

بررسی لیچینگ سرباره کوره ریورب مس سرچشمه با استفاده از هیدروژن پراکسید و نانوذرات هماتیت

عارف فقیهی^۱، مهران قلی نژاد^۲، اسماعیل رحیمی^۳، احمد ادیب^۳

- ۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران
۲- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران
۳- دانشیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران

(دریافت ۱۳۹۹/۰۳/۱۲، پذیرش ۱۳۹۹/۰۷/۱۴)

چکیده

لیچینگ سرباره کوره ریورب مس سرچشمه با استفاده از اسید سولفوریک و هیدروژن پراکسید مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه آنالیزها نشان داد که سرباره حاوی ۰/۷ درصد مس و ۳۷/۷۵ درصد آهن و عمده فازها و کانی‌های سرباره فایالیت، مگنتیت، دیوپسیت و کالکوپیریت است. تاثیر پارامترهای مختلف شامل اندازه ذرات، دما، pH، غلظت هیدروژن پراکسید و سرعت همزدن پالپ مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده با کاهش اندازه ذرات سرباره از ابعاد ۲۵۰-۱۵۰ به ۷۵-۴۸ میکرون حداکثر بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۲۳/۰۳ و ۲۲/۳۴ درصد به ۲۶/۱۴ و ۲۸/۱۲ درصد افزایش یافت ولی با کاهش بیشتر اندازه ذرات سرباره تا کمتر از ۴۸ میکرون افزایش کمی در بازیابی مس و آهن مشاهده شد. با کاهش pH پالپ از ۲/۴ تا ۱/۵ میزان بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۱۸/۱۲ و ۲۰/۹۵ درصد به ۲۹/۱۴ و ۳۱/۰۴ درصد افزایش یافت. تغییر در غلظت اولیه هیدروژن پراکسید بیشترین تاثیر را بر بازیابی مس از خود نشان داد. افزایش غلظت هیدروژن پراکسید از ۰/۵ تا ۲ مولار سبب افزایش بازیابی مس از ۲۹/۱۴ به ۵۴/۱۲ درصد شد ولی افزایش بیشتر غلظت هیدروژن پراکسید تا ۳ مولار، بازیابی آهن را تشدید کرد. افزایش دمای پالپ از ۳۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش بازیابی مس از ۵۳/۵ تا ۵۹/۵ درصد شد ولی تاثیر افزایش دما تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بر بازیابی آهن مشهود بود. استفاده از نانوذرات هماتیت در فرآیند لیچینگ، سبب بهبود عملکرد هیدروژن پراکسید و افزایش بازیابی مس شد.

کلمات کلیدی

سرباره ریورب، لیچینگ سرباره، اسید سولفوریک، هیدروژن پراکسید، هیدرومتالورژی.

۱- مقدمه

بررسی انحلال مس از سرباره به بررسی و کنترل انحلال آهن و سیلیس از سرباره نیز پرداخته شده است. در این مطالعه برای دستیابی به حداکثر بازیابی مس و جلوگیری از انحلال بالای آهن، تاثیر پارامترهای موثر بر لیچینگ شامل اندازه ذرات، زمان، pH، غلظت هیدروژن پراکسید، دما، سرعت همزدن و زمان بر لیچینگ سرباره مورد بررسی قرار گرفته است. تاکنون تحقیقات متعددی درخصوص استفاده از نانوذرات به عنوان کاتالیزور در بهبود عملکرد هیدروژن پراکسید به عنوان یک عامل اکسیدکننده، در صنایع متعددی از جمله صنعت رنگ‌زدایی و تصفیه آب انجام شده است [۱۶-۱۴]. در این مطالعه تاثیر استفاده از نانوذرات هماتیت، به عنوان کاتالیزور در بهبود عملکرد هیدروژن پراکسید به عنوان یک عامل اکسیدکننده، در فرآیند لیچینگ بررسی شده است.

۲- مواد و روش‌ها

برای شناسایی فازها و کانی‌های تشکیل‌دهنده سرباره ریورب مس سرچشمه، از آنالیز پراش اشعه ایکس استفاده شده است (فیلیپس، اکسپرت پرو، هلند). مطابق شکل ۱ داده‌های حاصل از نمودار پراش اشعه ایکس وجود مگنتیت، فایالیت و دیوپساید را در ترکیب سرباره نشان می‌دهد.

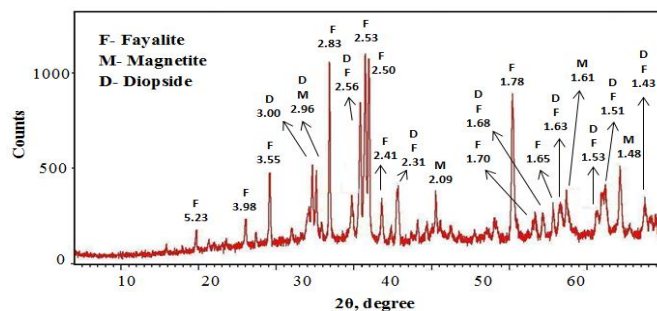
مطابق شکل‌های ۲ و ۳ بررسی سرباره به وسیله دوربین میکروسکوپ الکترونی روبشی (تی اسکن، جمهوری چک) و همچنین طیف پراش انرژی پرتو ایکس، ضمن شناسایی کانی‌های حاوی مس، گویای این است که عمده این کانی‌ها از نوع سولفیدی و عناصر تشکیل‌دهنده آن‌ها شامل آهن، مس و گوگرد است که شدت طیف‌ها عمدتاً با غلظت عناصر موجود در ساختار کالکوپیریت تناسب دارد. برای شناسایی نوع و مقدار ترکیبات عناصر موجود در سرباره، از روش تجزیه شیمیایی به روش فلورسانس پرتو ایکس (واریان 55B، استرالیا) و روش طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی (واریان 735، آمریکا) استفاده شد. برای تعیین دقیق مقدار آهن موجود در سرباره به دلیل بالا بودن عیار آهن از روش شیمی تر و سپس روش جذب اتمی (واریان AA800، استرالیا) استفاده شده است. نتایج آنالیزهای ترکیبات عناصر سرباره در جدول ۱ ارائه شده است.

برای انجام آزمایش‌های لیچینگ، در ابتدا برای آماده‌سازی نمونه، سرباره ریورب مس سرچشمه به وسیله سنگ‌شکن فکی (کیان معدن پارس، ایران) مورد خردایش قرار گرفته و به اندازه ابعادی ۰٫۵ تا ۱٫۵ سانتی‌متر رسانده شده است. سپس به وسیله

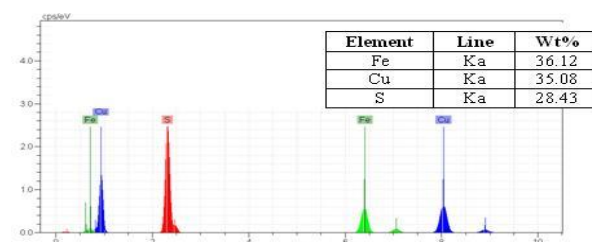
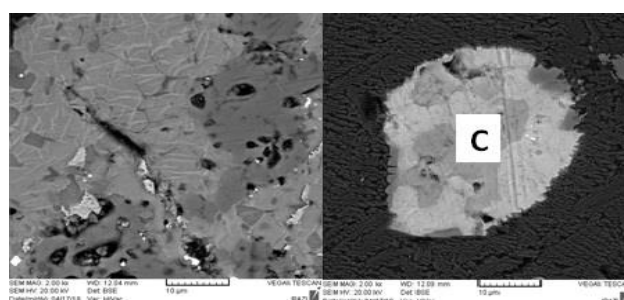
استفاده از معادن فلزی با عیار بالا با گذشت زمان سبب کاهش ذخایر این معادن و در نتیجه معطوف شدن توجه معدنکاران به استفاده از منابع کم‌عیار فلزی شده است [۱]. سرباره‌های مس همواره حاوی فلزات باارزش است که بازیابی آن‌ها در راستای استفاده صحیح از منابع معدنی همواره مورد توجه است [۲]. فرآوری سرباره‌ها در مقیاس بزرگ و صنعتی نیازمند تکنولوژی مناسبی است که امروزه لزوم انجام تحقیقات گسترده برای بهبود چنین تکنولوژی احساس می‌شود. در حال حاضر بیشتر سرباره‌های صنعتی بدون بهره‌گیری کامل از ویژگی‌های آن‌ها استفاده و یا گاه به جای بهره‌گیری دور ریخته می‌شوند. دیو و انباشت سرباره تحت تاثیر عواملی مانند باران‌های شدید، باد، گرد و غبار و نشت تصادفی آب زهکشی اثرات متعدد و مخربی را به همراه دارد. برای فرآوری سرباره‌های کوره‌های مس، ترکیب شیمیایی و مینرالوژیکی سرباره‌ها اهمیت زیادی دارد که تحت تاثیر کانی‌ها و اجزای تشکیل‌دهنده کنسانتره، فرآیند پیرومتالورژیکی و نحوه سرد کردن سرباره است [۳-۵].

در حال حاضر ذخیره انبار شده فعلی سرباره کوره‌های ریورب مس سرچشمه در حدود چند ده میلیون تن است. یکی از روش‌هایی که برای استحصال مس از سرباره‌ها همواره اهمیت دارد، استفاده از روش هیدرومتالورژی است. برای لیچینگ کانی‌ها و فازهای سولفیدی موجود در ترکیب سرباره مس، استفاده از یک اکسیدکننده مانند هیدروژن پراکسید در کنار حلال ضروری است. تاکنون تحقیقات مختلفی از جمله لیچینگ سرباره در حضور کلرید آهن [۶]، لیچینگ تحت فشار [۷]، لیچینگ سرباره با استفاده از دی کرمات پتاسیم [۸]، بهبود لیچینگ سرباره با به کارگیری امواج فراصوت [۹]، لیچینگ سرباره مس به کمک سولفات آهن [۱۰]، استفاده از کلرات سدیم برای اکسیداسیون فازهای سولفیدی سرباره [۱۱]، بیولیچینگ سرباره‌ها [۱۲، ۱۳] و لیچینگ سرباره با استفاده از هیدروکسید آمونیم [۳] برای لیچینگ سرباره‌های مس انجام شده است.

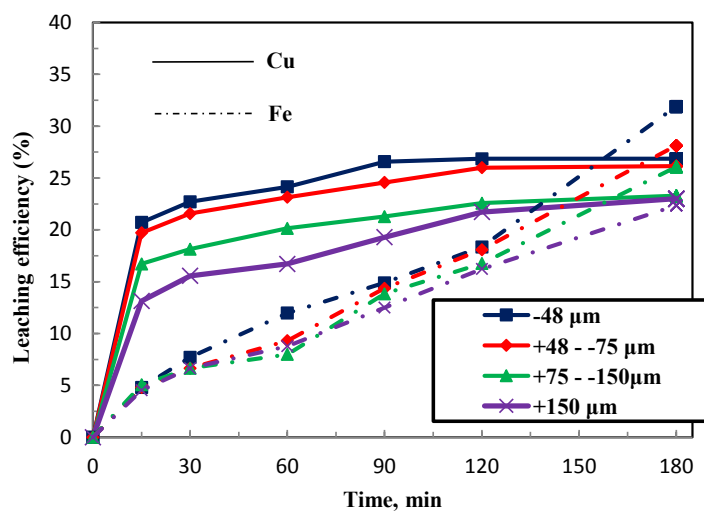
در این پژوهش به بررسی به کارگیری اسید سولفوریک به عنوان حلال و هیدروژن پراکسید به عنوان اکسیدکننده در لیچینگ سرباره‌های ریورب مس سرچشمه پرداخته شده است. با توجه به اینکه سرباره‌های کوره‌های ریورب مقدار قابل توجهی آهن و سیلیس در ترکیب خود دارند، از این رو ضمن



شکل ۱: الگوی XRD سرباره ریورب مس سرچشمه



شکل ۲: تصاویر میکروسکوپ الکترونی و طیف پراش انرژی پرتو ایکس کانی‌های حاوی مس سرباره ریورب مس سرچشمه



شکل ۳: بررسی تاثیر اندازه ذرات سرباره بر بازیابی مس و آهن (شرایط آزمایش: pH برابر ۱٫۸، غلظت اولیه هیدروژن پراکسید برابر ۰٫۵ M، دما برابر ۳۵ °C و سرعت همزدن ۴۵۰ rpm)

جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی سرباره ریورب مس سرچشمه

عنصر	Fe	Cu	S	SiO ₂	Ca	Al	Zn	Mg
درصد	۳۷٫۷۵	۰٫۷۰	۱٫۱۵	۳۲٫۵۲	۰٫۶۷	۰٫۹۰	۰٫۷۷	۰٫۳۸

افزایش یافته است. کاهش اندازه ذرات سرباره سبب افزایش سطح تماس ذرات و در نتیجه تماس بهتر ذرات با اسید و اکسیدکننده می‌شود [۱۷]. با کاهش بیشتر اندازه ذرات سرباره تا ابعاد ۴۸- میکرون، بازیابی مس افزایش ناچیزی از خود نشان داده، در حالی که بازیابی آهن افزایش محسوسی داشته است. بازیابی مس در ۱۵ دقیقه ابتدایی لیچینگ برابر ۲۲٫۱۸ درصد است، در حالی که بازیابی آهن در زمان مشابه برابر ۴٫۷۷ درصد است. دلیل این امر انحلال فازها و کانی‌های اکسیدی مس در ابتدای فرآیند لیچینگ است [۱۹، ۱۸]. با توجه به هزینه بالای خریدش و نظر به اینکه خریدش مناسب یکی از عوامل مهم در کنترل هزینه‌های فرآوری مواد معدنی است، اندازه مناسب ذرات سرباره برای بررسی فرآیند لیچینگ برابر ۴۸-۷۵ میکرون تعیین شد.

۳-۲- تاثیر pH پالپ

pH پالپ یکی از پارامترهای تاثیرگذار در لیچینگ سرباره‌ها است. برای بررسی میزان تاثیر پارامتر pH بر بازیابی مس و آهن، آزمایش‌ها در محدوده pH بین ۱٫۵ تا ۲٫۴ انجام شدند. در غلظت‌های زیاد اسیدی انرژی فعالسازی اولیه و نیروی محرکه انحلال افزایش می‌یابد همچنین تشکیل ژل سیلیکاته مطابق روابط ۱ تا ۳ تشدید می‌یابد. از طرف دیگر در pH بالا اگرچه با کاهش غلظت حلال، مقدار آهن حل شده نیز کمتر خواهد بود، ولی با کم شدن غلظت اسید، قسمتی از آهن به صورت سولفات‌های قلیایی درمی‌آید که سطح کانه را پوشانده و مانع حل شدن مس می‌شود. همچنین آهن حل شده به صورت هیدروکسید رسوب کرده و مانع از حل شدن بعدی ترکیبات می‌شود [۱۸]. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با کاهش pH پالپ از ۲٫۴ تا ۱٫۵ میزان بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۱۸٫۱۲ و ۲۰٫۹۵ درصد به ۲۹٫۱۴ و ۳۱٫۰۴ درصد افزایش یافته است. بازیابی مس در ۱۵ دقیقه ابتدای واکنش افزایش چشمگیری داشته است در حالی که تاثیر کاهش pH در افزایش بازیابی آهن در ۳۰ دقیقه ابتدایی واکنش ناچیز بوده است. pH مناسب پالپ به دلیل افزایش بازیابی مس و تاثیر کم

آسیای میله‌ای و گلوله‌ای (کیان معدن پارس، ایران) ابعاد سرباره‌ها به اندازه کمتر از ۲۵۰ میکرون رسانده شده و سپس در اندازه‌های مختلف سرنده شده است (۴۸-، ۷۵-، ۴۸-۱۵۰-، ۷۵-، ۱۵۰-۲۵۰ میکرومتر). لیچینگ سرباره‌های پودر شده در راکتور شیشه‌ای دو لیتری با همزن مکانیکی (سهند آذر، ایران) انجام شده است. کلیه آزمایش‌های لیچینگ با درصد جامد ۴۰ انجام شده و در طول انجام آزمایش دما و pH به طور مرتب اندازه‌گیری و ثابت نگه داشته شده است. برای به دست آوردن سینتیک لیچینگ در فواصل زمانی معین نمونه‌گیری انجام شده و با دستگاه جذب اتمی محاسبات مربوطه مقدار بازیابی مس و آهن محاسبه شده است.

۳- بحث و نتایج

آزمایش‌های لیچینگ برای دستیابی به حداکثر بازیابی مس و کاهش انحلال سیلیکات‌ها (غالباً فایالیت) و ممانعت از تشکیل جاروسیت با در نظر گرفتن خواص کانی‌شناسی و شیمیایی سرباره ریورب مس سرچشمه انجام شدند. با توجه به نتایج بررسی‌های کانی‌شناسی و شیمیایی سرباره انحلال سیلیکات‌های آهن (فایالیت) مطابق رابطه ۱ و تشکیل ژل سیلیکاته مطابق روابط ۲ و ۳ رخ می‌دهد. در این واکنش‌ها Me فلز است (مس، آهن و نظایر آن).



۳-۱- تاثیر اندازه ذرات

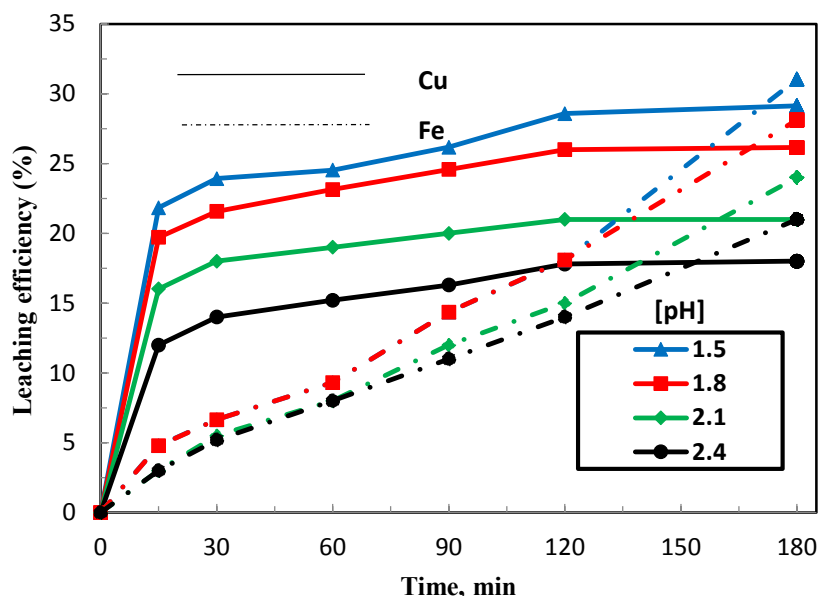
تاثیر اندازه ذرات سرباره بر روی بازیابی مس و آهن از سرباره ریورب مس سرچشمه بر روی چهار بخش ابعادی (۲۵۰-، ۱۵۰-، ۷۵-، ۴۸- میکرون) مورد بررسی قرار گرفت. مطابق شکل ۳ با کاهش اندازه ذرات از بازه ابعادی ۲۵۰- تا ۱۵۰- میکرون حداکثر بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۲۳٫۰۳ و ۲۲٫۳۴ درصد به ۲۶٫۱۴ و ۲۸٫۱۲ درصد

بر بازیابی آهن برابر ۱/۵ در نظر گرفته شد.

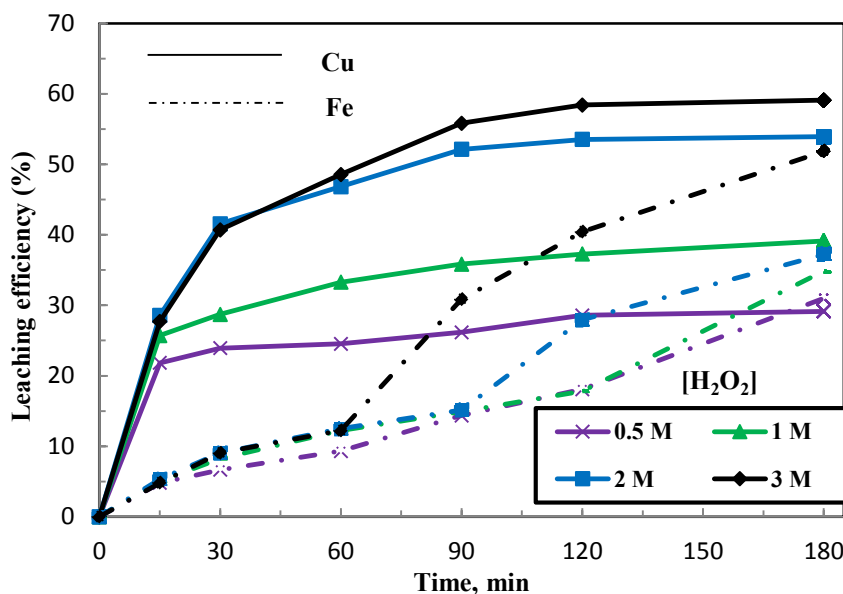
۳-۳- تاثیر غلظت اولیه هیدروژن پراکسید

با توجه به این که سرباره ریورب مس سرچشمه از کانی‌های سولفیدی مس از جمله کالکوپیریت تشکیل شده است، کاربرد

هیدروژن پراکسید در لیچینگ سرباره بسیار تاثیرگذار است. همان‌طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است افزایش غلظت هیدروژن پراکسید از ۰٫۵ تا ۲ مولار سبب افزایش بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۲۹٫۱۴ و ۳۱٫۱۵ درصد به ۵۴٫۱۲ و ۳۶٫۹۵ درصد شده است. علت این امر قدرت بالای اکسیدکنندگی



شکل ۴: بررسی تاثیر pH بر بازیابی مس و آهن (شرایط آزمایش: اندازه ذرات ۴۸-۷۵ میکرون، غلظت اولیه هیدروژن پراکسید برابر ۰٫۵ M، دما برابر ۳۵ °C و سرعت همزدن ۴۵۰ rpm)



شکل ۵: بررسی تاثیر غلظت اولیه هیدروژن پراکسید بر بازیابی مس و آهن (شرایط آزمایش: اندازه ذرات برابر ۴۸-۷۵ میکرون، pH برابر ۱٫۵، دما برابر ۳۵ °C و سرعت همزدن ۴۵۰ rpm)

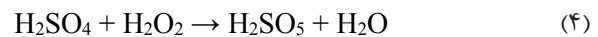
نیز به نسبت شدت بیشتری می‌یابد [۲۱]. بر اساس یافته‌های حاصل از آزمایش‌های قبل، مشاهده شد که لیچینگ سرباره در بازه زمانی بیش از ۱۲۰ دقیقه سبب افزایش بازیابی آهن شده و بر بازیابی مس تاثیر ناچیزی داشته است، بنابراین زمان لیچینگ به ۱۲۰ دقیقه کاهش یافت. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد با افزایش دما از ۳۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد بازیابی مس از ۵۳٫۵۵ تا ۵۹٫۵۲ درصد افزایش یافته است. علت این افزایش نیاز واکنش به یک انرژی فعال‌سازی اولیه و نیروی محرکه انحلال است که در نبود آن، میزان انحلال کاهش می‌یابد [۲۲].

با افزایش دما از ۴۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد بازیابی مس از ۵۹٫۵۲ تا ۶۱٫۸۸ درصد و بازیابی آهن از ۳۶٫۳۱ تا ۶۳٫۱۲ درصد افزایش داشته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دمای بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد بازیابی آهن به شدت افزایش یافته است و این سبب تشدید تشکیل ژل سیلیکاته و بروز مشکلات بعدی در فرآیند فرآوری می‌گردد. از این رو دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به دلیل افزایش بازیابی مس و تاثیر کم بر افزایش بازیابی آهن، برای لیچینگ سرباره تعیین گردید.

۳-۵- تاثیر سرعت همزدن پالپ

برای بررسی تاثیر سرعت همزدن پالپ بر بازیابی مس و آهن از سرباره، آزمایش‌های لیچینگ در مقادیر ۱۵۰،

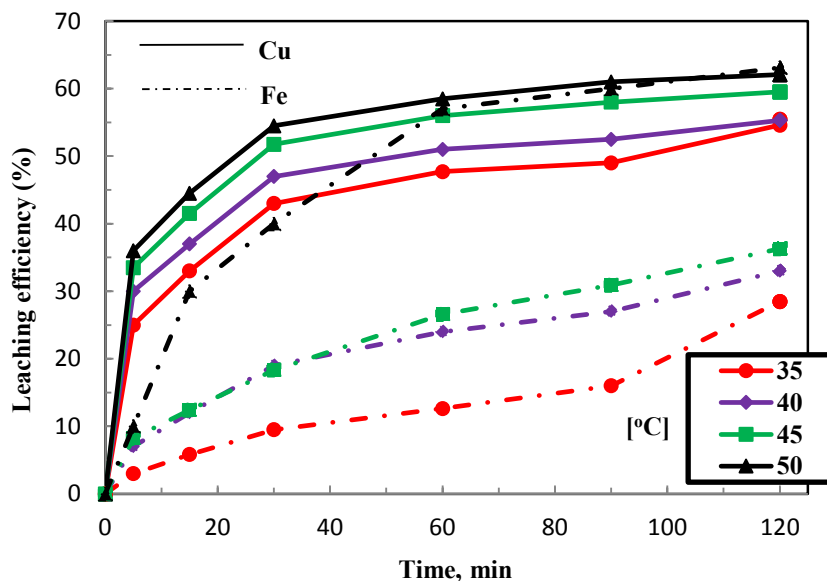
هیدروژن پراکسید در اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی مس و همچنین بالا بردن سرعت انحلال است. با افزایش بیشتر غلظت هیدروژن پراکسید از ۲ تا ۳ مولار بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۵۴٫۱۲ و ۳۶٫۹۵ به ۵۹٫۳۳ و ۵۱٫۴۷ درصد افزایش یافته که بیشتر بر افزایش بازیابی آهن تاثیرگذار بوده است. زیرا افزایش غلظت هیدروژن پراکسید همچنین به معنی مصرف هیدروژن پراکسید بیشتر در واکنش با اسید است که مطابق واکنش ذیل به تشکیل محلول پیرانها منجر می‌شود:



محلول پیرانها یک اکسیدکننده بسیار قوی است که یون‌های آهن را سریع‌تر و بیشتر حل می‌کند [۲۰]. بنابراین، غلظت ۲ مولار هیدروژن پراکسید به دلیل افزایش بازیابی مس و تاثیر کم در افزایش بازیابی آهن، جهت لیچینگ سرباره تعیین می‌شود.

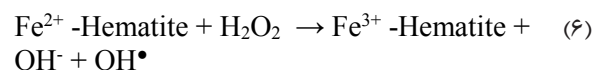
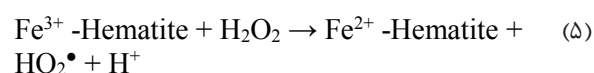
۳-۴- تاثیر دمای پالپ

دما یکی از پارامترهای بسیار تاثیرگذار بر لیچینگ سرباره است. برای بررسی میزان تاثیر دما بر روی بازیابی مس و آهن از سرباره، آزمایش‌ها در دماهای ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت؛ زیرا در دماهای بالاتر، ضمن تحمیل هزینه بیشتر برای تامین حرارت، نرخ تجزیه هیدروژن پراکسید



شکل ۶: بررسی تاثیر دمای پالپ بر بازیابی مس و آهن (شرایط آزمایش: اندازه ذرات برابر ۷۵-۴۸ میکرون، pH برابر ۱٫۵، غلظت هیدروژن پراکسید برابر ۲ M و سرعت همزدن ۴۵۰ rpm)

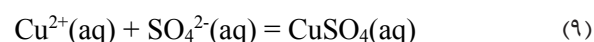
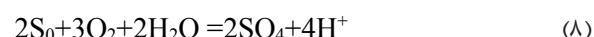
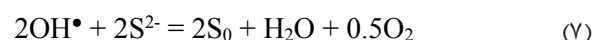
[۲۹-۳۲].



رادیکال‌های هیدروکسیل به شدت ناپایدار و اکسیدکننده‌هایی بسیار فعال‌تر از هیدروژن پراکسیداند و با ثابت سرعت بسیار بالا به ترکیبات مختلف حمله کرده و در نهایت موجب اکسید شدن آن‌ها می‌شوند [۳۳].

نانوذرات هماتیت دارای کسر زیادی از اتم‌ها در سطح ذرات هستند و از طرفی فعالیت شیمیایی یک کاتالیست متناسب با مقدار سطح ویژه آن در واحد حجم است [۳۴-۳۶].

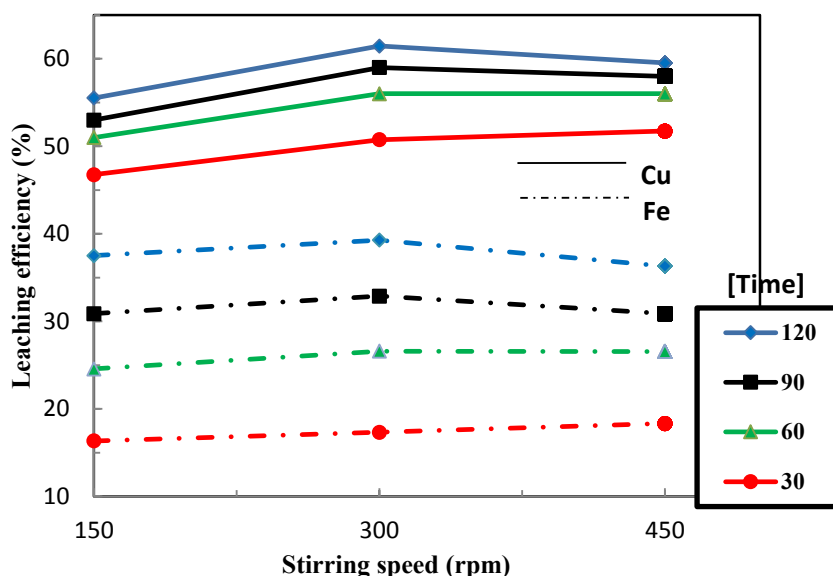
گوگرد عنصری به واسطه مجاورت کانی‌های سولفیدی مس و رادیکال‌های هیدروکسیل مطابق رابطه ۷ تشکیل می‌شود. سپس گوگرد عنصری مطابق رابطه ۸ به یون‌های سولفات تبدیل شده و در نهایت سولفات‌های مس محلول مطابق رابطه ۹ تشکیل می‌شوند [۳۷-۳۹].



۳۰۰ و ۴۵۰ دور بر دقیقه انجام شد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد با افزایش سرعت همزدن از ۱۵۰ تا ۳۰۰ دور بر دقیقه، بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۵۵/۶۱ و ۳۷/۵۱ درصد تا ۶۱/۴۵ و ۳۹/۲۸ درصد افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش سرعت همزدن پالپ تماس بهتری بین اسید و هیدروژن پراکسید و ذرات سرباره که دارای وزن مخصوص بالایی است به وجود می‌آید و همچنین سولفات‌های قلیایی و رسوبات هیدروکسیدی که سبب پوشاندن سطح ذرات می‌شود کاهش می‌یابند. همچنین ضخامت لایه غیرفعال در سطح ذرات کاهش یافته و لایه دیفیوژن تحت تاثیر قرار می‌گیرد و اکسیژن بهتری نیز در پالپ حل و سبب انحلال بهتر مس می‌شود [۲۴، ۲۳] اما با افزایش سرعت همزدن از ۳۰۰ تا ۴۵۰ دور بر دقیقه بازیابی مس کاهش یافته است. دلیل این امر تسریع در تجزیه هیدروژن پراکسید با افزایش سرعت همزدن تا ۴۵۰ دور بر دقیقه است [۲۵]، بنابراین سرعت همزدن پالپ برابر ۳۰۰ دور بر دقیقه تعیین می‌گردد.

۳-۶- استفاده از نانوذرات هماتیت

هیدروژن پراکسید در اثر تماس با سطح نانوذرات آهن‌دار به رادیکال‌های فعال هیدروکسیل تجزیه می‌شود [۲۸-۲۶]. تجزیه هماتیت به رادیکال‌های فعال هیدروکسیل در اثر تماس با سطح نانوذرات هماتیت مطابق روابط ۵ و ۶ انجام می‌شود

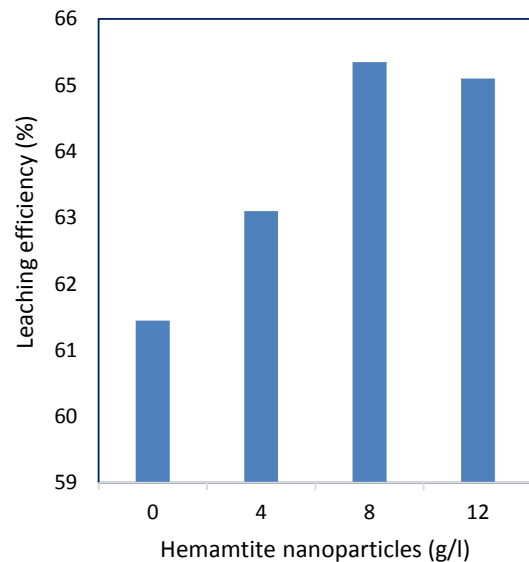


شکل ۷: بررسی تاثیر سرعت همزدن بر بازیابی مس و آهن (شرایط آزمایش: اندازه ذرات برابر ۷۵-۴۸ میکرون، pH برابر ۱/۵، غلظت اولیه هیدروژن پراکسید برابر ۲ M و دما برابر ۴۵ °C)

۴- نتیجه گیری

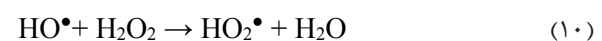
نتایج لیچینگ سرباره حاکی از این است که کانی‌های اکسیدی مس در ابتدای فرآیند لیچینگ و کانی‌های سولفیدی مس عمدتاً پس از کانی‌های اکسیدی انحلال یافته است. بازیابی مس در ۱۵ دقیقه ابتدایی لیچینگ با شیب تندی افزایش داشته است که این افزایش با انحلال کانی‌ها و فازهای اکسیدی مس مرتبط است. همچنین انحلال آهن در زمان‌های پایانی لیچینگ افزایش چشمگیری داشته است. به همین دلیل مشاهده شد کنترل زمان، یک پارامتر تاثیرگذار در لیچینگ سرباره است. با کاهش اندازه ذرات سرباره از ۲۵۰-۱۵۰ به ۷۵-۴۸ میکرون حداکثر بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۲۳٫۰۳ و ۲۲٫۳۴ درصد به ۲۶٫۱۴ و ۲۸٫۱۲ درصد افزایش یافته است و با کاهش بیشتر اندازه ذرات سرباره تا کمتر از ۴۸ میکرون افزایش کمی در بازیابی مس و آهن مشاهده می‌شود. با کاهش pH پالپ از ۲٫۴ تا ۱٫۵ میزان بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۱۸٫۱۲ و ۲۰٫۹۵ درصد به ۳۱٫۰۴ و ۲۹٫۱۴ درصد افزایش یافته است. کاهش pH سبب افزایش انرژی فعالسازی اولیه و نیروی محرکه انحلال و در نهایت بازیابی مس شده است. با افزایش دمای پالپ از ۳۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد بازیابی مس از ۵۴٫۵۸ تا ۵۹٫۵۲ درصد افزایش می‌یابد. ولی با افزایش بیشتر دما تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش کمی در بازیابی مس مشاهده می‌شود و این در حالی است که بازیابی آهن از ۳۶٫۳۱ تا ۶۳٫۱۲ درصد افزایش داشته است. افزایش غلظت هیدروژن پراکسید از ۰٫۵ تا ۳ مولار سبب افزایش بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۲۱٫۷۱ و ۳۱٫۱۵ درصد به ۵۹٫۱۲ و ۵۱٫۸۷ درصد شده است. با افزایش بیشتر غلظت هیدروژن پراکسید از ۲ به ۳ مولار افزایش کمی در بازیابی مس مشاهده می‌شود، در حالی که بازیابی آهن افزایش چشمگیری داشته است. با افزایش سرعت همزدن از ۱۵۰ تا ۳۰۰ دور بر دقیقه، بازیابی مس و آهن به ترتیب از ۵۵٫۵۲ و ۳۶٫۳۱ درصد تا ۶۱٫۴۵ و ۳۹٫۲۸ درصد افزایش می‌یابد. اما با افزایش سرعت همزدن از ۳۰۰ تا ۴۵۰ دور بر دقیقه بازیابی مس کاهش یافته است. به کارگیری همزمان نانوذرات هماتیت و هیدروژن پراکسید در فرآیند لیچینگ، به دلیل وجود کسر زیادی از اتم‌ها در سطح نانو ذرات، سبب تجزیه هیدروژن پراکسید به رادیکال‌های فعال هیدروکسیل می‌شود. رادیکال‌های هیدروکسیل به شدت ناپایدار و اکسیدکننده‌هایی بسیار فعال‌تر از هیدروژن پراکسیداند و سبب بهبود فرآیند اکسیداسیون و در نهایت بازیابی مس می‌شوند.

همچنین بخشی از نانوذرات هماتیت در طول مدت زمان لیچینگ در پالپ حل شده که سبب تولید یون فریک در محلول و کمک به اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی مس می‌شود [۴۰، ۱۸].



شکل ۸: بررسی تاثیر به کارگیری نانوذرات هماتیت بر بازیابی مس از سرباره (شرایط آزمایش: اندازه ذرات برابر ۷۵-۴۸ میکرون، pH برابر ۱٫۵، غلظت اولیه هیدروژن پراکسید برابر ۲ M، دما برابر ۳۰°C و ۴۵ و مدت زمان آزمایش ۱۲۰ دقیقه)

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد با افزایش مقدار اولیه نانوذرات هماتیت از صفر به ۸ گرم بر لیتر حداکثر بازیابی مس از ۶۱٫۲۵ به ۶۵٫۳۱ درصد افزایش یافته است ولی با افزایش بیشتر مقدار نانوذرات هماتیت تا ۱۲ گرم بر لیتر نه تنها تاثیری بر افزایش بازیابی مس مشاهده نشد، بلکه سبب کاهش بازیابی مس به ۶۵٫۰۳ درصد شده است. زیرا با افزایش مقدار اولیه نانوذرات هماتیت بیش از یک حد معین، مقدار رادیکال‌های هیدروکسیل تولید شده نیز بسیار افزایش یافته و واکنش رادیکال‌های هیدروکسیل تولید شده با هیدروژن پراکسید موجود در محلول مطابق رابطه ۱۰ سبب کاهش میزان اکسیدکنندگی و بازیابی مس می‌گردد [۴۱-۴۳].



همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود در حضور هیدروژن پراکسید افزایش مقدار اولیه نانوذرات هماتیت سبب بهبود بازیابی مس می‌گردد.

۵- مراجع

- and Van Hullebusch, E. D. (2016a). "Comparison of Cu, Zn and Fe bioleaching from Cu-metallurgical slags in the presence of *Pseudomonas fluorescens* and *Acidithiobacillus thiooxidans*". Applied Geochemistry, 68: 39-52.
- [13] Potysz, A., Van Hullebusch, E. D., Kierczak, J., Grybos, M., Lens, P. N. L., and Guibaud, G. (2015). "Copper metallurgical slags - current knowledge and fate: a review, Crit. Rev. Environ". SciTechnol, 45: 2424-2488.
- [14] Khataee, A., Gholami, P., and Vahid, B. (2017). "Catalytic performance of hematite nanostructures prepared by N₂ glow discharge plasma in heterogeneous Fenton-like process for acid red 17 degradation". Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 50: 86-95.
- [15] Chan, J. Y. T., Ang, S. Y., Ye, E. Y., Sullivan, M., Zhang, J., and Lin, M. (2015). "Heterogeneous photo-Fenton reaction on hematite (α -Fe₂O₃) {104}, {113} and {001} surface facets". Physical Chemistry, Chemical Physics, 17: 25333-25341.
- [16] Huang, X., Chen, Y., Walter, E., Zong, M., Wang, Y., Zhang, X., Qafolu, O., Wang, Z., and Kevin, M. R. (2019). "Facet-Specific Photocatalytic Degradation of Organics by Heterogeneous Fenton Chemistry on Hematite Nanoparticles". Environmental Science And Technology, 53: 10197-10207.
- [17] Li, M., Zhand, Y., Wang, Z. H., Yang, J. G., Qiao, S., and Zheng, S. L. (2016). "Extraction of copper, zinc and cadmium from copper-cadmium bearing slag by oxidative acid leaching process". Rare Metals, 25: 1-10.
- [18] Moravyov, M. I., Fomchenko, N. V., Usoltsev A. V., Vasilyev, E. A., and Kondrateva, T. S. (2012). "Leaching of copper and zinc from copper converter slag flotation tailings using H₂SO₄ and biologically generated Fe₂(SO₄)₃". Hydrometallurgy, 119-120: 40-46.
- [19] Urosevic, D. M., Dimitrijevic, M. D., Jankovic, Z. D., and Antik, D. V. (2014). "Recovery of copper from copper slag and copper slag flotation tailings by oxidative leaching". Physicochemical Problems of Mineral Processing, 51: 73-82.
- [20] Abou-Yousef, H., El-Sakhawy, M., and Kamel, S. (2005). "Multi-stage Bagasse pulping by using alkali/Caro's acid treatment". Industrial Crops and Products, 21: 337-341.
- [21] Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., and Bissonnette, C. (2016). "General chemistry: principles & modern applications". Prentice Hall, 11rd Ed., pp. 606.
- [22] Kiraci, A., and Yurtseven, H. (2012). "Temperature dependence of the raman frequency, damping constant
- [1] Masloboev, V. A., Seleznev, S. G., Svetlov, A. V., and Makarov, D. V. (2018). "Hydrometallurgical Processing of Low-Grade Sulfide Ore and Mine Waste in the Arctic Regions: Perspectives and Challenges". Minerals, 8(10): 436.
- [2] Kamran Khalid, M., Hamuyuni, J., Agarwal, V., Pihlasalo, J., Haapalainen, M., and Lundstroma, M. (2019). "Sulfuric acid leaching for capturing value from copper rich converter slag". Journal of Cleaner Production, 215: 1005-1013.
- [3] Aracena, A., Fernandez, F., Jerez, O. A., and Jaques, A. (2019). "Converter slag leaching in ammonia medium/column system with subsequent crystallisation with NaSH". Hydrometallurgy, 188: 31-37.
- [4] Shen, H., and Forssberg, E. (2003). "An overview of recovery of metals from slags". Waste Management, 23: 933-949.
- [5] Balakrishnan, M., Batra, V. S., and Hargreaves, J. S. J. (2014). "Waste from metal processing industries". In Hargreaves, J. S. J., Pulford, I. D., Balakrishnan, M., Batra, V. S. (Eds.), Conversion of Large Scale Wastes into Value-Added Products. CRC Press, Boca Raton, 23-68
- [6] Anand, S., Kantarao, P., and Jena, P. K. (1980). "Recovery of metal values from copper converter and smelter slags by ferric chloride leaching". Hydrometallurgy, 5: 355-365.
- [7] Anand, S., Sarveswara, K., and Jena, P. K. (1983). "Pressure leaching of copper converter slag using dilute sulphuric acid for the extraction of cobalt, nickel and copper values". Hydrometallurgy, 10: 305-312.
- [8] Altundogan, H. S., Boyrazli, M., and Tumen, F. (2004). "A study on the sulfuric acid leaching of copper converter slag in the presence of dichromate". Minerals Engineering, 17: 465-467.
- [9] Bese, A. V. (2007). "Effect of ultrasound on the dissolution of copper from copper converter slag by acid leaching, Ultrason". Sonochem, 14: 790-796.
- [10] Carranza, F., Iglesias, N., Mazuelos, A., Romero, R., and Forcat, O. (2009a). "Ferric leaching of copper slag flotation tailings". Minerals Engineering, 22: 107-110.
- [11] Yang, Z., Ruilin, M., Wangdong, N., and Hui, W. (2010). "Selective leaching of base metals from copper smelter slag". Hydrometallurgy, 103: 25-29.
- [12] Potysz, A., Lens, P. N. L., Van De Vossenberg, J., Rene, E. R., Grybos, M., Buibaud, G., Kierczak, J.,

- Environmental Science and Technology, 37: 1150.
- [33] Hayyan, M., Hashim, M. A., and AlNashef I. M. (2016). "Superoxide Ion: Generation and Chemical Implications". Chemical Reviews, 116(5): 3029-3085
- [34] Pierluigi, B., Francesca, L. (2010). "Heterogenized Homogeneous Catalysts for Fine Chemicals roduction" Dordrecht: Springer, ISBN 978-90-481-3695-7.
- [35] Fukui, T., Murata, K., Ohara, S., Abe, H., Naito, M., and Nogi, K. (2004). "Morphology control of Ni-YSZ cermet anode for lower temperature operation of SOFCs". Journal of Power Sources, 125 (1): 17-21.
- [36] Fathinia, S., Fathinia, M., Rahmani, A. A., and Khataee, A. (2015). "Preparation of natural pyrite nanoparticles by high energy planetary ball milling as a nanocatalyst for heterogeneous Fenton process". Applied Surface Science, 327: 190-200.
- [37] Oloubambi, P., Ndlovu, S., and Borode, J. O. (2006). "Sulphuric acid leaching of zinc and copper from Nigerian Complex Sulphide Ore in the presence of hydrogen peroxide". Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 106(11): 765-770.
- [38] Jiyang, T., Yang, Y., Zhang, B., Huang, Z. (2002). "Kinetics of silver leaching from manganese-silver associated ores in sulfuric acid solution in the presence of hydrogen peroxide". Metallurgical and Materials Transactions, 33(6): 813-816.
- [39] Adebayo, A. O., Ipinmoroti, K. O., and Ajayi, O. O. (2003). "Dissolution kinetics of chalcopyrite with hydrogen peroxide in sulphuric acid medium". Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, 17: 213-218.
- [40] Carranza, F., Iglesias, N., Mazuelos, A., Romero, R., and Forcat, O. (2009). "Ferric leaching of copper slag flotation tailings". Minerals Engineering, 22: 107-110.
- [41] Liang, X., Zhong, Y., He, H., Yuan, P., and Zhu, J. (2012). "The application of chromium substituted magnetite as heterogeneous Fenton catalyst for the degradation of aqueous cationic and anionic dyes". Chemical Engineering Journal, 191: 177-184.
- [42] Neuendorf, K. K. E., Mehl, J. P., and Jackson, J. A. (2005). "Glossary of Geology". Alexandria, Virginia, American Geological Institute, 5rd Ed., pp. 779.
- [43] Bayat, M., Sohrabi, M., and Royae, S. J. (2012). "Degradation of phenol by heterogeneous Fenton reaction using Fe/clinoptilolite". Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 18: 957-962.
- and the activation energy of a soft-optic mode in ferroelectric barium titanate". Ferroelectrics, 1(422): 21-24.
- [23] Addiscott, T. M., and Wagenet, R. J. (1985). "Concepts of solute leaching in soils: a review of modelling approaches". Journal of Soil Science, 36(3): 411-424.
- [24] Tang, Y., Shen, T., and Meng, Z. (2019). "A kinetic study on the mechanisms of metal leaching from the top surface layer of copper aluminates and copper ferrites". Environmental Geochemistry and Health, 41: 2503.
- [25] Brauer, G. (1963). "Handbook of preparative inorganic chemistry". Translation Editing by Reed, F., 5rd Ed., New York, N.Y.: Academic Press, pp. 779.
- [۲۶] مظفری، ع.، ساکی، ا.، فقیهی، ع.، فتحی‌نیا، س.؛ ۱۳۹۶؛ "بهبودسازی پارامترهای مؤثر بر حذف آلاینده رنگزای نارنجی اسیدی توسط نانو ذرات مگنتیت با به کارگیری روش مدل‌سازی رویه‌ی پاسخ و استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶". فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، شماره ۵، ص ۱۶۷-۱۵۷.
- [27] Tony, M. A., Mansour, S. A., Tayeb, A. M., and Purcell, P. J. (2018). "Use of a fenton-like process based on nano-haematite to treat synthetic wastewater contaminated by phenol: Process Investigation and Statistical Optimization". Arabian Journal for Science and Engineering, 43: 2227-2235.
- [28] Radovic, M. D., Mitrovic, J. Z., Kostic, M. M., Bojic, D. V., Petrovic, M. M., Najdanovic, S. M., Bojic, A. L. (2015). "Fenton and photo-Fenton processes for the decolorization of reactive dyes. Comparison of ultraviolet radiation/hydrogen peroxide". Hemijska Industrija, 69(6): 657-665.
- [29] Araujo, F. V. F., Yokoyama, L., Teixeira, L. A. C., and Campos, J. C. (2011). "Heterogeneous fenton process using the mineral hematite for the discoloration of a reactive dye solution". Brazilian Journal of Chemical Engineering, 28(4): 605-616.
- [30] Hadjiltaief, H. B., Sdiri, A., Galvez, M. E., Zidi, H., Da costa, P., and Ben Zina, M. (2018). "Natural Hematite and Siderite as Heterogeneous Catalysts for an Effective Degradation of 4-Chlorophenol via Photo-Fenton Process". ChemEngineering, 24(3): 171-182.
- [31] Lin, S. S., and Gurol, M. D. (1998). "Catalytic decomposition of hydrogen peroxide on iron oxides: kinetics, mechanism and implication". Environmental Science and Technology, 32: 1417.
- [32] Kwan, W. P., and Voelker, B. M. M. (2003). "Rates of hydroxyl radical generation and organic compound oxidation in mineral-catalyzed Fenton-like systems".



Imam Khomeini International University
Vol. 6, No. 4, Winter 2021, pp. 33-36



نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

DOI: 10.30479/JMRE.2021.13404.1416

Research Paper

Investigation of the Leaching of Sarcheshmeh Reverberatory Furnace Slag Using Hydrogen Peroxide and Hematite Nano Particles

Faghihi A.¹, Gholinejad M.^{2*}, Rahimi E.³, Adib A.⁴

1- Ph.D Student, Dept. of Mining Engineering, Faculty of Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

aref.faghihi@gmail.com

2- Assistant Professor, Dept. of Mining Engineering, Faculty of Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

mgholinejad@azad.ac.ir

3- Assistant Professor, Dept. of Mining Engineering, Faculty of Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

se_rahimi@azad.ac.ir

4- Associate Professor, Dept. of Mining Engineering, Faculty of Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

adib@azad.ac.ir

(Received: 01 Jun. 2020, Accepted: 05 Oct. 2020)

Abstract: The present study aims to investigate the slag leaching of Sarcheshmeh copper reverberatory furnace using sulfuric acid and hydrogen peroxide. The results of the analyses indicated that the slag contains 0.7% of copper and 37.75% of iron. Most of the slag minerals include fayalite, magnetite, diopside and chalcopyrite. This research scrutinizes the effect of different parameters including the size of particles, temperature, PH, the concentration of hydrogen peroxide and the velocity pulp stirring on the recovery of copper and iron. Based on the results, as the size of particles of slag is reduced from 150- 250 to 48-74 micron, the maximum recovery of copper and iron is increased from 23.03% and 22.34% to 26.14 and 28.12%, respectively. However, as the size of particles is diminished less than 48 microns, less increase is detected in the recovery of copper and iron. When the pulp PH is reduced from 2.4 to 1.5, the recovery amount of copper and iron is increased from 18.12% and 20.95% to 29.14% and 31.04%, respectively. Changing the primary concentration of hydrogen peroxide affected the copper recovery the most. Increasing the concentration of hydrogen peroxide from 0.5 M to 2 M enhances copper recovery from 29.14% to 54.12%. Increasing the pulp temperature from 35 to 45°C subjected to enhance copper recovery from 53.5% to 59.5%. In fact, the enhancement of temperature to 50°C mostly influenced iron recovery. Using the hematite nano- particles in the leaching process leads to improve the function of hydrogen peroxide and increase the copper recovery.

Keywords: Reverberatory slags, Slag leaching, Hematite nano particles, Hydrogen peroxide, Hydrometallurgy.



INTRODUCTION

Since the exceeding exploitation of metal mines with high grade has gradually diminished the mineral reservoirs, miners have considered to exploit metal resources with low grade [1]. As copper slags have always contained valuable metals, researchers have continuously tried to choose the best way to exploit and manage the stockpiles [2]. Slag processing in industrial and large scales is regarded as a suitable technology that needs more research to improve such technology. Most industrial slags are discarded or utilized without completely using its properties. Dumping and accumulating slags bring about several harmful effects influenced by heavy rains, dust and accidental settlement of drainage water. To process the copper smelter slag, the chemical and mineralogical combinations of slags are significant enough to be affected by minerals, components of the concentrate the pyro -metallurgical process and the cooling way [3-5].

So far, several research has been done for the leaching of copper slags like improving the copper slag leaching using ultrasonic waves [6], leaching the copper slag by ferrous sulfate[7], using sodium chlorate for oxidizing the sulfide phases [8], bio-leaching of copper slag[9,10] and the copper slag leaching using ammonium hydroxide [3]. The present research has considered the use of sulfuric acid as solvent and hydrogen peroxide as oxidant in the leaching of Sarcheshmeh reverberatory furnace slag.

MATERIALS AND METHODS

Data obtained from the XRD graph has indicated the presence of magnetite, fialite and divide in the slag combination. The slag was inspected by the electronic microscope (T scan, Czech Republic). Also, the spectrum of the related index revealed that the minerals consist of elements such as iron, copper and sulfide. The intensity of the spectra is compatible with the elements existing in the chalcopyrite structure. The leaching of the ground slags has been done in a two- liter glass reactor by a mechanical stirrer (Sahand Azar Iran). All the leaching tests have been done by the solid percentage of 40. During the test, the temperature and the foundations have been regularly measured and remained steady.

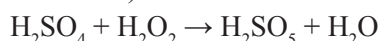
FINDINGS AND ARGUMENT

The effect of slag particle size

The effect of the size of particles on the recovery of copper and iron from the reverbratory slag of Sarcheshmeh copper was studied on four dimensions (-48, 48-75, 75-150, 150-250 microns). As the size of particles was dwindled from 150-250 to 48-75 mic, the maximum recovery of copper and iron was increased from 23.03 and 22.34% to 26.14 and 28.12%. When the size of the slag particles is decreased up to -48mic, only a slight increase is observed in the recovery of copper and iron.

The effect of PH

The pulp PH is considered as one the most important factors affecting the leaching of the slags. The tests were done in the PH range from 1.5 to 2.4 to measure the influence of PH on the recovery of copper and iron from the reverberatory slag. When the PH is more than 2.4, the amount of the solved iron will be less by decreasing the solvent concentration. Nevertheless, a part of the iron is changed into alkaline sulfates which have covered the surface of the ore. In consequence, the acid concentration is reduced. In fact, it impedes copper to be solved. Furthermore, the solved iron is deposited as hydroxide in low acidic concentrations (less than 1.5) and it hinders other compounds to be solved.



The Piranha solutions is a very strong oxidant which is able to solve the iron ions faster. The enhancement of the hydrogen peroxide concentration from 2 to 3 molar cannot remarkably affect the copper recovery.

The effect of temperature

Studies on the temperature parameter indicate that the dissolution of copper and iron is increased by enhancing the temperature. A reaction to a primary activating energy is required to proliferate the recovery rate at higher temperatures. Notably, the amount of dissolution is decreased in its absence. The iron recovery is considerably increased at temperature over 45 °C. Hence, it has been chosen for leaching because of increasing the copper recovery and slight increment in iron recovery.

The effect of agitation speed

From one hand, the increase of pulp stirring makes better connection between acid, hydrogen peroxide and slag particles which have high specific gravity. From another hand, the thickness of the inactive layer has been reduced on the surface of particles. Additionally, the diffusion layer is affected. Finally, oxygen is solved better in the pulp. Next, it subjects to better dissolution of copper. However, copper recovery has been decreased from 300 to 450 rpm through increasing the string speed.

The effect of hematite nano particles

The simultaneous adaption of the nano-particles of hematite and hydrogen peroxide in leaching process directs the analysis of hydrogen peroxide into active hydroxyl radicals because there are lots of fractions of atoms on the surface of nano- particles. The hydroxyl radicals are severely unstable. The oxidants which are more active than hydrogen peroxide causes the improvement of the oxidization process and finally copper recovery.

CONCLUSIONS

At the beginning 15 minutes of the leaching, copper recovery has been drastically increased. This increase is related to the dissolution of minerals and phases of copper oxide. Moreover, the iron dissolution has been swiftly enhanced at the last moments of leaching. For this reason, it was observed that time control is counted as an effective parameter on copper slag leaching. As the pulp PH is decreased from 2.4 to 1.5, the recovery rate of copper and iron is enhanced from 18.12% and 20.95% to 31.04% and 29.14%. The PH decrease has been led to improve the primary activation, the dissolution of propulsion and copper recovery. When the temperature of the pulp is increased from 35 to 45 °C, copper recovery is improved from 54.58 to 59.52%. As the temperature is increased up to 50 °C, the copper recovery is slightly increased. At this time, iron recovery has been increased from 36.31% to 63.12%. Increasing the concentration of hydrogen peroxide from 0.5 to 3 mol has raised the recovery of copper and iron from 21.71% and 31.15% to 51.87% and 59.12%, respectively. A slight increase was detected in copper recovery by increasing the concentration of hydrogen peroxide from 2 to 3 mol. As the stirring velocity is increased from 150 to 300 rpm, the recovery of copper and iron is increased from 36.31% and 55.52% to 39.28% and 61.45%. The copper recovery has been decreased by increasing the stirring speed from 300 to 450 rpm. The simultaneous adaption of the nano-particles of hematite and hydrogen peroxide in leaching process directs the analysis of hydrogen peroxide into active hydroxyl radicals because there are lots of fractions of atoms on the surface of nano- particles. The hydroxyl radicals are severely unstable. The oxidants which are more active than hydrogen peroxide brings about the improvement of the oxidization process and finally copper recovery.

REFERENCES

- [1] Masloboev, V. A., Seleznev, S. G., Svetlov, A. V., and Makarov, D. V. (2018). "Hydrometallurgical Processing of Low-Grade Sulfide Ore and Mine Waste in the Arctic Regions: Perspectives and Challenges". Minerals, 8(10): 436.
- [2] Kamran Khalid, M., Hamuyuni, J., Agarwal, V., Pihlasalo, J., Haapalainen, M., and Lundstroma, M. (2019). "Sulfuric acid leaching for capturing value from copper rich converter slag". Journal of Cleaner Production, 215: 1005-1013.
- [3] Aracena, A., Fernandez, F., Jerez, O. A., and Jaques, A. (2019). "Converter slag leaching in ammonia medium/column system with subsequent crystallisation with NaSH". Hydrometallurgy, 188: 31-37.
- [4] Shen, H., and Forssberg, E. (2003). "An overview of recovery of metals from slags". Waste Management, 23: 933-949.
- [5] Balakrishnan, M., Batra, V. S., and Hargreaves, J. S. J. (2014). "Waste from metal processing industries". In Hargreaves, J. S. J., Pulford, I. D., Balakrishnan, M., Batra, V. S. (Eds.), Conversion of Large Scale Wastes into Value-Added Products. CRC Press, Boca Raton, 23-68.
- [6] Bese, A. V. (2007). "Effect of ultrasound on the dissolution of copper from copper converter slag by acid leaching, Ultrason". Sonochem, 14: 790-796.
- [7] Carranza, F., Iglesias, N., Mazuelos, A., Romero, R., and Forcat, O. (2009a). "Ferric leaching of copper slag flotation

- tailings*". Minerals Engineering, 22: 107-110.
- [8] Yang, Z., Ruilin, M., Wangdong, N., and Hui, W. (2010). "Selective leaching of base metals from copper smelter slag". Hydrometallurgy, 103: 25-29.
- [9] Potysz, A., Lens, P. N. L., Van De Vossenberg, J., Rene, E. R., Grybos, M., Buibaud, G., Kierczak, J., and Van Hullebusch, E. D. (2016a). "Comparison of Cu, Zn and Fe bioleaching from Cu-metallurgical slags in the presence of *Pseudomonas fluorescens* and *Acidithiobacillus thiooxidans*". Applied Geochemistry, 68: 39-52.
- [10] Potysz, A., Van Hullebusch, E. D., Kierczak, J., Grybos, M., Lens, P. N. L., and Guibaud, G. (2015). "Copper metallurgical slags - current knowledge and fate: a review, Crit. Rev. Environ". SciTechnol, 45: 2424-2488.