نشریه علوم و مهندسی جداسازی
دوره نهم، شماره دوم، سال ۱۳۹۶ ، صفحه ۶۱-۷۷

Journal of Separation Science and Engineering
Vol. 9, No.2, (2017), pp. 61-77

بررسی اثر الکل‌های زنجیره‌بلند کاهنده تبخیر آب بر فلوتاسیون مس

حمیده افخمی*[۱]، حسین ملکی نژاد[۱]، عصمت اسماعیل‌زاده[۲]، خداکرم غریبی[۳]، ابوالفضل عزیزیان[۴]

۱. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
۲. رئیس امور تحقیقات آب و محیط‌زیست، مجتمع مس سرچشمه
۳. دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد
۴. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله
دریافت: ۲۵ بهمن ۱۳۹۵
دریافت پس از اصلاح: ۱۴ شهریور ۱۳۹۶
پذیرش نهایی: ۱۱ مهر ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:
بازیابی مس
معدن مس سرچشمه
هگزادکانول
اکتادکانول
منابع آب

چکیده

در حال حاضر، بیش از ۸۰ درصد آب مورد استفاده در فرایند فلوتاسیون معدن مس سرچشمه، از آب برگشتی سد رسوب‌گیر تأمین می‌گردد که تبخیر مهم‌ترین عامل تلفات از این منبع مهم محسوب می‌گردد. در تحقیق حاضر تأثیر دو نمونه الکل چرب کاهنده تبخیر بر بازیابی سه کانی مس، پیریت و مولیبدن با استفاده از پنج ترکیب مختلف آب بررسی شد و سپس معنی‌داری تفاوت‌های مشاهده شده حاصل از آزمون-های فلوتاسیون در نمونه‌های مختلف آب با استفاده از آزمون چند دامنه‌های دانکن آنالیز گردید. نتایج بدست مؤید این مطلب است که مواد کاهنده تبخیر نه‌تنها تأثیر منفی بر بازیابی سه کانی مس، پیریت و مولیبدن نداشت بلکه در بهترین شرایط، اضافه نمودن الکل‌های چرب به آب برگشتی منجر به افزایش ۰/۱ درصد در بازیابی مس و افزایش ۵/۳ درصد در بازیابی مولیبدن شد و از طرفی بازداشت پیریت را به میزان ۳۰ درصد افزایش داد.

* عهده دار مکاتبات
Hamide.afkhami@gmail.com

حقوق ناشر محفوظ است.

Archive of SID

www.SID.ir

۱-مقدمه

کمبود آب از جمله مهم‌ترین چالش‌ها در بسیاری از صنایع معدنی و به خصوص معادن پورفیری می‌باشد که توسط فلوتاسیون به تولید کنسانتره می‌پردازند. معدن مس سرچشمه ازجمله بزرگ‌ترین ذخیره مس پورفیری در ایران محسوب می‌گردد که در حال حاضر علاوه بر برداشت آب تازه از دشت خاتون‌آباد، بخشی از آب مصرفی در مجتمع نیز از آب برگشتی سد آبی و سد رسوب‌گیر تأمین می‌گردد. از طرفی سطح روباز مخازن این سدها منجر شده تا سالیانه حدود ۲/۵ متر مکعب آب در ازای هر متر مربع از مخازن آبی، به شکل تبخیر از دسترس خارج گردد. بدیهی است با توجه به حجم بالای تلفات ناشی از تبخیر، روش‌های جلوگیری از تبخیر منجر به افزایش آب بازیافتی از مخازن سد شده و می‌تواند به کاهش برداشت آب از سطح سفره خاتون‌آباد کمک نماید که این امر مهم نقش مؤثری در بهینه‌سازی مصرف آب داخل مجتمع خواهد داشت. یکی از روش‌های ارزان و مورد استفاده در مخازن بزرگ با مساحت بیش از ۱۰ هکتار استفاده از مواد شیمیایی کاهنده تبخیر می‌باشد[۱]. دو نمونه از مهم‌ترین مواد شیمیایی مورد استفاده که از قدیم‌الایام در سطح وسیع مورد استفاده قرار گرفته است، الکل‌های چرب زنجیره بلند هگزادکانول ($C_{16}H_{33}OH$) و اکتادکانول ($C_{18}H_{35}OH$) به‌عنوان لایه‌های تک‌ملکولی بازدارنده تبخیر می‌باشد که نمونه‌های ذکرشده بیشترین مقاومت را در جلوگیری از تبخیر داشته و فراوانی و استفاده آسان از آن از دیگر مزیت‌های استفاده از الکل‌های فوق می‌باشد. این مواد، ترکیبات ارگانیک و زنجیره بلند با یک سر آب‌دوست و یک سر آب‌گریز بوده که در سطح آب به شکل عمودی واقع می‌شوند به‌طوری‌که سر آب‌دوست به سمت آب و سر آب‌گریز بشدت دافع آب می‌باشد که با این لایه تک‌مولکولی، می‌توان تبخیر از سطح آب را کنترل نمود [۲]. وجود این لایه تک‌ملکولی با ضخامت یک نانومتر روی سطح آب از ایجاد موج‌های کوچک جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، براحتی توسط قطره‌های باران شکسته شده و پس از نفوذ باران بلافاصله بسته می‌شود. مواد شیمیایی فوق متناسب با استانداردهای کشور آلمان خطر سمیت برای آب نداشته و برای محیط‌زیست، گیاهان و جانوران آبزی غیرسمی و بی‌خطر می‌باشد [۳]. از جمله روش استفاده این مواد حل آن در یک حلال آلی از جمله اتانول، است[۴]. از طرفی این مواد بعد از پخش در سطح، در حضور باکتری‌ها و همچنین افزایش دما به فاصله زمانی ۳ تا ۴ روز خواص خود را از دست خواهند داد و از حجم آنها کم خواهد شد [۵،۶]. تحقیقات نشان می دهد استفاده از این لایه‌های تک‌مولکولی بر سطح آب بازیافتی، منجر به کاهش تبخیر تا بیش از ۵۰ درصد خواهد شد. اگر چه کاهش تبخیر از سطح آب به خصوص آب برگشتی در معدن مس سرچشمه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد اما نکته حائز اهمیت که موضوع تحقیق حاضر نیز می‌باشد تأثیر استفاده از مواد کاهنده تبخیر بر فرایندهایی از جمله فلوتاسیون است که بخش عمده آب مورد نیاز این مدار از آب برگشتی تأمین می‌گردد. محصول نهایی تحت تأثیر عوامل متعددی از قبیل خواص فیزیکوشیمیایی کانی‌های مورد استفاده، نوع و مقدار مواد شیمیایی به عنوان کلکتور و کف‌ساز و کیفیت آب مورد استفاده می‌باشد. در واقع کیفیت آب که به عنوان عامل مهمی در کارایی خواص سطحی کانی‌ها بشمار می‌رود پایه عملیات فلوتاسیون محسوب می‌گردد و نقش مهمی در تولید و پایداری کف خواهد داشت. نکته حائز اهمیت این‌که مواد کاهنده تبخیر باید کمترین تأثیر منفی را بر عیار و بازیابی مس طی فرایند فلوتاسیون داشته باشد. تاکنون مطالعاتی بیشماری در رابطه با تأثیر الکل‌های چرب بر کاهش تبخیر آب مخازن، دریاچه‌ها و سدها صورت گرفته است اما هیچ مطالعه‌ای در داخل و خارج از کشور که به طور مستقیم به بررسی تأثیر این الکل‌ها بر آب برگشتی سدهای باطله موجود در معادن و فرایند فلوتاسیون پرداخته باشد تاکنون مشاهده نشده است. اکثر مطالعاتی که در زمینه کیفیت و نوع آب مصرفی بر فرایند فلوتاسیون نیز انجام شده، بیشتر در زمینه تأثیر استفاده از آب دریا [۷، ۸، ۹] و آب دیونیزه [۱۰، ۱۱] بر فلوتاسیون و همچنین تأثیر نوع املاح موجود در آب بر پایداری کف و فلوتاسیون و بازیابی و عیار فلزات [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵] می‌باشد. تنها منابع موجودی که در رابطه با پژوهش حاضر می‌توان به آن اشاره کرد، مطالعاتی است است که در زمینه اهمیت کیفیت آب بر فرایند فلوتاسیون انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به تحقیقات ویلیامز و فلان [۱۶] اشاره کرد که به بررسی تأثیر نوع آب در فلوتاسیون سنگ معدن بورات پرداختند. در این بررسی فلوتاسیون با استفاده از آب شیر، آب مقطر و آب مصنوعی که حاصل اضافه کردن یون‌های کلسیم و منیزیم به آب مقطر بود، انجام گرفت و سپس نتایج به دست آمده در شرایط بهینه فلوتاسیون با یکدیگر مقایسه گردید. هاران [۱۷] نیز تأثیر کیفیت آب را بر فلوتاسیون کالکوپیریت بررسی نمودند. در این مطالعه فلوتاسیون نمونه‌های مس و روی غنی شده به صورت

Archive of SID
www.SID.ir

جامع با استفاده از آب قابل بازیافتی معدن، و دو منبع آب ازملبورن (elbourne)و بنامبرا (Benambra) بررسی گردید. نتایج فلوتاسیون با استفاده از آب‌های مختلف، متفاوت گزارش شد بطوری‌که آب بنامبرا منجر به بهبود بازیابی مس گردید در حالی‌که استفاده از آب ملبورن و آب بازگشتی بازیابی مس را کاهش داد. بریهنهامن و همکاران [۱۸] نیز ترکیبات موجود در جریان‌های آبی وارده به معدن راش پینر(Rash Piner) که در فلوتاسیون مورد استفاده قرار می‌گرفت را مورد بررسی قرار دادند. لیو و همکاران [۱۹] تحقیقات قابل توجهی در رابطه با کیفیت آب بر فرایند فلوتاسیون انجام دادند. نتایج این تحقیقات نشان داد کیفیت آب برگشتی به شدت فرایند فلوتاسیون را تحت تأثیر قرار داده و می‌تواند اثرات نامطلوبی در انتخاب فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی کمپلکس داشته باشد. در ایران نیز عزیزی و همکاران [۲۰] تاثیر دو نمونه آب مقطر و شرب را بر بازیابی مس و کارایی فلوتاسیون در معدن مس سرچشمه بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد بازیابی مس به شدت تحت تأثیر نوع آب می‌باشد. بطوری که بازیابی مس به مقدار قابل توجهی با تغییر نوع آب از آب شیر به آب مقطر افزایش یافته و بهترین ترکیب عیار و بازیابی در آزمایش‌های فلوتاسیون با آب شیر به ترتیب ۷/۲۶ و ۸۱/۰۹ درصد برآورد گردید. در واقع این منابع نشان می‌دهند که به هر دلیلی چنانچه کیفیت آب استفاده شده در مدار فلوتاسیون تغییر یابد، این تغییر می‌تواند بر فلوتاسیون تأثیر داشته باشد. بنابراین تغییر کیفیت ناشی از افزودن الکل‌های چرب کاهنده تبخیر که در پژوهش حاضر نیز انجام شده نیاز به بررسی دارد تا تأثیر آن بر عیار و بازیابی مس در فرایند فلوتاسیون مشخص گردد. با توجه به اینکه در هیچ منبعی تأثیر الکل‌های چرب بر فلوتاسیون مس اشاره نشده است این پژوهش می‌تواند نخستین تحقیق علمی در این زمینه محسوب گردد و برای نخستین بار تأثیر اضافه شدن دو ماده کاهنده تبخیر در آب برگشتی و عملکرد آن بر فرایند فلوتاسیون و بازیابی مس، پیریت و مولیبدن مورد بررسی قرار گیرد.

۲- منطقه مورد مطالعه

معدن مس سرچشمه با مختصات ”۲۰ ′۵۲ °۵۵ طول شرقی و ”۴۰ ′۵۶ °۲۹ عرض شمالی در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان و در فاصله ۵۰ کیلومتری رفسنجان واقع شده است. مخازن پیشنهادی جهت استفاده از مواد کاهنده تبخیر در این پژوهش، سد باطله و سد آبگیر معدن مس سرچشمه و همچنین سایر منابع آبی روباز مجتمع می‌باشد. در این میان اکثر منابع تأمین‌کننده آب در مجتمع مس سرچشمه به‌صورت روباز می‌باشند. این منابع و مخازن آبی که تأمین‌کننده بخشی از آب مدار فلوتاسیون در مجتمع می‌باشند اکثراً شامل آب بازیافت شده از معدن می‌باشند که همواره در معرض تبخیر بالا قرار دارند. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در ارتباط با وضعیت سطوح آبی می‌توان گفت منابع آبی موجود در کارخانه، مس سرچشمه عبارت‌اند از ۱۲ تیکنر موجود در واحد تغلیظ که تعداد هفت عدد از آن‌ها دارای قطر ۳۹/۶ متر، یک تیکنر دارای قطر ۳۵ متر و چهار تیکنر دیگر دارای قطر ۱۲۱/۹۲ متر می‌باشند. همچنین چهار تیکنر با قطر ۱۲۱/۶ متر و دو استخر روباز با ابعاد ۳۲ در ۹۰ متر در واحد ۷۵ و دو استخر روباز به ابعاد ۱۰۰ در ۵۰ نیز در واحد ۸۱ موجود می‌باشد. سطح تقریبی آب در سد انحرافی نیز به شکل ذوزنقه قائمی به ابعاد اضلاع ۳۲ و ۵۲ و ارتفاع ۱۰ متر می‌باشد که مساحتی حدود ۴۲۰ مترمربع خواهد داشت. ابعاد استخر ترمینال رزروایر که بین شهرک مس و کارخانه واقع شده است نیز ۱۵۲/۵ در ۶۹ متر می‌باشد. با توجه به ارقام ذکر شده، مساحت منابع آبی کارخانه درمجموع حدود ۱۳۴۸۶۳ مترمربع می‌باشد. علاوه بر این مساحت سد آبگیر و قسمت‌های آبی سد رسوب‌گیر نیز حدود ۱۰۲۰۸۰۰ مترمربع گزارش شده که درمجموع می‌توان گفت مساحت منابع آبی مجتمع حدود ۱۱۵۵۰۰۰ مترمربع می‌باشد. به لحاظ اقلیمی نیز پتانسیل سالانه تبخیر از ایستگاه کارخانه ۲۰۶۱ میلی‌متر و متوسط تبخیر از ایستگاه سد رسوب‌گیر حدود ۲۲۶۶ میلی‌متر گزارش شده است. با توجه به سطح آبی مجتمع و میزان متوسط بلندمدت تبخیر، سالانه حدود ۲۵۸۰۰۰۰ مترمکعب آب قابل‌استفاده در قالب تبخیر از دسترس خارج می‌شود که این مقدار معادل برداشت ۲/۵ ماه آب از تمام چاه‌های تأمین‌کننده آب مجتمع از دشت خاتون‌آباد می‌باشد. بدیهی است با توجه به بحران و نیاز آبی شدید در مجتمع و باور به ارزش و حفظ این سرمایه گران‌بها، اعمال روش‌های کاهش تبخیر در منطقه ضروری می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

۳- مواد و روش

۳-۱- آماده‌سازی نمونه‌های مختلف

در حال حاضر آب مورد نیاز در مدار فلوتاسیون مجتمع مس سرچشمه ترکیبی از آب برگشتی(آب بازیافتی) و آب تازه می‌باشد که از چاه‌های خاتون‌آباد تأمین می‌گردد. نسبت ترکیب این دو نوع آب حدود ۸۰ درصد آب برگشتی به ۲۰ درصد آب تازه گزارش شده است. مطالعه حاضر که با هدف بررسی تأثیر مواد کاهنده تبخیر آب بر مدار فلوتاسیون انجام شده است به بررسی تأثیر ترکیبات مختلف آب با الکل‌های چرب به عنوان مواد کاهنده تبخیر پرداخته است که عدم تأثیر منفی این مواد بر بازیابی و عیار مس و مولیبدن در فرایند فلوتاسیون بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به همین منظور نمونه-های مختلف آب به عنوان متغیر در فرایند فلوتاسیون در نظر گرفته شده و سایر عوامل ثابت فرض شده‌اند. جدول ۱ نمونه-های مختلف آب و برخی از خصوصیات کیفی آن‌ها را نمایش می‌دهد.

جدول (۱) نمونه‌های مختلف آب مورد استفاده جهت انجام فرایند فلوتاسیون در این تحقیق

ردیف	نمونه‌های آب	pH	EC(µs/cm)	TDS(ppm)
۱	آب تازه	۸/۴	۵۶۲	۲۷۴
۲	آب تازه و آب برگشتی با نسبت ۲۰٪ به ۸۰٪	۵/۶	۳۴۴۵	۱۶۷۰
۳	آب برگشتی	۵/۴	۳۹۴۵	۱۹۱۳
۴	آب تازه و آب برگشتی با نسبت ۲۰٪ به ۸۰٪ و الکل‌های چرب	۵/۸	۳۴۶۰	۱۶۷۸
۵	آب برگشتی و الکل‌های چرب	۵/۶	۴۰۲۰	۱۹۵۰

مواد کاهنده تبخیر مورد استفاده در این تحقیق شامل ترکیب الکل‌های چرب هگزادکانول و اکتادکانول با نسبت بهینه ۳ به ۷ می‌باشد که در حالت بهینه میزان یک گرم از مواد فوق در ۲۵ سی‌سی اتانول حل شده و در سطح یک مترمربع از آب استفاده می‌شود. با توجه به اینکه یک مترمربع از آب در شرایط ذخیره در پشت سد به‌طور متوسط ۲ متر عمق دارد، می‌توان گفت میزان مصرف این مواد ۱ گرم در ۲۰۰۰ لیتر آب و به عبارتی ۰/۰۱۲۵ سی‌سی از محلول فوق در هر لیتر آب می‌باشد. با توجه به نرخ تعیین شده میزان مشخص از محلول به آب برگشتی اضافه گردید و در سناریوهای مختلف با دو تکرار، در فرایند فلوتاسیون استفاده شد.

۳-۲- نمونه معدنی مورد استفاده

قبل از شروع آزمون‌های آزمایشگاهی جهت مشخص شدن خواص شیمیایی و کانی‌شناسی ، نمونه‌ای از خاک معدنی تقسیم شده به آزمایشگاه ارسال گردید و آنالیزهای کانی‌شناسی، شیمی وXRD بر روی آن انجام گرفت.

۳-۳- شرایط آزمایش فلوتاسیون

جهت مشخص شدن سینتیک فلوتاسیون خاک، این آزمون‌ها به صورت سینتیکی انجام شد. قابل ذکر است نمونه-های مورد استفاده در آزمایش‌های فلوتاسیون معرف کارخانه است. نمونه‌ها از نوار خوراک‌دهنده به آسیاهای اول تغلیظ با D80=0.5 inch تهیه شده است. نمونه معرف در طول یک شیفت با فواصل زمانی نیم‌ساعت نمونه‌برداری شده است. سپس با سنگ‌شکن آزمایشگاهی (فکی) همراه با سیکل بسته با سرند ۱۰ مش تا سایز ۱۰۰ درصد کوچکتر از ۱۰ مش (۲۰۰۰ میکرون) خردایش گردید. در ادامه نمونه‌ها توسط ریفرهای آزمایشگاهی (مقسم) به نمونه های ۱۴۶۰ گرمی تقسیم شدند و با فرض درصد جامد ٪۵۰ در آسیا، به نمونه آماده شده، ۱۴۶۰ گرم آب و ۲ گرم آهک اضافه گردید و نمونه مجدداً جهت رسیدن به خردایش ۷۰ ٪ زیر ۷۴ میکرون به مدت ۱۳ دقیقه و ۷ ثانیه در آسیای گلوله‌ای مورد خردایش قرار گرفت. این زمان به صورت بسیار دقیق و با توجه به اینکه قطر ۷۰ درصد ذرات باید زیر ۷۴ میکرون باشد، طی آزمایشات متعدد بدست می‌آید. (طبق طراحی کارخانه تغلیظ سرچشمه اندازه سرند کنترلی جهت خوراک سلول‌های رافر حدود ۷۴ میکرون است که بایستی ۷۰ درصد از نمونه جهت رسیدن به

Archive of SID

www.SID.ir

درجه آزادی مطلوب از این سایز عبور کند). شایان ذکر است مقدار D80 نمونه های استفاده شده در آزمایش فلوتاسیون ۱۵۱۹ میکرون است. در مرحله بعد پالپ خروجی آسیا وارد سلول‌های فلوتاسیون گردید و تا رسیدن به ۲۸ درصد جامد در پالپ به آن آب اضافه گردید. تمامی آزمون‌های آزمایشگاهی در سلول دنور D12 و در ظرف ۴۳۰۰ سی‌سی انجام شد. به منظور تنظیم pH پالپ داخل سلول فلوتاسیون همزمان با چرخش همزن مکانیکی در سلول، به محلول دوغاب آهک اضافه گردید تا pH در ۱۱/۸ ثابت گردد.

۳-۴- استفاده ازمواد شیمیایی

بعد از تنظیم pH ، در شروع زمان آزمایش از دو کلکتور Z11 (گزنتات)و F7240 (مرکاپتوبنزوتیازول) به میزان ۱۵ و ۲۵ گرم بر تن استفاده گردید. (مقادیر کلکتورهای اضافه شده با الگوبرداری از شرایط حاضر و استانداردهای پیشنهادی در طرح کارخانه مجتمع مس سرچشمه انجام شده است). بعد از گذشت ۲ دقیقه از زمان اضافه نمودن کلکتورها، دو کف ساز MIBC و Nasfroth هر کدام به میزان ۱۵ گرم بر تن به محلول پالپ داخل سلول اضافه گردید. بعد از گذشت ۱ دقیقه از اضافه نمودن کف‌سازها، نمونه‌های کنسانتره به مدت ۱۲ دقیقه هر ۱۰ ثانیه جمع‌آوری گردید. فواصل زمانی در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر جهت جمع‌آوری کنسانتره ۱، ۲، ۳، ۵، ۸ و۱۲ دقیقه می‌باشد.

۳-۵- آماده‌سازی نمونه‌ها بعد از فلوتاسیون

در پایان آزمایش، کنسانتره جمع‌آوری شده در فواصل زمانی مشخص و همچنین باطله باقیمانده، فیلتر شده و جهت خشک شدن در داخل آون قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت وزن کنسانتره و باطله به صورت جامد خشک تعیین گردید و بعد از تقسیم‌بندی، میزان ۱۰ گرم از هر نمونه جهت تعیین عیار مس، مولیبدن و پیریت به آزمایشگاه منتقل شد.

۳-۶- ارتفاع کف

همچنین جهت تعیین ارتفاع کف در هر نمونه آب، تست‌های فلوتاسیون در سلول شیشه‌ای با اضافه کردن میزان مشخص کف‌ساز انجام گرفت و ارتفاع کف با خط‌کش اندازه‌گیری گردید.

۳-۷- تجزیه و تحلیل نتایج

پس از انجام آزمون‌های آزمایشگاهی نتایج بدست آمده از آن‌ها به‌وسیله نرم‌افزار موازنه جرم موازن، موازنه گردید و مقادیر بازیابی به صورت $Mean \pm S.d$ ارائه شد. در ادامه از تحلیل واریانس یک‌طرفه و به دنبال آن آزمون دانکن جهت مقایسه تأثیر نوع آب بر میانگین بازیابی مس، پیریت و مولیبدن استفاده گردید. پس از به‌دست‌آوردن اطلاعات از انواع نمونه‌های آب، نتایج بدست آمده تجزیه و تحلیل و $P<0.05$ به عنوان شاخص معنی‌دار بودن مطرح گردید. برای تحلیل داده-ها از نرم افزار SPSS استفاده شد.

۴- ارائه نتایج و تحلیل داده‌ها

۴-۱- نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه

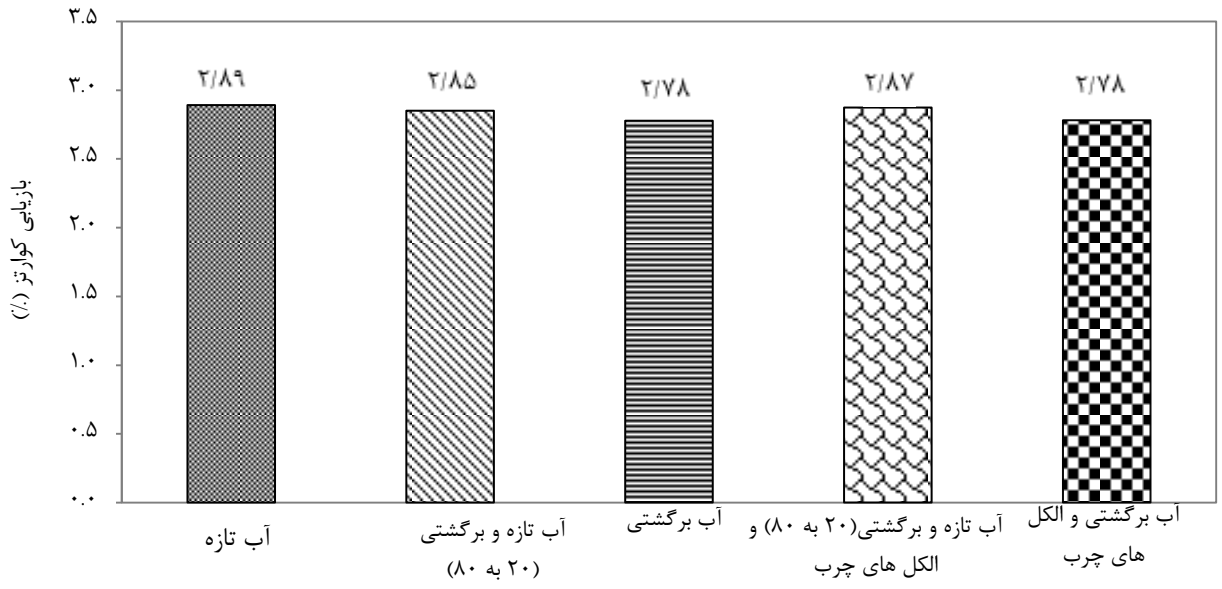
برای خاک مورد استفاده در آزمایش‌های مختلف فلوتاسیون آنالیز و نتایج حاصل از آنالیز شیمی و کانی‌شناسی آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول (۲) خلاصه‌ای از نتایج آنالیز شیمی و کانی‌شناسی نمونه مورد استفاده در تحقیق حاضر بر حسب درصد

مس	آهن	مولیبدن	اکسید مس	درصد مس اکسیدی	کالکوپیریت
Cu	Fe	Mo	CuO	CuO/Cu	CP
۰/۷۵	۴/۹۶	۰/۰۲۲	۰/۰۴	۵/۳۳	۱/۸۶
کالکوسیت	کوولیت	پیریت	کالکوپیریت/کالکوسیت	سیلیس	آلبیت
CC	CV	Py	CC/CP	SiO_2	Al_2O_3
۰/۰۱۸	۰/۰۲۰	۹/۹	۱	۵۶/۳۵	۱۵/۴۱

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد نمونه مورد استفاده از عیار مس نسبتاً خوبی برخوردار بوده (۰/۷۵٪) و کانی غالب آن کالکوپیریت (مس سولفیدی) می‌باشد به طوری که این کانی نزدیک به ۹۸ درصد از کل کانی‌های مس‌دار را شامل شده است. همچنین باتوجه به درصد مس اکسیدی نمونه (۵/۳۳)، بدیهی است بیش از ۹۴ درصد از مس موجود از نوع سولفوری بوده و در نتیجه انتظار می‌رود بازیابی مس در عملیات فلوتاسیون بالا باشد. عیار آهن نمونه برابر ۴/۹۶٪ و کمی بالاتر از نمونه‌های نرمال و درصد پیریت نمونه برابر با ۹/۹٪ گزارش شده است که این میزان نیز کمی از میزان پیریت نمونه‌های نرمال بالاتر بوده و ممکن است باعث مزاحمت در فلوتاسیون مس شود. نکته قابل‌توجه در نتایج حاصل از XRD ، درصد کانی‌های رسی ایلیت و کلینوکلر در نمونه است به‌طوری‌که حضور این کانی‌ها در مقادیر بالا در فلوتاسیون نمونه بخصوص در رشد کف سلول فلوتاسیون و پیرو آن راه‌یابی کانی‌های گانگ به کنسانتره، دردسرساز می‌شوند. در نمونه حاضر درصد رس‌های فوق زیاد نبوده و بنابراین حضور این کانی‌ها در فلوتاسیون نمونه اختلالی در شرایط کف سلول ایجاد ننموده است. از جمله موارد قابل بحث دیگر درصد کوارتز در نمونه است (۵۶/۳۵٪) که با توجه به حضور آهک برای تنظیم pH ممکن است تصور گردد، کلسیم به صورت کمپلکس $CaOH^+$ در محیط وجود دارد و این کمپلکس در این محدوده pH می‌تواند بار سطحی کوارتز را تغییر دهد (فعال سازی کوارتز). در نتیجه چون کلکتور مورد استفاده آنیونی است (گزنتات) می‌تواند فلوتاسیون کوارتز در این محدوده pH و در حضور گزنتات انجام شود و بازیابی مس افت کند. در این رابطه باید اذعان داشت گزنتات‌ها اگر چه قادر به فلوته کردن مس و نقره طبیعی هستند اما در فلوته کردن سیلیکات‌ها کاربرد ندارند. همچنین بیشتر سیلیکات ها در pH های بیشتر از ZPC (نقطه بار صفر) به کمک کلکتورهای کاتیونی قابل فلوته هستند. با توجه به ZPC کوارتز که معادل ۱/۸ می‌باشد، در pH های آزمون‌های انجام شده کانی کوارتز فلوته نخواهد شد. علاوه بر این در pH های بیشتر از ۹ کوارتز دارای بار منفی است و به‌وسیله کلکتورهای آنیونی فلوتاسیون آن امکان‌پذیر نیست. در ادامه به منظور اثبات عدم فلوته شدن سیلیس در فلوتاسیون مس، دو موضوع قابل ارائه است. الف- بررسی بازیابی کوارتز در مرحله رافر آزمون‌های آزمایشگاهی: در این راستا به منظور تعیین بازیابی کوارتز در آزمون‌های آزمایشگاهی، نمونه‌های تست‌های مختلف برای کانی کوارتز عیارسنجی گردید و سپس بازیابی کوارتز در کنسانتره رافر محاسبه گردید. شکل ۱ نمودار بازیابی کوارتز در این آزمون‌ها را نشان می‌دهد.۲/۸۷



شکل (۱) نمودار بازیابی کوارتز در نمونه‌های مختلف آب مورد استفاده در این پژوهش

همان‌گونه که در نمودار شکل ۱ نیز مشخص است بازیابی کوارتز در آزمون‌ها بسیار پایین و بین ۲/۸۹-۲/۷۸ درصد می‌باشد که این میزان بازیابی اکثراً ناشی از فلوتاسیون غیرانتخابی و پدیده قفل‌شدگی و دنباله‌روی اتفاق می‌افتد به-

www.SID.ir

طوری‌که در مراحل بعدی فلوتاسیون با خردایش مجدد این میزان به حداقل می‌رسد.

ب- بررسی بازیابی کوارتز در کنسانتره نهایی کارخانه تغلیظ سرچشمه: در این راستا نیز میانگین عیار مس و کوارتز جریان‌های خوراک و کنسانتره نهایی کارخانه تغلیظ طی چهار ماه سال جاری محاسبه شد و سپس نتایج، توسط نرم‌افزار موازنه-جرم موازنه گردید که به همراه بازیابی نمونه‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۳ آورده شده است.

جدول (۳) مقادیر عیار و بازیابی کوارتز در نمونه‌های مورد استفاده در این پژوهش

شماره تست	نام نمونه	وزن(gr)	عیار (٪)			بازیابی (٪)	
			Cu	SiO2	Mo	Cu	SiO2
	کنسانتره	۸۷/۵	۱۰/۹۴	۲۷/۱۸		۸۷/۵	۲/۸۹
	تیل	۱۳۷۲/۵	۰/۱۰	۵۸/۲۱		۱۲/۵	۹۷/۱
۱	مجموع	۱۴۶۰/۰	۰/۷۵	۵۶/۳۵	۰/۰۰۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
	کنسانتره	۷۹/۱	۱۲/۱۰	۲۹/۶۴		۸۷/۵	۲/۸۵
	تیل	۱۳۸۰/۹	۰/۱۰	۵۷/۸۸		۱۲/۶	۹۷/۲
۲	مجموع	۱۴۶۰/۰	۰/۷۵	۵۶/۳۵	۰/۰۰۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
	کنسانتره	۷۵/۹	۱۲/۶۱	۳۰/۱۰		۸۷/۴	۲/۷۸
	تیل	۱۳۸۴/۱	۰/۱۰	۵۷/۷۹		۱۲/۶	۹۷/۲
۳	مجموع	۱۴۶۰/۰	۰/۷۵	۵۶/۳۵	۰/۰۰۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
	کنسانتره	۸۲/۲	۱۱/۶۵	۲۸/۷۶		۸۷/۴	۲/۸۷
	تیل	۱۳۷۷/۸	۰/۱۰	۵۸/۰۱		۱۲/۶	۹۷/۱
٤	مجموع	۱۴۶۰/۰	۰/۷۵	۵۶/۳۶	۰/۰۰۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
	کنسانتره	۷۷/۲	۱۲/۴۱	۲۹/۶۳		۸۷/۵	۲/۷۸
	تیل	۱۳۸۲/۸	۰/۱۰	۵۷/۸۴		۱۲/۵	۹۷/۲
٥	مجموع	۱۴۶۰/۰	۰/۷۵	۵۶/۵۳	۰/۰۰۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
	کنسانتره	۲/۳	۲۴/۶۶	۴/۷۵		۸۶/۷	۰/۱۹
	تیل	۹۷/۷	۰/۰۹	۵۸/۳۱		۱۳/۳	۹۹/۸
کنسانتره نهایی	مجموع	۱۰۰/۰	۰/۶۶	۵۷/۰۶	۰/۰۰۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰

نتایج نهایی ارائه شده در جدول ۳ نشان داد بازیابی کوارتز در کنسانتره نهایی کمتر از ۰/۱۹ درصد می‌باشد. با توجه به مقدار مذکور مشخص است که این میزان بسیار جزئی کوارتز نمی‌تواند از طریق فلوتاسیون به کنسانتره راه پیدا کرده باشد.

۴-۲- آنالیز دانه‌بندی پالپ ورودی کارخانه و نمونه مورد استفاده

آنالیز دانه‌بندی نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش‌های فلوتاسیون و آنالیز دانه‌بندی پالپ ورودی به مدار فلوتاسیون کارخانه به ترتیب در ذیل آورده شده است:

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۴) آنالیز پالپ ورودی به مدار کارخانه در مقایسه با نمونه های مورد استفاده

دانه بندی um (میکرون)		Q>۵۰۰	۳۱۵<Q<۵۰۰	۲۵۰<Q<۳۱۵	۱۲۵<Q<۲۵۰	۱۰۰<Q<۱۲۵	Q<۱۰۰	Q=۷۴
نمونه‌های مورد استفاده	وزن نمونه عبوری از سرند (گرم)	-	۱۵۸	۱۳/۷۸	۲۰/۲۸	۲/۱۸	۱/۹۶	۳/۸
	درصد نمونه عبوری از سرند (درصد)	**۷۰/۴**	۷۹	۶/۸۹	۱۰/۱۴	۱/۰۹	۰/۹۸	۱/۹۰
	جمع کل نمونه سرند شده	۱۰۰٪=۲۰۰ گرم						
پالپ ورودی به مدار کارخانه	وزن نمونه عبوری از سرند (گرم)	-	-	۱۸۸/۵۲	۱۷/۰۴	۳۰/۵۷	۳/۶۹	۰/۱۷
	درصد نمونه عبوری از سرند (درصد)	-	**۷۱/۶۶**	۷۸/۵۵	۷/۱	۱۲/۷۴	۱/۵	۰/۰۷
	جمع کل نمونه سرند شده	۱۰۰٪=۲۴۰ گرم						

همان‌گونه که در جدول فوق مشاهده می‌شود درصد جامد عبوری از الک ۲۰۰ مش که معادل ۷۴ میکرون است در پالپ ورودی به کارخانه ۷۱/۶۶ و در نمونه‌های مورد استفاده حدود ۷۰/۴ درصد می‌باشد که این ارقام به یکدیگر بسیار نزدیک هستند.

۴-۳- تأثیر نمونه‌های آب بر بازیابی مس، پیریت و مولیبدن

نتایج بدست آمده از آزمون‌های آزمایشگاهی حاصل از فلوتاسیون ۵ نمونه آب به‌وسیله نرم‌افزار موازنه جرم موازن، موازنه گردید. جدول ۵ خلاصه نتایج به‌دست‌آمده از میانگین بازیابی سه کانی مس، پیریت و مولیبدن را به همراه انحراف استاندارد آن‌ها نشان می‌دهد. همچنین به منظور مقایسه بهتر نتایج، نمودار بازیابی سه کانی مس، پیریت و مولیبدن تحت شرایط انواع مختلف آب در شکل ۲ ترسیم شده است.

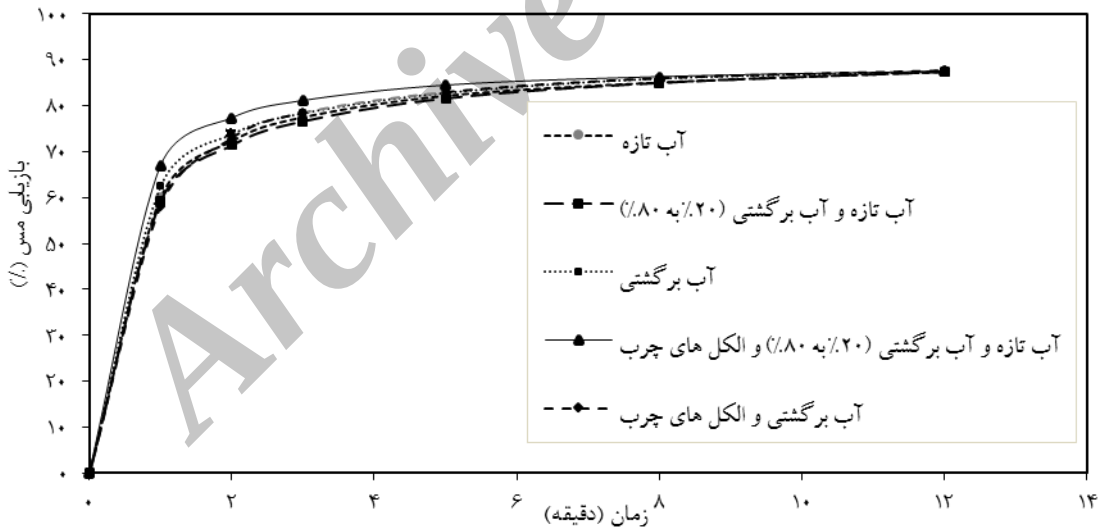
جدول (۵) خلاصه نتایج موازنه‌شده آزمون‌های آزمایشگاهی

شماره تست	Cu Re (%)		Py Re (%)		MO Re (%)	
	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین
۱	۰/۰۲۸	۸۷/۳۹	۰/۰۵۶	۸/۰۰	۰/۵۶۶	۶۹/۸۰
۲	۰/۰۲۷	۸۷/۴۰	۰/۰۴۲	۷/۷۰	۰/۵۶۶	۶۷/۸۳
۳	۰/۰۲۸	۸۷/۴۲	۰/۰۲۸	۶/۶۰	۰/۴۹۵	۶۷/۵۰
۴	۰/۰۱۴	۸۷/۴۳	۰/۰۲۸	۵/۴۰	۰/۷۰۷	۷۰/۳۶
۵	۰/۰۴۲	۸۷/۵۵	۰/۰۴۲	۶/۰۰	۰/۷۰۸	۷۱/۳۵

Archive of SID
www.SID.ir

شکل (۲) نمودار میله‌ای مقادیر متوسط بازیابی مس، پیریت و مولیبدن تحت شرایط نمونه‌های مختلف آب

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد تفاوت بین بازیابی مس تحت نمونه‌های مختلف آب بسیار اندک می‌باشد. این تفاوت در مورد دو کانی پیریت و مولیبدن نیز علی‌رغم اینکه در مقایسه با مس بارزتر است اما جزئی می‌باشد. جهت تجزیه و تحلیل بهتر، نتایج آزمون‌های سینتیکی انجام شده، در شکل-های ۳ تا ۵ ارائه شده است که این اشکال به‌ترتیب منحنی بازیابی مس، پیریت و مولیبدن آزمون‌های انجام شده برحسب زمان را نشان می‌دهد.

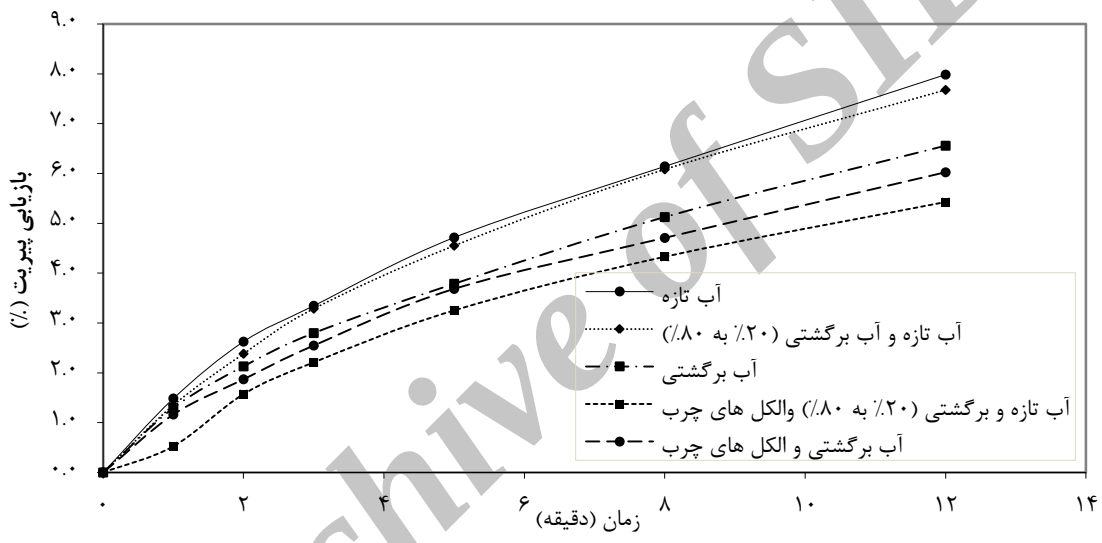


شکل (۳) منحنی بازیابی مس بر حسب زمان در آزمون‌های سینتیکی آزمایشگاهی

باید توجه داشت در مدار فلوتاسیون مهمترین فلز، مس می‌باشد و مولیبدن به عنوان یک محصول جانبی در کارخانه تلقی می‌گردد، لذا آزمایش‌های فلوتاسیون با تاکید بر عیار و بازیابی مس انجام می‌شود. با توجه به نمودار سینیک مس (شکل ۳) بازیابی مس تقریبا به حداکثر رسیده و چنانچه فلوتاسیون مس از این زمان بیشتر شود در ازای افزایش بسیار ناچیز بازیابی مس، شاهد افت بیش از حد عیار مس در کنسانتره خواهیم بود. هم چنین باید اذعان داشت زمان ماند در سلول های رافر کارخانه تغلیظ سرچشمه حدود ۱۴ دقیقه می باشد. با توجه به اینکه در یک زمان ثابت، نتایج آزمایشگاهی طی تجربیات متمادی، معمولا درصد کمی بهتر از نتایج صنعتی می باشد، تجربه نشان داده که ۱۲ دقیقه

Archive of SID
www.SID.ir

فلوتاسیون آزمایشگاهی با ۱۴ دقیقه فلوتاسون کارخانه دارای نتایج مشابهی می‌باشد و چون هدف انجام آزمایشات در شرایطی نزدیک به شرایط کارخانه است، زمان در نظر گرفته شده در پژوهش، زمان بهینه است. نمودار بازیابی مس نشان می‌دهد بیشترین تفاوت بازیابی در نمونه‌های مختلف آب مربوط به زمان ابتدایی کنسانتره‌گیری است به‌طوری‌که نمونه ۴ که شامل آب برگشتی و آب تازه در حضور الکل‌های چرب می‌باشد در دقیقه اول با ۶۶/۶ درصد بیشترین بازیابی را در مقایسه با سایر نمونه‌های آب داشته است درحالی‌که حداکثر بازیابی در دقایق ۲، ۳ و ۵ از شروع کنسانتره‌گیری مربوط به نمونه ۵ (آب برگشتی و الکل‌های چرب) می‌باشد با رسیدن به دقایق پایانی، بازیابی در این دو نمونه نسبت به سه نمونه دیگر آب اندکی افت داشته است ولی با رسیدن به انتهای بازه منحنی‌های ترسیم شده بسیار به یکدیگر نزدیک شده و اختلاف چندانی را نشان نمی‌دهند. نتایج به‌دست‌آمده مؤید این نکته است که اضافه شدن الکل‌های چرب کاهنده تبخیر در دو نمونه ۴ و ۵، نه‌تنها تأثیر منفی در بازیابی مس نداشته است بلکه به میزان جزئی بازیابی مس را نسبت به سایر نمونه-های آب افزایش داده است. علاوه بر این حضور الکل‌های چرب در آب منجر شده تا بیشترین بازیابی در این دو نمونه در دقایق ابتدایی بازه صورت گیرد و با رسیدن به انتهای زمان موردنظر با کاهش بار در پالپ داخل سلول، بازیابی نیز کاهش می‌یابد. نمودار سینتیکی بازیابی پیریت در نمونه‌های مختلف آب نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.

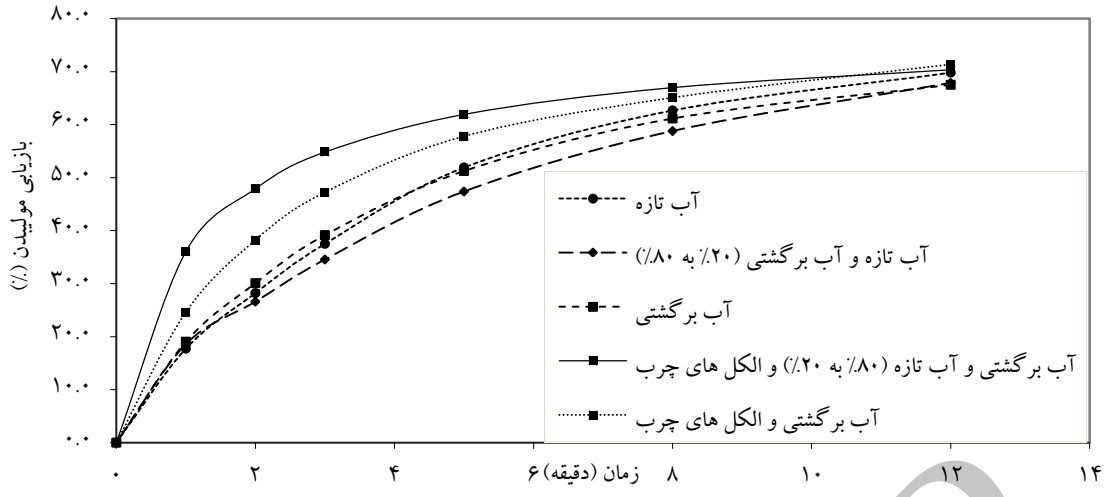


شکل (۴) منحنی بازیابی پیریت بر حسب زمان در آزمون‌های سینتیکی آزمایشگاهی

همان‌گونه که نمودار بازیابی پیریت نیز نشان می‌دهد در دقیقه اول کف‌گیری، بازیابی پیریت در دو نمونه آب دارای الکل‌های چرب (نمونه ۴ و۵) کمترین درصد را نشان می‌دهد این در حالی است که بیشترین بازیابی مس نیز در دقیقه اول و در نمونه ۴ حاصل شده است. در این نمونه، افت بازیابی پیریت در مقابل افزایش بازیابی مس در دقیقه اول می‌تواند ناشی از عملکرد مناسب الکل‌های چرب باشد. اگر چه در سایر دقایق کف‌گیری، بازیابی پیریت از روندی منظم برخوردار نمی‌باشد اما در مجموع کمترین بازیابی پیریت مربوط به نمونه ۴ می‌باشد که این نمونه جزء دو نمونه‌ای است که در آن بیشترین بازیابی مس گزارش شده است. نکته حائز اهمیت در این نمونه نیز حضور فعال الکل‌های چرب می‌باشد که تأثیر مثبت آن در افزایش بازیابی مس و بازداشت پیریت ، هر چند به صورت جزئی، مشهود است. منحنی‌های بازیابی مولیبدن به‌عنوان سومین کانی مورد بررسی نیز تحت ۵ نمونه مختلف آب در شکل ۵ نمایش داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۵) منحنی بازیابی مولیبدن بر حسب زمان در آزمون‌های سینتیکی آزمایشگاهی

نتایج به‌دست‌آمده از بازیابی مولیبدن نشان می‌دهد بیشترین بازیابی در دقیقه اول صورت گرفته است و مربوط به نمونه‌های شماره ۴ و ۵ می‌باشد به‌طوری‌که متوسط افزایش بازیابی در دقیقه اول در دو نمونه ۴ و ۵ حدود ۴۰ درصد بیشتر از متوسط بازیابی در سه نمونه آب بدون الکل می‌باشد. در سایر دقایق کف‌گیری میزان بازیابی مولیبدن در این دو نمونه نسبت به سایر نمونه‌ها کاهش یافته است که این موضوع با توجه به کاهش بار مولیبدن بعد از کف‌گیری در دقیقه اول در پالپ داخل سلول قابل توجیه می‌باشد. در مجموع مقادیر نهایی بازیابی در پنج نمونه آب نشان می‌دهد بیشترین بازیابی مربوط به نمونه‌های ۴ و ۵ (نمونه‌های حاوی الکل‌های چرب) می‌باشد که متوسط این افزایش در دو نمونه فوق حدود ۳/۵ درصد سه نمونه آب بدون الکل محاسبه شده است و این نتایج نقش الکل‌های چرب را در شناورسازی اکسیدهای فلزی و افزایش بازیابی برجسته می‌کند. تأثیر مثبت الکل‌های چرب در افزایش بازیابی مولیبدن در دقیقه اول و همچنین بازیابی نهایی در دو نمونه حاوی الکل‌های چرب (نمونه ۴ و ۵) نیز کاملاً مشهود می‌باشد.

در واقع به منظور ارزیابی و تجزیه و تحلیل نمودارهای بازیابی مس، مولیبدن و پیریت ثابت سینتیک و بازیابی در زمان بی نهایت بررسی می‌گردد. در پژوهش حاضر باید خاطر نشان کرد که این دو عامل برای پیریت (به عنوان عامل مزاحم) بی معنی است و برای مولیبدن که به عنوان محصول جانبی است اهمیت خاصی ندارد. لذا ثابت سینتیک و بازیابی در زمان بی نهایت برای مس قابل بررسی است. با توجه به اینکه در رافر هدف اصلی بازیابی است و با عنایت به اینکه سینتیک در دو تا سه دقیقه اول صورت می گیرد، در واقع (شکل ۲) شیب خطوط در این دقایق به صورت خط راست و بسیار به هم نزدیک می باشد به طوری که این خطوط کاملاً بر روی یکدیگر قرار گرفته اند و سینتیک آنها، بسیار به هم نزدیک می باشد. از طرفی در دقیقه ۱۲ نیز خطوط بسیار به هم نزدیک شده و روی یکدیگر قرار گرفته اند و می‌توان گفت بازیابی در زمان بینهایت نیز بسیار به هم نزدیک می‌باشد (تقریبا شیب خط نیز ثابت شده است). لذا در پژوهش حاضر که با توجه به شکل ۲ ثابت سینتیک و بازیابی در زمان بی‌نهایت بسیار به هم نزدیک بوده و تفاوت چندانی ندارد، تحلیل و ارزیابی خاصی نخواهد داشت، از طرف دیگر هدف اصلی پژوهش بررسی عدم تأثیر الکل‌های زنجیره بلند بر بازیابی مس می‌باشد که این هدف در پروژه محقق شده است.

۴-۴- نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری

نتایج آزمایش‌های مختلف فلوتاسیون با استفاده از نمونه‌های مختلف آب تفاوت‌هایی را در مقادیر بازیابی مس، پیریت و مولیبدن نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها در بازیابی مس به صورت جزئی و در بازیابی پیریت و مولیبدن اندکی بارزتر نمود پیدا کرده است که در بالا نیز تشریح گردید. در ادامه به منظور بررسی معنی‌داری تفاوت‌های مشاهده شده در بازیابی سه کانی مس، پیریت و مولیبدن از لحاظ آماری جدول تجزیه واریانس آن‌ها ارائه شده است (جدول ۶). بر اساس مقادیر

Archive of SID
www.SID.ir

نسبت پراش در نتایج ارائه شده از جدول تجزیه واریانس بین نمونه‌های مختلف آب از نظر تأثیر بر بازیابی مس، پیریت و مولیبدن در سطح احتمال ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵).

جدول (۶) انحراف واریانس یک‌سویه برای بررسی تغییرات بازیابی در سه کانی مس، پیریت و مولیبدن

کانی	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	نسبت پراش (معنی‌داری)
مس	بین گروه‌ها	۰/۰۳۳	۴	۰/۰۰۸	۹/۴۷۷	۰/۰۱۵
	درون گروه‌ها(خطا)	۰/۰۰۴	۵	۰/۰۰۱		
	جمع کل	۰/۰۳۸	۹			
پیریت	بین گروه‌ها	۹/۷۴۴	۴	۲/۴۳۶	۱۴۵۰/۰۰	۰,۰۰۰
	درون گروه‌ها(خطا)	۰/۰۰۸	۵	۰/۰۰۲		
	جمع کل	۹/۷۵۲	۹			
مولیبدن	بین گروه‌ها	۲۱/۹۰۸	۴	۴۷۷,۵	۱۴/۵۲۸	۰/۰۰۶
	درون گروه‌ها(خطا)	۱/۸۸۵	۵	۰/۳۷۷		
	جمع کل	۲۳/۷۹۳	۹			

در ادامه جهت تشخیص تفاوت بین میانگین بازیابی سه کانی مس، پیریت و مولیدن از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۰/۰۵ استفاده شده است. نتایج این آزمون به منظور بررسی تأثیر نوع آب بر میانگین بازیابی سه کانی مورد بررسی در جدول ۷ آورده شده است.

جدول (۷) نتایج آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین تأثیرنوع آب بر بازیابی سه کانی مس، پیریت و مولیبدن

کانی	نوع آب	۱	۲	۳	۴	۵
مس	آب تازه	^{b}۸۷/۳۹				
	آب تازه و آب برگشتی با نسبت ۲۰٪ به ۸۰٪	^{b}۸۷/۴				
	آب برگشتی	^{b}۸۷/۴۲				
	آب تازه و آب برگشتی با نسبت ۲۰٪ به ۸۰٪ و الکل‌های چرب	^{b}۸۷/۴۳				
	آب برگشتی و الکل‌های چرب		^{a}۸۷/۵۵			
پیریت	آب تازه و آب برگشتی با نسبت ۲۰٪ به ۸۰٪ و الکل‌های چرب	^{e}۵/۴				
	آب برگشتی و الکل‌های چرب		^{d}۶/۰			
	آب برگشتی			^{c}۶/۶		
	آب تازه و آب برگشتی با نسبت ۲۰٪ به ۸۰٪				^{b}۷/۷	
	آب تازه					^{a}۸/۰۰
مولیبدن	آب برگشتی	^{b}۶۷/۵				
	آب تازه و آب برگشتی با نسبت ۲۰٪ به ۸۰٪	^{b}۶۷/۸۳				
	آب تازه		^{a}۶۹/۸			
	آب تازه و آب برگشتی با نسبت ۲۰٪ به ۸۰٪ و الکل‌های چرب		^{a}۷۰/۳۶			
	آب برگشتی و الکل‌های چرب		^{a}۷۱/۳۵			

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج آزمون دانکن در نهایت تفاوت معنی‌داری اختلاف-های مشاهده شده در مقادیر بازیابی را دسته‌بندی کرده و مقادیری که با حروف مشترک نشان داده شده‌اند را در یک گروه طبقه‌بندی می‌نماید. بر این اساس تفاوت بین نتایج به‌دست‌آمده در بازیابی مس با استفاده از ۵ نوع آب نشان می-دهد، نمونه‌های ۳،۲،۱ و۴ از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار دارند. تنها نمونه ۵ در گروه مستقل قرار گرفته که در واقع بیشترین بازیابی را داشته است. این نتیجه نشان می‌دهد اضافه نمودن الکل‌های چرب کاهنده تبخیر که در آب برگشتی و در ترکیب با آب تازه مورد استفاده قرار می‌گیرد، هیچ‌گونه تأثیر منفی در بازیابی مس نخواهد داشت. در واقع استفاده از آب برگشتی به صورت خالص، آب تازه به صورت خالص و همچنین ترکیب آب برگشتی و آب تازه با و بدون استفاده از الکل‌های چرب نتیجه یکسانی بر بازیابی مس خواهند داشت. تنها در حالت استفاده آب برگشتی و الکل‌های چرب تفاوت در افزایش میزان بازیابی مس معنی‌داری خواهد بود که میزان افزایش بازیابی در این نمونه نسبت به نمونه بدون الکل آن، حدود ۰/۱ درصد محاسبه شده است. این افزایش درصد می‌تواند ناشی از تأثیر هم‌زمان وجود کلکتور و الکل‌های چرب در آب برگشتی باشد. اگر چه افزایش ۰/۱ درصد در بازیابی مس، ناچیز است اما چون هدف اصلی، عدم تاثیر منفی الکل های چرب بر بازیابی مس می‌باشد این نتیجه حائز اهمیت بوده و حتی اگر درصدی از آن ناشی از خطا باشد و فرض شود هیچ افزایشی در بازیابی مس صورت نگرفته باشد، چون عدم تاثیر منفی الکل‌ها در بازیابی مس ثابت شده است، این نتیجه بسیار مهم می‌باشد. در نمونه ۴ به دلیل جایگزینی ۲۰ درصد آب برگشتی با آب تازه، علی‌رغم وجود الکل‌های چرب، درصد کلکتور در مجموع آب مورد استفاده کمتر بوده و این عامل اندکی بر کاهش بازیابی مس تأثیر داشته است. مقادیر بازیابی پیریت در پنج نمونه آب با پنج علامت مختلف نمایش داده شده است و این به معنای وجود اختلاف معنی‌دار بین تمام نمونه‌هاست. بر این اساس نمونه ۴ که حاوی ۸۰ درصد آب برگشتی به علاوه ۲۰ درصد آب تازه در حضور الکل‌های چرب می‌باشد کمترین بازیابی پیریت و نمونه ۱ (آب تازه) بیشترین بازیابی پیریت را نشان داده است. در نمونه ۴ به دلیل اینکه ۲۰ درصد آب تازه به آب برگشتی اضافه شده است و در آب تازه کلکتور وجود ندارد این نمونه بازیابی کمتری (بازداشت پیریت بیشتر) را نسبت به آب برگشتی خالص در حضور الکل‌های چرب (نمونه ۵) داشته است. این روند در نمونه ۲ و ۳ که ترکیب آب در آن مشابه نمونه‌های ۳ و ۴ است (با این تفاوت که الکل‌های چرب به آن اضافه نشده است) نیز مشاهده می‌گردد. شایان ذکر است افزایش درصد بازداشت پیریت در نمونه ۴ نسبت به نمونه بدون الکل (نمونه ۲) حدود ۳۰٪ محاسبه شده است.

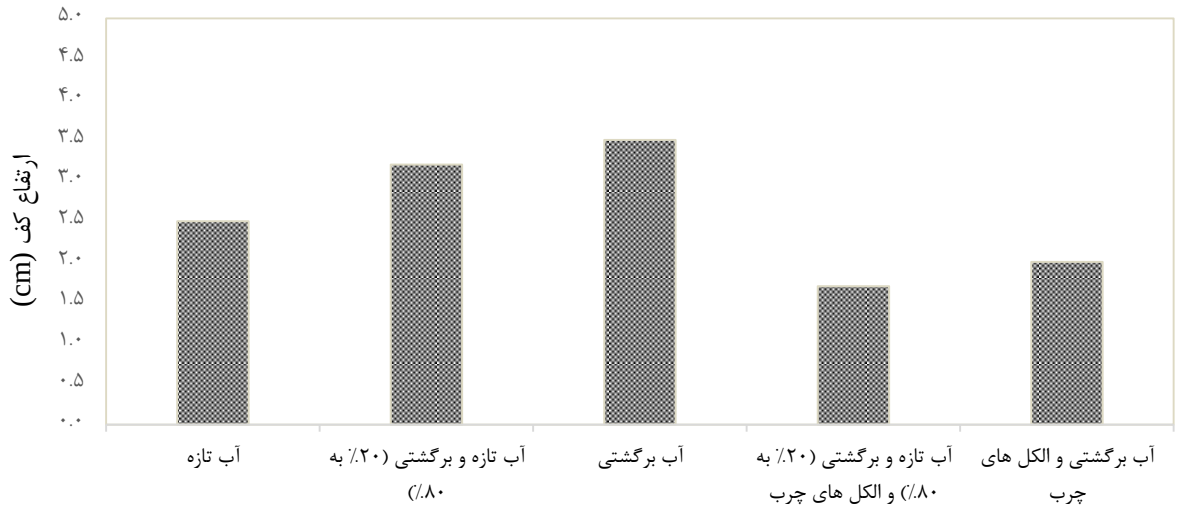
نتایج آزمون دانکن جهت بررسی معنی‌داری اختلاف بین بازیابی مولیبدن در نمونه‌های مختلف آب نیز نشان می‌دهد پنج نمونه در دو گروه آماری متفاوت قرار گرفته‌اند. در واقع اختلاف بازیابی در نمونه ۲ و ۳ معنی دار نبوده و این دو نمونه با داشتن یک حرف مشترک، کمترین بازیابی را داشته‌اند. نمونه‌های ۱، ۴ و ۵ نیز از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفته‌اند. اگر چه نمونه ۵ بیشترین مقدار بازیابی مولیبدن را نشان می‌دهد اما نتایج نشان می‌دهد این اختلاف با نمونه ۴ و ۱ معنی‌دار نبوده و این سه نمونه در یک سطح قرار گرفته اند. در هر صورت وجود دو نمونه ۴ و ۵ در این گروه نیز نقش الکل‌های چرب را در افزایش بازیابی مولیبدن برجسته می-نماید و نشان می‌دهد الکل‌های چرب تأثیر منفی بر فلوتاسیون مولیبدن نخواهند داشت. افزایش بازیابی مولیبدن در نمونه ۵ نسبت به همین نمونه در شرایط بدون استفاده از الکل‌های چرب (نمونه ۳) حدود ۵/۳ درصد می‌باشد.

۴-۵- نتایج حاصل از ارتفاع کف در نمونه‌های مختلف آب

به منظور بررسی تأثیر مواد کاهنده تبخیر بر عمق کف نیز، آزمایش‌ها در سلول‌های شیشه‌ای انجام گرفت. شکل ۶ نمودار عمق کف را در نمونه‌های مختلف آب نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۶) نمودار عمق کف ایجاد شده در پنج نمونه مختلف آب مورد استفاده در تحقیق حاضر

با توجه به نمودار فوق می‌توان گفت بیشترین میزان عمق کف مربوط به نمونه آب برگشتی می‌باشد. وجود کف‌ساز در آب برگشتی منجر شده تا عمق کف در نمونه آب برگشتی نسبت به دو نمونه آب تازه و همچنین آب تازه ترکیب شده با آب برگشتی بیشتر شود. اما مقادیر عمق کف در دو نمونه ۴ و ۵ که ترکیبی مشابه نمونه‌های ۲ و ۳ دارند و تنها اختلاف آن‌ها مربوط به اضافه شدن الکل‌های چرب در نمونه‌های ۴ و ۵ می‌باشد، کمتر می‌باشد. یکی از دلایل کاهش عمق کف در نمونه‌های الکل‌دار مربوط به وجود اتانول به عنوان حلال الکل-های چرب است که به آب برگشتی اضافه شده است، این عامل می‌تواند دلیل ناپایداری حباب‌ها و کاهش عمق کف در نمونه‌های آب دارای الکل باشد. از دیگر نکات قابل توجه در تحقیق حاضر رابطه بازیابی مس و مولیبدن با عمق کف می-باشد، به‌طوری‌که بیشترین بازیابی دو کانی مس و مولیبدن در کمترین عمق کف اتفاق افتاده است. نتیجه فوق می‌تواند مؤید این مطلب باشد که عمق کف رابطه مستقیم با بازیابی نخواهد داشت. با توجه به نتایج تحقیق حاضر رابطه بازیابی مس و مولیبدن با عمق کف یک رابطه معکوس می‌باشد، به‌طوری‌که بیشترین بازیابی دو کانی مس و مولیبدن در کمترین عمق کف اتفاق افتاده است. نتیجه فوق می‌تواند مؤید این مطلب باشد که عمق کف رابطه مستقیم با بازیابی نخواهد داشت. باید یادآور شد این نتیجه در شرایط خاص و مخصوص نتایج این پژوهش می‌باشد که در حضور الکل‌های چرب زنجیره بلند انجام گرفته است.کاهش عمق کف به خاطر وجود اتانول (حلال الکل‌های چرب) می‌باشد که منجر به ناپایداری حباب و کاهش عمق کف می‌شود، اما از طرف دیگر با توجه به نقش هیدروفوب بودن و آبگریزی الکل‌های چرب، شناورسازی اکسیدهای فلزی افزایش یافته و افزایش بازیابی به همین دلیل صورت گرفته است. در شرایط طبیعی بازیابی با عمق کف رابطه مستقیم دارد ولی نتیجه معکوس حاصل از پژوهش حاضر بدلیل حضور اتانول و کاهش عمق کف از یک‌طرف و وجود الکل‌های چرب و افزایش بازیابی از طرف دیگر می‌باشد.

۵- جمع‌بندی

تحقیق حاضر که با هدف بررسی تأثیر استفاده از الکل-های زنجیره بلند کاهنده تبخیر (هگزادکانول و اکتادکانول) بر بازیابی مس و مولیبدن در فرایند فلوتاسیون انجام شده است، در نهایت منجر به ارائه نتایج زیر گردید:

۱-استفاده از الکل‌های چرب کاهنده تبخیر بر ذخایر آبی مجتمع مس سرچشمه، نه‌تنها هیچ‌گونه تأثیر منفی بر عملکرد بازیابی مس و مولیبدن نداشته است بلکه بازیابی مس و مولیبدن را هرچند ناچیز افزایش داده است.

۲- وجود الکل‌های زنجیره بلند هگزادکانول و اکتادکانول در آب مورد استفاده، منجر به شناورسازی اکسیدهای فلزی شده و منجر به افزایش بازیابی دو کانی مس و مولیبدن گردیده است.

۳- مقایسه نمونه‌های مختلف آب نشان می‌دهد، به دلیل وجود کلکتور در آب برگشتی نسبت به آب تازه، میزان بازیابی

Archive of SID
www.SID.ir

مس در آب برگشتی بیشتر می‌باشد اما بازیابی مولیبدن در آب تازه بیشتر از آب برگشتی گزارش شده است.

۴- نمونه‌های حاوی الکل‌های چرب کمترین میزان بازیابی پیریت را داشته‌اند و این موضوع تأثیر مثبت الکل‌های چرب را در بازداشت پیریت پررنگ می‌نماید.

۵- در دو نمونه ۴ و ۵، حضور الکل‌های چرب، منجر شده تا بیشترین بازیابی مس و مولیبدن در بازه زمانی ابتدایی مرحله کف‌گیری اتفاق بیفتد.

۶- وجود کف‌ساز در آب برگشتی منجر شده تا در این نمونه عمق کف بیشتر از سایر نمونه‌ها گزارش گردد درحالی‌که عمق کف در دو نمونه حاوی الکل‌های چرب کمتر از سایر نمونه‌های آب می‌باشد. با توجه به اینکه بیشترین بازیابی مس و مولیبدن در دو نمونه حاوی مواد کاهنده تبخیر گزارش شده است، این نتیجه عدم تأثیر افزایش بازیابی با افزایش عمق کف را به اثبات می‌رساند.

۷- کاهش عمق کف در نمونه‌های حاوی الکل‌های چرب می‌تواند ناشی از حلال این الکل‌ها (اتانول) باشد که منجر به ناپایداری کف و حباب شده و عمق کف را کاهش داده است. به‌طوری‌که احتمال می‌رود اضافه نمودن پودر جامد این مواد به آب به صورت خالص و یا حل شده در برخی سورفکتانت‌ها، نه‌تنها در پایداری کف مؤثرتر واقع شود بلکه در افزایش بازیابی مس و مولیبدن نیز تأثیر چشمگیرتری داشته باشد.

۸-استفاده از الکل‌های زنجیره بلند عاملی مثبت در کاهش تبخیر از منابع آبی مجتمع محسوب می‌گردد و با کاهش قابل توجه تبخیر در مخازن روباز و عدم تأثیر منفی بر فرایند فلوتاسیون، می‌تواند در مدیریت منابع آب مجتمع مؤثر واقع شود.

تشکر و قدردانی

این مطالعه در قالب طرح پژوهشی مصوب و با حمایت مالی مجتمع مس سرچشمه انجام گرفته است. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از واحدهای مختلف مجتمع ازجمله واحد تحقیقات و توسعه، واحد آب‌رسانی و پایلوت‌پلنت و جناب آقای مهندس جباری که در انجام این پروژه مساعدت و همکاری لازم را به عمل آوردند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

[1] I. Craig, V. Aravinthan, C. p. Baillie, A. Beswick, G. Barnes, R. Bradbury, and L. Fitzmaurice (2007) "Evaporation, seepage and water quality management in storage dams: a review of research methods", *Environmental Health*, 7, 84-97.

[2] J. P. Remington, D. B. Troy, P. Beringer (2006) *Remington: The science and practice of pharmacy*, Vol. 1 :(Lippincott Williams & Wilkins).

[3] C. V. J. Varma (1997) " Manual on evaporation and its restriction from free water surfaces", *A. A. Balkema Publishers*, USA, 42, 960-960.

[4] S.S. Katti, and S.D. Sansare (1970) "Pressure-area isotherms, rates of spreading and equilibrium spreading pressures of n-alkoxypropanols and oxy butanols", *J. Colloid Interf. Sci*, 32, 361-6.

[5] G. T. Barnes (2008) "The potential for monolayers to reduce the evaporation of water from large water storages", *Agricultural Water Management*, 95, 339-353.

[6] J.H. Brooks, and A.E. Alexander (1960) "Losses by evaporation and solution from monolayers of long-chain aliphatic alcohols", *Proceedings of the Third International Congress of Surface Activity*, 4, 196–201. Cologne.

[7] M. Rey, and P. Raffinot (1985) " Flotation of Ores in Sea Water" in Water Management and Treatment for Mining and Metallurgical Operations" *von Michaelis, H, Ed, Colorado, Randol International ltd*, 6, 3167-3174.

[8] M. Zanin, E. Wightman, S.R. Grano, and J.P. Franzidis (2009) "Quantifying Contributions to Froth Stability in Porphyry Copper Plants", *Int. J. Miner. Process*, 91, 19–27.

[۹] نخعی، ف. ؛ ایران‌نژاد، م. (۱۳۹۴) «استفاده از آب دریا در فولتاسیون مس-مولیبدن، دو فصلنامه علمی پژوهشی دریافنون». سال دوم، ص ۹۸-۱۰۵

[10] N.P. Haran, E.R. Boyapati, C. Boontanjai, and C. Swaminathan (2008) "Kinetics Studies on Effect of Recycled Water on Flotation of Copper Tailings from Benambra Mines, Victoria", *Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing*, 4, 197 – 211.

[11] E. Muzenda (2010) "An investigation into the effect of water quality on flotation performance", *World Academy of science. Engineering and Technology*, 69, 237-241.

[12] M. R. Hoover (1980) "Water Chemistry Effects in the Flotation of Sulfide Ores-- a Review and Discussion for Molybdenite." *Complex Sulphide Ores*: 100-112.

[13] S. Raghavan, and L.L. Hsu (1984) "Factors affecting the flotation recovery of molybdenite from porphyry copper

Archive of SID
www.SID.ir

ores", *International Journal of Mineral Processing*. 1, 12, 145-62.

[14] S. Schwarz, and S. Grano (2005) "Effect of particle hydrophobicity on particle and water transport across a flotation froth", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 256, 157-164.

[15] S. Farrokhpay (2011) "The significance of froth stability in mineral flotation- a review", *Advances in Colloid and Interface Science*, In Press, 166, 1-7.

[16] S.R. Williams, J.M. Phelan (1985) "Process development at woodlawn mines", *Complex Sulfides--Processing of Ores, Concentrates and By-Products*, 293-304.

[17] N.P.Haran, E.R. Boyapati, C. Boontanjai, and C. Swaminathan, (1996) "The effect of water quality on flotation kinetics of chalcopyrite", InChemeca 96: Excellence in Chemical Engineering; 24th Australian and New Zealand Chemical Engineering Conference and Exhibition, Barton, ACT, *Inst. Eng. Australia*, 3, 77-82.

[18] R. Brehenhamn, H. S. Du Preez and G. Coetzer (2001) "Influence of Water Resources and Metal Ions on Galena Flotation of Rosh Pinnar Ore", *Kumba Resources R&D, Pretoria, South Africa*, 103, 193 -207

[19]W. Liu, C.J. Moran and S. Vink "A review of the effect of water quality on flotation", *Minerals Engineering*, 30, 91-100.

[۲۰] عزیزی، ا.؛ دستجردی، م. ؛ فدایی، ب. (۱۳۹۳) «بررسی تأثیر کیفیت آب فلوتاسیون بر بازیابی مس». کنفـرانس ملـی علـوم معدنی، ۱۱ و۱۲ شهریور

Archive of SID

www.SID.ir

Effects of long-chain alcohols reducing water evaporation on copper flotation

Hamideh Afkhami [1,*], Hossein Malekinezhad [1], Esmat Esmailzadeh [2], Khodakaram Gharibi [3], Abolfazl Azizian [4]

1. Faculty of Natural Resources,Yazd University, Yazd, Iran
2. Chief of water and environmental research, Sarcheshmeh copper complex, Kerman, Iran
3. Faculty of Mining and Metallurgy Engineering, University of Yazd,Yazd, Iran
4. Facuty of Natural Resources, university of Ardakan,Ardekan, Iran

ABSTRACT

In present, more than 80 percent of the water used in the from is provided flotation process Sarcheshmeh Copper Mine recycled water of tailing dam that evaporation is considered the most important factor of losses from this important resource. In this study for evaporation reduction, two types of fatty alcohols were added to five different water samples and were examined its impact on the recovery of the three mineral, copper, pyrite and molybdenum and then, the significance of the observed differences flotation tests on water samples were analyzed using Duncan's multiple range test. The results showed, fatty alcohol not only have not been a negative impact on the recovery of three mineral copper, pyrite and molybdenum, but also have increased 0.1% recovery of copper and 3.5% molybdenum recovery. Moreover, have increased pyrite arrested an estimated 30%.

All right reserved.

ARTICLE INFO

Article history:
Received: February 13, 2017
Received in revised form: September 5, 2017
Accepted: October 3, 2017

Key words:
Copper recovery
Sarcheshme copper mine
Hexadecanol
Octadecanol
Water resources

* Corresponding author
Hamide.afkhami@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir