استخراج روی از خاکهای سولفیدی کم عیار بوسیله *Acidithiobacillus ferrooxidans*

حسن سالاری*[۱]، محمد صادق علیائی[۲] و مجید طهمورسی[۳]

[۱] گروه اکولوژی، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی

[۲] وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری، قسمت تجهیزات

[۳] پژوهشکده مواد و متالورژی، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۳۱

چکیده

Acidithiobacillus ferrooxidans مهمترین میکروارگانیزمی است که با اکسیداسیون کانیها در خاکهای سولفیدی ارتباط دارد. در این مطالعه اکسیداسیون بیولوژیکی آسفالریت با استفاده از کشت خالص *Acidithiobacillus ferrooxidans* انجام شد. آزمایشات استخراج بیولوژیکی در ظروف ۵۰۰ میلی لیتری حاوی ۲۷۰ میلی لیتر محیط کشت 9K و ۳۰ میلی لیتر مایع تلقیح انجام شد. ۱۵ گرم خاک سولفیدی به ظروف اضافه شد. ظروف در انکوباتور با ۱۸۰ دور در دقیقه قرار داده شدند. نتایج نشان داد که بعد از ۳۰ روز فعالیت باکتریها محتوای Zn^{2+} استخراج شده توسط آنها (۶۴/۷۹ درصد) به طور معنی داری بیشتر از شرایط بدون باکتری(۱۱ درصد) است. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان استخراج Zn^{2+} در طول آزمایشات استخراج بیولوژیکی، ۶۴/۷۹ درصد بوده است. شرایط بهینه جهت حداکثر استخراج باکتریایی، ۳۰ درصد وزنی – حجمی خاک سولفیدی، اندازه ذرات ۴۵ میکرون، pH ۲/۴ و دمای ۳۰ درجه سانتیگراد نشان داد. این یافته ها جهت کاربردی نمودن تکنولوژی استخراج میکروبی در معادن کم عیار روی مهم است.

واژه های کلیدی: *Acidithiobacillus ferrooxidans*، روی، استخراج بیولوژیکی

* **نویسنده مسئول، تلفن تماس:** ۰۳۴۲-۶۲۲۶۶۱۱، **پست الکترونیکی:** h_salari57@yahoo.com

مقدمه

استخراج بیولوژیکی علمی است که از میکروارگانیزم ها برای دسترسی به بعضی از اهداف صنعتی و بهداشتی و زیست محیطی استفاده می کند. در این علم از میکروارگانیزم های اسید دوست اکسید کننده آهن و گوگرد استفاده می شود (۷).کاربرد این روشها در متالوژی نسبت به سایر صنایع جدید تر بوده و برای اولین بار از حدود چهل سال قبل شروع شده است (۵).

میکروارگانیزمها جهت سوخت و ساز و انجام فرآیند های حیاتی خود از منابع آلی و معدنی موجود در محیط تغذیه می کنند. از این رو واکنشهای مختلف شیمیایی، شیمی فیزیکی را در شرایط مختلف طبیعی و یا مصنوعی تحت تأثیر خود قرار می دهند (۳ و ۱۷).

در استخراج فلزات به روش هیدرو متالوژی یکی از مهم ترین مراحل حل کردن کانیهای معدنی به کمک حلال مناسب به نحوی که در این فرآیند قسمت بیشتر فلز مورد نظر به صورت محلول و یا رسوب در آید. اکسیده کردن و انحلال میکروبی سنگهای معدنی به ویژه سنگهای سولفوری کم عیار مهم ترین جنبه کاربرد میکروارگانیزم ها به منظور افزایش بازدهی حل شدن می باشد. *Acidithiobacillus ferrooxidans* یک باکتری اسیدوفیل و کمولیتوتروف است که انرژی تولید شده به وسیله اکسیداسیون ترکیبات گوگرد احیاء شده و آهن فرو را

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده می کند و یکی از مهم ترین باکتریها برای فروشویی باکتریایی سنگ معدن فلزات است (۲۵). فروشویی میکروبی دارای مزایایی چون اثرهای مضر زیست محیطی به مراتب کمتر بر روی منابع آبی و هوا، نیاز به انرژی کمتر، عدم نیاز به تجهیزات پیچیده و در نتیجه سرمایه گذاری کمتر و امکان استخراج فلزات از منابع معدنی کم عیار می باشد (۱۸).

همچنین در صنایع معدنی و متالوژی نیاز روز افزون به مواد اولیه و کاهش ذخایر معدنی پرعیار، ضرورت مصرف بهینه انرژی در رعایت دقیق معیار های زیست محیطی، کاربرد روشهای جدید، ایجاد تحول در صنایع معدنی و متالوژی را ضروری کرده است. تنها محدودیت عمده به کار گیری این روش ناشی از نیاز به دانش فنی و آگاهی عمیق به مبانی بیوتکنولوژی می باشد. دست اندر کاران پروژه های تحقیقاتی در این زمینه باید حتماً از مبانی میکروب شناسی، بیوشیمی و بیوتکنولوژی اطلاع کافی داشته باشند.

نظر به وفور معادن روی در ایران از جمله کانسارهای روی در محور ملایر- اصفهان، کانسارها و نشانه‌های معدنی محور ملایر- اراک، کانسارهای روی در ایران مرکزی،کانسارهای روی در زون البرز، کانسارهای روی در خاور ایران، کانسارها و نشانه‌های معدنی آذربایجان، کانسارهای روی در زون ارومیه و ذخائر روی در زاگرس بررسی پدیده فروشویی میکروبی این عنصر در جهت نیل به اهداف اقتصادی ضروری به نظر می رسد (۲). آزاد سازی روی از کانسنگهای سولفیدی طی یک سری واکنشها انجام می شود که در مورد انجام واکنشهای استخراج روی از کانسنگ سولفیدی دو نظریه وجود دارد. نظریه اول به این امر معتقد است که باکتری مستقیماً به کانسنگ روی حمله می کند و با اکسیده کردن فلز مربوطه الکترون موجود را صرف واکنشهای احیایی در غشای خود و در نتیجه تأمین انرژی مورد نیاز خود می نماید.

معادله ۱ $$ZnS + 2H^+ + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{At.ferrooxidans} Zn^{2+} + H_2O + S$$

نظریه دوم بر این اساس مبتنی است که باکتری با اکسیده کردن آهن فرو موجود در محیط کشت پایه و تبدیل آن به آهن فریک و استفاده از الکترون آن خلاء الکترونی ایجاد می کند و در نتیجه روی موجود در سنگ معدن را به طور غیر مستقیم اکسیداسیون القایی و آن را آزاد می کند. (شکل ۱) (۶، ۲۳ و ۲۴).

معادله ۲ $$2Fe^{2+} + 2H^+ + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{At.ferrooxidans} 2Fe^{3+} + H_2O$$

معادله ۳ $$ZnS + 2Fe^{3+} \rightarrow Zn^{2+} + S + 2Fe^{2+}$$

انجام واکنشهای اکسیداسیون و احیای سولفید روی از طریق یک مجموعه ناقل الکترون شامل سیتوکرومها و روستاسیانین صورت می گیرد و الکترونها نهایتاً به اکسیژن منتقل می شوند. بدیهی است که دسترسی مستقیم باکتری به کانسنگ و با دانسیته مناسب میکروبی هم در تأمین انرژی باکتری و هم محصولات جانبی حاصل از این فعالیت موثر است. بنابراین در تحقیق حاضر فروشویی کانسنگهای کم عیار روی از معدن روی قنات مروان با استفاده از کشت خالص باکتری *Acidithiobacillus ferrooxidans* انجام شد.

مواد و روشها

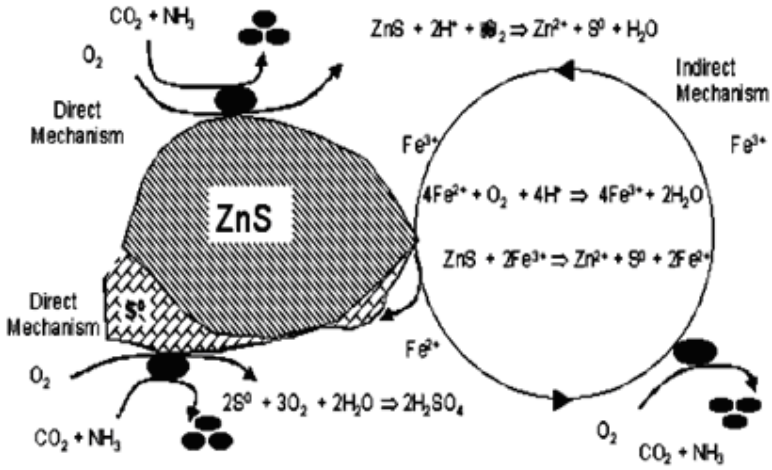
باکتری *Acidithiobacillus ferrooxidans* مورد استفاده در این تحقیق از پژوهش قبلی از زه آبهای معدن مس سرچشمه در استان کرمان جداسازی شده بود (۱). مراحل جداسازی و تخلیص این باکتری در منبع مذکور به طور کامل آمده است. این باکتری در محیط کشت 9K (۸) شامل ترکیبات (g/l):

(KCl 0.1, $MgSO_4\ 7H_2O$ 0.5, K_2HPO_4 0.5, $(NH_4)_2SO_4$ 3.0)کشت و در آزمایشات بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

Archive of SID
www.SID.ir

کانسنگ سولفیدی روی (ZnS) نیز از معدن سرب و روی قنات مروان واقع در شمال شرق بافت در استان کرمان با مختصات طول جغرافیایی "۴۵ '۴۶ °۵۶ و عرض جغرافیایی "۴۰ '۲۰ °۲۹ ، طی مراحل مختلف نمونه برداری به دست آمد. این معدن در ۲۵ کیلومتری شمال شرق بافت که راه آن از بزنجان به طرف شرق منشعب و پس از ۷ کیلومتر به سمت چپ منشعب و تا معدن ۸ کیلومتر راه فرعی کوهستانی است قرار دارد. ارتفاع معدن ۲۹۰۰ متر از سطح دریا به واسطه مرتفع بودن و ریزش برف در ایام بارندگی و زمستان قابل کار نمی باشد.

کانسنگ سولفیدی جمع آوری شده پس از غربال شدن با اندازه تقریبی۴۵ ، ۷۵ و ۱۲ میکرون با محلول گرم (۳۰ درجه سانتی گراد) اسید کلریدریک ۶ مولار شسته شد. این کانسنگ دو مرتبه با آب یون زدایی و سه مرتبه با استن شسته شد و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک گردید و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه در آون استریلیزه شد (۱۹). کانسنگ مورد نظر با روش XRF (مدل XMF 104 ساخت کشور آلمان، دتکتور SI-PIN، آند مولیبدن و محدوده دتکت ۷ میلی متر مربع) آنالیز و برای آزمایشات بعدی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱- مدل شماتیک استخراج بیولوژیکی مستقیم و غیر مستقیم روی (Tributsch 2001)

جهت انجام آزمایشهای فروشویی از ارلن مایر های ۵۰۰ سی سی حاوی ۳۰ میلی لیتر مایع تلقیح، ۱۵ گرم کانسنگ روی و ۲۷۰ میلی لیتر محیط کشت پایه (۲۵) شامل ترکیبات(g/l) (KOH 4.8, H_3PO_4 0.8, $(NH_4)_2SO_4$ 3.7, $MgSO_4.H_2O$ 5) استفاده گردید.

به منظور بررسی حداکثر فروشویی در کشتهای باکتری درصدهای۱،۲، ۳، ۴، ۵،۱۰،۲۰،۳۰،۴۰،۵۰،۶۰،۷۰،۸۰ وزنی جامد کانسنگ روی استفاده گردید.

جهت بررسی دمای بهینه از کشت باکتری در دماهای مختلف در شیکر انکوباتور با سرعت ۱۴۰ دور در دقیقه استفاده شد.

pH مناسب رشد باکتری جهت رشد بر روی کانسنگ روی نیز با تهیه محیطهای پایه با pH های مختلف انجام شد.

اندازه گیری pH و روی آزاد شده: تغییرات pH در ابتدا و انتهای آزمایشها با استفاده از pH متر اندازه گیری شد.

غلظت روی آزاد شده در کشتهای باکتریایی با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی (مدل Varian 220A) و در فواصل ۵ روزه اندازه گیری شد.

آنالیز آماری: آزمون آماری مقایسه میانگینها با استفاده از نرم افزار Spss 12 (T test) جفتی انجام و داده های به دست آمده از آزمایشها با استفاده از نرم افزار آماری Excel

www.SID.ir

به صورت گراف رسم و حدود اطمینان ۹۵ درصد به همراه میانگین داده های مربوطه برای هر تیمار به صورت خطوط عمودی بر روی هر نمودار رسم شد.

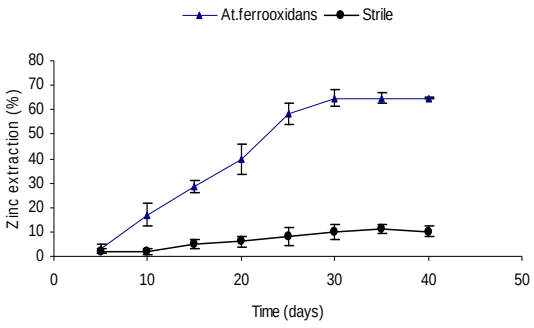
نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول ۱ نشان می دهد میزان روی موجود در کانسنگهای جمع آوری شده از معدن قنات مروان قابل ملاحظه است. متروکه شدن این معدن بعد از فعالیت و موجود بودن حداقل امکانات نظیر جاده و نزدیکی به منابع آبی در آن مناسب ترین مکان برای پیاده نمودن سیستمهای استخراج بیولوژیکی است. در ضمن تغییرات کیفی زه آبهای این معدن نشان از رشد و فعالیت باکتریهای گوگردی زیادی در آن می دهد که تخلیص و شناسایی آنها با توجه به نوع بومی میکروارگانیزم در بهینه نمودن روشهای بیولوژیکی مناسب است.

نتایج حاصل از اندازه گیری مقدار کاتیون روی در محلولهای محتوی تیمار باکتریایی در نمودار ۱ آمده است.

جدول ۱- آنالیز کانسنگ مورد استفاده در فروشویی میکروبی

Ni	S	Fe	Co	Su	Pb	Zn	LOI
0.1468%	34.23%	28.67%	0.76%	1.7%	16.34%	14.754%	3.3992%



نمودار۱- درصد روی استخراج شده در محیط کشت پایه *Acidithiobacillus ferrooxidans* در ۳۰ °C و ۱۸۰rpm

این نتایج نشان می دهد که فعالیت باکتری *A. ferrooxidans* در آزاد سازی کاتیون روی از خاک معدن نسبت به شرایط بدون باکتریایی قابل توجه است. نتایج نشان داد که محتوای Zn^{2+} استخراج شده در کشتهای باکتریایی به طور معنی داری بیشتر از شرایط بدون باکتری است. این نتایج همچنین نشان می دهد که روند آزاد سازی کاتیون روی تا روز سی ام یک روند صعودی بوده و بعد از آن ثابت شده است که این روند با توجه به سرعت رشد و تکثیر باکتریها قابل انتظار می باشد. نتایج حاکی از این است که پس از گذشت ۳۰ روز از انجام واکنش ۶۴/۷۹ درصد از روی موجود در کانسنگ معدن محلول شده است. در طول روند صعودی افزایش روی در محیطهای باکتریایی اکسیداسیون سولفید روی منبع تولید انرژی مورد نیاز باکتری *A. ferrooxidans* می باشد.

نتایج حاصل از این تحقیق در مقایسه با تحقیقات دیگران نشان می دهد که استفاده از مخلوط باکتریایی استخراج بیشتری را به دنبال خواهد داشت که از جمله می توان به این پژوهشها اشاره کرد. در تحقیقی استخراج روی در کشت خالص *A. ferrooxidans* اندکی بیشتر از کشت مخلوط *A. ferrooxidans* و *Thiobacillus thiooxidans* گزارش شده است(۸). در تحقیقی دیگر با کشت مخلوط سه باکتری *A. ferrooxidans*، *Thiobacillus thiooxidans* و *Leptospirillum ferrooxidans* استخراج روی به ۸۴ درصد رسید (۲۲).

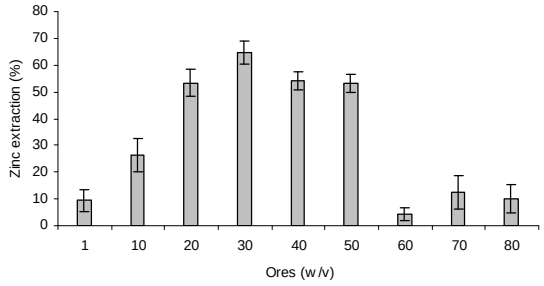
در تحقیقی که Liu و همکاران در سال ۲۰۰۸ انجام دادند سرعت لیچینگ روی در کشت مخلوط *A. ferrooxidans*

Archive of SID
www.SID.ir

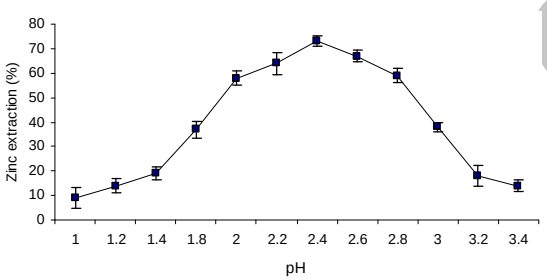
و *T. thiooxidans* بیشتر از کشت خالص هر باکتری و شرایط استریل گزارش شده است (۱۰).

همچنین لازم به ذکر است که استفاده از کشتهای مخلوط باکتریها در استحصال روی از کانسنگ سولفیدی روی با توجه به گزارشات (۲۲ و ۲۷) کاراتر است. بنابراین تحقیق در استفاده از این کشتهای مخلوط باکتریایی جهت کاربردی نمودن آن در کشور ایران نیز لازم به نظر می رسد.

نمودار۲ مناسب ترین درصد وزنی- حجمی کانسنگ سولفیدی روی را در کشت خالص باکتری *A. ferrooxidans* نشان می دهد. توجه به نمودار ۲ نشان می دهد که مقدار کاتیون روی استخراج شده از کانسنگ سولفیدی در درصدهای وزنی _ حجمی ۱ تا ۳۰ درصد در حال افزایش است. یعنی با افزایش مقدار سولفید روی موجود در محیط کشت مقدار بازیابی روی نیز افزایش می یابد و رابطه مستقیم بین بازیابی و درصد کانسنگ وجود دارد. درصدهای ۴۰ درصد به بالا میزان بازیابی روی از رابطه مستقیم پیروی نمی کند که این مسئله می تواند ناشی از کاهش فعالیت باکتریها باشد و یا سطح مواد تولید شده در فعالیت باکتریها خلل ایجاد کرده و میزان آن را کاهش داده است. همچنین می توان گفت که میزان فعالیت باکتریها در درصدهای ۶۰ درصد به بالاتر به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است که احتمالاً مقدار کم بازیابی روی نیز ناشی از فعالیت باکتریها نیست و اکسیداسیون طبیعی عامل اصلی به وجود آمدن این مقدار روی محلول می باشد. باید توجه کرد که افزایش سرعت بازیابی و انحلال کانیهای سولفیدی لزوماً با افزایش بازیابی نهایی همراه نیست زیرا عواملی نظیر دانه بندی خاک، نحوه قفل شدگی کانیها و درجه آزادی آنها، نسبت کانیهای سولفیدی و در واقع همگن بودن خاک مورد استفاده می توانند بازیابی نهایی را به شدت تغییر دهند. نتایج مربوط به بازیابی روی نشان داد که مناسب ترین نسبت کانسنگ سولفیدی جهت بیشترین بازیافت روی از کانسنگهای سولفیدی در نمونه های۳۰ درصد وزنی _ حجمی از این کانسنگ است که در مقیاسهای کاربردی و استفاده از این تکنولوژی در صنعت باید مد نظر قرار گیرد. البته کاربردی کردن این تکنولوژی با طراحی صنعتی و با رویکرد مصرف حداقل هزینه و حداکثر بازیابی روی، خود نیازمند تحقیقات بیشتری است که بسیاری از سوالات پیش نیامده را در کاربردی کردن آن باید پاسخ گوید.



نمودار ۲- میزان استخراج روی از درصدهای مختلف کانسنگ سولفیدی توسط *A. ferrooxidans* در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد و زمان ۴۵ روز



نمودار۳- درصد روی استخراج شده درpH های مختلف توسط *A. ferrooxidans*

pH: اثر pH بر استخراج بیولوژیک روی در نمودار ۳ نشان می دهد که بهترین pH برای بیشترین استخراج روی ۲/۴ است. در استخراج بیولوژیکی روی pH کاهش می یابد و در نتیجه فعالیت باکتریها کم می شود که جهت ثابت نگه داشتن pH و ادامه فعالیت باکتریها می توان کلسیت به سوسپانسیون میکروبی اضافه نمود.

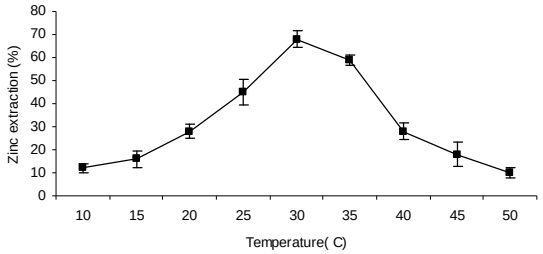
در استخراج روی مناسب ترین pH اسیدی ۱ تا ۳ است که pH های کمتر از ۱ متابولیسم باکتریها را کاهش می دهد وpH های بیشتر از ۳ رسوب فریک قابل ملاحظه

www.SID.ir

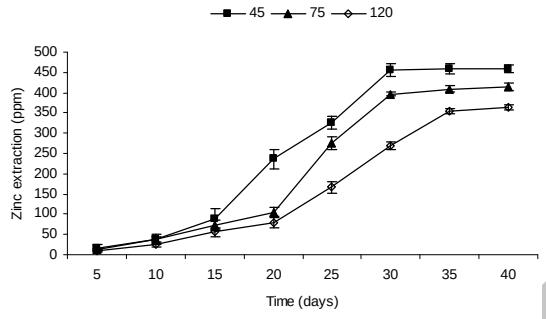
است. وجود رسوب فریک و کاهش متابولیسم سلولها از عوامل محدود کننده و پیشرفت فعالیت باکتریایی است که جهت کم اثر نمودن آنها به توجه به شرایط در واحدهای کاربردی باید اقدامات لازم انجام گیرد.

دما: اثر دما بر استخراج روی در نمودار ۴ نشان داده شده است. این نتایج دمای مناسب جهت حداکثر استخراج روی را ۳۰ درجه سانتی گراد نشان می دهد با توجه به اینکه این باکتری مزوفیل بوده، محدوده دمایی ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد را تحمل می نماید. بر اساس آزمایشهای انجام شده دمای بهینه ۳۰ درجه سانتی گراد نشان داد که با منابع دیگر نیز همخوانی دارد (۹ و ۲۶). شدت لیچینگ باکتریایی برای سولفید روی به سرعت و میزان دسترسی به گازهای اکسیژن و گاز کربنیک بستگی دارد. با افزایش دما میزان حلالیت گازهای فوق کاهش یافته و میزان دسترسی باکتری به آنها نیز کاهش می یابد و در نتیجه میزان فعالیت باکتری نیز کم می شود. در گزارشی در سال ۲۰۰۳ که بیولیچینگ روی با استفاده از باکتریهای مزوفیل در ۳۵ درجه سانتی گراد و با استفاده از باکتریهای ترموفیل در ۶۸ درجه سانتی گراد انجام شده بود بعد از گذشت ۳۰ روز استخراج روی در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد ۲۷ درصد و در دمای ۶۸ درجه سانتی گراد ۷۶ درصد بود که این ناشی از فعالیت بیشتر میکروارگانیزم های ترموفیل برای حذف لایه سولفوری غیر فعال است (۱۵). Deveci و همکاران در سال ۲۰۰۴ با انجام بیولیچینگ ترکیب کنسانتره سرب و روی با استفاده از مزوفیلها، ترموفیلهای معتدل و ترموفیلهای فوق العاده دریافتند که حاصل فعالیت ترموفیلهای معتدل بیشتر از سایر میکروارگانیزم هاست. که احتمالاً ناشی از مقاومت بیشتر ترموفیلهای معتدل به فلزات محلول شده و در نتیجه ثبات ساختار سلولی و انجام فعالیت بیشتر آنهاست (۴ و ۱۶).

وجود باکتریهای ترموفیل که فعالیت قابل توجهی بر روی سولفیدهای فلزی دارند زمینه های تحقیقاتی بیشتری را برای ترکیب باکتریایی مناسب جهت بهینه نمودن سیستمهای استخراج بیولوژیکی فراهم می کند. البته کشتهای متوالی و ترکیب متنوع باکتریایی خود نیز زمینه تحقیقاتی مناسبی است.



نمودار۴- درصد روی استخراج شده در دماهای مختلف توسط *A. ferrooxidans*



نمودار۵- درصد روی استخراج شده از کانسنگ سولفیدی با اندازه ذرات مختلف بر حسب میکرون توسط *A. ferrooxidans*

اندازه ذرات کانسنگ: اثر اندازه ذرات کانسنگ سولفیدی روی در نمودار ۵ نشان داده شده است. بیشترین مقدار استخراج در اندازه ذرات ۴۵ میکرون نشان داد. میزان استخراج با افزایش اندازه ذرات کاهش می یابد که ناشی از کاهش سطح فعال در دسترس باکتریهاست. اعمال شرایطی که بتواند سطح فعال در دسترس باکتریها را فراهم و هوادهی مناسب باکتریها انجام شود می تواند در افزایش بازیابی مؤثر باشد. البته اگر اندازه ذرات کوچکتر همراه با باکتریهای بومی سازش یافته تیمار شود می تواند در بهبود فرآیند بیولیچینگ روی مؤثر باشد. Silva و همکاران در سال ۲۰۰۳ دوره زمانی معنی دار ۲۰ روزه را در فرآیند بیولیچینگ مشاهده نمود که این دوره می تواند ناشی از عدم سازگاری به رشد بر روی ماده معدنی مورد استفاده

Archive of SID
www.SID.ir

باشد (۸ و ۲۱). همچنین در تحقیقی دیگر استخراج روی از مرمریت از ۳۵ درصد به ۹۰ درصد با استفاده از باکتریهای سازش یافته *A. ferrooxidans* بهبود بخشیده شد (۲۰).

نتیجه گیری کلی

به طور کلی نتایج نشان داد که تیمار باکتریایی *A. ferrooxidans* در استخراج روی مؤثر و بازیابی آن در شرایط آزمایشگاهی ۶۴/۹۷ درصد بوده است. بدیهی است که شرایط بهینه اعمال شده نیز در این میزان بازیابی مؤثر بوده است. بنابراین بهینه ترین شرایط جهت حداکثر استخراج باکتریایی ۳۰ درصد وزنی – حجمی خاک سولفیدی، اندازه ذرات ۴۵ میکرون، pH ۲/۴ و دمای ۳۰ درجه سانتی گراد نشان داد. نظر به مزیتهای روش فروشویی میکروبی و کاربرد آن در مقیاسهای صنعتی در دنیا در استخراج فلزاتی مانند مس(۱۱ و ۱۳) و آهن (۱۲) تلاش جهت کاربردی نمودن آن در معادن کم عیار روی لازم به نظر می رسد ضمن اینکه می توان از کمکهای سایر محققین در این رابطه (۱۴) نیز استفاده نمود. همچنین لازم به ذکر است که استفاده از کشتهای مخلوط باکتریها در استحصال روی از کانسنگ سولفیدی روی با توجه به گزارشات (۲۲ و ۲۷) کاراتر است. بنابراین تحقیق در استفاده از این کشتهای مخلوط باکتریایی جهت کاربردی نمودن آن لازم به نظر می رسد. با انجام آزمایشاتی دیگر در واحدهای بزرگتر آزمایشات لازم جهت تعیین شرایط بهینه در آن شرایط نیز لازم به نظر می رسد.

تشکر و قدردانی: مقاله موجود مربوط به بخشی از طرح پژوهشی با عنوان " استخراج بیولوژیکی سرب و روی از کانسنگهای سولفیدی کم عیار با استفاده از باکتریهای تیوباسیلوس فرواکسیدانس و تیوباسیلوس تیواکسیدانس" بوده که مراحل انجام آن در مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان صورت گرفته است و قرارداد پژوهشی آن نیز تحت شماره ۱/۲۳۷۰ مورخ ۱۳۸۶/۹/۱۸ منعقد گردیده است. بدین وسیله از زحمات مسئولین مرکز جهت حمایتهای مالی این مقاله تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

۱. طهمورسی، م. سالاری، ح. کامکار، ع. ۱۳۸۶. جداسازی، تخلیص،شناسایی و سازش باکتریهای مزوفیل معدن مس سرچشمه. مجله زیست شناسی ایران. جلد ۲۰. شماره ۴. ص ۳۹۱-۳۹۸.

۲. قربانی، م. ۱۳۷۹. ذخایر سرب و روی در ایران. انتشارات، سازمان زمین‌شناسی. ۴۸۰ صفحه

3. Chen, S. and Lin, J. 2001. Bioleaching of heavy metals from sediment: significance of pH. Chemosphere. 44: 1093-1102.
4. Deveci, H. 2004. Effect of particle size and shape of solids on the viability of acidophilic bacteria during mixing in stirred tank reactors. *Hydrometallurgy* 71: 385-396.
5. Ehrlich, H. Past, L. 2001. Past Present and future of bioleaching. Hydrometallurgy. 59: 127-134.
6. Fowler. T. A, Crundwell. F. K. 1999. Leaching of Zinc Sulfide by *Thiobacillus ferrooxidans*: Experiments with a Controlled Redox Potential Indicate No Direct Bacterial Mechanism. Appl Environ Microbiol. 64: 3570–3575.
7. Ghosh, M. K. BSukla, L. Misra, V. N. 2004. Cobalt and zinc extraction from Sikkim compelex sulphide concentrate. *Trans.indian inst.met*. 57: 617-621.
8. Giaveno. A, Lavalle. L, Chiacchiarini. P, Donati. E, 2007. Bioleaching of zinc from low-grade complex sulfide ores in an airlift by isolated *Leptospirillum ferrooxidans.* Hydrometallurgy, 89:117-126.
9. Jayant M. Modak, K. A. Natarajan and Sanghamitra Mukhopadhyay. 1996. Development of temperature-tolerant strains of

Archive of SID
www.SID.ir

Thiobacillus ferrooxidans to improve bioleaching kinetics. Hydrometallurgy. 42: 51-61.

10. Le-xian XIA, Jian-she LIU, Li XIAO, Jia ZENG, Ban-mei LI, Mei-mei GENG and Guan-zhou QIU. 2008. Single and cooperative bioleaching of sphalerite by two kinds of bacteria—*Acidithiobacillus ferriooxidans* and *Acidithiobacillus thiooxidans*. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 8: 90-195.
11. Ogbonna, N. Petersen, J. Laurie, H. 2006. An agglomerate scale model for the heap bioleaching of chaclocite. Transactions, Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 106: 433-442.
12. Ojumu, T. Petersen, J. Searby, G. E. Hansford, G. S. 2006 .A review of rate equations proposed for microbial ferrous-iron oxidation with a view to application to heap bioleaching. Hydrometallurgy. 83: 21-28.
13. Petersen, J. Dixon, D. G. 2006. Competitive Bioleaching of Pyrite and Chalcopyrite. Hydrometallurgy. 83: 40-49.
14. Petersen, J. Dixon, D. G. 2007 .Modeling Zinc Heap Bioleaching. Hydrometallurgy.85: 127-143.
15. Rodríguez, Y. Ballester, A. Blázquez, M. L. González, F. Muñoz, J. A. 2003. New information on the sphalerite bioleaching mechanisms at low and high temperature. *Hydrometallurgy*. 71: 57-66.
16. Sampson, M. I. Van der Merwe, W. Harvey, T. J. Bath, M. D. 2005. Testing the ability of a low grade sphalerite concentrate to achieve autothermality during biooxidation heap leaching. *Miner Eng* 18: 427-437.
17. Sand, W. Gehrke, T. Jozsa, P. Schippers, A. 2001. Biochemistry of bacterial leaching _ direct vs. indirect bioleaching. Hydrometallurgy. 59: 159-175.
18. Schippers, A. 1999. Intermediary sulphur compounds in pyrite oxidation. Apple, Microbial Biotechnology. 52: 104 – 110.
19. Schippersm, A., Rohwerder, T. and Sand, W. 1999. Intermediary sulphur compounds in pyrite oxidation: implications for bioleaching and biodepyritization of coal. Appl Microbiology Biotechnol. 52: 104 – 110.
20. Shi S. Y, Fang, Z. H. 2004. Bioleaching of marmatite flotation concentrate by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Hydrometallurgy* 75: 1-10.
21. Silva, G. Lastra, M. R. Budden, J. R. 2003. Electrochemical passivation of sphalerite during bacterial oxidation in the presence of galena. *Miner Eng*. 16: 199-203.
22. Tipre, D, R. Dave, S. R. 2004. Bioleaching process for Cu–Pb–Zn bulk concentrate at high pulp density. Hydrometallurgy. 75: 37-43.
23. Tributsch, H. 2001. Direct versus indirect bioleaching. Hydrometallurgy. 59: 177- 185.
24. Vegliò, F. Beolchini, F. Nardini, A. Toro, L. 2000. Bioleaching of a pyrrhotite ore by a sulfooxidans strains: Kinetic Analysis. Chemical Engineering Science. 55: 783-795.
25. Viripi, S. Z. Paivi, H. M. K. Jaakko, A. P. 2006. Bioleaching of acid-consuming low-grade nickel ore with elemental sulfur addition and subsequent acid generation. Journal of chemical technology and biotechnology. 81: 34-40.
26. Yasuhiro Konishi. Hideaki Kubo, Satoru Asai. 2004. Bioleaching of zinc sulfide concentrates by *Thiobacillus ferrooxidans*. Biotechnology and Bioengineering.39: 66-74.
27. Yohana R, Antonio B, María L. B, Felisa G, Jesús A. M. 2003. Study of Bacterial Attachment during the Bioleaching of Pyrite, Chalcopyrite, and Sphalerite. Geomicrobiology Journal, 20: 131 – 141.

Archive of SID

www.SID.ir

Zinc extraction from low-grade sulphidic ores by *Acidithiobacillus ferrooxidans*

Salari H.[1], Oliaie M.S.[2] and Tahmooresi M. [3]

[1] Ecology Dept., International Center for Science, High Technology & Environmental Sciences, Kerman, I.R. of IRAN

[2] Miinistry of Science, Research and Technology, Tehran, I.R. of IRAN

[3] Material Sciences and Engineering Dept., International Center for Science, High Technology & Environmental Sciences, Kerman, I.R. of IRAN

Abstract

Acidithiobacillus ferrooxidans is the most important microorganism that is primarily associated with the oxidation of sulfide soils. In this study Biological oxidation of sphalerite was carried out using pure cultures of *A. ferrooxidans*. Bioleaching experiments were carried out in 500-ml flasks containing 270 ml of 9K medium and 30 ml of inoculum.15 g of the minerals were added to the flasks. The flasks were incubated on a shaker at 180 rpm. The result showed that extent of leached Zn^{2+} with bacteria after 30 days (64.79 %) was significantly higher than that without bacteria (11 %) at the same conditions. Also the results showed that the highest amount of Zn^{2+} during bioleaching experiments were 64.79 %. The optimum conditions for maximum bacterial leaching showed 30% (w/v) sulphide ores, particle size 45 micron, pH 2.4 and temperature 30°C. These findings are important for applicator bioleaching technology in low-grade zinc mines.

Keywords: *Acidithiobacillus ferrooxidans*, Zinc, Bioleaching

Archive of SID

www.SID.ir