دانشگاه یزد

دانشکده مهندسی معدن و متالورژی

پایان نامه

کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی

استخراج مس از نمونه کانسنگ مس دره زرشک به روش لیچینگ ستونی - استخراج حلالی

اساتید راهنما:

دکتر رضا دهقان سیمکانی

دکتر عبدالحمید انصاری

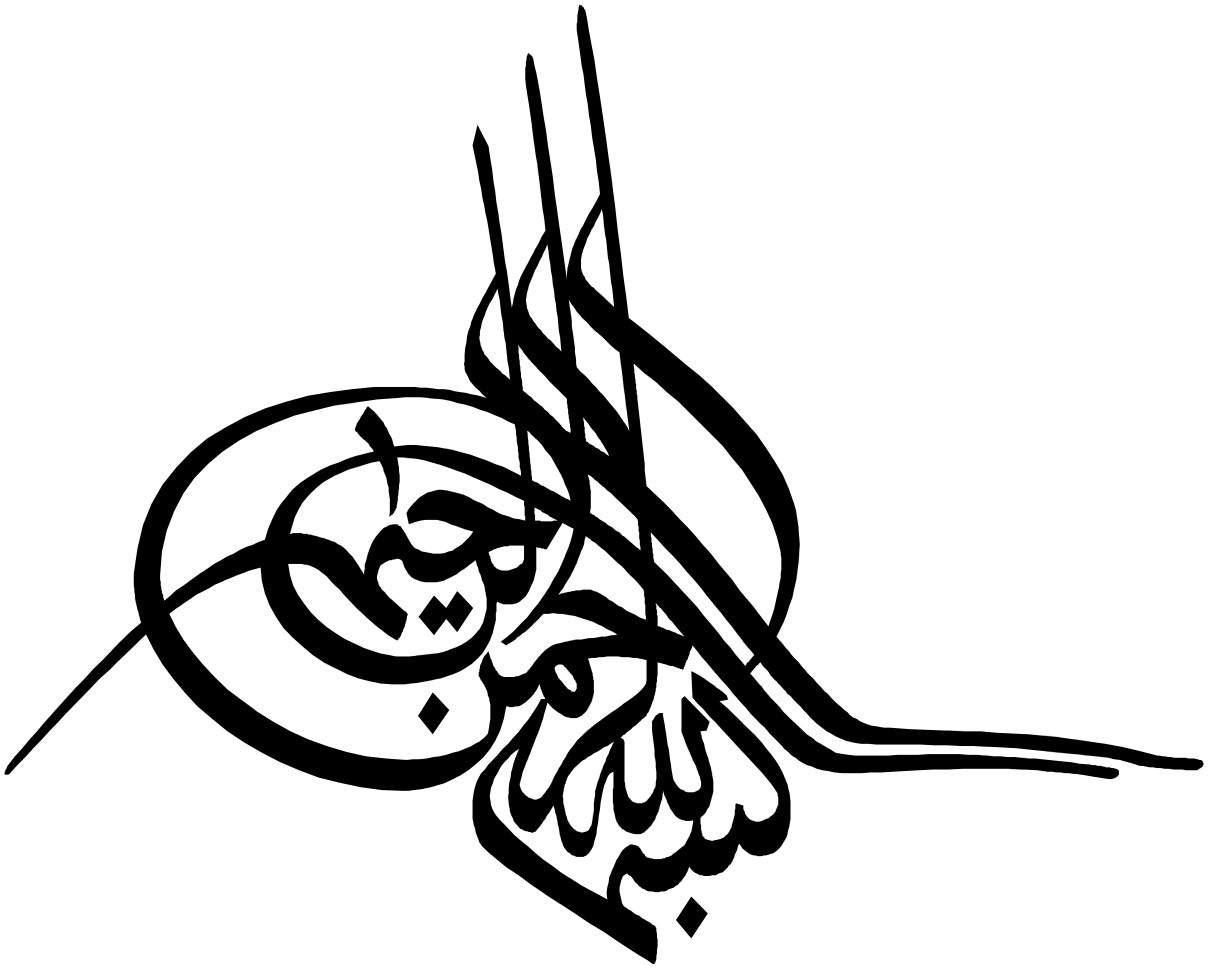
استاد مشاور:

دکتر حجت نادری

پژوهش و نگارش:

یوسف شجاعی

مهر ۹۱


بسم الله الرحمن الرحيم

تشکر و قدردانی

سپاس بیکران پروردگار بی‌همتا را که راه تحقیق و پژوهش را بر جویندگان علم و دانش هموار نموده و توفیق نگارش این سطور را عنایت فرمود.

شایسته می دانم از زحمات کلیه عزیزانی که در مراحل مختلف تدوین این پایان نامه مرا یاری نمودند تشکر نموده و مراتب قدردانی خویش را ابراز نمایم .

بدون شک حمایت‌ها و دلسوزی‌های پدر و مادرم، راهنمایی‌ها و مهرورزی‌های استادان گرانقدر آقایان دکتر دهقان و دکتر انصاری و دکتر نادری، مهندس حسینی و مهندس آزاد شده و سرکار خانم مهندس خردمندکه در به ثمر رسانیدن این پایان نامه نقش قابل توجهی داشته اند.

این سطور ناچیز را به تمامی این بزرگواران تقدیم می دارم. باشد که مورد قبول واقع گردد.

تقدیم به:

الگوی تلاش و استقامت، پدر بزرگوارم که محکم‌ترین تکیه‌گاه و پشتیبانی بی‌منت در تمام مراحل زندگیم بوده‌اند.

اسطوره صبر و محبت، مادر فداکارم که همیشه وجودشان امیدبخش زندگیم و دعای خیرشان بدرقه راهم بوده است.

الهه عشق و عاطفه، همسر مهربانم که با ایمان و صبوریشان روشنایی بخش راه زندگیم هستند.

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل اول: مروری بر تحقیقات گذشته

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- هیدرومتالورژی مس..... ۳

۱-۳- روش‌های مختلف لیچینگ کانسنگ مس..... ۶

۱-۳-۱- لیچینگ درجا..... ۶

۱-۳-۲- لیچینگ توده‌ای..... ۷

۱-۳-۳- لیچینگ همزنی..... ۱۰

۱-۳-۴- لیچینگ حوضچه‌ای..... ۱۰

۱-۴- پارامترهای مؤثر در طراحی فرآیند لیچینگ توده‌ای..... ۱۱

۱-۴-۱- توزیع ابعادی کانسنگ..... ۱۲

۱-۴-۲ آگلومراسیون..... ۱۲

۱-۴-۳- روش ساخت توده..... ۱۳

۱-۴-۴- پاشش محلول..... ۱۴

۱-۴-۵- نفوذپذیری..... ۱۴

۱-۴-۶- ارتفاع توده..... ۱۵

۱-۵- استخراج با حلال آلی..... ۱۶

۱-۶- فرآیند کاربردی و علمی استخراج با حلال..... ۲۰

۱-۷- خصوصیات حلال استخراج کننده..... ۲۱

۱-۸- شیمی استخراج با حلال برای فلزات اصلی..... ۲۲

۱-۸-۱- استخراج کننده کی لیت..... ۲۳

۱-۸-۱-۱- ساختار ۲۳
۱-۸-۱-۲- شیمی استخراج ۲۳
۱-۸-۱-۳- اصلاح کننده‌ها ۲۳
۱-۸-۱-۴- ویژگی‌های خاص ۲۴
۱-۸-۲- استخراج کننده زوج یون ۲۴
۱-۸-۲-۱- ساختار ۲۴
۱-۸-۲-۲- شیمی استخراج ۲۴
۱-۸-۲-۳- اصلاح کننده‌ها ۲۴
۱-۸-۲-۴- ویژگی‌های خاص ۲۵
۱-۸-۳- استخراج کننده‌های خنثی یا محلول ۲۵
۱-۸-۳-۱- ساختار ۲۵
۱-۸-۳-۲- شیمی استخراج ۲۶
۱-۸-۳-۳- ویژگی‌های خاص ۲۶
۱-۸-۴- استخراج کننده‌های اسیدی آلی ۲۶
۱-۸-۴-۱- ساختار ۲۶
۱-۸-۴-۲- شیمی استخراج ۲۶
۱-۸-۴-۳- ویژگی‌های خاص ۲۷
۱-۹- رقیق کننده‌ها ۲۷
۱-۹-۱- تعریف رقیق کننده ۲۸
۱-۹-۲- شرایط عمومی رقیق کننده‌ها ۲۸
۱-۹-۳- دلایل استفاده از رقیق‌کننده‌ها در استخراج حلالی ۲۹
۱-۹-۴- طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها ۳۰
۱-۹-۴-۱- آروماتیک‌ها ۳۰
۱-۹-۴-۲- آلیفاتیک‌ها ۳۱

۱-۹-۴-۲-۱- آلکان‌ها..... ۳۱
۱-۹-۴-۲-۲- آلکن‌ها..... ۳۱
۱-۹-۴-۲-۳- آلکین‌ها..... ۳۲
۱-۹-۴-۳- نفتنیک‌ها..... ۳۳
۱-۹-۴-۴- پارافین‌ها..... ۳۴
۱-۹-۵- خواص رقیق‌کننده‌ها..... ۳۵
۱-۹-۵-۱- جرم مخصوص..... ۳۵
۱-۹-۵-۲- ویسکوزیته..... ۳۶
۱-۹-۵-۳- نقطه اشتعال..... ۳۷
۱-۹-۵-۴- فشار بخار..... ۳۹
۱-۹-۵-۵- طبیعت قطبی..... ۴۲
۱-۹-۵-۶- ثابت دی الکتریک..... ۴۳
۱-۹-۵-۷- مقدار کوری – بوتانول..... ۴۴
۱-۹-۵-۸- پارامتر حلالیت..... ۴۵
۱-۹-۶- رقیق کننده‌های آروماتیکی و آلیفاتیکی و تأثیر آن بر روی فرآیند..... ۴۷
۱-۹-۷- اتلاف رقیق کننده..... ۵۵
۱-۹-۷-۱- تخریب شیمیایی و بیولوژیکی..... ۵۶
۱-۹-۷-۲- انحلال پذیری..... ۵۶
۱-۹-۷-۳- ماندگی در فاز آبی..... ۵۶
۱-۹-۷-۴- تبخیر..... ۵۷
۱-۹-۷-۵- تشکیل کراد..... ۵۸
۱-۱۰- رقیق کننده‌های سنگین..... ۵۹
۱-۱۱- تنظیم کننده‌ها..... ۶۰
۱-۱۱-۱- تشکیل فاز سوم..... ۶۰

۱-۱۱-۲- تنظیم کننده‌ها..... ۶۱
...۱-۱۱-۳- مباحث..... ۶۵

فصل دوم: مواد مورد استفاده و روش تحقیق

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه..... ۷۰
۲-۱-۱-موقعیت جغرافیایی منطقه دره زرشک..... ۷۰
۲-۱-۲- وضعیت آب و هوایی منطقه دره زرشک..... ۷۰
۲-۱-۳- توپوگرافی ناحیه منطقه دره زرشک..... ۷۱
۲-۱-۴- نتایج کلی حاصل از مطالعات کانی‌شناسی و مینرالوگرافی..... ۷۱
۲-۱-۵- ذخیره کانسار..... ۷۱
۲-۲- اهداف پروژه..... ۷۲
۲-۳- تهیه و آماده سازی نمونه کانسنگ..... ۷۳
۲-۴- آنالیز سرندی و شیمیایی..... ۷۵
۲-۵- پیش فرآوری نمونه قبل از شارژ به ستون..... ۷۵
۲-۶- آزمایش بطری غلتان..... ۷۶
۲-۷- آزمایش فروشویی ستونی..... ۷۷
۲-۸- روش‌های مورد استفاده در آنالیز نمونه‌ها..... ۷۸
۲-۸-۱- اندازه‌گیری مقدار مس به روش تیتراسیون یدومتری..... ۷۹
۲-۸-۲-دستگاه جذب سطحی توسط معرف فلوئورسانس..... ۸۱
۲-۸-۳- تست تقطیر..... ۸۲
۲-۹- آزمایش‌های استخراج با حلال..... ۸۳
۲-۹-۱- مواد مصرفی آزمایش‌های استخراج با حلال..... ۸۳
۲-۹-۲ نحوه انجام آزمایش‌های استخراج با حلال..... ۸۴
۲-۹-۲-۱-تاثیر غلظت استخراج کننده..... ۸۴

۲-۹-۲-۲- تاثیر pH ۸۵
۲-۹-۲-۳- تاثیر غلظت یون فلزی ۸۵
۲-۱۰- نمایش داده‌ها ۸۶
۲-۱۰-۱- منحنی توزیع ۸۶
۲-۱۰-۲- دیاگرام مکیب – تیل ۸۷
۲-۱۱- طراحی آزمایش‌ها ۸۸
۲-۱۱-۱- طراحی آزمایش با توجه به بازیابی و ضریب توزیع عنصر مس ۸۹

فصل سوم: نتایج آزمایش‌ها و بحث

۳-۱- مقدمه ۹۲
۳-۲- نتایج حاصل از بررسی کانسنگ ۹۲
۳-۳- نتایج آزمایش بطری غلتان ۱۰۲
۳-۴- نتایج آزمایش فروشویی ستونی ۱۰۳
۳-۵- آزمایش تاثیر غلظت استخراج کننده بر استخراج با حلال مس ۱۰۹
۳-۶- آزمایش تاثیر pH بر استخراج با حلال مس ۱۱۴
۳-۷- آزمایش تاثیر غلظت اولیه در محلول باردار بر استخراج با حلال مس ۱۱۷
۳-۸- آزمایش تاثیر زمان بر استخراج با حلال مس ۱۲۰
۳-۹- ترسیم دیاگرام‌های مکیب – تیل استخراج برای رقیق کننده‌های مختلف ۱۲۱
۳-۱۰- آزمایش تاثیر نسبت فاز بر استخراج با حلال مس ۱۲۳
۳-۱۱- آزمایش تعیین خواص فیزیکی رقیق کننده‌های مورد استفاده ۱۲۴
۳-۱۲- آزمایش تقطیر ۱۲۵
۳-۱۳- نتایج طراحی آزمایش ۱۲۶
۳-۱۳-۱- طراحی آزمایش با توجه به بازیابی عنصر مس ۱۲۷
۳-۱۳-۲- طراحی آزمایش با توجه به ضریب توزیع عنصر مس ۱۳۲

فصل چهارم:نتیجه گیری و پیشنهادها

۴-۱- نتیجه گیری..... ۱۳۸

۴-۲- پیشنهادها..... ۱۴۰

پیوست‌ها..... ۱۴۱

مراجع و منابع..... ۱۵۱

فهرست اشکال

عنوان.....صفحه

شکل(۱-۱) نمایش شماتیک فرآیند لیچینگ برجا.....۷

شکل(۱-۲) عملیات لیچینگ مس به صورت توده‌ای.....۸

شکل(۱-۳) روند تولید استخراج حلالی مس از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵ .....۱۹

شکل(۱-۴) نمایی از وضعیت فازهای آبی و آلی در حین مخلوط سازی و بعد از ته نشین سازی.....۲۰

شکل(۱-۵) فرآیند آزمایشی استخراج با حلال.....۲۱

شکل(۱-۶) ساختار استخراج کننده کی‌لیت.....۲۳

شکل(۱-۷) ساختار برخی از آروماتیک‌ها.....۳۰

شکل(۱-۸) تغییرات چگالی DEHPA و محلول‌های DEHPA-Na در رقیق کننده Shell 140 FN.....۳۵

شکل(۱-۹) تاثیر غلظت اورانیوم در فاز آلی بر روی ویسکوزیته TBP.....۳۶

شکل(۱-۱۰) تاثیر افزایش غلظت استخراج کننده بر روی ویسکوزیته حلال.....۳۶

شکل(۱-۱۱) نمودار فشار بخار هیدروکربن‌ها برحسب درجه حرارت.....۴۰

شکل(۱-۱۲) ثابت دی الکتریک برای استخراج کبالت و نیکل از محلول آلکالی توسط DEHPA.....۴۴

شکل(۱-۱۳) تاثیر مقدار کوری – بوتانول بر روی استخراج در سیستم‌های مختلف.....۴۵

شکل(۱-۱۴) تاثیر پارامتر حلالیت بر روی استخراج مس.....۴۶

شکل(۱-۱۵) تاثیر پارامتر حلالیت در استخراج فلز در سیستم‌های مختلف.....۴۶

شکل(۱-۱۶) تاثیر محتوای آلیفاتیک رقیق کننده بر روی استخراج فلزات کمیاب به وسیله DEHPA.....۴۸

شکل(۱-۱۷) تاثیر محتوای آروماتیکی بر روی استخراج کبالت.....۵۱

شکل(۱-۱۸) اثر ترکیب رقیق کننده بر نسبت جداسازی کبالت به نیکل.....۵۲

شکل(۱-۱۹) تاثیر محتوای پارافینیکی و نفتنیکی بر روی استخراج مس با LIX64N.....۵۲

شکل(۱-۲۰) تاثیر مکانیزم استخراج و محتوای آروماتیکی بر روی استخراج مواد.....۵۵

شکل(۱-۲۱) توزیع تعداد کربن برای SX11 وSX12 ۵۸
شکل(۱-۲۲) اثر رقیق کننده سنگین بر مرحله استخراج مس ۵۹
شکل(۱-۲۳) اثر رقیق کننده سنگین بر مرحله استریپینگ مس ۵۹
شکل(۱-۲۴) تاثیر غلظت تنظیم کننده بر روی زمان جدایش فازها در استخراج مس ۶۴
شکل(۱-۲۵) تاثیر غلظت تنظیم کننده بر روی استخراج مس ۶۴
شکل(۱-۲۶) تاثیر غلظت تنظیم کننده بر روی زمان جدایش فازها در استریپینگ مس ۶۴
شکل(۱-۲۷) مقایسه تنظیم کننده‌ها در قدرت انتخابی فلزات ۶۴
شکل(۲-۱) نمونه برداری به روش شطرنجی ۷۴
شکل(۲-۲) آزمایش بطری غلتان ۷۷
شکل(۲-۳) آزمایش فروشویی ستونی ۷۸
شکل(۲-۴) آنالیز مقایسه‌ای مس با جذب اتمی و تیتراسیون ۷۹
شکل(۲-۵) ستون جذب فلورسانس و ترتیب رنگ نواحی ۸۲
شکل(۲-۶) ساختار استخراج کننده CP150 ۸۳
شکل(۲-۷) ایزوترم استخراج ۸۷
شکل(۲-۸) دیاگرام مکیب – تیل برای استخراج ۸۷
شکل(۳-۱) درصد توزیع مس با ابعاد کوچکتر ۲ اینچ قبل و بعد از فروشویی ۹۴
شکل(۳-۲) درصد توزیع مس اکسیدی با ابعاد کوچکتر ۲ اینچ قبل و بعد از فروشویی ۹۴
شکل(۳-۳) درصد توزیع آهن با ابعاد کوچکتر ۲ اینچ قبل و بعد از فروشویی ۹۵
شکل(۳-۴) آنالیز سرندی نمونه کانسنگ کوچکتر از ۲ اینچ معدن مس دره زرشک ۹۶
شکل(۳-۵) درصد توزیع مس با ابعاد کوچکتر از ۱ اینچ قبل و بعد از فروشویی ۹۸
شکل(۳-۶) درصد توزیع مس اکسیدی با ابعاد کوچکتر از ۱ اینچ قبل و بعد از فروشویی ۹۹

شکل(۳-۷) درصد توزیع آهن با ابعاد کوچکتر از ۱ اینچ قبل و بعد از فروشویی.....۹۹
شکل(۳-۸) آنالیز سرندی نمونه کانسنگ با ابعاد کوچکتر از ۱اینچ معدن مس دره زرشک.....۱۰۰
شکل(۳-۹) بازیابی مقایسه‌ای مس در هر دو بخش ابعادی نمونه کانسنگ با ابعاد کوچکتر از ۱ اینچ و ۲ اینچ.....۱۰۱
شکل(۳-۱۰) تغییرات pH در بطری غلتان بر حسب زمان.....۱۰۲
شکل(۳-۱۱) تغییرات روزانه pH در محلول باردار.....۱۰۴
شکل(۳-۱۲) تغییرات روزانه اسیدیته در محلول باردار.....۱۰۴
شکل(۳-۱۳) تغییرات روزانه حجم محلول باردار زیر ستون.....۱۰۵
شکل(۳-۱۴) تغییرات روزانه دبی پاشش زیر ستون.....۱۰۵
شکل(۳-۱۵) تغییرات روزانه غلظت محلول باردار طی ۱۲ روز اول.....۱۰۶
شکل(۳-۱۶) تغییرات روزانه غلظت محلول باردار از روز دوازدهم تا هفتادوپنجم.....۱۰۶
شکل(۳-۱۷) میزان مصرف کل اسید در ستون.....۱۰۷
شکل(۳-۱۸) بازیابی روزانه آهن در محلول باردار.....۱۰۸
شکل(۳-۱۹) بازیابی روزانه مس در محلول باردار.....۱۰۸
شکل(۳-۲۰) بازیابی تجمعی مس و آهن در محلول باردار طی ۷۵ روز.....۱۰۹
شکل(۳-۲۱) تاثیر غلظت استخراج کننده بر روی بازیابی مس.....۱۱۰
شکل(۳-۲۲) لگاریتم ضریب توزیع بر حسب لگاریتم غلظت استخراج کننده (رقیق‌کننده M103).....۱۱۱
شکل(۳-۲۳) لگاریتم ضریب توزیع بر حسب لگاریتم غلظت استخراج کننده (رقیق کننده سرچشمه).....۱۱۱
شکل(۳-۲۴) لگاریتم ضریب توزیع بر حسب لگاریتم غلظت استخراج کننده (رقیق کننده نفت سفید).....۱۱۲
شکل(۳-۲۵) میزان اسیدیته محلول بی‌بار حاصل از رقیق کننده‌های مختلف.....۱۱۳
شکل(۳-۲۶) تاثیر میزان pH بر روی بازیابی مس در حضور دو رقیق کننده M103 و مجتمع مس سرچشمه.....۱۱۴
شکل(۳-۲۷) لگاریتم ضریب توزیع برحسب pH (رقیق کننده M103).....۱۱۵
شکل(۳-۲۸) لگاریتم ضریب توزیع برحسب pH (رقیق کننده مجتمع مس سرچشمه).....۱۱۶

شکل(۳-۲۹) میزان اسیدیته محلول بی‌بار حاصل از رقیق کننده‌های مختلف..... ۱۱۷
شکل(۳-۳۰) تاثیر غلظت اولیه محلول باردار بر روی بازیابی مس در حضور دو رقیق کننده M103 و مجتمع مس سرچشمه..... ۱۱۸
شکل(۳-۳۱) میزان اسیدیته محلول بی‌بار حاصل از رقیق کننده‌های مختلف..... ۱۱۹
شکل(۳-۳۲) تاثیر زمان بر روی بازیابی مس در حضور دو رقیق کننده M103 و مجتمع مس سرچشمه..... ۱۲۰
شکل(۳-۳۳) دیاگرام مکیب تیل استخراج با استفاده از رقیق کننده مس سرچشمه..... ۱۲۱
شکل(۳-۳۴) دیاگرام مکیب تیل استخراج با استفاده از رقیق کننده M103..... ۱۲۲
شکل(۳-۳۵) تاثیر نسبت فاز بر روی بازیابی مس در حضور دو رقیق کننده M103 و مجتمع مس سرچشمه..... ۱۲۳
شکل(۳-۳۶) نمودار تقطیر برای رقیق کننده مجتمع سرچشمه و M103..... ۱۲۶
شکل(۳-۳۷) مقادیر بازیابی واقعی مس بر حسب مقادیر بازیابی پیش بینی شده مس..... ۱۲۹
شکل(۳-۳۸) تاثیر پارامترهای اصلی بر روی بازیابی مس..... ۱۳۰
شکل(۳-۳۹) تاثیر متقابل پارامترهای اصلی بر روی بازیابی مس..... ۱۳۰
شکل(۳-۴۰) تاثیر نسبت فاز و pH بر روی بازیابی مس..... ۱۳۱
شکل(۳-۴۱) مقایسه مقادیر واقعی و پیش بینی شده توزیع مس..... ۱۳۴
شکل(۳-۴۲) تاثیر پارامترهای اصلی بر روی ضریب توزیع مس..... ۱۳۴
شکل(۳-۴۳) تاثیر متقابل پارامترهای اصلی بر روی ضریب توزیع..... ۱۳۵
شکل(۳-۴۴) تاثیر pH و نسبت فاز را بر روی ضریب توزیع مس..... ۱۳۵

فهرست جداول

عنوان ..... صفحه

جدول(۱-۱) مهم ترین کانی های اکسیدی مس..... ۴

جدول(۱-۲) ساختار آلیفاتیک‌های سبک..... ۳۳

جدول(۱-۳) محدوده تقطیر برای دو رقیق کننده SX12 و SX11..... ۳۸

جدول(۱-۴) رابطه هیدروکربن و درجه حرارت متناسب با فشار بخار..... ۴۱

جدول(۱-۵) تاثیر طبیعت قطبی بر استخراج فلزات کمیاب با استفاده از Aliquat336..... ۴۲

جدول(۱-۶) استخراج اورانیوم براساس ثابت دی الکتریک..... ۴۴

جدول(۱-۷) تاثیر رقیق کننده‌ها بر روی استخراج مس..... ۴۹

جدول(۱-۸) سه مرحله بارگذاری و تاثیر رقیق کننده بر روی استخراج و جدایش کبالت و نیکل..... ۵۰

جدول(۱-۹) رقیق کننده و تاثیر آن بر روی اسکرابینگ..... ۵۱

جدول(۱-۱۰) تاثیر رقیق کننده‌های آروماتیکی..... ۵۳

جدول(۱-۱۱) ویژگی‌های فیزیکی رقیق کننده‌های ایکسون..... ۵۴

جدول(۱-۱۲) ویژگی‌های فیزیکی برخی از رقیق کننده‌های شرکت شل..... ۵۵

جدول(۱-۱۳) ویژگی‌های برخی از تنظیم کننده‌ها..... ۶۱

جدول(۱-۱۴) تأثیر تنظیم کننده بر روی اسکرابینگ ۱۵٪ حجمی DEHPA محلول حاوی کبالت و نیکل..... ۶۲

جدول(۱-۱۵) تأثیر تنظیم کننده در سیانکس ۲۷۲..... ۶۳

جدول(۲-۱) مقدار ذخیره کانسار دره زرشک..... ۷۲

جدول(۲-۲) نتایج مقایسه‌ای آنالیز مس با جذب اتمی و تیتراسیون..... ۷۹

جدول(۲-۳) خواص فیزیکی استخراج کننده CP150.....۸۳

جدول(۲-۴) عامل‌ها و سطوح آزمایش.....۸۹

جدول(۲-۵) آزمایش عاملی برای بازیابی مس.....۹۰

جدول(۳-۱) آنالیز XRF نمونه مخلوط.....۹۲

جدول(۳-۲) آنالیز شیمیایی بخش‌های ابعادی مختلف نمونه کوچکتر از ۲ اینچ قبل از فروشویی.....۹۳

جدول(۳-۳) آنالیز شیمیایی بخش‌های ابعادی مختلف نمونه کوچکتر از ۲ اینچ بعد از فروشویی.....۹۳

جدول(۳-۴) درصد تجمعی عبوری نمونه کانسنگ کوچکتر از ۲ اینچ معدن مس دره زرشک.....۹۶

جدول(۳-۵) آنالیز شیمیایی بخش‌های ابعادی نمونه کانسنگ کوچکتر از ۱ اینچ قبل از فروشویی.....۹۷

جدول(۳-۶) آنالیز شیمیایی بخش‌های ابعادی نمونه کانسنگ کوچکتر از ۱ اینچ بعد از فروشویی.....۹۸

جدول(۳-۷) درصد تجمعی عبوری نمونه کانسنگ کوچکتر از ۱ اینچ معدن مس دره زرشک.....۱۰۰

جدول(۳-۸) تغییرات pH در بطری غلتان بر حسب زمان.....۱۰۲

جدول(۳-۹) میزان مس، آهن و اسید سولفوریک در محلول بطری غلتان.....۱۰۳

جدول(۳-۱۰) آنالیز نمونه جامد باطله آزمایش بطری غلتان.....۱۰۳

جدول(۳-۱۱) نتایج آنالیز XRF نمونه کانسنگ مس دره زرشک بعد از فروشویی.....۱۰۹

جدول(۳-۱۲) تاثیر استخراج کننده با رقیق کننده مختلف بر روی بازیابی مس.....۱۱۰

جدول(۳-۱۳) لگاریتم ضریب توزیع رقیق کننده‌های مختلف و لگاریتم غلظت استخراج کننده.....۱۱۱

جدول(۳-۱۴) میزان اسیدیته محلول بی‌بار حاصل از رقیق کننده‌های مختلف با تغییر غلظت استخراج کننده.....۱۱۳

جدول(۳-۱۵) تاثیر pH اولیه بر روی بازیابی مس در حضور دو رقیق کننده سرچشمه وM103.....۱۱۴

جدول(۳-۱۶) مقادیر لگاریتم ضریب توزیع و pH ۱۱۵

جدول(۳-۱۷) اسیدیته محلول بی‌بار حاصل از دو رقیق کننده سرچشمه و M103 با تغییرات pH ۱۱۶

جدول(۳-۱۸) تاثیر غلظت اولیه فلز در محلول باردار بر روی بازیابی مس در حضور دو رقیق کننده M103 و سرچشمه.....۱۱۸

جدول(۳-۱۹) اسیدیته محلول بی‌بار حاصل از دو رقیق کننده سرچشمه و M103 با تغییرات غلظت فلز در محلول باردار.....۱۱۹

جدول(۳-۲۰) تاثیر زمان بر روی بازیابی مس در حضور دو رقیق کننده M103 و سرچشمه.....۱۲۰

جدول(۳-۲۱) مقادیر داده‌های مربوط به ایزوترم استخراج برای رقیق کننده سرچشمه.....۱۲۱

جدول(۳-۲۲) مقادیر داده‌های مربوط به ایزوترم استخراج برای رقیق کننده M103 .....۱۲۲

جدول(۳-۲۳) تاثیر نسبت فاز بر روی بازیابی مس در حضور دو رقیق کننده M103 و سرچشمه.....۱۲۳

جدول(۳-۲۴) خواص فیزیکی رقیق کننده‌های M103 و مجتمع مس سرچشمه.....۱۲۴

جدول(۳-۲۵) خواص فیزیکی و شیمیایی نفت سفید.....۱۲۴

جدول(۳-۲۶) نتایج تست تقطیر.....۱۲۵

جدول(۳-۲۷) نتایج طراحی آزمایش به روش فاکتوریل با توجه به بازیابی مس.....۱۲۷

جدول(۳-۲۸) آنالیز واریانس بر روی بازیابی مس.....۱۲۸

جدول(۳-۲۹) داده‌های مقادیر پیش بینی شده و مقادیر واقعی بازیابی مس.....۱۲۹

جدول(۳-۳۰) حدود متغیرها برای دستیابی به حداکثر بازیابی مس.....۱۳۱

جدول(۳-۳۱) شرایط لازم برای دستیابی به حداکثر مقدار بازیابی مس.....۱۳۲

جدول(۳-۳۲) نتایج طراحی آزمایش به روش فاکتوریل با توجه به ضریب توزیع مس.....۱۳۲

جدول(۳-۳۳) آنالیز واریانس بر روی لگاریتم ضریب توزیع مس.....۱۳۳

جدول(۳-۳۴) مقادیر واقعی و پیش بینی شده ضریب توزیع مس.....۱۳۳

جدول(۳-۳۵) حدود متغیرها برای دستیابی به حداکثر ضریب توزیع مس.....۱۳۶

جدول(۳-۳۶) شرایط لازم برای دستیابی به حداکثر مقدار ضریب توزیع مس.....۱۳۶

چکیده

فرآیندهای متداول بازیابی مس از کانه‌های اکسیدی شامل لیچینگ توده‌ای و استخراج با حلال آلی (SX) می‌باشند. هدف اصلی این تحقیق مطالعه پارامترهای عملیاتی فرآیند استخراج مس با حلال آلی از محلول حاصل از لیچینگ کانسنگ اکسیدی معدن مس دره‌زرشک بوده است. طراحی مدار استخراج با حلال آلی در مورد هر معدن مس جدید مستلزم انجام آزمایش‌های پایه و تعیین مقادیر بهینه پارامترها در این فرآیند می‌باشد. لذا در این تحقیق پس از مروری بر تحقیقات قبلی انجام شده در زمینه لیچینگ ستونی و استخراج مس با حلال آلی، ابتدا نمونه دریافتی از معدن آماده‌سازی و شناسایی گردید. سپس آزمایشهای بطری غلتان با هدف بررسی رفتار نمونه و تعیین بازیابی مس و مصرف اسید انجام شد. به منظور دستیابی به محلول باردار مورد نیاز آزمایش‌های استخراج با حلال، یک ستون لیچینگ به ارتفاع ۲/۲ متر و قطر ۲۵ سانتیمتر به همراه واحدهای جنبی در آزمایشگاه هیدرومتالورژی طراحی و ساخته شد و آزمایش لیچینگ ستونی بر روی نمونه مذکور (با ابعاد کوچکتر از ۲ اینچ) به مدت ۷۵ روز انجام شد. در ادامه ضمن تعیین تعداد مراحل استخراج مورد نیاز در فرآیند استخراج حلالی (با استفاده از دیاگرام مک کیب)، تاثیر پارامترهای عملیاتی شامل نوع رقیق کننده، pH، غلظت استخراج‌کننده، نسبت فاز آلی به آبی و غلظت اولیه محلول باردار در آزمایشهای استخراج حلالی مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعات استخراج با حلال از ماده شیمیایی CP-150 به عنوان استخراج کننده و از رقیق‌کننده‌های مورد استفاده در مجتمع مس سرچشمه (حاوی مقدار آروماتیک۱۴/۱٪) و M103 (حاوی مقدار آروماتیک ۱/۲٪) استفاده گردید و بخشی از آزمایشها بر اساس طرح آماری فاکتوریل کامل انجام شد. عیار مس در نمونه کانسنگ دریافتی معدن دره زرشک حدود ۰/۴٪ بود. در آزمایش‌های بطری غلطان پس از زمان ۵۶ ساعت میانگین بازیابی مس و آهن به ترتیب ۷۵٪ و۱۵٪ و میزان مصرف اسید ۵۲/۸ کیلوگرم بر تن تعیین شد. در آزمایش لیچینگ ستونی بازیابی مس و آهن پس از ۷۵ روز به ترتیب به ارقام ۷۸/۵٪ و ۱۳/۱٪ رسید و میزان کل اسید مصرفی در ستون معادل ۳۴/۲۳ کیلوگرم بر تن اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش‌های استخراج حلالی در شرایط ناپیوسته نشان داد که در حالت استفاده از رقیق کننده M103 با درصد آروماتیک کمتر، درصد استخراج مس بالاتر، سینتیک

استخراج سریع‌تر و تولید یون هیدروژن در اثر فرآیند استخراج کمتر است. همچنین نتایج طراحی آماری آزمایشهای استخراج با حلال نشان داد که عوامل مهم در استخراج مس با حلال آلی از محلول مورد نظر، pH و نسبت فاز است و در محدوده مورد بررسی رقیق کننده تاثیر کمتری بر روی درصد استخراج مس دارد. در شرایط بهینه و تحت شرایط pH=۲، نسبت یکسان فازهای آلی و آبی و در طی دو مرحله استخراج با استفاده رقیق کننده M103 بازیابی و ضریب توزیع مس به ترتیب در حدود ۹۶/۸٪ و۲۸/۳۸ به دست آمد.

کلمات کلیدی:

لیچینگ ستونی، استخراج با حلال، دیاگرام مکیب - تیل، معدن مس دره زرشک، رقیق کننده، آروماتیک

۱-۱- مقدمه

مس یکی از فلزات رنگی است که صنعتگران ایران باستان با طرز استخراج و ذوب آن آشنا بوده‌اند و در حفریات متعدد در نقاط مختلف کشور آثار و علائم استخراج آن در دوران قدیم دیده می شود. از آنجا که رموز این صنعت سینه به سینه انتقال می‌یافت، مطالب مکتوب چندانی از آن در دست نیست. از اشیاء مسی و آلیاژهای آن که در کاوش های انجام شده بدست آمده چنین پیداست که ایرانیان در زمان قدیم از مس در زندگی خود استفاده می کردند و با صنعت ذوب مس آشنایی کامل داشتند. معدنچیان، سنگ های مس خالص طبیعی (مس چکشی) و مس اکسیده که بیشتر در سطح زمین یافت می‌شد را به وسیله ابزارهای سنتی خرد کرده و استخراج و ذوب می-کردند و چون با طریقه ذوب کانی‌های سولفیدی مس آشنایی چندانی نداشتند اگر به معدن حاوی کانیهای سولفیدی مس برخورد می کردند از استخراج آن صرف نظر می کردند[۱].

مس در پوسته زمین اصولا به صورت کانی های سولفیدی نظیر کالکوپیریت ($CuFeS_2$)، بورنیت (Cu_5FeS_4) و کالکوسیت (Cu_2S) یافت می‌شود. کانه های معمولی مس در معادن روباز حاوی ۰/۵٪ مس و در معادن زیرزمینی حاوی ۲-۱٪ مس می باشند. همچنین مس به صورت کانی‌های اکسیدی (کربنات‌ها، اکسیدها، سیلیکات‌ها و سولفات) اما با مقدار مس کمتری نیز ظاهر می شود. کانه‌های حاوی این کانی ها، اغلب تحت عملیات هیدرومتالورژی[1] قرار می گیرند.

تقریبا ۹۰٪ منابع اولیه مس در دنیا به صورت کانه های سولفیدی است. سولفیدها به سهولت تحت عملیات هیدرومتالورژی قرار نمی‌گیرند، بنابراین قسمت اعظم استخراج مس از این کانه‌ها با استفاده از فرآیندهای پیرومتالورژی[2] و با استفاده از کنسانتره پرعیار شده مس انجام می‌شود.

کانی‌های اکسیدی مس، زمانی که به مقدار کافی در سنگ معدن وجود داشته باشند، می توانند به روش های پیرومتالورژی در کوره های دمشی احیا و به مس ناخالص تبدیل شوند که در گذشته این فرآیند استفاده می‌شد. اما کانه‌های اکسیدی که در حال حاضر از معادن استخراج می‌شوند برای احیاء مستقیم به روش پیرومتالورژی بیش از حد کم عیارند.

1. Hydrometallurgy
2. Pyrometallurgy