بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

بهینه‌سازی عیار و بازیابی مولیبدن در مدار فلوتاسیون مس - مولیبدن

مطالعه موردی: مجتمع مس سونگون

دانشجو:

حسین صبوری اینجار

اساتید راهنما:

دکتر محمد کارآموزیان

دکتر سید ضیاءالدین شفائی تنکابنی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی

خرداد ۱۳۹۳

مدیریت تحصیلات تکمیلی

شماره :
تاریخ :
ویرایش :

بسمه تعالی

فرم شماره (۶)

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای **حسین صبوری اینجار** رشته **مهندسی معدن** گرایش **فرآوری مواد معدنی**

تحت عنوان **بهینه‌سازی عیار و بازیابی مولیبدن در مدار فلوتاسیون مس – مولیبدن**

مطالعه موردی: مجتمع مس سونگون

که در تاریخ ۹۳/۳/۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : عالی امتیاز ۱۹/۵) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹) ۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)

۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶) ۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

a عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنما	دکتر محمد کارآموزیان دکتر سید ضیاالدین شفائی تنکابنی	استادیار استاد	
۲ـ استاد مشاور			
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر فرهنگ سرشکی	دانشیار	
۴ـ استاد ممتحن	دکتر فرهنگ سرشکی	دانشیار	
۵ ـ استاد ممتحن	دکتر اصغر عزیزی	استادیار	

تأیید رئیس دانشکده :

تقدیم به آنان که وجودم جز هدیه وجودشان نیست

پدر بزرگ و مادر بزرگ عزیزم

تقدیم به او که آموخت مرا تا بیاموزم

استاد گرامی جناب آقای محمد کار آموزیان

تقدیم به دوست مهربانم که مسیح وار با صبرش در تمامی لحظات رفیق راه است

جناب آقای حسین حسین پور

تشکر و قدردانی

سپاس مخصوص خداوند مهربان است که به انسان توانایی و دانایی بخشید تا به بندگانش شفقت ورزد، مهربانی کند و در حل مشکلات یاری‌شان نماید. شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم و در این راه از اساتید با کمالات و شایسته؛ جناب آقایان دکتر محمدکارآموزیان و دکتر سید ضیاءالدین شفائی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی-شان، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛ از جناب آقای مهندس اصغر باقریان رئیس محترم تغلیظ مجتمع مس سونگون، که زحمت مشاوره را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی‌رسید؛ و از تمامی مهندسان و پرسنل زحمت‌کش واحد متالورژی مجتمع مس سونگون و مجتمع مس سرچشمه؛ و از کارشناس دلسوز آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه شاهرود؛ جناب آقای مهندس مصطفی نادری که در انجام آزمایش‌ها همواره راهنمای بنده بودند؛ و از اساتید محترم داور، جناب آقایان دکتر فرهنگ سرشکی و دکتر اصغر عزیزی که زحمت داوری پایان نامه را بر عهده داشتند؛ و در انتها از تمام دوستانی که در انجام این پروژه مرا تشویق کردند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **حسین صبوری اینجار** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی معدن** دانشکده **معدن، نفت و ژئوفیزیک** دانشگاه **شاهرود** نویسنده پایان نامه **بهینه سازی عیار و بازیابی مولیبدن در مدار فلوتاسیون مس – مولیبدن (مطالعه موردی: مجتمع مس سونگون)** تحت راهنمائی**دکترمحمدکارآموزیان و دکتر سید ضیاءالدین شفائی تنکابنی** متعهد می‌شوم.

تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .

در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .

مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است .

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب ، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

مولیبدنیت یک محصول جنبی با ارزش در فرآیند فلوتاسیون مس پورفیری است که بازیابی آن به دلیل ارزش بالای اقتصادی مورد توجه کارخانه‌های فرآوری مس می‌باشد. مهم‌ترین اهداف این تحقیق شناسایی علت کم بودن بازیابی در مدار فلوتاسیون مس - مولیبدن و هم‌چنین ارائه راهکارهایی جهت افزایش عیار و بازیابی مولیبدن به همراه ثابت نگه داشتن عیار و بازیابی مس است. در این تحقیق عوامل و فرآیندهای مؤثر به منظور بهینه‌سازی عیار و بازیابی مولیبدن در مراحل رافر، شستشو و رمق‌گیر کارخانه فرآوری مس سونگون مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور نمونه‌هایی از کل مدار گرفته شد تا به بررسی کانی‌شناسی و متالورژیکی مدار پرداخته شود. سپس در مطالعات آزمایشگاهی تأثیر عواملی نظیر کانی‌شناسی، میزان خردایش، درصد جامد، مقدار مواد شیمیایی، pH فرآیند در مرحله رافر و هم‌چنین دبی آب شستشو، دبی هوا و ارتفاع کف در مرحله شستشو و نوع فرآیند فلوتاسیون در مرحله رمق‌گیر بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین هدرروی مولیبدن در باطله رافر به میزان ۴۴/۳٪ اتفاق می‌افتد. پارامترهای عملیاتی برای بهینه‌سازی عیار و بازیابی مولیبدن در این مرحله به صورت ابعاد خوراک (۹۵- میکرون)، درصد جامد (۲۵)، مقدار گازوئیل (۲۵ گرم بر تن)، pH (۱۰/۵)، مقدار کلکتورها (۳۱ گرم بر تن)، مقدار کف‌سازها (۱۲ گرم بر تن) تعیین شدند. در شرایط بهینه، عیار و بازیابی مس به ترتیب ۸/۲ ٪ و ۹۰/۸ ٪ و هم‌چنین برای مولیبدن به ترتیب ۸۹۰ ppm و ۷۱/۲٪ بدست آمدند که نسبت به نتایج فعلی کارخانه ۴٪ افزایش برای بازیابی مولیبدن و ۱۸٪ افزایش برای عیار حاصل شد. بهینه‌سازی کلینرها نشان دادند که به طور کلی با افزایش دبی آب و دبی هوا عیار مولیبدن کاهش، و هم چنین با افزایش دبی آب و ارتفاع کف عیار مس افزایش می یابد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی مرحله رمق‌گیر نیز نشان داد که با افزایش دور همزن سلول‌ها (از ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ دور بر دقیقه)، عیار مولیبدن در کنسانتره به مقدار ۸۸۲۳ ppm و بازیابی ۹۰٪ حاصل شد که این مقدار افزایش عیار نسبت به شرایط فعلی کارخانه ۰/۳۲٪ بهبود را در پی داشت. راهکار دیگری که در این تحقیق به منظور جلوگیری از هدرروی مولیبدن به باطله بررسی شد، بازداشت مولیبدن در مرحله رمق‌گیر با اضافه کردن دکسترین است. در این حالت مقدار عیار مولیبدن در باطله رمق‌گیر با مقدار ۶۰۰ گرم بر تن دکسترین، از ۲۳۴ ppm به ۱۴۷۱ ppm افزایش پیدا کرد. سپس با انجام یک مرحله فلوتاسیون مولیبدن بر روی باطله رمق‌گیر، مولیبدن با عیار ۶۹۰۶ ppm بدست آمد. از ترکیب کنسانتره تولید شده در این مرحله با کنسانتره نهایی کارخانه فرآوری، از هدرروی مولیبدن جلوگیری شده و مولیبدن محصول نهایی حدود ۲/۳ برابر نسبت به شرایط فعلی کارخانه افزایش یافت.

کلمات کلیدی: فلوتاسیون - بهینه‌سازی – مس - مولیبدن – سونگون

لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه

1- **Sabouri, H.; Karamoozian, M.; shafaei, S.Z.;** "optimization of molybdenite recovery in copper/molybdenum flotation circuit using statistical techniques" International Journal of Mining and Geo-Engineering (IJMGE), 1393.

۲- **صبوری، حسین؛ کارآموزیان، محمد؛ شفائی، ضیاالدین.** "بررسی فرآیند فلوتاسیون مس - مولیبدن کارخانه سونگون به منظور بهبود عیار و بازیابی مولیبدن در مرحله رافر." مجله علمی - پژوهشی مهندسی معدن ۱۳۹۳.

۳- **صبوری، حسین؛ کارآموزیان، محمد؛ شفائی، ضیاالدین؛ باقریان، اصغر؛ نادری، مصطفی.** "بهینه-سازی عوامل مؤثر بر بازیابی فلوتاسیون مس - مولیبدن مرحله رافر در مقیاس آزمایشگاهی (مطالعه موردی: مجتمع مس سونگون)" اولین کنفرانس بین المللی مهندسی معدن، فرآوری مواد معدنی، متالورژی و محیط زیست، دانشگاه زنجان، ۱۳۹۲.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱مقدمه..... ۲

۱-۲ معرفی مجتمع مس سونگون..... ۳

۱-۳ ضرورت تحقیق..... ۶

۱-۴ اهداف تحقیق..... ۷

۱-۵ سازماندهی فصل‌ها..... ۸

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته ۹

۲-۱ مقدمه..... ۱۰

۲-۲ مروری بر تحقیقات انجام گرفته..... ۱۱

فصل سوم: مواد و روش تحقیق ۲۸

۳-۱ مقدمه..... ۲۹

۳-۲ نمونه‌برداری..... ۲۹

۳-۲-۱ نمونه‌برداری برای ارزیابی متالورژیکی کل مدار ۳۰

۳-۲-۲ نمونه‌برداری برای بررسی سلول‌های فلوتاسیون رافر..... ۳۱

۳-۲-۳ نمونه‌برداری برای بررسی سلول‌های فلوتاسیون شستشو..... ۳۲

۳-۲-۴ نمونه‌برداری برای بررسی سلول‌های فلوتاسیون رمق‌گیر..... ۳۳

۳-۳ موازنه داده‌ها..... ۳۳

۳-۴ مواد شیمیایی مورد استفاده..... ۳۴

۳-۴-۱ کلکتورها..... ۳۴

۳-۴-۲ کف‌سازها..... ۳۵

۳-۴-۳ بازداشت کننده‌ها..... ۳۵

۳-۴-۴ تنظیم کننده‌ها..... ۳۶

۳-۵ تجهیزات مورد استفاده..... ۳۷

۳-۶ روش انجام آزمایش‌ها..... ۳۸

۳-۶-۱ آزمایش‌های شناورسازی سینتیک..... ۳۸

۳-۶-۲ آزمایش‌های مرحله رافر..... ۳۹

۳-۶-۳ آزمایش‌های مرحله رمق‌گیر..... ۳۹

فصل چهارم: ارائه یافته‌ها و تحلیل نتایج

۴-۱ مقدمه ۴۲
۴-۲ ارزیابی شرایط فعلی کارخانه ۴۲
۴-۲-۱ بررسی متالورژیکی کل مدار ۴۲
۴-۲-۲ نتایج حاصل از مطالعات کانی‌شناسی مدار ۴۹
۴-۳ بررسی و بهینه‌سازی مرحله رافر ۵۲
۴-۳-۱ بررسی کارآیی متالورژیکی سلول‌های رافر ۵۲
۴-۳-۲ تعیین سینتیک فلوتاسیون مس و مولیبدن ۵۵
۴-۳-۳ تأثیر خردایش بر عملکرد فلوتاسیون ۵۶
۴-۳-۴ تأثیر غلظت پالپ بر عیار و بازیابی در فلوتاسیون مس و مولیبدن ۵۹
۴-۳-۵ تأثیر مقدار گازوئیل بر عیار و بازیابی در فلوتاسیون مس و مولیبدن ۶۱
۴-۳-۶ تأثیر pH بر عیار و بازیابی در فلوتاسیون مس و مولیبدن ۶۲
۴-۳-۷ اعتبارسنجی نتایج بدست آمده ۶۴
۴-۴ بررسی متالورژیکی سلول‌های شستشو ۶۵
۴-۴-۱ بررسی کارآیی متالورژیکی سلول‌های شستشو و شستشوی مجدد ۶۷
۴-۴-۲ بررسی عملکرد سلول‌های شستشو ۷۱
۴-۴-۳ تعیین پارامترهای مؤثر بر عیار و بازیابی سلول‌های شستشو ۷۳
۴-۴-۳-۱ آب شستشو ۷۳
۴-۴-۳-۲ دبی هوا ۷۵
۴-۴-۳-۳ ارتفاع کف ۷۶
۴-۵ بررسی و بهینه‌سازی مرحله رمق‌گیر ۷۸
۴-۵-۱ بررسی متالورژیکی سلول‌های رمق‌گیر ۷۹
۴-۵-۲ بهینه‌سازی عیار و بازیابی سلول‌های رمق‌گیر ۸۱
۴-۵-۲-۱ نتایج آزمایش‌ها با تغییر پارامترهای عملیاتی کارخانه ۸۲
۴-۵-۲-۲ نتایج آزمایش‌های بازداشت مولیبدن با استفاده از دکسترین ۸۴
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۹
۵-۱ خلاصه و نتیجه‌گیری ۹۰
۵-۲ پیشنهادها ۹۳
منابع ۹۴

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱): فلوشیت کلی کارخانه فرآوری مس سونگون ۵
شکل (۱-۲): نمودار سه ماهه عیار و بازیابی مس در سونگون..... ۶
شکل (۱-۳): نمودار سه ماهه عیار و بازیابی مولیبدن در سونگون..... ۷
شکل (۲-۱): نمونه‌ای از مولیبدنیت انتشاری همراه با کالکوپیریت..... ۱۶
شکل (۲-۲): مولیبدنیت رگه‌ای..... ۱۶
شکل (۲-۳): بازیابی ذره به ذره برای مس..... ۱۸
شکل (۲-۴): بازیابی ذره به ذره برای مولیبدن..... ۱۸
شکل (۲-۵): تأثیر منفی تالک، اندرادیت، کلسیت و آمفیبول بر بازیابی مولیبدنیت..... ۱۹
شکل (۲-۶): تأثیر مثبت پلاژیوکلاز، مونتموریلونیت، بیوتیت و فلدسپار پتاسیم بر بازیابی مولیبدنیت..... ۲۰
شکل (۲-۷): رابطه عیار و بازیابی برای مس و مولیبدن در مقیاس صنعتی..... ۲۱
شکل (۲-۸): رابطه عیار و بازیابی برای مس و مولیبدن در مقیاس آزمایشگاهی..... ۲۲
شکل (۲-۹): مقادیر زاویه تماس ذرات در pHهای مختلف و در مقادیر مختلف Ca^{2+} ۲۳
شکل (۳-۱): فلوشیت نقاط نمونه‌برداری..... ۳۰
شکل (۳-۲): انواع ظرف‌های نمونه‌گیر مورد استفاده..... ۳۷
شکل (۳-۳): فلوشیت انجام آزمایش‌ها بدون بازداشت کننده‌ها..... ۴۰
شکل (۳-۴): فلوشیت انجام آزمایش‌ها با بازداشت‌کننده..... ۴۰
شکل (۴-۱): آنالیز دانه‌بندی خوراک، باطله و کنسانتره کل مدار..... ۴۳
شکل (۴-۲): بازیابی ذره به ذره مس و مولیبدن در کل مدار ۴۳
شکل (۴-۳): کارآیی جدایش ذره به ذره مس و مولیبدن در کل مدار..... ۴۴
شکل (۴-۴): عیار خوراک، باطله و کنسانتره مس در هر مرحله کارخانه (٪)..... ۴۵
شکل (۴-۵): عیار خوراک، باطله و کنسانتره مولیبدن در هر مرحله کارخانه (ppm)..... ۴۵
شکل (۴-۶): بازیابی مس و مولیبدن در مرحله‌های مختلف کارخانه (٪)..... ۴۶
شکل (۴-۷): نسبت غنی‌شوندگی مس و مولیبدن در مرحله‌های مختلف کارخانه..... ۴۶
شکل (۴-۸): فلوشیت موازنه مدار کارخانه فرآوری مس سونگون..... ۴۷
شکل (۴-۹): تصویر SEM از خوراک کارخانه..... ۴۹
شکل (۴-۱۰): تصویر SEM از باطله رافر کارخانه..... ۵۰
شکل (۴-۱۱): تصویر SEM از باطله نهایی کارخانه..... ۵۰
شکل (۴-۱۲): تصویر SEM از کنسانتره نهایی کارخانه..... ۵۰
شکل (۴-۱۳): نمایی از سلول‌های رافر (چپ) و سلول‌های رمق‌گیر (راست)..... ۵۲

شکل (۴-۱۴): آنالیز دانه‌بندی خوراک، باطله و کنسانتره سلول‌های رافر ۵۳
شکل (۴-۱۵): بازیابی ذره به ذره مس و مولیبدن در مرحله رافر ۵۴
شکل (۴-۱۶): کارآیی جدایش ذره به ذره مس و مولیبدن در مرحله رافر ۵۴
شکل (۴-۱۷): نتایج آزمایش‌های سینتیکی مس و مولیبدن ۵۶
شکل (۴-۱۸): آنالیز دانه بندی نمونه‌های خوراک ۵۷
شکل (۴-۱۹): تغییرات d_{80} نمونه‌های خوراک ۵۷
شکل (۴-۲۰): تأثیر اندازه ذرات بر عیار و بازیابی مس ۵۸
شکل (۴-۲۱): تأثیر اندازه ذرات بر عیار و بازیابی مولیبدن ۵۸
شکل (۴-۲۲): تأثیر درصد جامد بر عیار و بازیابی مس ۶۰
شکل (۴-۲۳): تأثیر درصد جامد بر عیار و بازیابی مولیبدن ۶۰
شکل (۴-۲۴): تأثیر میزان گازوئیل بر عیار و بازیابی مس ۶۱
شکل (۴-۲۵): تأثیر میزان گازوئیل بر عیار و بازیابی مولیبدن ۶۲
شکل (۴-۲۶): تأثیر pH بر عیار و بازیابی مس ۶۳
شکل (۴-۲۷): تأثیر pH بر عیار و بازیابی مولیبدن ۶۴
شکل (۴-۲۸): سلول شستشوی مورد استفاده در کارخانه فرآوری مس سونگون ۶۶
شکل (۴-۲۹): آنالیز دانه‌بندی خوراک، باطله و کنسانتره مرحله شستشو ۶۷
شکل (۴-۳۰): بازیابی ذره به ذره مس و مولیبدن در مرحله شستشو ۶۸
شکل (۴-۳۱): کارآیی جدایش ذره به ذره مس و مولیبدن در مرحله شستشو ۶۸
شکل (۴-۳۲): آنالیز دانه‌بندی خوراک، باطله و کنسانتره مرحله شستشوی مجدد ۶۹
شکل (۴-۳۳): بازیابی ذره به ذره مس و مولیبدن در مرحله شستشوی مجدد ۷۰
شکل (۴-۳۴): کارآیی جدایش ذره به ذره مس و مولیبدن در مرحله شستشوی مجدد ۷۰
شکل (۴-۳۵): نتایج حاصل از بررسی عملکرد سلول‌های شستشو ۷۲
شکل (۴-۳۶): تأثیر دبی آب بر عیار و بازیابی مس ۷۴
شکل (۴-۳۷): تأثیر دبی آب بر عیار و بازیابی مولیبدن ۷۴
شکل (۴-۳۸): تأثیر دبی هوا بر عیار و بازیابی مس ۷۵
شکل (۴-۳۹): تأثیر دبی هوا بر عیار و بازیابی مولیبدن ۷۶
شکل (۴-۴۰): تأثیر ارتفاع کف بر عیار و بازیابی مس ۷۷
شکل (۴-۴۱): تأثیر ارتفاع کف بر عیار و بازیابی مولیبدن ۷۷
شکل (۴-۴۲): آنالیز دانه‌بندی خوراک، باطله و کنسانتره سلول‌های رمق‌گیر ۷۹
شکل (۴-۴۳): بازیابی ذره به ذره مس و مولیبدن در مرحله رمق‌گیر ۸۰

شکل (۴-۴۴): کارآیی جدایش ذره به ذره مس و مولیبدن در سلول‌های رمق‌گیر..... ۸۰
شکل (۴-۴۵): تأثیر دور همزن بر عیار و بازیابی مس..... ۸۳
شکل (۴-۴۶): تأثیر دور همزن بر عیار و بازیابی مولیبدن..... ۸۴
شکل (۴-۴۷): تأثیر مقدار بازداشت کننده دکسترین بر بازیابی مس و مولیبدن..... ۸۵
شکل (۴-۴۸): تأثیر مقدار بازداشت کننده دکسترین بر عیار مس و مولیبدن..... ۸۶
شکل (۴-۴۹): تأثیر میزان گازوئیل بر عیار و بازیابی مولیبدن در باطله رمق‌گیر..... ۸۷
شکل (۴-۵۰): عیار خوراک، باطله و کنسانتره مولیبدن در مقادیر مختلف گازوئیل..... ۸۷

فهرست جدول‌ها

جدول (۲-۱): مقادیر بازیابی مس و مولیبدن در کارخانه و آزمایشگاه..... ۲۱

جدول (۲-۲): خلاصه‌ای از تحقیقات انجام گرفته..... ۲۷

جدول (۴-۱): درصد وزنی کانی‌های موجود در مرحله‌های مختلف مدار..... ۵۱

جدول (۴-۲) مشخصات فنی سلول‌های رافر..... ۵۲

جدول (۴-۳): اطلاعات مربوط به مرحله رافر..... ۵۵

جدول (۴-۴): نتایج آزمایش‌های اعتبارسنجی..... ۶۵

جدول (۴-۵): اطلاعات مربوط به سلول‌های ستونی..... ۶۶

جدول (۴-۶): اطلاعات مربوط به مرحله شستشو و شستشوی مجدد..... ۷۱

جدول (۴-۷): مشخصات فنی سلول‌های رمق‌گیر..... ۷۹

جدول (۴-۸): اطلاعات مربوط به مرحله رمق‌گیر..... ۸۱

جدول (۴-۹): عوامل ثابت آزمایش‌ها..... ۸۳

جدول (۴-۱۰): عوامل ثابت آزمایش‌ها..... ۸۵

جدول (۴-۱۱): عوامل ثابت آزمایش‌ها در فلوتاسیون باطله رمق‌گیر..... ۸۶

فصل اول

کلیات

۱-۱. مقدمه

مولیبدن یکی از فلزات پر مصرف در صنعت محسوب می‌شود و کانسارهای مس پورفیری از مهم‌ترین منابع آن به شمار می‌روند. در کانسنگ‌های مس پورفیری، مولیبدن به صورت مولیبدنیت (MoS_2) و مس اغلب در کانی‌هایی نظیر کالکوپیریت ($CuFeS_2$) و کالکوسیت (Cu_2S) یافت می‌شوند (Bulatovic 2007). بازیابی مولیبدنیت از این نوع کانسنگ‌ها، به روش فلوتاسیون انجام می‌شود. روش بازیابی مولیبدن به طور معمول بدین صورت است که ابتدا کانی‌های مس و مولیبدن به صورت تجمعی شناور می‌شوند. سپس روش مورد استفاده در جدایش کانی‌های مس و مولیبدن از یکدیگر براساس فلوتاسیون تفریقی است. در طی فرآیند فلوتاسیون تجمعی، کانی‌های مس و مولیبدن با افزودن مواد شیمیایی مناسب، شناور شده و به بخش شناور سلول فلوتاسیون منتقل می‌شوند. از کنسانتره مس - مولیبدن بدست آمده، برای فلوتاسیون مولیبدن در طی چند مرحله استفاده می‌شود که کنسانتره هر مرحله، به مرحله بعد انتقال یافته و باطله هر مرحله به خوراک مرحله قبل هدایت می‌شود تا بتوان به بازیابی و عیار مطلوب دست یافت. بازیابی مولیبدنیت به عوامل زیادی اعم از نوع کانی‌های حاوی مولیبدنیت و مس، آبرانی ذاتی و پارامترهای عملیاتی نظیر نوع مواد شیمیایی، مدار فرآوری و هم‌چنین خردایش و آزادسازی وابسته است(Triffett et al., 2008) . درجه آزادی کانی‌ها یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در فلوتاسیون به شمار می‌رود و به صورت درصدی از کانی مورد نظر که به صورت آزاد ظاهر می‌شود، تعریف می‌شود. با توجه به نوع کانسنگ که پورفیری است، مطالعه ارتباط میزان ابعاد ذرات و درجه آزادی کانی‌ها اهمیت خاصی دارد. به دلیل درجه آزادی پایین‌تر مولیبدنیت نسبت به کانی‌های مس‌دار، مولیبدنیت نیاز به خردایش بیشتری دارد که در این صورت ذرات نرمه مس بیشتر شده و سبب هدرروی بخشی از مس با ارزش به باطله می‌شود. مواد شیمیایی مورد استفاده در مرحله فلوتاسیون، کلکتورها، کف‌سازها و تنظیم‌کننده‌های pH هستند(Crozier, 1979) .

در مرحله اولیه فلوتاسیون تجمعی مس - مولیبدن (رافر) معمولاً عیار مس بین ۶ تا ۱۳٪ و عیار مولیبدن نیز ۰/۱ تا ۰/۳٪ متغیر است. در حالت کلی بیشترین هدرروی مولیبدنیت در این مرحله است که تقریباً ۴۸٪ از مولیبدن موجود در خوراک ورودی را شامل می‌شود(Gupta, 1997). علت از دست رفتن مولیبدنیت در این مرحله می‌تواند، ذرات نرمه مولیبدنیت، تفاوت pH فرآیند مولیبدنیت و مس، وجود پوشش اکسیدی روی سطح مولیبدنیت، و وجود پولک‌های درشت مولیبدنیت که به راحتی از کف سقوط می‌کنند، باشد(Ametov et al., 2008). عیار مس کنسانتره نهایی معمولاً بین ۲۳ تا ۳۲٪ است. در مرحله پرعیارکنی نهایی هم‌زمان با مس، عیار مولیبدن نیز افزایش یافته و به مقدار ۰/۲ تا ۲٪ می‌رسد. البته با توجه به اینکه مولیبدنیت همراه با کانسنگ مس به صورت محصول جانبی یافت می‌شود، عیار نهایی آن می‌تواند در صورت بکارگیری روش‌های مناسب در مراحل شستشو به بیش از ۳ تا ۴٪ برسد. کنسانتره بدست آمده از مراحل نهایی توسط تیکنر ته‌نشین شده تا مواد شیمیایی آنها از بین رفته و آماده جداسازی مولیبدن از مس در کارخانه فرآوری مولیبدن شود.

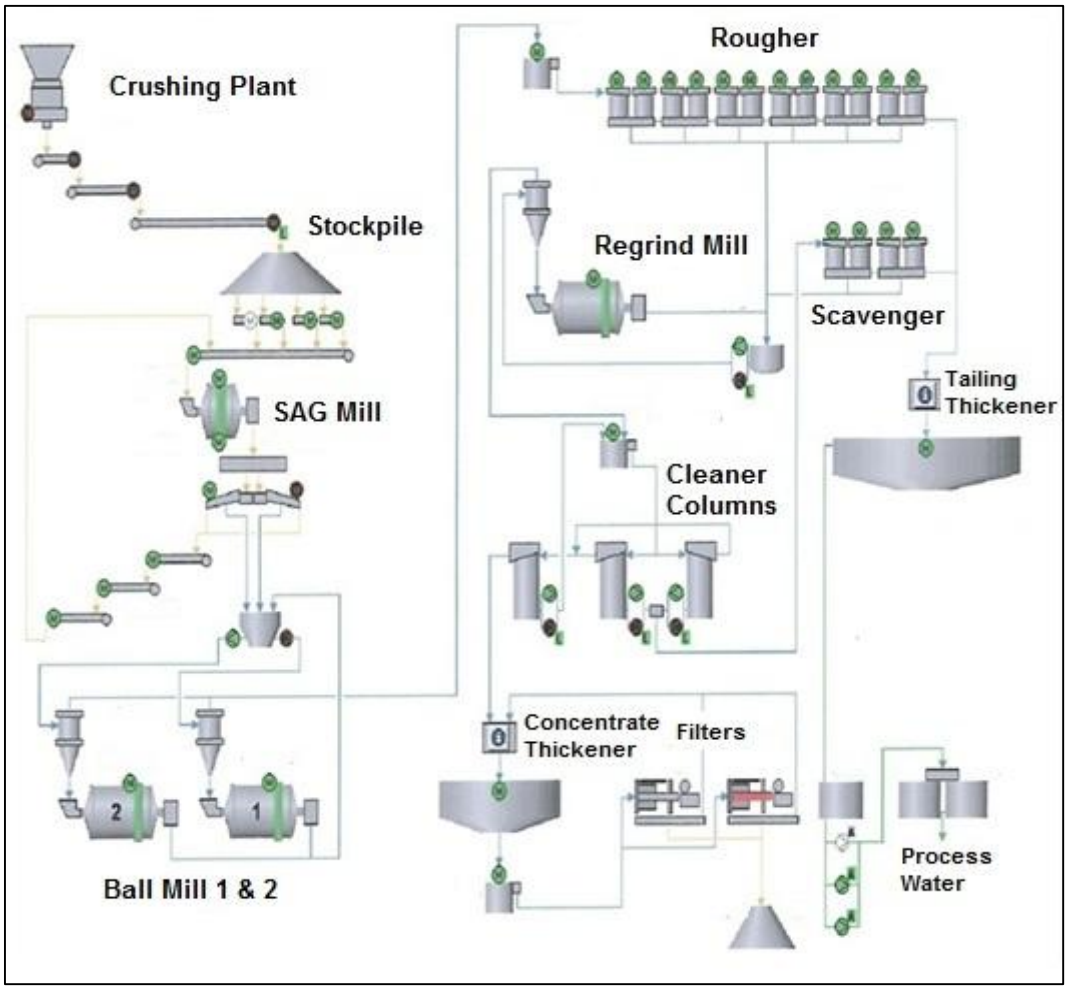
۱-۲. معرفی مجتمع مس سونگون

مجتمع مس سونگون آذربایجان در ۱۳۰ کیلومتری شمال شرقی تبریز و ۷۵ کیلومتری غرب شهرستان اهر قرار دارد. مختصات جغرافیایی این منطقه ۴۶ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی است. کانسار مس سونگون در یک منطقه کوهستانی واقع شده که حداکثر ارتفاع محدوده معدن از سطح دریا ۲۷۰۰ متر است. کانسار مس سونگون از کانسارهای پورفیری نوع مونزونیتی است که سطح توده کانسار در شبکه اکتشافات تفصیلی در حدود یک کیلومتر مربع است. سنگ‌های درون‌گیر این توده مونزونیتی را واحدهای آهکی کرتاسه بالا و سری‌های آتشفشانی آندزیتی – لاتریتی تشکیل داده‌اند. کانی‌های سولفیدی موجود در کانسار مس سونگون شامل پیریت، مولیبدنیت، گالن، اسفالریت، مارکازیت، پیروتیت و سولفیدهای مس (کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت) هستند. زون‌های قابل رؤیت در معدن سونگون به سه نوع فروشست، سوپرژن و هیپوژن هستند (باقریان، ۱۳۸۵).

کانی‌سازی اصلی کانسار شامل کانی‌های مس و مولیبدن است و دومین تولیدکننده مس ایران است. ذخیره احتمالی این معدن بیش از یک میلیارد تن و ذخیره قابل استخراج آن (با توجه به اکتشافات انجام گرفته) حدود ۷۹۶ میلیون تن برآورد شده است که در مجموع کل ذخایر قطعی، احتمالی و ممکن در محدوده کانسار سونگون حدود ۱/۷ میلیارد تن سنگ مس با عیار ۰/۶۱٪ است. کارخانه‌های پرعیارسازی در معدن مس سونگون، شامل تولید کنسانتره مس و مولیبدنیت است. کارخانه مس، سالانه ۱۵۰ هزار تن کنسانتره مس و مولیبدن به ترتیب با عیار متوسط ۳۰٪ و ۰/۲٪ تولید می‌کند. کنسانتره مس - مولیبدن تولید شده، برای جداسازی مولیبدنیت از مس، به کارخانه پرعیارسازی مولیبدن انتقال‌یافته و کنسانتره مولیبدنیت با عیار متوسط ۴۶٪ تولید می‌شود. کارخانه فرآوری مس سونگون دارای سه مرحله کلی خردایش، فلوتاسیون و آبگیری می‌باشد. در مرحله خردایش، سنگ معدن پس از عملیات استخراج توسط کامیون به سنگ شکنی، که از نوع ژیراتوری است انتقال داده می‌شود. ابعاد خوراک ورودی کمتر از ۱۲۰۰mm بوده و مواد معدنی پس از خردشدن به ابعاد زیر ۲۵۰mm، به آسیای نیمه خودشکن فرستاده می‌شود. محصول آسیای نیمه خودشکن به هیدروسیکلون‌های اولیه هدایت شده که سرریز سیکلون‌های اولیه با ابعاد ۱۰۰میکرون به سمت سلول‌های فلوتاسیون رافر هدایت شده و ته‌ریز آنها جهت خردایش مجدد وارد آسیاهای گلوله‌ای اولیه می‌شود. فلوشیت کلی کارخانه فرآوری مس سونگون در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.

مواد شیمیایی مربوط به فلوتاسیون شامل کلکتورها، تنظیم کننده‌ها و شیرآهک به ته‌ریز سیکلون‌های اولیه اضافه می‌شود. سپس پالپ به داخل ۱۲ عدد سلول فلوتاسیون اولیه (رافر) از نوع مکانیکی (RCS130) جریان می‌یابد. باطله خروجی از آخرین سلول رافر مستقیماً به تیکنر باطله جریان یافته و کنسانتره سلول‌های رافر جهت خردایش مجدد وارد یک مسیر بسته سیکلون ثانویه و آسیای گلوله‌ای ثانویه می‌شود. ته‌ریز سیکلون ثانویه جهت خردایش مجدد وارد آسیای گلوله‌ای ثانویه شده و سرریز آن به سمت ۲ سلول فلوتاسیون شستشوی اولیه (کلینر) که از نوع ستونی هستند، جریان می‌یابد. باطله سلول‌های شستشو جهت رمق‌گیری به ۴ سلول فلوتاسیون رمق‌گیری (اسکاونجر) از نوع مکانیکی

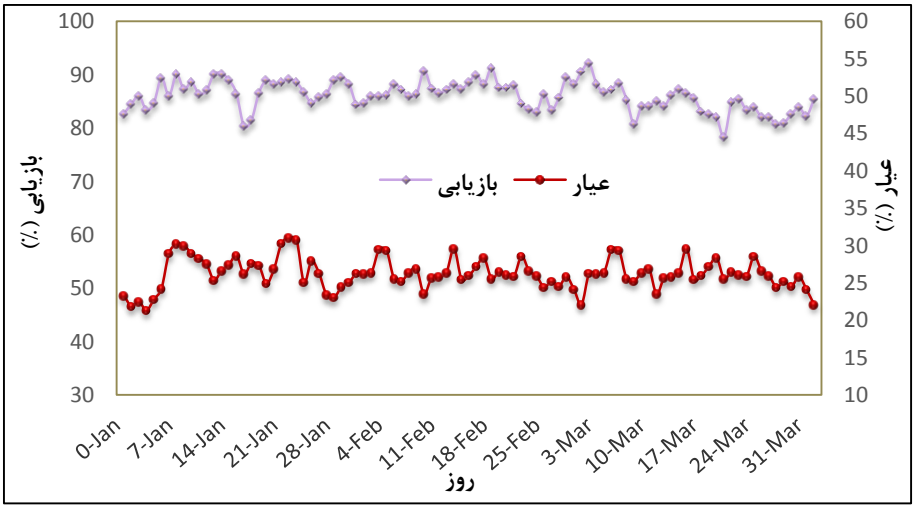
(RCS50) هدایت شده، که باطله سلول‌های رمق‌گیر به همراه باطله سلول‌های رافر، باطله نهایی را تشکیل و به سمت تیکنر باطله پمپ شده و کنسانتره سلول‌های رمق‌گیر وارد مخزن آماده‌سازی قبل از سیکلون ثانویه می‌شود. کنسانتره حاصل از ۲ ستون کلینر، جهت شستشوی مجدد و تولید محصول نهایی به داخل سلول فلوتاسیون شستشوی مجدد (ری‌کلینر) جریان می‌یابد. باطله سلول شستشوی مجدد به داخل مخزن آماده‌سازی ستون‌های شستشوی اولیه برگشت داده می‌شود و کنسانتره آن نیز به عنوان کنسانتره نهایی به داخل تیکنر کنسانتره جریان می‌یابد. سپس کنسانتره نهایی بدست آمده در یک مخزن جمع شده و به داخل تیکنر کنسانتره جریان می‌یابد. سرریز تیکنر به داخل مخزن انتقال آب بازیافتی منتقل و ته‌ریز آن با ۳۰٪ آب به داخل مخزن پالپ ریخته و از آنجا نیز به داخل فیلتر فشاری پمپ می‌شود.



شکل (۱-۱): فلوشیت کلی کارخانه فرآوری مس سونگون

۱-۳. ضرورت تحقیق

درکارخانه‌های فرآوری فلوتاسیون مس پورفیری، علی‌رغم خاصیت آبرانی قوی مولیبدن، در بازیابی کنسانتره نهایی نوسانات زیادی وجود دارد. بازیابی کالکوپیریت معمولاً بین ۸۰ تا ۹۰ درصد است، در حالی که بازیابی مولیبدن بین ۲۵ تا ۸۵ درصد متغیر می‌باشد (Bulatovic, 2007). دلیل این امر را می‌توان به طراحی اولیه کارخانه با توجه به نمونه شاخص مورد مطالعه، که برای بازیابی بهینه مس صورت گرفته است، اشاره کرد که نقش مهم و مستقیمی را در افزایش یا کاهش بازیابی فلوتاسیون مولیبدنیت دارد (Zanin et al., 2009). از دیگر عوامل پایین بودن بازیابی مولیبدنیت می‌توان به تشکیل پوشش نرمه‌ای و میزان pH اشاره کرد. به دلیل نوسانات ایجاد شده در بازیابی مولیبدن در مدار فلوتاسیون کارخانه تغلیظ مس سونگون، میزان مولیبدن محصول ارسالی به کارخانه مولیبدن تغییرات زیادی داشته و درنتیجه راندمان تولید مولیبدن کاهش پیدا کرده است. با توجه به قیمت بالای مولیبدن (در حال حاضر ۸۵۰۰۰ تومان بر کیلوگرم) و ظرفیت بالای کارخانه، حتی در صورت افزایش جزئی بازیابی مولیبدن، صرفه اقتصادی بسیاری برای مجتمع مس سونگون خواهد داشت. شکل‌های (۱-۲) و (۱-۳) به ترتیب نشان دهنده‌ی وضعیت عیار و بازیابی مس و مولیبدن در مدار فرآوری مجتمع مس سونگون می‌باشند که در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل (۱-۲): نمودار سه ماهه عیار و بازیابی مولیبدن در سونگون (باقریان، ۱۳۹۲)