسیت استفاده شد و نتایج آنالیز FTIR نشان داد که در فرآیند ترسیب بیولوژیک، رسوب‌های زرد کهربایی ایجاد شده مربوط به جاروسیت آمونیوم $(\text{NH}_4)\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ هستند.

کوردو و همکاران در سال ۲۰۰۸ نشان دادند که حضور یون فرو در محلول باعث ایجاد تعادل در غلظت یون فریک می‌شود و از تشکیل و هسته‌زایی رسوبات فریک جلوگیری می‌نماید [10]. ولج و همکاران در سال ۲۰۰۸ گزارش دادند تشکیل رسوب جاروسیت با تولید اسید همراه است [11].

دائود و همکاران در سال ۲۰۰۶ نشان دادند در pH بالا، رنگ جاروسیت تشکیل شده از باکتری *اسیدی‌تیوباسیلوس فرواکسیدانس* زرد تیره است [3]. در پژوهش حاضر نیز میزان تشکیل جاروسیت جدید با افزودن جوانه جاروسیت افزایش یافت و رنگ رسوب‌های ایجاد شده در محیط‌های واجد جوانه جاروسیت نسبت به محیط‌های بدون آن روشن‌تر بود. همچنین اندازه ذرات درشت‌تر بودند که احتمالاً دلیل این مساله، pH کمتر و بستر قرار گرفتن جوانه‌های افزوده شده برای رسوب‌های جدید است.

کومار و گاندھی در سال ۲۰۰۷، نشان دادند که استفاده از غلظت‌های بیشتر یون فریک، فاز تاخیری رشد *اسیدی‌تیوباسیلوس فرواکسیدانس* را طولانی‌تر می‌نماید [12]. آزمایش حاضر نشان داد در غلظت ۵ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفات آهن فرو، در ۲۰ ساعت اول،

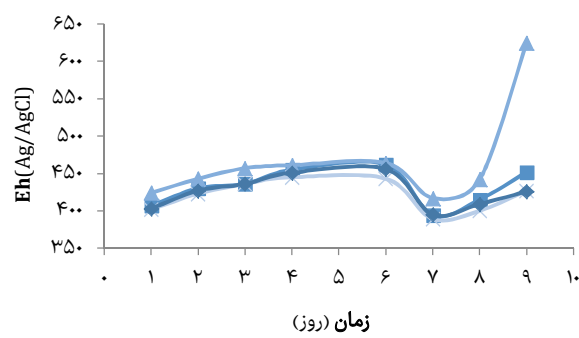
تاثیر افزایش جوانه جاروسیت بر مقادیر رسوبات حاصل و رشد باکتری؛ غلظت سولفات آهن، جوانه جاروسیت و میزان تشکیل رسوبات نمونه‌های A، B، C و D مورد آزمون نشان داده شد (جدول ۲). میزان تشکیل رسوبات جدید با افزودن جوانه جاروسیت افزایش نشان داد و افزایش جوانه کاهش جمعیت نهایی باکتری در محیط را به دنبال داشت.

تاثیر افزایش جوانه جاروسیت بر pH: کاهش بیشتر pH با افزایش غلظت جوانه جاروسیت در محیط همراه بود. بیشترین میزان تغییرات pH (ΔpH)، در روز اول انجام شد. این مقادیر برای نمونه B و C به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۳۳ محاسبه شد. اما این تغییرات برای نمونه‌های بدون جوانه جاروسیت کمتر بود. دامنه تغییرات pH بالاتر برای نمونه‌های حاوی جوانه جاروسیت، کاهش رشد باکتری را به دنبال داشت. بیشترین تعداد باکتری‌ها در نمونه D مشاهده شد (جدول ۲).

تاثیر افزایش جوانه جاروسیت بر Eh: بیشترین میزان Eh (۶۲۵ میلی‌ولت) مربوط به محیط با غلظت کمتر آهن و بدون افزایش جوانه (نمونه D) و کمترین آن مربوط به نمونه C بود (نمودار ۵).

جدول (۲) میزان رسوبات ایجاد شده و جمعیت باکتری در غلظت‌های مختلف جوانه جاروسیت

غلظت اولیه ظرف کشت سولفات آهن فرو (گرم بر لیتر)	غلظت جوانه جاروسیت (گرم بر لیتر)	وزن رسوب (گرم)	جمعیت باکتری (سلول بر میلی‌لیتر)
A ۷۵	-	۲/۵۹	$1/96 \times 10^4$
B ۷۵	۵	۳/۱۳	$7/2 \times 10^2$
C ۷۵	۱۰	۳/۶۸	$4/4 \times 10^2$
D ۴۴/۴	-	۱/۸۷	$2/8 \times 10^4$



نمودار (۵) تغییرات Eh نسبت به زمان در غلظت‌های مختلف جوانه جاروسیت

مجتمع مس سرچشمه کرمان و دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم به دلیل حمایت‌های مالی و اجرایی کمال امتنان را دارند.

تأییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تضاد منافع: نویسندگان تضادی در منافع پژوهش ندارند.

سهم نویسندگان: نسیم افتخاری (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/اروش شناس/پژوهشگر اصلی (۵۰٪)؛ محمد کارگر (نویسنده دوم)، پژوهشگر اصلی/تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۵۰٪).

منابع مالی: مجتمع مس سرچشمه کرمان از این پژوهش حمایت مالی کرده است.

منابع

- 1- Nemati M, Harrison STL, Hansford GS, Webb C. Biological oxidation of ferrous sulphate by Thiobacillus ferrooxidans: A review on the kinetic aspects. *Biochem Eng J.* 1998;1(3):171-90.
- 2- Das T, Chaudhury GR, Ayyappan S. Use of Thiobacillus ferrooxidans for iron oxidation and precipitation. *Biometals.* 1998;11(2):125-9.
- 3- Daoud J, Karamanev D. Formation of jarosite during Fe^{2+} oxidation by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Miner Eng.* 2006;19(9):960-7.
- 4- Nurmi P, Özkaya B, Sasaki K, Kaksonen AH, Riekkola-Vanhanen M, Tuovinen OH, et al. Biooxidation and precipitation for iron and sulfate removal from heap bioleaching effluent streams. *Hydrometallurgy.* 2010;101(1-2):7-14.
- 5- Pradhan N, Nathsarma KC, Srinivasa Rao K, Sukla LB, Mishra BK. Heap bioleaching of chalcopryrite: A review. *Miner Eng.* 2008;21(5):355-65.
- 6- Ojumu TV, Petersen J. The kinetics of ferrous ion oxidation by *Leptospirillum ferriphilum* in continuous culture: The effect of pH. *Hydrometallurgy.* 2011;106(1-2):5-11.
- 7- Liu J, Li B, Zhong D, Xia L, Qiu G. Preparation of jarosite by *Acidithiobacillus ferrooxidans* oxidation. *J Cent South Univ Technol.* 2007;14(5):623-8.
- 8- Pogliani C, Donati E. Immobilisation of *Thiobacillus ferrooxidans*: Importance of jarosite precipitation. *Process Biochem.* 2000;35(9):997-1004.
- 9- Zhu L, Lin C, Wu Y, Lu W, Liu Y, Ma Y, et al. Jarosite-related chemical processes and water ecotoxicity in simplified anaerobic microcosm wetlands. *Environ Geol.* 2008;53(7):1491-502.
- 10- Córdoba EM, Muñoz JA, Blázquez ML, González F, Ballester A. Leaching of chalcopryrite with ferric ion, Part II: Effect of redox potential. *Hydrometallurgy.* 2008;93(3-4):88-96.
- 11- Welch SA, Christy AG, Kirste D, Beavis SG, Beavis F. Jarosite dissolution - Trace cation flux in acid sulfate soils. *Chem Geol.* 2007;245(3-4):183-97.
- 12- Kumar SR, Gandhi KS. Modelling of Fe^{2+} oxidation by *Thiobacillus ferrooxidans*. *Appl Microbiol Biotechnol.* 1990;33(5):524-8.

باکتری‌های اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس وارد فاز تاخیری رشد شدند و سپس فاز لگاریتمی آغاز شد. پس از ۲ روز، تعداد باکتری‌ها به 5×10^7 سلول بر میلی‌لیتر رسید و به تدریج وارد فاز سکون شدند. در غلظت اولیه ۱۰ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفات آهن فرو، باکتری‌ها در همان زمان، مرحله تاخیری را طی کردند و پس از مدت کوتاهی وارد فاز لگاریتمی شدند. در مدت ۸۰ ساعت، جمعیت باکتری به $2/5 \times 10^8$ سلول بر میلی‌لیتر رسید که نسبت به غلظت قبلی قابل توجه بود. به این ترتیب نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه سولفات آهن فرو، فاز تاخیری رشد باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس طولانی‌تر می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش غلظت اولیه سولفات آهن فرو در محیط کشت 9K، مقدار جاروسیت افزایش می‌یابد. این یافته با پژوهش‌های دائود و ژانگ همخوانی داشت. نتایج به دست آمده از پژوهش‌های قبلی نشان داده بود که غلظت بهینه سولفات آهن فرو، ۹ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر است. نتایج مطالعه حاضر نیز ثابت کرد که اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس در محدوده ۱۰ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفات آهن فرو دارای رشد زیاد و حداقل میزان جاروسیت است.

در بررسی تاثیر افزایش جوانه جاروسیت بر مقادیر رسوبات حاصل و رشد باکتری نشان داده شد که افزایش غلظت جوانه جاروسیت با افزایش میزان رسوبات و کاهش جمعیت باکتری همراه است. دلیل این مساله کاهش نرخ اکسایش آهن همراه با افزایش غلظت اولیه آهن است. تغییرات pH برای محیط‌های حاوی جوانه جاروسیت زیاد بود و این امر می‌تواند موجب کاهش رشد باکتری به دلیل تغییرات زیاد محیطی باشد.

افزایش غلظت سولفات آهن فرو و جوانه جاروسیت، منجر به کاهش Eh محیط و همچنین کاهش نرخ اکسیداسیون آهن می‌شود، احتمالاً به این دلیل که غلظت اضافی آهن فرو و فریک اثر بازدارندگی در اکسیداسیون دارند که می‌تواند منجر به کاهش Eh محیط شوند.

با کنترل یون سولفات آهن فرو در یک محدوده خاص می‌توان نرخ تشکیل جاروسیت را کاهش داد که این امر منجر به افزایش راندمان بیولیچینگ مس می‌شود.

با توجه به اینکه در این پژوهش سرعت تشکیل جاروسیت تحت حضور جوانه جاروسیت بررسی نشده است پیشنهاد می‌شود اثر جوانه‌های جاروسیت به عنوان یک کاتالیزور در تشکیل جاروسیت بررسی شود.

نتیجه گیری

غلظت بهینه آهن فرو در محیط کشت 9K محدوده ۱۰ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر است. در این شرایط حداکثر رشد اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس و حداقل میزان تشکیل جاروسیت وجود دارد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان این مقاله از امور تحقیق و توسعه