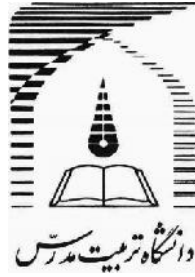


سلام الغزاة



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
رشته مهندسی فرآوری مواد معدنی

امکان سنجی فلوتاسیون مس از کانسنگ اکسیدی چاه مورای استان سمنان

نگارنده

محرم اسدی

استاد راهنما

دکتر احمد خدادادی

استاد مشاور

دکتر محمود عبدالمهی

دی ۱۳۹۳



بسمه تعالی

## تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محرم اسدی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان امکان سنجی فلوتاسیون مس از کانسنگ اکسیدی چاه مورا سمنان در تاریخ ۱۳۹۳/۱۰/۱۵ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن - فرآوری مواد معدنی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر احمد خدادادی	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر محمود عبدالمهی	استاد	
استاد ناظر	دکتر سید محمد جواد کلینی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهدی ایران نژاد	دانشیار	
مدیر گروه (با نمایندگی گروه تخصصی)	دکتر سید محمد جواد کلینی	دانشیار	

## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم‌افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

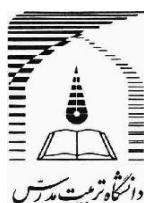
ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه می‌باشد، باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب محرم اسدی دانشجوی رشته‌ی فرآوری مواد معدنی ورودی سال ۱۳۹۱/۷/۱ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده فنی و مهندسی متعهد می‌شوم کلیه‌ی نکات مندرج در آئین‌نامه‌ی حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه‌ی فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدین وسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضاء

تاریخ ۹۳/۱۰/۱۵



بسمه تعالی

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی-پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

**ماده ۱** در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اطلاع دهد.

**ماده ۲** در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

“ کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده محرم اسدی در رشته فرآوری مواد معدنی است که در سال ۱۳۹۳ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر احمد خدادادی، مشاوره جناب آقای دکتر محمود عبدالمهی از آن دفاع شده است”

**ماده ۳** به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

**ماده ۴** در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

**ماده ۵** دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

**ماده ۶** اینجانب محرم اسدی دانشجوی رشته مهندسی فرآوری مواد معدنی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محرم اسدی

تاریخ و امضاء:

تقدیم به :

دستان پینه بسته پدر

چشمان همیشه منتظر مادرم

و

روح بزرگوار برادرم علی

## تقدیر و تشکر

سرانجام با لطف و عنایت خداوند کریم مراحل انجام این پایان نامه به اتمام رسید. بدین منظور برخود وظیفه می‌دانم از استاد راهنمای عزیزم، جناب آقای دکتر احمد خدادادی دربان به سبب راهنمایی‌های ارزنده ایشان در نگارش این اثر، تشکر و قدردانی نموده و موفقیت روز افزونشان را از خداوند منان مسئلت دارم. همچنین از آقای دکتر محمود عبدالهی به عنوان مشاور، که بی شک بدون نظرات ارزنده ایشان انجام این تحقیق با دشواری‌های زیادی روبه‌رو بود، کمال تشکر را دارم. این نوشته فرصتی است تا از زحمات‌های اساتید بزرگواریم در گروه فرآوری مواد معدنی دانشگاه تربیت مدرس جناب آقای دکتر سید محمد جواد کلینی و جناب آقای محمدرضا خالصی که تمام سعی شان پیشرفت ما بوده است، قدردانی نمایم.

از جناب آقای مهندس بهزاد شهبازی متصدی آزمایشگاه فرآوری مواد معدنی دانشگاه تربیت مدرس به دلیل همکاری ایشان در انجام آزمایش‌ها و آنالیز نمونه‌ها قدردانی می‌نمایم.

از تمامی دانشجویان دکتری به ویژه جناب آقای مهندس فراز سلطانی که در تمامی مراحل پایان نامه در کنارم بوده، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از خواهرهایم که همیشه دعاگوی من بودند و از برادرهایم که در همه حال از من حمایت کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دوستان عزیزم، آقایان بهروز عبدی، سید اصغر حسینی، علی عبدالله و هم‌اتاقی‌های عزیزم آقایان سید امیر موسوی، محسن دهقان، حامد سبزعلی‌پور، اردشیر معتمدی، اکبر همتی و آرش جمالی که همکاری و همراهی ایشان سبب قوت قلبم بوده تشکر می‌نمایم.

## چکیده

در مطالعه اخیر با توجه به خواص کانسنگ، برای بازیابی مس از روش فلوتاسیون با سولفیدی کردن سطح استفاده شد. اثر وجود نرمه در بازیابی مس و نیز اثر مرحله ای اضافه کردن عامل سولفیدی کننده در کنار متغیرهای عملیاتی همچون pH، غلظت سیلیکات سدیم به عنوان متفرق کننده، زمان آماده سازی سولفید سدیم بررسی شد.

در این تحقیق، از نرم افزار DX7 و روش آماری سطح - پاسخ (روش ترکیب مرکزی)، برای طراحی آزمایش های فلوتاسیون و یافتن شرایط بهینه استفاده شد. در نهایت با تحلیل نتایج، مدل تجربی درجه دوم بر پاسخ بازیابی مس برازش شده و مشخص شد که میزان سولفید سدیم و pH به ترتیب موثرترین پارامتر در بازیابی مس از کانسنگ اکسیدی حاضر بوده است. مقدار بهینه پارامترهای pH، میزان سیلیکات سدیم، میزان سولفید سدیم، میزان PAX و زمان آماده سازی سولفید سدیم به ترتیب برابر ۱۰، ۱۵۰۰ گرم برتن، ۱۵۶۷ گرم برتن، ۹۸/۸۴ گرم برتن و ۹/۸۶ دقیقه به دست آمد که میزان بازیابی و عیار در این شرایط به ترتیب ۸۶/۶ و ۹/۵۲ درصد حاصل شد.

**کلمات کلیدی:** کانسنگ اکسیدی مس، چاه مورا، فلوتاسیون با سولفیدی کردن سطح، روش پاسخ

سطح



## فهرست مطالب

- ۱- مقدمه..... ۲
- ۱-۱- مس در طبیعت..... ۲
- ۱-۲- کانی‌های اقتصادی مس..... ۳
- ۱-۳- روش‌های فرآوری کانسنگ‌های مس..... ۵
- ۱-۳-۱- استحصال مس از کانه‌های سولفیدی با روش پیرومتالورژی..... ۵
- ۱-۳-۲- استحصال مس از کانه‌های اکسیدی با روش هیدرومتالورژی..... ۶
- ۱-۴- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق..... ۷
- ۱-۵- ساختار تحقیق..... ۷
- ۲- مروری بر تحقیقات گذشته..... ۱۰
- ۲-۱- مقدمه..... ۱۰
- ۲-۲- فلوتاسیون کانی‌های مس..... ۱۰
- ۲-۲-۱- فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی مس..... ۱۰
- ۲-۲-۲- فلوتاسیون کانی‌های اکسیدی مس..... ۱۱
- ۲-۲-۲-۱- خواص شناورسازی کانی‌های اکسیدی مس..... ۱۲
- ۲-۲-۲-۲- انتخاب واکنشگرها..... ۱۴
- ۲-۲-۲-۳- فلوتاسیون کانی‌های اکسیدی مس با اسیدهای چرب..... ۱۷
- ۲-۲-۲-۴- شناورسازی کانی‌های اکسیدی مس با روش سولفوراسیون- فلوتاسیون..... ۲۱
- ۲-۳- 2-3- مروری بر کارهای انجام شده در زمینه سولفوراسیون- فلوتاسیون..... ۲۵
- ۳- مواد و روش‌ها..... ۳۳
- ۳-۱- مقدمه..... ۳۳
- ۳-۲- معدن چاه مورای استان سمنان..... ۳۳

۳۳	۳-۳- تهیه و آماده‌سازی نمونه.....
۳۳	۳-۴- مراحل خردایش و کاهش ابعاد.....
۳۴	۳-۵- شرح عملیات آماده‌سازی.....
۳۵	۳-۶- آنالیز سرنندی نمونه.....
۳۹	۳-۷- مطالعات میکروسکوپی کانی شناسی نور عبوری و انعکاسی.....
۳۹	۳-۷-۱- کانی‌شناسی بخش‌های مختلف دانه‌بندی.....
۴۱	۳-۷-۲- درجه آزادی کانی‌ها در طبقات ابعادی مختلف.....
۴۳	۳-۸- تعیین زمان بهینه خردایش.....
۴۶	۳-۹- اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری کانه.....
۴۷	۳-۱۰- آنالیز XRD.....
۴۹	۳-۱۱- آنالیز XRF.....
۴۹	۳-۱۲- انتخاب واکنشگرها.....
۴۹	۳-۱۳- طراحی آزمایش‌ها.....
۵۰	۳-۱۳-۱- تعریف مسئله و بیان هدف.....
۵۰	۳-۱۳-۲- انتخاب روش طراحی مناسب برای انجام آزمایشها.....
۵۱	۳-۱۴- شرایط ثابت آزمایشگاهی.....
۵۱	۳-۱۵- روش انجام آزمایش‌ها.....
۵۴	۴- نتایج و بحث.....
۵۴	۴-۱- آزمایش‌های اولیه به منظور تعیین سطوح متغیرهای عملیاتی.....
۵۵	۴-۲- بررسی نقش نرمه در فلوتاسیون کانسنگ مس اکسیدی.....
۵۷	۴-۳- افزودن مرحله ای سولفید سدیم.....
۵۸	4-4- بررسی اثر افزایش تعداد مراحل کف‌گیری.....

۶۳	۴-۵- تحلیل نتایج با استفاده از نرم افزار DX7.....
۶۵	1-4-5- آنالیز واریانس مدل.....
۶۹	۴-۵-۲- اثر پارامترها.....
۶۹	۴-۵-۲-۱- اثر pH.....
۷۲	۴-۵-۲-۲- اثر سیلیکات سدیم.....
۷۳	۴-۵-۲-۳- اثر سولفید سدیم.....
۷۷	۴-۵-۲-۴- اثر میزان آمیل گزنات پتاسیم.....
۷۸	۴-۵-۲-۵- اثر زمان آماده‌سازی سولفید سدیم.....
۸۰	3-4-5- بهینه‌سازی شرایط آزمایش توسط نرم افزار DX7.....
۸۲	۴-۵-۴- انجام آزمایش های مرحله شستشو.....
۸۴	۴-۵-۵- اندازه گیری پتانسیل اکسایش-کاهش.....
۸۶	۴-۵-۶- لیچینگ کنسانتره.....
۸۸	۵- نتایج و پیشنهادها.....
۸۸	1-5- خلاصه ای از نتایج.....
۹۰	۵-۲- پیشنهادها.....
۹۱	۶- فهرست منابع.....
۹۴	۷- پیوست.....

## فهرست جداول

- جدول ۱-۱: برخی از کانی‌های اقتصادی مس ..... ۳
- جدول ۱-۲: نتایج حاصل از به کارگیری طرح فلوتاسیون در معدن مس مکزیک [۴] ..... ۲۹
- جدول ۲-۲: مواد شیمیایی استفاده شده در فلوتاسیون سنگ معدن رگیون آفریقای مرکزی [۴۰] .. ۳۰
- جدول ۱-۳: نتایج آنالیز سرنندی خوراک ورودی آسیا به صورت تر ..... ۳۶
- جدول ۲-۳: نتایج حاصل از عیارسنجی طبقات ابعادی خوراک ورودی به آسیا ..... ۳۸
- جدول ۳-۳: علائم اختصاری به کار رفته در مطالعات کانی شناسی ..... ۳۹
- جدول ۴-۳: درجه آزادی اکسیدها و سولفیدهای مس در طبقات ابعادی مختلف ..... ۴۳
- جدول ۵-۳: آنالیز سرنندی خوراک فلوتاسیون تحت ۳۰ دقیقه خردایش با آسیای گلوله ای ..... ۴۵
- جدول ۶-۳: داده‌های حاصل از آزمایش‌های تعیین چگالی ظاهری کانسنگ ..... ۴۷
- جدول ۷-۳: نام و فرمول شیمیایی کانی‌های حاصل از آنالیز XRD خوراک ..... ۴۸
- جدول ۸-۳: نتایج آنالیز XRF خوراک فلوتاسیون ..... ۴۹
- جدول ۹-۳: فاکتورهای مورد بررسی برای طراحی آزمایش‌ها ..... ۵۰
- جدول ۱۰-۳: شرایط ثابت اعمال شده در انجام آزمایش‌های فلوتاسیون ..... ۵۱
- جدول ۱-۴: شرایط و نتایج آزمایش‌های مقدماتی جهت تعیین سطوح متغیرها (۲۵ درصد جامد، ۵ دقیقه کف‌گیری) ..... ۵۴
- جدول ۲-۴: شرایط و نتایج آزمایش‌های اولیه جهت تعیین اثرات نرمه در عملیات فلوتاسیون. در تمامی آزمایش‌ها از ۸۰۰ گرم بر تن سولفید سدیم (۸ دقیقه آماده‌سازی)، ۵۰ گرم بر تن آمیل گزنات پتاسیم (۴ دقیقه آماده‌سازی) و ۴۰ گرم بر تن MIBC استفاده شده است. ..... ۵۶
- جدول ۳-۴: آزمایش‌های مقدماتی جهت بررسی اثر افزودن مرحله ای سولفید سدیم (۳۰ درصد جامد، ۵۰۰ گرم بر تن سیلیکات سدیم با ۴ دقیقه آماده‌سازی، ۶ دقیقه آماده‌سازی برای هر مرحله افزودن سولفید سدیم، ۴۰ گرم بر تن آمیل گزنات پتاسیم با ۴ دقیقه آماده‌سازی در pH برابر با ۹)

۵۸	.....
جدول ۴-۴:	شرایط و نتایج آزمایش ها جهت بررسی اثر افزایش تعداد مراحل کف گیری و افزودن مرحله ای سولفید سدیم (۳۰ درصد جامد، ۵۰۰ گرم بر تن سیلیکات سدیم با ۴ دقیقه آماده سازی، ۴۰ گرم بر تن آمیل گزنات پتاسیم با ۴ دقیقه آماده سازی، pH برابر با ۹).....
۶۰	.....
جدول ۴-۵:	آزمایش های طراحی شده همراه با پاسخ توسط نرم افزار DX7.....
۶۴	.....
جدول ۴-۶:	اطلاعات ANOVA مدل.....
۶۶	.....
جدول ۴-۷:	ارزشیابی داده های آماری مدل.....
۶۶	.....
جدول ۴-۹:	اثر غلظت اولیه یون تتراسولفید بر ضخامت لایه سولفیدی [۳۲].....
۷۶	.....
جدول ۴-۱۰:	شرایط و نتایج حاصل از حالت های اول و دوم بهینه سازی مربوط به سه مرحله سولفیدی کردن.....
۸۱	.....
جدول ۴-۱۱:	شرایط و نتایج آزمایش های اعتبارسنجی مربوط به حالت اول بهینه سازی.....
۸۲	.....
جدول ۴-۱۲:	شرایط و نتایج آزمایش های کلینر.....
۸۳	.....

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲: اثر غلظت سولفید سدیم بر شناورسازی کریزوکولا [۲]..... ۱۴
- شکل ۲-۲: اثر سطوح بازدارنده‌های مختلف بر رابطه عیار-بازیابی، کانسنگ اکسیدی معدن انچانگا [۲]..... ۱۶
- شکل ۳-۲: فرمول شیمیایی هیدروکسامیک اسید..... ۱۸
- شکل ۴-۲: اثر pH بر بازیابی مالاکیت با استفاده از کلکتور هیدروکسامیک اسید [۲]..... ۱۹
- شکل ۵-۲: قابلیت شناورسازی مالاکیت با C-18 مونو و دی آلکیل آمین در pH=8.5-9 [۱۷]..... ۲۱
- شکل ۶-۲: مالاکیت فعال شده با هیدروسولفید سدیم (راست) و تتراسولفید سدیم (چپ) [۳۲]..... ۲۲
- شکل ۷-۲: طرح کلی لایه سولفیدی اولیه و ثانویه بر روی مالاکیت..... ۲۲
- شکل ۸-۲: اثر سطوح مختلف سولفیدی کننده‌ها بر شناورسازی مس توسط گزنتات از کانسنگ کولوز (کنگو، افریقا) [۲]..... ۲۵
- شکل ۹-۲: رابطه عیار-بازیابی مس با سولفیدی کننده‌های NaSH و  $(NH_4)_2S$  [۳۸]..... ۲۶
- شکل ۱۰-۲: رابطه عیار-بازیابی مس برای سولفیدکننده‌های مختلف [۳۸]..... ۲۷
- شکل ۱۱-۲: طرح فلوتاسیون استفاده شده در معدن مس مکزیک [۴]..... ۲۹
- شکل ۱۲-۲: بازیابی مس نسبت به زمان و غلظت واکنش‌گرها [۴۲]..... ۳۱
- شکل ۱-۳: عملیات تقسیم بندی محصول زیر ۳۳۶۰ میکرون (برحسب گرم)..... ۳۵
- شکل ۲-۳: نمودار دانه بندی خوراک ورودی به آسیا..... ۳۷
- شکل ۳-۳: توزیع عیار مس در طبقات مختلف (قبل از آسیاکنی)..... ۳۸
- شکل ۴-۳: مراحل نفوذ رگچه‌های سیلیسی و کربناتی در سنگ اولیه شیل و همچنین کانی‌سازی مس به شکل رگچه‌ای درون سنگ میزبان. تصویر الف: سنگ اولیه شیلی (متشکل از رس و سیلیس، که درون آن رگچه‌هایی از کانی‌سازی مس دیده می‌شود). تصویر ب: مرز سیلیسی شدن نمونه با

سنگ اولیه شیل که در مراحل بعدی رخ داده است. تصویر ج: رگچه‌های کربناتی که بعداً درون بخش های سیلیسی نفوذ کرده و کانی‌سازی مس در حاشیه این رگچه‌ها و بخش‌های سیلیسی دیده می شود. .... ۴۰

شکل ۳-۵: الف) نمایی از توده مالاکیت به همراه اکسیدهای آهن به رنگ قرمز. ب) بخشی از مقطع با تجمع فراوان کانی کوولیت که طی فرایندهای سوپرژن از کالکوسیت حاصل شده است. ج) کوولیت به همراه کالوسیت و گاهی کوبانیت به صورت ذرات پراکنده. د) مرز کانی‌سازی رگچه مالاکیت با سنگ میزبان. .... ۴۱

شکل ۳-۶: تصاویر میکروسکوپی نمونه (4) 106+53- الف) کالکوسیت و هماتیت به صورت ذرات کاملاً آزاد شده. ب) کانی ریزبلور کوولیت درگیر با گانگ. ج) کانی‌های سبزرنگ مالاکیت که اغلب به صورت آزاد شده هستند. د) بلور پیریت که تنها در این نمونه دیده شد. .... ۴۲

شکل ۳-۷: زمان بهینه خردایش آسیای میله ای. .... ۴۴

شکل ۳-۸: زمان بهینه خردایش با آسیای گلوله ای. .... ۴۴

شکل ۳-۹: منحنی دانه بندی برای خوراک فلوتاسیون پس از ۳۰ دقیقه خردایش با آسیای گلوله ای. .... ۴۵

شکل ۳-۱۰: توزیع عیار مس در طبقات ابعادی مختلف. .... ۴۶

شکل ۳-۱۱: پیک های مربوط به آنالیز XRD خوراک. .... ۴۸

شکل ۴-۱: توزیع مس کل در طبقات ابعادی آسیا شده کانسنگ منطقه‌ای در افریقای مرکزی [۴۰]. .... ۵۷

شکل ۴-۲: توزیع ابعادی ذرات کنسانتره فلوتاسیون با یک مرحله کف‌گیری. .... ۵۹

شکل ۴-۳: شناورسازی کانی‌های مالاکیت بعد از افزودن سولفید سدیم مرحله دوم. .... ۶۱

شکل ۴-۴: آنالیز سرندی کنسانتره. .... ۶۱

شکل ۴-۵: توزیع ابعادی ذرات موجود در کنسانتره‌های حاصل از مراحل کف‌گیری اول و دوم. .... ۶۲

- شکل ۴-۶: نمودار توزیع نرمال باقی مانده ها ..... ۶۸
- شکل ۴-۷: نمودار Box-Cox ..... ۶۸
- شکل ۴-۸: اثر pH بر روی بازیابی مس در شرایط ۱۵۰۰ گرم بر تن سیلیکات سدیم، ۱۵۵۸ گرم بر تن سولفید سدیم با زمان آماده سازی ۱۰ دقیقه و ۹۸/۶۸ گرم بر تن آمیل گزنتات پتاسیم ..... ۷۰
- شکل ۴-۹: ارتباط پایداری ترکیبات  $\text{Cu}_2\text{S}$ ،  $\text{CuEX}$ ،  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  و  $(\text{EX})_{2(\text{aq})}$  ..... ۷۰
- شکل ۴-۱۰: نمودار بازیابی مس نسبت به میزان آمیل گزنتات پتاسیم (گرم بر تن) و pH در میزان سیلیکات سدیم ۱۵۰۰ گرم بر تن و سولفید سدیم ۱۵۵۸ گرم بر تن با زمان آماده سازی ۱۰ دقیقه ..... ۷۱
- شکل ۴-۱۱: اثر pH بر فعالسازی کریزوکولا و بازیابی با سولفید سدیم به عنوان فعال کننده و کلکتور گزنتات. (نمودار ۱ و ۲ به ترتیب با ۲۰۰ و ۹۶۰ میلی گرم بر لیتر غلظت سولفیدی کننده) [۱۸] ..... ۷۱
- شکل ۴-۱۲: عیار مس بر حسب میزان سیلیکات سدیم و میزان سولفید سدیم در ۱۵۵۸ گرم بر تن سولفید سدیم با زمان آماده سازی ۱۰ دقیقه و ۹۸/۶۸ گرم بر تن آمیل گزنتات پتاسیم ..... ۷۲
- شکل ۴-۱۳: بازیابی مس نسبت به میزان آمیل گزنتات پتاسیم (گرم بر تن) و میزان سیلیکات سدیم (گرم بر تن) در  $\text{pH}=10$ ، و سولفید سدیم ۱۵۵۸ گرم بر تن با زمان آماده سازی ۱۰ دقیقه ..... ۷۳
- شکل ۴-۱۴: اثر سولفید سدیم بر بازیابی مس در  $\text{pH}=10$ ، ۱۵۰۰ گرم بر تن سیلیکات سدیم، سولفید سدیم با زمان آماده سازی ۹/۹۸ دقیقه و ۹۸/۶۸ گرم بر تن آمیل گزنتات پتاسیم ..... ۷۴
- شکل ۴-۱۵: نمودار بازیابی مس نسبت به میزان سیلیکات سدیم و میزان سولفید سدیم در  $\text{pH}=10$  ۹۸/۶۸ گرم بر تن آمیل گزنتات پتاسیم و زمان آماده سازی سولفید سدیم ۱۰ دقیقه ..... ۷۵
- شکل ۴-۱۶: عیار مس نسبت به میزان سولفید سدیم و میزان آمیل گزنتات پتاسیم در  $\text{pH}=10$  ۱۵۰۰ گرم بر تن سیلیکات سدیم و زمان آماده سازی سولفید سدیم ۱۰ دقیقه ..... ۷۵
- شکل ۴-۱۷: غلظت باقیمانده یون تتراسولفید بر حسب زمان در سیستم تتراسولفید سدیم-مالاکیت [۳۲] ..... ۷۶
- شکل ۴-۱۸: اثر افزایش میزان آمیل گزنتات پتاسیم بر روی بازیابی مس در  $\text{pH}=10$ ، ۱۵۰۰ گرم بر



- تن سیلیکات سدیم، ۱۵۵۸ گرم بر تن سولفید سدیم با زمان آماده‌سازی ۹/۹۸ دقیقه ..... ۷۷
- شکل ۴-۱۹: نمودار بازیابی مس نسبت به میزان آمیل گزنتات پتاسیم (گرم بر تن) و زمان آماده‌سازی سولفید سدیم (دقیقه) در  $pH=10$ ، میزان سیلیکات سدیم ۱۵۰۰ گرم بر تن و سولفید سدیم ۱۵۵۸ گرم بر تن ..... ۷۸
- شکل ۴-۲۰: نمودار بازیابی مس نسبت به زمان آماده‌سازی سولفید سدیم در  $pH=10$ ، میزان سیلیکات سدیم ۱۵۰۰ گرم بر تن و سولفید سدیم ۱۵۵۸ گرم بر تن و  $98/68$  گرم بر تن آمیل گزنتات پتاسیم ..... ۷۹
- شکل ۴-۲۱: نمودار عیار مس بر حسب زمان آماده‌سازی سولفید سدیم در  $pH=10$ ، میزان سیلیکات سدیم ۱۵۰۰ گرم بر تن و سولفید سدیم ۱۵۵۸ گرم بر تن و  $98/68$  گرم بر تن آمیل گزنتات پتاسیم ..... ۷۹
- شکل ۴-۲۲: کنسانتره آزمایش مرحله شستشو ..... ۸۴
- شکل ۴-۲۳: اندازه‌گیری پتانسیل اکسایش- کاهش پالپ با افزودن واکنشگرها در شرایط بهینه ..... ۸۵
- شکل ۴-۲۴: لیچینگ کنسانتره در  $pH=1.5$ ، دمای  $70$  درجه سانتیگراد و  $20\%$  جامد ..... ۸۶

# فصل اول

## مقدمه

## ۱- مقدمه

## ۱-۱- مس در طبیعت

مس در طبیعت به صورت خالص، سولفیدی یا اکسیدی موجود است که بیشتر به صورت کانی‌های سولفیدی مانند کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت یافت می‌شود. مس طبیعی در حالت آزاد به صورت توده‌های بزرگ یا به شکل ذرات پراکنده در سنگ‌های آذرین در قشر زمین به وجود آمده است. مقدار این نوع مس در طبیعت زیاد نیست و فقط در بعضی از نقاط دنیا مانند نواحی دریاچه‌ی سوپریور در ایالات متحده آمریکا، در کشور بولیوی، چین، شیلی و ایران دیده شده است. عیار چنین مسی اگر به صورت توده‌ای باشد، بیش از ۹۲٪ و اگر به صورت ذرات پراکنده باشد، در حدود ۱-۱/۵٪ می‌باشد.

کانه‌های اکسیدی مس بیشتر در قشری از زمین که نزدیک به سطح است، یافت می‌شود و در اثر تغییرات جوی و واکنش‌های آرام شیمیایی که در رگه‌های سولفیدی مس صورت می‌گیرد، به وجود می‌آید. از طرف دیگر، آب‌های طبیعی که حاوی CO<sub>2</sub> می‌باشد، بر روی کان‌های سولفیدی اثر کرده و به تدریج آن‌ها را به کربنات، اکسید، سولفات و گاهی اوقات آن‌ها را به سیلیکات مس تبدیل می‌کند. کان‌های سولفیدی مس که مهم‌ترین بخش مربوط به کانسنگ‌های مس را تشکیل می‌دهند، در حدود ۸۰٪ از کانی‌های مس دنیا را شامل می‌شوند. بیشترین تجمعات کانی‌زایی مس جهان، در میشیگان و آریزونا، آمریکا، آلمان، روسیه و استرالیا دیده می‌شود.

**معادن مس:** معادن مس در دنیا به صورت روباز و زیر زمینی وجود دارد که امروز ۵۰٪ مس دنیا از معادن روباز استخراج می‌گردد. مشروط بر اینکه حداقل عیار مس موجود در سنگ معدن به طریق روباز ۰/۴٪ باشد و در معادن زیر زمینی حداقل ۰/۷٪ باشد.

در ایران مس در نقاط مختلفی از کشور وجود دارد، از مهمترین معادن مس در ایران مس سرچشمه کرمان و مس سونگون اهر است. معدن مس سرچشمه یکی از بزرگترین معادن مس و مولیبدن جهان

است که حدود ۲۵ میلیون سال پیش در امتداد رشته کوه زاگرس تشکیل گردید و میزان استخراج مس در این معدن روزانه ۴۰ هزار تن سنگ سولفیدی مس می‌باشد [۱].

## ۱-۲- کانی‌های اقتصادی مس

بیش از ۱۲۰ نوع کانی مس تا به حال شناخته شده است ولی کانی‌هایی که اهمیت اقتصادی دارند بیش از ۱۷ مورد نمی‌باشد. برخی از کانی‌های اقتصادی مس در جدول ۱-۱ آورده شده است.

جدول ۱-۱: برخی از کانی‌های اقتصادی مس [۱].

نوع ترکیب	نام کانی	فرمول شیمیایی	محتوی مس (%)
کربنات	آزوریت	$Cu_2(OH)_2(CO_3)_2$	۵۵/۳
	مالاکیت	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	۵۷/۴
هیدروکسی کلرید	آتاکامیت	$Cu_2Cl(OH)_3$	۴۴/۶
هیدروکسی سیلیکات	کریزوکولا	$CuO \cdot SiO_2$	۳۶-۱۰
اکسید	کوپریت	$Cu_2O$	۸۸/۸۸
	تنوریت	$CuO$	۸۰
سولفات	آنتلریت	$Cu_3(OH)_2SO_4$	۵۴
	بروکانتیت	$Cu_4(OH)_6SO_4$	۵۶/۶
سولفید	کالکوسیت	$Cu_2S$	۷۹/۹
	کالکوپیریت	$CuFeS_2$	۳۴/۶
	بورنیت	$Cu_5FeS_4$	۶۳/۳
	کولیت	$CuS$	۶۶/۵
مس طبیعی	مس خالص	$Cu$	۱۰۰-۹۲

از مهم ترین این کانی‌ها می‌توان مس فلزی، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت و آزوریت را نام برد. کانی‌های ثانویه در کانسنگ سولفیدی و نزدیک سطح زمین، در دو منطقه یافت می‌شوند. در زون اکسیده، آب حاوی اکسیژن، اکسیدهای مس، نمک‌های نیم محلول (کربنات‌ها و سولفات‌ها) و سیلیکات‌ها را تشکیل می‌دهد. در منطقه عمیق تر، محلول‌های حاوی مس به دست