مجله دنیای میکروب‌ها
سال دهم شماره سوم (پیاپی ۳۲) پاییز ۱۳۹۶
صفحات ۲۰۹-۲۰۲

Original Article

بهینه سازی عوامل محیطی موثر بر فروشویی میکروبی فلز طلا در سنگ معدن زرشوران با استفاده از باکتری های بومی

مهدی ذبیحی*[۱]، دکتر مجتبی تاران[۲]

[۱] کارشناس ارشد، دانشگاه رازی، دانشکده علوم پایه، گروه زیست شناسی، [۲] دانشیار، دانشگاه رازی، دانشکده علوم پایه، گروه زیست شناسی.

چکیده

سابقه و هدف: معدن طلای زرشوران به عنوان بزرگترین معدن طلای ایران، در شهرستان تکاب آذربایجان غربی واقع شده است. در این پژوهش برای اولین بار با فراهم کردن شرایط بهینه برای رشد میکروارگانیسم‌های طبیعی موجود در سنگ معدن طلای زرشوران و بررسی تاثیر عوامل مختلف مانند pH، زمان جداسازی و نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی، توانایی جداسازی عنصر طلا بررسی گردید.

مواد و روش ها: طراحی آزمون با استفاده از روش تاگوچی در ۳ سطح، به منظور ارزیابی تاثیر هر یک از عوامل pH، زمان و نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده انجام شد. سهم هریک از عوامل و سطوح مناسب برای بیولیچینگ طلای مقاوم نیز با استفاده از نرم افزار *Qulitek-4* مورد ارزیابی قرارگرفت.

یافته ها: بیشترین سهم مربوط به عامل حجم سنگ معدن به محلول لیچ کننده با مقدار ۱۷/۲۰ درصد بود. کمترین سهم مربوط به عامل زمان با میزان ۷/۸٤ درصد به دست آمد. مناسب ترین سطح برای pH سطح ۳ بود که مقدار آن ۵۹/٤٦ درصد با ۳ pH محاسبه شد. همچنین مناسب ترین سطح برای حجم سنگ معدن به محلول لیچ کننده سطح ۱ با مقدار ٦٦/١٤ درصد با نسبت ۱/۱ و برای زمان سطح ۱ با مقدار ٥٦/٧٨ درصد با مدت زمان ۳۰ روز بود.

نتیجه گیری: با در نظر گرفتن ۳ عامل محیطی کاربردی، امکان جداسازی فلز طلا از سنگ معدن در مقیاس صنعتی بدون صرف هزینه زیاد وجود دارد.

واژگان کلیدی: فروشویی زیستی، فلز طلا مقاوم، باکتری‌های بومی.

دریافت مقاله: اردیبهشت ماه ۹٦ پذیرش برای چاپ: خرداد ماه ۹٦

مقدمه

قدمت استفاده از طلا به دوران قبل از میلاد مسیح بر می گردد. طلا یک عنصر استثنائی و گرانقیمت، با زیبایی منحصر به فرد است. این فلز دارای ویژگی‌های عالی از قبیل رسانایی خوب و چکش خواری می باشد. به همین دلیل در وسایل پزشکی و صنعتی کاربرد زیادی دارد (۱ و ۲).

روش های پیرومتالوژی، هیدرومتالوژی و بیوهیدرومتالوژی تکنیک‌هایی هستند که به صورت گسترده برای بازیابی فلز طلا استفاده می‌شوند. فلز طلا را می‌توان بر اساس روش‌های خالص‌سازی به دو دسته مقاوم و غیر مقاوم تقسیم بندی نمود. طلای غیر مقاوم معمولاً به صورت تکنیک‌های مرسوم پیرومتالوژی استخراج می‌شود. اما طلای مقاوم که توسط عناصر سولفیدی پوشیده شده است و درصد آن برای بازیابی با روش‌های مرسوم کافی نیست، از روش‌های هیدرومتالوژی و بیوهیدرومتالوژی استخراج می‌شود. بیوهیدرومتالوژی پتانسیل زیادی در صنعت برای بازیابی فلزات دارد و شرکت های بزرگ بین المللی علاقه بسیاری به عنوان تکنولوژی جدید به

*) آدرس برای مکاتبه: کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده علوم پایه، گروه زیست شناسی.
تلفن: ۰۹۱۸۷۸۸۹۳۱۵ پست الکترونیک: mehdi.zabihi.1368@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

آن نشان داده‌اند (۳). دو موضوع عمده بیوهیدرومتالوژی برای بازیابی طلا شامل بیواکسیداسیون و جذب زیستی است.

بیواکسیداسیون کاربردهای موفقی در بازیابی طلا از ترکیبات سولفیدی دارد و با استفاده از واکنش بین میکروارگانیسم‌ها و مواد معدنی صورت می‌گیرد. اما جذب زیستی به وسیله فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی بین گروه‌های باردار سطحی میکروارگانیسم‌ها و یون‌ها در محلول که به صورت یون وجود دارند، صورت می‌گیرد (۳).

فروشویی (bioleaching) روشی ساده و موثر برای خالص سازی فلزات از معادن کم عیار می باشد. فروشویی به معنای استخراج فلزات از منابع معدنی با استفاده از میکروارگانیسم‌ها است. این فرآیند یکی از کاربردهای بیوهیدرومتالورژی است که برای استخراج فلزاتی مانند مس، روی، آرسنیک، نیکل، مولیبدن، طلا، نقره و کبالت استفاده می شود. مهمترین مزیت‌های فروشویی سازگاری با محیط، با صرفه بودن از لحاظ اقتصادی و مصرف کمتر انرژی است (٤).

میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در بیواکسیداسیون شامل باکتری‌های مزوفیل اکسید کننده آهن و سولفات، *اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس*، *اسیدی تیوباسیلوس تیواکسیدانس* و *لپتوسپیریلوم فرواکسیدانس* و همچنین باکتری‌های ترموفیل از *قبیل سولفولوبوس* و *اسیدی تیوباسیلوس کالدوس* هستند (۵).

انحلال باکتریایی کانی‌های سولفیدی شامل دو مکانیسم مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد. در فروشویی مستقیم، باکتری‌ها خود را به بلورهای فلزات سولفیدی درون سنگ می‌چسبانند و در مدت فعالیت بیوشیمیایی که به نام اکسیداسیون شناخته می‌شود، باکتری‌ها بلورهای سولفیدی فلزی را تغییر داده و به صورت محلول سولفات در می‌آورند.

در فروشویی غیرمستقیم، باکتری‌ها نیازی به تماس مستقیم با سطح کانی‌ها ندارند. در این میان نقش باکتری‌ها، اکسید کردن مجدد آهن‌های فرو و تبدیل به فرم فریک می باشد. سپس آهن فریک به صورت شیمیایی کانی‌های سولفیدی را اکسید کرده و آهن فرو تولید می‌کنند. باکتری‌ها تنها اثر کاتالیزوری داشته و موجب سرعت بخشیدن به اکسیداسیون مجدد آهن فرو به فریک می شوند. در صورت عدم وجود باکتری‌ها این پدیده بسیار آهسته انجام خواهد شد (٦).

متغیرهای زیادی بر روی سرعت فروشویی تاثیرگذار هستند. بیشترین محصول خالص سازی فلزات زمانی به دست می‌آید که شرایط بهینه رشد برای میکروارگانیسم‌ها فراهم شود. یکی از مهمترین این شرایط ، مواد مغذی و میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در فروشویی چون باکتری‌های کمولیتوتروف است. بنابراین تنها به ترکیبات غیر آلی برای رشد نیازمند می باشد. به طور کلی این عمل از طریق محیط و مواد آزاد شده به دست می‌آید. اما برای شرایط بهینه رشد، آهن و ترکیبات سولفوری همراه با آمونیوم و فسفات و نمک‌های منیزیم اضافه می‌شود (۷).

همچنین به کارگیری اکسیژن کافی و مناسب و دی اکسید کربن نیز برای رشد و فعالیت بالای باکتری‌های فروشویی کننده لازم می‌باشد. در شرایط آزمایشگاهی این کار با هوادهی، هم زدن و تکان دادن انجام می شود. اما در مقیاس صنعتی روش به کار رفته متنوع می‌باشد. دی اکسید کربن یکی از منابع لازم برای تامین کربن می‌باشد. اما نیاز بسیار جدی برای تزریق آن وجود ندارد (۷). از طرفی تنظیم دقیق pH نیز برای فعالیت باکتری‌های فروشویی کننده و آزاد سازی فلزات ضروری است. برای باکتری‌های اکسید کننده ترکیبات سولفیدی و آهن اسیدیته بهینه بین ۲ تا ۲/۵ می‌باشد (۷).

میکروارگانیسم‌ها موثر در فروشویی بر اساس گستره دمایی به سه گروه مزوفیل (دمای ۳۰-٤۰ درجه سلیسیوس)، ترموفیل معتدل (دمای ۵۰ درجه سلیسیوس) و ترموفیل افراطی (دمای بیش از ٦۰ درجه سلیسیوس) تقسیم می‌شوند (۸). در دمای بسیار پایین‌تر از دمای بهینه، باکتری‌ها غیرفعال و در دمای بالاتر از دمای بهینه، سلول‌های باکتری تخریب و موجب غیر فعال شدن آن‌ها می‌گردد. همچنین افزایش دما بر سرعت اکسیژن رسانی تاثیر می‌گذارد (۹).

هدف از این مطالعه، بهینه سازی شرایط مناسب رشد میکروارگانیسم‌های طبیعی موجود در سنگ معدن طلا، به منظور جداسازی بهتر فلز طلا از کانسنگ مورد بررسی بود.

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

الف) موقعیت جغرافیایی: معدن طلای زرشوران، به عنوان بزرگ ترین معدن طلای ایران در استان آذربایجان غربی در ۳۲ کیلومتری شهرستان تکاب و ۱۲ کیلومتری مجموعه میراث فرهنگی و گردشگری تخت سلیمان واقع شده است.

ب) نحوه نمونه برداری: برای انجام آزمون از کانسنگ حاوی فلز طلای معدن زرشوان واقع در شهرستان تکاب نمونه برداری به عمل آمد.

ج) تهیه محیط کشت باکتری: به منظور اطمینان از رشد باکتری‌های موجود در نمونه و رشد آن‌ها ابتدا قسمتی از نمونه در محیط کشت مایع انتخابی 9K با فرمول هر لیتر حاوی ۳ گرم آمونیم سولفات ($(NH_4)_2SO_4$)، ۰/۰۱ گرم پتاسیم کلراید KCl، ۰/۵ گرم دی پتاسیم هیدروژن (K_2HPO_4)، ۰/۵ گرم منیزیم سولفات ۷ آبه ($MgSO_4.7H_2O$)، ۰/۰۱ گرم کلسیم نیترات ($Ca(NO_3)_2$) و ٤٤/٨ گرم فروس سولفات ۷ آبه ($FeSO_4.7H_2O$) با pH ۲/۲ کشت داده شد. برای افزایش و کارایی بهتر میکروارگانیسم‌های آزاد کننده فلزات، نمونه ها به مدت سه هفته در دمای ۳۳ درجه سلیسیوس درون گرمخانه نگهداری شدند (۱۰).

د) آزمون تاگوچی: با استفاده از روش تاگوچی و به کمک نرم افزار *Qulitek-4* طراحی آزمون انجام شد. بر اساس این روش، ۳ سطح برای تاثیر هر یک از عوامل مطابق جدول ۱ در نظر گرفته شد. برای این منظور، مطابق جدول ۲ نمونه‌ها در ۹ لوله پلاستیکی تقسیم شدند. هر لوله دارای نسبت حجم کانسنگ به محلول فروشویی کننده با نسبت های ۱:۱، ۲:۱ و ۳:۱ بود. pH هر کدام از لوله‌ها توسط اسید سولفوریک به میزان ۲، ۲/۵ و ۳ تنظیم گردید. به کمک پمپ هوا شرایط هوازی برای رشد باکتری های طبیعی موجود در نمونه ها فراهم گردید.

لوله‌ها در دمای ۳۳ درجه سلیسیوس درون انکوباتور نگهداری شدند. به منظور کنترل شرایط بهینه رشد از جمله تنظیم pH و هوادهی، نمونه ها به طور روزانه بررسی شدند. پس از گذشت ۳۰، ٤٥ و ٦٠ روز، در ۳ زمان مختلف از لوله‌ها نمونه برداری به عمل آمد (۱۱).

جدول ۱: عوامل موثر و تعیین سطح مورد نظر.

عامل	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
pH	۲	۲/۵	۳
نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده	۱/۱	۱/۲	۱/۳
زمان	۳۰	٤٥	٦٠

جدول ۲: نه آزمون طراحی شده تاگوچی.

شماره لوله	مقدار pH ۲	۲/۵	۳	نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده g/l ۱/۱	۱/۲	۱/۳	زمان (روز) ۳۰	٤٥	٦٠
۱	۲			۱/۱			۳۰		
۲		۲/۵		۱/۱				٤٥	
۳			۳	۱/۱					٦٠
٤	۲				۱/۲			٤٥	
٥		۲/۵			۱/۲				٦٠
٦			۳		۱/۲		۳۰		
۷	۲					۱/۳			٦٠
۸		۲/۵				۱/۳	۳۰		
۹			۳			۱/۳		٤٥	

ه) آنالیز نمونه ها: غلظت طلای مقاوم در نمونه اصلی در حدود ۸/۳۸ میلی گرم بر لیتر بود. به منظور آنالیز نمونه‌ها، ۰/۵ میلی لیتر از هر لوله برداشته شد و جذب آن ها توسط دستگاه جذب اتمی (مدل VARIAN AA 220، استرالیا) اندازه گیری گردید. دستگاه غلظت فلز طلا را بر حسب میلی گرم بر لیتر نشان داد و غلظت نمونه مجهول محاسبه شد.

با مقایسه میزان جذب دستگاه و غلظت اولیه فلز طلای موجود در نمونه، درصد جداسازی طلا توسط باکتری‌ها مشخص گردید. سایر آنالیز داده ها با استفاده از نرم افزار *Qulitek* انجام شد (۱۲).

یافته ها

الف) رشد باکتری‌ها در محیط کشت: بر اساس مشاهدات صورت گرفته از رشد باکتری‌های بومی در محیط کشت 9K، رنگ محیط کشت از سبز روشن به قرمز تغییر پیدا کرد. این امر نشان دهنده واکنش میکروبی و رشد باکتری بود. همچنین پس از نمونه گیری باکتری‌ها در زیر میکروسکوپ بررسی شدند.

ب) نتایج حاصل از فروشویی طلای مقاوم: نتایج حاصل از

Archive of SID

www.SID.ir

فروشویی طلای مقاوم توسط باکتری‌های بومی بر حسب میلی گرم بر لیتر و درصد جداسازی شده آن در جدول ۳ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که بیشترین درصد فروشویی مربوط به لوله شماره ٦ با میزان فروشویی ۷۹/۸ درصد و کمترین آن مربوط به لوله شماره ٤ با میزان فروشویی ۱٦/٦ درصد بوده است.

جدول ۳: نتایج نهایی فروشویی طلای مقاوم توسط باکتری های بومی.

شماره لوله	غلظت طلای محاسبه شده (میلی گرم بر لیتر)	درصد جداسازی طلا
۱	٦	٦۷/۹٥
۲	٦/۰٤	٦۸/٤۰
۳	۲/۷	۳۰/٥۸
۴	۱/٤۷	۱٦/٦٤
٥	۲/۸	۳۱/۷۱
۶	۷/٥۰	۷۹/۸٤
۷	٤/٤۳	٥۰/۱۷
۸	۳	۳۳/۹۸
۹	٥/٤	٦۱/۱٥

جدول ٤: اثر سطوح مختلف عوامل بر فروشویی طلای مقاوم.

ستون / عامل	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۱–سطح ۲
pH	۳۸/۹۱۳	٤۸/٤۳۳	٥۹/٤٥٦	۹/٥۲
نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی	٦٦/۱۳٦	٥۳/٦	۲۷/۰٦٦	-۱۲/٥۳٦
زمان	٥٦/۷۷٦	۳۷/٤۸۳	٥۲/٥٤۳	-۱۹/۲۹٤

ج) *تاثیر هریک از عوامل و سطوح برفروشویی طلای مقاوم:* تاثیر هر یک از سطوح و عوامل مختلف بر فروشویی طلای مقاوم بر اساس نتایج به دست آمده از جدول ۳ و آنالیز آن توسط نرم افزار *Qulitek-4* در جدول ٤ آورده شده است.مناسب ترین سطح برای pH سطح ۳ بود که مقدار آن ٥۹/٤٦ درصد با pH ۳ محاسبه شد. همچنین مناسب‌ترین سطح برای نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده سطح ۱ با مقدار ٦٦/۱۳٦ با نسبت ۱:۱ و برای زمان سطح ۱ با مقدار ٥٦/۷۷٦ با مدت زمان ۳۰ روز بود. اختلاف بین سطوح ۱ و ۲ هر عامل نیز بر بیولیچینگ طلای مقاوم در آخرین ستون این جدول ارائه شده است.

نمودار ۱ تاثیر pH بر فروشویی طلای مقاوم را نشان می‌دهد. در این نمودار یک رابطه خطی میان افزایش سطح و افزایش درصد فروشویی وجود دارد. کمترین مقدار فروشویی در سطح ۱ با pH معادل ۲ قرار دارد. سپس در سطح ۲ با pH ۲/٥ و در سطح ۳ با pH ۳ افزایش چشمگیری وجود داشت. نتایج نشان داد که با کاهش نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده، درصد فروشویی فلز طلا کاهش می یابد (نمودار ۲).

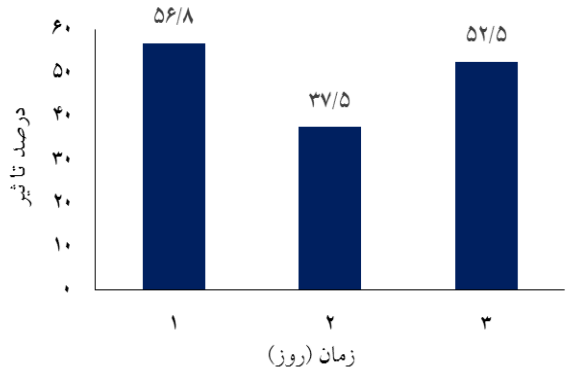
در این آزمایش سه سطح با نسبت ۱:۱، ۲:۱ و ۳:۱ در نظر گرفته شد. بیشترین مقدار فروشویی مربوط به نسبت ۱:۱ و کمترین مقدار آن نیز مربوط به نسبت ۳:۱ گزارش گردید.تاثیر زمان بر فروشویی طلای مقاوم در نمودار ۳ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، بیشترین درصد فروشویی پس از گذشت ۳۰ روز صورت گرفت. پس از آن با گذشت ٤۰ روز درصد فروشویی کاهش یافت و به کمترین مقدار خود رسید.

نمودار ۱: تاثیر سطوح مختلف pH بر فروشویی طلای مقاوم.

نمودار ۲: تاثیر سطوح مختلف نسبت حجم سنگ معدن به محلول.

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار ۳: تاثیر سطوح مختلف زمان بر فروشویی طلای مقاوم.

در آخرین بازه زمانی یعنی پس از گذشت ۶۰ روز، درصد فروشویی مجدداً افزایش یافت.

د) پیش بینی شرایط بهینه آزمون: پیش بینی شرایط بهینه برای فروشویی طلای مقاوم توسط روش تاگوچی با استفاده از نرم افزار *Qulitek-4* در جدول ۵ نشان داده شده است. در این جدول سهم هر یک از عوامل بر میزان فروشویی مشخص می‌باشد. بر اساس این جدول بیشترین سهم مربوط به عامل نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده است که در سطح ۱ قرار داشته و مقدار ۱۷/۲۰۲ را به خود اختصاص داده است. همچنین کمترین سهم مربوط به عامل زمان با میزان ۷/۸۴۲ می‌باشد که در سطح ۱ قرار گرفته است. بر اساس این جدول برای عامل pH با سهم ۱۰/۵۲۲ بهترین حالت سطح ۳ می‌باشد.

ه) تاثیر متقابل هر یک عوامل بر فروشویی طلای مقاوم: جدول ۶ تاثیر متقابل بین سطوح مختلف در میزان فروشویی طلای مقاوم را نشان می‌دهد. این تاثیرات بر اساس شدت ارزش شاخص میزان بین دو عامل اندازه گیری می‌شود. در این جدول کمترین مقدار ۱۴/۲۵ بین سطوح ۲ و ۳ بود و مربوط به اثر متقابل نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده و زمان می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار ۴۱/۸۴ بود که بین سطوح ۳ و ۱ مربوط به تاثیر متقابل pH و زمان می‌باشد. مقدار تاثیر بین سطح pH و نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده ۳۷/۷۲ است که بین سطوح ۱ و ۲ می‌باشد.

بحث

با توجه به کاهش روز افزون سنگ معادن حاوی عیار بالای فلزات، تقاضا برای بازیابی فلزات با ارزش توسط گسترش روش‌های هیدرومتالوژی بیشتر شده است (۱۳). بیولیچینگ روشی قدرتمند برای بازیابی فلزات از سنگ‌های حاوی عیار بسیار پایین می‌باشد. این روش علاوه بر تکنولوژی ساده و سازگار با محیط، از نظر اقتصادی بسیار کم هزینه است و نیازی به تجهیزات گران قیمت ندارد (۱۴).

در این مطالعه به منظور به دست آوردن شرایط بهینه برای رشد باکتری‌های بومی و فروشویی طلای مقاوم از معدن زرشوران تاثیر سه عامل کلیدی pH، نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده و زمان در سه سطح مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این نتایج شرایط بهینه برای pH ۳ و برای نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده با نسبت ۱:۱ و پس از گذشت ۳۰ روز به دست آمد. در این مطالعه بین عوامل « pH و زمان » و « pH و نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده» رابطه وجود داشت. این یافته بیانگر این مساله است که تاثیر هر دو عامل بر میزان فروشویی طلای مقاوم، وابسته به یکدیگر بوده و تغییر در یک عامل می تواند موجب تغییر در عامل دیگر شود. در این پژوهش برای pH سه

جدول ۵: پیش بینی یا تخمین شرایط بهینه برای فروشویی طلای مقاوم توسط باکتری های بومی.

عامل	سطح	سهم
pH	۳	۱۰/۵۲۲
نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده	۱	۱۷/۲۰۲
زمان	۱	۷/۸۴۲

جدول ۶: تخمین تاثیرات متقابل بین عوامل مختلف بر فروشویی طلای مقاوم.

عامل	تاثیر جفت عامل بر اساس (SI)	ستون	شدت تاثیر متقابل ٪	ستون	شرایط بهینه
۱	pH * زمان	۳ * ۱	۴۱/۸۴	۲	(۳ و ۳)
۲	pH * نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده	۲ * ۱	۳۷/۷۲	۳	(۳ و ۱)
۳	نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده * زمان	۳ * ۲	۱۴/۲۵	۱	(۱ و ۳)

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار۲، ۲/۵ و ۳ در نظر گرفته شد. از آنجایی که محیط کشت دارای pH پایین و محیط فاقد منابع آلی بود، بنابراین تنها باکتری‌های اسید دوست و کمولیتوتروفی که توان اکسیداسیون ترکیبات سولفیدی و آهنی را داشتند رشد کردند.

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش با افزایش مقدار pH درصد فروشویی افزایش یافت. این یافته می تواند بیانگر این باشد که pH بسیار پایین موجب اختلال در مکانیسم سلولی باکتری‌های بومی و یا تغییر کارکرد آنزیم‌های آن‌ها می شود. در نتیجه این امر، فروشویی طلای مقاوم کاهش می یابد. بنابراین با افزایش pH و کاهش غلظت یون‌های H^+ می‌توان شرایط بهینه را برای رشد باکتری‌های بومی موجود در خاک طلای مقاوم فراهم نمود. به طوری که بهترین عملکرد را برای فروشویی فلز مورد نظر انجام دهند. نتایج مشابهی نیز توسط نستور (Nestor) و همکاران در مورد طلای مقاوم به دست آمد. نتایج آنها نشان داد که pH پایین‌تر از حد بهینه، باعث جلوگیری از رشد باکتری‌ها می‌شود (۱۵).

همچنین مطالعه زاده نیل ساز (Zadenilsaz) و همکاران نشان می‌دهد که pH پایین باعث آسیب به باکتری‌های فروشویی کننده می‌شود. از طرفی pH بالاتر از حد بهینه می‌تواند باعث ایجاد جاروسیت گشته و از روند فروشویی جلوگیری نماید (۱۶). با توجه به اینکه در این آزمون از مخلوط میکروارگانیسم‌های بومی موجود در سنگ معدن سازگار با محیط اطراف استفاده شده بود، در گستره pH بسیار بالا و بسیار پایین به دلیل ایجاد جاروسیت و اختلال در متابولیسم سلولی کاهش عملکرد فروشویی را به دنبال داشت. در نتیجه پیدا کردن شرایط بهینه برای رشد مخلوط باکتری‌های بومی ضروری می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش بهترین شرایط بهینه برای نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده ۱:۱ به دست آمد. بنابراین می توان گفت که در صورت افزایش محلول فروشویی، باکتری‌های کمولیتوتروف به دلیل قرار گرفتن در محلول بسیار رقیق نمی‌توانند خود را به بلور کانی‌های سولفیدی و آهنی بچسبانند و عملکرد خوبی داشته باشند. بنابراین درصد فروشویی طلای مقاوم کاهش می یابد. از طرفی با توجه به اینکه باکتری‌ها به آب و اسید برای عمل اکسیداسیون و کاهش ترکیبات سولفیدی و آهنی نیاز دارند، با کاهش بیش از اندازه حجم محلول فروشویی کننده درصد فروشویی کاهش می‌یابد. بنابراین به دست آوردن شرایط بهینه نسبت حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده برای عمل فروشویی یک نکته اساسی است. در آزمون های مشابه انجام شده توسط سالاری (Salari) و همکاران، مشخص گردید که با افزایش میزان درصد وزنی–حجمی خاک سولفیدی میزان بازیابی فلزات نیز افزایش می‌یابد (۱۷). با در نظر گرفتن این نکته که برای فروشویی طلای مقاوم در مقیاس صنعتی، زمان یک عامل کلیدی است و هر چه مدت زمان کمتری برای عمل فروشویی مصرف شود بهترین حالت در نظر گرفته می‌شود و با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش بهترین حالت بهینه برای عامل زمان، کمترین مدت یعنی ۳۰ روز است. از این رو در صورت به کار گیری این زمان در مقیاس صنعتی بسیار مقرون به صرفه خواهد بود.

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که با انجام روش های طراحی آزمون می تواند به دلیل دست یابی به شرایط بهینه، می‌تواند کاهش هزینه‌های به دست آوردن شرایط بهینه فروشویی طلای مقاوم در مقیاس صنعتی را به دنبال داشته باشد. این شرایط بهینه برای pH ۳، حجم سنگ معدن به محلول فروشویی کننده با نسبت ۱:۱ و برای زمان ۳۰ روز بهترین حالت می‌باشد. بنابراین با در نظر داشتن این عوامل کلیدی برای فروشویی طلای مقاوم می‌توان کارایی جداسازی فلز طلا را افزایش داد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از همکاران معدن طلای زرشوران شهرستان تکاب آذربایجان غربی، شرکت پگاه روی غرب استان کرمانشاه، دکتر مرضیه صادقی و خانم نادیا عزیزی به دلیل همکاری صمیمانه در اجرای این پژوهش کمال امتنان را دارند.

Archive of SID

www.SID.ir

References

1. Mishra D, Kim DJ, Ahn JG, Rhee YH. Bioleaching: a microbial process of metal recovery; a review. Met Mater Int. 2005; 11(3): 249-256.
2. Karthikeyan OP, Rajasekar A, Balasubramanian R. Bio-oxidation and biocyanidation of refractory mineral ores for gold extraction: a review. Crit Rev Env Sci Technol. 2015; 45(15): 1611-1643.
3. Syed S. Recovery of gold from secondary sources: a review. Hydrometallurgy. 2012; 115: 30-51.
4. Natarajan G, Ting Y-P. Gold biorecovery from e-waste: an improved strategy through spent medium leaching with pH modification. Chemosphere. 2015; 136: 232-238.
5. Hong J, Silva RA, Park J, Lee E, Park J, Kim H. Adaptation of a mixed culture of acidophiles for a tank biooxidation of refractory gold concentrates containing a high concentration of arsenic. J Biosci Bioeng. 2016; 121(5): 536-542.
6. Vera M, Schippers A, Sand W. Progress in bioleaching: fundamentals and mechanisms of bacterial metal sulfide oxidation- part A. Appl Microbiol Biotechnol. 2013; 97(17): 7529-7541.
7. Bosecker K. Bioleaching: metal solubilization by microorganisms. FEMS Microbiol Rev. 1997; 20(3-4): 591-604.
8. Pradhan N, Nathsarma K, Rao KS, Sukla L, Mishra B. Heap bioleaching of chalcopyrite: a review. Miner Eng. 2008; 21(5): 355-365.
9. Ahmadi A, Mousavi S. The influence of physicochemical parameters on the bioleaching of zinc sulfide concentrates using a mixed culture of moderately thermophilic microorganisms. Int J Miner Process. 2015; 135: 32-39.
10. Zadenilsaz E, Khakzad A, Rashidnejad N. Separation of low grade gold sulphide minerals from khatun and senjedeh wells with bioleaching method (Muteh Mining area, Isfahan Province). J Appl Geol. 2008; 4(1): 37-48. [In Persian]
11. Salehghamari E, Amoozegar MA. Optimization of lipase production in *Salinivibrio* sp. SA2 by Taguchi design. Nova Biol Rep. 2017; 3(4): 288-294. [In Persian]
12. Zarrinpour A, Manafi Z, Noaparast M, Shafaei SZ. The effect of mix ratio and culture type on the bioleaching of a low grade sulfide copper ore using Mesophile bacteria. J Microb World. 2009; 2(2): 117-121. [In Persian]
13. Xie Y, Xu Y, Yan L, Yang R. Recovery of nickel, copper and cobalt from low-gradeNi–Cu sulfide tailings. Hydrometallurgy. 2005; 80(1): 54-58.
14. Anjum F, Shahid M, Akcil A. Biohydrometallurgy techniques of low grade ores: a review on black shale. Hydrometallurgy. 2012; 117: 1-12.
15. Nestor D, Valdivia U, Chaves AP. Mechanisms of bioleaching of a refractory mineral of gold with Thiobacillus ferrooxidans .Int J Miner Process. 2001; 62(1): 187-198.
16. Nazari B, Hani H, Jorjani E, Manafi Z. The effect of various parameters on the Jarosite formation in bioleaching of Sarcheshmeh copper mine sulfide ores. J Microb World. 2011; 4 (1&2): 7-14. [In Persian]
17. Salari H, Olyaee MS, Tahmouresi M. The extraction of zinc from low-grade sulfide soils with *Acidithiobacillus ferrooxidans* method. Iran J Biol. 2012; 25(1): 130-138. [In Persian]

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Microbial World
Volume 10, No. 3, September 2017

Original Article

Optimization of environmental factors affecting gold microbial bioleaching by indigenous bacteria in Zarshuran mineral ore

Mehdi Zabihi[1], **Mojtaba Taran**[2]

[1] M.Sc., Department of Biology, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah, Iran.
[2] Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah, Iran.

Abstract

Background & Objectives: Zarshuran gold mine as the largest gold mine in Iran is located in Takab, West Azarbayjan. In this study, for the first time, the ability to isolate the gold element was examined by providing optimal conditions for the growth of natural microorganisms in Zarshuran gold ores and investigating the effect of different factors including pH, leaching time and the ratio of the ore volume to leachate.

Materials & Methods: The study was designed using the Taguchi method in three levels to evaluate the effect of each of the pH, leaching time and the ratio of the ore volume to leachate. The effect of each factor and the appropriate level for bioleaching refractory gold was investigated using the *Qulitek-4* software.

Results: The most effective factor was the ratio of the ore volume to leachate which was 17.20% and the least effective factor was the leaching time which was 7.84%. The level 3 was the most appropriate pH level which was assessed as 59.46%. The most appropriate level for the ratio of the ore volume to leachate was level 1, with the amount of 66.14% and a ratio of 1/1. The most appropriate level for the time was level 1, as well, with the amount of 56.78% and duration of 30 days.

Conclusion: Considering the three functional environmental factors, much gold can be separated from ore at an industrial scale without spending too much money.

Keywords: Bioleaching, Refractory gold, Indigenous bacteria.

Correspondence to: Mehdi Zabihi

Tel: +98 9187889315

E-mail: mehdi.zabihi.1368@gmail.com

Journal of Microbial World 2017, 10(3): 202-209.

Archive of SID

www.SID.ir