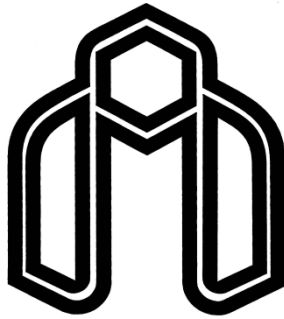


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : اکتشاف

عنوان پایان نامه ارشد

رفتارسنجی کانی‌های موجود در مدار فرآوری مجتمع مس سونگون و تأثیر آن بر راندمان کلی و ارائه مدل پیش بینی عملکرد

علی لطفی

اساتید راهنما :

دکتر محمد کارآموزیان

دکتر آرزو عابدی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار : بهمن ۹۲



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره: ۴۶۹۲۱۲۸۱-۰

تاریخ: ۹۲، ۱۲، ۲

ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای علی لطفی رشته معدن گرایش اکتشاف تحت عنوان رفتارسنجی کانی های موجود در مدار فرآوری مجتمع مس سونگون و تاثیر آن بر راندمان کلی و ارائه مدل پیش بینی عملکرد که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول ( با درجه: بسیار خوب امتیاز = ۱۸۱ )  دفاع مجدد  مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

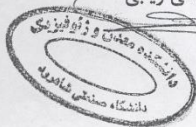
۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	۱- دکتر محمد کاراموزیان	استادیار	
۲- استاد مشاور	۲- دکتر آرزو عابدی	استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر حسین میرزائی	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر فرهنگ سرشکی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی	دانشیار	

رئیس دانشکده: دکتر رضا قوامی ریایی



## مقالات مستخرج

لطفی.ع، کارآموزیان.م، عابدی.آ، باقریان.ا. (۱۳۹۲) "تأثیر اندازه ذرات بر عملکرد متالورژیکی کارخانه فرآوری مس سونگون"، کنفرانس بین المللی کنفرانس بین المللی مهندسی معدن، فرآوری مواد معدنی، متالورژی و محیط زیست، زنجان.

لطفی.ع، کارآموزیان.م، عابدی.آ، باقریان.ا. (۱۳۹۲) "رفتار سنجی کانی ها در سلول- های رافر مدار فرآوری مس سونگون" سی و دومین گنگره و نخستین گردهمایی بین المللی - تخصصی علوم زمین.

تقدیم به

# پدر و مادرم

## تقدیر و تشکر

از اساتید راهنما آقای دکتر کارآموزیان و خانم دکتر عابدی که در این تحقیق بنده را راهنمایی کردند کمال تشکر را دارم. از مهندس باقریان رئیس بخش متالورژی مس سونگون، که در تهیه داده‌ها و در طی مراحل نمونه برداری کمک رسان بنده بودند، تشکر می‌کنم. بر خود لازم می‌دانم از کارکنان این بخش که در روزهای نمونه برداری مرا یاری کردند تشکر کنم. از مهندس یاراحمدی رئیس بخش فرآوری مجتمع مس سرچشمه و کارکنان بخش پایلوت این مجتمع قدردانی می‌نمایم. از دکتر مرتضوی و مهندس شریفیان به خاطر مطالعات کانی‌شناسی این تحقیق سپاسگزارم. از پدر و مادر و خانواده‌ام به خاطر ایجاد شرایط مناسب برای ادامه تحصیل بنده بسیار سپاسگزارم.





## تعهد نامه

اینجانب **علی لطفی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه رفتار سنجی کانی‌های موجود در مدار فرآوری مجتمع مس سونگون و تاثیر آن بر راندمان کلی و ارائه مدل پیش بینی عملکرد تحت راهنمایی دکتر محمد کارآموزیان و دکتر آرزو عابدی متعهد می شوم .

- 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 ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی 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 ۹۲/۱۲/۲۱

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

کانی‌های سولفیدی بنابه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مرتبط و درگیری با سایر کانی‌ها، رفتار ویژه‌ای از خود در فرآیند فلوتاسیون نشان می‌دهند. از این‌رو رفتارسنجی این کانی‌ها در یک مدار فرآوری می‌تواند منجر به افزایش راندمان جداسازی کانی‌های بارزش و باطله شود. کانسنگ معدن مس سونگون شامل کانی‌های مس‌دار بارزش مانند: کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت و... است. بعضی از کانیهای همراه که به عنوان کانی مزاحم در قسمت فرآوری محسوب می‌شوند (مانند پیریت) نیز در این کانسار موجود هستند. جهت بررسی رفتار کانی‌ها در مدار فرآوری کارخانه تغلیظ مس سونگون، از تمام بخش‌های کلیدی مدار نمونه‌برداری کرده و نمونه‌ها مورد آنالیز شیمیایی و مطالعات کانی‌شناسی در دانه بندی‌های مختلف قرار گرفتند.

در هر بخش مدار درصد وزنی کانی‌ها و بازیابی و همچنین کارایی جدایش برای کانی‌های مختلف در اندازه‌های مختلف محاسبه شد. در مرحله رافر، در همه اندازه ذرات، بازیابی مس سولفیدی بالای ۹۰٪ بود که بیشتر مربوط به کانی‌های کالکوسیت و کوولیت می‌شد. در این مرحله بازیابی کالکوپیریت در اندازه‌های بالای ۵۳ میکرون و زیر ۱۵ میکرون بازیابی کمتر از ۸۵ درصد بود. در کلینر کمترین بازیابی و کارایی جدایش در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون بوده که کاهش بازیابی در اندازه بالای ۳۸ میکرون مربوط به کانی‌های کالکوپیریت و کالکوسیت است. در رافر، کلینر، ری کلینر و اسکاونجر، کانی‌های کالکوسیت و کالکوپیریت در اندازه ذرات (۱۵+۳۸-) میکرون بیشترین بازیابی را نسبت به سایر ذره‌ها دارند. در نهایت مدلی با استفاده از شبکه عصبی که ورودی آن درصد وزنی کانی‌های مس و خروجی آن درصد بازیابی مس اکسیدی بود، برای بررسی تأثیر مقدار کانی‌های سولفیدی مس در خوراک کارخانه بر بازیابی مس ارائه شد که دارای دقت ۰/۸۶۶ می باشد.

کلمات کلیدی: سونگون، کانی‌های مس، اندازه ذرات، کارایی جدایش، بازیابی

صفحه	فهرست مطالب
۱	فصل اول: کلیات
۲	۱- مقدمه
۲	۲-۱ هدف از انجام تحقیق
۳	۳-۱ فلوتاسیون
۴	۴-۱ عوامل موثر در فلوتاسیون
۵	۵-۱ مروری بر رفتار کانی‌ها در فلوتاسیون
۶	۱-۵-۱ کالکوپیریت
۸	۲-۵-۱ بورنیت
۸	۳-۵-۱ کوولیت
۹	۴-۵-۱ کالکوسیت
۱۰	۵-۵-۱ پیریت
۱۱	۶-۱ مروری بر چند تحقیق انجام شده در مورد تأثیر کانی‌های مزاحم در فرآوری مس
۱۱	۱-۶-۱ حضور کانی‌های سیلیکات آلومینیوم و اثرات منفی در فرآوری کانی‌های مس
۱۲	۲-۶-۱ مطالعه تأثیر خردایش در فلوتاسیون کالکوپیریت و جدایش کالکوپیریت از پیریت
۱۲	۳-۶-۱ بررسی تأثیر کانی‌شناسی طلا در بازیابی شناور سازی آن در یک سنگ معدن مس- طلا پورفیری
۱۴	۴-۶-۱ تأثیر اندازه ذرات بر بازیابی
۱۵	۵-۶-۱ تأثیر مقدار پیریت در فلوتاسیون با ترکیب خوراک پیریت/کالکوپیریت
۱۹	فصل دوم: معرفی معدن و کارخانه فرآوری مس سونگون
۲۰	۱-۲ معرفی کانسار
۲۰	۱-۱-۲ زمین شناسی سونگون
۲۱	۲-۱-۲ دگرسانی هیپوژن کانسار مس سونگون و کانی موجود در هر بخش
۲۳	۲-۲ پارامترهای طراحی کارخانه تغلیظ فاز اول مس سونگون
۲۴	۱-۲-۲ ناحیه خردایش مدار
۲۵	۲-۲-۲ ناحیه فلوتاسیون
۲۶	۳-۲-۲ سلول‌هایی شستشو
۳۰	فصل سوم: روش کار و ارائه یافته‌ها

۳۱	۱-۳ مقدمه
۳۱	۲-۳ روش کار
۳۲	۳-۴ آنالیز دانه بندی نمونه‌ها
۳۶	۴-۳ ارزیابی کارآیی مدار فلوتاسیون
۳۹	۵-۳ بررسی مینرالوژیکی در مدار فرآوری مس سونگون
۳۹	۱-۵-۳ روش تهیه قرص برای مطالعات مینرالوژی
۴۰	۲-۵-۳ روش تعیین درجه آزادی و درصد وزنی کانی‌های حاوی مس و آهن
۴۱	۳-۵-۳ محاسبه درصد وزنی کانی‌های حاوی مس به روش خطی
۴۳	۶-۳ مطالعات کانی شناسی
۴۵	۱-۶-۳ رافر
۴۵	۱-۱-۶-۳ آنالیز شیمیایی و مینرالوژی
۴۶	۲-۱-۶-۳ درصد وزنی کانی‌های مس، مولیبدن و پیریت در رافر
۴۹	۳-۱-۶-۳ بازیابی و کارآیی جدایش مس سولفیدی
۵۰	۴-۱-۶-۳ بازیابی و کارآیی جدایش کانی‌ها در رافر
۵۰	۵-۱-۶-۳ بازیابی کانی‌ها با اندازه ذرات مختلف در رافر
۵۱	۶-۱-۶-۳ کارآیی جدایش کانی‌ها در رافر
۵۲	۲-۶-۳ کلینر
۵۳	۱-۲-۶-۳ درصد وزنی و توزیع کانی‌ها در خوراک کلینر
۵۵	۲-۲-۶-۳ بازیابی و کارآیی جدایش مس سولفیدی در کلینر
۵۶	۳-۲-۶-۳ درصد وزنی کانی‌ها در خوراک، کنسانتره و باطله کلینر
۵۹	۴-۲-۶-۳ بازیابی کانی‌ها در اندازه‌های مختلف در کلینر
۶۰	۵-۲-۶-۳ کارآیی جدایش کانی‌ها در اندازه‌های مختلف در کلینر
۶۱	۳-۶-۳ ری کلینر
۶۲	۱-۳-۶-۳ درصد وزنی و توزیع کانی‌ها و عیار در خوراک ری کلینر
۶۳	۲-۳-۶-۳ درصدوزنی کانی‌ها در خوراک، کنسانتره و باطله ری کلینر
۶۵	۳-۳-۶-۳ بازیابی و کارآیی جدایش مس سولفیدی در ری کلینر
۶۶	۴-۳-۶-۳ بازیابی کانی‌ها در اندازه مختلف در ری کلینر
۶۷	۴-۳-۶-۳ کارآیی جدایش کانی‌ها در اندازه مختلف در ری کلینر
۶۸	۴-۶-۳ اسکاونجر
۶۹	۱-۴-۶-۳ درصد وزنی و توزیع کانی‌ها در خوراک اسکاونجر
۷۱	۲-۴-۶-۳ بازیابی و کارآیی جدایش مس سولفیدی در اسکاونجر

۷۲	۳-۴-۶-۳ درصد وزنی کانی‌ها در خوراک، کنسانتره و باطله در اسکاونجر
۷۶	۳-۴-۶-۴ درصد بازیابی کانی‌های در اندازه ذرات مختلف در اسکاونجر
۷۷	۳-۴-۶-۵ درصد کارآیی جدایش کانی‌های در اندازه ذرات مختلف در اسکاونجر
۷۸	۳-۶-۵ در حالت کلی
۷۸	۳-۶-۵-۱ بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در حالت کلی
۸۰	۳-۶-۵-۲ درصد بازیابی و کارایی جدایش کانی‌ها در حالت کلی
۸۲	۳-۷ استفاده از شبکه عصبی برای بررسی تغییرات بازیابی با تغییر در درصد وزنی کانی‌ها
۸۷	فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۹۱	منابع
۹۳	پیوست

- شکل (۱-۱) تأثیر نرخ هوادهی در فلوتاسیون مس ۷
- شکل (۱-۱) بازیابی ذرات در اندازه‌های مختلف برای کانی‌های سولفیدی ۱۴
- شکل (۲-۱) بازیابی کانی‌ها سولفیدی در اندازه مختلف از لحاظ آبرانی در فلوتاسیون ۱۵
- شکل (۳-۱) تغییرات بازیابی مس با افزایش مقدار پیریت در خوراک ۱۶
- شکل (۴-۱) تغییرات بازیابی برحسب زمان با افزایش مقدار پیریت در خوراک ۱۶
- شکل (۱-۲) موقعیت معدن مس سونگون ۲۰
- شکل (۲-۲) نحوه قرارگیری زون‌های آلتراسیون ۲۲
- شکل (۳-۲) کانی‌زایی در دایک و زون‌های هیپوزن با استفاده از داده‌های گمانه‌ای ۲۳
- شکل (۴-۲) فلوشیت مدار فرآوری کارخانه تغلیظ ۲۸
- شکل (۱-۳) فلوشیت مدار فرآوری و نقاط نمونه‌برداری شده ۳۲
- شکل (۲-۳) دانه‌بندی هیدروسیکلون اولیه ۳۳
- شکل (۳-۳) دانه‌بندی هیدروسیکلون ثانویه ۳۴
- شکل (۴-۳) دانه‌بندی سلول‌های رافتر (RT: خوراک، RC: کنسانتره، RT: باطله) ۳۴
- شکل (۵-۳) دانه‌بندی سلول‌های اسکاونجر (CCT: خوراک، CSC: کنسانتره، CST: باطله) ۳۵
- شکل (۶-۳) دانه‌بندی سلول‌های کلینر (CCF: خوراک، CCC: کنسانتره، CCT: باطله) ۳۵
- شکل (۷-۳) دانه‌بندی سلول ری کلینر (CCC: خوراک، FC: کنسانتره، RCT: باطله) ۳۶
- شکل (۸-۳) تغییرات عیار مس، بازیابی و کارآیی جدایش در سلول‌های رافتر ۳۷
- شکل (۹-۳) تغییرات عیار مس، بازیابی و کارآیی جدایش

- ۳۷ در سلول‌های کلینر (سلول‌های شستشوی اولیه)
- شکل (۱۰-۳) تغییرات عیار مس، بازیابی و کارآیی جدایش  
 ۳۸ در سلول ری کلینر (سلول شستشوی ثانویه)
- شکل (۱۱-۳) تغییرات عیار مس، بازیابی و کارآیی جدایش در بخش‌ای مختلف مدار در روز اول  
 ۳۸
- شکل (۱۲-۳): تغییرات عیار مس، بازیابی و کارآیی جدایش در بخش‌ای مختلف مدار روز دوم  
 ۳۹
- شکل (۱۳-۳) محاسبه درحجمی کانی در زیر میکروسکوپ  
 ۴۱
- شکل (۱۴-۳) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک رافر  
 ۴۶
- شکل (۱۵-۳) درصد وزنی کانی‌ها در کنسانتره رافر  
 ۴۷
- شکل (۱۶-۳) درصد وزنی کانی‌ها در باطله رافر در اندازه‌های مختلف  
 ۴۷
- شکل (۱۷-۳) کالکوپیریت (CP)، کالکوسیت (CC)،  
 کوولیت (CV) و مولیبدنیت (MO) گانگ سیلیکاته (G) در باطله رافر  
 ۴۹
- شکل (۱۸-۳) بازیابی و کارآیی جدایش مس سولفیدی در اندازه‌های مختلف در رافر  
 ۵۰
- شکل (۱۹-۳) بازیابی (R) و کارآیی جدایش (SE) کانی‌ها در رافر  
 ۵۱
- شکل (۲۰-۳) بازیابی کانی‌ها با اندازه ذرات مختلف در رافر  
 ۵۲
- شکل (۲۱-۳) کارآیی جدایش کانی‌ها در رافر در اندازه ذرات مختلف  
 ۵۳
- شکل (۲۲-۳) بازیابی و کارآیی جدایش مس سولفیدی در کلینر  
 ۵۶
- شکل (۲۳-۳) درصد وزنی کانی‌ها در اندازه مختلف در خوراک کلینر  
 ۵۷
- شکل (۲۴-۳) درصد وزنی کانی‌ها در اندازه مختلف در کنسانتره کلینر  
 ۵۷
- شکل (۲۵-۳) درصد وزنی کانی‌ها در اندازه مختلف در باطله کلینر  
 ۵۸
- شکل (۲۶-۳) بازیابی کانی‌ها در اندازه مختلف در کلینر  
 ۵۹

- شکل (۳-۲۷) کارآیی جدایش کانی‌ها در اندازه مختلف در کلینر ۶۰
- شکل (۳-۲۸) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک ری کلینر ۶۳
- شکل (۳-۲۹) درصد وزنی کانی‌ها در اندازه‌های مختلف در کنسانتره ری کلینر ۶۴
- شکل (۳-۳۰) درصد وزنی کانی‌ها در باطله ری کلینر ۶۵
- شکل (۳-۳۱) بازیابی و کارآیی جدایش مس سولفیدی در اندازه‌های مختلف ۶۶
- شکل (۳-۳۲) درصد بازیابی کانی‌ها در اندازه مختلف در ری کلینر ۶۷
- شکل (۳-۳۳) کارآیی جدایش در ری کلینر در اندازه‌های مختلف ۶۸
- شکل (۳-۳۴) بازیابی و کارآیی جدایش در اندازه‌های مختلف در اسکاونجر ۷۱
- شکل (۳-۳۵) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک اسکاونجر ۷۲
- شکل (۳-۳۶) درصد وزنی کانی‌ها در کنسانتره اسکاونجر ۷۳
- شکل (۳-۳۷) درصد وزنی کانی‌ها در باطله اسکاونجر ۷۴
- شکل (۳-۳۸) کانی‌هایی کانی‌های مس و مولیبدن در باطله اسکاونجر ۷۵
- شکل (۳-۳۹) درصد بازیابی کانی‌ها در اندازه مختلف در اسکاونجر ۷۶
- شکل (۳-۴۰) درصد کارآیی جدایش کانی‌ها در اندازه مختلف در اسکاونجر ۷۷
- شکل (۳-۴۱) بازیابی (R) و کارآیی جدایش (SE) مس سولفیدی در اندازه‌های (میکرون) مختلف ۷۸
- شکل (۳-۴۲) کالکوپیریت (CP)، کالکوسیت (CC)، کوولیت (CV) و پیریت (PY)، ۷۹
- گانگ سیلیکاته (G) در کنسانتره نهایی ۷۹
- شکل (۳-۴۳) درصد بازیابی (R) و کارآیی جدایش (SE) متوسط کانی‌ها در حالت نهایی ۸۱
- شکل (۳-۴۵) کارآیی جدایش در اندازه‌های مختلف برای مدار ۸۱
- شکل (۳-۴۶) همبستگی مقادیر واقعی بازیابی مس سولفیدی با مدل شبکه عصبی 84





صفحه	فهرست جدول ها
۲۹	جدول (۱-۲) اطلاعات مربوط به مواد شیمیایی
۴۳	جدول (۱-۳) در صد وزنی کانی‌های با ارزش و باطله در خوراک ورودی کارخانه
۴۴	جدول (۲-۳) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک
۴۴	جدول (۳-۳) توزیع کانی‌ها در خوراک کار خانه
۴۵	جدول (۴-۳) عیار مس، مس اکسیدی، آهن و مولیبدن
۵۴	جدول (۵-۳) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک کلیتر
۵۵	جدول (۶-۳) توزیع کانی‌ها در خوراک کلیتر
۵۵	جدول (۷-۳) مقدار عیار مس، مس اکسیدی، آهن و مولیبدن در خوراک کلیتر
۶۲	جدول (۸-۳) درصد وزنی در اندازه ذرات مختلف در خوراک ری کلیتر
۶۲	جدول (۹-۳) درصد توزیع کانی‌ها در اندازه ذرات مختلف در خوراک ری کلیتر
۶۲	جدول (۱۰-۳) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک اسکاونجر در اندازه ذرات
۶۹	دسته بندی شده
	جدول (۱۱-۳) درصد توزیع کانی‌ها در خوراک
۷۰	اسکاونجر در اندازه ذرات دسته بندی شده در خوراک اسکاونجر
۷۰	جدول (۱۲-۳) عیار مس، مس اکسیدی، مولیبدن و آهن
۸۲	جدول (۱۳-۴) خلاصه مورد پردازش شده
۸۳	جدول (۱۴-۳) اطلاعات شبکه عصبی
۸۴	جدول (۱۵-۳) خلاصه مشخصات مدل

# فصل اول

## کلیات

## ۱- مقدمه

وجود کانی‌های متنوع در کانسار مس سونگون و رفتار آنها مستقیماً بر عملکرد کارخانه پر عیارکنی تأثیرگذار است. از این رو مطالعه و ردیابی این کانیها در بخش‌های مختلف کارخانه ضرورت پیدا می‌کند. هدف این پایان‌نامه بررسی رفتار کانی‌ها و تغییرات آنها در بخش‌های مختلف مدار فلوتاسیون است. به این منظور از تمام ورودی و خروجی‌های مدار فلوتاسیون کارخانه اقدام به تهیه نمونه شده و با تهیه مقاطع میکروسکوپی مطالعات کانی شناسی مفصلی انجام گرفت. در نهایت می‌توان وجود یا عدم وجود کانی‌های با ارزش و مزاحم را در کنسانتره و باطله مدار فلوتاسیون بررسی کرد و برای بهبود راندمان کارخانه پیشنهادهایی برای کاهش کانی‌های مزاحم در کنسانتره نهایی و نیز کاهش کانی‌های مس دار در باطله ارائه کرد. لذا در این بخش کلیاتی در رابطه با روش فلوتاسیون و رفتار کانی‌های موجود در ذخایر مس آورده شده است.

## ۱-۲ هدف از انجام تحقیق

با توجه به حجم بالای تولید مجتمع مس سونگون، کمترین افزایش در راندمان مدار فلوتاسیون منجر به تأثیرات اقتصادی شگرفی می‌شود. از طرف دیگر به دلیل تأثیر اثبات شده عیار باطله در بازیابی کلی کارخانه، می‌توان پیش‌بینی کرد که با مطالعه کانی شناسی مفصل در مدار فلوتاسیون بتوان راهکارهای عملی مناسبی را جهت کاهش عیار باطله و نیز افزایش عیار کنسانتره هرچند به صورت جزئی ارائه کرد. از این رو هدف از انجام این تحقیق رفتارسنجی جدایش کانی‌های شاخص مختلف در مدار فلوتاسیون سونگون در بخش‌های مختلف مدار است. به این منظور کانی‌های عمده در کنسانتره و باطله رافر، کلینر، ری‌کلینر و اسکاونجر پس از نمونه‌برداری دقیق مورد ارزیابی قرار گرفت و دلایل کاهش یا افزایش در هر بخش تحلیل و راهکارهای بهبود ارائه گردید.

## سازماندهی

در فصل اول در مورد هدف و ضرورت انجام تحقیق آورده شده همچنین مروری بر روش فلوتاسیون و رفتار کانی‌ها در فلوتاسیون، انجام گرفته است. در فصل دوم، معدن و کارخانه فرآوری مس سونگون معرفی شده است. در فصل سوم روش کار، تحلیل و نتایج آزمایش‌های انجام گرفته به تفصیل بررسی شد. در فصل چهارم نتیجه‌گیری تحقیق انجام گرفته و پیشنهادهایی که برای بررسی بیشتر ضرورت دارد آورده شد.

### ۱-۳ فلوتاسیون

فلوتاسیون یکی از روش‌های آرایش مواد معدنی است که بر مبنای خواص شیمی فیزیکی سطوح جامدات برای ذرات ۲۰ تا ۲۰۰ میکرون در یک محیط سیال و جریان هوا برای ایجاد حبابهای مناسب بنا شده است. ذراتی که در حالت ایده‌آل از یک فاز تشکیل شده‌اند در داخل آب، پالپی را تشکیل می‌دهند که رقت آن ۲۵ تا ۴۵ درصد جامد است. این پالپ با بعضی از مواد شیمیایی مخلوط می‌شود (فاز آمادگی) تا pH مطلوب به دست آید. سپس با مواد شیمیایی دیگر به نام متفرق کننده‌ها که نقش آنها متفرق کردن ذرات ریز یا نرمه از سطح کانی‌هاست، آغشته می‌شود. در مرحله بعد با مواد شیمیایی دیگر به نام بازداشت کننده‌ها که هدف آنها آبگیر کردن سطوح بعضی از ذرات آماده می‌شود. سرانجام پالپ با مواد آلی دیگر به نام جمع کننده‌ها که نقش آنها آبران کردن ذرات است مخلوط می‌شود. پس از آماده سازی پالپ، برای جدایش کانی‌های باارزش و باطله وارد سلول‌های فلوتاسیون می‌شود [۱].

تئوری فلوتاسیون پیچیده است و تمام فرآیندها و فعل و انفعالات که در آن رخ می‌دهد، شناخته شده نیستند. اتصال ذرات کانی باارزش به حباب‌های هوا اصلی‌ترین مکانیزم برای بازیابی ذرات در کنسانتره می‌باشد. هرچند که فلوتاسیون واقعی مکانیزم غالب برای بازیابی کانی‌های باارزش است، کارایی جدایش کانی‌های باارزش از باطله به مقدار دنباله روی و به تله افتادگی فیزیکی ذرات بستگی دارد [۲].

## ۴-۱ عوامل موثر در فلوتاسیون

عوامل زیادی بر فرآیند فلوتاسیون تأثیرگذار هستند که مهمترین آنها عبارتند از: تفریق کانی شناختی در ماده معدنی، شرایط و وضعیت خردایش، توزیع ابعاد ذرات از نظر درجه آزادی، وضعیت سطحی ذرات (آبرانی، آبگیری، اکسایش، پوشش ذرات نرمه در سطح ذرات درشت)، زمان لازم برای سطح تماس بین ذرات و حباب هوا، درصد جامد، زمان و محل افزودن مواد شیمیایی، زمان آماده سازی، نوع ماشین فلوتاسیون، نحوه هوادهی، شدت جریان حجمی هوا، سرعت هم زدن پالپ، زمان توقف پالپ در سلول، دمای پالپ، نوع و غلظت (کلکتور، کف ساز، بازداشت کننده، فعال کننده، تنظیم کننده)، pH پالپ و... [۱].

جدایش کانی‌های سولفیدی از یکدیگر و همچنین از باطله‌های همراه مبتنی بر دو اصل بسیار مهم است: یکی شناخت کاملی از ترکیب کانی شناختی کانی‌ها، نحوه قرارگیری آنها و در نهایت درجه آزادی مطلوب و حد خردایش و دیگری کنترل شیمی پالپ که خود مستلزم تسلط کامل بر ماهیت واکنش‌ها از هر دو دیدگاه ترمودینامیکی و سینتیکی است. اکسایش سولفیدها، ماهیت باطله از لحاظ کمی و کیفی، عیار اولیه سولفیدها و شناخت کامل عناصر ناخالص چه مفید (طلا، نقره و مولیبدن و...) و چه مزاحم (آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، جیوه و...) از دیگر مواردی است که در فلوتاسیون سولفیدها باید به آن توجه کرد. وجود کانی‌هایی رسی نیز به هر شکلی مشکلات نرمه را به وجود می‌آورد و باز هم فلوتاسیون را غیر انتخابی می‌کنند.

سولفیدهای مس مانند کالکوپیریت، کالکوسیت، کولیت و بورنیت معمولاً با پیریت همراه هستند. گانگ همراه، سیلیس، کلسیت و انواع سیلیکاتها هستند. روش جدایش این کانی‌ها از باطله و پیریت از مهمترین مراحل پرعیار سازی مس است. کانی‌های مس به سادگی توسط کلکتورهای سولفیدریلی قابل فلوتاسیون هستند. گزنتاتها (گزانتات اتیل، ایزو پروپیل و آمیل) بهترین نوع کلکتور هستند.

---

۱-Slime

معمولا در فلوتاسیون سولفیدهایی مس، محیط باید قلیایی و در pH (۹-۸) باشد و کنترل آن توسط آهک صورت می‌گیرد. آهک به عنوان بازداشت کننده پیریت نیز استفاده می‌شود (pH=۱۰). روغن کاج، اسید کریزیلیک، همچنین کف سازهای الکلی و پلی گلیکول به عنوان کف ساز استفاده می‌شود [۱].

در هر دو نوع کانسار پورفیری و اسکارنی حضور کانی‌های گانگ سولفیدی مانند پیریت و اسفالریت و گانگ‌های غیر فلزی مانند سیلیس باعث پایین آمدن عیار مس می‌شود. کالکوپیریت یک منبع بزرگ برای استخراج مس است. این کانی اکثرا با کانی‌های سولفید آهن یافت می‌شود و بیشترین درگیری را با پیریت داشته و به مقدار کم همراه با اسفالریت و مولیبدنیت یافت می‌شود. تحقیقات اخیر در مورد جدایش انتخابی کالکوپیریت از پیریت نشان داده است که مشکلات زیادی به وجود می‌آید. واکنش الکترو شیمیایی در سطح کانی‌ها در مرحله خردایش و در مرحله آماده‌سازی برای فرآوری اتفاق می‌افتد. برای مثال واکنش‌ها گالوانیکی بین سطح پیریت و کالکوپیریت ممکن است، منجر به اکسیدی شدن و حل شدن کالکوپیریت شده و مس باعث فعال شدن کانی پیریت خواهد شد. هیدرواکسیدی شدن سطح کالکوپیریت و هیدروفوب بودن سطح می‌تواند باعث بازداشت کالکوپیریت در مرحله فلوتاسیون گردد. مس فعال برای پیریت نقش یک کلکتور را دارد و جذب سطح پیریت خواهد شد. از طرفی دیگر آن شناور شدن کالکوپیریت را کاهش داده و سپس عیار کالکوپیریت را کاهش می‌دهد [۳].

برای بهبود جدایش و افزایش عیار و بازیابی در مرحله شناورسازی کالکوپیریت، خرد کردن ذرات در اندازه ریزتر می‌تواند یکی از راه حل‌ها باشد.

## ۱-۵ مروری بر رفتار کانی‌های

بیش از ۱۷۰ نوع کانی مس دار شناخته شده است که تنها ۱۵-۱۰ نوع آنها دارای ارزش اقتصادی هست. مهم‌ترین کانی‌های اقتصادی مس، کالکوپیریت، کالکوسیت، بورنیت و کولیت هستند.

خواص فلوتاسیون کانی‌های مسی و همراه شدن این کانی‌ها با دیگر کانی‌های سولفیدها بصورت طبیعی در کانسارهای مختلف قابل ملاحظه است. کانی‌شناسی کانی‌های یک کانسار از لحاظ ساختار بلوری، تغییر در ساختار بلور، دیگر کانی‌هایی باطله و مشخصات آزادشدگی در یک کانسار خاص از جمله عوامل بسیار مهم در فلوتاسیون کانی‌ها هستند.

در زیر در مورد خواص منحصر به فرد کانی‌هایی که به صورت طبیعی در کانسار به وجود آمده‌اند و همچنین در مورد رفتار آنها در فلوتاسیون بحث شده است.

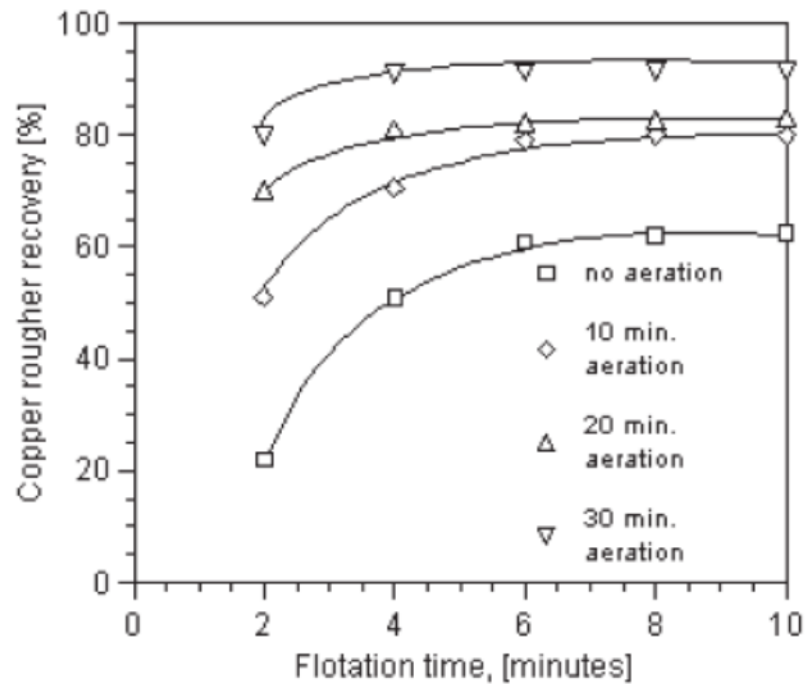
### ۱-۵-۱ کالکوپیریت

فرمول شیمیایی  $CuFeS_2$  (Cu؛ ۳۴/۵۶٪، Fe؛ ۳۰/۵۲٪، سختی؛ ۳-۴، وزن مخصوص؛ ۴/۲). کالکوپیریت به همراه کالکوسیت یکی از کانی‌های بسیار مهم در تولید مس می‌باشد. در بیشتر کانسارهای سولفیدی، کالکوپیریت یک کانی اولیه بوده و در کانسارهای بزرگ کالکوسیت، کانی ثانویه است. در بعضی موارد همچنین کالکوپیریت با بورنیت و کوولیت همراه است.

کالکوپیریت درشت‌دانه در کانسارهای سولفیدی با کلکتور گزنتات در pH ۵-۱۱/۵ به آسانی شناور می‌شود. کالکوپیریت یکی از کانی‌های مهمی است که سطح آن به آسانی اکسید نمی‌شود و حالت ثابت دارد. سطح آن در یک اسید ضعیف (pH= ۶) اکسید شده و در اسید متوسط حل شده و به صورت  $H^+$ ،  $Cu^{2+}$ ،  $Fe^{2+}$  و SO ظاهر می‌شود [۴].

در طی اکسید شدن، هیدروکسید آهن ممکن است در سطح کانی به وجود آید. کالکوپیریت در ماسیوسولفید و کانسارهای سولفیدی انتشار یافته، خواص فلوتاسیون متفاوتی دارد. شناور شدن کانی کالکوپیریت بیشتر به اکسیژن (میزان هوادهی)، pH پالپ و نوع کلکتور بستگی دارد. در این نوع کانسارها کالکوپیریت با کلکتور دی تیو فسفات (dithiophosphate) و تیونا کربومات (thionocarbamate) بسیار خوب و سپس با گزنتات (xanthate) شناور می‌شود. در شکل (۱) تأثیر نرخ هوادهی برای فلوتاسیون کالکوپیریت در کانسارها را نشان می‌دهد.





شکل (۱-۱) تأثیر نرخ هوادهی در فلوتاسیون مس [۴]

هوادهی تأثیر مثبت در انتخاب دیگر سولفیدها (پیریت و پیروتیت) دارد. در طی فلوتاسیون، جداسازی کالکوپیریت از پیروتیت، pH نقش کلیدی در شناورسازی دارد. زمانیکه از  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  یا دیگر ترکیبات سولفوردار استفاده می‌شود فلوتاسیون کالکوپیریت در pH ۸-۱۰ بخوبی انجام می‌شود. زمانی از  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  یا  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  استفاده می‌شود که نتوان پیریت را حذف کرد [۵].

کالکوپیریت در  $\text{pH}=12$ ، با ترکیب آمونیاکی می‌تواند شناور شود. سولفات، دی‌کرومات، هیدروسولفات‌ها (به مقدار کم) و بعضی نشاسته‌ها، نمی‌توانند کالکوپیریت را بازداشت کنند. بجز در حالتی که دارای مقدار نسبتاً زیاد باشد. سدیم سیانید یک بازدارنده خوب کالکوپیریت با اضافه کردن (بیشتر از  $100\text{g/t}$ ) و pH بین ۸ تا ۱۱، خواهد بود. مقدار زیادی هیدروسولفید (NaHS) یا سدیم سولفید ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) کالکوپیریت را بازمی‌دارد. این پدیده برای جدا کردن مولیدنیت از کالکوپیریت مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵].

## ۱-۵-۲ بورنیت

فرمول شیمیایی  $Cu_5FeS_4$ ، (Cu; ۵/۵۵٪، Fe; ۴/۱۶٪، S; ۱/۲۸٪، سختی ۳، وزن مخصوص ۵/۱). در بیشتر کانسارها، بورنیت یک کانی ثانویه مس همراه با کالکوپیریت و کالکوسیت است. همچنین در کانسارهای مس-مولیبدن و مس-طلا وجود دارد. بورنیت نسبتاً پایدار است و اکسید نمی‌شود. شناور سازی بورنیت وابستگی زیادی به اندازه آن دارد. نرمة بورنیت (کوچکتر از ۲۰ میکرون) نمی‌تواند به سهولت شناور شود. مشکل دیگر شناور سازی بورنیت زمانی است که با سولفیدهای انتشاری همراه است. همچنین شناور سازی بورنیت به pH وابسته است و درجایی که  $pH > 10$  باشد شناور سازی آن بهبود می‌یابد.

مرکاپتوبنوتیزولر (Mercaptobenothiozoles) تری‌تیو کربنات‌ها (trithiocarbonates) همراه با گزنتات-های کربن ترکیب کلکتور خوبی، برای بورنیت می‌باشد.

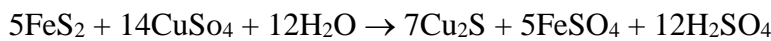
## ۱-۵-۳ کوولیت

فرمول شیمیایی  $CuS$ ، (Cu; ۴۴/۶۴٪، S; ۵۶/۳۵٪، سختی ۱-۲، وزن مخصوص ۴/۵). کوولیت یک کانی ثانویه که اغلب در کانسارهای مس-طلا (Batu Hijau Indonesia) همچنین در اسکارن مس (Antamina Peru) در کانسارهای ماسیوسولفید مس ولکانیکی شکل (Basin Bor Yugoslavia) یافت می‌شود. کوولیت یک کانی شکننده است و باید در مرحله خردایش مورد توجه قرار گیرد. اگر این کانی در ماسیوسولفید باشد جداسازی آن با مشکل همراه است. تیوکرومات با ترکیب گزنتات، بورنیت موجود در آلکالن را در  $pH < 11$  فلوته می‌کند. استفاده از انواع کرزول (cresol) ممکن است در فلوتاسیون کوولیت مفید باشد. از کرزول به عنوان کلکتور چندین سال در باسین بار یوگسلاوی مورد استفاده قرار گرفته است [۵].

افزایش مقدار کمی از  $Na_2S$  (۲۰۰-۴۰۰ گرم بر تن) شناور سازی بورنیت را افزایش می‌دهد [۵].

## ۱-۵-۴ کالکوسیت

فرمول شیمیایی  $\text{Cu}_2\text{S}$  (Cu: ۷۹/۸۴٪، S: ۲۰/۱۷٪، سختی ۳-۲، وزن مخصوص ۵/۵). در بیشتر کانسارهای مس پورفیری و مس-مولیبدن، کانی کالکوسیت کانی اولیه می‌باشد. کانی‌هایی، کالکوپیریت، بورنیت، کولیت در این نوع کانسارها کانیهای مسی ثانویه هستند. همچنین کالکوسیت در کانسارهایی هیدروترمال و ولکانیکی در اثر واکنش سولفات مس و پیریت می‌تواند به صورت زیر تشکیل شود:



این واکنش در زون ثانویه و در بدنه کانسار مس انجام می‌گیرد.

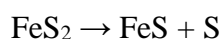
کالکوسیت ممکن است به صورت کلی یا جزئی به ملاکیت و آزوریت تغییر شکل پیدا کند. بنابراین در بیشتر کانسارهای پورفیری، در زون اکسیدی دیده می‌شود. از آنجایی که کانی‌های کالکوسیت و کولیت شکننده‌اند، به عنوان یکی از مشکل‌های اصلی در خردایش محسوب می‌شوند و این رفتار به کانسارهایی که کانی کالکوسیت به عنوان کانی اولیه باشد، برمی‌گردد. شناور کردن کالکوسیت با کلکتور گزنتات همراه با دی‌تیوفسفات یا تیونوکربومات به عنوان کلکتور ثانویه انجام می‌شود. در تمام عملیات جداسازی کالکوسیتی که در کانسار پورفیری وجود دارد، کلکتورهای ثانویه همراه با گزنتات استفاده می‌شود. سیانید یک بازداشت کننده قوی برای کالکوسیت است. ولی اگر به مقدار زیاد از آن استفاده شود، کالکوسیت بازداشت نمی‌شود. مواد شیمیایی سولفوری مانند  $\text{NaHS}$  و  $\text{Na}_2\text{S}$  بازدارنده خوب برای کالکوسیت هستند. در pH نسبتاً پایین (۴-۶) کالکوسیت می‌تواند به وسیله بعضی از اسید-های آلی بازداشت شود. برای بازیابی بیشتر کالکوسیت از یک کلکتور سولفیدریلی با طول زنجیره‌ای نسبتاً بلند مانند سدیم ایزوبوتیل گزنتات استفاده می‌کنند [۵].

هر دو کانی کالکوپیریت و کالکوسیت با کلکتورهای معمولی سولفیدریل به آسانی شناور می‌شوند فلوتاسیون کامل کالکوسیت در محدوده pH ۲ تا ۱۳ با دی‌تیوفسفاتوزن (دیمردی تیوفسفات) انجام

می‌شود. در حضور اتیل گزنتات فلوتاسیون آن به صورت کامل تا pH حدود ۱۰ امکان پذیر است، در بالای این pH و در ناحیه محدودی بازداشت می‌شود. ولی در pH های بیشتر از آن افزایش می‌یابد. ناحیه مشابه برای بازداشت کالکوسیت وقتی که با دی‌اتیل‌دی‌گزن‌توژن فلوته می‌شود، وجود دارد [۶].

### ۱-۵-۵ پیریت

فرمول شیمیایی  $\text{FeS}_2$  (Fe: ۴۶/۶٪، S: ۵۳/۴٪، سختی ۶، وزن مخصوص ۵). فراوانترین سولفیدی که واقعاً در همه کانسارها یافت می‌شود. این یکی از کانی‌هایی است که مورد مطالعه زیادی قرار گرفته و هنوز حیرت آور است که تنها کانی مزاحم در فلوتاسیون همه کانسارهای مس می‌باشد. پیریت در بیشتر کانسارها، با گونه‌های مختلفی پدیدار می‌شود. بعضی موقع بصورت پیریت کریستالی، ایزومورف-های پیریت، آلترشده، اکسید شده، پیش فعال و غیره... قابل مشاهده است. پیریت پیش فعال از ترکیب پیریت کریستالی ناخالص و میکروسایز ناخالص از نقره، مس، کبالت، نیکل و غیره است. پیریت به آسانی اکسید می‌شود و علت آن به بلور شناسی و ترکیب ساختاری پیریت برمی‌گردد. بنابراین سولفور آهن در ترکیب پیریت صاف شده و به صورت  $[\text{S}_2]^{2-}$ ؛ با فاصله بیشتر بطوریکه با کاتیون‌های آهن برابر است. بنابراین در اغلب موارد ممکن است، سطح پیریت با عنصر سولفیدی پوشیده شود که واکنش بصورت زیر است:



عناصر سولفیدی در سطح پیریت باعث می‌شود، حالت شناور شدن پیریت افزایش یابد. در طی خردایش پیریت اکسیژن جذب می‌کند.

### ۱-۶ مروری بر چند تحقیق انجام شده در مورد تأثیر کانی‌های مزاحم در فرآوری

#### مس

در این بخش مروری بر تحقیقات که در داخل و خارج کشور انجام شده است. در تحقیقات انجام شده تأثیر کانی‌هایی که در مرحله فلوتاسیون مشکل ایجاد کرده‌اند مورد توجه قرار گرفته است.

## ۱-۶-۱ حضور کانی‌های سیلیکات آلومینیوم و اثرات منفی در فرآوری کانی‌های مس

در این تحقیق حضور کانی‌های سیلیکات آلومینیوم و اثرات منفی در فرآوری کانی‌های مس در کانسار مس پورفیری سرچشمه مورد بررسی قرار گرفته است. سنگ معدن حاوی انواع و مقادیر مختلفی از کانی‌های سیلیکات آلومینیوم و همچنین کانی‌های سولفید مس (کانی‌های مثل: کالکوپیریت و کالکوسیت) است. در آزمایشگاه برای تعیین چگونگی تاثیر هر یک از کانی‌های سیلیکات آلومینیوم بر روی شناور سازی کانی‌های مس و پیدا کردن راه حل مناسب برای کاهش ناخواسته در شناور سازی کانی‌های مس، آزمایش فلوتاسیونی انجام گرفته است. آزمایش‌های انجام گرفته نشان داده است که در سنگ معدن حاوی انواع کانی‌های سیلیکات مانند ورمیکولیت و مسکویت بیشترین تاثیر را در شناور سازی مس سولفیدی دارند. برای حل این مشکل، دو روش در استفاده از مواد شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت: الف): دکسترین به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۶۰۰ گرم بر تن و ب): مخلوط از دکسترین، سیلیکات سدیم و هگزا متافسفات سدیم به ترتیب با درصد وزنی ۲۰٪، ۴۰٪ و ۴۰٪ و به میزان ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم بر تن مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط (مورد ب) به میزان ۲۰۰ گرم بر تن باعث بهبود بازیابی مس و کاهش عیار و بازیابی  $Al_2O_3$  و  $SiO_2$  در کنسانتره مرحله فلوتاسیون شد. به عنوان یک راه حل دیگر جایگزینی در کاهش چگالی پالپ فلوتاسیون به ۲۴ درصد باعث بهبود عیار و بازیابی مس و مولیدن و کاهش عیار و بازیابی کانی‌های  $Al_2O_3$  و  $SiO_2$ ، در مقایسه با چگالی پالپ ۲۹ درصدی که در حال حاضر در کارخانه فلوتاسیون سرچشمه مورد استفاده اس [۷].

به طور قابل توجه، ارتباط معکوسی بین زاویه تماس بحرانی و بازیابی در فلوتاسیون مشاهده شده است. در زاویه تماس‌های بحرانی خیلی پایین بعضی ذرات بازیابی بالایی داشتند و در زاویه تقریباً ۴۵ درجه برای ذرات ۷۵ - ۲۰ میکرون بازیابی بالا بوده است [۸].

## ۱-۶-۲ مطالعه تاثیر خردایش در فلوتاسیون کالکوپیریت و جدایش کالکوپیریت از

پیریت

مطالعه تاثیر خردایش در فلوتاسیون کالکوپیریت و جدایش کالکوپیریت از پیریت در آسیای آزمایشگاهی مخصوصی که اجازه می دهد همزمان pH و خردایش باهم کنترل شود، انجام شده است. مکانیسم بر هم کنش گالوانیکی بین کانی و دستگاه خرد کننده اندازه گیری شده و مورد مطالعه گرفته است.

فلوتاسیون کالکوپیریت به شدت به هر دو گونه اکسید آهن و تغییرات در سطح کالکوپیریت، وابسته است. گونه اکسید آهن جدا شده از دستگاه خرد کننده، نقش یک باز دارنده را برای کالکوپیریت بازی می کند، در حالی که تغییر ی که از کالکوپیریت اکسید شده به وجود آمده، شناور سازی کالکوپیریت را بهبود می دهد. مسی که از حل شدن کالکوپیریت حاصل می شود، باعث فعال شدن پیریت و ایجاد مشکل در امر جدایش کالکوپیریت از پیریت می شود [۹].

### ۱-۶-۳ بررسی تاثیر کانی شناسی طلا در بازیابی شناور سازی آن در یک سنگ معدن

#### مس - طلا پورفیری

رفتار فلوتاسیون طلا در ارتباط با مس، در کانسار پورفیری مس- طلا همراه با تاثیر از انتخاب کلکتور و خوراک در اندازه ذرات مختلف بررسی شده است. بررسی کانی شناسی خوراک، با استفاده از <sup>1</sup>QEMSCAN نشان می دهد که پیریت و کانی های سیلیکاته میزبان اصلی طلا در سنگ معدن می باشد. کوارتز، اکسید آهن و کربناتها به عنوان کانی های اصلی باطله شناسایی شد. آنالیز X-ray ذرات طلا دار نشان داد که طلا به صورت خالص و الکتروم با تغییر غلظت نقره بین ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی رخ داده است. بهبود بازیابی طلا و مس در اندازه استفاده شده در ۷۰ میکرون و با استفاده از مواد

---

۱- Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscop

شیمیایی SIBX<sup>۱</sup>/XD5002<sup>۲</sup> و در رافر مس و پیریت انجام شده است. شرایط فلوتاسیون به صورت مستقیم، فلوتاسیون مس در اندازه ذرات ریزتر توسعه داده شد و فلوتاسیون مس در دو حالت، با خردایش مجدد و با استفاده از SIBX/XD5002 و MBT<sup>۳</sup>/DTP<sup>۴</sup> به بهترین شکل ممکن مورد استفاده قرار گرفت، برای کاهش بازیابی پیریت و حداکثر کردن بازیابی و عیار طلا، بدون اینکه عیار و بازیابی مس کاهش پیدا کند. تحت شرایط پایه، بازیابی طلا بالا ۹۵/۲ درصد و مس ۹۷/۴ درصد بدست آمد. با این حال، بازیابی پیریت در کنسانتره نهایی ۴۹/۱ درصد و در نتیجه عیار آن در کنسانتره نهایی کاهش یافت. در اندازه‌هایی ریزتر (۳۸ میکرون) بدون شناورسازی پیریت، بازیابی طلا از ۹۵/۲ درصد (در حالت پایه) به ۷۳ درصد و عیار طلا بهبود یافته (۵/۳ گرم در تن) بدون استفاده از کلکتور و بازداشت پیریت (۳۳/۴ درصد) در کنسانتره نهایی کاهش یافته است. صرف نظر از نوع کلکتور و اندازه ذرات، با مقایسه مطالعات پایه، بازیابی مس به طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار نگرفت. مطالعه فلوتاسیون نشان می‌دهد که استفاده از کلکتور (SIBX/XD500) در اندازه ۳۸ میکرون در خوراک بهترین گزینه برای بهینه سازی بازیابی طلا است (بدون شناورسازی پیریت) در حالی که پیریت قابل توجهی (۶۳/۹٪) از کنسانتره نهایی بدون به خطر انداختن بازیابی و عیار مس، بازداشت می‌شود. اگر چه، شرایط فلوتاسیون مستقیم، فلوتاسیون مس را در اندازه ذرات ریز بهبود داد (۳۸ میکرون در خوراک، SIBX/XD5002) اما باعث شد که بازیابی طلا نسبت به شرایط پایه پایین تر باشد. بالا بودن عیار طلا و مس به دلیل باز داشت پیریت بدست آمد. با این حال، مطالعات بیشتری مورد نیاز برای شناسایی توانایی بازیابی طلا از باطله مرحله فلوتاسیون مس است [۱۰].

## ۱-۶-۴ تاثیر اندازه ذرات بر بازیابی

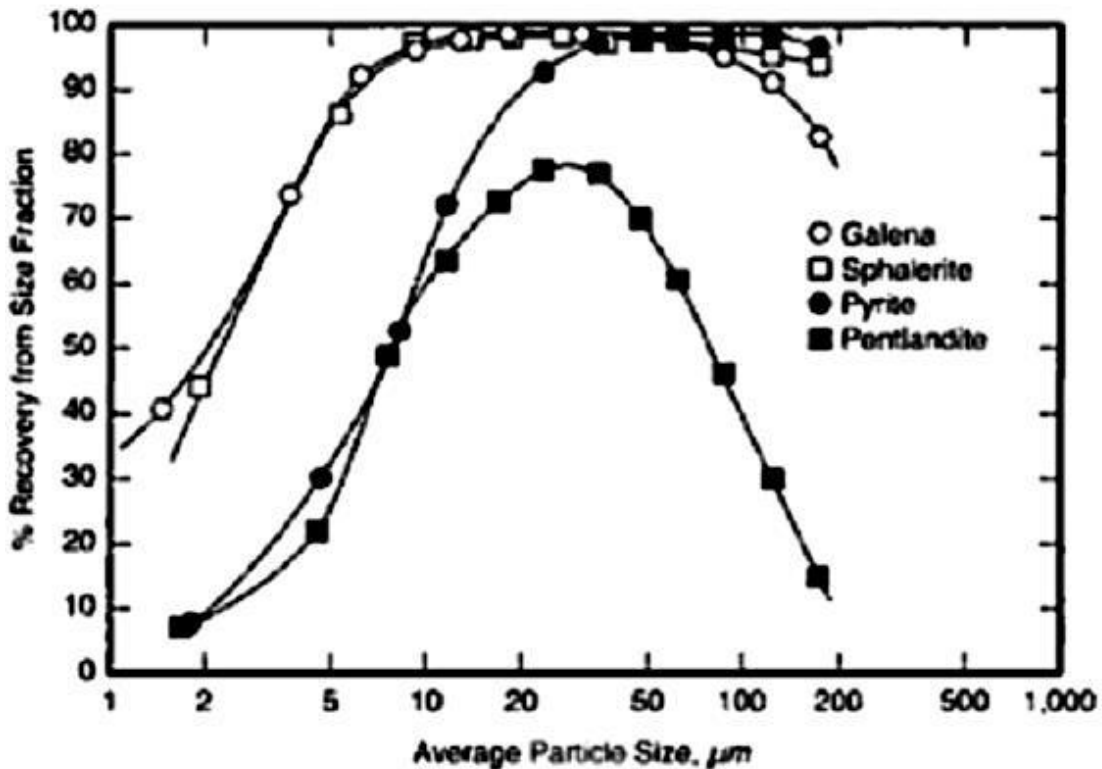
2- sodium iso-butyl xanthate

3- N- butoxycarbonyl nbutyl thionocarbamate

4- mercaptobenzothiazole

5- dithioHospHate

بررسی‌های زیادی توسط محققین در مورد تاثیر ذرات بر روی فلوتاسیون انجام شده است و تقریباً همه آنها به یک نتیجه مشترک رسیده‌اند و آن این است که بازیابی ذرات در اندازه‌های مختلف متفاوت است. این نتیجه در شکل (۲-۱) نشان داده شده است [۱۱].

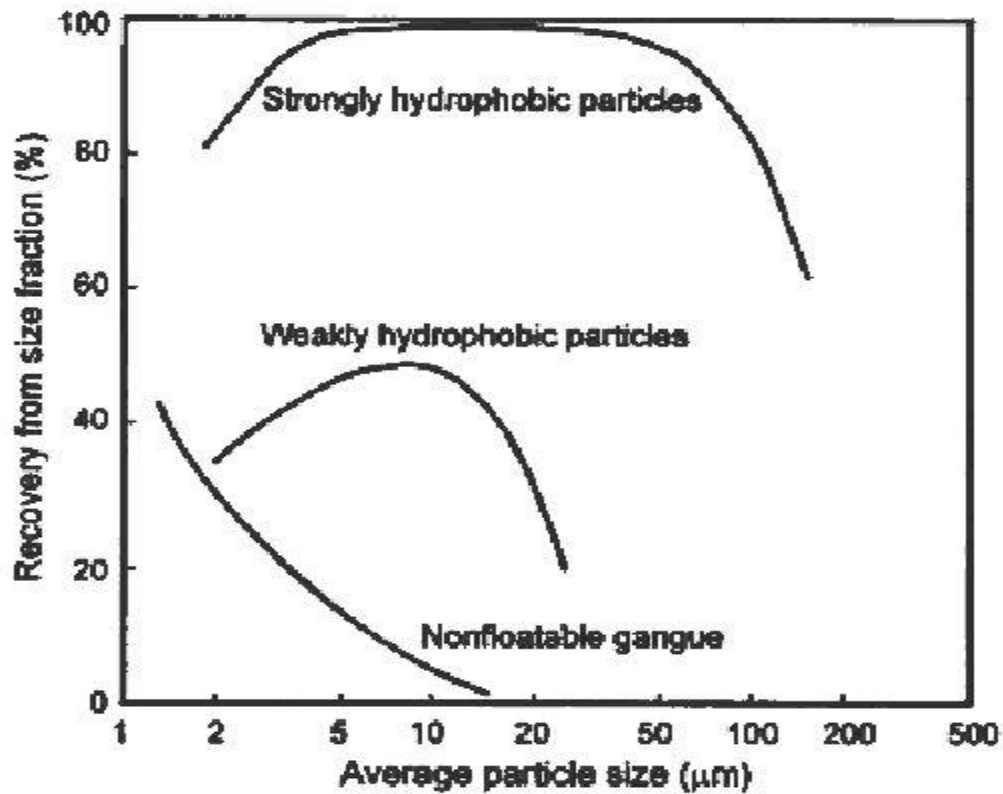


شکل (۲-۱) بازیابی ذرات در اندازه‌های مختلف برای کانی‌های سولفیدی [۱۱]

با توجه به شکل (۲-۱) در محدوده مشخصی از اندازه ذرات، بیشترین بازیابی فلوتاسیون انجام می‌گیرد. کارایی فلوتاسیون ذرات ریزی که در این محدوده قرار نمی‌گیرند پایین بوده است. دلیل این امر افزایش تعداد ذرات در واحد وزن و شرایط نامناسب برای ایجاد تماس بین حباب و ذره و تأثیراتی مانند اکسیداسیون سطح کانی‌ها است. کارایی فلوتاسیون به شدت برای ذرات بزرگتر از حد بهینه، بخاطر کم بودن درجه آزادی کانی‌ها، عدم حصول آبرانی و کاهش توانایی حباب‌ها در حمل ذرات درشت، پایین می‌آید. مهمترین دلیلی که می‌توان برای این پدیده ذکر کرد کاهش احتمال متصل ماندن ذره و حباب درون پالپ و پایداری توده ذره و حباب است [۱۱].



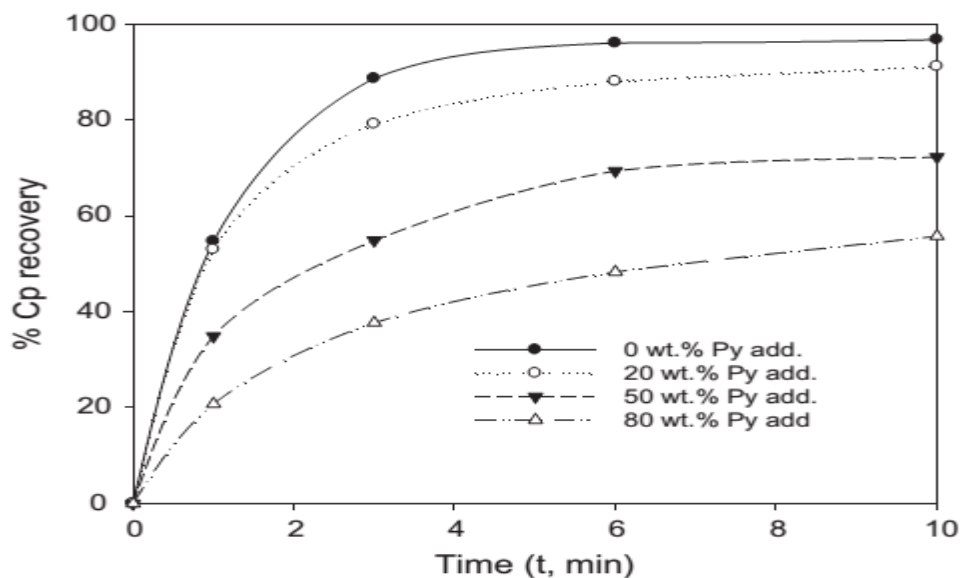
برای فلوتاسیون سولفیدها، این نمودار برای اجزا مختلف به لحاظ آبرانی در شکل (۳-۱) نمایش داده شده است.



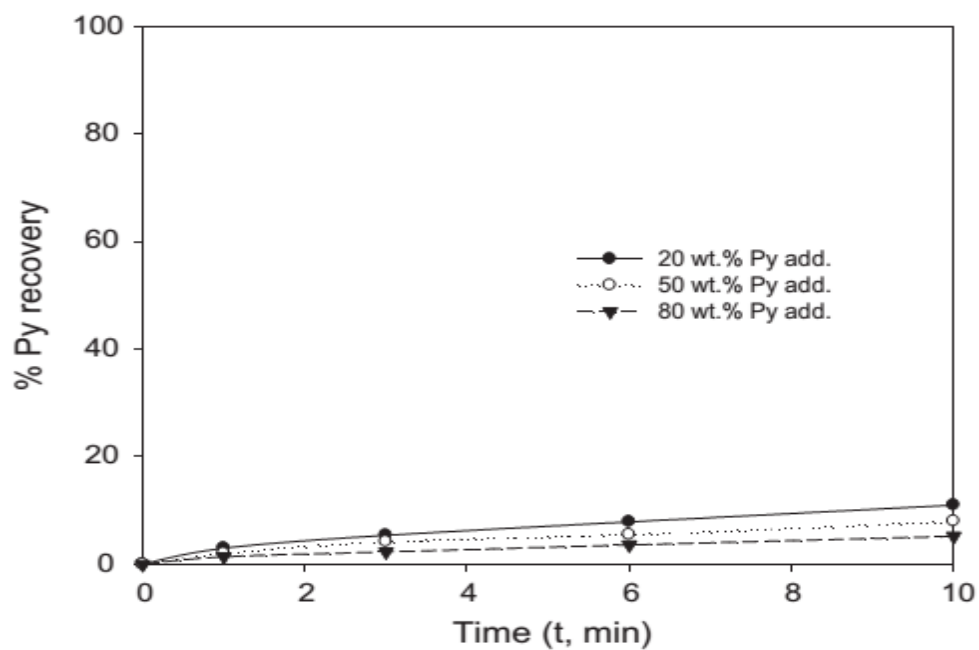
شکل (۳-۱) بازیابی کانی‌ها سولفیدی در اندازه مختلف از لحاظ آبرانی در فلوتاسیون [۱۲]

### ۱-۶-۵ تاثیر مقدار پیریت در فلوتاسیون با ترکیب خوراک پیریت/کالکوپیریت

در حالت کلی هدف از این مطالعه، درک تأثیر پیریت در عملکرد فلوتاسیون هر دو کانی، با ترکیب پیریت/کالکوپیریت بوده است. خردایش در آسیای سرامیکی انجام شده است. بعد از آسیا کردن و فلوتاسیون و بازیابی نهایی کالکوپیریت با افزایش مقدار پیریت در خوراک مورد بررسی قرار گرفته است. کاهش عیار کالکوپیریت در کنسانتره نتیجه افزایش بازیابی پیریت بوده است. در شکل‌های (۴-۱) و (۵-۱) این تغییرات نشان داده شده است.



شکل (۴-۱) تغییرات بازیابی مس با افزایش مقدار پیریت در خوراک [۱۳]



شکل (۵-۱) تغییرات بازیابی بر حسب زمان با افزایش مقدار پیریت در خوراک [۱۳]

رقابت بین کالکوپیریت و پیریت برای جذب کلکتور در سطح این کانی‌ها بوسیله روش آنالیز ToF-SIMS<sup>۱</sup> بررسی شده است. پیریت بوسیله یون Cu آزاد شده از کالکوپیریت فعال می‌شود. این

۶-Time-of flight secondary ion mass spectrometry

ادعا توسط آنالیز TOF-SIMS و XPS<sup>1</sup> تایید شده است. بر هم کنش گالوانیکی بین این دو کانی با افزایش پیریت در خوراک افزایش می‌یابد (به عنوان مثال سطح منفی در هوا). سطح کانی پیریت و کالکوپیریت اکسید می‌شود. آنالیزهای انجام گرفته بر روی سطح کانی‌ها کاهش در تشدید مس و سولفور ثانویه با افزایش یون هیدروکسید و گونه‌های سولفیدی در ذرات مس با افزایش مقدار پیریت در خوراک تغییر می‌کند. کاتدهای ( $O_2$  و  $OH^-$ ) به وجود آمده در سطح پیریت با افزایش پیریت در ترکیب تغییر یافته و باعث بالا رفتن هیدروکسید آهن در سطح شده و باعث فلوتاسیون برگشتی یا معکوس می‌شود. با افزایش پیریت در ترکیب، گونه‌های سولفوری،  $SO_3^-$  در سطح پیریت و کالکوپیریت باعث یکسان عمل کردن در نرخ شناورسازی این دو کانی می‌شود. اکسید شدن کالکوپیریت و ظاهر شدن محصول آبران  $FOH^+$  و  $SO_3^-$  پیریت در اندازه‌های بزرگ با صرف نظر از نسبت این دو کانی در ترکیب با کالکوپیریت یکسان فرض می‌شود. افزایش اکسید شدن با افزایش مقدار پیریت در ترکیب بوسیله کاهش اکسیژن در پالپ فلوتاسیون تشدید می‌شود. بر اساس این آزمایش مشخص شد که گونه‌های اکسید شده آبران در سطح کالکوپیریت باعث کاهش بازیابی این کانی می‌شود و افزایش مقدار پیریت باعث تسهیل گالوانیک با کالکوپیریت می‌شود. در حالت کلی هیدروفوب شدن سطح کانی نقش بارزی در شناورسازی کالکوپیریت دارد. افزایش مقدار کلکتور نمی‌تواند یک کلید در شناور سازی کالکوپیریت باشد. در این آزمایش با اینکه سطح کافی بود ولی فلوتاسیون پیریت انجام گرفت. مقدار اکسیژن حل شده و EH در پالپ فلوتاسیون مهم هستند. از این رو مقدار اکسیژن/EH در جذب کلکتور گزینتات در سطح کالکوپیریت باید کنترل شود. در جدا کردن پیریت از کالکوپیریت باید مقدار اکسیژن در مرحله فلوتاسیون با تغییر در ترکیب خوراک کنترل شود. این یک ابزار و روش کاربردی جهت کنترل در کارخانه‌های فرآوری جهت بهینه کردن خوراک با توجه به مینرالوژی است [۱۳].



## فصل دوم

معرفی معدن و کارخانه

فرآوری مس سونگون

## ۱-۲ معرفی کانسار

معدن مس سونگون در استان آذربایجان شرقی، ۱۳۰ کیلومتری شمال شرقی تبریز، ۷۵ کیلومتری شمال غرب اهر و ۳۰ کیلومتری شمال ورزقان قرار گرفته است. طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی است. موقعیت معدن مس سونگون در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



شکل (۱-۲) موقعیت معدن مس سونگون

## ۱-۱-۲ زمین شناسی سونگون

بطور کلی کانسار مس سونگون در زون آتشفشانی ارومیه - دختر که بخشی از کمربند متالوژنی آلپ هیمالیاست، قرار دارد. این کانسار از کانسارهای پورفیری نوع مونزونیتی است که در یک کمربند تکتونیکی زون فرورانش حاشیه قاره‌ای به سن ترشیاری قرار گرفته است. کانسار از نوع نهشته های پورفیری مس بوده و کانیهای سولفوری به صورت انتشاری (Disseminated) و رگچه‌های درهم (Stock work) پر عیار در توده نیمه عمیق مونزونیت پورفیری متمرکز شده‌اند. از

نظر زونوگرافی قائم همانند سایر معادن پورفیری سه زون فروشست، سوپرژن و هیپوژن در معدن مس سونگون قابل رویت می باشد. ضخامت زون فروشست از ۲۰ تا ۱۵۰ متر در نوسان بوده و زون غنی شده دارای ضخامت متغیر (از صفر تا ۲۰۰ متر) می باشد. ضخامت پیوسته بخش مینرالیزه توده کانسار (هیپوژن) تا حدود ۶۰۰ متر برآورد شده است که کانی‌زایی سولفور به دو بخش سوپرژن و هیپوژن محدود می باشد. [۱۴]

کانی‌های متعددی در کانسار مس پورفیری سونگون یافت می شود که می توان آنها را به دو گروه زیر تقسیم کرد.

سولفیدها: پیریت، مولیبدنیت، مارکازیت، پیروتیت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت.

اکسیدها: ایلمنیت، روتیل، مگنتیت، گوتیت، آزوریت، کالکانتیت ( $\text{CuSo}_4.5\text{H}_2\text{O}$ ) ، کریزوکولا  $(\text{Cu}_2\text{H}_2.\text{SiO}_2)(\text{OH})_4$ ، کوپریت و مالاکیت.

## ۲-۱-۲ دگرسانی هیپوژن کانسار مس سونگون و کانی موجود در هر بخش

کانی‌های سولفیدی بخش هیپوژن، پیریت، کالکوپیریت و مولیبدنیت می باشد. کالکوپیریت بیشترین مقدار کانی سولفید مس است و مولیبدنیت، کالکوسیت و بورنیت به مقدار کم وجود دارد. کانی سازی مس در این بخش در طول دگرسانی پتاسیک و به مقدار کمتر در دگرسانی فیلیک انجام شده است و مولیبدن در هیپوژن به طور عمده در بخش ژرف استوک تشکیل شده است و بیشتر با دگرسانی پتاسیک در ارتباط است. زون‌های دگرسانی هیپوژن و کانی‌های موجود در هر زون به صورت زیر طبقه بندی شده است: [۱۵].

۱ - پتاسیک: این دگرسانی ارتباط نزدیکی با کانی سازی دارد و شاید بیش از ۸۰٪ از مس و تمام مولیبدن در نتیجه این دگرسانی جایگزین شده‌اند. به طور میانگین دگرسانی سنگ‌های پتاسیک شامل:

۲۸٪ پلاژیوکلاز، ۳۵٪ ارتوکلاز، ۲۰٪ کوارتز، ۱۵٪ کانی‌های مختلف دیگر (به طور عمده بیوتیت،

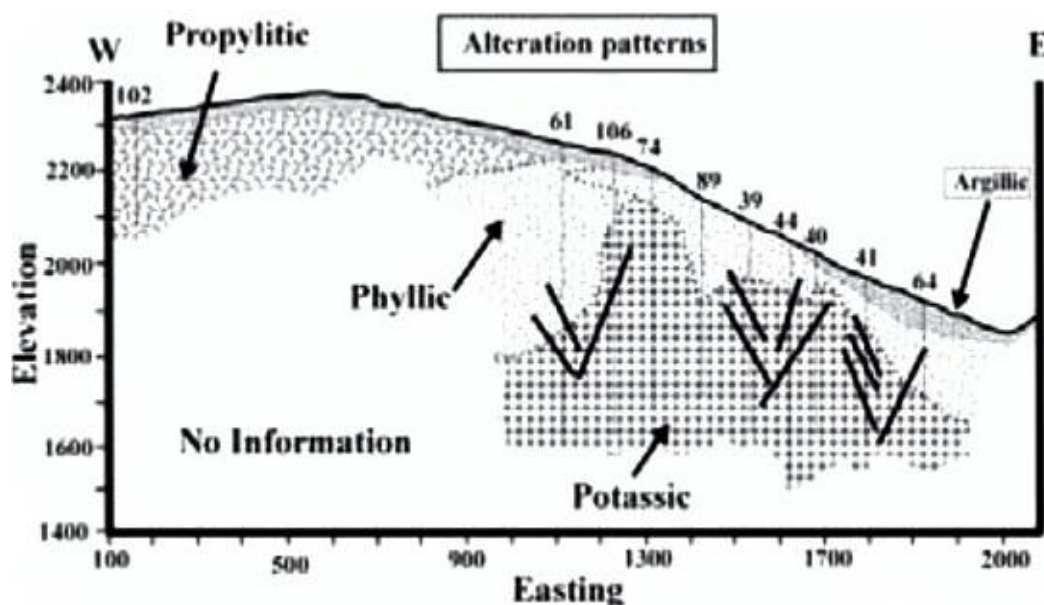
سریسیت، کلریت) و ۲٪ کالکوپیریت، تیتانیت، زیرکون، شلیت، بسموتیت و روتیل می‌باشد [۱۵].

۲- **فیلیک**: از ویژگی‌های این بخش افزایش در میزان مسکویت، احاطه شدن دانه‌های کوارتز به وسیله سریسیت، وجود پیریت (که بیش از ۵٪ حجم سنگ را تشکیل می‌دهد) و جایگزینی پیریت (بخشی از آن) توسط کالکوپیریت است. همزمان با دگرسانی فیلیک، عمل سیلیسی شدن انجام می‌گیرد. تغییراتی که هنگام اعمال این دگرسانی در کانی رخ می‌دهد، به این صورت است که فلدسپارها در اثر دگرسانی فیلیک به سریسیت و مقدار کمی به رس دگرسان می‌شود.

۳- **پروپلیتیک**: این بخش از دگرسانی، کلریت شدن کانی‌های اولیه و ثانویه بیوتیت و آمفیبول مشخص می‌شود. اپیدوت جایگزین پلاژیوکلاز می‌شود اما این جایگزینی کمتر بوده و بیشتر کلریتی می‌شود. کانی‌های غالب این زون آلپیت، کلسیت، سریسیت، انیدریت و پیریت است.

۴- **آرژیلیک**: در این زون فلدسپات به کانی‌های رسی تبدیل می‌شود. کانی‌های شاخص این زون ایلپیت و کائولنیت است. [۱۵]

شکل (۲-۲) نحوه قرارگیری زون‌های آلتراسیون مختلف در کانسار مس سونگون را نشان می‌دهد.

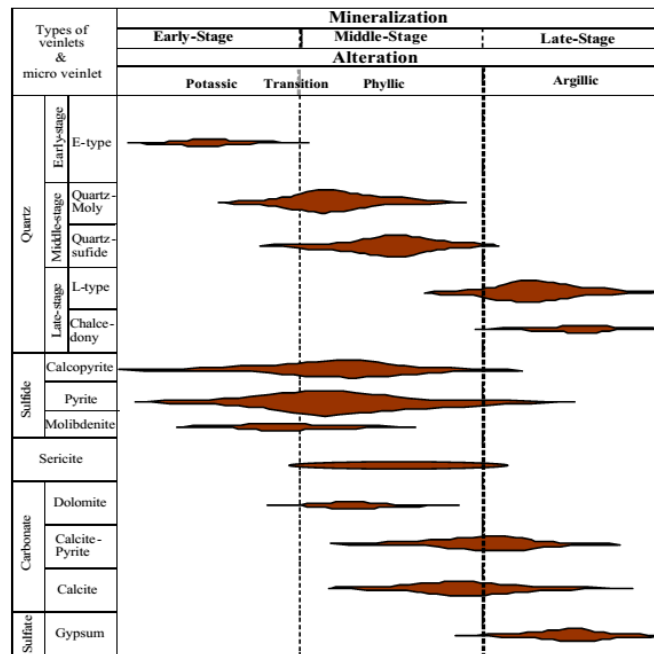


شکل (۲-۲) نحوه قرارگیری زون‌های آلتراسیون [۱۵]



همچنین کانی‌زایی در کنسار مس سونگون در زون‌های آلت‌ر شده هیپوژن (پتاسیک، فیلیک،

آرژیلیک) در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. [۱۶ و ۱۷]



شکل (۲-۳) کانی‌زایی در دایک و زون‌های هیپوژن با استفاده از داده‌های گمانه‌ای [۱۶ و ۱۷]

## ۲-۲ پارامترهای طراحی کارخانه تغلیظ فاز اول مس سونگون:

خوراک سالانه: ۷ میلیون تن، کنسانتره تولیدی ۱۵۰ هزار تن در سال، ظرفیت اسمی ۹۰۰ تن در ساعت جامد خشک، دانسیته متوسط سنگ معدن (درجا) ۲/۶ تن در متر مکعب، عیار سنگ معدن سوپرژن ۰/۶۷ درصد، عیار اسمی کانسنگ ۰/۷۵ درصد، عیار کنسانتره ۳۰ درصد، درصد بازیابی سوپرژن ۸۰/۲ درصد، درصد بازیابی هیپوژن ۹۲/۳ درصد، درصد بازیابی کلی ۸۶/۲۵ درصد، درصد بازیابی مس سولفیدی اسمی ۹۲ درصد (طراحی ۹۳ درصد).

فرایند پرعیار سازی مس در کارخانه تغلیظ مس سونگون را می‌توان به چهار ناحیه سنگ شکن و انتقال مواد، ناحیه خردایش، ناحیه فلوتاسیون و ناحیه آبگیری تقسیم کرد.

## ۲-۲-۱ ناحیه خردایش مدار

مواد معدنی پس از خردایش در سنگ شکن ژیراتوری با ظرفیت ۲۵۰۰ تن در ساعت (حداکثر ابعاد دانه بندی خوراک ورودی ۱۲۰۰ میلیمتر) تا زیر ۲۵ سانتیمتر توسط نوار نقاله به انبار مواد درشت دانه و از آنجا به کارخانه انتقال می یابد.

خردایش بخش مهم و حیاتی در کارخانه کانه آرایبی به شمار می رود. برای خرد کردن بیشتر، در کارخانه تغلیظ سونگون از آسیایی نیمه خودشکن (SAG MILL) با مشخصات زیر استفاده می شود:

اندازه طول و ارتفاع (متر)  $4/878 \times 9/754$ ، ماکزیمم قطر گلوله ۱۲۵ میلیمتر، نوع گلوله فولادی، حجم گلوله و وزن تخمینی آنها ۱۵٪ حجم آسیا (۲۶۹/۶ تن)، ماکزیمم حجم بارگیری ۳۵٪، ابعاد مواد ورودی به آسیا زیر ۲۵۰ میلیمتر، ابعاد مواد خروجی از آسیا زیر ۸ میلیمتر، میزان خوراک تازه آسیا  $900t/h$  (طراحی  $1035t/h$ )، بار در گردش آسیا  $36t/h$ ، دبی آب  $694$  متر مکعب در ساعت، مجموع کل خوراک آسیا  $938t/h$  (طراحی  $1079t/h$ )، درصد جامد ۵۵ درصد، سرعت آسیا  $10/52$  rpm است.

پس از خرد شدن مواد در آسیا نیمه خود شکن، محصول خروجی که به صورت دوغاب می باشد بر روی سرند ارتعاشی که در قسمت پایین خروجی آسیا قرار دارد می ریزد. بعد از عمل جدایش در این سرند دانه های درشت را برای خردایش مجدد به آسیای نیمه خود شکن و دانه ریزها به همراه خروجی آسیای گلوله ای اولیه به هیدروسیکلون اولیه فرستاده می شود. ابعاد بزرگترین ذرات  $20$  mm و توزیع ابعاد ذرات  $d_{80} = 210 \mu m$  می باشد.

**هیدروسیکلون اولیه:** در این مرحله جدایش ذرات نقش کلیدی دارد و دلیل آن این است که سریز آن خوراک سلول های مکانیکی RCS (رافر) می باشد.

**مشخصات:** تعداد سیکلونها در یک خوشه ۱۵ عدد (۱۲ عدد در حال کار)، دبی خوراک پالپ سیکلون  $3755$  متر مکعب در ساعت (طراحی  $4320$  متر مکعب در ساعت)، دبی پالپ سرریز سیکلون  $2076$

متر مکعب در ساعت (طراحی ۴۳۲۰ متر مکعب در ساعت)، دبی پالپ ته ریز سیکلون ۱۶۷۹ متر مکعب در ساعت (طراحی ۱۹۳۰ متر مکعب در ساعت) درصد جامد خوراک ۵۴/۵ درصد، درصد جامد سر ریز ۳۴ درصد، دانه بندی خوراک  $d_{80}=1\text{mm}$ ، دانه بندی سر ریز  $d_{80}=0.1\text{mm}$ ، میزان بار در گردش ۲۵۰ درصد می باشد.

**آسیای گلوله ای اولیه:** ته ریز هیدروسیکلون اولیه جهت خردایش مجدد وارد آسیای گلوله ای می شود که این عمل در یک مدار بسته انجام می گیرد.

**مشخصات:** میزان خوراک ۹۰۰ تن در ساعت، درصد مواد جامد داخل آسیا ۶۶/۱ درصد، تعداد ۲ عدد، نوع گلوله فولاد، ابعاد ورودی زیر ۸mm، ابعاد مواد خروجی زیر ۳mm می باشد.

## ۲-۲-۲ ناحیه فلوتاسیون

در ناحیه فلوتاسیون کارخانه تغلیظ مس سونگون از ماشین هایی فلوتاسون RCS (سلول هایی رافر و اسکاونجر)، ماشین ستونی (سلول های کلینر و ری کلینر)، خوشه های سیکلون ثانویه و آسیای گلوله ای ثانویه استفاده شده است.

**ماشین های رافر:** کنسانتره سلول هایی رافر با عیار ۶/۰۶ درصد مس به سمت آسیای گلوله ای ثانویه پمپ می گردد و باطله خروجی از این سلول ها با عیار ۰/۱ درصد مس به تیکنر باطله جریان می یابد.

**مشخصات رافر:** تعداد سلول ۱۲ عدد، دبی پالپ خوراک ۲۰۷۶ متر مکعب در ساعت، درصد جامد ۳۴ درصد، دبی پالپ باطله ۱۹۰۶ متر مکعب در ساعت، درصد جامد باطله ۴۴/۳ درصد، زمان ماند ذرات در سول رافر ۳۳ دقیقه در هر سلول، دبی پالپ کنسانتره ۲۶۹ متر مکعب در ساعت، درصد جامد کنسانتره ۲۸/۶ درصد، دانه بندی خوراک  $d_{80}=100\mu\text{m}$ ، حجم عملیاتی مخزن ۱۳۰ متر مکعب، فشار هوایی لازم ۲۷ متر مکعب در دقیقه برای هر سلول است.

**هیدروسیکلون ثانویه:** در این سیکلون دانه بندی مواد صورت می گیرد و خوراک آن کنسانتره رافر و رمق گیر (اسکاونجر) و خروجی آسیای گلوله ای ثانویه می باشد. سریز آن به ناحیه شستشو و ته ریز آن برای خردایش مجدد به آسیای گلوله ای ثانویه جریان می یابد.

**آسیای گلوله ای ثانویه:** این آسیا برای خردایش ته ریز هیدروسیکلون ثانویه به منظور افزایش درجه آزادی کانی ها به کار گرفته شده است.

**مشخصات:** تعداد ۱ عدد، اندازه (متر)  $3/962 \times 5/791$ ، ماکزیمم اندازه گلوله ۲۵ میلیمتر، نوع گلوله فولادی، ابعاد مواد ورودی زیر  $0/3$  ملیمتر و ابعاد خروجی  $0/1$  میلیمتر، دبی پالپ خوراک ۲۵۱ متر مکعب در ساعت، درصد جامد مواد داخل آسیا  $67/3$  درصد است.

**رمق گیر (اسکاونجر):** باطله ستون کلینر جهت رمق گیری به ۴ سلول فلوتاسیون اسکاونجر از نوع RCS50 هدایت می گردد. باطله آن به تیکر باطله و کنسانتره آن به همراه کنسانتره رافر و خروجی آسیای ثانویه به هیدروسیکلون ثانویه پمپ می شود.

**مشخصات:** عیار خوراک  $1/99$  درصد مس، عیار کنسانتره ۷ درصد مس، عیار باطله  $0/34$  درصد مس، حجم عملیاتی ۵۰ متر مکعب، قطر و ارتفاع به ترتیب  $4/5$  و  $4/195$  متر، سرعت همزن  $140$  rpm، دانه بندی خوراک  $d_{80} = 40 \mu m$ ، درصد جامد  $16/7$  درصد، دبی پالپ خوراک ۵۷۲ متر مکعب در ساعت، زمان ماند پالپ ۱۵ دقیقه است.

## **۲-۲-۳ سلول هایی شستشو**

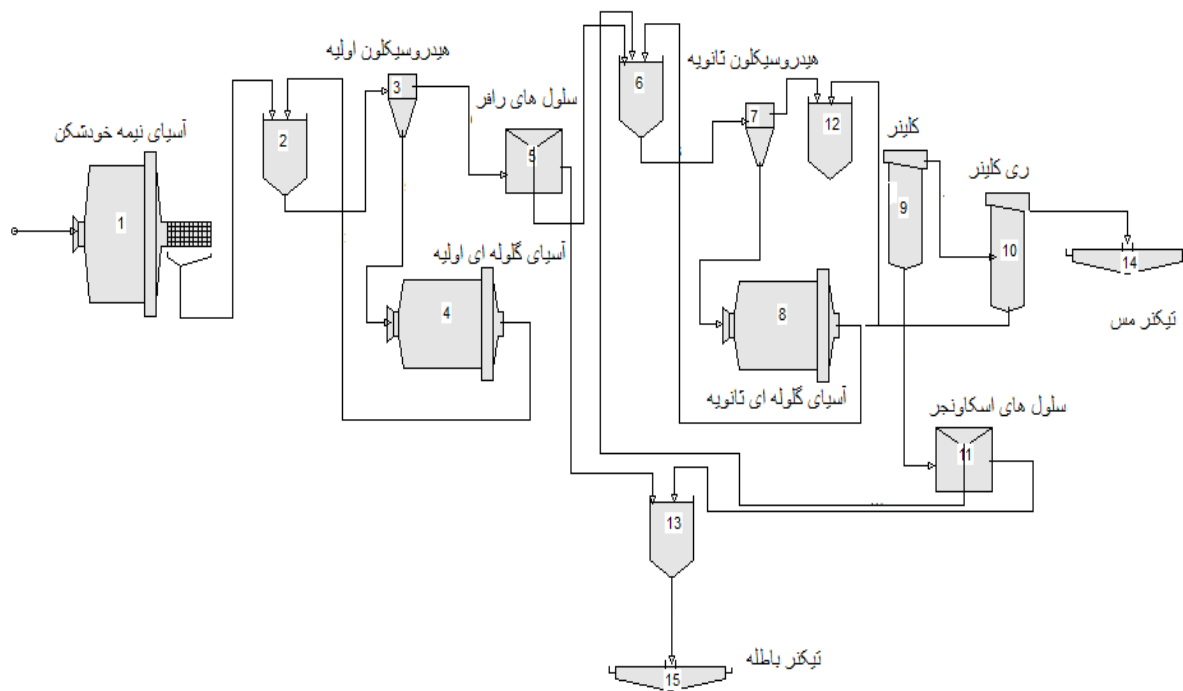
**سلول شستشویی اولیه (کلینر):** خوراک این سلول، سریز هیدروسیکلون ثانویه به همراه باطله سلول شستشویی ثانویه (ری کلینر) با عیار مس  $7/07$  درصد و عیار کنسانتره از آن  $18/66$  درصد و باطله آن  $1/99$  درصد است.

**مشخصات:** نوع سلول ستونی مدل svedala CISA، تعداد ۲ عدد، قطر داخلی، خارجی و ارتفاع به ترتیب ۴، ۲ و ۱۲ متر است. حجم ستون ۱۵۰ متر مکعب، سرعت ظاهری خوراک ۱ سانتیمتر در ثانیه، حجم هوایی لازم ۸۰۰ متر مکعب در ساعت، فشار هوای لازم ۴ بار، تعداد همزن استاتیکی در سیستم حباب ۱۲ عدد، دبی آب لازم برای شستشو ۴۰ متر مکعب، دانه بندی خوراک  $d_{80}=40 \mu\text{m}$ ، درصد جامد خوراک ۲۲/۲ درصد، دبی پالپ خوراک ۵۳۵ متر مکعب در ساعت، زمان ماند ۱۰ دقیقه است.

**سلول شستشویی ثانویه (ری کلینر):** خوراک آن کنسانتره دو سلول کلینر می باشد. عیار کنسانتره این مرحله به عنوان کنسانتره نهایی و باطله آن جهت شستشویی مجدد به کلینر برمی گردد. عیار خوراک، کنسانتره و عیار باطله به ترتیب ۱۸/۶۶، ۳۰ و ۷/۷۰ درصد است.

**مشخصات ری کلینر (سلول شستشویی ثانویه):** تعداد ۱ عدد، قطر داخلی، خارجی و ارتفاع به ترتیب ۴، ۴/۹ و ۹ متر است. حجم ستون ۱۱۳ متر مکعب، سرعت ظاهری خوراک ۱ سانتیمتر در ثانیه، حجم هوایی لازم ۸۰۰ متر مکعب در ساعت، فشار هوای لازم ۴ بار، تعداد همزن استاتیکی در سیستم حباب ۱۴ عدد، دبی آب لازم برای شستشو ۴۰ متر مکعب، دانه بندی خوراک  $d_{80}=40 \mu\text{m}$ ، درصد جامد خوراک ۲۸/۶ درصد، دبی پالپ خوراک ۱۰۲ متر مکعب در ساعت، زمان ماند ۱۰ دقیقه است.

در شکل (۲-۴) فلوشیت کارخانه مس سونگون نشان داده شده است [۱۸].



شکل (۲-۴) فلوشیت کارخانه تغلیظ مس سونگون

جدول (۲-۱) مصرف مواد شیمیایی در قسمت‌های مختلف مدار فرآوری مس سونگون را نشان می‌دهد. کلکتور سدیم ایزوپروپیل گزنات (Z11)، کلکتور اتیل ایزوپروپیل تیونوکربومات (A407)، گازوئیل (به عنوان کلکتور مولیبدن)، کف‌ساز متیل ایزوبوتیل کربونیل (MIBC)، کف‌ساز پلی پروپیلن گلیکول (A65)، آهک برای تنظیم pH مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول (۱-۲) اطلاعات مربوط به مواد شیمیایی

نوع مواد شیمیایی	هدف از مصرف	دانسیته (t/m <sup>2</sup> )	غلظت (%)	میزان مصرف (gr/ton)	محل مصرف
A343 (Z11 گزنتات)	کلکتور ۱	۱	۱۰	۵-۲۰	سلولهای فلوتاسیون
A407	کلکتور ۲		۱۰	۵-۲۰	سلولهای فلوتاسیون
(A70)MIBC	کف ساز ۱	۰/۹	۱۰۰	۵-۲۰	سلولهای فلوتاسیون
A65	کف ساز ۲	۰/۹۸	۱۰۰	۵-۲۰	سلولهای فلوتاسیون
سیلیکات سدیم و پتاسیم	تنظیم کننده		۱۰	۵-۲۰	سلولهای فلوتاسیون
شیر آهک	تنظیم کننده pH	۲/۵۱	۱۵	۲۵۰-۱۰۰۰	راکتورها





## فصل سوم

روش کار و ارائه یافته‌ها

### ۳-۱ مقدمه

محاسبات متالورژیکی و کنترل پارامترهای تعیین کننده یکی از خصوصیات اساسی کلیه عملیات‌های متالورژیکی است. با استفاده از این محاسبات کنترل عملیات در تمام قسمت هایی امکان پذیر می-شود. اما نکته قابل توجه این است، نمونه‌ای که تهیه می‌شود باید از هر نظر معرف باشد. همچنین آنالیزها باید با دقت و صحت بیشتری صورت گیرد. چون محاسبات براساس درصد عیار هر بخش صورت می‌گیرد.

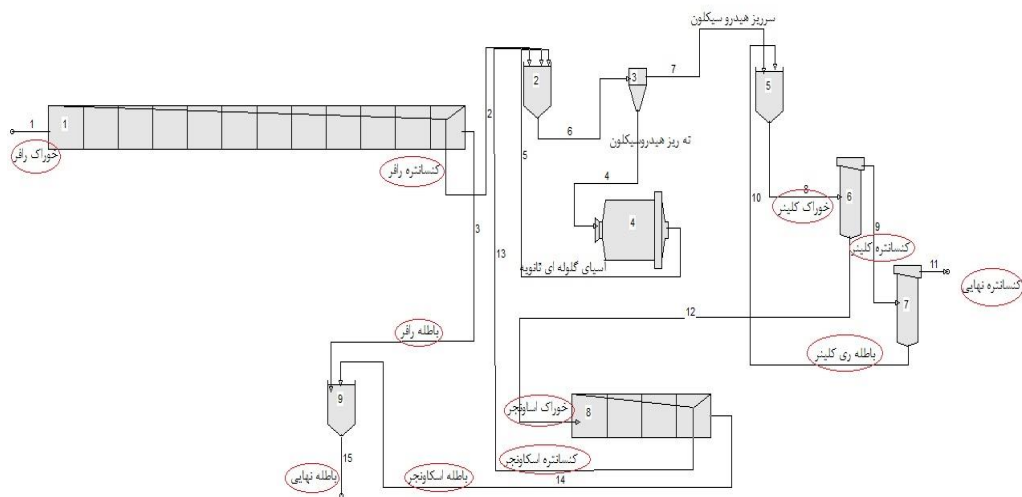
### ۳-۲ روش کار

به منظور دانه‌بندی و ارزیابی کارایی مدار فرآوری کارخانه تغلیظ مس سونگون از نقاط زیر نمونه-برداری کرده و پس از آماده سازی و تهیه نمونه معرف یک قسمت از آن برای آنالیز شیمیایی و قسمت دیگر برای آنالیزسرندهی انتخاب شد.

### نقاط نمونه‌برداری

۱- خوراک هیدروسیکلون اولیه (محصول ریز دانه سرنده کنترلی آسیای نیمه خودشکن و خروجی آسیای گلوله‌ای اولیه) ۲ - ته ریز هیدروسیکلون اولیه ۳ - سریز هیدروسیکلون اولیه (خوراک رافر) ۴ - خروجی آسیا گلوله‌ای اولیه ۵ - کنسانتره رافر ۶ - باطله رافر ۷ - خوراک هیدروسیکلون ثانویه ۸ - سریز هیدروسیکلون ثانویه ۹ - ته‌ریز هیدروسیکلون ثانویه ۱۰ - خروجی آسیا گلوله‌ای ثانویه ۱۱ - باطله کلینر (خوراک اسکاونجر) ۱۲ - کنسانتره اسکاونجر ۱۳ - باطله اسکاونجر ۱۴ - خوراک کلینر ۱۵ - کنسانتره کلینر (خوراک ری کلینر) ۱۶ - باطله ری کلینر ۱۷ - کنسانتره نهایی (کنسانتره ری کلینر) ۱۸ - باطله نهایی. نمونه برداری با در نظر گرفتن زمان ماند پالپ در بخش هایی مختلف مدار و از تمام ورودی‌ها و خروجی‌های مختلف کارخانه انجام گرفت.

نمونه‌گیری در طی دوره زمانی دو ساعته و فواصل نمونه‌برداری بر اساس زمان ماند پالپ در بخش‌ها مختلف که بنابر مندرج در دستور العمل شرکت سازنده برای هر بخش تعیین شده انجام شد. زمان ماند متوسط در سلول کلینر ۱۵ دقیق در ری کلینر و اسکاونجر ۱۰ دقیقه است. نمونه برداری از سلول-های رافر با فاصله زمانی ۳۳ دقیقه و در مدت زمان دو ساعت گرفته شده است. شکل (۱-۳) فلوشیت مدار فرآوری کارخانه تغلیظ مس سونگون را نشان می‌دهد. نقاط مشخص شده بر روی فلوشیت، نقاطی هستند که علاوه بر دانه‌بندی، مطالعات مینرالوژی و آنالیز شیمیایی جهت رفتار سنجی کانی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل (۱-۳) فلوشیت مدار فرآوری و نقاط نمونه‌برداری شده

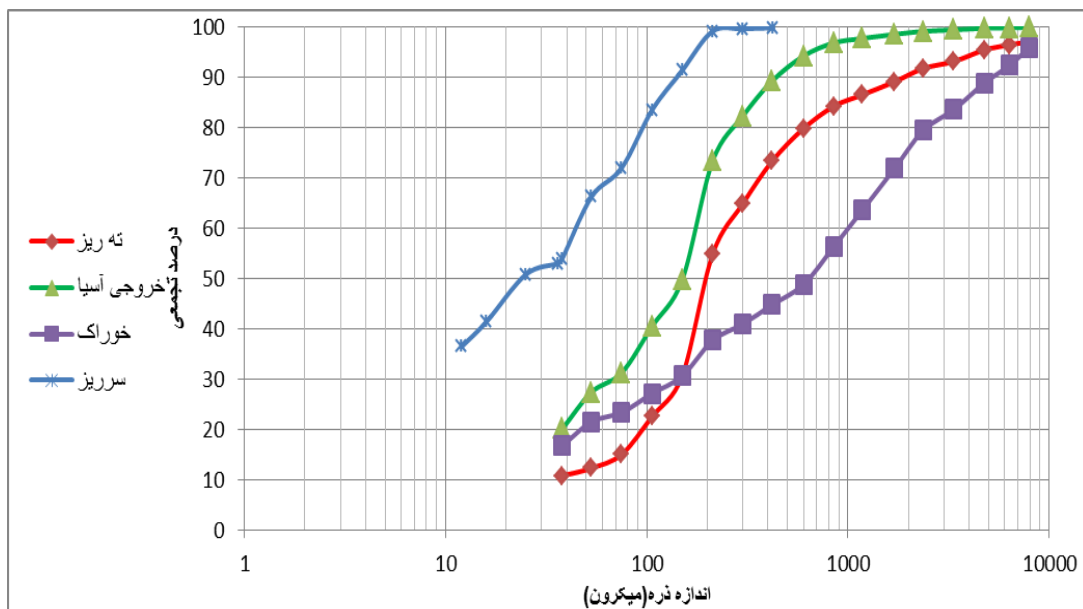
### ۳-۳ آنالیز دانه بندی نمونه‌ها

برای آنالیز دانه بندی از وسایل زیر استفاده شد:

- ✓ سری سرندهای آزمایشگاهی: ۴۲۵، ۳۰۰، ۲۱۲، ۱۵۰، ۱۰۰، ۷۵، ۵۳، ۳۸ میکرون
- ✓ سیکلوسایزر با جدایش: ۴۴، ۳۳، ۲۲، ۱۵، ۱۱ میکرون
- ✓ برای اندازه درشت از سری سرند: ۷۹۳۸، ۶۳۵۰، ۴۸۵۰، ۳۳۵۰، ۲۳۶۰، ۱۷۰۰، ۱۱۸۰، ۸۵۰ و ۶۰۰ میکرون

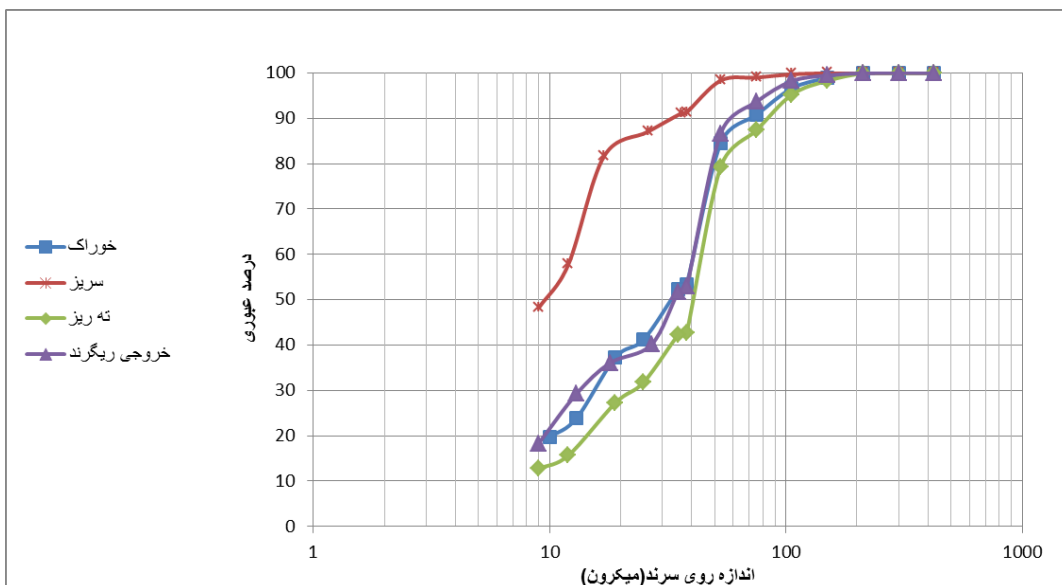
آنالیز سرندي بخش‌های مختلف مدار در شکل‌های (۲-۳) تا (۷-۳) نشان داده شده است. نمودارها، تغییرات اندازه ذرات بر حسب درصد تجمعی عبوری هستند. این دانه‌بندی برای خوراک، کنسانتره و باطله (رافر، اسکاونجر، کیلنر و ری کلینر) و همچنین برای خوراک، سرریز، ته ریز (هیدروسیکلون اولیه و ثانویه) و خروجی آسیای گلوله‌ای اولیه و ثانویه هستند.

در شکل (۲-۳) نمودار خوراک، محصول ریز سرندي کنترلی در خروجی آسیای نیمه خود شکن است. باتوجه به نمودارهای سرریز و ته ریز سیکلون می‌توان استنباط کرد که کارایی هیدروسیکلون اولیه در حد قابل قبول است.



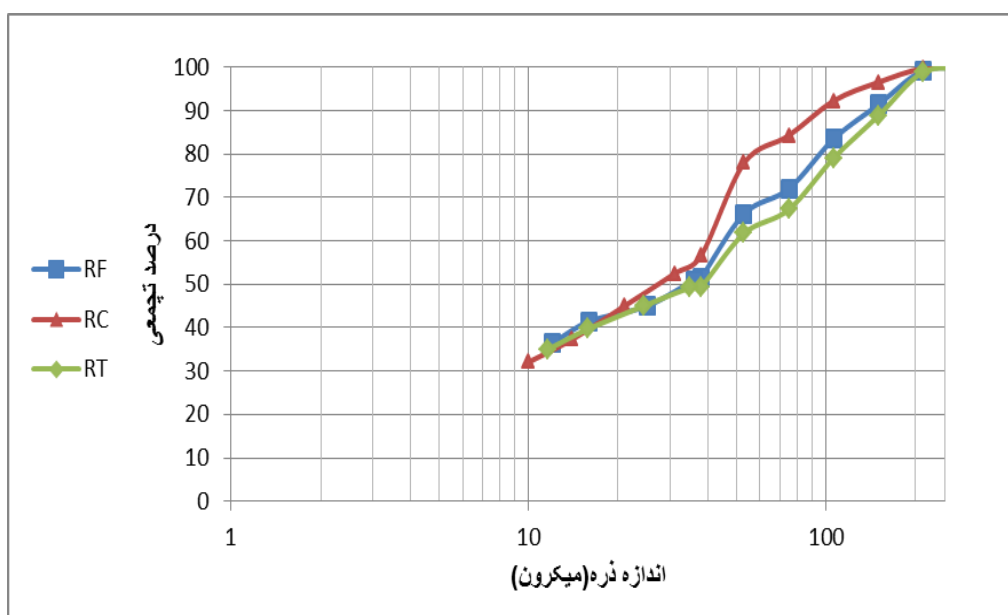
شکل (۲-۳) دانه‌بندی هیدروسیکلون اولیه

همان طوری که در نمودارهای شکل (۳-۳) مشاهده می‌شود، توزیع ذرات در سرریز به خوبی انجام نگرفته است، ولی برای ذرات درشت دانه‌بندی در حد قابل قبول است.

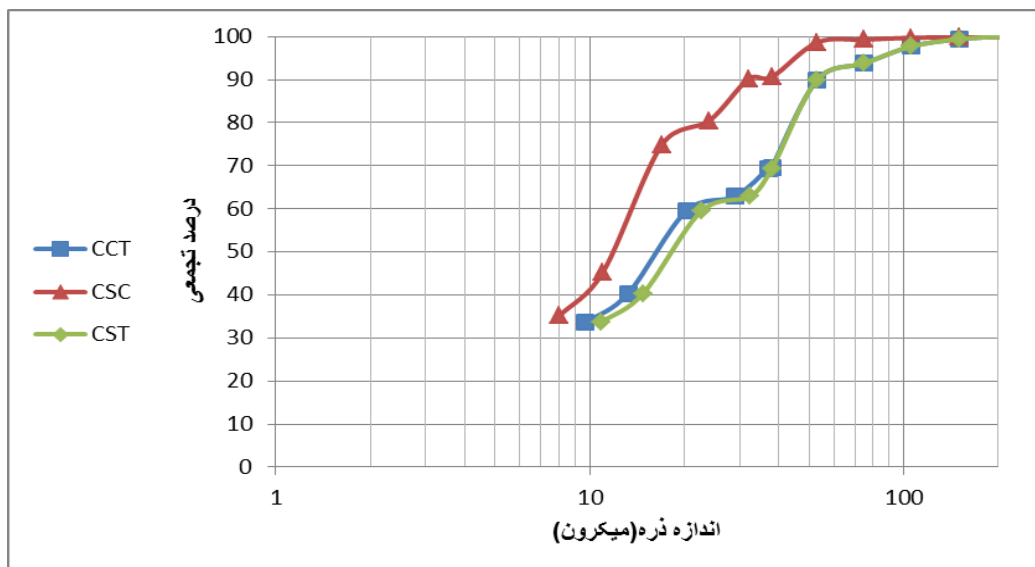


شکل (۳-۳) دانه‌بندی هیدروسیکلون ثانویه

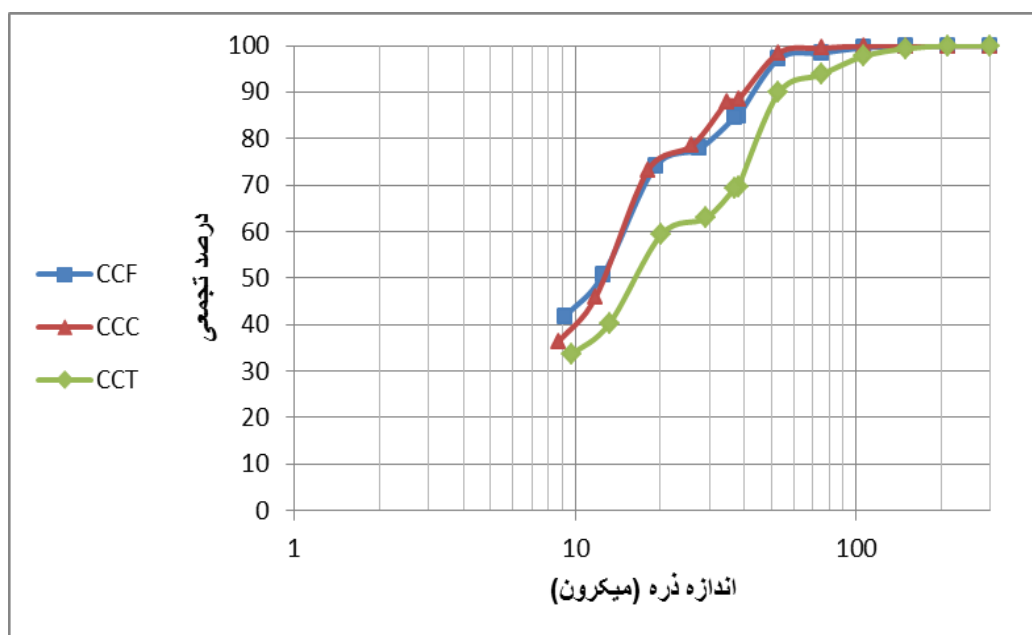
توزیع ابعاد ذرات بار ورودی به سلول‌های فلوتاسیون اهمیت خاصی دارد. محدوده بهینه ذرات و کارایی آن در فلوتاسیون به درجه آزادی و قابلیت شناور شونده بستگی دارد. فعالیت فلوتاسیون در مورد ذرات با ابعاد بسیار ریز و بسیار درشت کاهش می‌یابد. کاهش فعالیت فلوتاسیون در مورد ذرات با ابعاد بسیار درشت به دلیل آزاد نشدن کامل کانی‌های بارزش از گانگ و همچنین به دلیل عدم توانایی حمل چنین ذرات توسط حباب‌ها هوا است.



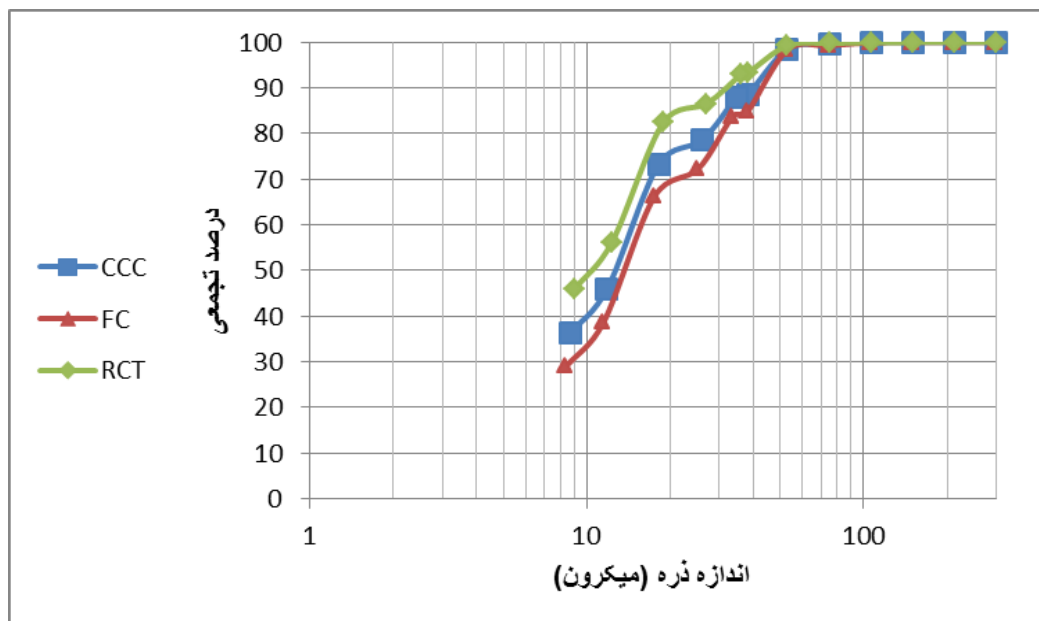
شکل (۳-۴) دانه‌بندی سلول‌های رافر (RT): خوراک، RC: کنسانتره، RT: باطله



شکل (۵-۳) دانه‌بندی سلول‌های اسکاونجر (CCT: خوراک، CSC: کنسانتره، CST: باطله)



شکل (۶-۳) دانه‌بندی سلول‌های کلینر (CCF: خوراک، CCC: کنسانتره، CCT: باطله)



شکل (۷-۳) دانه‌بندی سلول ری کلینر (CCC: خوراک، FC: کنسانتره، RCT: باطله)

### ۳-۴ ارزیابی کارایی مدار فلو تاسیون

برای بررسی کارایی مدار در ابتدا از داده‌های روزانه کارخانه فرآوری استفاده شد. در این بررسی با استفاده از عیار مس، بازیابی و کارایی جدایش در رافر، کلینر و ری کلینر محاسبه شد که این تغییرات در شکل (۳-۸) تا (۳-۱۰) مشخص شده است. با توجه به نمودارها، بازیابی و کارایی جدایش در سلول‌های رافر مطلوب می‌باشد ولی در سلول‌های کلینر و ری کلینر کاهش نشان می‌دهد. بازیابی از فرمول (۳-۱) محاسبه شده است:

$$R = \frac{c(f-t)}{f(c-t)} \times 100 \quad (3-1)$$

R: درصد بازیابی

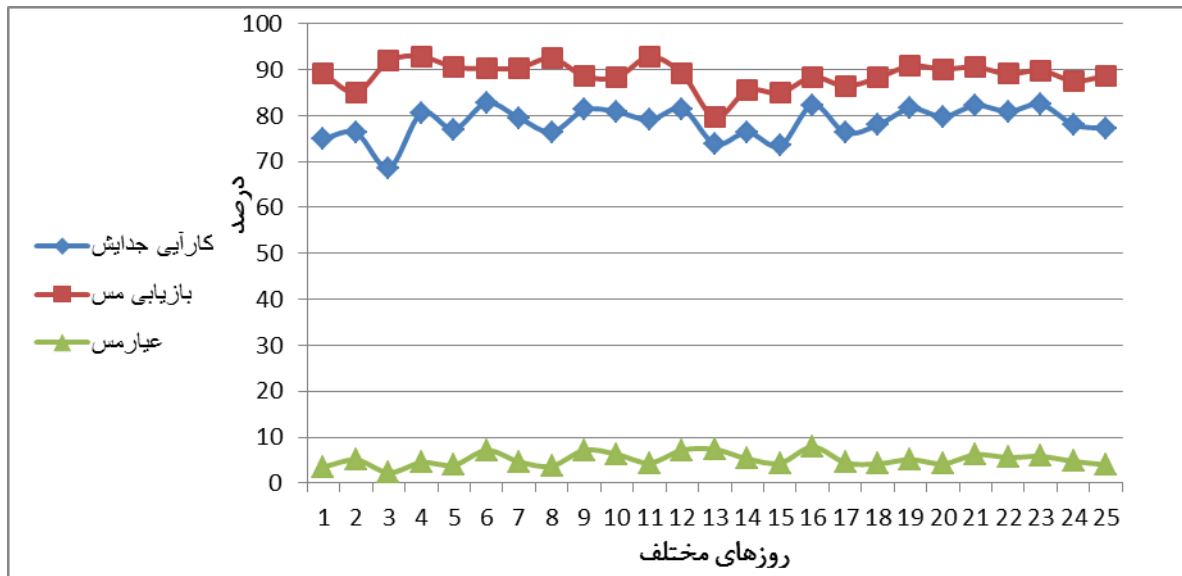
f، c، t به ترتیب درصد عیار عنصر در خوراک، کنسانتره و باطله می‌باشد.

برای محاسبه کارایی جدایش از فرمول (۳-۲) استفاده شده است.

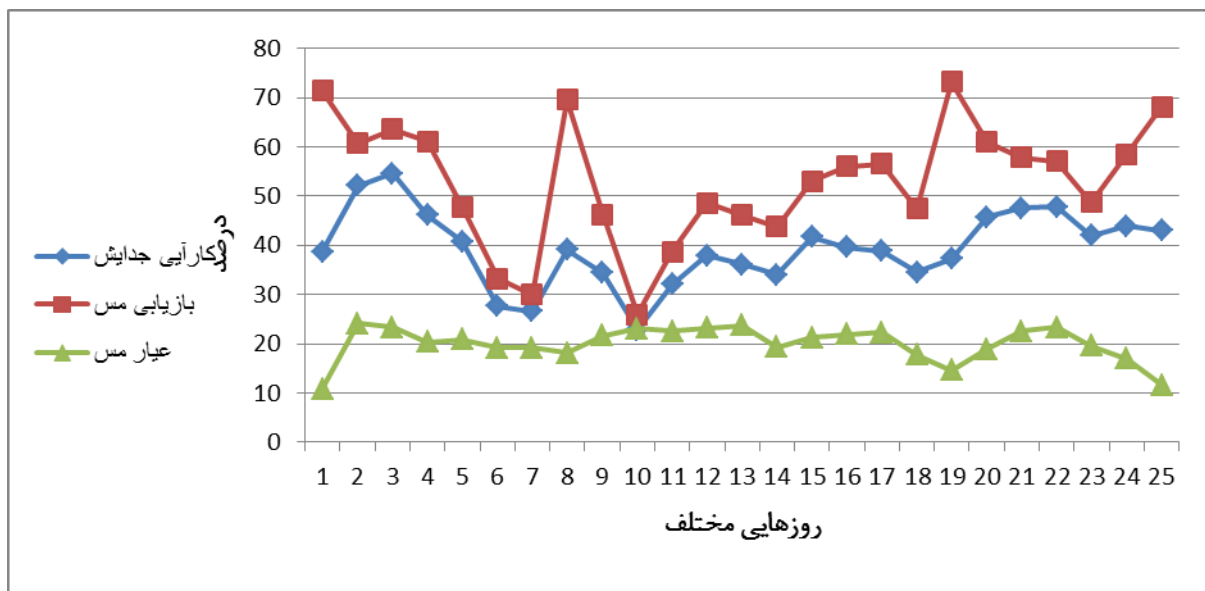
$$S.E = \frac{c(f-t)(c-f)(100-t)}{f(c-t)^2(100-f)} \times 100 \quad (3-2)$$

SE: کارایی جدایش

f، c، t، به ترتیب درصد عیار عنصر در خوراک، کنسانتره و باطله می‌باشد.

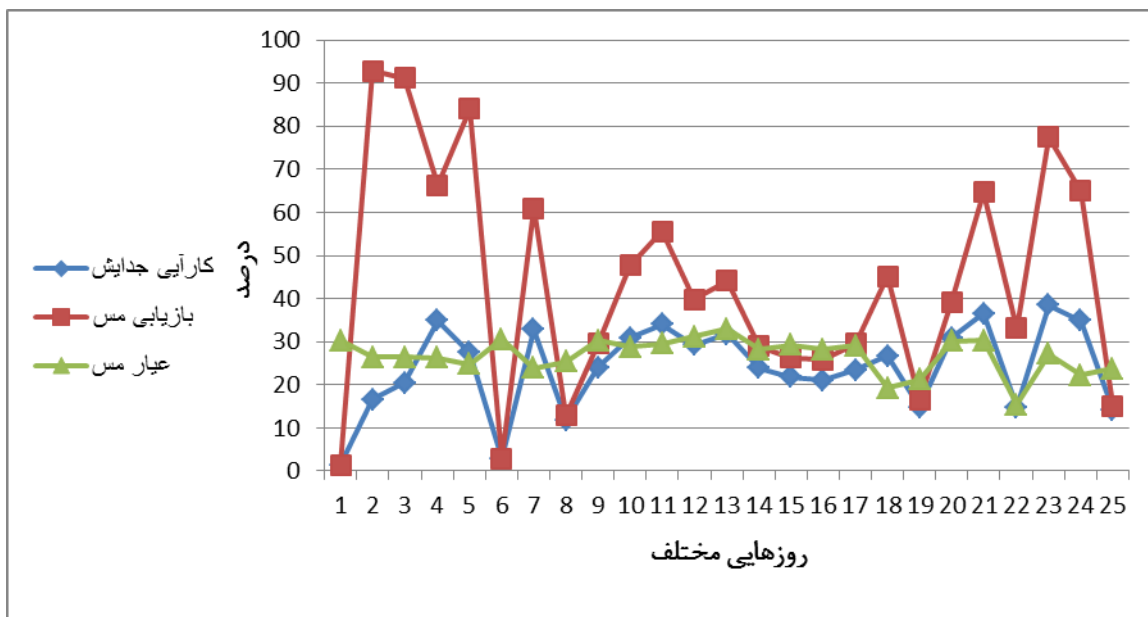


شکل (۳-۸) تغییرات عیار مس، بازیابی و کارایی جدایش در سلول‌های رافر



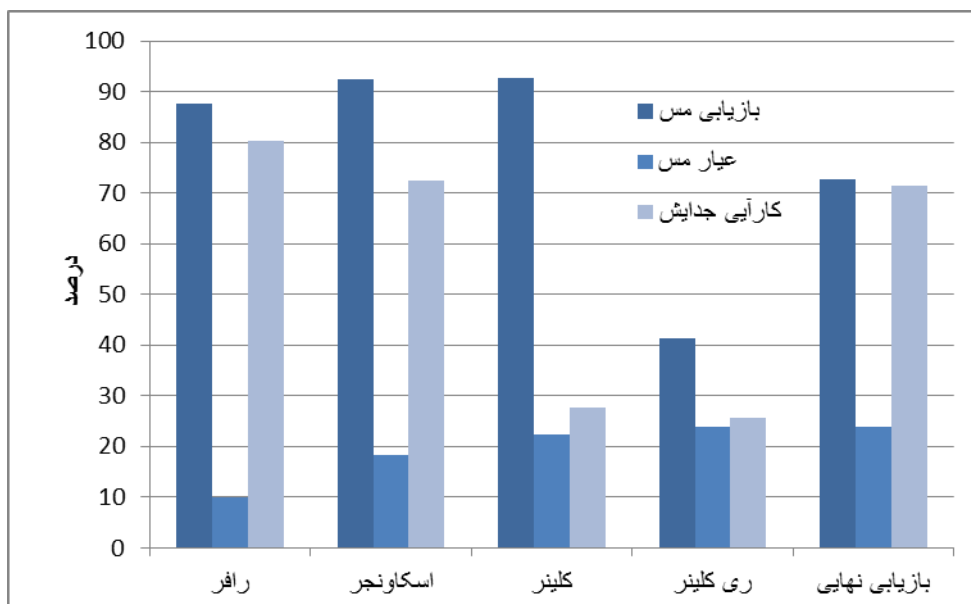
شکل (۳-۹) تغییرات عیار مس، بازیابی و کارایی جدایش در سلول‌های کلینر (سلول‌های شستشوی اولیه)



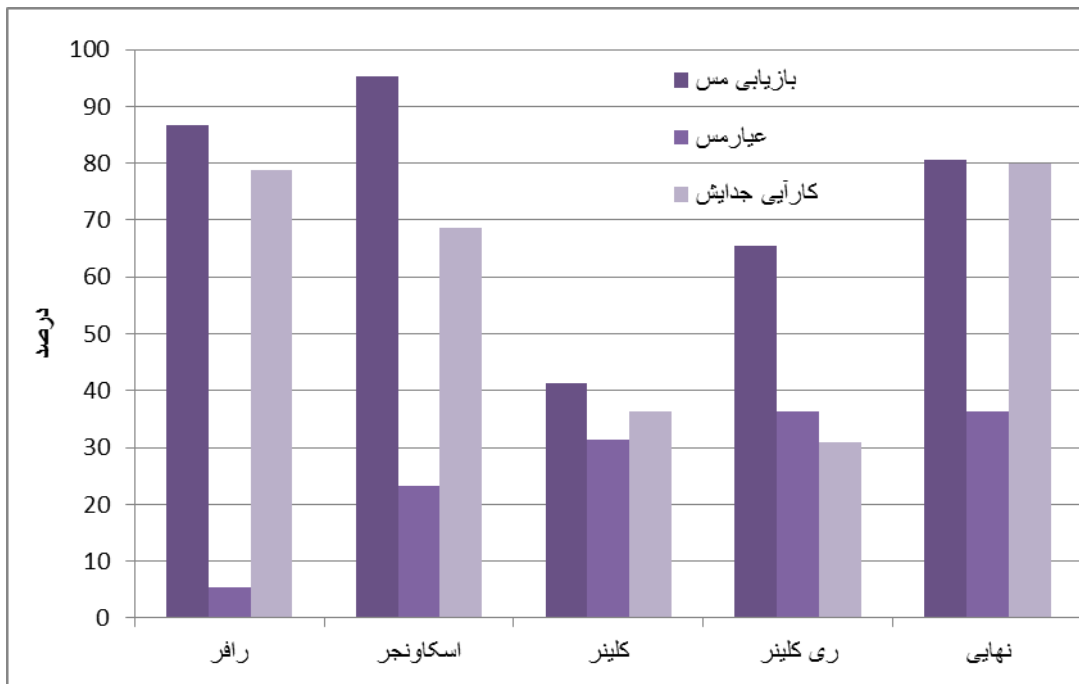


شکل (۳-۱۰) تغییرات عیار مس، بازیابی و کارایی جدایش در سلول ری کلینر (سلول شستشوی ثانویه)

در مرحله دوم علاوه بر سلول‌های اشاره شده از سلول‌های اسکاونجر (رمق گیر) نیز نمونه برداری کرده و مورد ارزیابی قرار گرفت که در شکل (۳-۱۱) و (۳-۱۲) نشان داده شده است. کارایی جدایش در رافر و اسکاونجر مطلوب ولی در کلینر و ری کلینر پایین می‌باشد.



شکل (۳-۱۱) تغییرات عیار مس، بازیابی و کارایی جدایش در بخش‌های مختلف مدار در روز اول



شکل (۳-۱۲): تغییرات عیار مس، بازیابی و کارایی جدایش در بخش‌های مختلف مدار روز دوم

کارایی جدایش در رافر و اسکاونجر مطلوب ولی در کلینر و ری کلینر پایین می‌باشد.

### ۳-۵ بررسی مینرالوژیکی در مدار فرآوری مس سونگون

#### ۳-۵-۱ روش تهیه قرص برای مطالعات مینرالوژی

پس از آماده سازی نمونه‌ها و تهیه ریز نمونه برای بخش‌های نمونه برداری شده قرص‌ها برای مطالعات مینرالوژی تهیه شد. برای تهیه این قرص‌ها از پودر قالب‌گیری (بکلیت<sup>۱</sup>) استفاده شد.

پودر قالب‌گیری از ۶۷-۵۸ درصد کک ذغال به همراه گرافیت و ۴۲-۳۳ درصد کانی‌های سیلیکاته می‌باشد، که با حرارت دادن ذوب شده و پس از سرد کردن سفت می‌شود. میزان مصرف بکلیت برای تهیه قرص‌ها متفاوت است. برای نمونه‌های با عیار بیشتر مانند کنسانتره، ۱۴ گرم آن را با ۰/۷۵ گرم نمونه و برای عیار پایین مانند خوراک و باطله این نسبت ۱۲ گرم بکلیت با ۳ گرم نمونه ترکیب می‌شود.

<sup>۱</sup>-Bakelet

بعد از مخلوط کردن نمونه و بکلیت، نمونه آماده شده درون قالب استوانه‌ای شکل قرار می‌گیرد. این قالب استوانه‌ای از انتهای بالای قابل مسدود شدن و از انتهای پایینی به یک جک هیدرولیکی وصل است. نقش این جک ایجاد فشار بر فشرده کردن نمونه است. در واقع نمونه تحت فشار و درجه حرارت معین تهیه می‌گردد. از جمله مزیت‌های این نوع پخت تحت فشار، هدایت کردن ذرات به انتهای پایینی و خارج کردن حباب هوا می‌باشد. میزان فشار مورد نیاز برای تهیه نمونه ۴۰۰ psi، درجه حرارت ۳۰۰°C و مدت زمان پخت ۱۰ دقیقه است. قابل ذکر است که این فشار در زمان پخت و تا سرد شدن نمونه ثابت می‌ماند و برای جلوگیری از جدا شدن ذرات می‌باشد.

### ۳-۵-۲ روش تعیین درجه آزادی و درصد وزنی کانی‌های حاوی مس و آهن

برای محاسبه درجه آزادی، از روش شمارش خطی ذرات بوسیله مطالعات میکروسکوپی با بزرگ نمایی ۲۰۰ برابر (عدسی شئی ۲۰× و عدسی چشمی ۱۰×) استفاده شده است. کانی‌های مد نظر به دو دسته بارزش و بی‌ارزش تقسیم شوند.

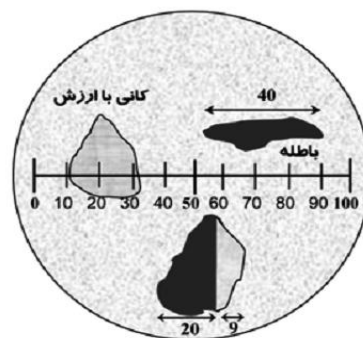
وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )	فرمول شیمیایی	کانی‌های فلزی بی‌ارزش
۵/۰۵	FeS <sub>2</sub>	پیریت
۳/۶۵	FeOOH	لیمونیت
۴/۲	ZnS	اسفالریت
۵/۲۵	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	هماتیت
۵/۲	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	مگنتیت

وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )	فرمول شیمیایی	کانی‌های فلزی بارزش
۵/۶	Cu <sub>2</sub> S	کالکوسیت
۴/۷	CuS	کوولیت
۴/۲	CuFeS <sub>2</sub>	کالکوپیریت
۵/۲	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	بورنیت
۸/۹۲	Cu	مس خالص
۴/۷	MoS <sub>2</sub>	مولیبدنیت

از لحاظ آماری، در قرص‌های نمونه باطله و خوراک، حداکثر ذراتی که باید شمارش شوند به ۵۶۰ دانه پیریت و در قرص نمونه کنسانتره به ۱۰۰ دانه کالکوپیریت محدود می‌شود. در این محدوده تمامی ذرات فلزی یاد شده شمارش می‌شوند.

### ۳-۵-۳ محاسبه درصد وزنی کانی‌های حاوی مس به روش خطی

در شکل (۳-۱۳) نحوه شمارش کانی‌ها و محاسبه درصد حجمی آنها در زیر میکروسکوپ نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۳) محاسبه درصد حجمی کانی در زیر میکروسکوپ

✓ درخاتمه شمارش خطی میکروسکوپی، مجموع طول ذرات حاوی مس (کالکوسیت، کالکوپیریت و کوولیت) در یک جهت خطی، به دو صورت قفل شده و آزاد، محاسبه می‌شود. در تخمین درجه آزادی، هر کانی حاوی مس که به یک کانی مس دیگر چسبیده باشد، به صورت ذرات آزاد محاسبه می‌شود. این امر بدین دلیل است که در عملیات شناورسازی ذرات بارزش کانی، کانی مس رفتار یکسانی از خود نشان می‌دهند. و در صورت مناسب بودن شرایط به کنسانتره راه پیدا می‌کنند.

✓ پس از محاسبه درصد حجمی هر کانی ( $V_i$ )، وزن هر کانی، چه به صورت آزاد و چه بصورت قفل شده، با ضریب وزن مخصوص کانی مربوطه،  $\rho_i$ ، درصد حجمی آن محاسبه می‌گردد.

درصد وزنی کانی‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$W_{Mi} = \frac{V_i p_i}{\sum V_i p_i} \times 100 \quad (3-3)$$

$W_{mi}$ : درصد وزنی کانی  $i$

✓ سپس درصد وزنی عنصر مس در کانیهای حاوی مس با استفاده از فرمول شیمیایی آنها محاسبه می‌گردد. بطور مثال هر ۱۰۰ گرم کانی کالکوپیریت حاوی ۳۴/۷۸ g عنصر مس می‌باشد.

$$W_{cu,i} = \frac{G_i W_{Mi}}{100} \quad (4-3)$$

$G_i$ : درصد وزنی عنصر مس در کانی  $i$

✓ در مرحله بعدی توزیع عیار هر کانی ( $D_i$ ) که همان سهم عنصر مس هر یک از کانی‌ها از کل عیار بدست آمده می‌باشد. مثلاً اگر کل عیار محاسبه شده برای عنصر مس ۴۱/۰۳٪ و فراوانی کانی کالکوسیت آزاد ۸/۰۶۳٪ باشد، توزیع عیار کانی کالکوسیت برابر است با:

$$\left( \frac{8/063}{41/03} \right) \times 100 = \%19/651$$

✓ سپس درصد وزنی کانی‌های حاوی مس محاسبه می‌گردد.

از آنجاییکه درصد وزنی محاسبه شده کانی‌های مس به دلیل وجود کانی‌های دیگر واقعی نمی‌باشد، برای محاسبه درصد وزنی واقعی، از عیار عنصر مس حاصل از آنالیز شیمیایی ( $G_{Lab}$ ) استفاده می‌شود.

$$W_{True,cu,i} = \frac{G_{Lab} D_i}{100} \quad (5-3)$$

$W_{True,cu,i}$ : درصد وزنی عنصر مس کانی  $i$  از عیار کل نمونه، از طریق فرمول شیمیایی کانی مربوطه می‌توان به درصد وزنی کانی حاوی مس دست یافت.

### ۳-۶ مطالعات کانی شناسی

در این تحقیق پس از نمونه برداری از کارخانه فرآوری مس سونگون میزان عیار مس و آهن به روش فلورسانس اشعه ایکس (X-ray fluorescence) و مولیبدن به روش جذب اتمی و توسط دستگاه اسپکتروفتومتری اندازه گیری شده و مطالعات کانی شناسی توسط میکروسکوپ انعکاسی مدل (Olympus-BX20) انجام گرفته است.

درصد کانی ها در خوراک رافر با استفاده از میکروسکوپ انعکاسی مطالعه شده است و در جدول (۳-۱) مشخص شده است. کالکوپیریت با ۰/۶۸ درصد بیشترین مقدار کانی مسی می باشد و کالکوسیت با ۰/۳ درصد در رتبه بعدی قرار دارد.

جدول (۳-۱) درصد وزنی کانی های باارزش و باطله در خوراک ورودی کارخانه

نوع کانی	درصد وزنی
کالکوسیت	۰/۳۰۰
کولیت	۰/۱۷۰
کالکوپیریت	۰/۶۸۰
پیریت	۵/۴۲۰
مولیبدنیت	۰/۰۲۸
اکسید آهن	۰/۵۵
کانی های غیر فلزی	۹۲/۹۲
مجموع	۱۰۰

پیریت به عنوان گانگ سولفیدی به مقدار ۵/۴۲۰ درصد در خوراک موجود است و مقدار گانگ سیلیکاته در خوراک ۹۲/۹۲ درصد است.

درصد وزنی کانی‌ها در خوراک در اندازه‌های مختلف در جدول (۲-۳) مشخص شده است. با توجه به جدول (۲-۳) بیشترین درصد وزنی کانی‌ها در اندازه زیر ۳۸ میکرون می‌باشد.

جدول (۲-۳) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک

اندازه ذرات (میکرون)	وزن به درصد	کالکوسیت	کولیت	کالکوپیریت	پیریت	مولیدنیت
+53	33.78	0.12	0.03	0.42	1.92	0.01
-53+38	14.69	0.27	0.24	1.18	7.53	0.04
-38+15	10.08	0.93	0.53	2.04	12.35	0.06
-15	41.44	0.31	0.17	0.38	5.85	0.03
مجموع	100	-	-	-	-	-

توزیع کانی‌های کالکوسیت، کولیت، کالکوپیریت، پیریت و مولیدنیت در خوراک رافر در اندازه - های (۵۳+، ۳۸+، ۵۳-، ۱۵+، ۳۸-، ۱۵-) در جدول (۳-۳) مشخص شده است.

جدول (۳-۳) توزیع کانی‌ها در خوراک کارخانه

اندازه ذرات (میکرون)	وزن به درصد	کالکوسیت	کولیت	کالکوپیریت	پیریت	مولیدنیت
+53	33.78	13.41	5.98	20.91	11.95	12.17
-53+38	14.69	13.11	20.84	25.56	20.39	21.18
-38+15	10.08	30.99	31.53	30.31	22.96	21.81
-15	41.45	42.49	41.65	23.22	44.70	44.84
مجموع	100	100	100	100	100	100

با توجه به جدول (۳-۳) بیشترین مقدار کالکوسیت در اندازه ذرات (۱۵-) به مقدار ۴۲٪ می‌باشد و بعد از آن در اندازه ذرات (۱۵+، ۳۸-) به مقدار ۳۱٪ درصد است. در مجموع این دو دانه بندی، کالکوسیت با ۷۳٪ در اندازه ذرات زیر ۳۸- میکرون وجود دارد. دلیل زیاد بودن مقدار کالکوسیت در این اندازه

ذرات، نرم بودن این کانی است. بنابراین در مرحله خردایش باید مورد توجه قرار گیرد تا از تولید نرمه زیاد جلوگیری شود.

### ۳-۶-۱ رافر

برای بررسی کارایی سلول‌های رافر از خوراک، کنسانتره و باطله رافر نمونه‌برداری شده و مورد آنالیز شیمیایی و مینرالوژی قرار گرفت. آنالیز در اندازه ذرات (+۵۳، +۳۸؛-۵۳، +۱۵؛-۳۸، -۱۵) مورد بررسی قرار گرفته است. در این نمونه‌برداری هر ۱۲ سلول رافر موجود در کارخانه به عنوان یک سلول در نظر گرفته شدند.

مطالعات کانی شناسی نمونه در آزمایشگاه کانی شناسی مجتمع مس سرچشمه انجام شده است. مطالعات کانی شناسی کمی با استفاده از آنالیز XRF و شمارش کانی در نمونه، انجام گرفت. آنالیز شیمیایی نیز در این مجتمع انجام شد.

### ۳-۶-۱-۱ آنالیز شیمیایی و مینرالوژی

آنالیز شیمیایی و عیارهای بدست آمده برای مس، مولیبدن و آهن در اندازه‌های مختلف در خوراک رافر در جدول (۳-۴) نشان داده شده است.

جدول (۳-۴) عیار مس، مس اکسیدی، آهن و مولیبدن

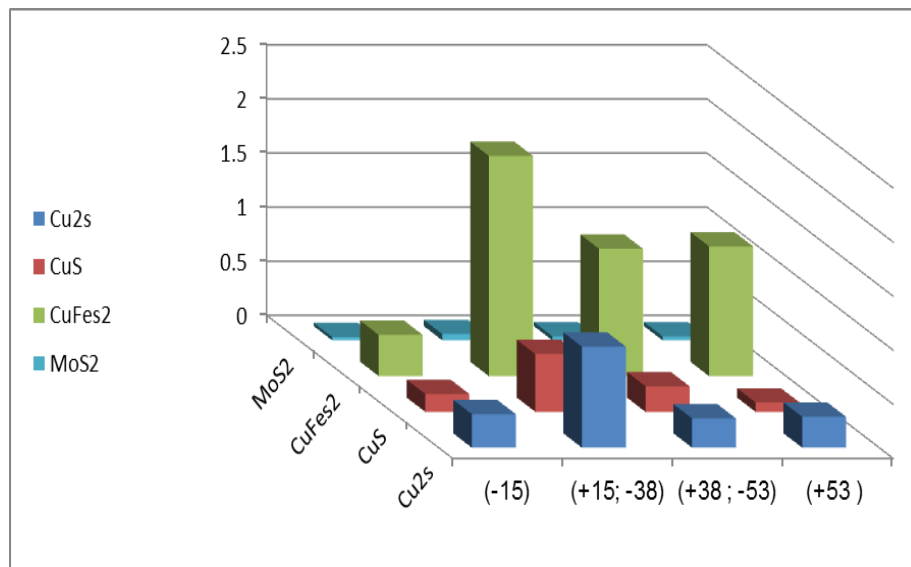
عیار مولیبدن	عیار آهن	عیار مس اکسیدی	عیار مس	اندازه ذرات (میکرون)
0.016	2.65	0.05	0.55	+ 53
0.022	4.31	0.09	0.87	-53 ;+38
0.035	6.67	0.15	1.98	-38;+15
0.018	3.07	0.14	0.63	-15



باتوجه به جدول (۳-۴) بیشترین مقدار مس سولفیدی، مس اکسیدی، مولیبدن و آهن در اندازه ذرات (۱۵+; -۳۸-) است.

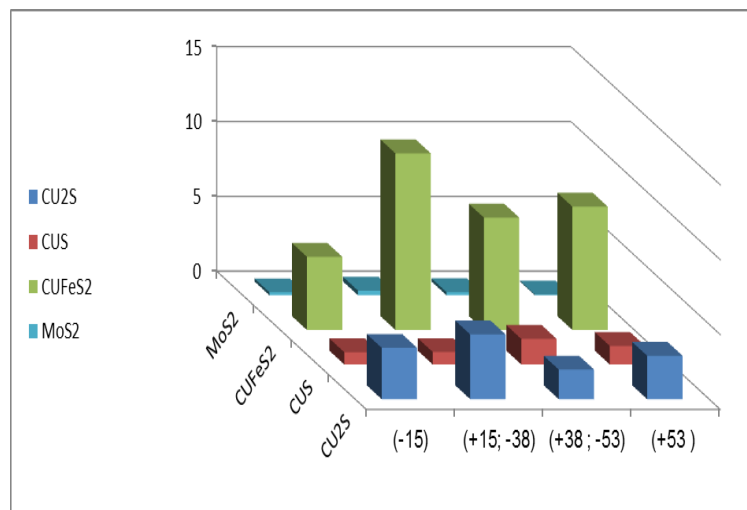
### ۳-۶-۱-۲ درصد وزنی کانی‌های مس، مولیبدن و پیریت

بررسی مقدار هر یک از کانی‌ها کالکوسیت ( $Cu_2S$ )، کالکوپیریت ( $CuFeS_2$ )، کوولیت ( $CuS$ ) و مولیبدنیت ( $MoS_2$ ) در اندازه‌های اشاره شده در قسمت بالا مورد ارزیابی قرار گرفته و در شکل‌های (۳-۱۴) تا (۳-۱۶) گزارش شده است.



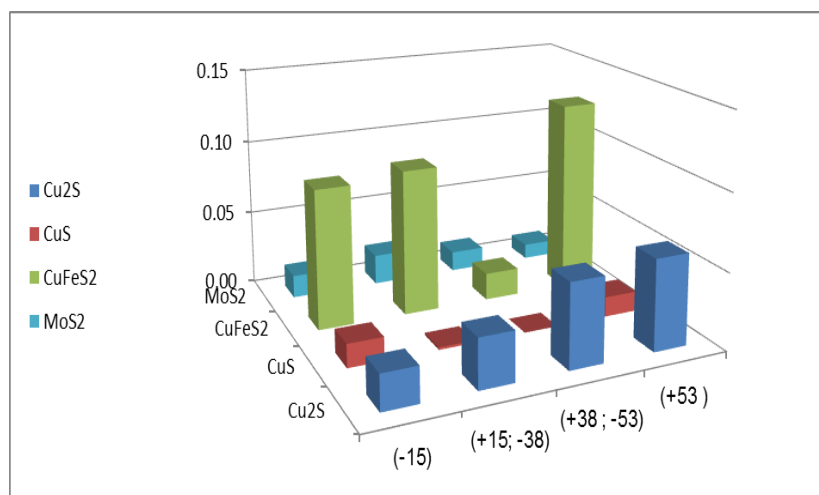
شکل (۳-۱۴) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک رافر

با توجه به شکل (۳-۱۴) بیشترین مقدار کالکوپیریت، کالکوسیت و کوولیت در اندازه ذرات (۱۵+; -۳۸-) میکرون است و کمترین مقدار کالکوپیریت در اندازه کوچکتر از ۱۵ میکرون، برای کالکوسیت در اندازه (۱۵+; -۵۳) میکرون و برای کوولیت در اندازه بالای ۵۳ میکرون است. درصد وزنی کانی‌ها کنسانتره رافر در شکل (۳-۱۵) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۵) درصد وزنی کانی‌ها در کنسانتره رافر

با توجه به شکل (۳-۱۵) بیشترین مقدار کانی‌های کالکوپیریت و کالکوسیت در کنسانتره در اندازه ذرات (۳۸؛+۱۵) میکرون می باشد. ولی بیشترین مقدار کولیت در اندازه ذرات (۳۸؛+۵۳) میکرون است. درصد وزنی کانی‌ها در باطله رافر در اندازه‌های مختلف در شکل (۳-۱۶) نشان داده شده است.

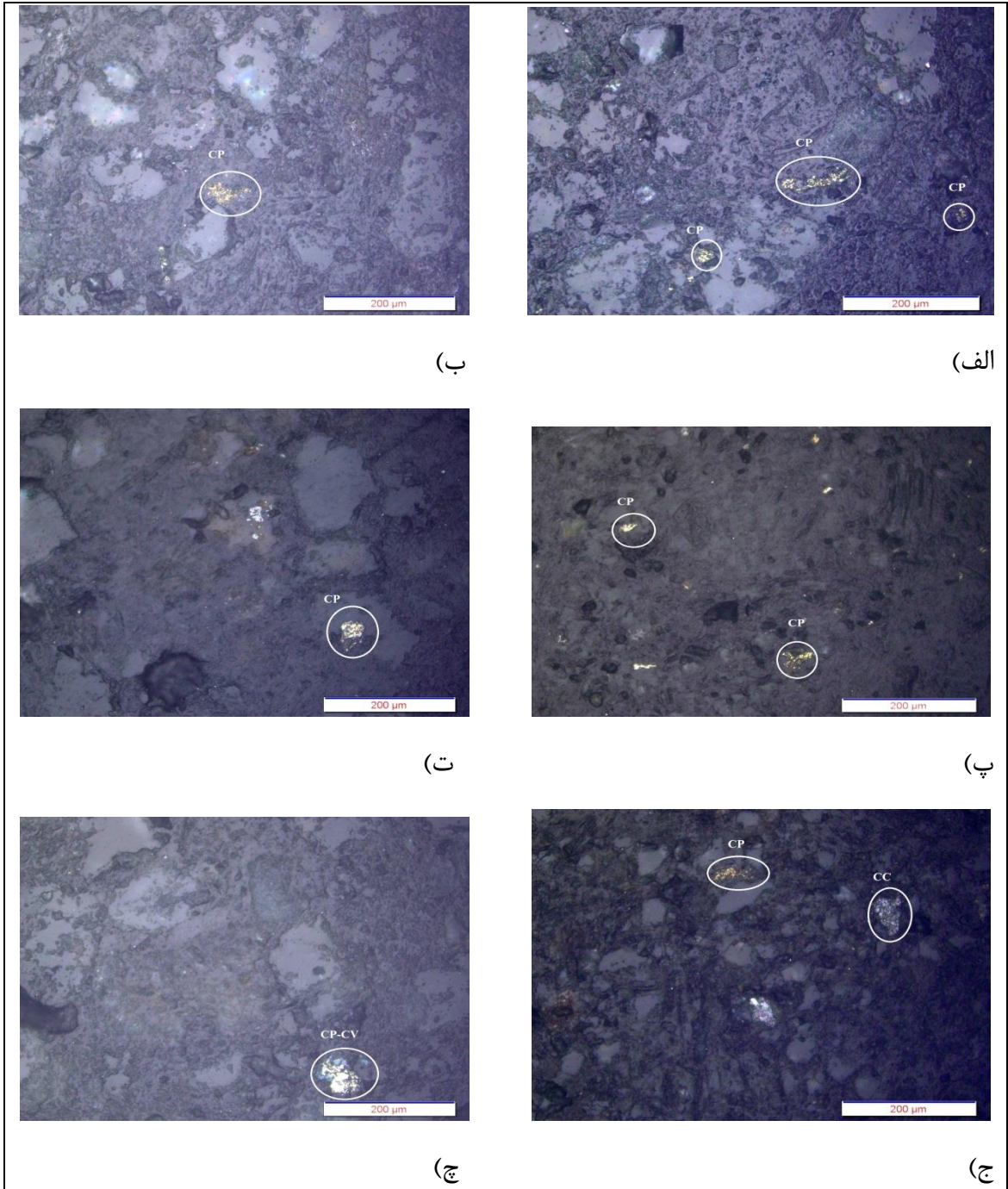


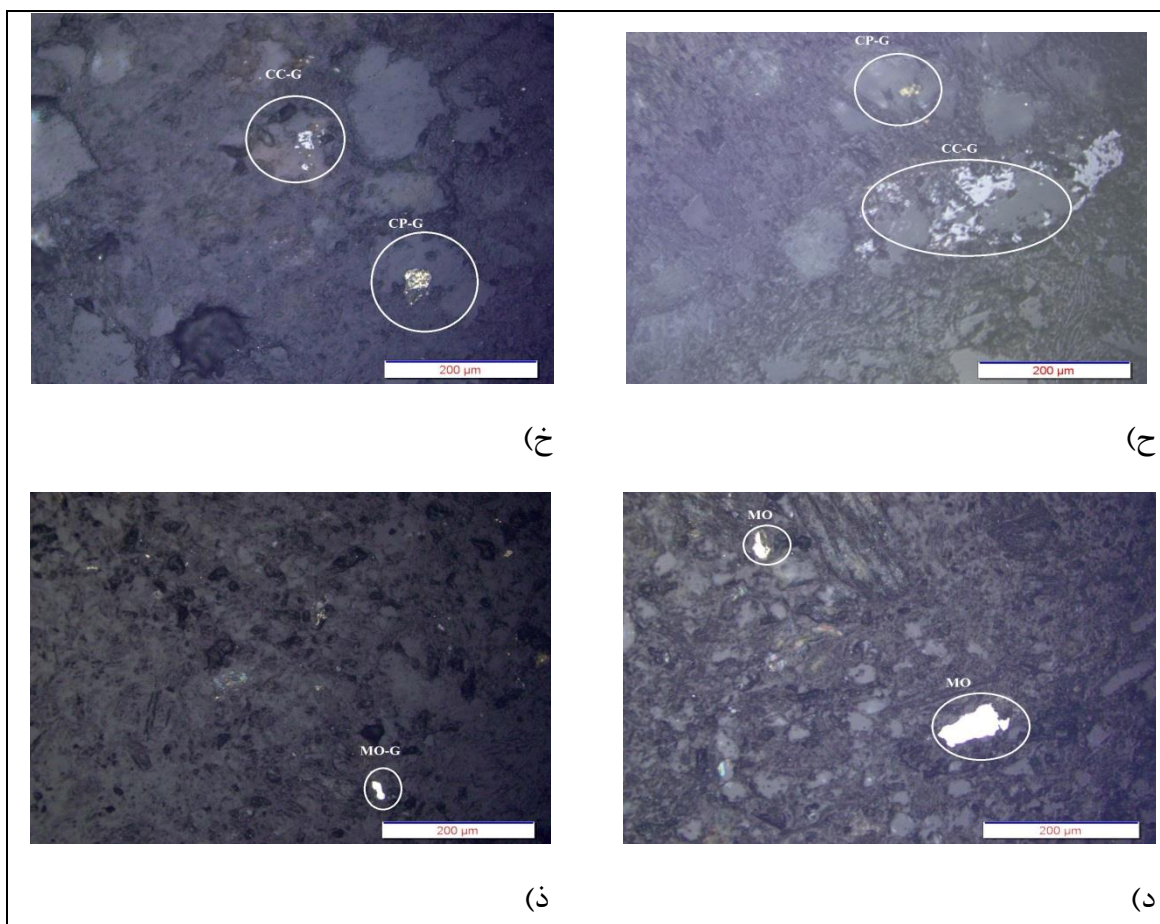
شکل (۳-۱۶) درصد وزنی کانی‌ها در باطله رافر در اندازه‌های مختلف

در شکل (۳-۱۶) بیشترین هدر روی کانی‌های کالکوپیریت، کالکوسیت و کولیت در اندازه بزرگتر از ۵۳ است. با کاهش اندازه ذرات مقدار هدر روی کانی کالکوسیت کاهش پیدا می کند. چون حباب‌ها قادر به حمل ذرات درشت به سطح کف نیستند. کمترین مقدار هدر روی کالکوپیریت در اندازه (۳۸؛-۵۳) میکرون است.

در شکل (۳-۱۷) انواع کانی‌های مسی و مولیبدنی را در باطله رافر در اندازه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

دهد.

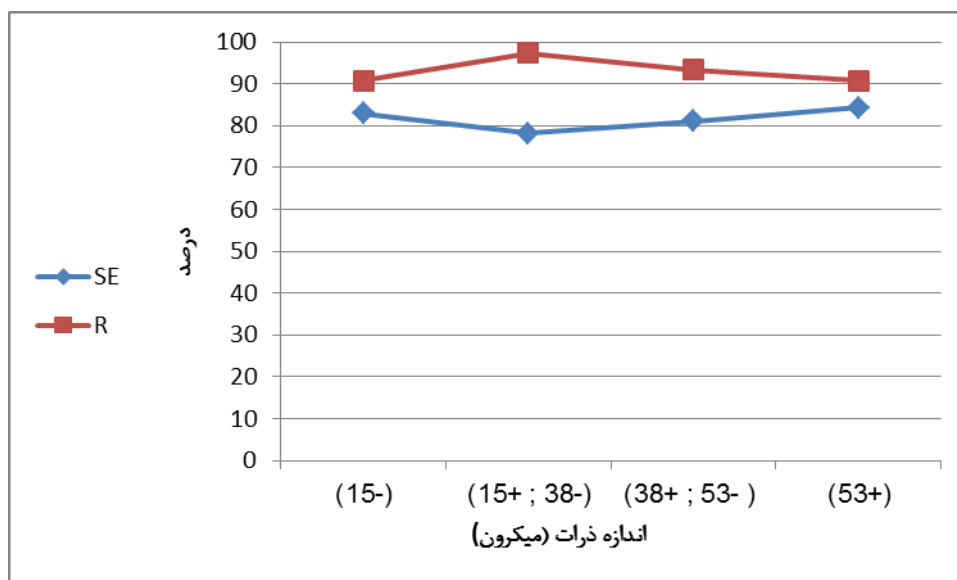




شکل (۳-۱۷) تصاویری از کالکوپیریت (CP)، کالکوسیت (CC)، کوولیت (CV)، مولیبدنیت (MO) و گانگ سیلیکاته (G) در مشاهده شده در مقاطع صیقلی در باطله رافر

### ۳-۱-۶-۳ بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی

بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در اندازه‌های مختلف در رافر در شکل (۳-۱۸) نشان داده شده است. با توجه به شکل مشخص می‌شود که بیشترین بازیابی مس سولفیدی در اندازه ذرات (۳۸-۱۵+) میکرون می‌باشد و در اندازه بزرگتر از ۵۳ میکرون و کوچکتر از ۱۵ میکرون بازیابی کاهش می‌یابد ولی در حالت کلی در همه اندازه ذرات، بازیابی بالای ۹۰ درصد می‌باشد. با بررسی کارایی جدایش مشخص می‌شود که جدایش در اندازه ذرات (۳۸-۱۵+) میکرون نسبت به سایر ذرات کمتر بوده است. بیشترین مقدار جدایش در اندازه ذرات بزرگتر از ۵۳ میکرون و کوچکتر از ۱۵ میکرون است.

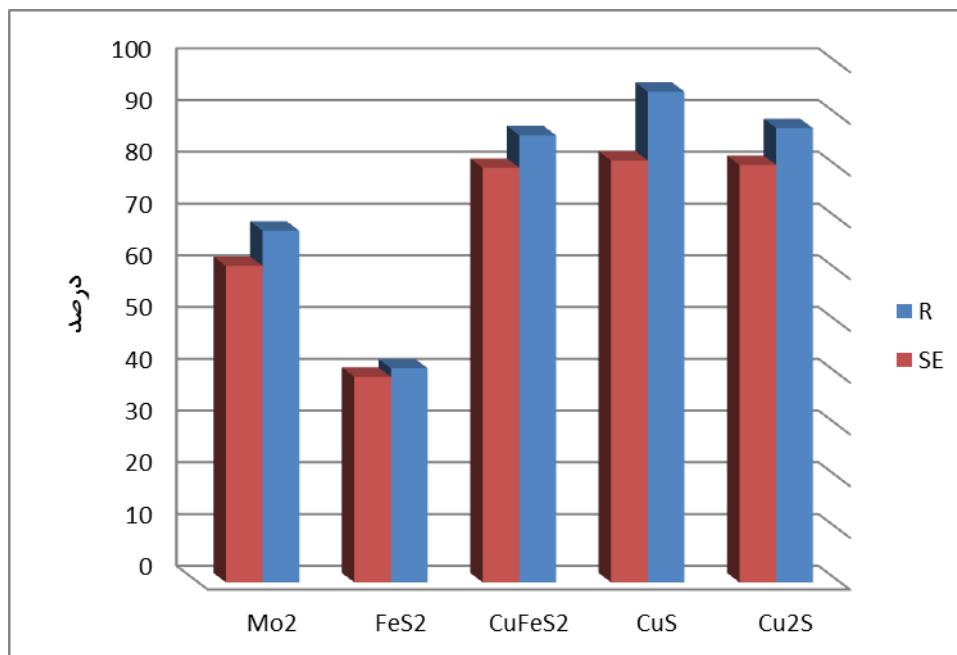


شکل (۳-۱۸) بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در اندازه‌های مختلف در رافر

در شکل (۳-۱۸) همان طوری که انتظار می‌رود روند تغییرات بازیابی و کارایی جدایش عکس یکدیگر هستند، به دلیل اینکه در مرحله رافر افزایش بازیابی مقادیر از کانی‌های باطله به کنسانتره راه پیدا کرده‌اند و منجر به کاهش جدایش می‌شوند. از طرفی دیگر در ابعاد ریزتر از ۱۵ میکرون و درشت تر از ۵۳ میکرون مقدار کارایی جدایش و بازیابی به هم نزدیک هستند. چون در این شرایط کمترین مقدار کانی کالکوپیریت وجود دارد. همین اختلاف بین بازیابی و کارایی جدایش در دانه بندی (۳۸-؛ ۱۵+) میکرون بیشترین اختلاف را دارند که به دلیل وجود بیشترین درصد پیریت در این دانه بندی بوده است.

### ۳-۶-۱-۴ بازیابی و کارایی جدایش کانی‌ها در رافر

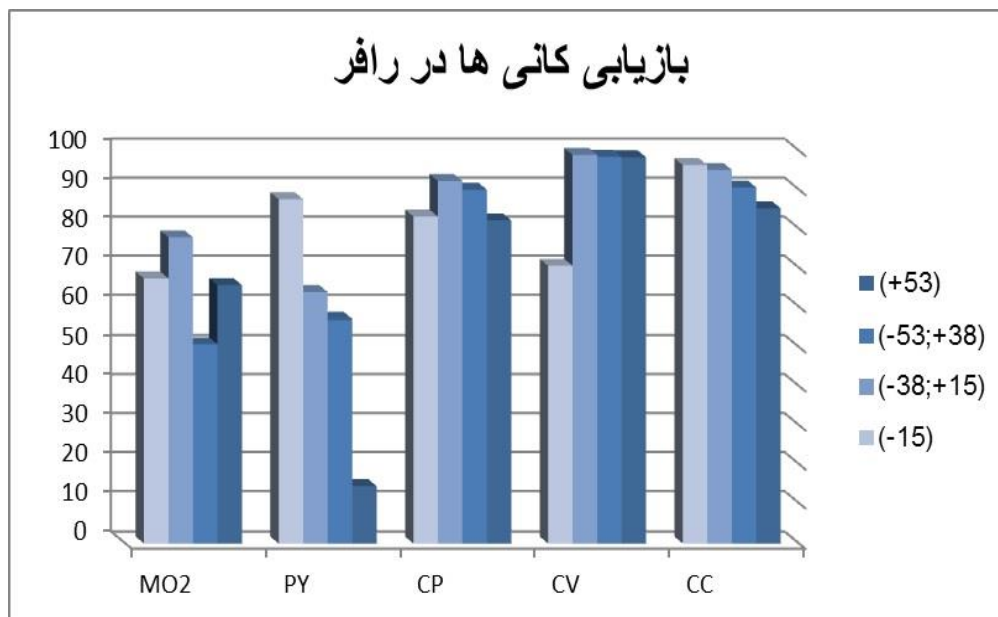
شکل (۳-۱۹) بازیابی و کارایی جدایش کانی‌های کالکوسیت (CuS)، کوولیت (Cu<sub>2</sub>S)، کالکوپیریت (FeCuS<sub>2</sub>)، پیریت (FeS<sub>2</sub>) و مولیبدنیت (MoS<sub>2</sub>) را در رافر نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳-۱۹) بازیابی و کارایی جدایش کانی کوولیت از دیگر کانی‌های مورد بررسی بیشترین مقدار را دارد. کانی‌های کالکوپیریت و کالکوسیت تقریباً بازیابی و کارایی جدایش یکسانی دارند. کانی پیریت بازیابی کمتر از ۴۰٪ و کانی مولیبدنیت بازیابی ۶۵٪ دارد.



شکل (۳-۱۹) درصد بازیابی (R) و کارایی جدایش (SE) کانی‌ها در رافر

### ۳-۶-۱-۵ بازیابی کانی‌ها با اندازه ذرات مختلف در رافر

در شکل (۳-۲۰) درصد بازیابی کالکوسیت (CC)، کوولیت (CV)، کالکوپیریت (CP)، پیریت (PY) و مولیبدنیت (MoS<sub>2</sub>) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳-۲۰) و (۳-۲۱) درمورد کانی کالکوسیت، با کاهش در اندازه ذرات، درجه آزادی افزایش می‌یابد و باعث افزایش بازیابی و کارایی جدایش این کانی می‌شود. وقتی کانی کالکوسیت به صورت آزاد بررسی می‌شود مشخص می‌شود، این کانی در اندازه ذرات بزرگتر از ۵۳ میکرون و کمتر از ۱۵ میکرون بازیابی کمتری نسبت به اندازه ذرات دیگر دارد. بازیابی کانی کوولیت در هر دو حالت آزاد و درگیر، بالا بوده است. ولی بازیابی این کانی در اندازه کمتر از ۱۵ میکرون نسبت به دیگر ذرات کمتر است.



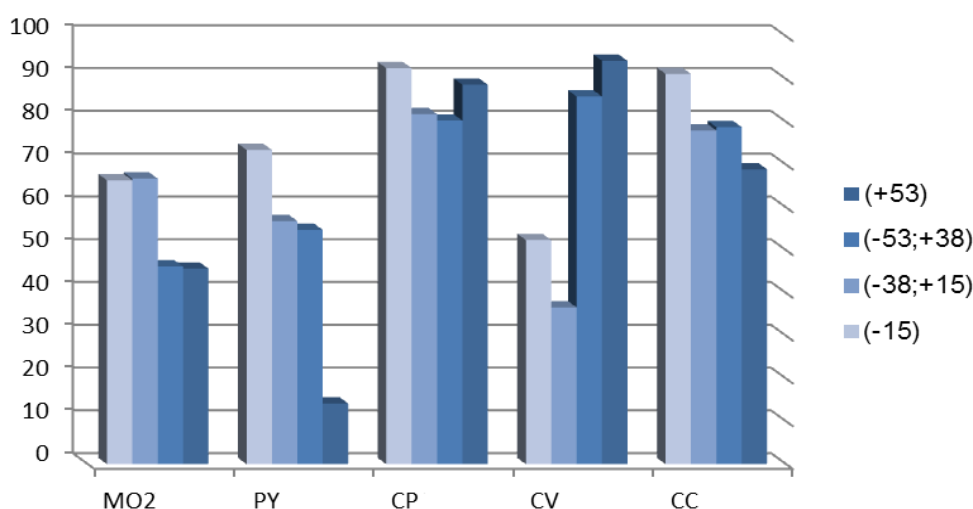
شکل (۳-۲۰) بازیابی کانی ها با اندازه ذرات مختلف در رافر

بازیابی کانی کالکوپیریت در اندازه ذرات (۳۸-؛+۱۵) و (۵۳-؛+۳۸) بالا بوده و در اندازه ذرات کوچکتر از ۱۵ میکرون و بالای ۵۳ میکرون به صورت آزاد با کاهش در اندازه ذرات کاهش می یابد ولی در اندازه های زیر ۱۵ میکرون کاهش می یابد. با کاهش اندازه ذرات بازیابی کانی پیریت نیز افزایش می یابد. افزایش بازیابی این کانی باعث مشکل در دیگر بخش ها خواهد شد.

بازیابی کانی مولیبدنیت در رافر در همه ذرات مورد مطالعه کمتر بوده است. از آنجایی که مولیبدنیت خاصیت آبرانی دارد و در مرحله شناور سازی خود به خودی شناور می شود. از اینرو برای تقویت خاصیت شناور پذیری مولیبدنیت باید از کف سازهای مناسب تر یا ترکیبی از کف سازها استفاده کرد.

### ۳-۶-۱-۶-۳ کارایی جدایش کانی ها در اندازه های مختلف در رافر

در شکل (۳-۲۱) کارایی جدایش کالکوسیت (CC)، کوولیت (CV)، کالکوپیریت (CP)، پیریت (PY) و مولیبدنیت (MoS<sub>2</sub>) نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۱) کارایی جدایش کانی‌ها در رافر در اندازه ذرات مختلف

به دلیل اینکه هدف اصلی رافر افزایش بازیابی است. مطابق با شکل (۳-۱۸) دانه بندی (+۱۵;-۳۸) بهترین نتایج را ارائه خواهد کرد. زیرا محصول رافر در مراحل بعدی فلو تاسیون پرعیارتر خواهد شد.

### ۳-۶-۲ کلینر

به این قسمت از مدار فرآوری سلولهای شستشو هم گفته می‌شود. هدف اصلی آن افزایش عیار مس است. خوراک کلینر از ترکیب باطله ری کلینر و سرریز هیدروسیکلون ثانویه (کنسانتره رافر، کنسانتره اسکاونجر و خروجی آسیای گلوله‌ای ثانویه) است. خوراک کلینر ریزتر از خوراک رافر بوده و d80 آن کوچکتر از ۴۰ میکرون است. به دلیل ریز بودن ذرات، برای ارزیابی این مرحله از فلو تاسیون، ذرات در سه طبقه کلاسه بندی شدند. این کلاسه بندی در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون، (+۱۵;-۳۸) میکرون و کمتر از ۱۵ میکرون انجام شد.

### ۳-۶-۲-۱ درصد وزنی و توزیع کانی‌ها در خوراک کلینر

درصد وزنی کانی‌ها در خوراک کلینر در اندازه‌های مختلف در جدول (۳-۵) نشان داده شده است.



جدول (۳-۵) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک کلینر

اندازه ذرات (میکرون)	وزن به درصد	کالکوسیت	کوولیت	کالکوپیریت	پیریت	مولیبدنت
+38	15.15	4.43	1.04	10.97	44.99	0.30
-38+15	10.85	8.27	4.43	8.44	51.47	0.67
-15	74.00	9.23	5.81	3.17	48.99	0.51
مجموع	100	-	-	-	-	-

با توجه به جدول (۳-۵) درصد وزنی کالکوسیت در خوراک کلینر در اندازه ذرات زیر ۱۵ میکرون بیشترین مقدار را دارد. با توجه به این که مقدار وزنی خوراک در این بخش نیز بیشترین مقدار را دارد، بنابراین توزیع این کانی در اندازه زیر ۱۵ میکرون به ۸۱/۳۲٪ می‌باشد. کانی کوولیت هم مانند کالکوسیت در این اندازه بیشترین توزیع را دارد. کانی کالکوپیریت بیشترین درصد وزنی را در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون دارد. ولی از آنجایی که مقدار درصد وزن نمونه در این کلاس کمتر است، بنابراین توزیع این کانی در خوراک نسبت به کلاس زیر ۱۵ میکرون کمتر خواهد بود. مقدار درصد توزیع این کانی در اندازه ذرات زیر ۱۵ میکرون ۴۷/۶۷ درصد می‌باشد.

در جدول (۳-۶) توزیع کانی‌ها در خوراک کلینر نشان داده شده است. در این دانه بندی بیشترین مقدار در اندازه ذرات زیر ۱۵ میکرون می‌باشد. با توجه به داده‌های بدست آمده مشاهده می‌شود خوراک کلینر خیلی ریزتر شده و احتمال هدرروی کانی‌ها در این مرحله از فلوتاسیون بیشتر خواهد بود. برای بررسی رفتار متالورژیکی این مرحله، از ورودی، خروجی و باطله آن نمونه برداری کرده و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

جدول (۳-۶) توزیع کانی‌ها در خوراک کلینر

اندازه ذرات (میکرون)	وزن به درصد	کالکوسیت	کوولیت	کالکوپیریت	پیریت	مولیبدنیت
+38	15.15	7.99	3.19	33.73	14.01	9.18
-38+15	10.85	10.68	9.74	18.60	11.48	14.85
-15	74.00	81.32	87.06	47.67	74.51	75.96
مجموع	100	100	100	100	100	100

دانه بندی در سه گروه، بالای ۳۸ میکرون، (۱۵+۳۸-) میکرون و زیر ۱۵ میکرون مورد بررسی قرار گرفته است. آنالیز شیمیایی هر کلاس در جدول (۳-۷) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۳-۷) مشخص می‌شود بیشترین مقدار مس سولفیدی (با کم کردن عیار مس از مس اکسیدی) در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون است.

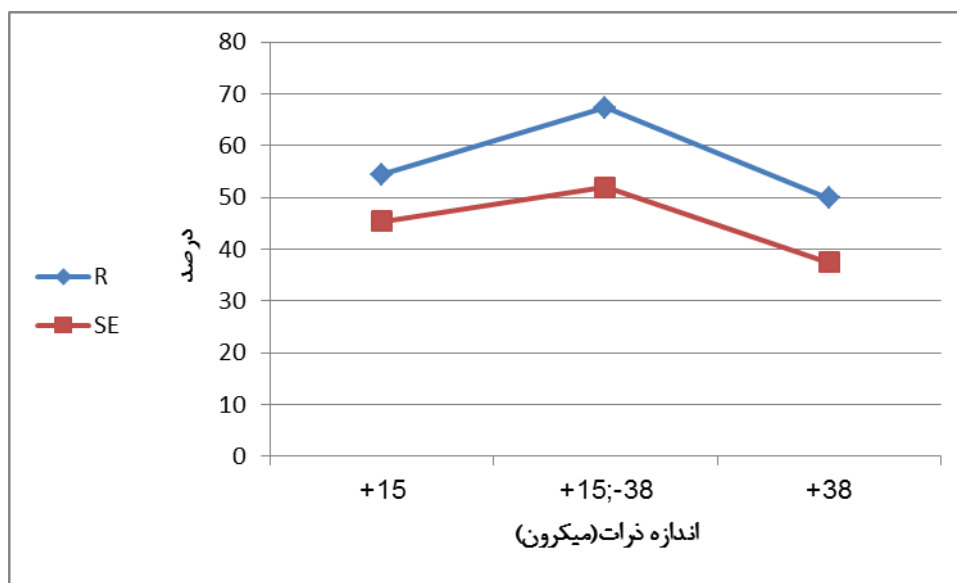
جدول (۳-۷) مقدار عیار مس، مس اکسیدی، آهن و مولیبدن در خوراک کلینر

اندازه ذرات (میکرون)	عیار مس	عیار مس اکسیدی	عیار آهن	عیار مولیبدن
+38	13	0.27	24.76	0.179
-38+15	13.3	0.83	26.61	0.404
-15	14	1.67	23.77	0.303

### ۳-۶-۲-۲-۲ باز یابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در کلینر

با استفاده از عیارها بدست آمده برای خوراک، کنسانتره و باطله کلینر مقدار بازیابی و کارایی جدایش برای هر گروه محاسبه شد. همان طوری که در شکل (۳-۲۲) مشاهده می‌شود، بیشترین بازیابی و کارایی جدایش در اندازه ذرات (۱۵+۳۸-) اتفاق می‌افتد. همچنین کمترین بازیابی و کارایی جدایش

در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون است. با اینکه هدف اصلی در این مرحله از فلوتاسیون افزایش عیار مس می باشد ولی در حین حال بازیابی هم باید مورد توجه قرار گیرد. در حالت کلی بازیابی در این مرحله در همه گروه های مورد بررسی کمتر بوده و همچنین کارایی جدایش نیز کمتر است. در این مرحله برای بررسی بیشتر مطالعات کانی شناسی انجام گرفته است که در ادامه بحث ارائه می شود.

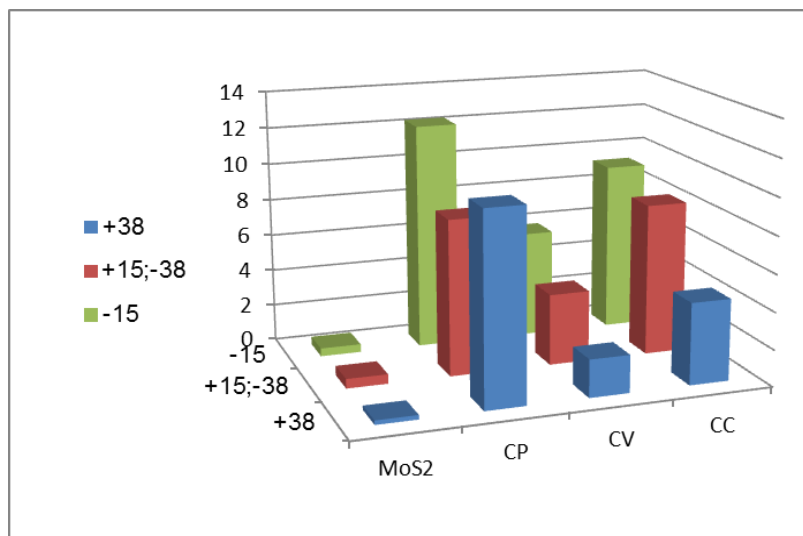


شکل (۳-۲۲) بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در کلینر

از آنجایی که باطله کلینر، خوراک مرحله اسکاونجر (رمق گیر) می باشد، باید بازیابی در حد قابل قبول باشد تا در مراحل بعدی فلوتاسیون مشکلی ایجاد نشود. همان طوری که در بالا اشاره شد برای ارزیابی عملکرد کلینر مطالعات کانی شناسی انجام گرفته است. در شکل های (۳-۲۳)، (۳-۲۴) و (۳-۲۵) مقدار درصد وزنی کانی های مس و مولیبدن در خوراک، کنسانتره و باطله کلینر آورده شده است.

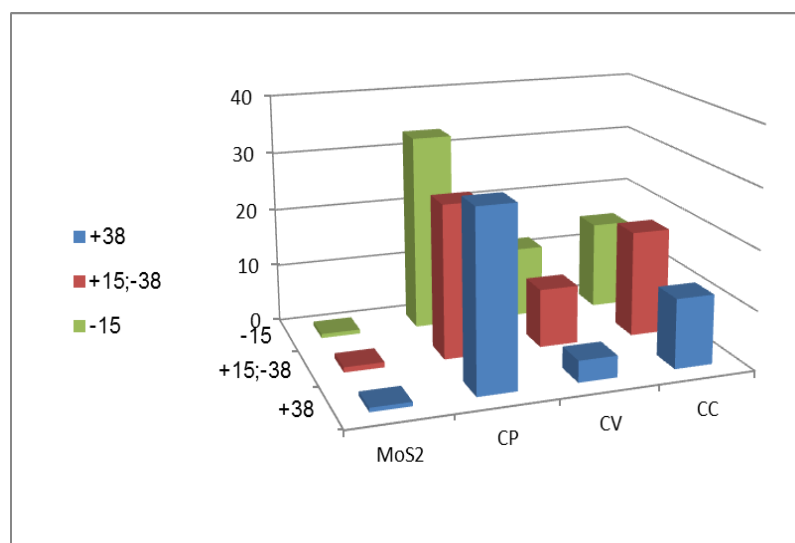
### ۳-۲-۶-۳ درصد وزنی کانی ها در خوراک، کنسانتره و باطله کلینر

درصد وزنی کانی ها در خوراک کلینر در اندازه های گروه بندی شده، برای کالکوسیت (cc)، کولیت (cv)، کالکوپیریت (cp) و مولیبدنیت ( $MoS_2$ ) در شکل (۳-۲۳) نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۳) درصد وزنی کانی‌ها در اندازه مختلف در خوراک کلینر

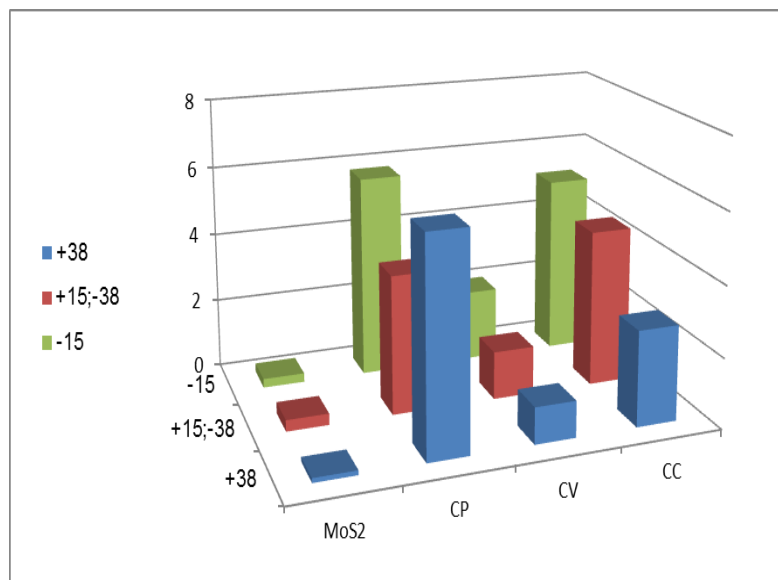
درصد وزنی کانی‌های کالکوسیت (cc)، کولیت (cv)، کالکوپیریت (cp) و مولیبدنیت (MoS<sub>2</sub>) در کنسانتره کلینر در اندازه‌های گروه بندی شده، در شکل (۳-۲۴) نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۴) درصد وزنی کانی‌ها در اندازه مختلف در کنسانتره کلینر

درصد وزنی کانی‌ها در باطله کلینر در اندازه‌های گروه بندی شده، برای کالکوسیت (cc)، کولیت (cv)، کالکوپیریت (cp) و مولیبدنیت (MoS<sub>2</sub>) در شکل (۳-۲۵) نشان داده شده است. در این شکل مشخص می‌شود که مقدار کانی کالکوسیت، با کاهش اندازه ذرات کاهش می‌یابد. با کاهش اندازه در باطله، درجه آزادی کانی کالکوسیت افزایش یافته و باعث بازیابی بهتر در اندازه ریزتر شده است. این کانی در

تمام اندازه‌ها مورد مطالعه با کانی پیریت قفل شدگی دارد. مقدار این قفل شدگی در اندازه ذرات بزرگتر از ۳۸ میکرون ۰/۸۵۶ درصدوزنی نمونه، در اندازه (۱۵+;۳۸-) میکرون ۰/۴۹۰ درصد وزنی نمونه و در اندازه زیر ۱۵ میکرون ۰/۳۳۸۹ درصد وزنی نمونه است.

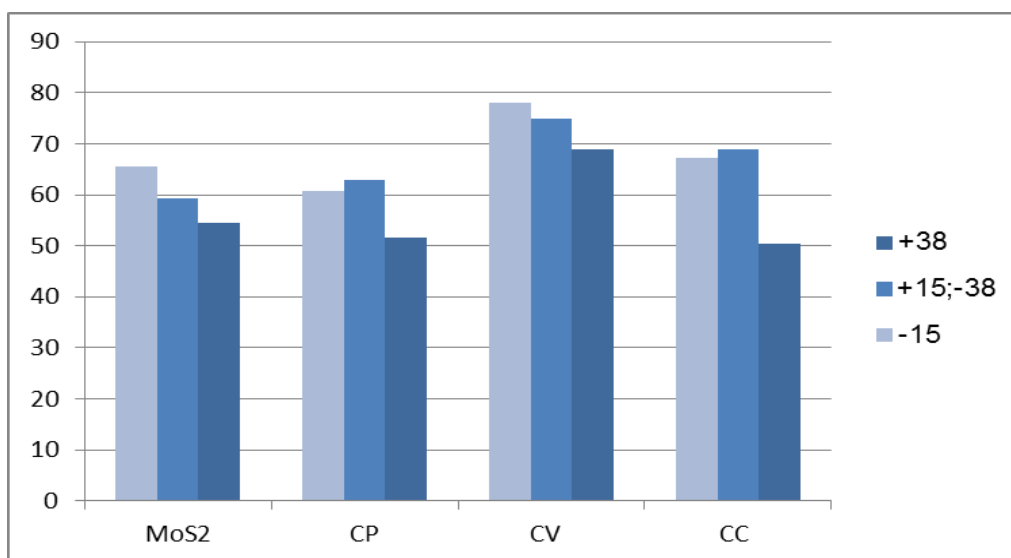


شکل (۳-۲۵) درصد وزنی کانی‌ها در اندازه مختلف درباطله کلینر

کانی کوولیت نیز مانند کالکوسیت، مقدار آن با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد. کانی کالکوپیریت رفتار متفاوتی با این دو کانی نشان می‌دهد. بیشترین مقداری که به باطله می‌رود در اندازه‌های بزرگتر از ۳۸ میکرون و زیر ۱۵ میکرون است. در اندازه ذرات (۱۵+;۳۸-) میکرون مقدار کالکوپیریت راه یافته به باطله کلینر نسبت به دو اندازه ذرات دیگر کمتر است. راهیابی ذرات در اندازه زیر ۱۵ میکرون می‌تواند به دلیل ریز بودن اندازه ذرات باشد و راهیابی ذرات بزرگتر از ۳۸ میکرون، پوشش سطح این ذرات توسط نرمه‌های کانی پیریت یا کانی‌های سیلیکاته یا ناتوانی حمل و پایداری آنها توسط حباب باشد.

### ۳-۶-۲-۴ بازیابی کانی‌ها در اندازه‌های مختلف در کلینر

در شکل (۳-۲۶) بازیابی کالکوسیت (CC)، کوولیت (CV)، کالکوپیریت (CP)، و مولیبدنیت (MoS<sub>2</sub>) نشان داده شده است.

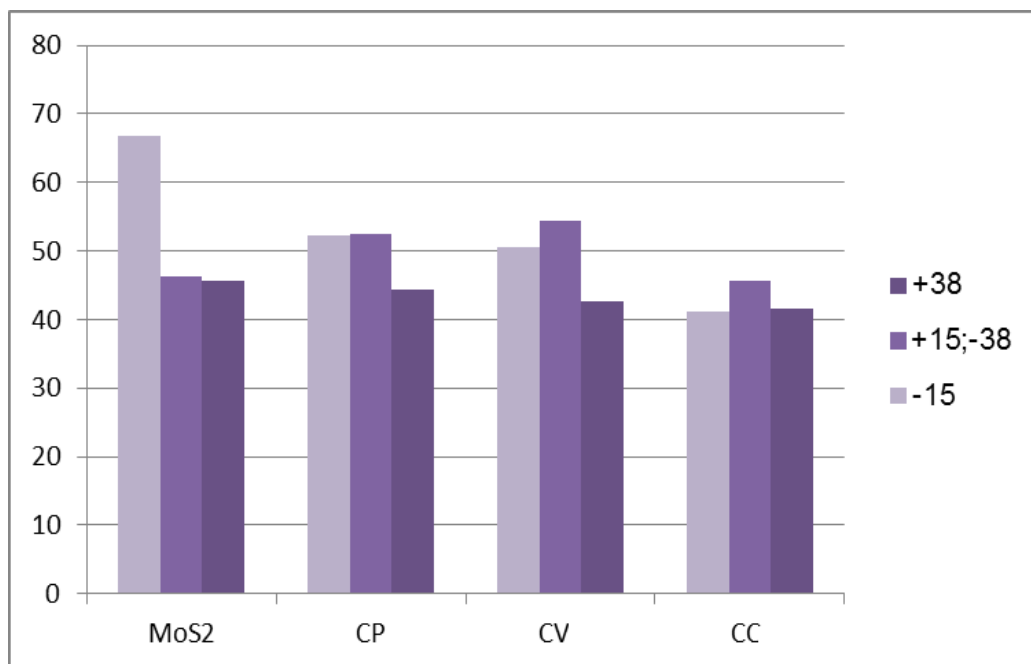


شکل (۳-۲۶) بازیابی کانی‌ها در اندازه مختلف در کلینر

با توجه به شکل (۳-۲۶) مشخص می‌شود بیشترین بازیابی کانی‌های کالکوپیریت در اندازه (+۱۵;-۳۸) میکرون می‌باشد. در مورد کانی کوولیت، با کاهش در اندازه ذرات، بازیابی افزایش نشان می‌دهد. هر دو کانی کالکوپیریت و کالکوسیت در اندازه ذرات بزرگتر از ۳۸ میکرون بازیابی تقریباً ۵۰ درصد دارد. به عبارتی احتمال شناور شدن یا غوطه‌ور شدن کالکوپیریت و کالکوسیت در کلینر یکسان است که نمی‌تواند نتیجه خوبی باشد. برای این دستگاه کانی مولیبدنیت با کاهش اندازه ذرات بازیابی آن کاهش می‌یابد. برای افزایش بازیابی مولیبدنیت در این مرحله از فلوتاسیون می‌توان مصرف مواد شیمیایی مختلف را در این مرحله آزمایش کرد.

### ۳-۶-۲-۵ کارایی جدایش کانی‌ها در اندازه‌های مختلف در کلینر

در شکل (۳-۲۷) کارایی جدایش کالکوسیت (CC)، کوولیت (CV)، کالکوپیریت (CP)، و مولیبدنیت ( $\text{MoS}_2$ ) نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۷) کارایی جدایش کانی‌ها در اندازه مختلف در کلینر

جدایش کانی کالکوسیت در اندازه (۱۵؛+۳۸) میکرون نسبت به دو اندازه دیگر بیشتر است و این نشان می‌دهد که کانی‌های گانگ در این اندازه کمتر به کنسانتره راه می‌یابد. اما در اندازه‌های بالای ۳۸ میکرون و زیر ۱۵ میکرون جدایش کانی‌ها کمتر بوده است. در همه اندازه ذرات کارایی جدایش پایین می‌باشد و باید مورد بررسی بیشتر قرار گیرد. کارایی جدایش کالکوپیریت در اندازه بالای ۳۸ میکرون کمترین مقدار (تقریباً ۰/۴۵) را دارد. از آنجایی که کانی باطله در این مرحله پیریت می‌باشد احتمال اینکه جدایش کالکوپیریت و پیریت، مشکل رو به رو شود وجود دارد. در فصل اول دلایل ایجاد مشکل در جدایش کالکوپیریت از پیریت که توسط افرادی زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است، آورده شده بود. احتمالاً به دلیل فعال شدن پیریت توسط کالکوپیریت در اثر واکنش‌های گالوانیک است.

برای پرعیارکنی اولیه که در آن معمولا هدف رسیدن به بازیابی بیشتر است، کلکتورهای با طول زنجیره بلند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مرحله رمق‌گیری نیز چون هدف اصلی جلوگیری از هدر رفتن ذرات بالارزش است از کلکتورهای با طول زنجیره بلند در مقادیر نسبتا زیاد استفاده می‌شود. در مرحله پرعیار کنی نهایی چون معمولا، هدف رسیدن به عیار معینی است، در نتیجه کلکتورهای با طول زنجیره کوتاه کاربرد دارد [۲۰].

نرمه (ذرات ۲۰-۱۵ میکرون) در اکثر کارخانه‌های فرآوری با پوشش دادن سطح ذرات نقش بازدارنده را بازی می‌کند. در اثر این عمل ممکن است ماهیت سطح کانی تغییر کند. به طور مثال یک کانی بالارزش قابل شناور با ذرات گانگ پوشیده شود، شناور شدن آن عملی نمی‌شود. از طرف دیگر، اگر دور یک ذره باطله با نرمه کانی بالارزش پوشیده شود آن ذره بر خلاف انتظار امکان شناور شدن پیدا می‌کند [۲۰].

### ۳-۶-۳ ری کلینر

ری کلینر، سلول شستشوی ثانویه است. هدف اصلی در این مرحله از فلوتاسیون افزایش عیار مس تا بالای ۳۰ درصد است. چون کنسانتره این مرحله همان کنسانتره نهایی است. اگر در این مرحله جدایش کانی‌هایی بالارزش و باطله به درستی انجام نگیرد باعث افزایش کانی‌هایی باطله از جمله پیریت در کنسانتره گردیده و کنسانتره نامطلوبی به دست می‌آید و با باعث ایجاد مشکل در دیگر مراحل استخراج مس از کانی‌ها خواهد شد.

برای ارزیابی عملکرد این مرحله عیار سنجی عناصر مس، مس اکسیدی، آهن و مولیبدن انجام گرفته، بازیابی و کارایی جدایش محاسبه شد. همچنین مطالعات کانی شناسی نیز انجام شد که در ادامه رفتار هر یک از کانی‌ها مس در اندازه‌های مختلف آورده شده است. دانه بندی در سه گروه، بالای ۳۸ میکرون، (۱۵+; -۳۸) میکرون و زیر ۱۵ میکرون مورد بررسی قرار گرفت.



### ۳-۶-۳-۱ درصد وزنی و توزیع کانی‌ها و عیار در خوراک ری کلینر

جدول (۳-۸) درصد وزنی کانی‌هایی کالکوسیت، کولیت، کالکوپیریت و مولیبدنیت را نشان می‌دهد. بیشترین درصد وزنی کالکوسیت در اندازه ذرات (۱۵+۳۸-) میکرون است. برای کولیت و کالکوپیریت بیشترین مقدار در اندازه ذرات زیر ۱۵ میکرون است.

جدول (۳-۸) درصد وزنی در اندازه ذرات مختلف در خوراک ری کلینر

مولیبدنیت	پیریت	کالکوپیریت	کولیت	کالکوسیت	وزن به درصد	اندازه ذرات (میکرون)
0.70	24.86	29.87	3.63	11.75	11.56	+38
0.87	30.81	25.98	9.93	18.05	15.17	-38+15
0.71	24.73	33.28	12.03	15.02	73.27	-15
-	-	-	-	-	100	مجموع

درصد توزیع کانی‌ها در خوراک ری کلینر در جدول (۳-۹) نشان داده شده است

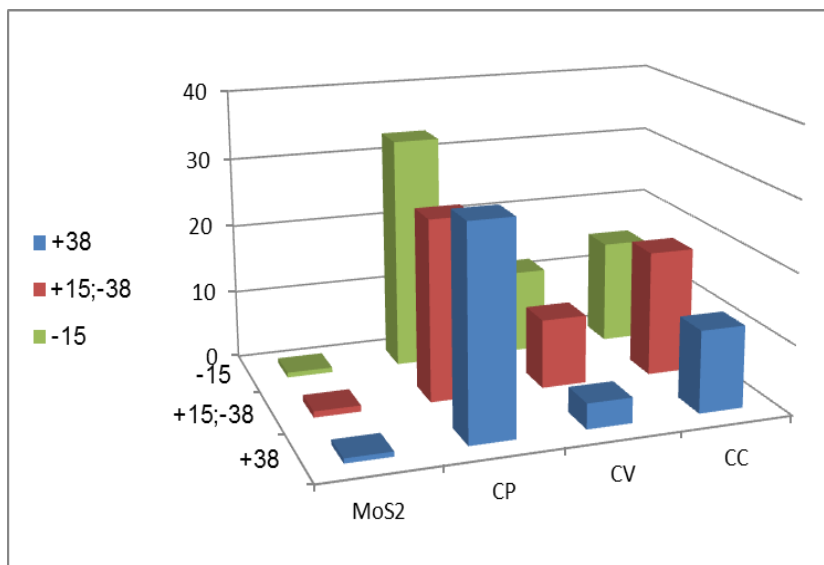
جدول (۳-۹) درصد توزیع کانی‌ها در اندازه ذرات مختلف در خوراک ری کلینر

مولیبدنیت	پیریت	کالکوپیریت	کولیت	کالکوسیت	وزن به درصد	اندازه ذرات (میکرون)
11.06	11.20	10.87	3.90	8.99	11.56	+38
18.15	18.21	12.40	14.02	18.13	15.17	-38+15
70.79	70.60	76.73	82.08	72.88	73.27	-15
100	100	100	100	100	100	مجموع

توزیع کانی‌ها در اندازه مختلف در جدول (۳-۹) نشان می‌دهد که تمام کانی‌ها در اندازه ذرات زیر ۱۵ میکرون بیشترین مقدار را دارند. توزیع کانی کالکوسیت با کاهش در اندازه ذرات افزایش می‌یابد. همین حالت برای کانی‌های دیگر نیز تکرار می‌شود. با توجه به جدول مشخص می‌شود که تمام کانی‌ها در اندازه زیر ۱۵ میکرون توزیع بالای ۷۰ درصد دارند. ریز بودن خوراک در این مرحله قابل توجه است و باید به نرمه تولید شده که در شناور سازی سازی کانی‌های با ارزش اختلال ایجاد می‌کند، دقت کرد.

### ۳-۶-۳-۲ درصدوزنی کانی‌ها در خوراک، کنسانتره و باطله ری کلیئر

در شکل (۳-۲۸) درصد وزنی کانی‌های کالکوسیت (CC)، کوولیت (CV)، کالکوپیریت (CP) و مولیبدنیت (MoS<sub>2</sub>) در خوراک ری کلیئر در اندازه ذرات مختلف به صورت نمودار نشان داده شده است.

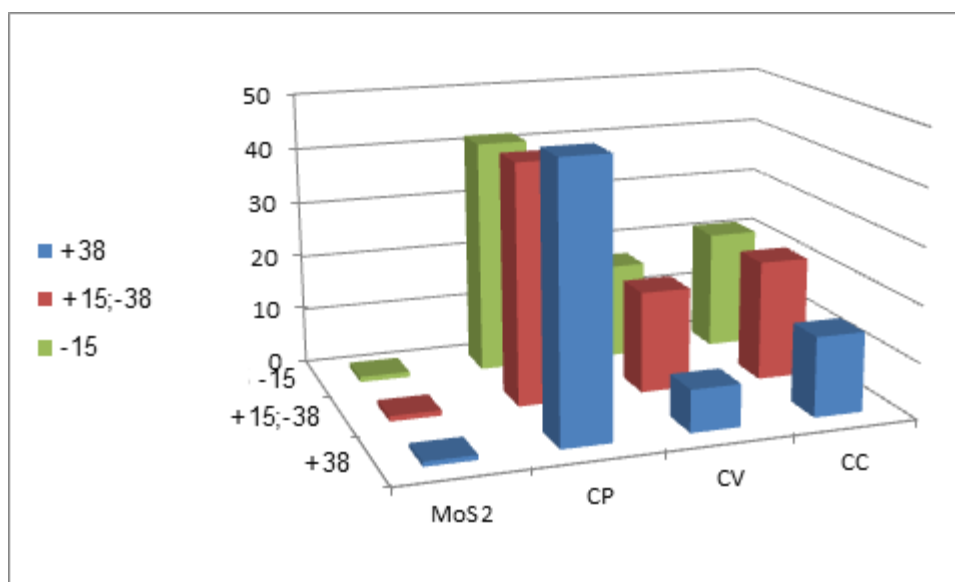


شکل (۳-۲۸) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک ری کلیئر

این درصد از وزن کانی‌ها همان درصد موجود در باطله کلیئر می‌باشد، که قبلاً توضیح داده شد. کنسانتره این مرحله از فلوتاسیون، محصول نهایی کارخانه می‌باشد.

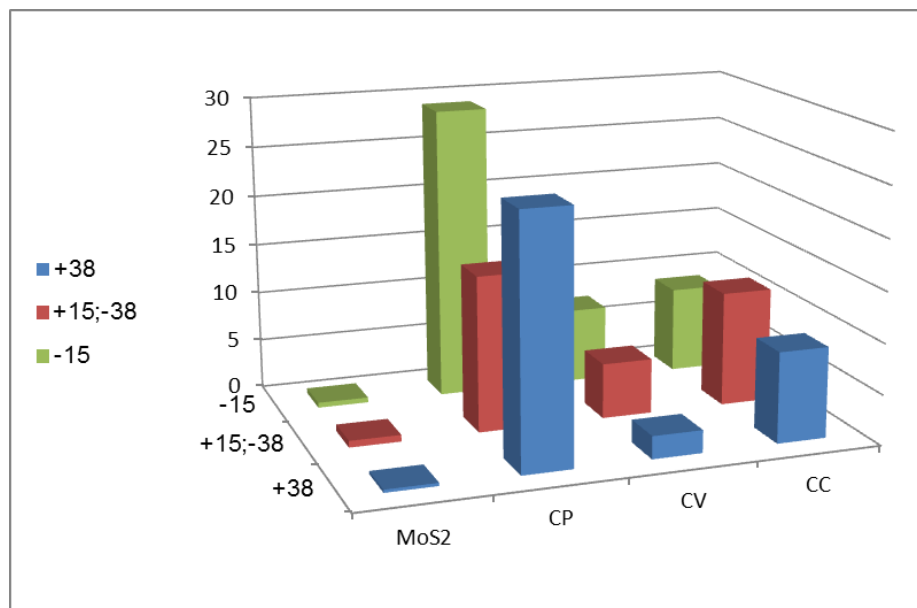
## درصد وزنی کانی‌ها در کنسانتره ری کلینر

درصد وزنی کانی‌ها کالکوسیت (cc)، کوولیت (cv)، کالکوپیریت (cp) و مولیبدنیت (MoS<sub>2</sub>) در کنسانتره ری کلینر در شکل (۳-۲۹) به صورت نمودار رسم شده است.



شکل (۳-۲۹) درصد وزنی کانی‌ها در اندازه‌های مختلف در کنسانتره ری کلینر

شکل (۳-۳۰) درصد وزنی کانی‌ها در باطله ری کلینر را نشان می‌دهد، کانی کالکوپیریت در اندازه زیر ۱۵ میکرون بیشترین مقدار را دارد. دلیل این افزایش می‌تواند ریز بودن ذرات و وجود بعضی از یون‌های که قبلاً اشاره شده بود، باشد. با حضور این یون‌ها مقدار هیدروفوبی کانی کالکوپیریت کاهش می‌یابد. افزایش مقدار این کانی در اندازه‌های بالای ۳۸ میکرون از یک طرف می‌تواند مربوط به کاهش پایداری جذب آن توسط حباب باشد و از طرفی دیگر می‌تواند به دلیل پوشش سطحی این کانی توسط کانی‌های باطله باشد. بیشترین مقدار توزیع همه کانی‌ها در خوراک این مرحله از فلوتاسیون در اندازه زیر ۱۵ میکرون (بیش از ۷۰٪) است. کمترین مقدار این کانی در اندازه (۱۵+۳۸-) میکرون است، چون توزیع کانی‌ها در این اندازه ۱۱٪ می‌باشد.

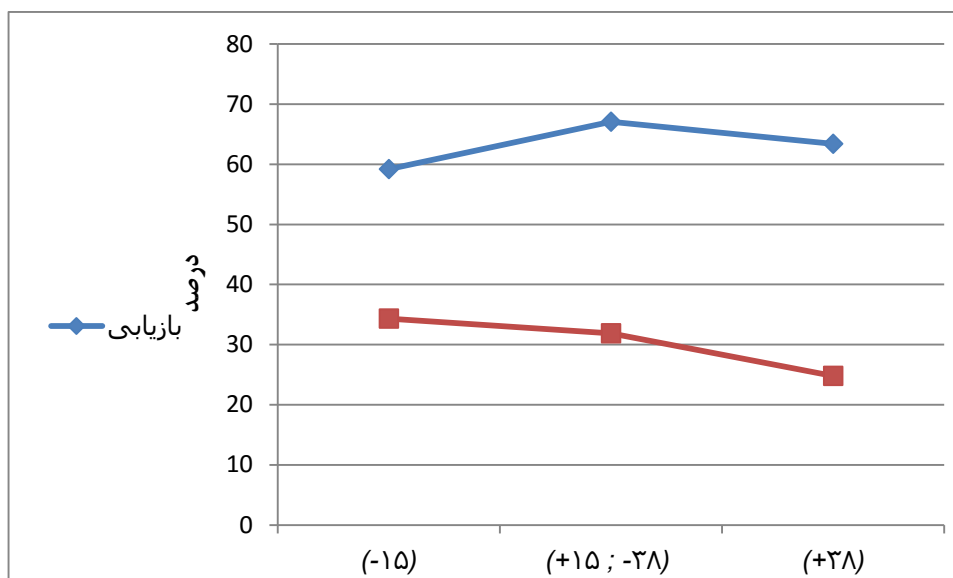


شکل (۳-۳۰) درصد وزنی کانی‌ها در اندازه‌های مختلف در باطله ری کلینر

برای بازیابی و کارایی جدایش در ری کلینر ابتدا برای مس سولفیدی و در مرحله بعدی برای همه کانی‌ها در اندازه‌های گروه بندی شده محاسبه شد. برای محاسبه بازیابی و کارایی جدایش کانی‌ها از درصد وزنی آنها در خوراک، کنسانتره و باطله استفاده شده است.

### ۳-۳-۶-۳ بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در ری کلینر

برای محاسبه بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی از عیارهای بدست آمده برای خوراک، کنسانتره و باطله این مرحله از فلوتاسیون استفاده شده است. در شکل (۳-۳۱) بازیابی و کارایی جدایش در اندازه ذرات مختلف مورد بررسی، نشان داده شده است.

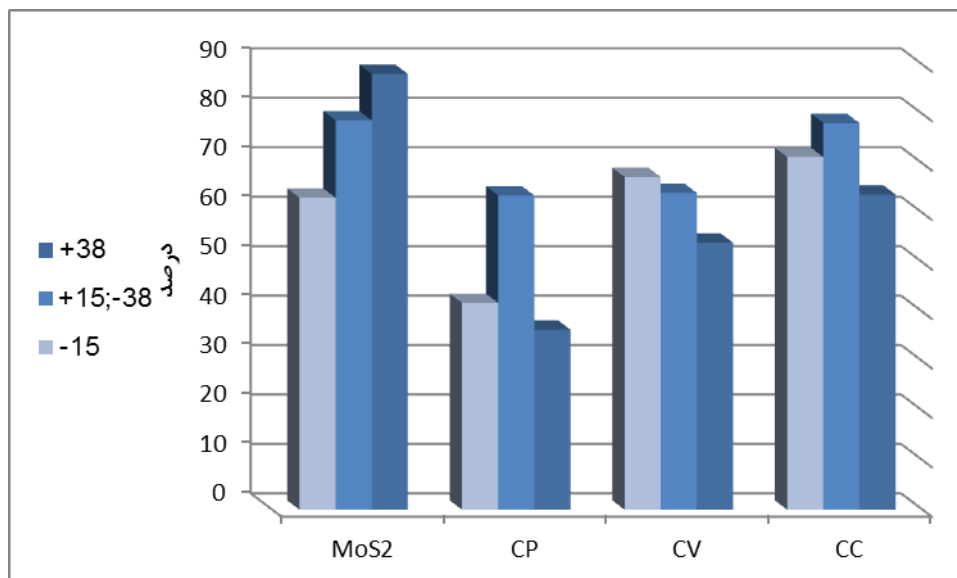


شکل (۳-۳۱) بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در اندازه‌های مختلف (میکرون)

در اندازه (+۱۵; -۳۸) میکرون بازیابی بیشترین مقدار را نسبت به دیگر اندازه‌های مورد مطالعه است. ولی کارایی جدایش در این دانه‌بندی کمتر بوده است. کارایی جدایش با کاهش در اندازه ذرات افزایش نشان می‌دهد که به دلیل افزایش درجه آزادی است.

### ۳-۶-۳-۴ بازیابی کانی‌ها در اندازه مختلف در ری کلینر

بازیابی کانی‌ها در ری کلینر در اندازه‌های مختلف در شکل (۳-۳۲) نشان داده شده است. با توجه به شکل بیشترین بازیابی در اندازه ذرات (+۱۵; -۳۸) میکرون و کمترین بازیابی در اندازه زیر ۱۵ میکرون است. ولی کارایی جدایش در اندازه بالای ۳۸ میکرون پایین بوده و کمترین مقدار جدایش در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون است. با بررسی در اندازه ذرات کلاس بندی شده، مشخص می‌شود که کانی‌های کالکوسیت و کالکوپیریت در اندازه ذرات (+۱۵; -۳۸) میکرون بیشترین بازیابی را نسبت به سایر ذره‌ها دارد. اما در کانی کوولیت با کاهش در اندازه ذرات بازیابی آن افزایش می‌یابد. کانی مولیبدنیت با کاهش در اندازه ذرات بازیابی آن کاهش می‌یابد کانی غالب در این مرحله کالکوسیت و بخصوص کالکوپیریت می‌باشد و تغییر در مقدار بازیابی این کانی باعث افزایش بازیابی مس سولفیدی خواهد شد.

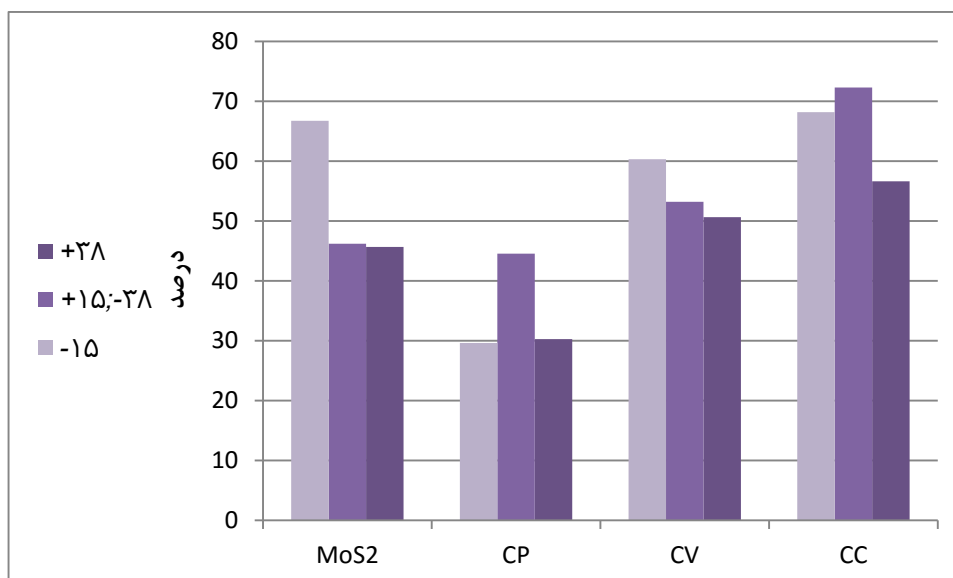


شکل (۳-۳۲) درصد بازیابی کانی‌ها در اندازه مختلف در ری کلینر

کمترین بازیابی در بین کانی‌های مس مربوط به کالکوپیریت و در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون می‌باشد. دلیل کاهش در بازیابی این کانی می‌تواند مربوط به قفل شدگی باشد که منجر به همچنین کاهش هیدروفوب بودن سطح کانی شود. همچنین به دلیل بزرگ بودن آن جذب آن توسط حباب کمتر می‌شود و در نتیجه در کاهش در بازیابی این کانی تاثیر می‌گذارد. کانی کالکوسیت هم در اندازه بالای ۳۸ میکرون این کاهش بازیابی را دارد. در حالت کلی بازیابی ری کلینر پایین بوده و بررسی این سلول ضروری به نظر می‌رسد.

### ۳-۶-۳-۵ کارایی جدایش کانی‌ها در اندازه مختلف در ری کلینر

کارایی جدایش کانی‌ها در ری کلینر در اندازه‌های مختلف در شکل (۳-۳۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل کارایی جدایش کانی‌های کالکوست و کولیت نسبت به کالکوپیریت بیشتر بوده است. کانی کالکوسیت بیشترین کارایی جدایش را در اندازه (۱۵؛-۳۸) میکرون دارد و مقدار بازیابی این کانی در همین اندازه هم دارای بیشترین مقدار را در بین اندازه‌های گروه بندی شده را دارد. با کاهش در اندازه ذرات کولیت، جدایش این کانی افزایش می‌یابد.



شکل (۳-۳۳) کارایی جدایش در ری کلینر در اندازه‌های مختلف برای کالکوسیت، کوولیت، کالکوپیریت و مولیبدنت در مورد کالکوپیریت در اندازه ذرات زیر ۱۵ میکرون و بالای ۳۸ میکرون کارایی جدایش کاهش می‌یابد. حضور مقدار زیاد کانی پیریت در این مرحله که به عنوان باطله محسوب می‌شود باید با دقت مورد مطالعه قرار گیرد که ممکن است بر اثر تغییرات گالوانیکی فعال شده باشد. برای بررسی بیشتر سلول‌های کلینر و ری کلینر باید متغیرهای تحت کنترل با متغیرهای قابل تغییر سنجیده شود تا به هدف مورد نظر دست یافت.

### ۳-۶-۴ اسکاونجر

اسکاونجر، مرحله‌ای از فلوتاسیون است که رمق‌گیری کانی‌های مس و مولیبدن را بر عهده دارد. هدف اصلی این مرحله بازیابی بیشتر این کانی‌ها است. خوراک این مرحله از فلوتاسیون، از باطله کلینر تأمین می‌شود یا به عبارتی دیگر باطله کلینر که دارای عیار مس بیشتری است و برای جلوگیری از هدر روی مس، از اسکاونجر استفاده می‌شود. برای ارزیابی این مرحله علاوه بر خوراک از باطله و کنسانتره نیز نمونه‌برداری کرده و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

### ۳-۶-۴-۱ درصد وزنی و توزیع کانی‌ها در خوراک اسکاونجر

درصد وزنی کانی‌ها در خوراک اسکاونجر همان درصد کانی‌های موجود در باطله کلینر می‌باشد. از آنجای که محلی برای نمونه‌برداری از کنسانتره اسکاونجر تعبیه نشده است، نمونه از ناوهای جمع‌آوری کنسانتره چهار سلول اسکاونجر تهیه شده است. در این مرحله از فلوتاسیون، نمونه‌ها در سه گروه در اندازه بالای ۳۸ میکرون، (۳۸+؛-۱۵) میکرون و زیر ۱۵ میکرون دسته‌بندی شده است. در این مرحله عیار مس، مس اکسیدی، آهن و مولیبدن در اندازه ذرات مختلف اندازه‌گیری شده است (جدول (۳-۱۲) و همچنین درصد وزنی کانی‌ها نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

درصد وزنی و توزیع کانی‌ها در خوراک اسکاونجر در جدول (۳-۱۰) و (۳-۱۲) نشان داده شده است.

جدول (۳-۱۰) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک اسکاونجر در اندازه ذرات دسته بندی شده

اندازه ذرات	وزن به درصد	کالکوسیت	کولیت	کالکوپیریت	پیریت	مولیبدنیت
+38	30.34	2.71	2.04	15.19	45.35	0.73
-38+15	10.19	4.49	1.51	3.18	50.29	0.32
-15	59.47	5.16	2.04	4.81	43.41	0.49
مجموع	100	-	-	-	-	-

با توجه به درصد توزیع کانی‌ها در اندازه‌های مختلف مشخص می‌شود که بیشترین مقدار کالکوسیت در اندازه زیر ۱۵ میکرون، ۷۰/۵۵٪ می‌باشد. بیشترین مقدار کولیت نیز در این دانه بندی بوده است. بیشترین مقدار توزیع کانی کالکوپیریت در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون می‌باشد.



جدول (۳-۱۱) درصد توزیع کانی‌ها در خوراک اسکاونجر در اندازه ذرات دسته بندی شده

اندازه ذرات	وزن به درصد	کالکوسیت	کوولیت	کالکوپیریت	پیریت	مولیبدیت
+38	30.34	18.92	31.10	59.11	30.78	40.58
-38+15	10.19	10.53	7.74	4.16	11.47	5.89
-15	59.47	70.55	61.15	36.73	57.76	53.53
مجموع	100	100	100	100	100	100

با توجه به جداول مشخص می‌شود که خوراک اسکاونجر در اندازه زیر ۱۵ میکرون بیشترین توزیع کانی‌ها را به خود اختصاص داده است. در این اندازه درصد کالکوسیت و کوولیت بیشترین مقدار را نسبت به اندازه‌های دیگر دارا می‌باشد. بیشترین مقدار درصد وزنی کالکوپیریت در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون است. بنابراین باید هر دو اندازه مورد توجه قرار گیرد. چون هدر روی در هر یک از اندازه‌ها باعث از دست رفتن کانی‌های باارزش خواهد شد.

جدول (۳-۱۲) عیار مس، مس اکسیدی، مولیبدن و آهن در خوراک اسکاونجر

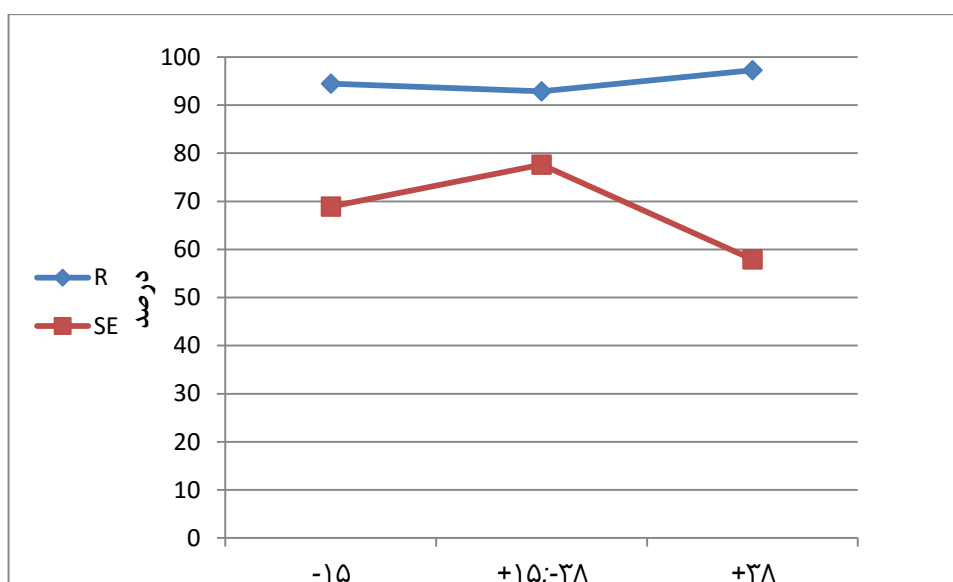
اندازه ذرات (میکرون)	عیار مس	عیار مس اکسیدی	عیار آهن	عیار مولیبدن
+38	9.7	0.84	26.51	0.44
-38;+15	6.14	0.45	24.41	0.19
-15	8.38	1.24	21.71	0.296

با توجه به جدول (۳-۱۲) بیشترین مقدار عیار مس در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون بوده و مقدار آن ۹/۷ درصد بوده است و این می‌تواند به دلیل مقدار بالای کالکوپیریت نسبت به کالکوسیت و کوولیت باشد. پایین بودن عیار در اندازه ذرات (۱۵+۳۸-) میکرون نسبت به سایر اندازه‌ها، بازیابی بیشتر این

اندازه ذرات در کلینر بوده است. افزایش عیار آهن با کاهش در اندازه ذرات مشاهده می‌شود. و این افزایش می‌تواند به تغییر در مقدار کانی پیریت یا کالکوپیریت در اندازه‌های مختلف باشد. در ادامه و با مطالعات کانی شناسی این مطلب روشن می‌شود.

### ۳-۶-۴-۲ بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در اسکاونجر

بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی با استفاده از عیارهای به دست آمده از آنالیز در شکل (۳-۳۴) گویای این است که بازیابی و کارایی جدایش در اندازه ذرات (+۱۵; -۳۸) بهترین حالت را نسبت به اندازه‌های دیگر دارد.



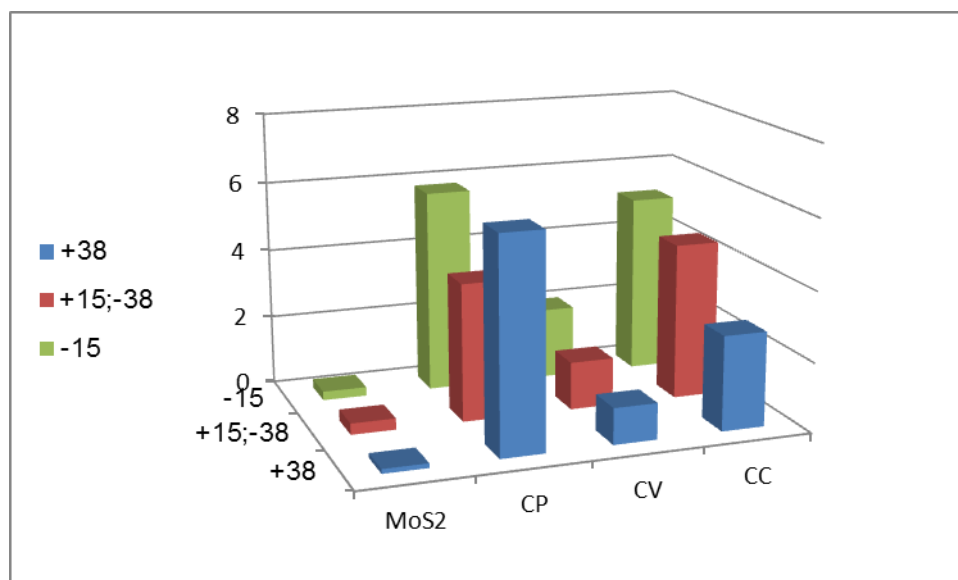
شکل (۳-۳) بازیابی و کارایی جدایش در اندازه‌های مختلف در اسکاونجر

در شکل (۳-۳۴) با توجه به این که بازیابی در اسکاونجر در همه ذرات بالای ۹۰ درصد می‌باشد ولی کارایی جدایش پایین است. این نشان می‌دهد که در اندازه‌های بالای ۳۸ میکرون و زیر ۱۵ میکرون، همراه با کانی‌های بارزش، کانی‌های باطله نیز به کنسانتره راه می‌یابد. در اندازه ذرات زیر ۱۵ میکرون جدایش ذرات به خوبی انجام نگرفته است. احتمالاً دلیل آن افزایش مقدار پیریت در این اندازه و فلوتاسیون غیر انتخابی باشد.

چون مقدار پیریت در این مرحله بیشتر است. کارایی جدایش در اندازه ذرات (+۱۵; -۳۸) بیشترین مقدار را دارد. در این اندازه بازیابی هم در حد قابل قبولی است. در این مرحله باید در حد توان از راهیابی گانگ به کنسانتره جلوگیری شود تا در مراحل بعدی فلوتاسیون اختلال ایجاد نکند. از آنجا که کنسانتره اسکاونجر دوباره به عنوان بخشی از خوراک کلینر وارد چرخه می‌شود، هر افزایش در مقدار پیریت باعث کاهش در کارایی جدایش در مرحله کلینر و ری کلینر خواهد شد. در اندازه ذرات بالای ۳۸ میکرون با این که بازیابی مطلوب می‌باشد ولی کارایی جدایش چندان مطلوب نیست. برای بررسی بیشتر، رفتار کانی‌ها در این بخش مورد مطالعه قرار گرفته است.

### ۳-۴-۶-۳ درصد وزنی کانی‌ها در خوراک، کنسانتره و باطله در اسکاونجر

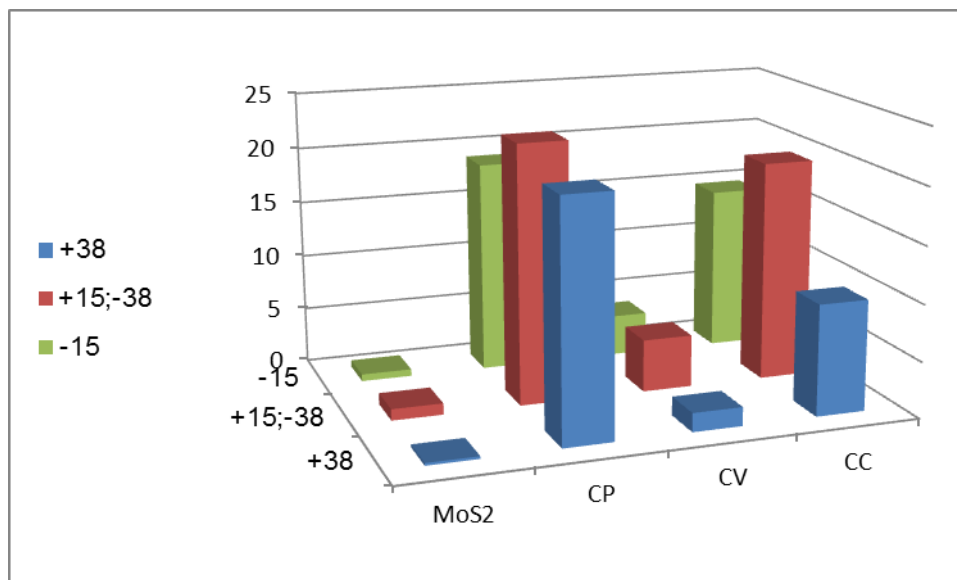
درصد وزنی کانی‌ها در خوراک، کنسانتره و باطله در شکل‌های (۳-۳۵)، (۳-۳۶) و (۳-۳۷) آورده شده است.



شکل (۳-۳۵) درصد وزنی کانی‌ها در خوراک اسکاونجر

در خوراک اسکاونجر با کاهش در اندازه ذرات مقدار کالکوسیت و کوولیت افزایش می‌یابد ولی کانی کالکوپیریت این روند را ندارد و بیشترین مقدار این کانی در اندازه‌های زیر ۱۵ میکرون و بالای ۳۸ میکرون است. در هر صورت این تغییر در درصد وزنی کانی‌ها در این مرحله به رفتار آنها در کلینر

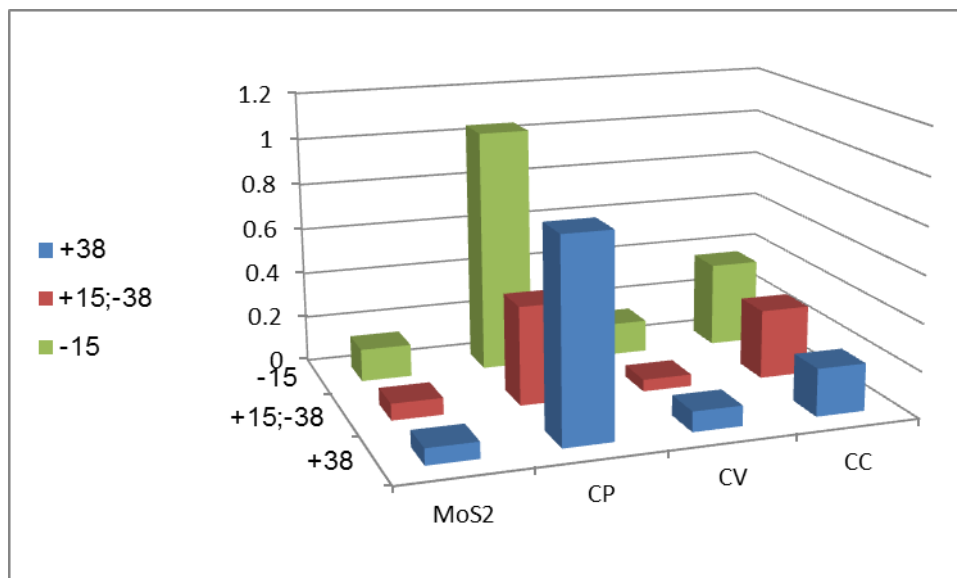
برمی‌گردد. رفتار کانی‌ها در اسکاونجر بر روی کنسانتره و باطله نیز بررسی شده و در شکل‌های (۳-۳۶) و (۳-۳۷) درصد وزنی کانی‌ها نشان داده شده است.



شکل (۳-۳۶) درصد وزنی کانی‌ها در کنسانتره اسکاونجر

کانی کالکوپیریت با این که در اندازه (۱۵+۳۸-) در خوراک کمترین مقدار را نسبت به اندازه‌های دیگر داشت ولی در کنسانتره اسکاونجر بیشترین درصد وزنی کانی‌های مس در اندازه (۱۵+۳۸-) بوده است. در اندازه زیر ۱۵ میکرون و بالای ۳۸ میکرون تقریباً به یک اندازه در کنسانتره ظاهر شده‌اند. کالکوسیت و کوولیت نیز در این دانه بندی دارای بیشترین مقدار بوده است. کمترین مقدار این دو کانی در اندازه‌های بالای ۳۸ میکرون است.

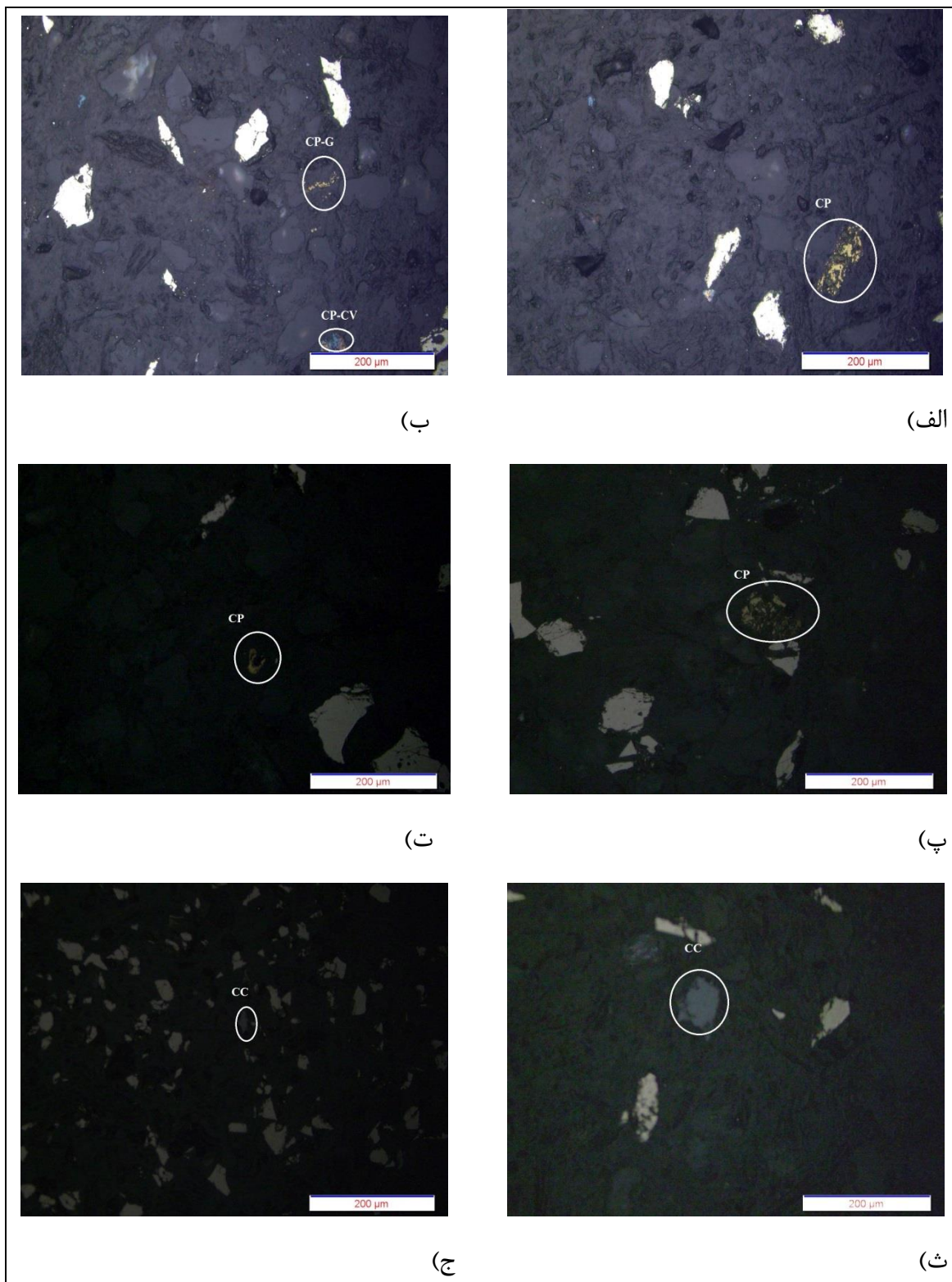
شکل (۳-۳۷) متوجه نشان می‌دهد که بیشترین هدر روی کانی‌ها در اسکاونجر مربوط به کانی کلکوپیریت بوده این هدر روی در اندازه‌های بالای ۳۸ میکرون و زیر ۱۵ میکرون بیشترین مقدار را دارد. با کاهش در اندازه ذرات کالکوسیت، مقدار هدر روی این کانی افزایش می‌یابد.



شکل (۳-۳۷) درصد وزنی کانی‌ها در باطله اسکاونجر

هدر روی کانی کوولیت در این مرحله از فلوتاسیون بسیار پایین بوده است. با توجه به درصدهای مشاهده شده برای هر یک از کانی‌های موجود در این بخش ملاحظه می‌شود که بیشترین درصد هدر-روی در اندازه‌های زیر ۱۵ میکرون بوده است. با کاهش در اندازه ذرات مولیبدنیت، هدر روی این کانی افزایش می‌یابد یکی از دلایل آن می‌تواند به دلیل مکانیزم پیچیده فرآوری نرمه‌ها باشد که از قوانین رایج تبعیت نمی‌کنند.

در شکل (۳-۳۸) کانی‌های کالکوپیریت (CP)، کالکوسیت (CC)، کوولیت (CV)، مولیبدنیت (MO) و گانگ سیلیکاته (G) در باطله اسکاونجر با استفاده از میکروسکوپ انعکاسی مورد مطالعه قرار گرفته نشان داده شده است.



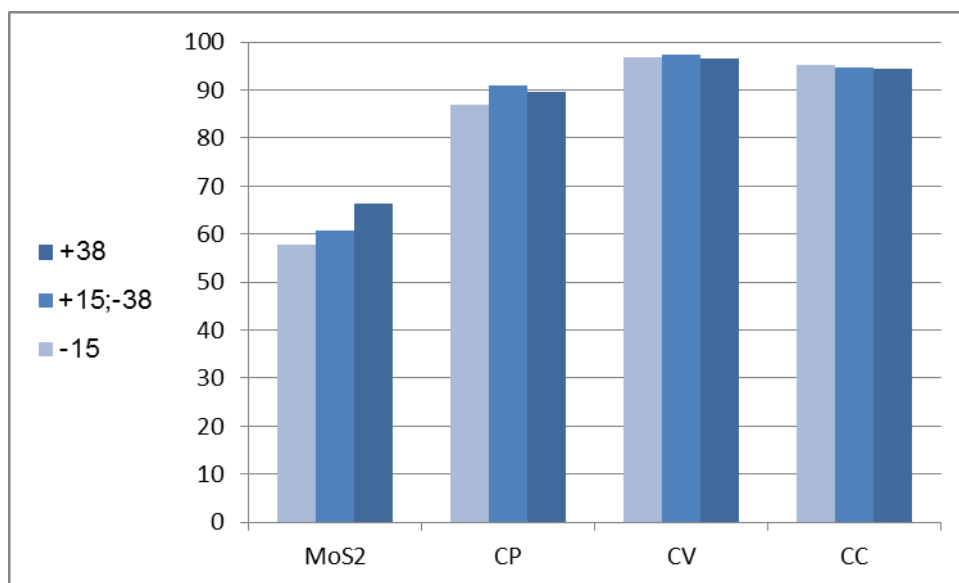
شکل (۳-۳۸) تصاویر مربوط به کانی‌های تصاویری از کالکوپیریت (CP)، کالکوسیت (CC) و گانگ سیلیکاته (G) در مقاطع صیقلی در باطله اسکاونجر

در شکل (۳-۳۸) کانی‌های کالکوپیریت، کالکوسیت و کوولیت در اندازه‌های مختلف در باطله اسکاونجر مشخص شده است. بیشترین مقدار هدر روی کانی به صورت آزاد و در اندازه‌های (بالای ۱۰۰ میکرون) می‌باشد. همچنین درگیری کالکوپیریت با گانگ سیلیکاته در شکل قابل ملاحظه است.

### ۳-۶-۴ درصد بازیابی کانی‌های در اندازه ذرات مختلف در اسکاونجر

برای بررسی بازیابی و کارایی جدایش کانی‌ها از درصد وزنی کانی‌ها در هر بخش استفاده شده است این مقایسه در شکل (۳-۳۹) و (۳-۴۰) آورده شده است.

با توجه به شکل (۳-۳۹) کانی کالکوسیت و کوولیت در تمام اندازه‌ها، بازیابی بالای ۹۰ درصد دارند. کاهش بازیابی در اسکاونجر مربوط به کانی کالکوپیریت می‌باشد. این کانی نسبت به کانی‌های دیگر در اندازه زیر ۱۵ میکرون کمترین مقدار را دارد.



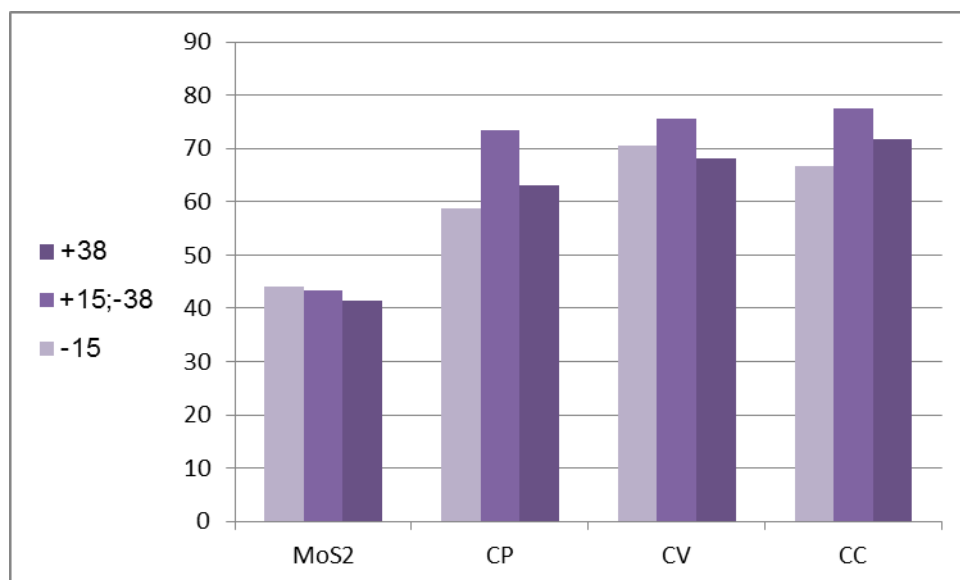
شکل (۳-۳۹) درصد بازیابی کانی‌ها در اندازه مختلف در اسکاونجر

بیشترین مقدار بازیابی این کانی در اندازه ذرات (۱۵+;۳۸-) میکرون است. کانی مولیبدنیت با کاهش اندازه ذرات بازیابی آن کاهش می‌یابد. در حالت کلی بازیابی اسکاونجر مطلوب می‌باشد.

### ۳-۶-۴-۵ درصد کارایی جدایش کانی‌های در اندازه ذرات مختلف در اسکاونجر

کارایی جدایش اسکاونجر در شکل (۳-۴۰) نشان می‌دهد که هر یک از کانی‌ها در اندازه‌های مختلف به صورتی انجام گرفته است.

با توجه به شکل کارایی جدایش در همه کانی‌های مس در اندازه (۱۵+; ۳۸-) میکرون نسبت به اندازه‌های دیگر بهتر بوده است. کمترین کارایی جدایش در بین کانی‌های مس مربوط به کالکوپیریت می‌باشد. کارایی جدایش در اندازه زیر ۱۵ میکرون برای کانی کالکوپیریت کمتر از ۶۰ درصد بوده است.



شکل (۳-۴۰) درصد کارایی جدایش کانی‌ها در اندازه مختلف در اسکاونجر

اگرچه بازیابی کانی‌ها در اندازه زیر ۱۵ میکرون بیشتر مقدار را دارد. اما اگر به کارایی جدایش آن توجه شود ملاحظه می‌شود که جدایش در این اندازه به خوبی انجام نشده و راهیابی کانی‌های باطله به کنسانتره بیشتر بوده است. در اندازه‌های بالای ۳۸ میکرون بازیابی نسبت به اندازه (۱۵+; ۳۸-) میکرون بهتر بوده ولی در این اندازه نیز کارایی جدایش پایین است. بنابر اطلاعات بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که در اندازه ذرات (۱۵+; ۳۸-) میکرون هم بازیابی و هم کارایی جدایش در حد مطلوبی بوده است.



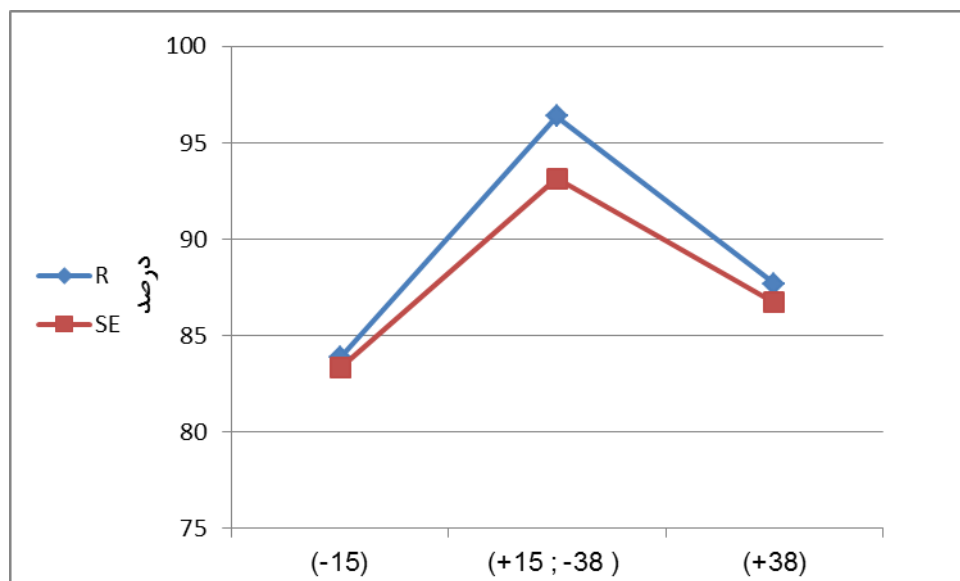
### ۳-۶-۵ حالت کلی

برای کنترل نهایی، کل کارخانه را عنوان یک سیستم در نظر گرفته و خوراک، کنسانتره نهایی و باطله نهایی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور خوراک را ورودی رافر در نظر گرفته، کنسانتره نهایی را کنسانتره ری کلینر و باطله نهایی که ترکیب باطله رافر و باطله اسکاونجر است در نظر گرفته و مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای حالت کلی دانه بندی در سه گروه بالای ۳۸ میکرون، (۱۵؛ -۳۸) میکرون و زیر ۱۵ میکرون مورد بررسی قرار گرفت.

### ۳-۶-۵-۱ بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در حالت کلی

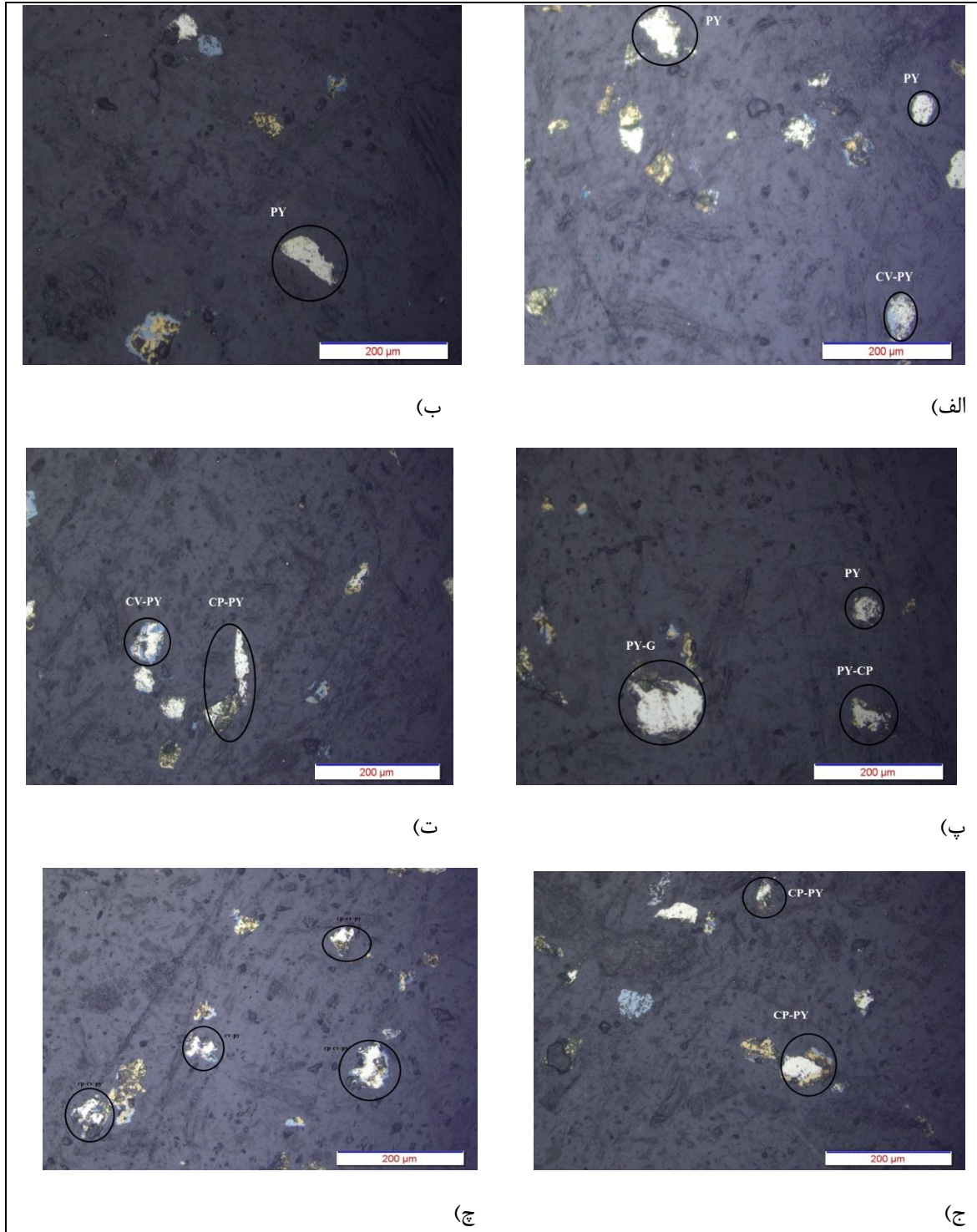
شکل (۳-۴۱) بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در اندازه‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۴۱) درصد بازیابی (R) و کارایی جدایش (SE) مس سولفیدی در اندازه‌های (میکرون) مختلف

با توجه به شکل (۳-۴۱) بیشترین بازیابی در اندازه‌های بین ۱۵ تا ۳۸ میکرون است و کارایی جدایش در این دانه بندی بالای ۹۰ درصد بوده است. در اندازه‌های زیر ۱۵ میکرون کمترین بازیابی و جدایش صورت گرفته است. برای بررسی بیشتر مطالعات کانی شناسی انجام گرفته و درصد هر یک از کانی در پایین آورده شده است. مطالعه میکروسکوپی انجام گرفته بر روی کنسانتره نهایی نشان داد پیریت راه

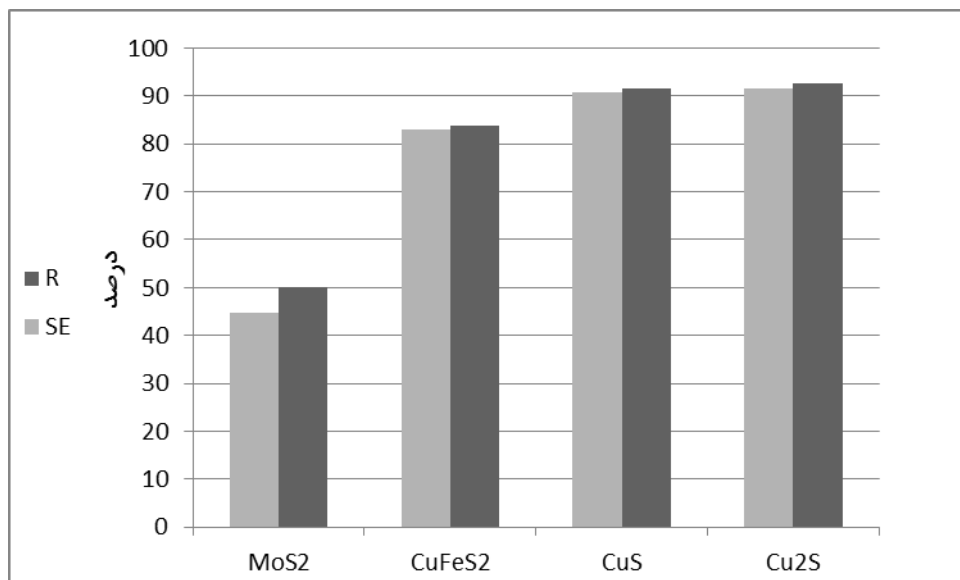
یافته در اندازه بالای ۳۸ میکرون به صورت درگیر با کانی کالکوپیریت و کولیت ویا هر دو بوده است. قفل شدگی این کانی‌ها در شکل‌های (۳-۴۲) مشخص شده است.



شکل (۳-۴۲) تصاویر مربوط به کانی‌های کالکوپیریت (CP)، کالکوسیت (CC)، کولیت (CV) و پیریت (PY) و گانگ سیلیکاته (G) در مقاطع صیقلی در کنسانتره نهایی

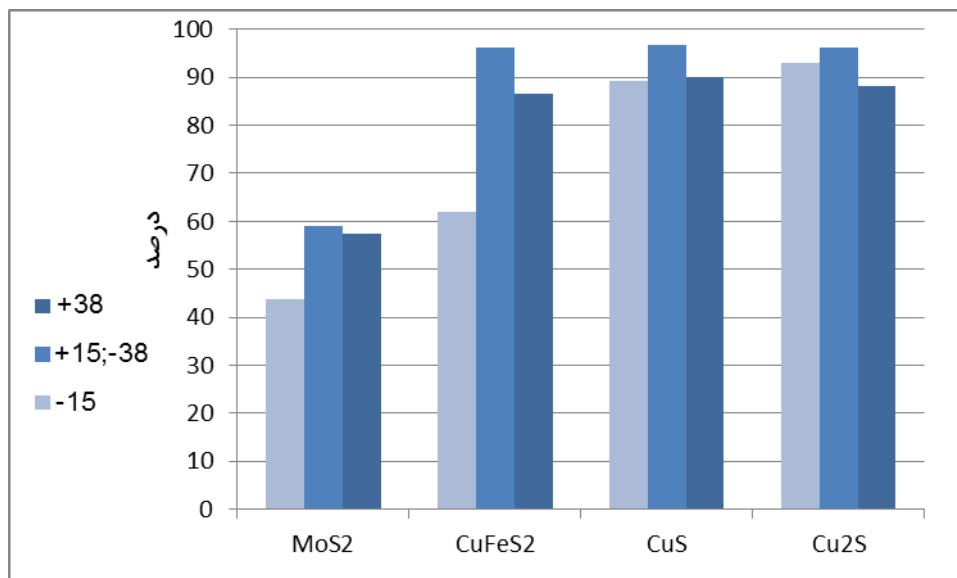
### ۳-۶-۵-۲ درصد بازیابی و کارایی جدایش کانی‌ها در حالت کلی

شکل (۳-۴۳) درصد بازیابی کانی‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به شکل بیشترین بازیابی و کارایی جدایش مربوط به دو کانی کالکوسیت و کوولیت بوده است. کمترین بازیابی و کارایی جدایش مربوط به کالکوپیریت در بین کانی‌های مس می‌باشد. کانی مولیبدنیت بازیابی کمتر از ۵۰ درصد دارد که به عنوان یک مشکل در مدار فرآوری باید مورد ارزیابی قرار گیرد. بازیابی در اندازه‌های مختلف برای تک تک کانی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.



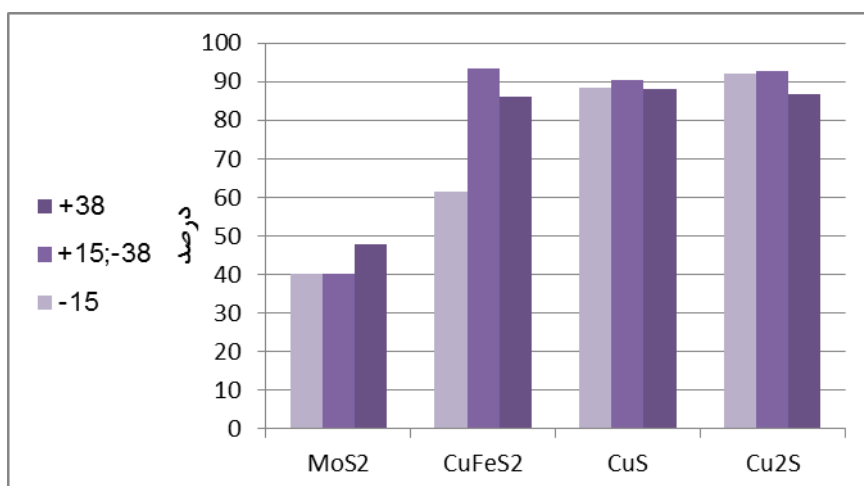
شکل (۳-۴۳) درصد بازیابی (R) و کارایی جدایش (SE) متوسط کانی‌ها در حالت کلی

شکل‌های (۳-۴۴) و (۳-۴۵) درصد بازیابی و کارایی جدایش کانی‌ها را در اندازه‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳-۴۴) همه کانی‌ها در اندازه (۱۵+۳۸-) میکرون بیشترین مقدار بازیابی را دارند. کارایی جدایش برای کالکوسیت در اندازه بالای ۳۸ میکرون کمتر است و این به دلیل قفل شدگی این کانی با پیریت و گانگ سیلیکاته است. البته بیشترین درگیری با پیریت بوده است.



شکل (۳-۴) درصد بازیابی در اندازه‌های مختلف برای مدار

کمترین بازیابی برای کالکوپیریت در اندازه زیر ۱۵ میکرون می‌باشد. در همین اندازه درصد بازیابی برای کوولیت پایین می‌باشد و این به دلیل بسیار ریز بودن ذرات می‌باشد. همان طوری که در شکل (۳-۴) مشخص شده است کارایی جدایش در این اندازه برای کالکوپیریت پایین بوده و مقدار آن ۶۰ درصد می‌باشد. از آنجایی که بیشترین درصد وزنی پیریت در اندازه زیر ۱۵ میکرون بوده است به دلیل تأثیر متقابل کالکوپیریت و پیریت باعث کاهش کارایی جدایش کالکوپیریت در این اندازه شده است.



شکل (۳-۴) کارایی جدایش در اندازه‌های مختلف برای مدار

باتوجه به شکل‌های (۳-۴۴) و (۳-۴۵) بیشترین بازیابی و کارایی جدایش در اندازه ذرات (۱۵+۳۸-) میکرون می‌باشد. بنابراین برای افزایش در بازیابی و کارایی جدایش این دانه‌بندی برای مدار شرایط مناسبتری را نشان می‌دهد.

## ۵-۷ استفاده از شبکه عصبی برای بررسی تغییرات بازیابی با تغییر در درصد

### وزنی کانی‌ها

به منظور تخمین در بازیابی در حالت کلی در مدار فرآوری از مدل شبکه عصبی پرسپترون (perceptron) استفاده شد. در مدل شبکه عصبی، سری داده‌های روزانه (یک سال) کارخانه فرآوری مس سونگون برای پارامترهای ورودی و خروجی استفاده شده است. در این مدل ورودی‌ها، درصد وزنی کانی‌های کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت و بورنیت در خوراک کارخانه و خروجی بازیابی مس سولفیدی می‌باشد.

در جدول (۳-۱۳) خلاصه اطلاعات پردازش در شبکه عصبی نشان داده شده است. از ۳۱۳ سری داده موجود، ۲۰۷ داده به عنوان داده‌های آموزش و ۲۰ عدد از آنها به عنوان داده‌های آزمایشی مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول (۳-۱۳) خلاصه اطلاعات پردازش شده شبکه عصبی

		تعداد	درصد
نمونه	آموزش	207	91.2%
	آزمودن	20	8.8%
قابل قبول		227	100.0%
مستثنی		86	
مجموع		313	

در این روش، شبکه از سه لایه تشکیل شده است، لایه‌های ورودی که درصد وزنی کانی‌ها در خوراک مدار فرآوری است. کانی‌های که به عنوان پارامتر ورودی هستند، کالکوپیریت ( $\text{CuFeS}_2$ )، کالکوسیت ( $\text{Cu}_2\text{S}$ )، کوولیت ( $\text{CuS}$ ) و بورنیت ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) است. دو لایه دیگر یکی لایه مخفی و دیگری لایه خروجی است. در لایه خروجی متغییر وابسته بازیابی مس سولفیدی ( $\text{RCu}$ ) است. اطلاعات شبکه در جدول (۳-۱۴) مشخص شده است.

جدول (۳-۱۴) اطلاعات شبکه عصبی

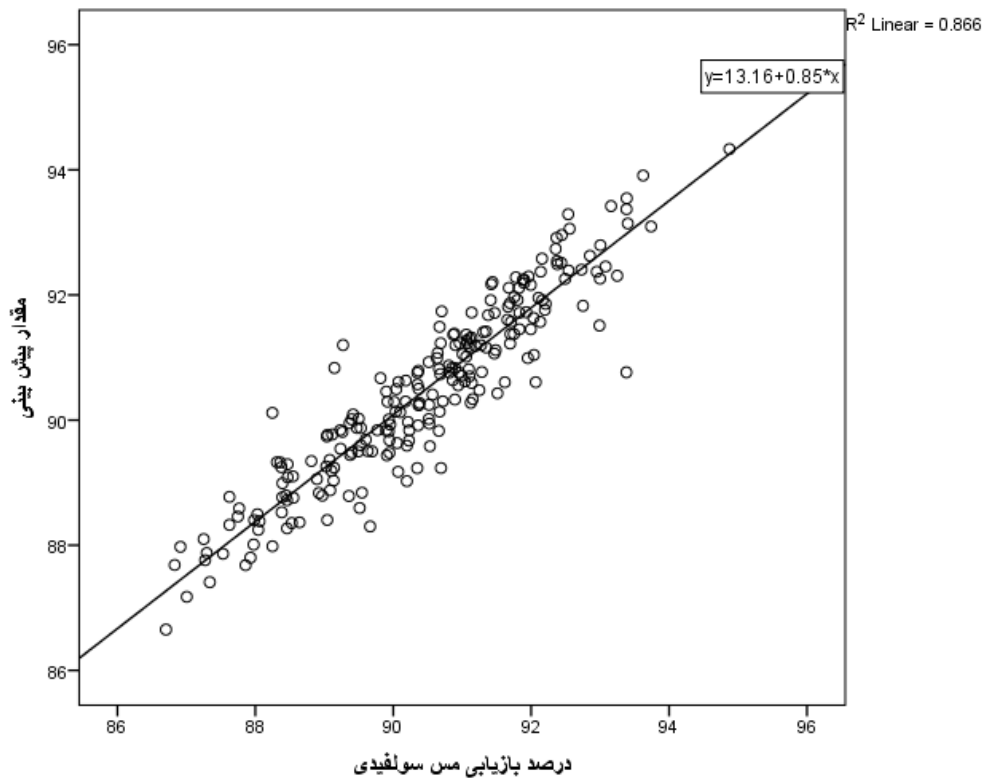
لایه‌های ورودی	فاکتورها	1	$\text{Cu}_2\text{S}$
		2	$\text{CuS}$
		3	$\text{CuFeS}_2$
		4	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$
لایه‌های مخفی	تعداد لایه‌های مخفی		1
	تابع فعال		<i>Hyperbolic tangent</i>
لایه خروجی	متغییر وابسته	1	$\text{RCuS}$
		روش مقیاس برای مقیاس وابسته	
	تابع فعال		<i>Identity</i>
	تابع خطا		مجموع مربعات

در جدول (۳-۱۵) خلاصه مدل نشان داده شده است و خطای در هر دو حالت آموزش و آزمون مشخص شده است

جدول (۳-۱۵) خلاصه مدل

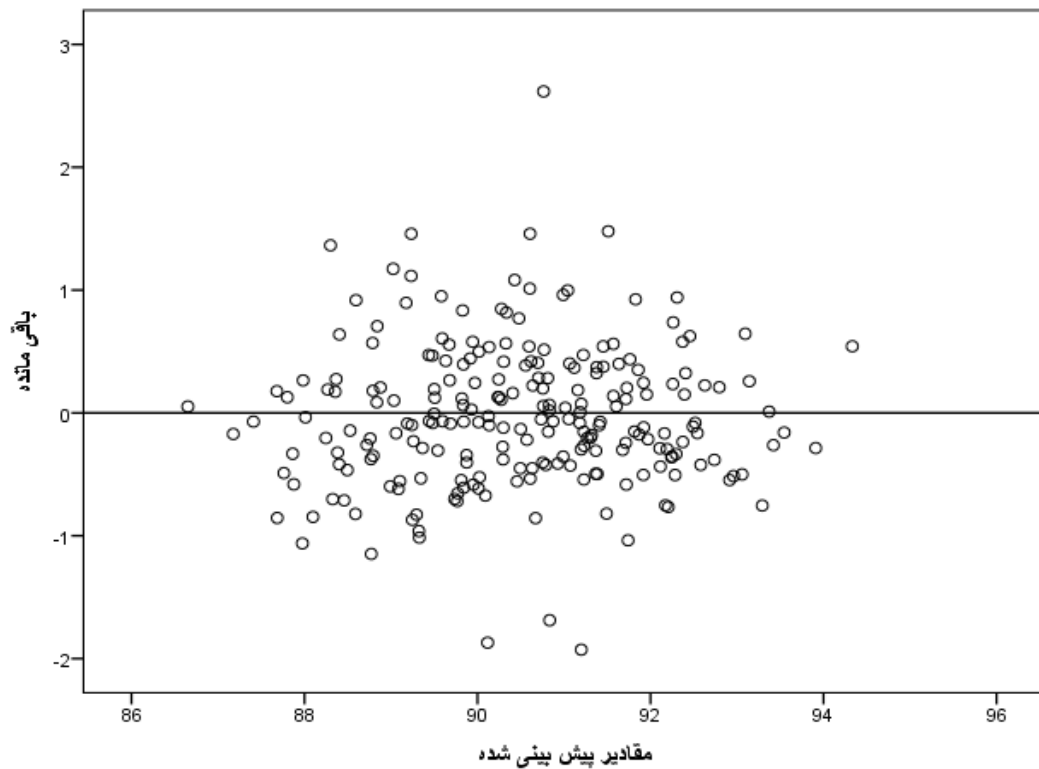
آموزش	مجموع مربعات خطا	9.521
	خطای نسبی	.092
آزمایش	مجموع مربعات خطا	5.780
	خطای نسبی	.551
متغییر وابسته: بازیابی مس سولفیدی		

در شکل (۳-۴۶) میزان پراکندگی داده‌های واقعی را با مقادیر تئوری مدل، نشان می‌دهد. تمام مقادیر محاسبه شده با مقادیر واقعی بسیار نزدیک می‌باشد که نشان دهنده دقت بالای مدل است.



شکل (۳-۴۶) همبستگی مقادیر واقعی بازیابی مس سولفیدی با مدل شبکه عصبی

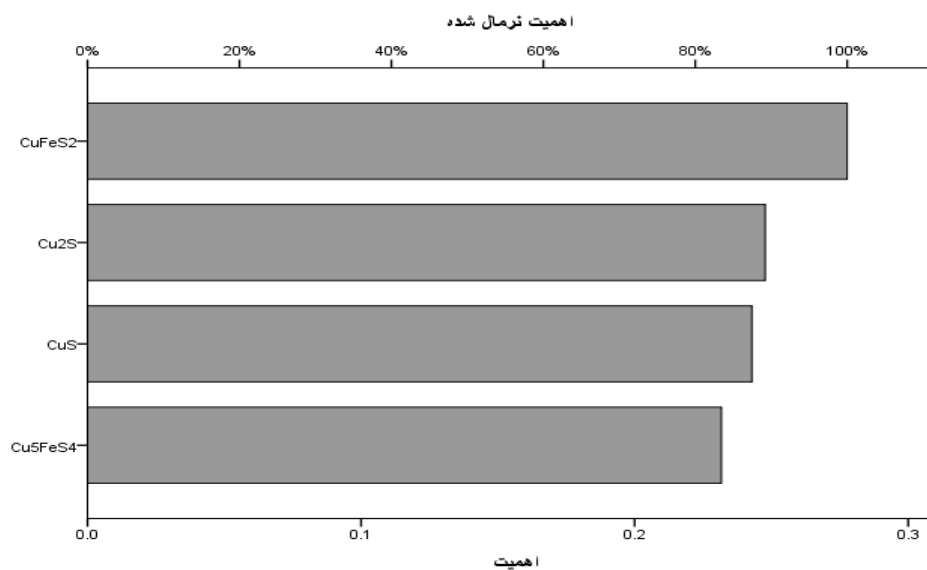
در شکل (۳-۴۷) مقدار تغییرات (باقی مانده) در بازیابی مدل شده را نشان می‌دهد.



متغیر وابسته: بازیابی منس سولفیدی

شکل (۳-۴۷) تغییرات مقدار بازیابی مدل شده

همان طوری که شکل (۳-۴۸) ، نشان می دهد، اهمیت کالکوپیریت بیشترین مقدار و کالکوسیت، کولیت و بورنیت در رده های بعدی قرار دارند.



شکل (۳-۴۸) ضریب اهمیت کانی های مورد بررسی



## فصل چهارم

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- نتایج نشان داد که کارایی هیدروسیکلون اولیه در حد قابل قبول است.
- بررسی‌ها نشان داد که کارایی جدایش در رافر مطلوب ولی در کلینر و ری کلینر پایین می‌باشد.
- بازیابی و کارایی مس سولفیدی در رافر و اسکاونجر مطلوب ولی در کلینر و ری کلینر پایین می‌باشد.
- بیشترین هدرروی کانی‌های کالکوپیریت، کالکوسیت و کوولیت در اندازه بزرگتر از ۵۳ است. با کاهش اندازه ذرات مقدار هدرروی کانی کالکوسیت کاهش پیدا می‌کند. کمتر مقدار هدرروی کالکوپیریت در اندازه (۵۳-؛+۳۸) میکرون است.
- با بررسی‌های انجام گرفته برروی بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در مرحله رافر، در همه دانه بندی، بازیابی بالای ۹۰ درصد می‌باشد. ولی بهترین دانه بندی که در این مرحله مطلوب است در اندازه ذرات (۳۸+؛-۵۳) می‌باشد.
- بیشترین بازیابی در بین کانی‌های مسی در رافر مربوط به کانی کوولیت است. بعد از این کانی کالکوسیت بهترین بازیابی را داشته و کالکوپیریت نسبت به این دو کانی کمتر بوده است. کانی مولیبدنیت در رافر بازیابی کمتر از ۶۵ درصد دارد. از آنجایی که مولیبدنیت خاصیت آبرانی دارد و در مرحله شناور سازی خود به خودی شناور می‌شود. از این رو برای تقویت خاصیت شناور پذیری مولیبدنیت می‌توان از کف سازهای مناسب‌تر یا ترکیبی از کف سازها استفاده کرد.
- با کاهش اندازه ذرات، بازیابی کانی پیریت نیز افزایش می‌یابد.
- به دلیل اینکه هدف اصلی رافر افزایش بازیابی است. دانه بندی (۱۵+؛-۳۸) بهترین نتایج را ارائه خواهد کرد.
- در کلینر بیشترین بازیابی و کارایی جدایش مس سولفیدی در اندازه ذرات (۱۵+؛-۳۸) اتفاق می‌افتد. همچنین کمترین بازیابی و کارایی جدایش در اندازه ذرات زیر ۱۵ میکرون است. با

توجه به مطالعات انجام گرفته بر روی کانی‌ها در مرحله کلینر مشخص می‌شود که کاهش در بازیابی کانی‌های سولفیدی مربوط به کانی کالکوپیریت است. در کلینر بیشترین بازیابی مربوط به کانی کوولیت که ۷۰ درصد می‌باشد و کمترین مقدار بازیابی مربوط به کانی کالکوپیریت است. در حالت کلی بازیابی تمام کانی‌های مسی و مولیبدن در کلینر پایین است که نیاز به بررسی بیشتر در این مرحله از فلوتاسیون است.

- توزیع تمام کانی‌ها در ری کلینر در اندازه زیر ۱۵ میکرون بالای ۷۰ درصد است. این نشان می‌دهد که بیشترین مقدار کانی‌ها در این اندازه بوده و احتمال جدایش کانی‌های بالارزش کاهش می‌یابد و این به دلیل رفتار غیر انتخابی بودن نرمه‌ها است. بیشترین بازیابی در اندازه ذرات (۱۵+; -۳۸) میکرون و کمترین بازیابی در اندازه زیر ۱۵ میکرون است. کارایی جدایش با کاهش در اندازه ذرات افزایش نشان می‌دهد. این مرحله از فلوتاسیون مانند کلینر بازیابی و کارایی جدایش در تمام ذرات مورد مطالعه پایین بوده و نیاز به بررسی بیشتر دارد.

- بازیابی در اسکاونجر در همه ذرات بالای ۹۰ درصد می‌باشد ولی کارایی جدایش پایین است. کاهش بازیابی در اسکاونجر مربوط به کانی کالکوپیریت می‌باشد این کانی نسبت به کانی‌های دیگر در اندازه زیر ۱۵ میکرون کمترین مقدار را دارد. کارایی جدایش در همه کانی‌های مس در اندازه (۱۵+; -۳۸) میکرون نسبت به اندازه‌های دیگر بهتر بوده است. کارایی جدایش در اندازه زیر ۱۵ میکرون برای کانی کالکوپیریت کمتر از ۶۰ درصد بوده است. بنابراین در اندازه ذرات (۱۵+; -۳۸) میکرون هم بازیابی و هم کارایی جدایش در حد مطلوبی بوده است.

- در حالت کلی بیشترین بازیابی در اندازه‌های بین ۳۸ تا ۱۵ میکرون است و کارایی جدایش در این دانه بندی بالای ۹۰ درصد بوده است. در اندازه‌های زیر ۱۵ میکرون کمترین بازیابی و جدایش صورت گرفته است.

- مدلی که شبکه عصبی برای بازیابی مس سولفیدی ارائه می‌دهد با مقادیر واقعی بازیابی ضریب تعیین ۰/۸۶۶ دارد.

- بیشترین اهمیت نرمال شده در پارامترهای مستقل مربوط به کالکوپیریت است.

## پیشنهادات

- بررسی دستگاه کلینر و ری کلینر و کنترل پارامترهای تأثیرگذار در این دستگاه‌ها ضروری است.
- از آنجا که بعد از مرحله خردایش مجدد ذرات بسیار ریز می‌شوند انواع کلکتور و میزان مصرف آن نیاز به بررسی بیشتری دارد.
- مطالعات مینرالوژی با استفاده از QEMSCAN ، می‌تواند نتایج بهتری در مورد درگیری کانی‌ها ارائه دهد.
- راهیابی کالکوپیریت آزاد در اسکاونجر نیاز به بررسی بیشتر دارد.
- برای کاهش تأثیر نرمه در مدار قبل از آسیای گلوله‌ای ثانویه مورد بررسی قرار گیرد.
- بررسی تأثیر واکنش‌های گالوانیکی پیریت و کالکوپیریت در مدار مورد بررسی قرار گیرد.

[۱] رضائی ب، (۱۳۷۵) "فلوتاسیون" چاپ دوم، دانشگاه هرمزگان

[۲] Wills B. A and Napier-Munn T. J. (2006) "An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral" j.of **Miner. Process.** pp 267-274.

[۳] Peng Y, Grano S, Fornasiero D and Ralston J. (2003) "Control of grinding conditions in the flotation of chalcopyrite and its separation from pyrite" *Int. J. Miner. Process.*

[4] Bogdanov O. C. "Theory and Practice of Flotation" (1965) **Metalurgizdat.** pp 215–230.

[۵] Srdjan M. Bulatovic (2007) "Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores" **Elsevier Science & Technology Books** , pp 240-243

[۶] موریس فورستینو. جان میلر. مارتین کان (۱۳۸۲) "شیمی فلوتاسیون" عبداللهی م، چاپ اول، جهاد

دانشگاهی واحد تربیت مدرس - واحد صنعتی امیر کبیر.

[۷] Jorjani E, Barkhordari H. R, Tayebi Khorami M and Fazeli A. (2011) "Effects of aluminosilicate minerals on copper–molybdenum flotation from Sarcheshmeh porphyry ores" **Minerals Engineering.** 24, pp754–759.

[8] Muganda S, Zanin M and Grano S. R. (2011) "Influence of particle size and contact angle on the flotation of chalcopyrite in a laboratory batch flotation cell" **Int. J. Miner. Process.** 98, (3–4), pp 150–162.

[۹] Peng Y, Granob S, Fornasiero D and Ralston J. (2003) "Control of grinding conditions in the flotation of chalcopyrite and its separation from pyrite" **Int. J. Miner. Process** pp 87–100.

[۱۰] Agorhom Eric A, Skinner W and Zanin M. (2013) "Influence of gold mineralogy on its flotation recovery in a porphyry copper–gold ore" **Chemical Engineering.** pp 127–138.

[۱۱] Fuerstenau M. C, Jameson G and Yoon R. H. (2007) "Froth Flotation" A century of Innovation, SME.

[۱۲] Nguyen A and Schulze H. J. (1980) "Colloidal science of flotation" *Surfactant Science Series.* Vol. 118. Marcel Dekker, New York.

[۱۳] Owusu C, Brito e Abreu S, Skinner W, Addai-Mensah J and Zanin M. (2013) "The influence of pyrite content on the flotation of chalcopyrite/pyrite mixtures" **Minerals Engineering.** pp 87–95.

[۱۴] Tahmasebi P, Hezarkhani A and Mortazavi M. (2010) "Application of Discriminant Analysis for Alteration Separation; Sungun Copper Deposit, East Azerbaijan" **Iran Basic and Applied Sciences.** 6,4, pp 564-576.

[۱۵] Asghari O and Hezarkhani A. (2008) "Applying discriminant analysis to separate the alteration zones within the Sungun porphyry copper deposit" **J. Applied Sciences**. 24, pp 4472-4486.

[۱۶] Hezarkhani A and Williams-jones A. E. (1998) "Controls of alteration and mineralization in the sungun porphyry copper deposit, Iran: Evidence from fluid inclusions and stable isotopes" **Econ. Geol.** 93, pp 651-670.

[۱۷] Galagri A. A. (2004) "Fluid inclusion studies in quartz veinlets the porphyry copper deposit at sungun, East-Azarbaidjan, Iran" **J. Asian Earth sci.** 23, pp 179-189. 69, (1-4), pp 87-100

[۱۸] باقریان، ا، (۱۳۸۵) "فرآیند پرعیار سازی مس در کارخانه تغلیظ مس سونگون" گزارش داخلی مس سونگون.

[۱۹] قره داغی، م، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: "بررسی تاثیر اندازه ذرات ورودی به سلول‌های پرعیارکنی اولیه بر کارایی این سلول‌ها در کارخانه تغلیظ مجتمع مس سونگون"، دانشکده معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[۲۰] بنیسی م، (۱۳۷۷) "مسائل کار بردی کانه‌آرایی و فلوتاسیون" چاپ دوم، دانشگاه هرمزگان،

## پیوست

قسمتی از داده‌های مورد بررسی در این تحقیق که مربوط به مطالعات کانی‌شناسی و قفل شدگی کانی‌هاست در جدول‌های ۱ تا ۱۰ آورده شده است. مقدار هر یک از کانی‌ها کالکوسیت ( $\text{Cu}_2\text{S}$ )، کالکوپیریت ( $\text{CuFeS}_2$ )، کوولیت ( $\text{CuS}$ ) و مولیبدنیت ( $\text{MoS}_2$ )، لیمونیت ( $\text{FeOOH}$ )، اسفالریت ( $\text{ZnS}$ ) هماتیت، ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )، مگنتیت ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) در نمونه‌ها به صورت درصد وزنی است. کانی‌ها مس هم به صورت آزاد و هم بصورت درگیر با یکدیگر و باگانگ در جداول مشخص شده است. این داده‌ها با تهیه مقاطع صیقلی و مطالعات میکروسکوپ انعکاسی جمع آوری شد.

درگیری کانی‌ها کالکوپیریت ( $\text{CP}$ )، کالکوسیت ( $\text{CC}$ )، کوولیت ( $\text{CV}$ )، پیریت ( $\text{PY}$ ) و گانگ سیلیکاته ( $\text{G}$ ) با یکدیگر به صورت در جداول مشخص شده است.



جدول (۱) مطالعه کانی شناسی در خوراک رافر

کانی	نوع درگیری	اندازه ذرات (میکرون)			
		+53	(-53;+38)	(-38;+15)	-15
Cu <sub>2</sub> S	CC.FREE	0.028	0.447	0.721	0.085
	CC/CV	0.000	0.074	0.000	0.000
	CC/CP	0.136	0.172	0.170	0.169
	CC/PY	0.000	0.000	0.042	0.056
	CC/G	0.000	0.000	0.000	0.000
	CC/POLY	0.023	0.025	0.000	0.000
	CC.TOTAL	0.188	0.270	0.933	0.310
CuS	CV.FREE	0.000	0.000	0.107	0.071
	CV/CC	0.000	0.062	0.000	0.000
	CV/CP	0.052	0.144	0.427	0.047
	CV/PY	0.000	0.000	0.000	0.047
	CV/G	0.000	0.000	0.000	0.000
	CV/POLY	0.019	0.031	0.000	0.000
	CV.TOTAL	0.072	0.237	0.534	0.166
CuFeS <sub>2</sub>	CP.FREE	0.226	0.386	0.954	0.275
	CP/CC	0.256	0.202	0.223	0.085
	CP/CV	0.188	0.349	0.573	0.021
	CP/PY	0.026	0.000	0.000	0.000
	CP/G	0.077	0.202	0.255	0.000
	CP/POLY	0.102	0.037	0.032	0.000
	CP.TOTAL	0.874	1.177	2.036	0.381
Cu-N	TOTAL	0.000	0.000	0.000	0.000
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.039	0.000
FeS <sub>2</sub>	PY.FREE	4.204	6.849	12.029	5.491
	PY/LOCK	0.169	0.680	0.272	0.354
	PY/POLY	0.231	0.000	0.045	0.000
	PY.TOTAL	4.603	7.530	12.346	5.846
MoS <sub>2</sub>	TOTAL	0.027	0.037	0.058	0.030
FeOOH	TOTAL	0.218	0.284	0.262	0.085
ZnS	TOTAL	0.000	0.050	0.076	0.098
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	0.148	0.377	0.189	0.246
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000	0.000

جدول (۲) مطالعه کانی شناسی در کنسانتره رافر

کانی	نوع درگیری	اندازه ذرات (میکرون)			
		+53	(-53;+38)	(-38;+15)	-15
Cu <sub>2</sub> S	CC.FREE	1.418	0.446	2.768	2.444
	CC/CV	0.000	0.000	0.886	0.652
	CC/CP	0.925	0.955	0.332	0.326
	CC/PY	0.308	0.446	0.332	0.000
	CC/G	0.000	0.000	0.000	0.000
	CC/POLY	0.247	0.127	0.000	0.000
	CC.TOTAL	2.898	1.975	4.319	3.422
CuS	CV.FREE	0.000	0.641	0.279	0.274
	CV/CC	0.000	0.000	0.186	0.274
	CV/CP	0.569	0.802	0.279	0.274
	CV/PY	0.155	0.160	0.000	0.000
	CV/G	0.000	0.000	0.000	0.000
	CV/POLY	0.518	0.107	0.093	0.000
	CV.TOTAL	1.242	1.711	0.836	0.821
CuFeS <sub>2</sub>	CP.FREE	1.758	2.771	10.797	4.277
	CP/CC	2.683	2.627	0.166	0.244
	CP/CV	0.833	1.624	0.332	0.367
	CP/PY	0.000	0.000	0.000	0.000
	CP/G	1.943	0.000	0.332	0.000
	CP/POLY	1.018	0.478	0.166	0.000
	CP.TOTAL	8.233	7.500	11.793	4.888
Cu-N	TOTAL	0.000	0.000	0.353	0.000
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000	0.000
FeS <sub>2</sub>	PY.FREE	31.185	48.689	43.470	25.199
	PY/LOCK	3.064	4.736	1.765	0.000
	PY/POLY	0.438	1.516	0.000	0.000
	PY.TOTAL	34.687	54.940	45.236	25.199
MoS <sub>2</sub>	TOTAL	0.058	0.210	0.317	0.202
FeOOH	TOTAL	1.028	1.369	0.000	0.000
ZnS	TOTAL	0.000	0.000	0.000	0.838
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	0.000	0.000	1.376	0.000
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000	0.000

جدول (۳) مطالعه کانی شناسی در باطله رافر

کانی	نوع درگیری	اندازه ذرات (میکرون)			
		+53	(-53;+38)	(-38;+15)	-15
Cu <sub>2</sub> S	CC.FREE	0.021	0.004	0.014	0.028
	CC/CV	0.000	0.000	0.000	0.000
	CC/CP	0.000	0.023	0.000	0.023
	CC/PY	0.000	0.000	0.009	0.002
	CC/G	0.024	0.006	0.000	0.070
	CC/POLY	0.010	0.000	0.000	0.029
	CC.TOTAL	0.055	0.032	0.023	0.152
CuS	CV.FREE	0.000	0.002	0.011	0.004
	CV/CC	0.000	0.000	0.000	0.000
	CV/CP	0.000	0.000	0.004	0.001
	CV/PY	0.000	0.000	0.000	0.000
	CV/G	0.000	0.000	0.000	0.000
	CV/POLY	0.000	0.000	0.000	0.013
	CV.TOTAL	0.000	0.002	0.015	0.019
CuFeS <sub>2</sub>	CP.FREE	0.000	0.013	0.085	0.034
	CP/CC	0.000	0.076	0.000	0.076
	CP/CV	0.000	0.000	0.003	0.001
	CP/PY	0.000	0.003	0.000	0.003
	CP/G	0.013	0.004	0.003	0.079
	CP/POLY	0.005	0.000	0.000	0.071
	CP.TOTAL	0.018	0.096	0.092	0.264
Cu-N	TOTAL	0.000	0.000	0.000	0.000
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000	0.000
FeS <sub>2</sub>	PY.FREE	3.460	3.136	4.378	8.386
	PY/LOCK	0.558	0.383	1.037	1.535
	PY/POLY	0.000	0.000	0.000	0.000
	PY.TOTAL	4.018	3.519	5.415	9.921
MoS <sub>2</sub>	TOTAL	0.013	0.020	0.015	0.047
FeOOH	TOTAL	0.444	0.373	0.146	0.911
ZnS	TOTAL	0.023	0.220	0.240	0.359
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	0.290	0.031	0.060	0.537
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000	0.000

جدول (۴) مطالعه کانی شناسی در خوراک کلینر

کانی	نوع درگیری	اندازه ذرات (میکرون)		
		+38	(-38;+15)	-15
Cu <sub>2</sub> S	CC.FREE	1.950	3.675	6.923
	CC/CV	0.000	0.689	0.769
	CC/CP	1.684	2.986	1.538
	CC/PY	0.621	0.919	0.000
	CC/G	0.000	0.000	0.000
	CC/POLY	0.177	0.000	0.000
	CC.TOTAL	4.433	8.268	9.230
CuS	CV.FREE	1.446	1.349	3.551
	CV/CC	0.000	0.325	0.323
	CV/CP	0.446	1.927	1.937
	CV/PY	0.000	0.385	0.000
	CV/G	0.000	0.000	0.000
	CV/POLY	0.149	0.211	0.000
	CV.TOTAL	2.042	3.873	5.810
CuFeS <sub>2</sub>	CP.FREE	6.849	3.962	7.110
	CP/CC	2.128	2.411	2.865
	CP/CV	0.798	2.067	2.308
	CP/PY	0.000	0.000	0.000
	CP/G	0.532	0.000	0.000
	CP/POLY	0.000	0.000	0.000
	CP.TOTAL	10.306	8.440	12.283
Cu-N	TOTAL	0.000	0.000	0.000
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000
FeS <sub>2</sub>	PY.FREE	36.850	34.715	31.905
	PY/LOCK	2.619	3.342	0.000
	PY/POLY	0.000	0.000	0.000
	PY.TOTAL	39.469	38.057	31.905
MoS <sub>2</sub>	TOTAL	0.234	0.517	0.437
FeOOH	TOTAL	0.688	0.000	0.000
ZnS	TOTAL	0.594	1.112	0.000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000

جدول (۵) مطالعه کانی شناسی در کنسانتره کلینر

کانی	نوع درگیری	اندازه ذرات (میکرون)		
		+38	(-38;+15)	-15
Cu <sub>2</sub> S	CC.FREE	5.670	9.026	11.605
	CC/CV	0.945	0.623	0.000
	CC/CP	4.050	6.848	2.731
	CC/PY	1.080	1.556	0.683
	CC/G	0.000	0.000	0.000
	CC/POLY	0.000	0.000	0.000
	CC.TOTAL	11.745	18.053	15.018
CuS	CV.FREE	1.700	3.135	9.167
	CV/CC	0.000	0.522	0.000
	CV/CP	1.586	5.747	2.865
	CV/PY	0.113	0.000	0.000
	CV/G	0.000	0.000	0.000
	CV/POLY	0.227	0.522	0.000
	CV.TOTAL	3.626	9.927	12.032
CuFeS <sub>2</sub>	CP.FREE	13.062	13.606	26.624
	CP/CC	8.708	5.836	3.072
	CP/CV	7.898	5.836	3.584
	CP/PY	0.000	0.000	0.000
	CP/G	0.000	0.000	0.000
	CP/POLY	0.203	0.700	0.000
	CP.TOTAL	29.870	25.978	33.280
Cu-N	TOTAL	0.000	0.000	0.000
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	TOTAL	0.251	0.000	0.000
FeS <sub>2</sub>	PY.FREE	38.373	38.127	45.989
	PY/LOCK	9.644	5.069	1.786
	PY/POLY	0.000	0.000	0.000
	PY.TOTAL	48.016	43.196	47.775
MoS <sub>2</sub>	TOTAL	0.699	0.874	0.705
FeOOH	TOTAL	0.000	0.000	0.000
ZnS	TOTAL	0.267	0.602	0.000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TOTAL	0.221	0.000	0.000

جدول (۶) مطالعه کانی شناسی در باطله کلینر

کانی	نوع درگیری	اندازه ذرات (میکرون)		
		+38	(-38;+15)	-15
Cu <sub>2</sub> S	CC.FREE	0.000	2.613	2.821
	CC/CV	0.000	0.327	0.000
	CC/CP	1.854	1.061	1.945
	CC/PY	0.856	0.490	0.389
	CC/G	0.000	0.000	0.000
	CC/POLY	0.000	0.000	0.000
	CC.TOTAL	2.710	4.491	5.155
CuS	CV.FREE	0.120	0.274	0.980
	CV/CC	0.000	0.274	0.000
	CV/CP	0.197	0.822	0.898
	CV/PY	0.718	0.000	0.163
	CV/G	0.000	0.000	0.000
	CV/POLY	0.000	0.000	0.000
	CV.TOTAL	1.035	1.370	2.041
CuFeS <sub>2</sub>	CP.FREE	4.365	1.919	2.678
	CP/CC	1.205	1.163	2.116
	CP/CV	0.279	0.857	1.021
	CP/PY	0.000	0.000	0.000
	CP/G	0.214	0.000	0.000
	CP/POLY	0.000	0.000	0.000
	CP.TOTAL	6.063	3.939	5.815
Cu-N	TOTAL	0.000	0.000	0.000
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	TOTAL	0.132	0.000	0.000
FeS <sub>2</sub>	PY.FREE	35.159	33.240	26.222
	PY/LOCK	1.504	2.574	1.510
	PY/POLY	0.000	0.000	0.000
	PY.TOTAL	36.663	35.813	27.732
MoS <sub>2</sub>	TOTAL	0.130	0.324	0.254
FeOOH	TOTAL	0.802	0.000	0.000
ZnS	TOTAL	0.000	0.425	0.471
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	0.384	0.000	0.000
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000

جدول (۷) مطالعه کانی شناسی در کنسانتره ری کلینر

کانی	نوع درگیری	اندازه ذرات (میکرون)		
		+38	(-38;+15)	-15
Cu <sub>2</sub> S	CC.FREE	6.261	11.542	15.006
	CC/CV	0.438	0.000	0.000
	CC/CP	5.631	9.987	5.823
	CC/PY	1.877	0.000	0.536
	CC/G	0.000	0.000	0.000
	CC/POLY	0.000	0.000	0.000
	CC.TOTAL	14.207	21.529	21.365
CuS	CV.FREE	3.120	4.844	13.044
	CV/CC	0.368	0.000	0.000
	CV/CP	3.864	6.879	4.048
	CV/PY	0.184	1.385	0.000
	CV/G	0.000	5.000	0.000
	CV/POLY	0.000	0.000	0.000
	CV.TOTAL	7.536	18.108	17.092
CuFeS <sub>2</sub>	CP.FREE	29.430	25.461	27.332
	CP/CC	9.878	14.985	10.412
	CP/CV	8.550	2.291	4.019
	CP/PY	0.000	0.000	0.000
	CP/G	0.000	0.000	0.000
	CP/POLY	0.000	0.000	0.000
	CP.TOTAL	47.858	42.738	41.763
Cu-N	TOTAL	0.000	0.000	0.000
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	TOTAL	1.628	0.000	0.000
FeS <sub>2</sub>	PY.FREE	32.720	19.098	22.350
	PY/LOCK	8.073	2.387	0.000
	PY/POLY	0.000	0.000	0.000
	PY.TOTAL	40.793	21.486	22.350
MoS <sub>2</sub>	TOTAL	0.851	0.956	0.935
FeOOH	TOTAL	0.000	0.000	0.000
ZnS	TOTAL	0.790	0.000	0.000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000

جدول (۸) مطالعه کانی شناسی در باطله ری کلینر

کانی	نوع درگیری	اندازه ذرات (میکرون)		
		+38	(-38;+15)	-15
Cu <sub>2</sub> S	CC.FREE	4.637	5.771	7.092
	CC/CV	1.137	0.000	0.000
	CC/CP	2.685	4.120	1.546
	CC/PY	0.516	1.202	0.000
	CC/G	0.000	0.000	0.000
	CC/POLY	0.026	0.343	0.000
	CC.TOTAL	9.001	11.436	8.638
CuS	CV.FREE	1.113	0.858	6.411
	CV/CC	0.636	0.288	0.534
	CV/CP	0.504	0.809	0.534
	CV/PY	0.000	0.544	0.000
	CV/G	0.000	1.000	0.000
	CV/POLY	0.000	2.000	0.000
	CV.TOTAL	2.253	5.499	7.479
CuFeS <sub>2</sub>	CP.FREE	9.050	8.075	25.851
	CP/CC	8.001	3.347	2.232
	CP/CV	3.127	0.644	0.955
	CP/PY	0.421	0.850	0.000
	CP/G	1.137	2.000	0.000
	CP/POLY	2.842	0.515	0.000
	CP.TOTAL	24.579	15.431	29.038
Cu-N	TOTAL	0.000	0.000	0.000
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000
FeS <sub>2</sub>	PY.FREE	18.349	29.858	22.680
	PY/LOCK	4.819	11.407	0.000
	PY/POLY	0.357	1.342	0.000
	PY.TOTAL	23.525	42.607	22.680
MoS <sub>2</sub>	TOTAL	0.300	0.664	0.497
FeOOH	TOTAL	0.000	0.000	0.000
ZnS	TOTAL	0.000	0.000	5.389
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000



جدول (۹) مطالعه کانی شناسی در کنسانتره اسکاونجر

کانی	نوع درگیری	اندازه ذرات (میکرون)		
		+38	(-38;+15)	-15
Cu <sub>2</sub> S	CC.FREE	3.667	11.502	7.585
	CC/CV	0.629	1.128	0.878
	CC/CP	1.362	6.766	4.064
	CC/PY	1.048	0.226	0.637
	CC/G	3.143	0.000	1.572
	CC/POLY	0.000	0.000	0.000
	CC.TOTAL	9.849	19.621	14.735
CuS	CV.FREE	0.352	2.082	1.217
	CV/CC	0.088	0.946	0.517
	CV/CP	0.967	2.271	1.619
	CV/PY	0.264	0.379	0.321
	CV/G	0.000	0.000	0.000
	CV/POLY	0.000	0.000	0.000
	CV.TOTAL	1.671	4.679	3.675
CuFeS <sub>2</sub>	CP.FREE	15.323	13.612	10.467
	CP/CC	3.379	4.398	3.888
	CP/CV	2.200	3.890	3.045
	CP/PY	0.000	1.015	0.507
	CP/G	0.000	0.000	0.000
	CP/POLY	0.000	0.000	0.000
	CP.TOTAL	20.902	22.915	17.909
Cu-N	TOTAL	0.668	0.000	0.334
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	TOTAL	0.097	0.209	0.153
FeS <sub>2</sub>	PY.FREE	31.689	37.625	34.657
	PY/LOCK	8.642	2.787	5.715
	PY/POLY	0.000	0.000	0.000
	PY.TOTAL	40.331	40.412	40.372
MoS <sub>2</sub>	TOTAL	0.230	1.006	0.618
FeOOH	TOTAL	0.000	0.000	0.000
ZnS	TOTAL	0.599	0.000	0.299
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TOTAL	0.000	0.000	0.000

جدول (۱۰) مطالعه کانی شناسی در باطله اسکاونجر

کانی	نوع درگیری	اندازه ذرات (میکرون)		
		+38	(-38;+15)	-15
Cu <sub>2</sub> S	CC.FREE	0.0291	0.1995	0.1675
	CC/CV	0.0437	0.0000	0.0000
	CC/CP	0.0146	0.1497	0.0000
	CC/PY	0.0146	0.0499	0.0000
	CC/G	0.0437	0.0000	0.0000
	CC/POLY	0.0582	0.0000	0.0000
	CC.TOTAL	0.2038	0.3991	0.1675
CuS	CV.FREE	0.0000	0.0000	0.0351
	CV/CC	0.0244	0.0000	0.0000
	CV/CP	0.0000	0.0000	0.0351
	CV/PY	0.0000	0.0000	0.0000
	CV/G	0.0000	0.0000	0.0000
	CV/POLY	0.0122	0.0000	0.0000
	CV.TOTAL	0.0867	0.0510	0.1403
CuFeS <sub>2</sub>	CP.FREE	0.3018	0.2497	0.8512
	CP/CC	0.2109	0.1245	0.0000
	CP/CV	0.0000	0.0000	0.1942
	CP/PY	0.2218	0.0000	0.0000
	CP/G	0.0000	0.1497	0.0000
	CP/POLY	0.0983	0.0000	0.0000
	CP.TOTAL	0.8328	0.5238	1.0454
Cu-N	TOTAL	0.0000	0.0000	0.0000
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	TOTAL	0.0000	0.0000	0.0000
FeS <sub>2</sub>	PY.FREE	20.6195	19.8629	47.7355
	PY/LOCK	5.2017	0.6658	0.9251
	PY/POLY	0.1406	0.0000	0.0000
	PY.TOTAL	25.9618	20.5287	48.6606
MoS <sub>2</sub>	TOTAL	0.0701	0.0717	0.1401
FeOOH	TOTAL	0.2032	0.3208	1.4041
ZnS	TOTAL	0.2728	0.1846	1.0002
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	0.0000	0.8075	0.1923
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TOTAL	0.0000	0.1714	0.0000

## Abstract

Sulphid minerals show spacial behaviour in flotation process based on their physical and chemical characteristics and interconnection with other minerals. Sungun copper mine ore contains valuable minerals such as chalcopyrite, chalcocite, covellite and etc. Some associated minerals as gangues are (such as pyrite) are present in the deposit. To study the behavior of minerals in the Sungun copper processing plant, inputs and outputs of the circuit were sampled and analyzed chemically and mineralogy. The weight percent of minerals in each sample was achieved and the recovery and separation efficiency were investigated for various minerals in different sizes.

In rougher flotation stage sulphide copper recovery was above 90% for all particle sizes which was more related to the chalcocite and covellite minerals. In this stage chalcopyrite recovery in +53 microns and -15 microns sizes, was less than 85 percent. In cleaner stage the least recovery and separation efficiency was occurred in +38 micron particle size which was related to the chalcopyrite and chalcocite minerals. The highest recovery of chalcocite and chalcopyrite in the (-38;+15) particle size range in all flotation process units. Finally a neural network model was presented for investigating the relation between copper mineral weight percent and recovery. The proposed model holds the precision coefficient 0.866.

**Keywords:** Sungun, copper minerals, particle size, separation efficiency, recovery



**Shahrood University of Technology**  
**Faculty of Mine, Petroleum and Geophysics**

**M.Sc. Thesis**

Investigation of the behavior of minerals in the Sungun processing circuit  
and its impact on the overall efficiency for presenting a prediction model

**Ali Lotfi**

**Supervisor(s):**

**Dr. M. Karamoozian**  
**Dr. A. Abedi**

**January 2014**