

استفاده از آب دریا در فلوتاسیون مس - مولیبدن

فرديس نخعی^۱، مهدي ايران نژاد^۲

iranajad@aut.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۲- دانشیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

چکیده

با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه صنایع مختلف، میزان آب تازه به سرعت در حال کاهش است به طوری که در کشورهای خشک مانند ایران، به یک عامل حیاتی، تبدیل شده است. فرآیند فلوتاسیون یکی از روش های اصلی فرآوری مواد معدنی است که در محیط های آبی انجام می گیرد و حجم وسیعی از آب را مصرف می کند. هدف از مقاله حاضر بررسی استفاده از آب دریا در فلوتاسیون کانه های سولفیدی مس- مولیبدن و مقایسه نتایج آن با آب تازه است. نمونه مورد مطالعه از خوراک وروی به سلول های رافر واحد تغلیظ ۲ مجتمع مس سرچشمه تهیه شده است. آزمایش های فلوتاسیون در شرایط مختلف در آب تازه و آب دریا انجام گردید و بازیابی های مس، مولیبدن و آهن تعیین شد. نتایج نشان داد که بازیابی مس در آب تازه و آب دریا در pH های مختلف روند مشابهی داشته است ولی بازیابی مولیبدن در pH بالای ۹/۵ به شدت کاهش یافت. کاهش بازیابی مولیبدن به دلیل ترسیب هیدروکسید منیزیم است که در pH های بالاتر از ۹/۵ اتفاق می افتد. بنابراین فلوتاسیون مرسوم مس مولیبدن (pH بالای ۱۱) زمانی که پیریت در محیط زیاد باشد در صورت استفاده از آب دریا با مشکل جدی مواجه خواهد شد.

واژگان کلیدی: آب دریا، فلوتاسیون، pH، بازیابی، مس، مولیبدن، سرچشمه

تاریخ دریافت مقاله : ۹۳/۰۴/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۴/۰۱/۲۲

۱= مقدمه

فلوتاسیون به عنوان یک فرآیند آبی موثر در پرعبارسازی کانی‌های فلزی و صنعتی از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. عوامل متعددی بر فرآیند فلوتاسیون تأثیرگذارند که می‌توان آنها را در گروه‌های متفاوت دسته بندی کرد. گروه اول، به خواص فیزیکوشیمیایی کانی‌های مختلف موجود در کان‌سنگ مورد فرآوری وابسته اند. گروه دوم، بستگی به شرایط فلوتاسیون (نوع و مقدار مواد شیمیایی، سینتیک واکنش و ...) دارند. گروه سوم تحت تأثیر کیفیت و نوع آب مورد استفاده در فرآیند قرار می‌گیرند که موضوع اصلی این مقاله است. لازم به ذکر است به طور کلی چندین عامل از هر گروه به طور همزمان در فرآیند فلوتاسیون تأثیرگذار هستند. عملیات فلوتاسیون سهم بسیار زیادی از آب را به منظور تولید محصول، مصرف می‌کند. عملیات فلوتاسیون بر اساس خواص سطحی کانی استوار بوده و کارایی آن به شدت به کیفیت آب مصرف شده در فرآیند بستگی دارد. امروزه رودخانه‌ها و منابع آب زیرزمینی به سرعت در حال اتمام هستند، بنابراین استفاده از آب دریا در واحدهای فلوتاسیون به شدت اهمیت پیدا کرده است.

همان طور که بیان شد، عملیات فرآوری مواد معدنی به مقدار قابل توجهی از آب برای انجام فعالیت‌های خود نیاز دارند. با این وجود بیشتر این معادن در مناطقی واقع شده‌اند که یا منابع آب تازه در آنها محدود است یا مشکلات اقتصادی، استفاده از این منابع را تحت فشار قرار می‌دهد. اکثر شرکت‌های معدنی مجبورند تا مصرف آب تازه را کاهش و بیشتر از آب بازیافتی یا آب دریا استفاده کنند و تجهیزات خود را برای استفاده از آب‌هایی با کیفیت پایین‌تر سازگار سازند. عدم مطالعه دقیق و انجام آزمایش‌های مناسب قبل از به کارگیری آب دریا در مقیاس صنعتی، اثرات زیان‌باری بر کارایی فرآیندهای کانه‌آرایی دارد.

بخش مهمی از معادن ایران، نظیر مس و آهن، در جنوب و شرق کشور به ویژه در استان‌های هرمزگان، کرمان و یزد واقع شده‌اند. یکی از بزرگترین موانع در راه اجرای طرح‌های توسعه‌ای معادن در این مناطق، کمبود منابع آب با کیفیت مناسب است. بنابراین، با در نظر گرفتن افزایش هزینه‌های تأمین آب از منابع متعارف داخل کشور و کمبود آب‌های زیرزمینی، استفاده از آب دریا در عملیات

فرآوری در کشور و افزایش بهره‌وری از طریق ارتقای فناوری را امری توجیه پذیر و ضروری نموده است. یکی از منابع قابل دسترس در این مناطق، که تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است، آب‌های شور خلیج فارس و دریای عمان است.

ایران به عنوان یکی از پتانسیل‌های مهم اقتصادی مس پورفیری در دنیا شناخته شده است و از نظر مس زایی در بهترین شرایط متالورژی قرار گرفته است. ذخایر قطعی مس کشور حدود ۲ میلیارد تن برآورد گردیده است که با مد نظر قراردادن عیار محتوای مس در این ذخایر، مس محتوای موجود حدود ۱۸ میلیون تن برآورد گردیده است که در مقیاس جهانی حدود ۴ درصد ذخایر مس جهان را شامل می‌شود. بر این اساس، تمرکز این مقاله به تأثیر استفاده از آب دریا در فلوتاسیون مس پورفیری (مس-مولیبدن) اختصاص یافته است.

اخیراً آب دریا در فعالیت‌های معدنی در کشورهای شیلی، پرو، اندونزی، کانادا و پرتغال استفاده شده است. استفاده از آب دریا زمانی که عیار و بازیابی کنسانتره، مشابه زمان استفاده از آب تازه باشد می‌تواند به عنوان راه حل بسیار ارزشمندی تلقی گردد. بدین منظور، تأثیر بعضی عوامل مانند، pH، مینرالوژی، کشش سطحی، قابلیت کف‌سازی، قدرت یونی و اندازه حباب بر روی کیفیت محصول هنگام استفاده از آب دریا نیاز به محاسبه و آزمایش دارند.

یکی از اولین تحقیقات بر روی فلوتاسیون مس با آب دریا در سال ۱۹۳۰ توسط بارن در کشور شیلی انجام شده است [۱]. بعدها ری و رافینوت (۱۹۶۶) گزارش دادند که فلوتاسیون مس با آب دریا بسیار موفقیت آمیز بوده و می‌تواند در مقیاس صنعتی استفاده شود [۲]. بر اساس آزمایش‌های فلوتاسیون انجام شده در مقیاس نیمه صنعتی در معدن آنداکولو (Andacollo) شیلی، استفاده از تیو کربامات به عنوان کلکتور و روغن کاج به عنوان کف‌ساز در pH برابر ۹/۵ برای مدار رافر و pH بین ۹/۵ تا ۱۰/۵ در مرحله کلینر پیشنهاد شد [۳].

کارنیوان و همکاران (۲۰۱۱) ارتباط بین بازیابی زغال سنگ و اندازه حباب را نشان دادند و ادعا کردند که زغال سنگ ریز، بهتر در محلول‌های الکترولیت شناور می‌شوند زیرا حباب‌های ریزتر در چنین سیستم‌هایی تولید می‌شوند. همچنین آن‌ها، تأثیر غلظت NaCl ، MgCl_2 و NaClO_3 بر

ویژگی بافر بودن آب دریا از تغییرات pH ممانعت می کند، بنابراین هنگامی که pH در مقادیر معمول فلوتاسیون سولفیدهای مس تنظیم می شود به شدت مصرف آهک را افزایش می دهد. آب دریا به طور طبیعی pH برابر ۸/۷-۸/۸ دارد که به شوری و غلظت یونهای کربنات و بیکربنات ($\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$) و یون های برات و اسید بربیک ($\text{B(OH)}_3/\text{B(OH)}_4^-$) بستگی دارد. این یون ها مسئول تأثیر بافرینگ آب دریا هستند.

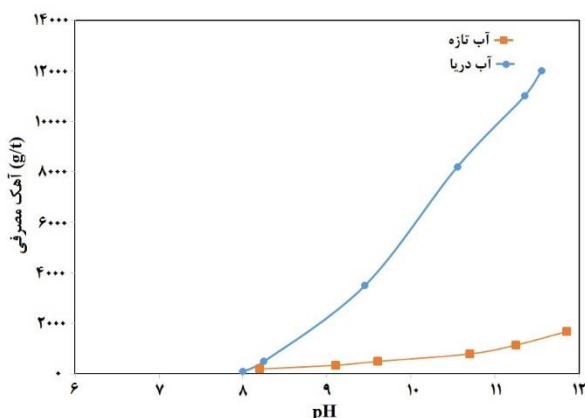
۱-۱-۲- استفاده از آهک در فلوتاسیون آب دریا

به طور رایج آهک به عنوان تنظیم کننده pH و همچنین بازداشت کننده پیریت در فلوتاسیون مس - مولیبدن استفاده می شود. در این تحقیق حین انجام آزمایش های فلوتاسیون میزان آهک مورد نیاز برای تنظیم pH در آب دریا و آب تازه ثبت شد. مشاهده شد که مصرف آهک در آب دریا با pH به طور نمایی افزایش می یابد (شکل ۱).

خاصیت قوی بافر بودن آب دریا در pH ۹/۵ به ۱۰/۵ اتفاق می افتد. زمانی که pH در ۱۰/۵ تنظیم می شود نرخ اضافه کردن آهک ۱۰ برابر آب تازه است.

۱-۱-۳- ترسیب کلوئیدی یون های ثانویه

مجموعه نمکهای محلول در آب دریا به عنوان شوری آب دریا در نظر گرفته می شوند. به طور میانگین درجه شوری آب دریا در حدود ۳۵ گرم بر کیلوگرم است. این بدین معناست که در هر کیلوگرم از آب دریا حدود ۳۵ گرم نمک های محلول وجود دارد.



شکل (۱) مصرف آهک در فلوتاسیون رافر مس - مولیبدن.

پایداری کف در فلوتاسیون زغال را مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که با افزایش غلظت نمک، پایداری کف افزایش می یابد به طوری که MgCl_2 پایدارترین کف و NaClO_3 کمترین مقدار را برای پایداری کف در پی داشتند [۴]. زانین و همکاران (۲۰۱۱) پایداری کف و اندازه حباب را با میزان آبگریزی ذرات مدل سازی کردند. در این کار متغیرهای تأثیرگذار بر پایداری کف برای محلول های الکترولیت و ترکیبات یونی مخصوصاً آب دریا بررسی شده است [۵].

مشخصه های کف MIBC و DF250 در محلول های NaCl و آب دریا به وسیله کاسترو و همکاران مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق ها، کف دوفازی از طریق شاخص های دینامیکی کف سازها در غلظت های متفاوت NaCl و در آب دریا توصیف شده است. قابلیت کف سازی (دو فازی) MIBC و DF250 در آب دریا نسبت به آب مقطر بسیار قوی تر می باشد. اگرچه آزمون های کف سازی (سه فازی) که طی فلوتاسیون رافر کانه های سولفید مس - مولیبدن انجام شد، نشان داد که در حضور کف سازهای پلی گلیکول DF250 و DF1020 قابلیت کف سازی در زمانی که در آب دریا اندازه گیری می شد در مقایسه با آب تازه بسیار پایین تر بود [۶ و ۷].

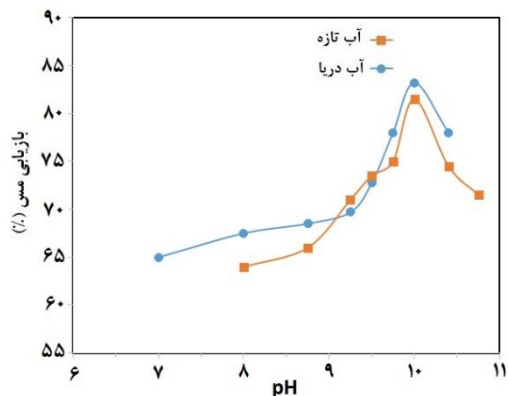
با توجه به عوامل متعدد در فلوتاسیون، استفاده از آب دریا برای دستیابی به محصول هدف با مشخصات مورد نظر، نیازمند انجام آزمایش های دقیق و مقایسه نتایج با عملیات فلوتاسیون در آب تازه است. در این مقاله نتایج استفاده از آب دریا در عملیات فلوتاسیون مس - مولیبدن (مطالعه موردی: خوراک ورودی به سلول های رافر تغلیظ ۲ مجتمع مس سرچشمه) و مقایسه آن با فلوتاسیون در آب تازه ارائه می گردد.

۱-۱-۱- عوامل شیمیایی آب دریا

دو عامل شیمیایی مهم از آب دریا که ممکن است بر فرآیند فلوتاسیون تأثیر بگذارد عبارتست از:

- بافر بودن آب دریا که مصرف آهک را در عملیات فلوتاسیون افزایش می دهد.
- ترسیب یون های ثانویه در pH های قلیایی و کاهش توانایی فلوتاسیون کانی های سولفیدی.

۱-۱-۱- تأثیر خاصیت بافر بودن آب دریا



شکل (۳) بازبایی مس (کالکوزیت) با تغییرات pH [۷].

غلظت یون‌های اصلی شامل یون‌های کلر و سدیم به ترتیب در حدود ۱۹/۳۵ و ۱۰/۷۸ گرم بر کیلوگرم آب است. یون‌های ثانویه مهم شامل یون‌های سولفات (۲/۷)، یون منیزیم (۱/۲۹ g/kg)، یون کلسیم (۰/۴۱ g/kg)، یون‌های بی کربنات (۰/۱۴۵ g/kg) و یون برات (۰/۲۷ g/kg) و ... می‌باشند. این یون‌ها ممکن است بر شیمی سطح از طریق شناورسازی بعضی کانی‌ها تأثیر گذارد. بعضی از یون‌های ثانویه می‌توانند به صورت رسوبات کلئیدی در pH بالاتر از ۱۰ ظاهر شوند.

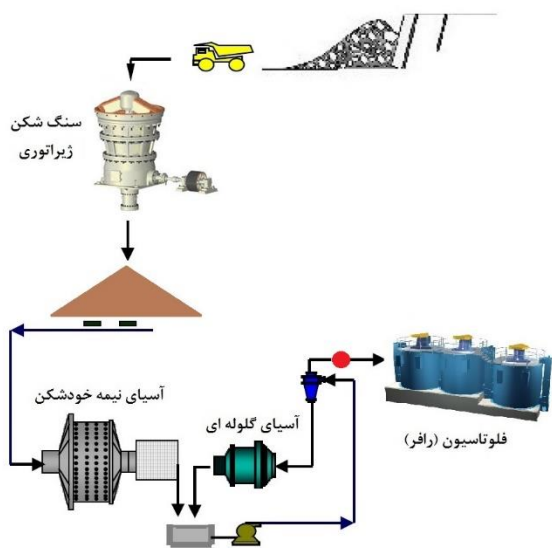
۱-۲- تأثیر مینرالوژی ماده معدنی در فلوتاسیون

فلوتاسیون سولفیدی مس به طور جامع توسط کاسترو و همکاران بررسی شده است [۷]. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که فلوتاسیون کالکوپیریت در آب دریا حساسیت زیادی به تغییرات pH نداشته و روند بازبایی آن با مقادیر به دست آمده در آب تازه تقریباً مشابه است. زمانی که کانی‌های اصلی مس، کالکوزیت و کوولیت بودند، بازبایی هم در آب تازه و هم در آب دریا، نسبت به تغییرات pH نوسانات زیادی داشته است و در pH برابر ۱۰ بازبایی مس در آب دریا بالاتر از آب تازه بوده است (شکل‌های (۲) و (۳)) [۷]. بنابراین برای فلوتاسیون سولفیدی مس، بازبایی بالای مس در آب دریا با در نظر گرفتن مینرالوژی سولفید های مس و میزان pH عملیات فلوتاسیون به دست می‌آید.

۲- مواد و روش انجام آزمایش

نمونه مورد مطالعه در این تحقیق از خوراک ورودی به سلول‌های رافر کارخانه تغلیظ ۲ معدن مس سرچشمه با d_{80} برابر ۱۲۰ میکرون تهیه گردید.

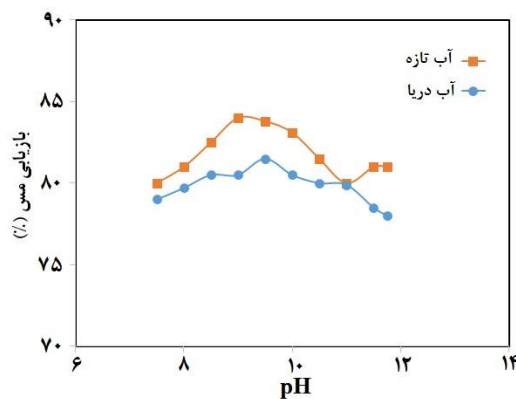
مدار نرم کنی به همراه محل نمونه گیری از خوراک ورودی به بخش رافر در شکل (۴) نشان داده شده است. مطالعات کانی شناسی و آنالیز شیمیایی نمونه جمع آوری شده در جداول (۱) و (۲) آورده شده است. کالکوپیریت کانی اصلی سولفید مس است و بونیت و کوولیت به سختی در نمونه یافت می‌شوند و پیریت مهمترین کانی سولفیدی آهن است.



شکل (۴) مدار بخش نرم کنی واحد تغلیظ ۲ مجتمع مس سرچشمه.

جدول (۱) کانی شناسی نمونه مورد مطالعه.

نام کانی	فرمول شیمیایی	درصد وزنی
کاکوسیت	Cu_2S	۰/۳۸۷
کوولیت	CuS	۰/۰۷۵
کالکوپیریت	$CuFeS_2$	۱/۱
پیریت	Fes_2	۵/۹۱
مولیبدنیت	MoS_2	۰/۰۳۲



شکل (۲) بازبایی مس (کالکوپیریت) با تغییرات pH [۷].

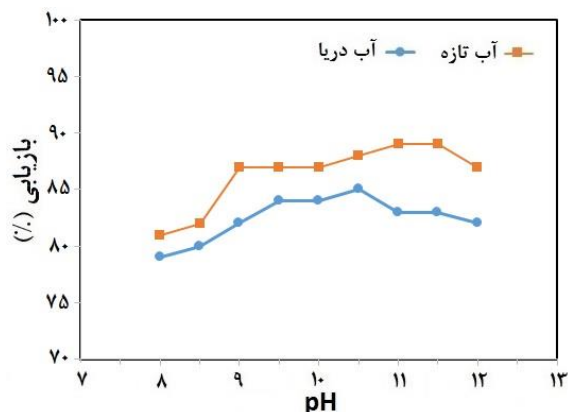
مولیبیدن و آهن در آب تازه و دریا با تغییرات pH در شکل های (۵) تا (۷) نشان داده شده است.

جدول (۲) آنالیز شیمیایی نمونه مورد مطالعه.

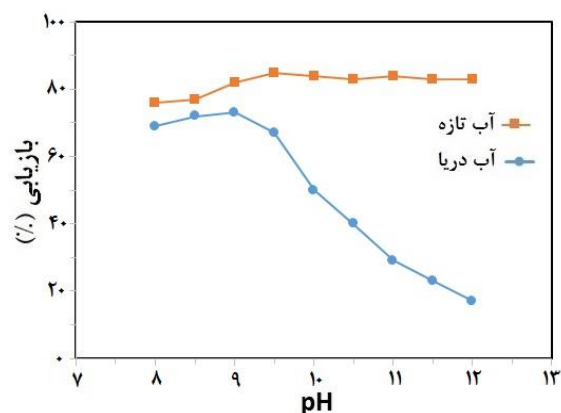
عبار فلز	Mo	Fe	CuO	Cu
درصد	۰/۰۱۹	۳/۱۷	۰/۰۴	۰/۷۸

جدول (۳) بازیابی مس، مولیبیدن و آهن در فلوتاسیون در pH=۱۱

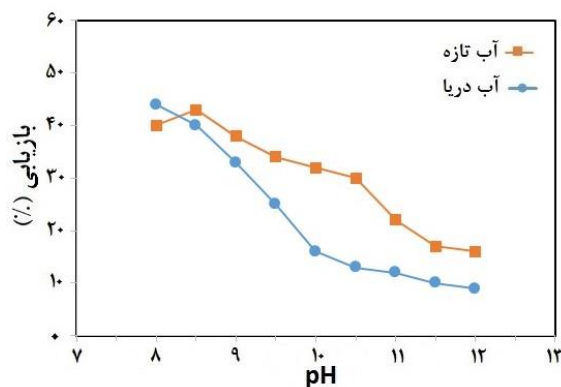
نوع آب	بازیابی مس (%)	بازیابی مولیبیدن (%)	بازیابی آهن (%)
آب تازه	۸۸	۸۴	۲۲
آب دریا	۸۵	۲۹	۱۰



شکل (۵) بازیابی مس در مرحله رافر در آب تازه و دریا.



شکل (۶) بازیابی مولیبیدن در مرحله رافر در آب تازه و دریا.



شکل (۷) بازیابی آهن در مرحله رافر در آب تازه و دریا.

همه آزمایش‌های فلوتاسیون توسط ماشین فلوتاسیون دنور با دور موتور ۱۱۰۰ دور در دقیقه با دبی هوای dm^3/min ۱۰ و با درصد جامد حدود ۳۵ درصد برای مدت زمان ۱۲ دقیقه انجام شد. در انجام آزمایش‌ها از Z_{11} (سدیم ایزوپروپیل گزنتات) و R407 (مرکاپتو بنزوتیازول و دی تیوفسفات) به عنوان کلکتور (۲۵ گرم بر تن) و از MIBC و A65 (۲۲ گرم بر تن) به عنوان کف ساز و از آهک برای تنظیم pH استفاده شد. در این مقاله، آب دریا با اضافه کردن یون ها و نمک های موجود بر اساس استاندارد کردن یون ها و نمک های موجود بر اساس استاندارد ASTM (D1141-98) به آب تازه شبیه سازی شد. همچنین درجه شوری آب ۳۰ گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شد.

۳- نتایج

۳-۱- فلوتاسیون مس - مولیبیدن

به منظور بررسی فلوتاسیون مس - مولیبیدن در آب دریا در گام اول، آزمایش فلوتاسیون مرحله رافر در آب دریا و آب تازه با استفاده از نمونه مورد مطالعه و مواد شیمیایی رایج در واحد های صنعتی انجام گرفت. از آنجایی که تکنولوژی رایج فلوتاسیون مس - مولیبیدن در آب تازه معمولاً شامل یک مرحله رافر در pH حدود ۱۱ و یک یا دو مرحله کلینر با یک مدار رمق گیر در pH حدود ۱۱/۵ تا ۱۲ است لذا در گام اول فلوتاسیون در pH ۱۱ انجام گرفت. نتایج آزمایش فلوتاسیون در pH برابر ۱۱ در جدول (۳) آمده است.

همان طور که مشخص است بازیابی مس و آهن در فلوتاسیون با آب تازه و آب دریا در pH ۱۱ تغییر فاحشی نکرده ولی بازیابی مولیبیدن در فلوتاسیون با آب دریا به شدت کاهش یافته است، لذا در گام بعدی هدف از آزمایش، مقایسه بازیابی فلوتاسیون مرحله رافر در آب دریا و آب تازه به عنوان تابعی از pH بود.

pH و هیدراتاسیون آب تأثیر زیادی در عملکرد عملیات فلوتاسیون دارد. برای فلوتاسیون هر کانی، pH بهینه ای وجود دارد که تحت آن شرایط، بازیابی فلوتاسیون در بالاترین میزان قرار می گیرد و در غیر این شرایط، فلوتاسیون به سختی انجام می شود. نتایج فلوتاسیون مس،

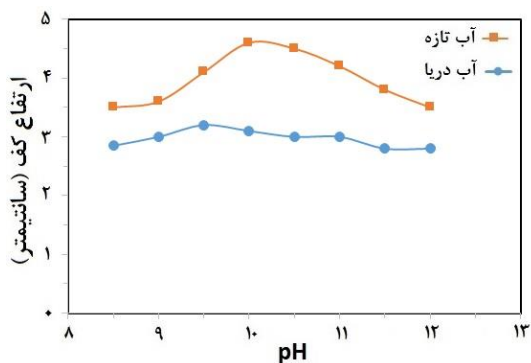
آب دریا خیلی متفاوت است. نتایج نشان می دهد که توانایی کف سازی در آب تازه شدیداً به میزان pH وابسته است و در pH برابر با ۱۰ بالاترین میزان ارتفاع کف به دست آمد. این تأثیر pH در آزمون های کف سازی در آب دریا مشاهده نشد. بنابراین تأثیر pH بر قابلیت کف سازی، دلیل اصلی بازداشت مولیبدن در آب دریا نیست.

۳-۱-۲- تأثیر آب دریا بر ائتلاف حباب ها

اندازه حباب ها و پایداری کف بر روی فرآیند فلوتاسیون تأثیر بسزایی دارند. اندازه حباب ها و پایداری کف به وسیله ائتلاف حباب ها تعیین می شوند. الکترولیت های غیر آلی و آب دریا از ائتلاف حباب ها جلوگیری می کنند و اندازه حباب را کاهش می دهند [۶ و ۷]. شکل (۹) تأثیر غلظت MIBC بر ائتلاف حباب را در غلظت های متغیر از کلرید سدیم، نشان می دهد. اولین منحنی از بالا نشان دهنده اثر MIBC بر اندازه حباب در غلظت های افزایشی آن در آب مقطر می باشد. سپس همان اثر در غلظت های ۰.۵۴M، ۲M و ۵M بررسی شده است.

در غلظت های پایین MIBC (تا ۱۰ ppm)، در محلول های NaCl اندازه حباب به آرامی تمایل به افزایش دارد اما سپس پایدار شده و کاهش می یابد [۸]. با این حال اندازه حباب در محلول های NaCl برای تمام غلظت های MIBC، کوچکتر از اندازه حباب ها در آب مقطر است. از اینرو این نتایج حاکی از آن است که اندازه حباب های اولیه تولید شده توسط یک مکانیزم حباب ساز به غلظت الکترولیت بستگی دارد (با افزایش غلظت الکترولیت کاهش می یابد).

شکل (۱۰) تأثیر غلظت MIBC بر اندازه حباب ها در درصد های حجمی متفاوت آب دریا (رقیق سازی آب دریا) را نشان می دهد.



شکل (۸) ارتباط ضخامت لایه کف با تغییرات pH

بازیابی مس در آب تازه در محدوده pH بین ۸ تا ۱۲ حدود ۸۹-۸۲ درصد بود. بازیابی مس در آب دریا در محدوده pH مذکور، بین ۸۵-۷۹ درصد اندازه گیری شد که کمی پایین تر از بازیابی در آب تازه بود. بالاترین بازیابی مس (۸۶ درصد) در آب دریا در pH ۱۰/۵ به دست آمد. در آب تازه بازیابی مولیبدن بین ۷۶ تا ۸۵ درصد و در آب دریا بین ۱۷ تا ۷۳ درصد گزارش شد.

نتایج نشان داد که بازیابی مس در آب تازه و آب دریا در pH های مختلف روند تقریباً مشابهی داشته است، ولی بازداشت شدید مولیبدن در آب دریا در pH بالاتر از ۹/۵ بسیار برجسته است. بنابراین، قابلیت شناورسازی مولیبدن در آب دریا به شدت به میزان pH حساس است. در مورد آهن، بیشترین بازیابی، در pH حدود ۸/۵ در آب تازه و در pH ۸ در آب دریا صورت گرفت. بهترین محدوده pH، برای بازداشت پیریت بین ۱۰/۵-۱۲ است، به طوری که در آن زمان مولیبدن در فلوتاسیون با آب دریا بازداشت می شود. همچنین شکل (۸) نشان می دهد که بازیابی آهن در pH های مشابه در آب دریا (بالاتر از ۹) پایین تر از آب تازه است، که احتمالاً به دلیل وجود آهک بیشتر برای تنظیم pH در آب دریا است.

بر اساس نتایج به دست آمده، فلوتاسیون مولیبدن در آب دریا به عنوان محصول ثانویه معادن مس پورفیری با مشکل جدی مواجه می شود. لازم به ذکر است که فرآیند فلوتاسیون در آب دریا نه تنها به pH بلکه به غلظت یون منیزیم نیز بستگی دارد که در ادامه به بررسی آن پرداخته خواهد شد. بنابراین، برای منابع معدنی مس-مولیبدن، با پیریت بالا روش های رایج بر اساس استفاده از آهک برای بازداشت پیریت در مدار رافر و کلینر در آب دریا مناسب نیست.

در بخش های بعدی به بررسی دلیل اصلی بازداشت مولیبدن در آب دریا در pH بالاتر از ۹/۵ پرداخته می شود.

۳-۱-۱- تأثیر pH بر میزان کف سازی

یکی از عواملی که باید در مورد فلوتاسیون مولیبدن در آب دریا بررسی شود، تأثیر pH بر میزان کف سازی است. در این تحقیق، قابلیت کف سازی بر اساس اندازه گیری ارتفاع لایه کف تعیین شد. بر اساس شکل (۸)، قابلیت کف سازی پالپ فلوتاسیون در آزمایش های انجام شده در آب تازه با

$Mg(OH)_2$ کلوییدی و تجمع آن روی سطح حباب ها است [۱۰].

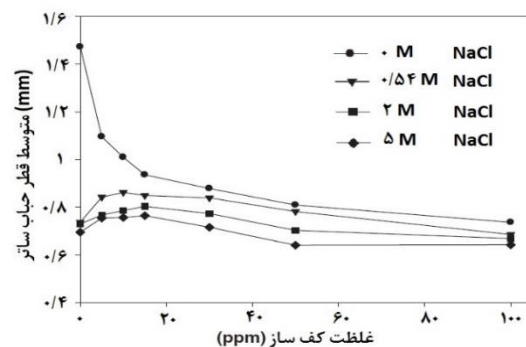
ایگلز و همکاران در دهه ۶۰ تأثیر گونه های کلوییدی تجمع یافته بر سطح حباب ها در فلوتاسیون را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که جذب سطحی روی ذرات جامد به یک توزیع یکنواختی از سورفکتانت های جذب شده روی سطح جامد منجر نمی شود و این لزوماً بر فلوتاسیون تأثیر نمی گذارد. از طرف دیگر تجمع این گونه ها روی سطح حباب ها به خصوص هنگامی که ذرات آب دوست هستند بر عملیات فلوتاسیون تأثیر زیادی می گذارد [۱۱ و ۱۲].

حباب ها در pH های قلیایی در محلول های آب تازه و محلول های NaCl دارای بار منفی هستند. اگرچه در حضور کاتیون های دو ظرفیتی قابل هیدرولیز، پتانسیل زتا بسته به pH علامتش را معکوس می کند. لی و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که تغییر بار الکتریکی از منفی به مثبت، زمانی رخ می دهد که یون های Mg^{+2} در سیستمی با pH ۹-۱۱ حاضر باشند، که این رویداد با پوشش حباب ها با رسوب $Mg(OH)_2$ توضیح داده می شود [۱۳]. بنابراین بسیار محتمل است که بازداشت بالای مولیبدن در آب دریا تحت تأثیر رسوب $Mg(OH)_2$ است. این عمل ناشی از این حقیقت است که این گونه ها تمایل به تجمع بر روی حباب های هوا را دارند.

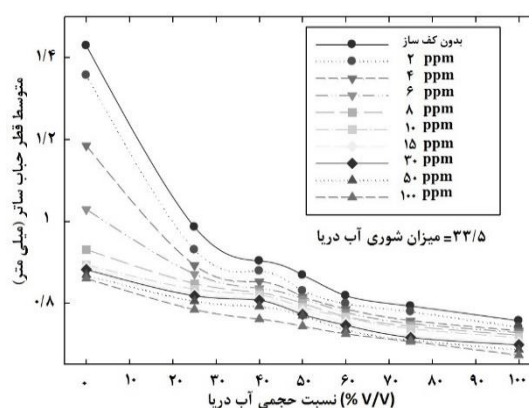
۴- بحث

برای فلوتاسیون مس - مولیبدن در آب دریا، هنگامی که از آهک برای تنظیم pH استفاده می شود دو انتخاب وجود دارد.

- به دست آوردن عیار بالای مس در کنسانتره با بازداشت موثر پیریت، ولی با بازیابی کم مولیبدن
 - به دست آوردن بازیابی بالای مولیبدن، در pH پایین با عیار کنسانتره مس پایین (محتوی پیریت بالا)
- بنابراین استفاده از آهک، برای بازداشت پیریت در آب دریا مناسب نیست و به بازداشت کننده پیریت جدیدی که در pH کمتر از ۹/۵ فعالیت کند نیاز است. گزارش شده است استفاده از سیانید در مقدار پایین (۶ گرم بر تن) در آب دریا، دستیابی به عیار بالای ۲۸ درصد در کنسانتره نهایی



شکل (۹) تغییرات قطر حباب ساتر در غلظت های متفاوت کف ساز برای محلولهای الکترولیت NaCl [۸].



شکل (۱۰) تأثیر رقت آب دریا و غلظت کف ساز روی اندازه حباب ها [۹ و ۶].

با مقایسه نتایج به دست آمده مشاهده می شود که حباب های ریز بدون حضور کف ساز در آب تازه نمی تواند تولید شود ولی در آب دریا به طور کاملاً متفاوتی به وجود می آید [۶].

آب دریا مانند الکترولیت های معدنی به خودی خود از ائتلاف حباب ها جلوگیری می کنند. با این وجود تأثیر کف سازها بر ائتلاف حباب در آب دریا نسبت به محلول های الکترولیتی خالص بارزتر است. این نتایج نشان می دهد که یون های نمک در این رابطه نقش چشمگیری ایفا می کنند و مخلوط آب دریا و کف سازها به وضوح حباب ها را در مقابل ائتلاف پایدار می سازد.

۳-۱-۳- تأثیر یون منیزیم بر روی حباب های هوا

هنوز به طور شفاف مشخص نشده است که آیا بازداشت مولیبدن فقط به دلیل رسوب هیدروکسید منیزیم است یا این پدیده نتیجه ای از قابلیت یون $Mg(OH)^+$ و یا

Journal of Mineral Processing, 98, pp.137-144, 2011.

[5] Zanin, M., Wightman, E., Grano, S.R., Franzidis, J.P., "Quantifying Contributions to Froth Stability in Porphyry Copper Plants", Int. J. Miner. Process. 91, pp. 19-27, 2009.

[6] Castro, S., Venegas, I., Landero, A., Laskowski, J.S. "Frothing in Seawater Flotation Systems". Proc. XXV Int. Mineral Processing Congress. CURRAN ASSOCIATES INC., pp. 4039-4047 (Brisbane), 2010.

[7] Castro, S., Ramos, O., Cancino, J.P., Laskowski, J.S. "Frothing in the Flotation of Copper Sulphide ores in Sea Water", In: Drelich, J. (Ed.), Proc. 1st International Symposium. Water in Mineral Processing. SME, pp. 211-223, 2012.

[8] Castro, S., Miranda, C., Toledo, P., b, Laskowski, J.S. "Effect of Frothers on Bubble Coalescence and Foaming in Electrolyte Solutions and Seawater", International Journal of Mineral Processing 124, pp. 8-14, 2013.

[9] Laskowski, J.S, Castro, S., Ramos, O. "Effect of Seawater Main Components on Frothability in the Flotation of Cu-Mo Sulphide ore", Physicochem. Probl. Miner. Process. 50(1), pp. 17-28, 2013.

[10] Laskowski, J.S, Castro, S. "Hydrolyzing ions in Flotation Circuits: Seawater Flotation", Proc. 13th Int. Mineral Processing Symp., Bodrum (Turkey), pp. 219-228, 2012.

[11] Eigeles, M.A., Volvenkova, V.S. "On the Mechanism of Activating and Depressant Action in Soap Flotation", Proc. 7th Int. Mineral Processing Congress (N. Arbiter, ed.), Gordon and Breach, Vol. 1, pp. 269-277, 1964.

[12] Eigeles, M.A., Volvenkova, V.S. "Inorganic Electrolytes and Colloids in Elementary Flotation", Proc. 6th Int. Mineral Processing Congress (A. Roberts, ed.), Peramon Press, pp. 513-525, 1963.

[13] Li C., Somasundaran, P., "Reversal of Bubble Charge in Multivalent Inorganic Salt Solutions - Effect of Aluminium", J. Colloid Interface Sci., 148(2), pp. 587-591, 1992.

[14] Castro, S., Rioseco P., Laskowski J.S. "Depression of Molybdenite in Seawater", Proc. 26th Int. Mineral Processing Congress, New Delhi, pp. 739-752. 2012.

[15] Castro, S. "Challenges in Flotation of Cu-Mo sulfide Ores in Sea Water", Water in Mineral Processing - Proc. of the First International Symposium (J. Drelich, Ed.), SME, pp. 29-40, 2012.

را ممکن می سازد. هرچند سیانید بسیار سمی است و مشکلات زیست محیطی زیادی دارد [۱۴ و ۱۵].

هنگام استفاده از آب دریا در مدار رافر باید pH در محدوده ۸/۵ تا ۹، برای اجتناب از مصرف آهک بالا و هدرروی محصولات ثانویه، تنظیم گردد و مدارهای شستشو و رمقگیر، نباید pH بالاتر از ۱۰ داشته باشد. همچنین، برای ماده معدنی با محتوی پیریت بیشتر از ۲ درصد (مانند نمونه مورد مطالعه) احتمال از دست دادن مولیبدن یا تولید کنسانتره مس با عیار پایین بسیار بالاست.

۵- نتیجه گیری

هدف از این تحقیق، بررسی فلوتاسیون مس - مولیبدن در آب دریا و مقایسه نتایج آن با فلوتاسیون در آب تازه بود. نمونه مورد مطالعه از خوراک ورودی به سلول های رافر واحد تغلیظ ۲ مجتمع مس سرچشمه تهیه شد. نتایج نشان داد که بازیابی مس در آب تازه و آب دریا در pH های مختلف روند مشابهی داشته است ولی بازداشت شدید مولیبدن در آب دریا در pH بالاتر از ۹/۵ بسیار برجسته است. همچنین مشخص شد که قابلیت کف سازی در آب دریا، مستقل از pH است، بنابراین به نظر می رسد قابلیت کف سازی و بازداشت مولیبدن پدیده های تقریباً مستقلی هستند. رسوب سطحی و یا هترو کواگولاسیون کلوییدی $Mg(OH)_2$ به عنوان مهم ترین عامل بازداشت مولیبدن در pH بالای ۹/۵ در فلوتاسیون مس - مولیبدن گزارش شد. به نظر می رسد که فلوتاسیون مس - مولیبدن در آب دریا نیاز به روش های جدیدی دارد که در آن از آهک برای بازداشت پیریت استفاده نشود و پیریت را در pH های زیر ۹ بازداشت نماید.

۶- مراجع

[1] Burn, A.K. "The Flotation of Chalcopyrite in Seawater", Bulletin Institution of Mining and Metallurgy, pp. 314-320, 1930.

[2] Rey, M. and Raffinot, P. "Flotation of Ores in Sea Water: High Frothing; Soluble Xanthate Collecting", World Mining, June, pp. 18-21, 1966.

[3] Morales, J.E. "Flotation of the Andacollos ore in Pilot Plant by using Seawater". Minerals, 30, pp. 16-22, 1975.

[4] Kurniawan, A. U., Ozdemir, O., Nguyen, A.V., Ofori, P. & Firth, B. "Flotation of Coal Particles in $MgCl_2$, NaCl, and $NaClO_3$ Solutions in the Absence and Presence of Dowfroth 250", International