

بررسی تاثیر دانه‌بندی بر عیار و بازیابی مس فرآیند هیپ لیچینگ در کانسار مس تخت گنبد

مهرداد حسینی^۱، حامد قاسمی رشک سفلائی^۲، مصطفی محمودزاده^۳، محمود اسکندری نسب^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان. (نویسنده مسئول)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

^۴ استادیار، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

چکیده

روش‌های معدنکاری و تجهیزات مورد نیاز برای فرآیند هیپ لیچینگ مشابه روش‌های مورد استفاده برای سایر تکنیک‌های فرآوری می‌باشد. انتخاب روش هیپ لیچینگ عموماً با دلایل اقتصادی همراه است؛ زیرا این روش برای استحصال مواد معدنی یکی از بی‌مخاطره‌ترین و مناسب‌ترین روش برای بازگشت سرمایه می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تاثیر ابعاد ذرات در فرآیند هیپ لیچینگ کانسار تخت گنبد با استفاده از آزمون‌های ستونی می‌باشد. جهت انجام آزمایش‌های ستونی از ستونی با قطر داخلی ۱۱۵ میلی‌متر و ارتفاع ۱/۲ متر (یک متر از ستون با ماده معدنی پر شد)، برای دانه‌بندی ۳۰- و ۱۰- میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمایش‌ها از پمپ پرستالتیک با دبی پاشش به طور متوسط ۲۸ لیتر بر ساعت بر متر مربع (۵ میلی لیتر بر دقیقه) بکاربرده شد. بازیابی محاسباتی برای ابعاد ۱۰- و ۳۰- میلی‌متر با محلول اسید سولفوریک ۲۰ گرم بر لیتر به ترتیب ۶۹/۲۶ و ۶۷/۷۵ درصد و مقادیر غلظت مس به ترتیب ۷/۰۸ و ۸/۳۱ گرم بر لیتر محاسبه شد. اختلاف بازیابی در حدود ۱/۵ درصد است. دلیل بالا بودن بازیابی برای نمونه ریزتر افزایش سطح تماس نمونه با محلول لیچ می‌باشد. همچنین می‌توان علت نزدیک بودن مقدار بازیابی نمونه درشت‌تر به نمونه ریزتر را زیاد بودن مقدار اسید مصرفی مورد نیاز و مناسب بودن زمان ماند محلول دانست. این در حالی است که انجام آزمایش بر روی ذرات با ابعاد ۱۰- به دلیل یک مرحله خردایش بیشتر، هزینه‌های بیشتری را به دنبال دارد. بنابراین با کاهش ابعاد، بازیابی مس در آزمایش‌های انجام شده با محلول اسید سولفوریک یکسان افزایش یافته که علت آن افزایش سطح تماس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دانه بندی، عیار، هیپ لیچینگ، بازیابی، مس تخت گنبد.

۱. مقدمه

مروری بر زمینه بهره‌وری صحیح از منابع معدنی نشان می‌دهد که امروزه استفاده از منابع با عیارهای پایین و منابعی که از نظر تکنولوژی امکان بهره‌برداری از آنها مشکل‌تر می‌باشد، در دستور کار متخصصین قرار گرفته است. در این راستا، هیدرومتالورژی به عنوان یک شاخه از متالورژی استخراجی امروزه در عرصه‌ی فراآوری مواد به عنوان روشی کارا و مطلوب، میسر نموده است [۱].

تحولات و پیشرفت در صنعت متالورژی استخراجی، ناشی از سازگاری بیشتر این روش با محیط زیست و مصرف کمتر انرژی می‌باشد. آمار و اطلاعات گزارش شده نشان می‌دهد که با پیشرفت و توسعه فرآیندهای هیدرومتالورژی در سال‌های اخیر، روند افزایش تولید مس و سایر فلزات پایه از این روش افزایش چشمگیری داشته است [۲].

در روش هیپ لیچینگ، سنگ معدنی استخراج و خرد شده و پس از نرمه‌گیری یا آگلومراسیون با دقت زیاد روی یک بستر ضد اسید و نفوذ ناپذیر انباشت می‌شود. عامل لیچ از حوضچه محلول اولیه پمپ شده و به سطح توده پاشیده می‌شود. محلول باردار جمع‌آوری شده از زیر هیپ به حوضچه محلول باردار هدایت می‌شود. محلول باردار از حوضچه محلول برای استخراج عنصر مورد نظر به واحد استخراج فلز از محلول باردار پمپ می‌شود. بعد از استحصال عنصر از محلول باردار، محلول بی‌بار به دست می‌آید که به حوضچه عامل لیچ برگشت داده می‌شود. میزان موفقیت روش با نزدیک شدن به عنصر مورد نظر و میزان بازیابی سنجیده می‌شود و از نظر مهندسی، فرآیند، دستیابی به حداکثر بازیابی در کوتاه‌ترین زمان اهمیت دارد [۳].

انتخاب روش هیپ لیچینگ عموماً با دلایل اقتصادی همراه است؛ زیرا برای استحصال مواد معدنی این روش یکی از مناسب‌ترین و بی‌مخاطره‌ترین و روش برای بازگشت سرمایه می‌باشد [۴].

پارامترهای اصلی مؤثر در عملیات هیپ لیچینگ عبارتند از: توزیع ابعادی سنگ، پایداری هیپ، نفوذپذیری، ارتفاع هیپ، زمان لیچینگ و کنترل عوامل شیمیایی نظیر غلظت عامل لیچینگ، اکسیژن محلول، میزان قلیایی یا اسیدی بودن، جامد محلول و فلز محلول می‌باشند. پارامترهای فرعی دیگری مانند ارتفاع لیفت‌های مجزا و روش انباشت مواد نیز می‌بایست مورد توجه قرار گیرند در ادامه تأثیر عوامل مختلف در هیپ لیچینگ مورد بررسی قرار می‌دهیم [۵].

توزیع ابعادی مواد خرد شده یکی از مهمترین پارامترهای فیزیکی کنترل کننده فرآیند هیپ لیچینگ است. توزیع ابعادی مؤثر باعث آزادسازی مناسب کانی‌ها و ایجاد تعادل بین سرعت نفوذ محلول و زمان ماند محلول می‌شود و همچنین فاکتور اصلی در پایداری هیپ می‌باشد چنانچه ابعاد کانسنگ خیلی ریز باشد سینتیک اولیه لیچینگ بسیار بالا بوده ولی پس از مدتی با متلاشی شدن کانسنگ توده فشرده شده و در نتیجه نفوذپذیری کاهش می‌یابد. علاوه بر این فضا برای انتشار هوا وجود نخواهد داشت [۶].

بین ابعاد ذرات و قطر ستون روابطی وجود دارد که در هنگام آزمایش باید این روابط در نظر گرفته شوند. یکی از فاکتورهای مهم در کاربرد این روش نسبت قطر ستون به اندازه بزرگترین سنگ معدن می‌باشد این نسبت حداقل چهار و حداکثر نباید از ۲۰ تجاوز کند در صورتی که نسبت قطر ستون به اندازه ذرات سنگ کم باشد محلول بیشتر از کناره‌ی جدار به طرف پایین سرازیر می‌شود و از میان کانسنگ عبور نمی‌کند [۷].

۲. مواد و روش‌ها

مجموعه معدن مس تخت گنبد در بخش جنوب شرقی ایران در حدود ۱۱۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان و در ۸۰ کیلومتری شمال شرق سیرجان جای گرفته است.

۱.۲. خردایش و آماده سازی نمونه

نمونه معرف از بخش سطحی معدن مس تخت گنبد به وزن تقریبی ۲۰۰ کیلوگرم، به آزمایشگاه کانه‌آرایی ارسال شد. نمونه پس از خردایش با سنگ شکن فکی اولیه آزمایشگاهی به ابعاد حدود کمتر از ۳۰ میلیمتر رسید. سپس نمونه‌های خرد

شده بر روی سطحی صاف همگن شده و با استفاده از روش تقسیم چهارتایی، تقسیم شدند. یک قسمت از آن حدود ۴۵ کیلوگرم، جهت انجام آزمایش و تهیه نمونه معرف آماده شد. جدول ۱ نتایج عیاری نمونه معرف تهیه شده را نمایش می‌دهد.

جدول ۱- نتایج عیاری نمونه معرف مس تخت گنبد

عنصر	Cu	Fe	SiO ₂	CaO
عیار	۰/۶۵	۲/۶۷	۰/۶۹	۰/۸۵

نمونه معرف در محدوده‌ی ابعادی ۳۰ تا ۰/۱ میلیمتر آنالیز سرندي شد. شکل ۱ نمودار توزیع دانه‌بندی نمونه معرف در ابعاد کمتر از ۳۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمودار توزیع دانه‌بندی نمونه معرف در ابعاد کمتر از ۳۰ میلی‌متر

قسمت دوم نمونه تقسیم شده مجدد با استفاده از سنگ شکن فکی ثانویه، نمونه تا ابعاد کمتر از ۱۰ میلیمتر مورد خردایش قرار گرفت. نمونه خرد شده همانند مرحله قبل در ابتدا همگن و مورد آنالیز سرندي قرار گرفت، نتایج حاصل از خردایش سنگ شکنی ثانویه تجزیه سرندي شد. شکل ۲ نتایج آنالیز سرندي و منحنی توزیع دانه‌بندی نمونه معرف را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار توزیع دانه‌بندی نمونه معرف در ابعاد کمتر از ۱۰ میلی‌متر

۲.۲. روش انجام آزمایش ستونی

نتایج حاصل از آزمایش‌های ستونی قابلیت فرآوری سنگ معدن به روش فروشویی توده‌ای را به طور مؤثرتری مشخص می‌کند ضمن اینکه اطلاعاتی درباره میزان و نرخ بازیابی و مقدار عامل انحلال مورد نیاز تحت شرایطی مشابه فروشویی توده‌ای بدست خواهد داد. بنابراین در آزمایش‌های ستون هیپ تعیین شاخص‌ها و پارامترهای اصلی هیپ لیچینگ در مقیاس آزمایشگاه مورد انتظار است، از جمله مهمترین این پارامترها می‌توان به اندازه سنگ معدن و خردایش مورد نیاز، دوره عملیات لیچینگ، مصرف اسید توسط ماده معدنی و دبی پاشش عامل انحلال اشاره نمود.

جهت انجام آزمایش‌های ستونی از ستونی با قطر داخلی ۱۱۵ میلیمتر و ارتفاع ۱/۲ متر (یک متر از ستون با ماده معدنی پر شد)، برای دانه‌بندی ۳۰- و ۱۰- میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمایش‌ها از پمپ پریستالتیک استفاده شد و دبی پاشش مورد استفاده به طور متوسط ۲۸ لیتر بر ساعت بر متر مربع (۵ میلی لیتر بر دقیقه) انتخاب شد.

۳.۲. تعیین میزان اسید مصرفی

به منظور تعیین میزان مصرف اسید، تست لیچینگ اسیدی در بشر دو لیتری انجام شد. از همزن مکانیکی برای هم زدن استفاده شد. به منظور انجام فرآیند لیچینگ اسیدی، مقدار ۲۵۰ گرم نمونه پودر شده به یک لیتر آب اضافه شد. به منظور کاهش pH از اسیدسولفوریک صنعتی با خلوص ۹۶٪ استفاده شد. برای انجام واکنش‌های انحلال، pH پالپ بر روی ۱/۵ تنظیم شد. طی چند مرحله و به طور مدام pH اندازه‌گیری و در صورت افزایش از مقدار مورد نظر، مجدداً به پالپ اسیدسولفوریک اضافه شد تا در pH مورد نظر تنظیم شود. پس از ثابت شدن مقدار pH و عدم تغییر آن، به مدت دو ساعت به پالپ فرصت داده شد تا واکنش‌های انحلال کامل شوند. پس از اتمام زمان لیچینگ، پالپ با استفاده از فیلترپرس آبیگری شد. حجم و غلظت روی محلول باردار (PLS) و پسماند جامد خشک شده اندازه‌گیری شد. آنگاه با در نظر گرفتن وزن و عبار اولیه، راندمان انحلال مس محاسبه شد.

۳. نتایج

۱.۳. آزمون تعیین میزان مصرف اسید

در جدول ۲ نتایج تست مصرف اسید لیچینگ نمونه مس تخت گنبد ذکر شده است. مطابق این جدول میزان اسید مصرفی برابر با ۸۲ کیلوگرم بر تن می‌باشد. میزان غلظت و بازیابی مس در محلول باردار به ترتیب برابر با ۸/۲۷ گرم بر لیتر و ۸۰/۷۷ درصد می‌باشد.

جدول ۲- نتایج تست مصرف اسید لیچینگ نمونه مس تخت گنبد

ردیف	غلظت مس در محلول (g/lit)	غلظت مس در کیک خشک (%)	بازیابی مس در محلول (%)
۱	۸/۲۷	۰/۲۳	۸۰/۷۷

۲.۳. آزمون ستونی شماره یک

مقدار ۹ کیلوگرم از ماده معدنی با ابعاد ۳۰- میلی‌متر درون ستون ریخته شد تا ارتفاع نمونه در داخل ستون برابر با یک متر شود. با توجه به اینکه مقدار اسید مصرفی در آزمایش تعیین اسید برابر با ۸۵ کیلوگرم به ازای تن محاسبه شد، مقدار اسید غلیظ مورد نیاز برای این آزمایش در حدود ۷۵۰ گرم می‌باشد. این مقدار اسید با چهار مرحله حدود ۱۲ لیتر محلول ۲۰ گرم بر لیتر اسید سولفوریک برای ستون تأمین شد. در انتها آزمایش ستون سه بار مورد شستشو قرار گرفت و از باطله لیچ شده یک نمونه جهت تعیین عیار مس تهیه شد. عیار نهایی باطله لیچ شده ۰/۳ درصد مس گزارش شد.

مقادیر حجم محلول و همچنین مقادیر زمان ماند و pH محلول خروجی برای آزمون ستونی شماره یک در جدول ۳ ذکر شده است. همچنین مقادیر مربوط به بازیابی و غلظت و حجم محلول تجمعی خروجی، در هر بار برگردان محلول حاوی ۲۰ گرم بر لیتر اسید سولفوریک برای آزمون ستونی شماره یک در جدول ۴ بیان شده است.

جدول ۳- حجم محلول و همچنین شرایط انجام آزمون ستونی شماره یک

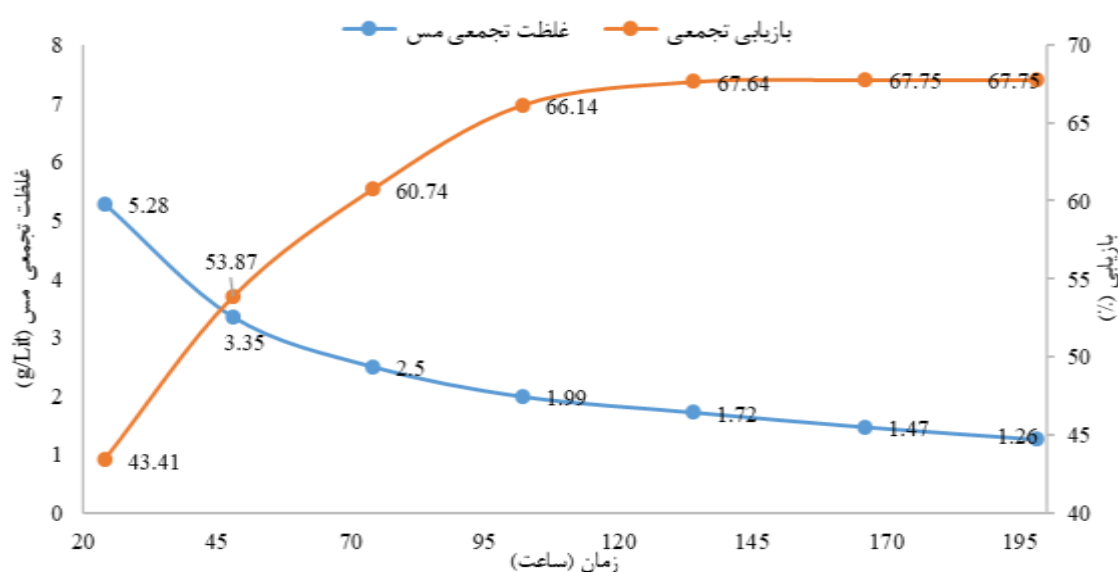
ردیف	توضیحات	pH	زمان (ساعت)	حجم محلول باردار (میلی لیتر)
۱	مرحله اول	۴/۷	۲۴	۷۴۰۰
۲	مرحله دوم	۳/۶	۴۸	۷۰۸۰
۳	مرحله سوم	۲/۸	۷۴	۷۳۶۰
۴	مرحله چهارم	۱/۲	۱۰۲	۸۱۰۰
۵	شستشو اول	۱/۹	۱۳۴	۵۴۰۰
۶	شستشو دوم	۲/۷	۱۶۶	۶۱۰۰
۷	شستشو سوم	۲/۷	۱۹۸	۶۸۵۰

جدول ۴- محاسبه بازیابی مس تجمعی محلول آزمون ستونی شماره یک

ردیف	توضیحات	غلظت مس (گرم بر لیتر)	بازیابی مس (درصد)	بازیابی تجمعی مس (درصد)
۱	مرحله اول	۵/۲۸	۴۳/۴۱	۴۳/۴۱
۲	مرحله دوم	۱/۳۳	۱۰/۴۶	۵۳/۸۷
۳	مرحله سوم	۰/۸۴	۶/۸۷	۶۰/۷۴

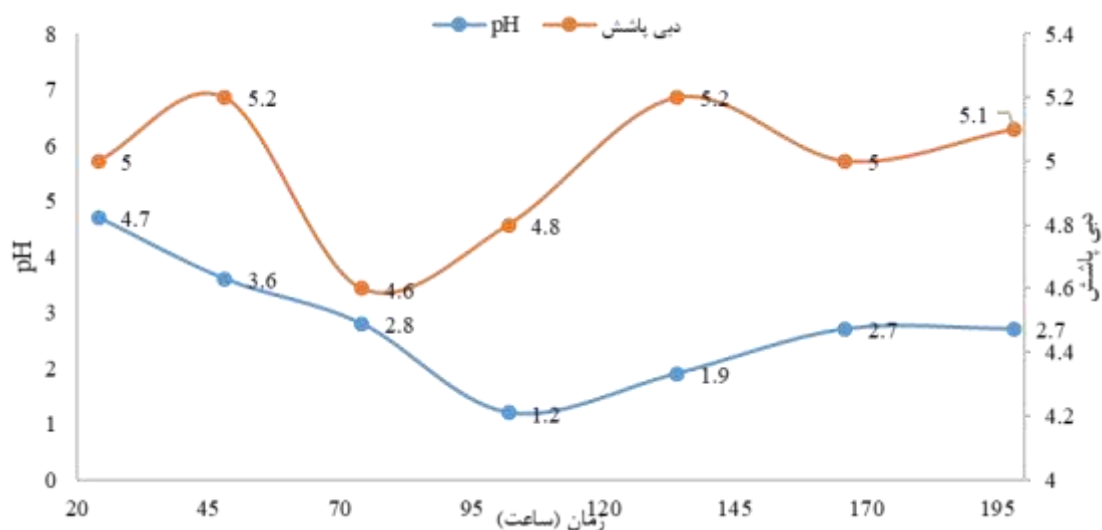
۴	مرحله چهارم	۰/۶۰	۵/۴	۶۶/۱۴
۵	شستشو اول	۰/۲۵	۱/۵	۶۷/۶۴
۶	شستشو دوم	۰/۱۶	۰/۱۱	۶۷/۷۵
۷	شستشو سوم	۰	۰	۶۷/۷۵
۸	مجموع	۸/۳۱۶	۶۷/۷۵	۶۷/۷۵

شکل ۳ نمودار غلظت و بازیابی تجمعی نسبت به زمان لیچینگ را برای آزمون ستونی شماره یک نشان می‌دهد. مطابق با این شکل مقدار بازیابی محاسباتی ۶۷/۷۷ می‌باشد. با توجه به عیار مس محاسباتی نمونه ۸/۳۱۶ درصد میزان بازیابی ۶۷/۷۵ است که با بازیابی بدست آمده تطابق دارد.



شکل ۳- نمودار غلظت و بازیابی تجمعی نسبت به زمان لیچینگ آزمون ستونی شماره یک

شکل ۴ نمودار تغییرات دبی و pH محلول باردار آزمون ستونی شماره یک را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار تغییرات مشاهده می‌شود با گذشت زمان pH محلول‌های خروجی در پایان pH محلول هر مرحله کاهش می‌یابد و با سه بار شستشو نمونه برای بالا بردن بازیابی، افزایش ناچیزی در مقدار pH تجمعی محلول خروجی ایجاد می‌شود.



شکل ۴- نمودار تغییرات دبی و pH محلول باردار آزمون ستونی شماره یک

۲.۳. آزمون ستونی شماره دو

برای بدست آوردن تاثیر دانه بندی، ۹ کیلوگرم از ماده معدنی با ابعاد ۱۰- میلیمتر درون ستون ریخته شد. با توجه به اینکه مقدار اسید مصرفی برای ابعاد فوق برابر با ۸۲ کیلوگرم به ازای تن محاسبه شد، مقدار اسید غلیظ مورد نیاز برای این آزمایش در حدود ۷۴۰ گرم میباشد و همانند آزمایش شماره یک این مقدار اسید در ۴ مرحله با مقدار ۲۰ گرم بر لیتر اسید سولفوریک غلیظ به ستون اضافه شد. همانند آزمایش یک نیز از باطله لیچ شده نمونه جامد تهیه و عیارسنجی شد مقادیر مربوط به عیار مس نمونه گرفته شده از باطله لیچ شده برابر با ۰/۳ درصد بود.

مقادیر حجم محلول و همچنین مقادیر زمان ماند و pH محلول خروجی برای آزمون ستونی شماره دو در جدول ۵ ذکر شده است. همچنین مقادیر مربوط به بازیابی و غلظت و حجم محلول تجمعی خروجی، در هر بار برگردان محلول حاوی ۲۰ گرم بر لیتر اسید سولفوریک برای آزمون ستونی شماره دو در جدول ۶ بیان شده است.

جدول ۵- میزان محلول ورودی و خروجی و همچنین شرایط انجام آزمون ستونی شماره دو

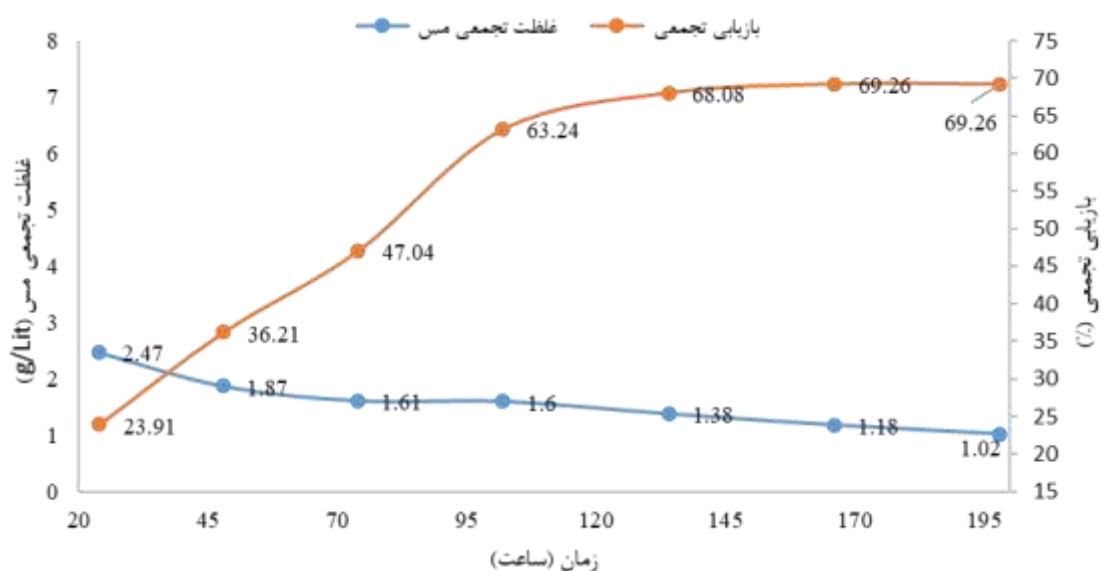
ردیف	توضیحات	pH	زمان (ساعت)	حجم محلول باردار (میلی لیتر)
۱	مرحله اول	۵/۱	۲۴	۸۵۰۰
۲	مرحله دوم	۳	۴۸	۸۴۷۰
۳	مرحله سوم	۲/۸	۷۴	۸۶۵۰
۴	مرحله چهارم	۱/۱	۱۰۲	۸۷۳۰
۵	شستشو اول	۲/۳	۱۳۴	۸۷۰۰
۶	شستشو دوم	۳	۱۶۶	۸۲۰۰
۷	شستشو سوم	۳/۲	۱۹۸	۷۹۵۰

جدول ۶- محاسبه بازیابی مس تجمعی محلول آزمون ستونی شماره دو

ردیف	توضیحات	غلظت مس (گرم بر لیتر)	بازیابی مس (درصد)	بازیابی تجمعی مس (درصد)
۱	مرحله اول	۲/۴۷	۲۳/۹۱	۲۳/۹۱

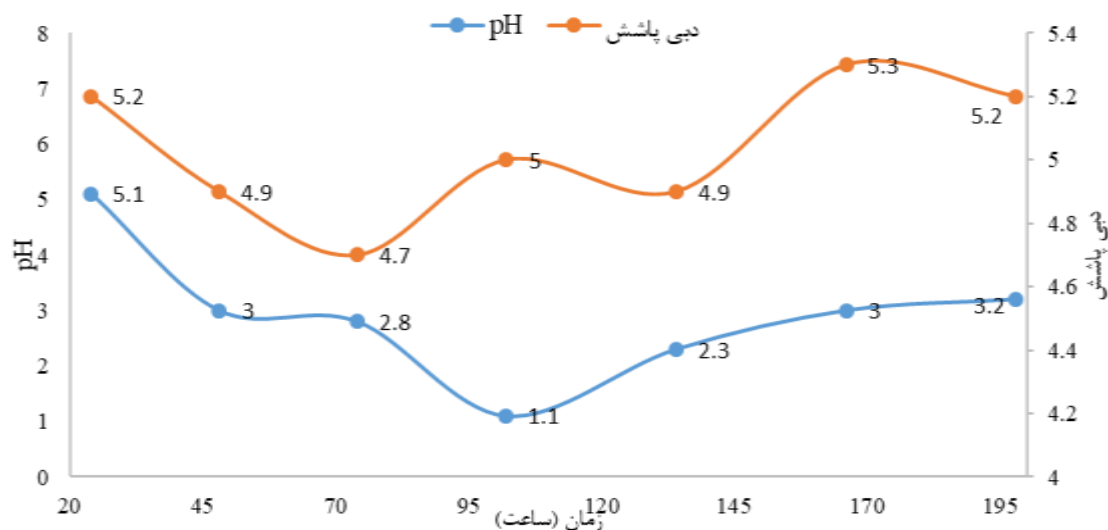
۳۶/۲۱	۱۲/۳	۱/۲۷	مرحله دوم	۲
۴۷/۰۴	۱۰/۸۳	۱/۱	مرحله سوم	۳
۶۳/۲۴	۱۶/۲	۱/۶۳	مرحله چهارم	۴
۶۸/۰۸	۴/۸۴	۰/۴۹	شستشو اول	۵
۶۹/۲۶	۱/۱۸	۰/۱۲	شستشو دوم	۶
۶۹/۲۶	۰	۰	شستشو سوم	۷
	۶۹/۲۶	۷/۰۸	مجموع	۸

شکل ۵ نمودار غلظت و بازیابی تجمعی نسبت به زمان لیچینگ را برای آزمون ستونی شماره دو نشان می‌دهد. مطابق شکل، مقدار بازیابی محاسباتی با توجه به عیار مس محاسباتی نمونه ۷/۰۸ درصد و میزان بازیابی ۶۹/۲۶ درصد است که با بازیابی بدست آمده تطابق دارد.



شکل ۵- نمودار غلظت و بازیابی تجمعی نسبت به زمان لیچینگ آزمون ستونی شماره دو

شکل ۶ نمودار تغییرات دبی و pH محلول باردار آزمون ستونی شماره دو را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار تغییرات pH محلول مشاهده میشود با گذشت زمان pH محلول‌های خروجی کاهش می‌یابد. سه بار شستشو نمونه برای بالا بردن بازیابی، افزایش ناچیزی در مقدار pH تجمعی محلول خروجی ایجاد کرد.



شکل ۶- نمودار تغییرات دبی و pH محلول باردار آزمون ستونی شماره دو

۴. نتیجه‌گیری

بازیابی محاسباتی برای ابعاد ۱۰- و ۳۰- میلی‌متر با محلول اسید سولفوریک ۲۰ گرم بر لیتر به ترتیب ۶۹/۲۶ و ۶۷/۷۵ درصد و مقادیر غلظت مس به ترتیب ۷/۰۸ و ۸/۳۱ گرم بر لیتر محاسبه شد. دلیل بالا بودن بازیابی برای نمونه ریزتر افزایش سطح تماس نمونه با محلول لیچ می‌باشد. همچنین می‌توان علت نزدیک بودن مقدار بازیابی نمونه درشت‌تر به نمونه ریزتر را زیاد بودن مقدار اسید مصرفی مورد نیاز و مناسب بودن زمان ماند محلول دانست. اختلاف بازیابی در آزمایش‌های با اسید سولفوریک ۲۰ گرم بر لیتر بسیار ناچیز و در حدود ۱/۵ درصد است. این در حالی است که انجام آزمایش بر روی ذرات با ابعاد ۱۰- به دلیل یک مرحله خردایش بیشتر، هزینه‌های بیشتری را به دنبال دارد. بطور کلی با کاهش ابعاد، بازیابی مس در آزمایش‌های انجام شده با محلول اسید سولفوریک یکسان افزایش یافته که علت آن افزایش سطح تماس می‌باشد.

منابع و مراجع

1. Davenport, W.G., King, M., Shlesinger, M., Bisawas, A.K.; (2002): "Extractive Metallurgy Of Copper"; Forth Edition.
2. Ntengwe, F.W.; (2010): "The Leaching Of Dolomitic-Copper Ore Using Sulphuric Acid Under Controlled Conditions"; Copperbelt University, School Of Technology, Chemical Engineering Department; The Open Mineral Processing Journal; pp60-67.
3. Jansen, M., Taylor, A.; (2008): "Overview Of Gangue Mineralogy Issues In Oxide Copper Heap Leaching"; International Project Development Services Pty Limited Presented.
۴. حبشی، فتحی؛ (۱۳۷۸)، "هیدرومتالورژی"؛ ترجمه: شفایی، سید ضیاءالدین، عبدالهی، محمود؛ انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود؛ جلد اول.
5. Shayestehfar, M.R., Karimi Nasab S., Mohammadalizadeh, H.; (2008): "Mineralogy, Petrology, And Chemistry Studies To Evaluate Oxide Copper Ores For Heap Leaching In Sarcheshmeh Copper Mine"; Kerman, Iranmining Engineering Department, Shahid Bahonar University Of Kerman; Journal Of Hazardous Materials; pp602-612.

6. Mbuyu, L., Kasonde, M., Kongolo K.;N (2009): “*Investigation into the heap leaching of copper ore from the Disele deposit*”, Hydrometallurgy; pp177–180.
- 16-Trask, F., Mackie, D.; (2010): “*Continuous Vat Leaching-First Copper Pilot Trials*”; INNOVAT Limited, Australia.
7. Miller, G., Newton, T.; (1999): “*Copper Heap Leach Testing*”, Interpretation And Scale Up; ALTA Copper Hydrometallurgy Forum, QLD.