



وزارت صنایع و معادن

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات

طرح تلفیق لایه‌های اطلاعاتی پایه و معرفی مناطق امیدبخش معدنی

معاونت اکتشاف

مدیریت کانه آرایشی و فرآوری مواد معدنی

گروه کانه آرایشی

بررسی امکان پریارسازی مولیبدن و مس کانسنگ کال کافی

تهیه کنندگان

محسن محمدخانی - احمد امینی

زمستان ۱۳۸۸



فهرست مطالب	صفحه
فصل اول کلیاتی در مورد مس و مولیبدن.....	۱.....
۱-۱- مقدمه.....	۲.....
۲-۱- تاریخچه.....	۳.....
۳-۱- مشخصات فیزیکی و مکانیکی.....	۵.....
۱-۳-۱- مولیبدن.....	۵.....
۲-۳-۱- مس.....	۵.....
۴-۱- کانی‌های مولیبدن.....	۶.....
۱-۴-۱- مولیبدنیت Molybdenite.....	۶.....
۲-۴-۱- ولفنیت Wolfnite.....	۶.....
۳-۴-۱- پوولیت Powellite.....	۶.....
۴-۴-۱- فری مولیبدنیت Feri- Molybdenite.....	۷.....
۵-۴-۱- مولیبدیت Molybdite :.....	۷.....
۵-۱- کانی‌های مس.....	۷.....
۶-۱- زمین‌شناسی مولیبدن.....	۸.....
۷-۱- انواع کانسارهای مولیبدن.....	۸.....
۱-۷-۱- کانسارهای مولیبدن پورفیری.....	۸.....
۱-۷-۱-۱- کانسارهای مولیبدن پورفیری نوع کلایمکس- هندرسون.....	۹.....
۲-۷-۱-۱- کانسارهای مولیبدن پورفیری نوع کوارتز مونزونیت.....	۹.....
۳-۷-۱- اسکارن‌های مولیبدن.....	۹.....
۴-۷-۱- کانسارهای مولیبدن رگه‌ای.....	۹.....
۵-۷-۱- کانسارهای مولیبدن موجود در پگماتیت‌ها و آپلیت‌ها.....	۱۰.....
۶-۷-۱- کانسارهای اورانیوم حاوی مولیبدن.....	۱۰.....
۸-۱- کانسارهای مس.....	۱۰.....
۱-۸-۱- کانسارهای مس پورفیری.....	۱۱.....
۲-۸-۱-۱- کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی.....	۱۱.....
۳-۸-۱-۱- کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی.....	۱۲.....
۴-۸-۱-۱- کانسارهای اسکارن مس‌دار.....	۱۳.....
۵-۸-۱-۱- کانسارهای ماسیوسولفیدی مس.....	۱۳.....
۶-۸-۱-۱- کانسارهای مس رسوبی استراتی‌باند.....	۱۴.....
۷-۸-۱-۱- کانسارهای مس رگه‌ای.....	۱۵.....
۸-۸-۱-۱- کانسارهای گرمابی مس.....	۱۵.....

- ۱-۸-۷- کانسارهای کربناته مس ۱۵
- ۱-۹- میزان تولید مولیبدن ۱۵
- ۱-۱۰- میزان تولید مس ۱۶
- ۱-۱۱- مصارف عمده مولیبدن ۱۷
- ۱-۱۱-۱- آلیاژها ۱۷
- ۱-۱۱-۲- کاتالیزور ۱۷
- ۱-۱۱-۳- هسته‌ای ۱۷
- ۱-۱۱-۴- مصارف شیمیایی ۱۸
- ۱-۱۱-۵- الکترونیک ۱۸
- ۱-۱۱-۶- شیشه سازی ۱۹
- ۱-۱۲- مصارف عمده مس ۲۰
- فصل دوم فرآوری مولیبدن ۲۱
- ۲-۱- مقدمه ۲۲
- ۲-۲- فلوتاسیون مهمترین روش فرآوری مس و مولیبدن ۲۲
- ۲-۳- کلکتورها ۲۳
- ۲-۴- کف‌سازها ۲۳
- ۲-۵- اندازه ذرات ۲۴
- ۲-۶- فرآیندهای جدایش کانی‌های سولفیدی مس- مولیبدن ۲۶
- ۲-۶-۱- حذف کلکتورهای مس ۲۶
- ۲-۶-۱-۱- فرآیندهای حرارتی ۲۷
- ۲-۶-۱-۲- فرآیندهای غیرحرارتی ۲۷
- ۲-۶-۲- هیدروکربن‌ها ۲۸
- ۲-۷- ناخالصی‌ها در کنسانتره مولیبدن ۲۸
- ۲-۸- مجتمع مس سرچشمه ۲۹
- ۲-۸-۱- کارخانه پرعیارسازی مس ۲۹
- ۲-۸-۲- کارخانه فرآوری مولیبدن ۳۰
- ۲-۹- فلوشیت‌های کاربردی ۳۱
- فصل سوم کانسنگ کال کافی ۳۴
- ۳-۱- مقدمه‌ای بر مطالعات صورت گرفته ۳۵
- ۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی کانسنگ مورد مطالعه ۳۵
- ۳-۱-۲- خلاصه‌ای از زمین‌شناسی محدوده کانسار ۳۵
- ۳-۱-۳- مطالعات اکتشافی ۳۶

- ۳۶..... ۱-۳-۱-۳- مطالعات اکتشافی مرحله قبل
- ۳۷..... ۲-۳-۱-۳- مطالعات اکتشافی انجام شده
- ۳۸..... ۱-۲-۳-۱-۳- شرح گمانه BH_۱
- ۳۸..... ۲-۲-۳-۱-۳- شرح گمانه BH_۲
- ۳۹..... ۳-۲-۳-۱-۳- شرح گمانه BH_۳
- ۴۱..... ۴-۱-۳- ارزیابی عیار و ذخیره زون‌های کانی‌سازی
- ۴۲..... ۵-۱-۳- مطالعات فرآوری قبلی
- ۴۴..... ۲-۳- مطالعات فرآوری و آزمایش‌های آزمایشگاهی
- ۴۴..... ۱-۲-۳- خردایش و آماده‌سازی نمونه اولیه
- ۴۵..... ۲-۲-۳- آزمایش تجزیه سرنبدی
- ۴۷..... ۳-۲-۳- تجزیه کامل شیمیایی، XRD و ICP
- ۴۸..... ۴-۲-۳- کانی‌شناسی
- ۴۸..... ۱-۴-۲-۳- مطالعه تیغه‌های تهیه شده از نمونه‌های دستی کانسنگ مس-مولیبدن کال کافی
- ۵۱..... ۲-۴-۲-۳- مطالعه تیغه‌های تهیه شده از فراکسیون‌های دانه‌بندی
- ۵۱..... ۱-۲-۴-۲-۳- فراکسیون ۱۸ تا ۳۵ مش
- ۵۱..... ۲-۲-۴-۲-۳- فراکسیون ۳۵ تا ۵۰ مش
- ۵۱..... ۳-۲-۴-۲-۳- فراکسیون ۵۰ تا ۷۰ مش
- ۵۱..... ۴-۲-۴-۲-۳- فراکسیون ۷۰ تا ۱۰۰ مش
- ۵۲..... ۵-۲-۴-۲-۳- فراکسیون ۱۰۰ تا ۲۰۰ مش
- ۵۲..... ۵-۲-۳- تعیین زمان خردایش
- ۵۳..... ۶-۲-۳- آزمایش‌های فلوتاسیون
- ۵۳..... ۱-۶-۲-۳- آزمایش‌های فلوتاسیون تجمعی
- ۵۳..... ۱-۱-۶-۲-۳- بهینه‌سازی pH فلوتاسیون رافر
- ۵۶..... ۲-۱-۶-۲-۳- تعیین عملکرد افزایش کلکتور و سیلیکات سدیم
- ۵۷..... ۳-۱-۶-۲-۳- مرحله‌ای اضافه کردن کلکتور و دو مرحله شستشو بر روی آزمایش ۵ کیلوگرمی
- ۵۸..... ۴-۱-۶-۲-۳- انتخاب کف ساز مناسب
- ۵۹..... ۵-۱-۶-۲-۳- بررسی میزان تأثیر سه کلکتور مختلف روی بازیابی مس و مولیبدن
- ۶۱..... ۶-۱-۶-۲-۳- آزمایش بدون استفاده از کمک کلکتور گازوئیل
- ۶۱..... ۷-۱-۶-۲-۳- فراهم کردن کنسانتره مس و مولیبدن برای جدایش مس از مولیبدن
- ۶۳..... ۲-۶-۲-۳- آزمایش‌های فلوتاسیون انتخابی
- ۶۳..... ۱-۲-۶-۲-۳- آزمایش اول
- ۶۴..... ۲-۲-۶-۲-۳- آزمایش دوم
- ۶۵..... ۳-۲-۶-۲-۳- آزمایش سوم
- ۶۵..... ۴-۲-۶-۲-۳- آزمایش چهارم
- ۶۶..... ۵-۲-۶-۲-۳- آزمایش پنجم
- ۶۷..... ۶-۲-۶-۲-۳- آزمایش ششم
- ۶۸..... ۷-۲-۶-۲-۳- آزمایش هفتم

- ۷۰..... ۳-۲-۶-۳- تعیین چگونگی عملکرد گازوئیل بر کف
- ۷۲..... ۳-۲-۶-۴- استفاده از کلکتور سدیم ایزوبوتیل گزنتات برای افزایش بازیابی
- ۷۲..... ۳-۲-۶-۴-۱- آزمایش اول
- ۷۲..... ۳-۲-۶-۴-۲- آزمایش دوم
- ۷۵..... ۳-۳- نتیجه‌گیری
- ۷۶..... ۳-۴- پیشنهادات
- ۷۷..... منابع و مراجع
- ۷۸..... پیوست

صفحه

فهرست جداول

جدول ۳-۱ تجزیه سرنندی دو کیلوگرم از کانسنگ	۴۵
جدول ۳-۲ تجزیه شیمیایی دو نمونه معرف	۴۸
جدول ۳-۳ آزمایش‌های فلوتاسیون رافر روی ۴ نمونه یک کیلوگرمی در سه pH قلیایی	۵۴
جدول ۳-۴ عیار و بازیابی مس و مولیبدن سه آزمایش فلوتاسیون رافر در سه pH قلیایی	۵۵
جدول ۳-۵ آزمایش‌های فلوتاسیون رافر با تغییر در مقدار کلکتور و سیلیکات سدیم (آزمایش ۵، ۶ و ۷)	۵۶
جدول ۳-۶ نتایج آزمایش ۵، ۶ و ۷	۵۶
جدول ۳-۷ آزمایش‌های فلوتاسیون رافر روی نمونه‌های یک کیلوگرمی و ۵ کیلوگرمی (آزمایش ۸، ۹ و ۱۰)	۵۷
جدول ۳-۸ عیار و بازیابی مس و مولیبدن (آزمایش ۸، ۹ و ۱۰)	۵۸
جدول ۳-۹ شرایط آزمایش‌های ۱۵ تا ۱۷ برای تعیین چگونگی تاثیر کف‌ساز	۵۸
جدول ۳-۱۰ نتایج آزمایش‌های تعیین چگونگی تاثیر کف‌ساز	۵۹
جدول ۳-۱۱ بررسی میزان تأثیر سه کلکتور مختلف روی بازیابی مس و مولیبدن	۶۰
جدول ۳-۱۲ داده‌های حاصل از فلوتاسیون رافر بدون استفاده از گازوئیل	۶۱
جدول ۳-۱۳ داده‌های حاصل از آزمایش اول برای جدایش مس و مولیبدن	۶۳
جدول ۳-۱۴ داده‌های حاصل از آزمایش دوم برای جدایش مس و مولیبدن	۶۴
جدول ۳-۱۵ داده‌های حاصل از آزمایش سوم برای جدایش مس و مولیبدن	۶۵
جدول ۳-۱۶ داده‌های حاصل از آزمایش چهارم برای جدایش مس و مولیبدن	۶۶
جدول ۳-۱۷ داده‌های حاصل از آزمایش پنجم برای جدایش مس و مولیبدن	۶۷
جدول ۳-۱۸ داده‌های حاصل از آزمایش ششم برای جدایش مس و مولیبدن	۶۷
جدول ۳-۱۹ داده‌های حاصل از آزمایش هفتم برای جدایش مس و مولیبدن	۷۰
جدول ۳-۲۰ داده‌های حاصل از تغییرات مقدار گازوئیل مرحله رافر بر بازیابی مس و مولیبدن	۷۱
جدول ۳-۲۱ داده‌های حاصل از آزمایش اول با کلکتور سدیم ایزوبوتیل گزنتات	۷۲
جدول ۳-۲۲ داده‌های حاصل از آزمایش دوم با کلکتور سدیم ایزوبوتیل گزنتات	۷۳

صفحه

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- نمایی از کانی مولیدنیت ۶
- شکل ۲-۱- نمایی از کانی کالکوپیریت ۸
- شکل ۳-۱- نمایش ستونی تولید مولیدن در جهان در دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۷ ۱۶
- شکل ۴-۱- نمایش ستونی تولید مس در جهان در دوره ۲۰۰۱-۱۹۹۷ ۱۶
- شکل ۵-۱- نمودار سهم مصرف صنایع مختلف از تولیدات مس در سال ۲۰۰۳ در جهان ۲۰
- شکل ۱-۲- بازیابی مس را به عنوان تابعی از pH ۲۴
- شکل ۲-۲- ارزیابی مس در بخش‌های ابعادی کنسانتره‌های سه معدن ۲۵
- شکل ۳-۲- فلوشیت جدایش کانی‌های سولفور مس و مولیدن از باطله در El Cobre ۳۲
- شکل ۴-۲- فلوشیت جدایش کانی‌های مس از مولیدن San Manuel در آریزونا (Arizona) ۳۲
- شکل ۵-۲- فلوشیت فلوتاسیون انتخابی مولیدنیت در معدن مس Majdanpek ۳۳
- شکل ۱-۳- فلوشیت پریارسازی مس و مولیدن کال کافی طراحی شرکت Techno Export ۴۳
- شکل ۲-۳- نمونه معرف صورت مغزه ۴۴
- شکل ۳-۳- نمودار درصد وزنی تجمعی باقیمانده و عبورکرده از سرند ۱۴۰ مش ۴۵
- شکل ۴-۳- نمودار عیار مس نسبت به ابعاد پس از خردایش ۴۶
- شکل ۵-۳- نمودار عیار مولیدن نسبت به ابعاد پس از خردایش ۴۶
- شکل ۶-۳- توزیع مس و مولیدن را در بخش‌های دانه‌بندی ۴۷
- شکل ۷-۳- نمایی از بلورهای ارتوکلاز شکل دار، سربیسیت، و کوارتز در سطح یکی از مقاطع نازک ۴۹
- شکل ۸-۳- نماهایی از آلتراسیون شدید کالکوپیریت به کانی‌های ثانویه مس (کولیت-دیجنیت، کالکوسیت) ۴۹
- شکل ۹-۳- نماهایی از درگیری کانی‌های بورنیت و کالکوپیریت با باطله ۵۰
- شکل ۱۰-۳- درصد وزنی باقیمانده بر روی سرند کنترل (۱۴۰ مش) در زمان‌های مختلف خردایش ۵۳
- شکل ۱۱-۳- فلوتاسیون مرحله رافر نمونه یک کیلوگرمی ۵۴
- شکل ۱۲-۳- نمایش بازیابی مس و مولیدن در سه pH قلیایی ۵۵
- شکل ۱۳-۳- نمایش عملکرد کف‌سازها بر عیار مس و مولیدن ۵۹
- شکل ۱۴-۳- نمایش عملکرد سه کلکتور مختلف بر بازیابی مس و مولیدن ۶۰
- شکل ۱۵-۳- کف‌گیری مرحله رافر آزمایش ۵ کیلوگرمی ۶۲
- شکل ۱۶-۳- شستشوی (کلینر) مرحله اول آزمایش ۵ کیلوگرمی ۶۲

- شکل ۳-۱۷ شستشوی (کلینر) مرحله سوم آزمایش ۵ کیلوگرمی ۶۳
- شکل ۳-۱۸ فلوتاسیون مرحله رافر آزمایش ۲۰ کیلوگرمی همراه با بار در گردش ۶۸
- شکل ۳-۱۹ شستشوی مرحله اول آزمایش ۲۰ کیلوگرمی ۶۹
- شکل ۳-۲۰ جدایش مس و مولیبدن ۶۹
- شکل ۳-۲۱ کنسانتره مولیبدن ۶۹
- شکل ۳-۲۲ نمایش تاثیر مقدار گازوئیل بر بازیابی مس و مولیبدن ۷۱
- شکل ۳-۲۳ فلوشیت ارائه شده برای آرایش مس و مولیبدن از کانسنگ کالکافی ۷۴

پیش‌گفتار

این پروژه در راستای درخواست شرکت توسعه علوم زمین با نامه شماره ۱۱۵۴ در تاریخ ۸۷/۱۱/۷، بین مدیریت کانه‌آرایی و فرآوری سازمان زمین‌شناسی و شرکت مذکور انجام گردید.

- نمونه کانسنگ توسط شرکت توسعه علوم زمین فراهم گردید.
 - خردایش و آماده‌سازی نمونه در سازمان زمین‌شناسی انجام شد.
 - اندازه‌گیری مقدار عناصر XRD، XRF و تجزیه‌های شیمیایی در آزمایشگاه شیمی شرکت توسعه علوم زمین صورت گرفت.
 - تهیه و بررسی مقاطع صیقلی و نازک، شناسایی کانی‌های موجود در کانسنگ، مطالعات درجه آزادی کانی‌ها در سازمان زمین‌شناسی انجام گرفت.
 - آزمایش‌های کانه‌آرایی در آزمایشگاه کانه‌آرایی سازمان زمین‌شناسی انجام پذیرفت.
- امید است دستاوردهای این تحقیق راه‌گشای مسئله کانه‌آرایی این کانسنگ باشد.

چکیده

عملیات خردایش و آماده‌سازی بر روی نمونه‌ای به وزن ۲۲۰ کیلوگرم (مغزه) از کانسنگ مولیبدن و مس کال کافی انجام شد. سپس مطالعات کانی‌شناسی (مقاطع نازک و صیقلی)، تجزیه شیمیایی، XRD و XRF بر روی آن صورت گرفت. بررسی‌ها نشان داد که عمده مس موجود در کانسنگ در قالب کانی کالکوپیریت و مولیبدن موجود در آن به شکل کانی مولیبدنیت است. عیار متوسط مس در نمونه معرف ۰/۲۶ درصد و عیار متوسط مولیبدن ۰/۰۳ درصد است. همچنین عیار اورانیوم در یک نمونه معرف از کانسنگ ۲/۶ ppm و در کنسانتره مس ۳۳/۸ ppm توسط گروه شیمی سازمان زمین‌شناسی اندازه‌گیری شده است. بررسی‌های تجزیه سرنندی و کانی‌شناسی درجه آزادی این دو کانی را ۱۴۰ مش (۱۰۶ میکرون) تعیین کرد بطوریکه در این اندازه، ۹۰ درصد این کانی‌ها آزاد شده‌اند. آزمایش‌های فلوتاسیون در دو مرحله تجمعی و انتخابی صورت گرفت. در مرحله تجمعی جدایش کانی‌های سولفور (مس و مولیبدن) از گانگ مورد بررسی قرار گرفت که در این راستا، pH بهینه برای فلوته‌کردن کالکوپیریت و مولیبدنیت ۹/۵ تعیین شد و مطالعه رفتار کف‌سازها نشان داد استفاده ترکیبی از کف‌سازهای روغن کاج و Aerofloat ۶۵ مناسب برای دستیابی به کف پایدار و نتیجتاً بازیابی بالاتر است. همچنین بررسی کلکتورهای گزنتات نشان داد کلکتور مناسب برای دستیابی به بازیابی بالا در این کانسنگ گزنتات‌های با زنجیره بلند مانند سدیم ایزوبوتیل گزنتات (SIBX) یا سدیم ایزوپروپیل گزنتات (SIPX) می‌باشند. اما بدلیل کمبود مقدار کلکتورهای با زنجیره بلند از یک کلکتور زنجیره متوسط (پتاسیم آمیل گزنتات) استفاده گردید. در طی آزمایش‌ها تاثیر استفاده از هیدروکربن‌ها (گازوئیل) در بازیابی مس و مولیبدن مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که عدم استفاده از گازوئیل، که در اکثر کانسنگ‌های مشابه به عنوان کمک کلکتور مولیبدن بکار می‌رود، بازیابی بالاتری از کانی‌های سولفور مس و مولیبدن از گانگ را ارائه می‌دهد و استفاده از آن در این کانسنگ اثر مخرب بر بازیابی مس دارد. در مرحله انتخابی، فلوتاسیون انتخابی جهت جداسازی مولیبدن از کنسانتره مس حاوی مولیبدن مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب سولفور سدیم به عنوان مهمترین عامل بازداشت‌کننده مولیبدن در مقادیر مختلف استفاده گردید. و از

سیانور سدیم جهت پاک‌سازی سطح کانی‌های مس از کلکتورهای گزنتات باقیمانده، و از گازوئیل به‌عنوان کلکتور مولیبدن در طی آزمایش‌ها استفاده گردید. در نهایت عامل اصلی در بهبود جدایش، پاک کردن کلکتور گزنتات باقی‌مانده از مرحله اول از روی کانی‌های مس است. دستیابی به این مهم به‌صورت نسبی با استفاده از افزایش مقدار سیانور سدیم و سولفور سدیم در آماده‌سازی مرحله جدایش، صورت گرفت. نهایتاً بهترین نتیجه کسب شده عیار ۲۱/۵ درصد برای مس و عیار ۳۷/۵ درصد برای مولیبدن است.

قدردانی

به این وسیله از کلیه همکارانی که در انجام این پروژه ما را یاری کردند قدردانی و سلامتی و سربلندی را از جانب خداوند برایشان خواستاریم.

کارشناسان: غلامرضا ملاطاهری، هادی عبداللهی، پورنگ شمس و سعید جواهری

کانی‌شناس: فتح‌الله مصوری

تکنسین‌های آزمایشگاه: مجتبی عباسی، غلامرضا رعنارفتار و مصطفی رعنافتار

ویراستار رایانه: فریبا حلمی

منابع و مراجع

- ۱- www.NGDIR.com
- ۲- Srdjan M. Bulatovic; ۲۰۰۷; "Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice, flotation of sulphides ores", Publisher: Boston, Elsevier, Volume ۱.
- ۳- Manoj Kumar, T.R. Mankhand, D.S.R. Murthy, R. Mukhopadhyay, P.M. Prasad, (۲۰۰۷). "Refining of a low-grade molybdenite concentrate" Hydrometallurgy ۸۶ pp, ۵۶-۶۲
- ۴- Moyes, A.J (۲۰۰۶). "The Intec copper process Superior and sustainable" Magazine published in Department of Chemical Engineering, University of Sydney, Australia.
- ۵- Casna S.H and Mima p.E (۱۹۹۴). "A kinetics approach to the effect of particle size on the flotation of Molybdenite" Flotation process of Mineral Vol. ۲, pp. ۳۳۲-۳۳۴.
- ۶- S.J Adkins and M.J Pearse (۱۹۹۲). "The influences of collector chemistry on kinetics and selectivity in base-metal sulfide flotation". Minerals Engineering, Vol. ۵, Nos. ۳-۵, pp. ۲۹۵-۳۱۰.
- ۷- S.J Adkins and M.J Pearse (۱۹۹۲). "The influences of collector chemistry on kinetics and selectivity in base-metal sulfide flotation". Minerals Engineering, Vol. ۵, Nos. ۳-۵, pp. ۲۹۵-۳۱۰.
- ۸- Wills, B.A (۱۹۸۸). "Mineral Processing Technology", ۴th Edition p ۱۸۳.
- ۹- Weiss, N.L. (۱۹۸۵). "SME Mineral Processing Handbook", Vo, ۲, Section ۱۶, pp ۱-۳۰.
- ۱۰- Redfearn, A. (۱۹۸۳). " the Role of nitrogen in the flotation of by product molybdenite at Gibraltar mining" SME Annual Meeting, March, pp ۶-۱۰.
- ۱۱- Tecno Export, (۱۹۸۱). "Report on detailed geological prospecting in Anarak area (central Iran) Kal-e kafi locality" geological survey of Iran. Report N: ۱۳, ۱۷, ۱۸.
- ۱۲- Sutulove, A, (۱۹۷۹). "International Molybdenum Encyclopedia", Internet publsantiago de chile, p ۳۷۵, ۱۶۴-۱۸۰, ۲۸۶-۲۹۳.

- ۱۳- Sutulove, A. (۱۹۷۴). "Copper Porphyries", the University of UTAH. Ch. ۶, pp ۱۴۱-۱۷۰.
- ۱۴- Sutulove, A. (۱۹۷۰). "Molybdenum and Rhenium Recovery from porphyry Coppers", Chile, Ch ۳, ۴, ۵. Pp ۳۱-۸۰.
- ۱۵- واعظی پور، محمدجواد. (۱۳۷۹). «مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافات طلا، مس و سایر عناصر در نواحی کال‌کافی-خونی». طرح اکتشاف نیمه تفصیلی طلا در منطقه کال‌کافی-خونی، وزارت معادن و فلزات.
- ۱۶- مهدیزاده، سید مجتبی. (۱۳۷۹). «فلوتاسیون مولیبدنیت و عوامل مؤثر در آن» سمینار کارشناسی ارشد دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- ۱۷- مهدیزاده، سید مجتبی. (۱۳۷۹). «بهینه‌سازی بازداشت کانیهای سولفورس در کارخانه فرآوری مولیبدن مجتمع مس سرچشمه» پایان نامه کارشناسی ارشد.
- ۱۸- منوچهری، حمیدرضا، (۱۳۷۱)، «مولیبدن و فرآوری آن». سمینار کارشناسی ارشد، گروه معدن دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- ۱۹- ایران‌نژاد. «مولیبدن، فرآوری، عوامل مؤثر بر فرآوری و مشخصات کارخانه مولیبدن». گزارش مجتمع مس سرچشمه.

فصل اول

کلیاتی در مورد مویبدن

۱-۱- مقدمه

قسمت اعظم مس و مولیبدن دنیا از کانسارهای پورفیری، به دست می‌آید. مهمترین کانی اقتصادی مولیبدن، کانی مولیبدنیت و مهمترین کانی‌های اقتصادی مس کالکوپیریت، کالکوسیت و بورنیت است. بیشتر کانسارهای مس پورفیری عیاری بین ۰/۴ تا ۱ درصد دارند. مولیبدنیت معمولاً در سرتاسر کانسارهای مس پورفیری به صورت نامنظم پراکنده است و بازه عیاری آن بین ۰/۰۱ درصد تا ۰/۰۵ درصد است.

کانسارهای مولیبدن ایران همانند کانسارهای پورفیری مس بر روی کمر بند مس که از جنوب شرقی ایران شروع و تا شمال غربی نواحی آذربایجان ادامه دارد، واقع است. آثار مولیبدن در تعدادی از این کانسارها گزارش شده است. بطور کلی کانسارهای مس پورفیری ایران بخصوص کانسارهای منطقه کرمان دارای اندیس‌های مولیبدن می‌باشند. در ناحیه نخلک و انارک در ایران مرکزی نیز آثاری از وجود مولیبدن به چشم می‌خورد و معادن میدوک، سنگون، قره‌در و قره‌چیلر دارای اندیس‌های مولیبدن هستند.

اصولاً فرآوری و آرایش کانه‌های سولفور مس و مولیبدن بر اساس روش فلوتاسیون استوار است. و این به دلیل عیار کم و ریزدانه بودن ذرات کانی‌های مس و مولیبدن در درون سنگ منشأ است. با این روش قادر به بهره‌برداری از کانسارهای بزرگ با عیار کم و کانی‌سازی پراکنده نظیر کانسارهای مولیبدن پورفیری، مس پورفیری و مس و مولیبدن پورفیری ممکن است. به این ترتیب کانسار باید تا ابعاد خیلی ریز خرد گردد تا به درجه آزادی مناسب برسد و سپس به مدار فلوتاسیون هدایت گردد.

۱-۲- تاریخچه

تا سالها قبل از میلاد مسیح، بومیان آمریکای شمالی با کار بر روی مس طبیعی، ابزارهایی ساخته بودند در حالی که مهارت ذوب و ریخته‌گری در نزد آنان ناشناخته بود. از سوی دیگر، مهارت ریخته‌گری مس در ۵۰۰ میلادی توسط مردم پرو شناخته شده بود و در قرن ۱۵ میلادی اینکاها به روش استحصال مس از کانه‌های سولفیدی دست یافتند.

در سال ۱۵۰۰ میلادی آلمان در تولید مس مقام نخست را داشت و خانواده Fugger، تجارت جهانی مس را در دست داشتند. از سال ۱۸۰۰ انگلستان در فرآوری کانه‌ها به مقام نخست دست یافت. در ۱۸۵۰ شیلی مهمترین تولیدکننده کانسنگ مس شد و تا انتهای قرن ۲۰، آمریکا رهبری معدنکاری و تولید جهانی مس تصفیه شده را به دست گرفت.

توسعه فنی در صنعت مس در ۱۲۰ سال اخیر رشد چشمگیری داشته است. کوره انفجاری بر اساس قدیمی‌ترین اصول تولید مس، بطور پیوسته به سمت کارخانجات مؤثرتر توسعه یافت. با این وجود پس از جنگ جهانی اول، کوره انعکاسی، که برای نخستین بار در ایالات متحده ساخته شد، جایگزین کوره انفجاری شد.

از پایان جنگ جهانی دوم، این کوره نیز بتدریج با کوره‌های ذوب Flash که در فنلاند کشف شد، جایگزین گردید و اخیراً چندین روش پیشرفته‌تر بخصوص در کانادا و ژاپن با فرایندهای قدیمی‌تر در حال رقابت می‌باشند. نقطه عطف پیشرفت در تولید فلز خام، کاربرد مفهوم تبدیل‌کننده Bessemer در متالورژی مس توسط (Manhes & David) (۱۸۸۰) بود. این اصل، هنوز گسترده‌ترین روش کاربردی جهت تبدیل مس می‌باشد. با گذشت زمان نیاز به مس خالص افزایش یافت. کشف و توسعه الکترولیزها توسط J. B. Elkington انگلیسی در ۱۸۶۵ و E. Wohlwill آلمانی در ۱۸۷۶ تصفیه مس با درجه خلوص بالا را میسر ساخت.

عنصر مولیبدنیوم در سال ۱۷۷۸ توسط دانشمند سوئدی به نام Carl Wilhelm Scheele کشف شد اما تا چند سال پس از آن، تنها در حد آزمایشگاهی کار می‌شد. نخستین کاربرد اصلی مولیبدن در

جنگ جهانی اول بود. در آن زمان مولیبدن به فولاد افزوده می‌شد و نتیجه آن تولید فولادهای مقاوم در حرارت‌های بالا بود که در زره پوش‌ها و موتور هواپیماها استفاده می‌شد.

اصلی‌ترین منبع مولیبدنیت در قرن ۱۹ معدن Knaben در نروژ بود. در این معدن مولیبدنیت بطور دستی تغلیظ می‌شد. هم‌زمان با جنگ جهانی اول تقاضای مولیبدن افزایش یافت و معدن کلیماکس رشد سریع را تجربه کرد. در آن زمان فرایند فلوتاسیون کفی جهت تغلیظ کانه‌ها جایگزین روش‌های دستی شده بود.

اگرچه ناگهان معدن کلیماکس پس از جنگ جهانی اول بسته شد اما این معدن در سال ۱۹۲۴ پس از توسعه کاربردهای مولیبدن در زمان صلح، بویژه در صنعت خودرو، بازگشایی شد. با توسعه کاربردهای جدید شیمیایی و متالورژیک این عنصر، که بیشتر توسط تحقیقات شرکت مولیبدن کلیماکس انجام می‌شد، تقاضا بطور پیوسته رشد نمود.

در سال ۱۹۳۳ شرکت آناکوندا Anaconda در شعبه Cananea در مکزیکو فرآیندی را جهت فلوتاسیون انتخابی مولیبدنیت از کانه‌های پورفیری مس توسعه داد. شرکت مس Kennecott بلافاصله در معدن یوتا از این روش استفاده نمود. این تکنولوژی سپس تا شیلی گسترش یافت و در معادن ال‌تنینت El Teniente (مربوط به شرکت Kennecott) و چوکی کوماتا (متعلق به شرکت آناکوندا) استفاده گردید. بدین ترتیب عصر تولید مولیبدن به‌عنوان محصول فرعی مس آغاز گردید.

در طول جنگ جهانی دوم ایالات متحده (معدن کلیماکس و معادن یوتا) در حدود ۹۰ درصد مولیبدن مصرفی دنیا را تأمین می‌نمود. سایر کشورهای بزرگ تولیدکننده مولیبدن شیلی، مکزیک و نروژ بودند.

شرکت مولیبدن کلیماکس با گشایش معدن هندرسون (نزدیک امپایر در کلرادو) در سال ۱۹۷۶ ظرفیت خود را دو برابر کرده و در دهه ۱۹۸۰ به بزرگترین تولیدکننده جهان غرب بدل گشت [۱].

۳-۱- مشخصات فیزیکی و مکانیکی

۱-۳-۱- مولیبدن

نام مولیبدنیم Molybdenum از واژه یونانی (Molybdos) به معنی شبیه سرب گرفته شده است. زیرا مولیبدنیم به صورت آزاد در طبیعت یافت نمی‌شود. فراوانی مولیبدنیم در پوسته زمین ۰/۰۰۷٪ می‌باشد.

مولیبدنیم فلزی است به رنگ سفید متمایل به خاکستری یا سفید-نقره‌ای با نماد Mo، عدد اتمی ۴۲، وزن مخصوص ۱۰/۲۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سختی ۵/۵ در مقیاس موس، خیلی سخت، دارای بیشترین نقطه ذوب در بین عناصر، نقطه جوش ۶۱۱۲ درجه سانتیگراد و نقطه ذوب ۲۶۱۷ درجه سانتی‌گراد. مولیبدنیم در گروه ۶ (VI) جدول تناوبی به عنوان Transition Metals بوده و در دوره ۵ قرار دارد [۱].

۱-۳-۲- مس

نام مس Copper از واژه یونانی Chalkos و کلمه لاتین Cyprium گرفته شده است. زیرا بخش اعظم آن در Cyprus استخراج شده است. این اصطلاح به صورت Cuprum ساده شده و به واژه انگلیسی Copper تغییر نموده است. مس بیست و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است و فراوانی مس در پوسته زمین ۰/۰۱٪ می‌باشد.

مس فلزی است به رنگ نارنجی یا قهوه‌ای مایل به قرمز با نماد Cu، عدد اتمی ۲۹، وزن اتمی ۶۳/۵۴، وزن مخصوص آن در ۲۰ درجه سانتی‌گراد برابر ۸/۹۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سختی ۳ در مقیاس موس، جلائی فلزی، هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، دارای خاصیت شکل‌پذیری خوب، قابلیت انعطاف (چکش‌خواری)، مقاوم در برابر خوردگی، دیامغناطیس، نقطه جوش ۲۵۶۷ درجه سانتی‌گراد و نقطه ذوب ۱۰۸۴/۶ درجه سانتی‌گراد.

مس در گروه ۱۱ (IA) جدول تناوبی به عنوان فلز ضعیف Transition Metals بوده و در دوره ۴ قرار دارد.

مس تنها فلزی است که به صورت خالص به مقدار زیاد در توده‌های بزرگ یافت می‌شود و رسانای الکتریکی و حرارتی خوبی می‌باشد. مس پارامغناطیس ضعیف است و هدایت حرارتی و الکتریکی بالایی دارد. مقاومت مس با افزایش دما بالا می‌رود. [۱].

۱-۴-۱- کانی‌های مولیبدن

مولیبدن به صورت خالص در طبیعت یافت نمی‌شود. کانی‌های متشکله مولیبدنیم به سهولت در محلول‌ها تجزیه می‌شوند و همراه با فلزات سنگین حتی در محلول‌های حقیقی به شکل سولفور ته‌نشین می‌شوند [۱].

۱-۴-۱-۱- مولیبدنیت Molybdenite

کانی اصلی و اقتصادی مولیبدنیم، مولیبدنیت با فرمول (MoS_2) می‌باشد. این عنصر عموماً بصورت مولیبدنیت در طبیعت رخ می‌دهد.



شکل ۱-۱: نمایی از کانی مولیبدنیت.

۱-۴-۲- ولفنیت Wolfnite

این کانی با فرمول (PbMoO_4) که در منطقه اکسیداسیون کانسارهای مولیبدن دیده می‌شود.

۱-۴-۳- پوولیت Powellite

این کانی با فرمول (CaMoO_4) که در منطقه اکسیداسیون کانسارهای سولفیدی مولیبدن در بسیاری از مناطق دنیا یافت شده است. پوولیت یک مولیبدات کلسیم است که از مولیبدنیت در

کانسارهای حاوی شیلیت CaWO_4 تشکیل می‌شود. در این کانی تنگستن تا ۱۰ درصد می‌تواند جایگزین مولیبدن گردد.

۱-۴-۴- فری مولیبدنیت Feri- Molybdenite

این کانی با فرمول $(\text{Fe MOP}_{12} \cdot 8 \text{H}_2\text{O})$ محصول اکسیداسیون مولیبدنیت در حضور آهن III (سه ظرفیتی) می‌باشد. مولیبدنیت منبع اولیه اقتصادی مولیبدن می‌باشد. در صورت افزایش تقاضا جهت مولیبدن منابع دیگر همچون ولفنیت، پوولیت و فرعی مولیبدیت ممکن است از اهمیت تجاری برخوردار گردند.

۱-۴-۵- مولیبدیت Molybdite :

مولیبدیت با فرمول شیمیایی (MoO_3) نشان داده می‌شود.

سایر کانیهای مولیبدن شامل آکرماتیت، بلونزیت، چیلایزیت، ائوسیت، ایلسمانیت، ژوردیسیت، کواک و نیت، لیندگرنیت و پانریت می‌باشد. کانیهای اخیرالذکر از اهمیت تجاری برخوردار نیستند.

۱-۵- کانی‌های مس

بیش از ۲۰۰ نوع کانی مس تا به حال شناخته شده است ولی کانیهای که اهمیت تجاری دارند بیش از ۱۷ مورد نمی‌باشند. از مهمترین این کانی‌ها می‌توان مس فلزی (Cu)، کالکوپیریت (CuFeS_2) ، بورنیت $(\text{Cu}_5\text{FeS}_4)$ ، کالکوسیت (Cu_2S) ، کوولیت $(\text{Cu}(\text{OH})_2)$ ، (کانی‌های اصلی و اقتصادی تشکیل دهنده ذخایر سولفیدی) ملاکیت $(\text{Cu}(\text{OH})_2)$ و آزوریت $(\text{Cu}(\text{OH})_2, 2\text{CuCO}_3)$ (کانی‌های اصلی و اقتصادی تشکیل دهنده ذخایر اکسیدی) را نام برد. کالکوپیریت مهمترین و فراوانترین کانی مس محسوب می‌شود.

تقریباً ۹۰ درصد مس اولیه جهان از کانه‌های سولفیدی نشأت می‌گیرد. مس یک عنصر کالکوفیل تیپیک است و از این رو کانی‌های سولفیدی و بیشتر کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت که اغلب همراه پیریت، گالن یا اسفالریت می‌باشند را تشکیل می‌دهد [۱].



شکل ۱-۲: نمایی از کانی کالکوپیریت.

۱-۶- زمین‌شناسی مولیبدن

مولیبدن عموماً بصورت کانی مولیبدنیت MoS_2 در طبیعت وجود دارد و بیشتر بصورت رگه ای در سنگهای سیلیسی تشکیل می‌شود. مولیبدنیم در مرحله باقیمانده فاز تبلور پنوماتولیتی و به ندرت به مقیاس قابل استخراج در پگماتیت‌ها و از منشأ پنوماتولیتی مجاورتی تشکیل می‌شود.

مولیبدنیم عمدتاً به صورت مولیبدن پورفیری، رگه‌های مولیبدنیت و پگماتیت‌های مولیبدن دار دیده می‌شود. یا به‌عنوان محصول جانبی از کانسارهای مس پورفیری مدل مونزونیتی، اسکارن‌های مس و مولیبدن و بعضی ذخایر اورانیوم-سرب به دست می‌آید.

امروزه قسمت اعظم مولیبدن دنیا از کانسارهای مولیبدن پورفیری و درصد قابل توجهی از کانسارهای مس پورفیری واقع در حاشیه قاره‌ها به دست می‌آید [۱].

۱-۷- انواع کانسارهای مولیبدن

۱-۷-۱- کانسارهای مولیبدن پورفیری

این کانسارها به شکل داربستی دیده می‌شود و کانی اقتصادی آنها مولیبدنیت می‌باشد. عیار معدنکاری در این نوع کانسارها $0.6\% - 1.0\%$ است. مانند کانسارهای کلیماکس و هندرسون در آمریکا.

کانسارهای مولیبدن پورفیری از لحاظ موقعیت تکتونیکی و خصوصیات پترولوژیکی سنگ منشأ به

دو نوع تقسیم می‌شوند [۱]:

← کانسارهای مولیبدن پورفیری نوع کلایمکس - هندرسون (گرانیتی)

← کانسارهای مولیبدن پورفیری نوع کوارتز مونزونیت

۱-۱-۷-۱- کانسارهای مولیبدن پورفیری نوع کلایمکس - هندرسون (گرانیتی)

کانسارهای مولیبدن پورفیری نوع کلایمکس - هندرسون عمدتاً در ریفت‌های درون قاره‌ای و بعضاً در زون‌های فرورانش قاره‌ای در مکانهایی که ضخامت پوسته قاره‌ای نسبتاً زیاد است یافت می‌شوند. این کانسارها همراه با گرانیت‌های غنی از سیلیس ($\text{SiO}_2 > 75\%$) بوده و میزان فلئوئور آن بیش از ۳٪ است. در این نوع کانسارها عناصر Rb, Nb, Y افزایش و عناصر Ba, Sr, Zr کاهش نشان می‌دهند.

۱-۱-۷-۲- کانسارهای مولیبدن پورفیری نوع کوارتز مونزونیت

کانسارهای مولیبدن پورفیری نوع کوارتز مونزونیت در زون فرورانش حاشیه قاره‌ها در مناطق با ضخامت نسبتاً زیاد پوسته قاره‌ای یافت می‌شوند. این نوع کانسارها همراه با کوارتز مونزونیت، گرانودیوریت و گرانیت بوده و میزان فلئوئور آن کمتر از ۱٪ و مقدار عناصر Rb, Nb, Y کم است.

۱-۱-۷-۲- اسکارن‌های مولیبدن

در زون فرورانش حاشیه قاره‌ها، در مناطق با ضخامت زیاد پوسته قاره‌ای و شروع ریفت قاره‌ای در شرایط خاص با توده‌های نفوذی گرانیتی - کوارتز مونزونیت و در سنگ‌های کربناته تشکیل شده‌اند و به شکل‌های مختلف دیده می‌شوند و بافت آنها توده‌ای، پورفیروبلاست و گرانوبلاست است [۱].

۱-۱-۷-۳- کانسارهای مولیبدن رگه‌ای

تا قبل از کشف ذخایر مولیبدن پورفیری، بخش اعظم مولیبدن از کانسارهای رگه‌ای به دست می‌آمد. رگه‌های کوارتز حاوی مولیبدنیت، پیریت و مقدار جزئی کالکوپیریت در سنگ‌های پلوتونیک اسیدی قرار دارند. عیار این ذخیره در مقایسه با سیستم‌های پورفیری بالا و مقدار MoS_2 آنها ۱ تا ۲۵ درصد می‌باشد. لیکن مقدار ذخیره آن کمتر از یک میلیون تن است. با کشف کانسارهای مولیبدن پورفیری که در حال حاضر مهمترین منبع مولیبدن محسوب می‌شوند، از اهمیت ذخایر رگه‌ای کاسته

شده است. امروزه از کانسارهای رگه‌ای به منظور پی‌جویی و اکتشاف کانسارهای پورفیری استفاده می‌شود [۱].

۱-۷-۴- کانسارهای مولیبدن موجود در پگماتیت‌ها و آپلیت‌ها

بعضی از پگماتیت‌ها و آپلیت‌های اسیدی دارای مقدار جزئی مولیبدنیت هستند. میزان ذخیره این کانسارها کم است و مولیبدنیت به عنوان مهمترین کانی این ذخایر محسوب می‌شود. ارزش اقتصادی این کانسارها ناچیز است [۱].

۱-۷-۵- کانسارهای مس و مولیبدن پورفیری

کانسارهای مس پورفیری که در زون فرورانش حاشیه قاره‌ها تشکیل شده‌اند، از جمله کانسارهای غرب امریکا، کانادا، شیلی و ایران، دارای مقدار قابل توجهی مولیبدن هستند. عیار مولیبدن این کانسارها بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۱ درصد متغیر است. مشکل این کانسار به صورت داربستی و یا انتشاری است. کانی اقتصادی مهم آن مولیبدنیت می‌باشد. عیار معدن‌کاری مولیبدن ۰/۵ - ۰/۰۰۳٪ می‌باشد. حدود ۵۰ درصد مولیبدن دنیا از کانسارهای مس پورفیری به دست می‌آید [۱ و ۳].

۱-۷-۶- کانسارهای اورانیوم حاوی مولیبدن

بعضی از کانسارهای اورانیوم از جمله نوع رسوبی و رگه‌ای دارای مقدار قابل توجهی مولیبدن هستند که به عنوان محصول جانبی حائز اهمیت است [۱].

۱-۸- کانسارهای مس

کانسارهای مهم مس عبارتند از: کانسارهای مس پورفیری، کانسارهای اسکارن مس‌دار، کانسارهای ماسیوسولفیدی مس، کانسارهای مس رسوبی استراتی باند، کانسارهای مس رگه‌ای، کانسارهای گرمابی مس و کانسارهای کربناته مس، که از این میان کانسارهای مس پورفیری به دلیل ذخیره زیاد و ناچیز بودن هزینه بهره‌برداری حائز اهمیت هستند [۱].

۱-۸-۱- کانسارهای مس پورفیری

کانسارهای مس پورفیری به شکل بیضوی ناقص است که توسعه آن در سطح بیشتر از عمق است. عیار این کانسارها کم (۰/۵ تا ۱ درصد برای مس و چند صدم تا چند دهم درصد برای مولیبدن) ذکر می‌شود و حضور عناصر با ارزش چون طلا، نقره و فلزات پایه بعنوان محصول فرعی می‌تواند ارزش اقتصادی کانسار را بالا ببرد [۱].

کانسارهای مس پورفیری همراه سنگهای مونزونیتی، دیوریتی و گرانودیوریتی کالک آلکالن کشف می‌شوند. اصطلاح پورفیری از بافت پورفیری سنگهای همراه، بافت استوک ورک و پراکنده ذخیره و ابعاد زیاد ذخیره (متجاوز از ۱۰۰ میلیون تن) گرفته شده است. کانسارهای مس پورفیری در کمرندهای تکتونیکی زون فرورانش حاشیه قاره‌ها و جزایر قوسی کشف شده‌اند. اکثر ذخایر کشف شده متعلق به دوران دوم و سوم بوده است که در کمرندهای تکتونیکی حاشیه اقیانوس آرام واقع شده‌اند. ذخیره این کانسار معمولاً در بخش فوقانی (سقف توده نفوذی) تشکیل می‌شود و دامنه آن تا سنگ‌های در برگیرنده توده نفوذی کشیده می‌شود [۱].

کانسارهای مس پورفیری براساس موقعیت تکتونیکی و سنگهای همراه آن به دو گروه تقسیم می‌شوند:

۱-۸-۱-۱- کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی

کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی همراه با سنگهای مونزونیتی و گرانودیوریتی پورفیری کالک آلکالن واقع در کمرندهای تکتونیکی زون فرورانش حاشیه قاره‌ها کشف شده‌اند. توده‌های نفوذی نیمه عمیق اکثراً تشکیل استوک و گاهی دایک و به ندرت تشکیل باتولیت می‌دهند. غالباً چند استوک در یکدیگر نفوذ می‌نمایند.

ماگمای کالک آلکالن که از ذوب بخشی پوسته اقیانوسی زون فرورانش به وجود می‌آید، ضمن بالا آمدن به دلیل آغشتگی با سنگهای مسیر، تغییراتی در ترکیب شیمیایی آن رخ می‌دهد. به همین دلیل مقدار سیلیس، عناصر آلکالی و مولیبدن کانسارهای مس پورفیری واقع در حاشیه قاره‌ها بیش از جزایر قوسی است و به عکس، مقدار طلای کانسارهای جزایر قوسی بیشتر می‌باشد.

ذخایر مس پورفیری با عیار طلای بالا نزدیک به زون فرورانش و در مناطق با ضخامت کم پوسته قاره‌ای تشکیل شده‌اند، در حالی که ذخایر با مولیبدن بالا در بخش‌های با ضخامت پوسته قاره‌ای بیشتر شکل گرفته‌اند.

از جمله این ذخایر کانسار مس سرچشمه در رفسنجان می‌باشد. این کانسارها به شکل انتشاری، رگچه‌ای بوده و کانی‌های اقتصادی مهم آن: کالکوپیریت، بورنیت، مولیبدینیت با عیار معدن کاری ۰/۳-۲٪ می‌باشد.

۱-۸-۱-۲- کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی

کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی در کمرندهای زون فرورانش جزایر قوسی همراه با سنگهای دیوریتی-تونالیتی کالک آلکالن کشف می‌شوند. بیشتر ذخایر کشف شده در حاشیه غربی اقیانوس آرام واقع شده‌اند. وجود اختلاف در ترکیب شیمیایی محلول ماگمایی نوع مونزونیتی و محلول ماگمایی نوع دیوریتی موجب تغییراتی در زون‌های آلتراسیون، عیار و مواد جانبی ذخیره می‌شود. در نوع دیوریتی، مقدار منیزیم، آهن و کلسیم محلول افزایش یافته ولی مقدار سیلیس، پتاسیم و سولفور کاهش می‌یابد. به دلیل پایین بودن مقدار سولفیدها، زون کوارتز-سرسیت-پیریت در نوع دیوریتی نسبتاً محدود است. در سیستم نوع دیوریتی عمدتاً دو زون پتاسیک و پروپیلیتیک یافت می‌شوند و ذخیره در زون پتاسیک و پروپیلیتیک قرار دارد. محصول جانبی این کانسارها طلاست، در صورتیکه در نوع مونزونیتی محصول جانبی مولیبدن است. عیار مس در نوع دیوریتی کمتر است. بالا بودن فشار گاز اکسیژن در محلول ماگمایی موجب می‌شود که طلا در مرکز سیستم متمرکز شود. بالا بودن مقدار مگنتیت و انیدریت، دلیل بر بالا بودن اکسیژن محلول ماگمایی است.

به عنوان مثال کانسارهای مارکوپر (فیلیپین)، سیپالای (فیلیپین)، باسای (فیلیپین)، یاندارای (گینه نو)، فریداریور (گینه نو)، اکتیده (گینه نو) و سروکلرادو (پاناما).

۱-۸-۲- کانسارهای اسکارن مس‌دار

اسکارن (Skarn) یک واژه سوئدی است که معدنچیان سوئدی برای نامیدن مخلوطی از سیلیکات‌های کلسیم درشت بلور که همراه کانه‌های آهن که در معادن آهن این کشور یافت می‌شد، بکار می‌بردند. دانشمندان در اوایل قرن گذشته این واژه را به صورت علمی وارد تعاریف زمین‌شناسی اقتصادی نمودند. بر اساس تعریف علمی هنگامی که یک توده نفوذی ماگمایی داغ به درون مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی کربناته نظیر آهک، دولومیت یا شیل آهکی نفوذ نماید ابتدا همانند تمامی سنگ‌های دیگر آنها را در تحت‌الشعاع تأثیر حرارت توده نفوذی تا چندین ده متر دچار دگرگونی مجاورتی می‌کند. این دگرگونی با افزایش ابعاد بلورهای کلسیت و تبدیل آهک به مرمر همراه می‌باشد. این ناحیه دگرگون شده را هاله دگرگونی می‌نامند. اما در اسکارن‌ها پدیده دگرگونی به همین جا ختم نمی‌شود. محلول‌های کانی‌سازی که از ماگما منشأ می‌گیرند، در دما و فشار بالای حاکم بر اعماق از توده آذرین در حال سرد شدن به سمت هاله دگرگونی کربناته حرکت نموده و به شدت با آن واکنش می‌دهند. این واکنش‌ها دو گروه از کانی‌های جدید را در هاله دگرگونی پدید می‌آورد. یک گروه کانی‌های سیلیکات کلسیم نظیر گارنت‌های کلسیم‌دار، اپیدوت، آکتینولیت، هیدنبرژیت، زوئیزیت و ... این گروه از کانی‌ها که اصطلاحاً کانی‌های کالک-سیلیکات نامیده می‌شوند، کلسیم خود را از سنگ‌های رسوبی کربناته (آهک یا دولومیت‌ها) گرفته و عناصری چون Fe, Mg, Si, Na, Al را از محلول‌های ماگمایی کسب می‌کنند. گروه دوم، گروه کانی‌های اکسیدی و سولفیدی که مستقیماً از محلول‌های ماگمایی متبلور شده و ماده معدنی اصلی کانسار را تشکیل می‌دهند. این کانی‌ها شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، منیتیت و هماتیت هستند که ترکیب و مقدار هر کدام به ترکیب محلول‌های ماگمایی بستگی دارد. از ویژگی‌های مهم اسکارن‌ها ابعاد نسبتاً درشت بلورها و مخلوط بودن کانه‌های مس و آهن و کانی‌های کالک-سیلیکات است [۱].

۱-۸-۳- کانسارهای ماسیو سولفیدی مس

این کانسارها به شکل توده‌ای و یا داربستی بوده و کانی‌های اقتصادی مهم آن اسفالریت، گالن و کالکوپیریت می‌باشد. عیار معدن کاری در آنها ۴-۶٪ می‌باشد.

این کانسارها با ائورثوسنکلینال‌های رسوبی و بازالتوئیدهای سری سدیم و صخره‌های سیلیسی محصور شده‌اند. رگه‌های معدنی در سطوح بالایی مقطع این سازند و در سنگهای آتشفشانی برشی و توفها قرار دارند. رگه‌های معدنی به شکل‌های ورقه‌ای و عدسی و رگچه‌های انتشاری به صورت استوک‌ها و لایه‌ها و رگه‌های مرکب می‌باشد. رگه‌های مواد معدنی تا حداکثر ۵ کیلومتر طول و دهها متر عرض می‌باشند و آثار آن تا عمق حداکثر ۲ کیلومتر دیده می‌شود.

در این کانسارها دو نوع ماده معدنی تشخیص داده شده است یکی از نوع رسوبات با منشاء آتشفشانی که در زیر محیط نیمه دریایی قرار گرفته‌اند و دیگری نوع سنگهای دگرسانی با منشاء آتشفشانی می‌باشند که در اثر جریان محصول‌های گرمابی در سنگ میزبان در عمقی از دهها تا صدها متر زیر کف دریاها تشکیل شده‌اند [۱].

کانی‌های موجود عبارتند از پیریت، ملنیکویت، مارکاسیت، کالکوپیریت، اسفالریت، ورتزیت، پیروتیت، بورنیت، گالن، مگنتیت، هماتیت، طلای طبیعی و نقره. کانیهای باطله شامل سری‌سیت، کلریت، کوارتز، باریت، کلسیت می‌باشند. مواد معدنی تا ۴۰٪ گوگرد و ۳ تا ۵ درصد مس و ۲ تا ۴ درصد Zn و Cd و Se و Te به عنوان محصول فرعی می‌باشد [۱].

۱-۸-۴- کانسارهای مس رسوبی استراتی‌باند

کانسارهای مس استراتی‌باند- استراتی فرم بعد از کانسارهای مس پورفیری دومین منبع مهم مس دنیا به شمار می‌روند. این کانسارها از دو میلیارد سال قبل تا میوسن تشکیل شده‌اند. براساس مطالعات رسوب شناسی و سنگ شناسی کانسارهای مس استراتی‌باند -استراتی فرم رسوبی دنیا عبارتند از: کمر بند مس زامبیا، مس کوپفرشایفر در اروپا، وایت پاین در امریکا، ادوکان در شوروی سابق، دریاچه اسپار در آمریکا و کروکرو در بولیوی. این کانسارها با منشأ رسوبی به شکل لایه‌ای بوده و کانی‌های اقتصادی مهم آن کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت با عیار معدن کاری ۴-۶٪ می‌باشد [۱].

۱-۸-۵- کانسارهای مس رگه‌ای

سنگ‌های در برگیرنده آنها اغلب گرانیتوئیدها و به مقدار کمتر سازندهای آتشفشانی و رسوبی و دگرگونی از دوره‌های مختلف می‌باشد. مواد معدنی در شکافها و بریدگی طبقات جا گرفته و رگه معمولاً شیب زیادی دارند و از نظر طولی تا حداکثر ۱۰ کیلومتر امتداد دارند ولی از نظر عرض حداکثر ۱۰ متر و تا عمق ۵۰۰ الی ۶۰۰ متر گسترش یافته‌اند. کانی‌های اصلی عبارتند از: کالکوپیریت و انارژیت و کانیهای باطله شامل کوارتز و کربناتها و کانیهای فرعی از مگنتیت، هماتیت، پیریت، مولیبدنیت، کالکوسیت، بورنیت، کانیهای خاکستری مس، اسفالریت و گالن تشکیل شده‌اند.

۱-۸-۶- کانسارهای گرمابی مس

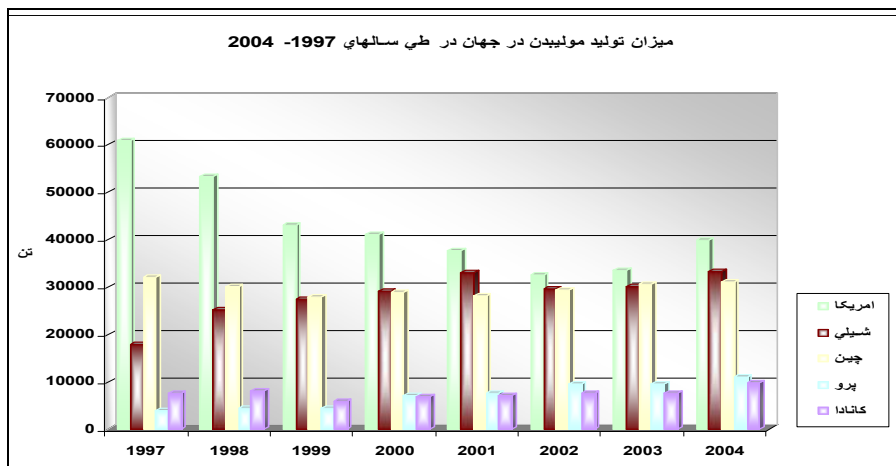
این کانسارها با منشأ پلوتونی همراه سنگهای نفوذی با ترکیب تقریباً سیلیسی و به ندرت همراه گرانیتوئیدها تشکیل شده است. این کانسارها به طور عمده همانطور که بحث آن رفت مربوط به مراحل نهایی کوهزایی یا فعالیت دوباره پلاتفرم‌های قدیمی می‌باشند. به طور کلی این کانسارها به دو دسته پورفیری و رگه‌ای تقسیم می‌شوند. و با منشأ آتشفشانی اصولاً مقادیر ناچیز از مس را به همراه دارند به عنوان مثال می‌توان از کانسار دریاچه سوپر در ایالات متحده و همچنین کانسارهای کوه‌های اورال در قزاقستان نام برد [۱].

۱-۸-۷- کانسارهای کربناته مس

کمپلکس‌های کربناتی از کربنات‌های ماگمایی نفوذی و سنگ‌های قلیایی همراه تشکیل یافته و از نظر سن از پروتروزوئیک تا زمان حال گسترش دارند. اکثر کربناتیت‌ها در بخش‌های حاشیه‌ای مناطق کراتونی پایدار رخ داده و یا با ساختارهای ریفتی بزرگ مقیاس در ارتباطند [۱].

۱-۹- میزان تولید مولیبدن

ذخایر مولیبدن دنیا در ۹ کشور (چین، آمریکا، شیلی، کانادا، روسیه، ارمنستان، پرو، ایران و قزاقستان) تمرکز یافته‌اند [۳]. میزان تولید مولیبدن در جهان در دوره (۲۰۰۴-۱۹۹۷) در نمودار شکل ۱-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱-۰: نمایش ستونی تولید مولیبدن در جهان در دوره ۱۹۹۷-۲۰۰۴ [۱]

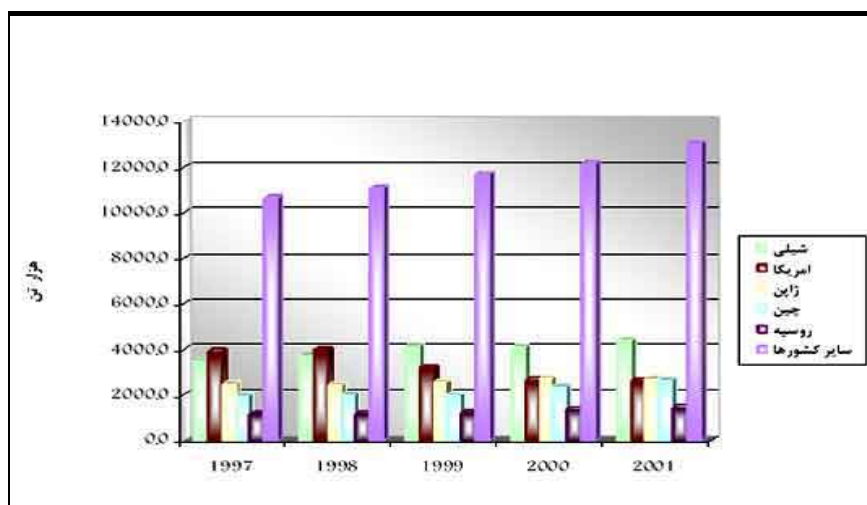
میانگین تولید مولیبدنیم در ایران در این دوره (۱۹۹۷-۲۰۰۳) از ۲۶۰۰ تن در سال ۱۹۹۷ به ۴۵۰۱ تن در سال ۱۹۹۹ و ۴۵۰۶ تن در سال ۲۰۰۱ افزایش نشان می‌دهد [۱].

ایران در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ از نظر میزان تولید مولیبدنیم مقام ۷ جهان، در سال ۲۰۰۲ مقام ۶ جهان و در سال ۲۰۰۳ مقام ۷ جهان (۲/۶۵٪ تولید جهان) را به خود اختصاص داده است. (World Mining Data / Vienna ۲۰۰۳, ۲۰۰۵)

۱۰-۱- میزان تولید مس

میزان تولید و سهم کشورهای مختلف در تولید مس در جهان در دوره (۱۹۹۷-۲۰۰۱) در نمودار

شکل ۱-۴ نشان دادن شده است [۱].



شکل ۱-۴: نمایش ستونی تولید مس در جهان در دوره ۱۹۹۷-۲۰۰۱ [۱]

۱-۱۱- مصارف عمده مولیبدن

۱-۱۱-۱- آلیاژها

۹۰٪ مولیبدنیم در تهیه آلیاژهای با مقاومت بالا و فولادهای ویژه استفاده می‌شود که در صنایع مربوط به سرعت‌های زیاد، ضد زنگ، آلیاژهای مخصوص، صنایع هوایی، در فضاپیما و بخش‌های موشک و ریخته‌گری استفاده می‌شود.

آلیاژهای حاوی Mo ویژه مانند Hastelloys، مقاومت بالایی در برابر گرما و خوردگی دارند. مولیبدن بیشتر بعنوان فلز آلیاژی در فولاد، آهن ریخته‌گری و ابرآلیاژها به منظور افزایش سختی‌پذیری، مقاومت، شدت و مقاومت در برابر زنگ زدگی استفاده می‌شود. بیش از ۸۰ درصد از آندهای اشعه X چرخشی که اخیراً در کلینیک‌های تشخیص طبی بکار برده می‌شوند از آلیاژهای مولیبدن تشکیل شده‌اند.

در منابع دما بالا، مولیبدن با ابرآلیاژهای آهن، نیکل و کبالت، سرامیک و سایر فلزات دیرگداز (تنگستن، تانتالیوم و نیوبوم) رقابت می‌کند. ابرآلیاژها را می‌توان در دماهای تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده نمود. ترکیبات مولیبدن بخصوص آلیاژهایی که توسط کاربرد سخت شده‌اند و مولیبدن روغن‌کاری شده با سیلیکات پتاسیم تا دمای ۱۸۰۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت دمایی و خصوصیات خزشی از خود نشان می‌دهند. مقاومت این عنصر در برابر اکسیداسیون همواره بایست مورد توجه قرار گیرد [۱].

۱-۱۱-۲- کاتالیزور

مولیبدن به عنوان یک کاتالیزور در صنعت نفت بخصوص در کاتالیزورهایی برای جابجایی سولفورهای آلی از محصولات نفتی استفاده می‌شود [۱].

۱-۱۱-۳- هسته‌ای

مولیبدن در صنعت ایزوتوپ هسته‌ای استفاده می‌شود [۱].

۱-۱۱-۴- مصارف شیمیایی

مولیدن به عنوان رنگدانه از قرمز- زرد تا نارنجی قرمز روشن در رنگ سازی، جوهرها، پلاستیک‌ها و صنایع لاستیک استفاده می‌شود. دی سولفاید مولیدن یک روان‌کننده (روغن) یا گریس خوب در دماهای بالاست [۱].

۱-۱۱-۵- الکترونیک

مولیدن در کاربردهای الکترونیک بخصوص در هدایت لایه‌های فلزی در ترانزیستور نازک فیلم استفاده می‌شود. در گذشته مولیدنیم در صنعت لامپ کاربرد داشت. امروزه این عنصر کاربرد بسیار وسیعی داشته و اهمیت این ماده رو به فزونی است.

المنتهای گرمایشی، محافظ‌های تشعشع حرارتی و ابزارهای کوره ساخته شده از مولیدن در پرس‌های ایزوستاتیک گرم، کوره‌های Sintering جهت صنعت سرامیک و در کوره‌های تصفیه دمایی استفاده می‌شوند. نوارهای مولیدن در فرآیندهای الکتریکی (بعنوان مثال در لامپ‌های هالوژن) کاربرد دارد. مقاومت دمایی بالا و ضریب انبساط گرمایی پایین مولیدن در این نوع کاربرد از اهمیت بالایی برخوردار است.

کاربردهای مولیدن در صنایع الکترونیک رو به گسترش است. دیسک‌های مولیدنی در صفحات پایه و سینک‌های حرارتی جهت انتقال نیرو و یکسو کننده‌های سیلیس استفاده می‌شوند.

مولیدن همچنین یک عنصر پراکنده شده در عناصر دیگر جهت ابزار الکترونیکی است که عمدتاً جهت هم نهشت فیلم‌های MoSi از تارلت‌های مولیدن و سیلیسیوم با درجه خلوص بسیار بالا استفاده می‌شود.

با یک پوشش نازک از تنگستن رنیوم بر سطح مولیدن، باردار شدن این عنصر افزایش می‌یابد. رنیوم در تنگستن و مولیدن اثر مشابهی در افزایش خمش پذیری و کاهش حساسیت در مقابل استرس‌های دمایی می‌گذارد. لحیم کردن یک دیسک گرانیته ضخیم بر پشت یک تارگت، ظرفیت دمایی و ساطع کردن آنرا افزایش می‌دهد [۱].

۱-۱۱-۶- شیشه سازی

مولیدن در مقابل خوردگی توسط بیشتر شیشه‌ها مقاوم است و لذا بعنوان ماده الکترودی در کوره‌های ذوب شیشه به کار برده می‌شود. شیشه‌هایی که در چنین کوره‌هایی تهیه می‌شوند از کیفیت بالاتری نسبت به شیشه‌های تولید شده در کوره‌های سوختی برخوردار است و همچنین فرایند تولید شیشه با استفاده از مولیدن مقبولیت زیست محیطی بیشتری دارد.

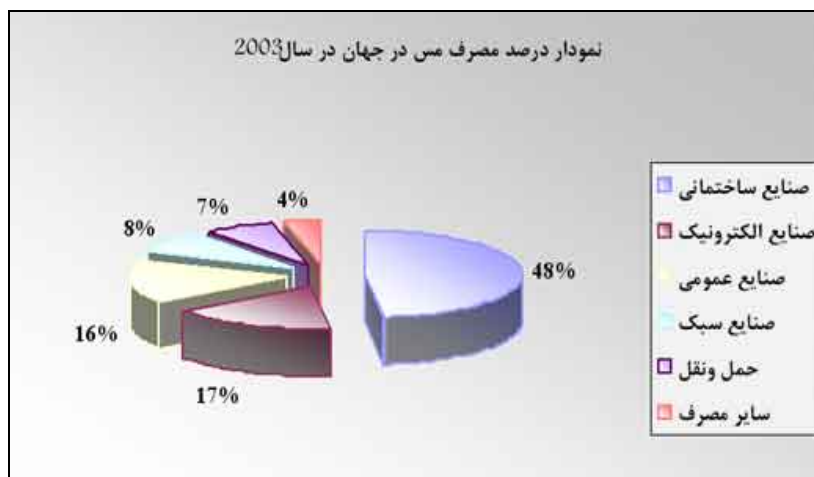
بوته‌های آزمایشگاهی که جهت ذوب شیشه استفاده می‌شوند یا بوته‌هایی که در تولید بلورهای Sirigle sapphire بکار برده می‌شوند، بایستی در مقابل دمای تا ۲۱۰۰ درجه مقاومت داشته باشند. این عنصر نسبت به سرامیک از Failure tolerance و چکش خواری بیشتری برخوردار است و از تانتالیوم و نیوبیوم ارزانتر می‌باشد.

۸۰ درصد مولیدن در دنیای غرب در صنایع آهن و فولاد مصرف می‌شود. بین مصارف متالورژیک غیر فلزی و مصارف شیمیایی این عنصر تعادل وجود دارد. عموماً ارزش نقدینه تولید غیر اولیه بسیار پایین‌تر از هزینه تولید اولیه معدنی این عنصر است. نخستین قسمت خط تولید مولیدن که در تعامل با بازار است، تولید اولیه است.

صنعت مولیدن دارای ظرفیت مازاد قابل توجهی است. در طول سالهای اواخر دهه ۷۰ و اوایل دهه ۸۰، ۵۰۰۰۰ تن ظرفیت تولید اولیه ثابت معادن بود و بر اساس انتظارات غیرواقعی از بازار تقاضا، نتیجه این امر به اضافه رشد پیوسته تولید جانبی و پیدایش چین به‌عنوان تولید کننده این بود که ظرفیت تولید جهان غرب به بیشتر از ۱۲۵۰۰۰ تن رسید. در حالیکه تقاضای کشورهای غربی در ۱۹۸۹ شامل صادرات به کشورهای بلوک شرق تنها ۹۵۷۰۰ تن بود [۱].

۱۲-۱- مصارف عمده مس

سهم مصرف صنایع مختلف از تولیدات مس در جهان در سال ۲۰۰۳ در نمودار شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵: نمودار سهم مصرف صنایع مختلف از تولیدات مس در سال ۲۰۰۳ در جهان [۱].

فصل دوم فرآوری مولیبدن

۲-۱- مقدمه

فلوتاسیون براساس جذب انتخابی هوا توسط سطح جامدی که در یک مایع غوطه‌ور بوده و قبلاً سطح آن توسط معرف‌های شیمیایی برای جذب آماده شده است، استوار می‌باشد. مخلوط مواد جامد و آب که به آن مقدار کمی از معرف‌های فلوتاسیون اضافه شده است از داخل سلولهایی که به شدت بهم زده می‌شوند و حباب هوا به داخل آن دمیده می‌شود عبور می‌کند و در نتیجه سطوح جامدی که توسط معرف‌های فلوتاسیون مورد عمل قرار گرفته و فیلمی از معرف روی آن را پوشانیده و سطح آن را آبران (هیدروفوب) کرده است جذب حباب هوا کرده و شناور می‌گردد معرف‌هایی که روی سطح ذرات تشکیل فیلم می‌دهند، کلکتور نامیده می‌شوند. کلکتورهای مواد آلی و معمولاً با یک مولکول بزرگ هستند که به انواع مختلف تقسیم می‌شوند و هر یک دارای خاصیت تشکیل فیلم بر روی سطوح جامد معینی هستند بدین ترتیب هر کلکتور روی کانه خاص با ترکیب شیمیایی و با شبکه بلوری معینی تشکیل فیلم داده و سطح آن را آماده برای جذب هوا می‌کند و سایر ذرات که کلکتوری روی آنها فیلمی تشکیل نداده است فاقد خاصیت جذب هوا بوده و در نتیجه شناور نخواهد شد و بدین ترتیب می‌توان ذرات خاصی را از یک مجموع ذرات شناور کرده و جدا نمود.

۲-۲- فلوتاسیون مهمترین روش فرآوری مس و مولیبدن

در کارخانه‌های فرآوری مس روش متداول برای تغلیظ کانی‌های سولفیدی مس، روش فلوتاسیون بوده و برای فرآوری کانی‌های اکسیده کم عیار مس نیز از روش هیپ لیچینگ (لیچینگ توده‌ای) استفاده می‌شود که در کارخانه فرآوری مس سرچشمه مورد استفاده قرار گرفته است. انتخاب مواد شیمیایی و فلوشیت‌های مورد استفاده در واحدهای صنعتی معمولاً توسط طبیعت و مینرالوژی کانه، نوع کانی‌های حاضر، رفتار فلوتاسیون کانی‌های باطله، مقدار پیریت در کانه و کانی‌های رسی همراه دیکته می‌شود [۲۱].

تقریباً ۸۰ درصد مس اولیه جهان از کانه‌های سولفیدی کم عیار حاصل می‌شود. در تغلیظ کانی‌های سولفیدی عملیات اساسی، فلوتاسیون کف می‌باشد، که معمولاً در دو مرحله پشت سر هم انجام می‌شود، مرحله اول فلوتاسیون تجمعی یا توده‌ای جهت تغلیظ تمام کانی‌های فلزدار و مرحله دوم، در صورت نیاز، فلوتاسیون انتخابی جهت جداسازی کانی‌های مختلف می‌باشد [۱].

سلولهای فلوتاسیون به سه گروه مختلف با عملکرد مشخص تقسیم می‌شوند:

- فلوتاسیون اولیه یا رافر (Rougher) جهت دانه بندی به پیش کنسانتره و باطله
- فلوتاسیون شستشو یا کلینر (Cleaner) جهت تصفیه پیش کنسانتره
- فلوتاسیون ثانویه یا اسکاونجر (Scavenger) جهت تصفیه باطله مرحله اول

۲-۳- کلکتورها

داروهای مورد استفاده در فرآوری کانه‌های مس پرفیری و مس و مولیدن پرفیری نسبتاً ساده و معمولاً از آهک به عنوان تنظیم کننده pH ، گزنتات به عنوان کلکتور اولیه و یک کلکتور ثانویه استفاده می‌شود. نوع کلکتور ثانویه بسته به نوع عملیات مختلف است و از انواع گوناگونی از کلکتورها شامل دی‌تیوفسفات‌ها، مرکاپتان‌ها، تیونوکربامات‌ها و غیره استفاده می‌شود [۶ و ۲].

انتخاب کلکتور ثانویه وابسته به تعداد نسبتاً زیادی از فاکتورهاست که شامل :

← نوع کانی مس حاضر در کانه (یک کانی یا تنوعی از کانی‌ها)

← ترکیب کانی‌های باطله در کانه

← حضور و نوع کانی‌های رسی

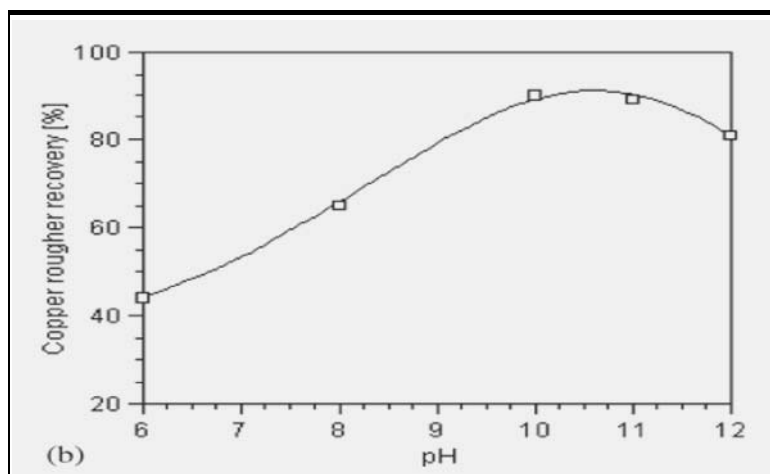
۲-۴- کف‌سازها

گستره وسیعی از کف‌سازها (نوع) وجود دارند و در کارخانه‌های زیادی ترکیبی از دو یا بیشتر کف‌ساز استفاده می‌شود. دلیل اصلی آن تداخل کانی‌های رسی می‌باشد که در برخی موارد تمایل به تولید کف خشک و بنابراین ایجاد اشکال در حذف کف می‌کنند. یک ترکیب از کف‌سازها می‌تواند این مشکل را حل نماید. در برخی موارد یک نوع الکلی از کف‌ساز یک کف شکننده را ارائه می‌دهد که برای حذف از سلول ایجاد مشکل می‌کند [۲].

در اغلب کارخانه‌ها آهک به عنوان تنظیم کننده pH همچنین برای بازداشت پیریت در طی عملیات کلینر بکار می‌رود. فقط در تعداد کمی از کارخانه‌ها بازداشت کننده‌های مختلف پیریت بکار می‌روند. pH فلوتاسیون در اغلب کارخانه‌ها بالای ۱۰ و اغلب بالای ۱۱ می‌باشد. pH نسبتاً بالا در کارخانه‌ها

جهت بازداشت پیریت در نظر گرفته شده است. اما بیشتر به عنوان تنظیم‌کننده کف بکار می‌رود. pH بالا تولید یک کف پایدار با قدرت حمل بهتر نسبت به pH پایین‌تر برای بیشتر کانه‌های مس پرفیری ارائه می‌دهد.

کاتیون‌های قابل حل (Fe^{+2} , Cu^{+2}) در پالپ حضور دارند آنها در pH بالا رسوب می‌کنند. که ممکن است نتیجه آن بهبود جذب کلکتور باشد. شکل ۱-۲ بازیابی مس را به عنوان تابعی از pH نشان می‌دهد [۲].



شکل ۱-۲: بازیابی مس را به عنوان تابعی از pH [۲]

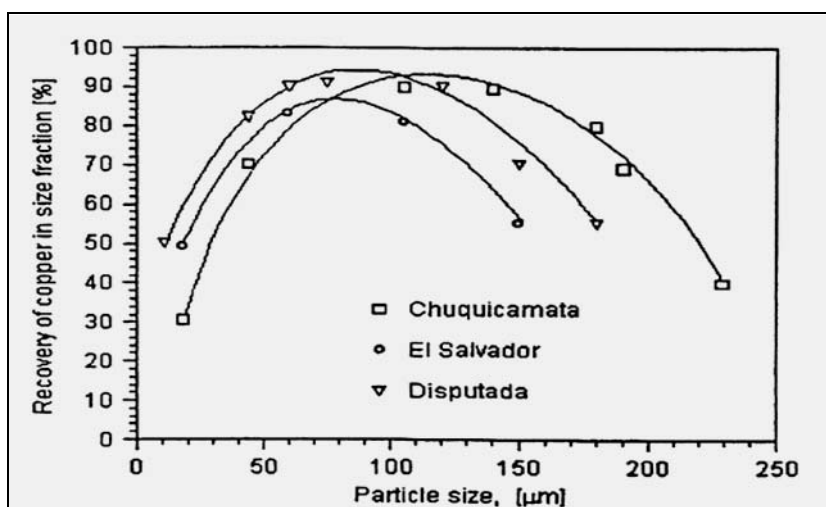
قابلیت شناورسازی مس در pH مختلف با نوع کف‌ساز استفاده شده مرتبط است. با یک کف‌ساز معین بازیابی مس می‌تواند به شکل قابل توجهی در محدوده pH پایین‌تر افزایش پیدا کند، حال آنکه بعضی کف‌سازها نیاز به pH بالاتری جهت نگهداری پایداری بیشتر کف دارند.

زمانی که کالکوزین به عنوان کانی اصلی مس وجود دارد قابلیت شناورسازی ذرات متوسط (< 200 میکرون) با افزایش pH بهبود می‌بخشد. در مورد کانی کالکوپیریت pH پایین مطلوب‌تر است زیرا در pH بالا قابلیت شناورسازی ذرات متوسط و درشت کالکوپیریت کاهش پیدا می‌کند [۲].

۲-۵- اندازه ذرات

اندازه ذرات یک عامل مهم در کارخانه‌های سولفیدی مس حامل مولیبدنیت می‌باشد که فلوتاسیون مولیبدنیت را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. در کارخانه‌های پرفیری مس، با توجه به این که مس فلز

اولیه می‌باشد، عواملی از قبیل خردایش، مواد شیمیایی، تجهیزات، طراحی کارخانه و غیره برای مس بهینه می‌شوند، بنابراین ائتلاف مولیبدنیت ممکن است مربوط به این حقیقت باشد که شرایط فلوتاسیون با توجه به حباب و اندازه ذرات به دست آمده، برای فلوتاسیون مولیبدنیت مناسب نیست [۵]. تجزیه ابعادی باطله‌های فلوتاسیون بسیاری از کارخانه‌ها نشان داد که مس از دست رفته به طور عمده در بخش‌های $+200$ میکرون و -20 میکرون قرار دارد. شکل ۲-۲ بازیابی مس را در بخش‌های ابعادی کنسانتره‌های سه معدن نشان می‌دهد [۲].



شکل ۲-۲: ارزیابی مس در بخش‌های ابعادی کنسانتره‌های سه معدن [۲]

از نقطه نظر ترمودینامیکی و بر پایه اندازه گیری‌های زاویه تماس، ذرات ریز مولیبدنیت آپذیرتر از ذرات درشت هستند که این امر بواسطه اثر لبه‌ها می‌باشد. لبه‌های کریستال‌ها مکان‌های یونیک را بر روی ذرات مولیبدنیت بوجود می‌آورند که مستعد واکنش شیمیایی و اکسیداسیون می‌باشند. بدین ترتیب اثر لبه‌ها برای بازیابی مولیبدنیت وقتی بسیار نرم شده باشد، منفی می‌باشد، با وجود این با حضور تکنولوژی فلوتاسیون ستونی در کارخانه‌های مولیبدن می‌توان امیدوار بود که بازیابی ذرات ریز مولیبدن بهبود یابد [۱۲ و ۱۴].

۶-۲- فرآیندهای جدایش کانی‌های سولفیدی مس - مولیبدن

از لحاظ تاریخی فرآیندهای جدایش مس و مولیبدن در طی ۴۰ سال گذشته توسعه پیدا کرده‌اند. فلوشیت معمولی که برای بازیابی مولیبدنیت در تمام عملیات‌های فرآوری مولیبدن دنیا (بجز در عملیات یوتا و سیلوریل استفاده می‌شود شامل مراحل متوالی ذیل می‌باشد [۱۳].

← افزایش درصد جامد کنسانتره مس جهت حذف بخش زیادی از معرف‌های مس، همچنین افزایش غلظت خوراک کارخانه مولیبدن.

← بازداشت مس و آهن به توسط فرآیندهای شیمیایی یا عملیات حرارتی.

← فلوتاسیون اولیه کنسانتره مولیبدنیت تحت شرایط کنترل شده (مصرف معرف، pH و درصد جامد)

← پرعیارکردن کنسانتره مولیبدنیت اولیه توسط فلوتاسیون مجدد (شستشوی پی در پی و خردایش بیشتر

← فروشویی شیمیایی، جهت حذف مس بیش از حد موجود در کنسانتره مولیبدنیت نهایی، چنانچه ضرورت داشته باشد.

تا کنون چندین بازداشت‌کننده موثر برای کانی‌های سولفیدی مس و آهن یافت شده‌اند. مهمترین آنها عبارتند از [۱۲و۸]: سولفید سدیم، هیدروسولفید سدیم، سیانور و فروسیانورسدیم، و معرف نوکس فسفاتنی و آرسنیکی و اسید تیوگلیسرول می‌توان نام برد.

۶-۲-۱- حذف کلکتورهای مس

برخی از کارخانه‌ها یک یا چندین بازداشت‌کننده را در مراحل مختلف فلوتاسیون به مدار اضافه می‌کنند تا به عیار رضایت‌بخشی از کنسانتره برسند. برخی دیگر از عملیات‌های فرعی سود می‌برند. تا بدین طریق کلکتورهای مس اضافه شده در قسمت تغلیظ مس را به طور کامل اکسید یا از بین ببرند تا اثری از آنها باقی نماند. از جمله روشهایی که این عمل را میسر می‌سازند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۲-۶-۱-۱- فرآیندهای حرارتی

به منظور تجزیه مواد شیمیایی مصرف شده که ممکن است در فرآوری مولیبدن اثرات سوئی داشته باشند قبل از انجام فلوتاسیون، خوراک تغلیظ حرارت داده می‌شود تا این مواد شیمیایی تجزیه و از محیط خارج گردند. این روش برای از بین بردن معرف‌های شیمیایی خصوصاً گزنتات‌ها بسیار موثر است [۱۸و۹].

بخاردهی: بخاردهی کانه آراسته حاصل از فلوتاسیون اولیه، غلیظ شدن در فشار یک اتمسفر به منظور از بین بردن کلکتورهایی که سطح کانی را آغشته کرده و نسبت به حرارت نیز حساس می‌باشند. درجه حرارت ۹۰ تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد در مدت ۱ تا ۴ ساعت و سپس فلوتاسیون مولیبدنیت در این فرآیند به انجام می‌رسد.

بخاردهی با فشار: که اعمال حالت اول در ظروف سربسته و در فشار بالاتر از یک اتمسفر می‌باشد.

پختن: نوعی گرمادادن غیر مستقیم پالپ می‌باشد.

تشویه کردن سطحی: در صورتی که کنسانتره تشویه شود، سطوح ذرات سولفور مس به اکسید تبدیل می‌گردند و معرف‌هایی که سطوح ذرات را آغشته کرده‌اند از بین می‌روند و برای مرحله بعدی فلوتاسیون آماده می‌شود.

۲-۶-۱-۲- فرآیندهای غیرحرارتی

راکدگذاشتن خوراک: که بدین ترتیب کلکتورهای مس همراه، به مرور زمان اکسید یا آلتره می‌شود.

فیلترکردن و پالپ کردن مجدد خوراک: که باعث دفع کلکتورهای مس خواهد شد.

استفاده از معرف‌های اکسیدکننده هیپوکلرید سدیم و آب اکسیژنه به تنهایی یا در برخی مواقع با ترکیبی از معرف‌های بازداشت‌کننده چون سولفید سدیم و فروسیانید سدیم جهت بازداشت سولفورهای مس و آهن و همچنین اکسیداسیون معرف‌هایی که در بازیابی اولیه شرکت داشته‌اند.

قابل ذکر است که جهت افزایش بازیابی مولیبدنیت تقریباً در همه کارخانه‌ها و در تمام فرآیندها به مدار فلوتاسیون، سوخت نفتی اضافه می‌کنند.

در زیر به تشریح عملکرد برخی فرآیندهای موثر جهت بازداشت سولفورهای مس و آهن پرداخته می‌شود.

۲-۶-۲- هیدروکربن‌ها

استفاده از هیدروکربن‌ها از قبیل نفت سفید، گازوئیل، نفت گاز و سایر هیدروکربن‌ها همراه با کف‌ساز، فلوتاسیون انتخابی مولیبدنیت را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌بخشد، ابتدا عقیده بر این بود که معرف‌های قطبی بر روی ذرات مولیبدنیت یک قشر نازک سطحی را تشکیل می‌دهند اما بررسی‌های بعدی نشان داد که قطرات معرف به سطح کانی می‌چسبند. دوام و درجه چسبندگی با غلظت معرف قطبی افزایش می‌دهد تا اینکه به حد ماکزیمی برسد سپس با افزایش بیشتر غلظت، دوام چسبندگی کاهش می‌یابد. چگونگی پیوستن معرف‌های غیر یونیک قطبی همچون هیدروکربن‌ها، به سطح ذرات کانی آن‌چنان روشن نیست. یقیناً این پیوستگی بر اساس پیوندهای شیمیایی قوی نیست اما تا اندازه‌ای نیروهای نسبتاً ضعیف واندروالس در آن دخیل هستند که بیشتر بصورت فیزیکی عمل می‌کنند [۱۰، ۱۲ و ۱۴].

۲-۷- ناخالصی‌ها در کنسانتره مولیبدن

تولیدکنندگان مولیبدنیت محدودیت سختی برای میزان مس، سرب، آرسنیک و فسفات موجود در آن دارند. در حال حاضر هیچ کارخانه مولیبدنیتی وجود ندارد که با مشکل وجود ناخالصی در کنسانتره مولیبدنیت روبرو نباشد. به هر حال این کارخانه‌ها با استفاده از معرف‌های نوکس، با یک یا چند مرحله پالپ کردن مجدد کنسانتره قبل از فیلتر کردن و خشک کردن نهایی و غیره، از دفع اینگونه ناخالصی‌ها از کنسانتره تولیدی مطمئن می‌شوند [۹ و ۱۲].

بر اساس استاندارد موسسه N.S.S ایالات متحده آمریکا، ترکیب کنسانتره مولیبدنیت عرضه شده در بازار بایستی با محدودیت‌های تعیین شده زیر مطابقت نماید [۱۹].

حداقل ۹۰ درصد MoS_2	حداکثر ۰/۰۴ درصد فسفر
حداکثر ۰/۴۵ درصد مس	حداکثر ۰/۱۵ درصد آرسنیک و آنتیموئن
حداکثر ۰/۱۵ درصد سرب	حداکثر ۴ درصد رطوبت آزاد

۲-۸- مجتمع مس سرچشمه

خوراک کارخانه فرآوری ۰/۶۸ درصد مس و ۰/۰۳ درصد مولیبدن می‌باشد. مولیبدنیوم در کانی مولیبدنیت و مس در کانی‌های کالکوپیریت، کالکوسیت و کولیت و آهن به میزان ۲۵ درصد و به صورت پیریت وجود دارد.

کنسانتره مس حاوی ۳۰ درصد مس و ۰/۵۵ درصد مولیبدن می‌باشد و عیار مطلوب مس در کنسانتره مولیبدن کمتر از ۰/۵ درصد مس می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهد حداکثر کاهش مس در فرآیند شناورسازی مولیبدن تحت شرایط $\text{pH}=9$ و مصرف نوکس آرسنیک در مراحل شستشوی ۵ و ۶ به ترتیب به میزان ۱/۵ و ۰/۵ کیلوگرم بر تن خوراک ورودی و همچنین سیانید سدیم در مرحله شستشوی ۷ به میزان ۰/۳ کیلوگرم بر تن در $\text{pH}=11$ حاصل می‌شود همچنین زمان شناورسازی بهینه مولیبدن در آنها به ترتیب ۸، ۳ و ۲/۵ دقیقه می‌باشد.

فلوتاسیون تجمعی سولفورهای مس و مولیبدن طی یک مرحله فلوتاسیون اولیه، دو مرحله شستشو و همچنین یک مرحله رمق‌گیری انجام می‌شود. بازیابی مولیبدن در این مرحله ۶۰ درصد است و کنسانتره بطور متوسط ۰/۷ درصد مولیبدن و ۳۰ درصد مس دارد [۱۷].

۲-۸-۱- کارخانه پرعیارسازی مس

خوراک اولیه فلوتاسیون بین چهار ردیف سلول‌های مرحله اول فلوتاسیون بطور مساوی تقسیم می‌شود. باطله سلول‌های مرحله اول فلوتاسیون به همراه باطله سلول‌های مرحله رمق‌گیر به عنوان باطله نهایی از کارخانه خارج شده و تحت تاثیر وزن خود و شیب لوله به تیکرهای باطله جهت

بازیابی آب منتقل می‌شود. کنسانتره سلول‌های مرحله اول فلوتاسیون با کنسانتره سلول‌های رمل‌گیر مخلوط شده وارد مخزن پمپ سیکلون ثانویه می‌شود و از آنجا جهت دانه‌بندی به سیکلون‌های ثانویه پمپاژ می‌گردد. ذرات درشت وارد آسیای ثانویه و پس از خروج دوباره وارد مخزن سیکلون می‌گردند. ذرات نرم بصورت سرریز سیکلون از هر آسیا به یک ردیف سلول مرحله شستشو می‌رود [۱۷].

مواد شیمیایی مصرفی

مواد شیمیایی که در مدار بازیابی تجمعی استفاده می‌شوند شامل کلکتورهای خانواده گزنتات (معمولا سدیم ایزوپروپیل گزنتات)، ایروپرومتر ۴۰۷ که مخلوطی از دی‌تیوفسفات و مرکاپتوبنزنوتیازول است. از MIBC یا روغن کاج و ایروفلوت ۶۵ (پروپیلن گلیکول) به‌عنوان کف‌ساز استفاده می‌شود.

قابل ذکر است که سوخت نفتی (گازوئیل) جهت بازیابی موثر مولیبدن و همچنین از آهن به‌عنوان تنظیم‌کننده pH در محدوده ۱۲-۱۰/۵ استفاده می‌شود [۱۷].

۲-۸-۲- کارخانه فرآوری مولیبدن

کنسانتره نهایی کارخانه پریارسازی مس که حاوی ۲۷-۳۲ درصد مس، ۲۸-۲۲ درصد آهن و ۰/۷-۰/۲ درصد مولیبدن است به دو تیکر مس و مولیبدن و پس از آگیری و بالا رفتن دانسیته با درصد جامد ۵۰ درصد به کارخانه مولیبدن ارسال می‌گردد.

اساس کار فلوتاسیون در کارخانه مولیبدن، جدا نمودن کانی مولیبدنیت از کانی‌های سولفوری مس و آهن توسط شناور کردن کانی مولیبدنیت و بازداشت ترکیبات مس و آهن به کمک کلکتورهای شیمیایی است. کارخانه مولیبدن دارای یکسری سلول مرحله اول فلوتاسیون (مرکب از دو ردیف) و هفت سری سلول شستشو (هر کدام مرکب از دو ردیف) و یک بخش فروشویی شیمیایی می‌باشد.

محصول نهایی این واحد، کنسانتره مولیبدن با عیار بالای ۵۳ درصد مولیبدن و باطله نهایی کارخانه نیز متشکل از کنسانتره مس فاقد مولیبدن می‌باشد که خوراک کارخانه فیلتر و خشک‌کن را تشکیل داده و پس از آگیری به کارخانه ذوب ارسال می‌گردد [۱۷].

مواد شیمیایی مصرفی در این کارخانه

- ۱- هیدروسولفور سدیم (NaHS) ۲- سیانید روی و سدیم $(\text{Na}_2\text{Zn}(\text{Cn})_2)$ ۳- سیانید سدیم (NaCn) ۴- سولفور آمونیوم $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ۵- سوخت نفتی (گازوئیل یا Fuel Oil) ۶- اکسفوم ۶۳۶ (Exfom ۶۳۶) ۷- تری پلی فسفات سدیم (Na.T.P.P)

ردیف‌های ۱ تا ۴ برای آزادسازی گزنتات‌های پوشانده سطح سولفورهای مس و آهن و بازداشت این دو ترکیب، ریف پنجم برای شناورسازی کانی مولیدنیت، ردیف ششم برای کنترل کف و ردیف هفتم جهت بهبود کیفیت سرریز تیکنر کنسانتره نهایی و جلوگیری از رسوب گذاری در لوله‌های مسیر بوده است [۱۴].

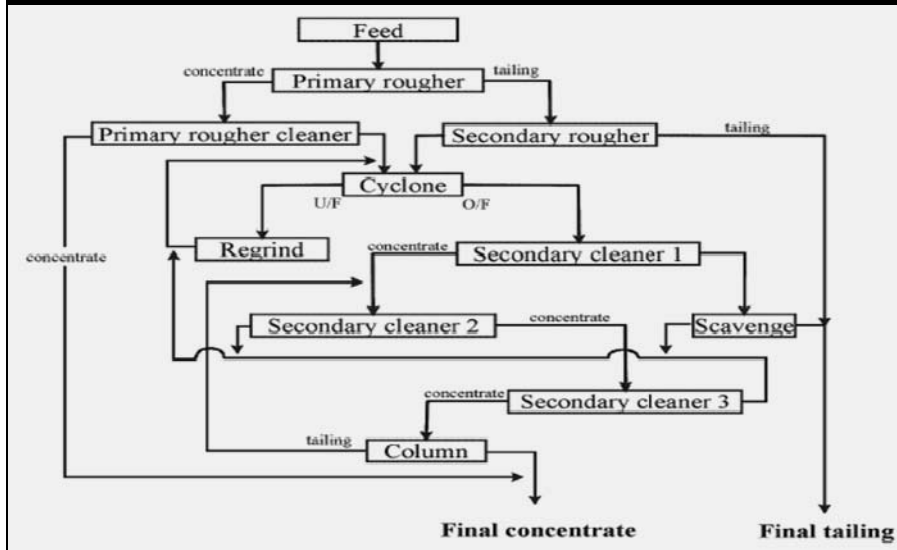
Rougher flotation	$(\text{NH}_4)_2\text{S}$, NaHS, Fuel Oil (before secondary mill in conditioning tank)	
First / second cleaner flotation	NaHS (first)	NaZnCn and NaHS (second)
Third cleaner flotation	NaZnCn and NaHS	
Fourth cleaner flotation	NaZnCn and Exfom-۶۳۶	
Fifth cleaner flotation	NaZnCn and NaCn and Exfom-۶۳۶	
Sixth / Seven cleaner flotation	NaCn and Exfom-۶۳۶ (sixth)	NaCn (seven)

۲-۹- فلوشیت‌های کاربردی

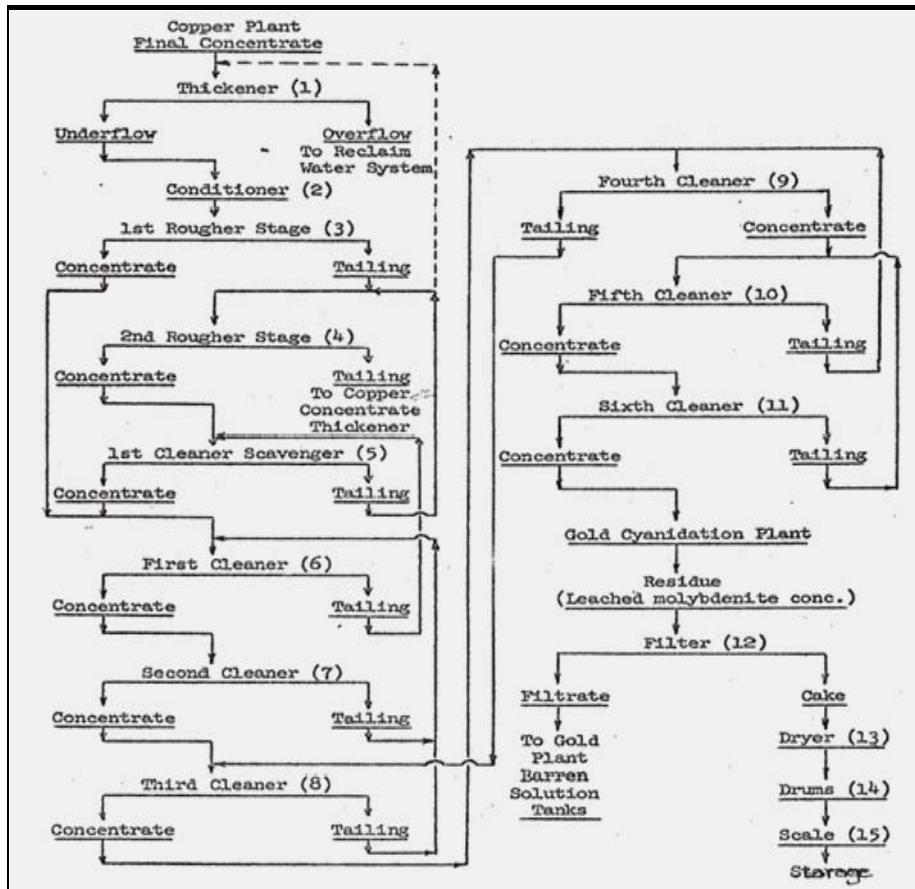
اغلب فلوشیت‌های جدایش سولفیدهای مس و مولیدن از باطله (فلوتاسیون تجمعی) شامل چند مرحله فلوتاسیون رافر، اسکونجر و کلینر هستند. یکی از این فلوشیت‌های کاربردی که در El Cobre شیلی به کار گرفته شده در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.

فلوشیت‌های جدایش کانی‌های مس از کانی‌های مولیدن (فلوتاسیون انتخابی) نسبتاً پیچیده و متفاوت هستند. مخصوصاً زمانی که کنسانتره مس و مولیدن به عملیات حرارتی برای حذف کلکتور از روی کانی‌های مس، قبل از جدایش مس و مولیدن انتقال می‌یابد. در Utah، قبل از فلوتاسیون جدایشی عملیات تشویه بر روی کنسانتره انجام می‌شود. بعد از عملیات حرارتی معمولاً چند مرحله رافر (فلوته سازی مولیدن) و چندین مرحله کلینر (شستشوی کنسانتره مولیدن) انجام می‌شود. یک

فلوشیت شامل ۲ مرحله رافر، ۱ مرحله اسکونجر و ۶ مرحله کلینر برای جدایش مولیبدن از مس در آریزونا (Arizona) به کار می‌رود، در شکل ۲-۴ نشان داده شده است [۲].

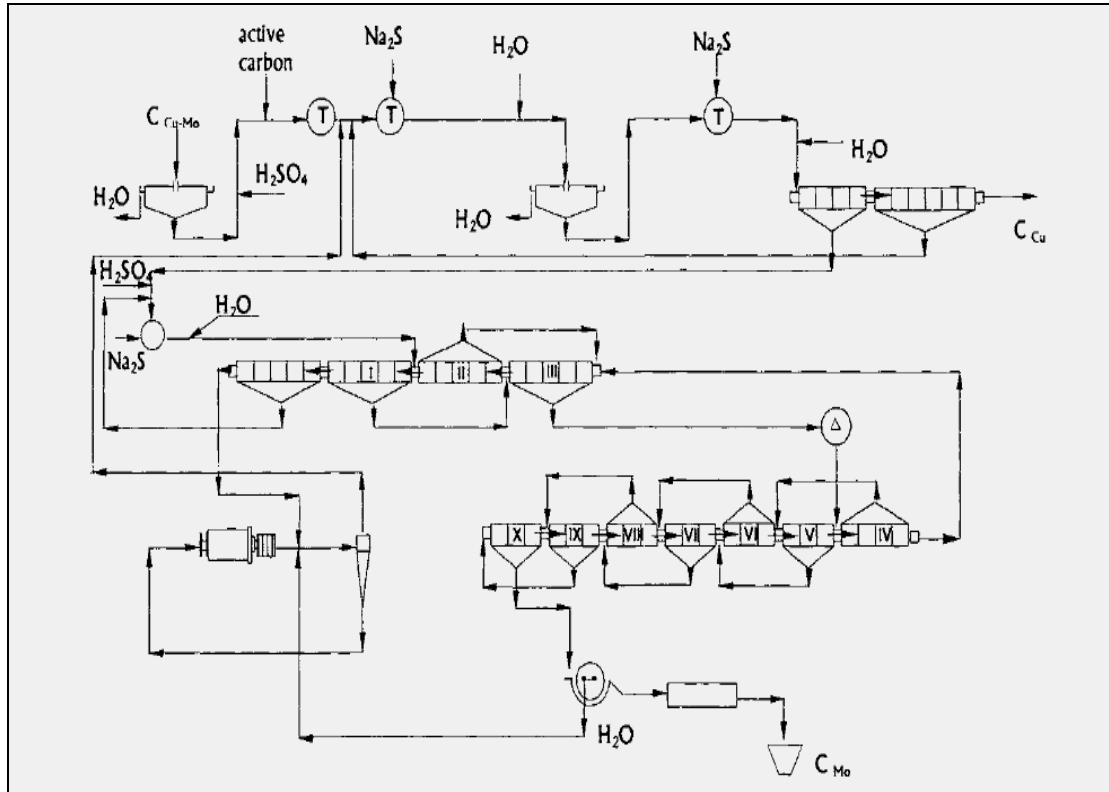


شکل ۲-۳: فلوشیت جدایش کانی‌های سولفور مس و مولیبدن از باطله در El Cobre شبلی [۲].



شکل ۲-۴: فلوشیت جدایش کانی‌های مس از مولیبدن در San Manuel در آریزونا (Arizona) [۲].

در شکل ۵-۲ فلوشیت انتخابی مولیدنیت در معدن مس Majdanpek نشان داده شده است که در آن از سولفور سدیم به‌عنوان بازدارنده کانی‌های مس استفاده شده است.



شکل ۵-۲: فلوشیت فلوتاسیون انتخابی مولیدنیت در معدن مس Majdanpek

فصل سوم کان‌سنگ کال‌کافی

۳-۱- مقدمه‌ای بر مطالعات صورت گرفته

از دهه ۸۰ میلادی مطالعات اکتشافی و فرآوری بر روی کانسنگ کال کافی آغاز شده است که در ادامه مختصری به آن اشاره می‌شود.

۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی کانسنگ مورد مطالعه

کانسنگ مورد مطالعه در منطقه کال کافی و در محدوده مختصات جغرافیایی ۵۴,۱۲,۴۷ تا ۵۴,۱۳,۳۱، طول خاوری و ۳۳,۲۴,۱۳ تا ۳۳,۲۴,۵۴ عرض شمالی به مساحت تقریبی ۱۲۰ هکتار، در بخش خاوری استان اصفهان، در فاصله ۴۰ کیلومتری خاور معدن سرب و روی نخلک و در فاصله ۶۰ کیلومتری شمال خاوری شهرستان انارک قرار گرفته است. راه دسترسی به آن از طریق جاده آسفالته نائین - انارک - خور است که در مقابل کانسار نخلک یک راه خاکی اتوموبیل‌رو بطرف خاور از این جاده جدا شده و پس از مسافت ۳۰ کیلومتر به کانسار کال کافی می‌رسد [۱۵].

محدوده کانسار دارای آب و هوای کویری و بیابانی با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های معتدل است. حداکثر درجه حرارت در تابستان بیشتر از ۴۵ درجه سانتیگراد و حداقل درجه حرارت آن در زمستان زیر صفر درجه می‌باشد. منطقه‌ای است کم باران، بطوریکه میزان بارندگی سالیانه آن کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر است. تراکم جمعیت در منطقه بسیار اندک بوده و شهرستان انارک در فاصله ۶۰ کیلومتری جنوب باختری آن و آبادی عروسان در فاصله ۳۰ کیلومتری خاوی آن از مهمترین مراکز جمعیتی منطقه می‌باشد. بجز مزرعه مشجری در میان راه خاکی نسبتاً هموار منتهی به کانسار که فقط چند دامدار در زمستان گوسفندان خود را در آن نگه می‌دارند و یک چاه آب منتهی‌الیه دره خوی که مورد استفاده دامداران قرار می‌گیرد، نشانه دیگری از آبادانی در شعاع ۲۰ کیلومتری کانسار دیده نمی‌شود [۱۵].

۳-۱-۲- خلاصه‌ای از زمین‌شناسی محدوده کانسار

محدوده کانسار از نظر ساختمانی در زون ساختاری ایران مرکزی و در زیر زون دگرگونه انارک - خور قرار گرفته است.

با توجه به مطالعات شرکت تکنواکسپورت (۱۹۸۱) قدیمی‌ترین واحدهای سنگ چینه‌ای موجود در منطقه را مجموعه دگرگونه انارک با زمان پرکامبرین پسین تشکیل می‌دهد که در بخش‌های فوقانی به یک واحد مرمر - دولومیتی (مرمر لاخ) تبدیل می‌شود که دارای زمان کامبرین زیرین (معادل بخش فوقانی دولومیت سلطانیه) بوده و در شمال کانسار کال کافی نیز رخنمون داشته و کانی‌سازی سرب و روی خونی در آن تشکیل شده است.

مجموعه دگرگونه فوق را سنگ آهک متوسط تا ضخیم لایه اوربیتولین دار کرتاسه زیرین بطور ناهمساز می‌پوشاند که در جنوب خاوری توده کال کافی گسترش داشته و خود بطور دگرشیب توسط مجموعه آتشفشانی و آتشفشانی - آواری ائوسن پوشیده شده است.

مجموعه دگرگونه پرکامبرین و مجموعه آتشفشانی ائوسن را یک توده بزرگ گرانیتوئیدی با ترکیب گرانیتی، گرانودیوریتی تا کوارتز مونزونیتی و سینیتی قطع نموده که به شکل بیضی با قطر بزرگ ۶/۵ کیلومتر و قطر کوچک ۵ کیلومتر ارتفاعات بلند منطقه (کوه کال کافی) را تشکیل می‌دهد. آخرین مرحله تفریق این فعالیت ماگمایی بعد از ائوسن (ائوسن بالا تا الیگومیوسن) به صورت یک استوک میکروگرانیت - مونزوسینیت پورفیری روشن رنگ در مرکز آن رخنمون دارد که حاوی کانی‌سازی مس و مولیبدنیم نوع پورفیری و طلای اپی‌ترمال وابسته به آن می‌باشد که مطالعات اکتشافی بر روی آن انجام گرفته است [۱۵].

۳-۱-۳- مطالعات اکتشافی

۳-۱-۳-۱- مطالعات اکتشافی مرحله قبل

مطالعات اکتشافی انجام گرفته در مقیاس ۱:۱۰۰۰ در محدوده‌ای به گسترش ۱۲۰ هکتار در کانسار کال کافی شامل تهیه نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰، مطالعات لیتوژئوشیمیایی در محدوده فوق و حفر یک حلقه گمانه اکتشافی به عمق حدود ۱۱۲ متر در رگه سیلیسی پلی متال - طلا دار قطع‌کننده توده پورفیری نشان می‌دهد که کانی‌سازی طلا عمدتاً در رگه‌های سیلیسی مربوط به فازهای آخرین فعالیت این توده تمرکز داشته و اغلب به صورت پلی متال طلا دار شامل سرب، روی، مس، مولیبدنیم و طلاست. طلا عمدتاً بصورت آزاد در باطله سیلیسی و یا بصورت انکلوزیون در کانه

پیریت دیده می‌شود و بر اساس نمونه‌گیری‌های سطحی میزان 62463 تن کانسنگ با عیار میانگین 4 گرم در تن طلا در این رگه‌ها قابل پیش‌بینی است.

در مطالعات لیتوژئوشیمیایی بر اساس 187 نمونه میزان طلا در کانسار کال‌کافی بین چند میلی گرم تا حداکثر $13/2$ گرم در تن و بطور میانگین 64 میلی‌گرم در تن گزارش شده است. در مطالعات کانی سنگین دانه‌های آزاد طلا به صورت زاویه‌دار تا نیمه گرد شده و اسفنجی در اندازه‌های 100 تا 250 میکرون در محدوده این کانسار شناسایی شده است.

دگرسانی در توده کال‌کافی از یک زون‌بندی منظم ویژه کانسارهای مس پورفیری تبعیت نمی‌نماید. دگرسانی در این توده عمدتاً از نوع کوارتز - سریسیتی تا آرژیلی است و دگرسانی پروپیلیتی و پتاسیک در آن حضور چشمگیر ندارد. در این بررسی‌ها دگرسانی در کانسار کال‌کافی به سه بخش سیلیسی، کوارتز - سریسیتی و آرژیلی تقسیم شده که کانی‌سازی مس و مولیبدنیم عمدتاً در زون کوارتز - سریسیتی تمرکز داشته کانی‌سازی طلا نیز در رگه‌های سیلیسی و یک بخش کم و بیش آرژیلی شده در زون کوارتز - سریسیتی که حاوی شبکه رگچه‌های فراوان سیلیسی است تمرکز دارد.

در این بررسی‌ها یک زون غنی از کانی‌سازی مس و مولیبدنیم در بخش میانی زون کوارتز - سریسیتی و یک زون شبکه رگچه‌ای در حاشیه خاوری آن به عنوان زون طلا‌دار برای مطالعات اکتشافی بعدی معرفی و چهار حلقه گمانه تا عمق 150 متری (در هر زون 2 گمانه) بر روی آنها پیشنهاد شده است. گسترش زون دگرسان شده مس - مولیبدنیم دار برابر حدود 440×180 مترمربع و زون شبکه رگچه‌ای طلا‌دار 370×230 مترمربع است [۱].

۳-۱-۲- مطالعات اکتشافی انجام شده

مطالعات اکتشافی انجام شده در این مرحله از بررسی‌ها شامل حفر سه حلقه گمانه شامل گمانه‌های BH_1 و BH_2 در زون دگرسان شده مس - مولیبدنیم‌دار و BH_3 در زون دگرسان شده شبکه رگچه‌ای طلا‌دار همراه با برداشت و نمونه‌گیری‌های مربوطه است که بشرح زیر می‌باشد.

۳-۱-۳-۲-۱- شرح گمانه BH_۱

این گمانه به عمق ۱۵۰ متر با شیب قائم در بخش باختری زون دگرسان شده حاوی کانی‌سازی شدید مس به صورت مالاکیت و آزوریت در درزه‌ها برداشت و تحت آزمایش اندازه‌گیری مس، مولیبدنیم و طلا و به صورت مورد تحت آزمایش اندازه‌گیری تنگستن، سرب، قلع و نقره و روی قرار گرفت.

مغزه‌های این گمانه از مونزوگرانیت تا کوارتز مونزونیت بیوتیت‌دار، ریز تا متوسط بلور و به ندرت درشت بلور و خاکستری رنگ تشکیل می‌گردد که درزه‌های پرشیب ۹۰ درجه در آن فراوان بوده و در بسیاری از این درزه‌ها رگچه‌های کوارتز خاکستری رنگ و رگچه‌های سولفیدی کالکوپیریت و پیریت مشخص است که عموماً با رگچه‌های کوارتز همراهند کالکوپیریت و پیریت به صورت پراکنده نیز در سنگ دیده می‌شود همچنین مولیبدنیت تیغه‌ای منشوری تا فیبری شکل و گاه توده‌ای بصورت هم رشد با کالکوپیریت تشکیل یافته است. تا عمق ۵۰ متر می‌توان زون اکسیده برای این گمانه در نظر گرفت که در این زون، اکسیداسیون رگچه‌ها و دانه‌های سولفید و نیز در برخی نقاط، اکسیداسیون فراگیر متن سنگ قابل مشاهده است. عمق ۵۰ تا ۷۵ متر زون گداز از اکسید به زون سولفید بوده که در آن بسیاری از رگچه‌ها و دانه‌های سولفیدی به طور کامل یا به طور بخشی تبدیل به کانی‌سازی اکسیده شده و کانی‌های اکسیده شامل رگچه‌های لیمونیت، هماتیت و نیز لپیدوکروسیت در اطراف رگچه‌ها و دانه‌های کالکوپیریت می‌باشد [۱].

۳-۱-۳-۲-۲- شرح گمانه BH_۲

این گمانه به عمق ۱۵۰ متر با شیب قائم در سنگهای بخش شرقی زون دگرسان شده حاوی کانی‌سازی شدید مس به صورت مالاکیت و آزوریت حفاری گردیده و از مغزه‌های حفاری شده آن تعداد ۱۵۷ نمونه برداشت و تحت آزمایش اندازه‌گیری مس، مولیبدنیم و طلا و نیز بصورت موردی اندازه‌گیری تنگستن، قلع و نقره قرار گرفت. نتایج این آزمایش‌ها و همچنین نتایج مطالعه مقاطع صیقلی ۳ نمونه، مطالعه سنگ‌شناسی ۴ نمونه در لاگ آن ثبت و مشخص شده است

سنگهای مغزه این گمانه با ترکیب گرانیت آلکالن تا مونزوگرانیت ریز تا متوسط بلور و گاه با بافت پورفیری است.

کانی‌سازی مس و مولیبدنیم عمدتاً به صورت رگچه‌های پرشیب ۶۰ تا ۹۰ درجه همرا و در طول رگچه‌های سیلیسی به رنگ خاکستری تا خاکستری تیره و نیز دانه‌های ریز و پراکند در متن سنگ و نیز داخل و حاشیه رگچه‌های سیلیسی مشخص است.

عمق زون اکسیده به ۴۸/۵ متر می‌رسد. از عمق ۴۸/۵ تا ۷۵/۰ متر را می‌توان زون گذار از اکسید به سولفید در نظر گرفت و زون سولفید از عمق ۷۵/۰ متر به پائین دیده می‌شود. در بخش اکسید کانیهای حاصل از اکسیداسیون شامل لیمونیت، هماتیت، ملاکیت، آزوریت و لپیدوکروسیت به چشم می‌خورد.

دگرسانی‌های دیگر از جمله سیلیسی شدن، کائولنی شدن، کربناتی شدن، کلریتی شدن و سریسیتی شدن نیز دیده می‌شود

سیلیسی شدن سنگها به صورت رگچه‌های عموماً پرشیب حدود ۷۰ تا ۹۰ درجه و گاه به شکل رگچه‌های پرکننده درزه‌های متقاطع و نامنظم می‌باشد. رنگ رگچه‌های سیلیسی خاکستری تا خاکستری مایل به صورتی است. عموماً در بخشهای سیلیسی شده کاهش میزان بیوتیت دیده می‌شود. کائولنی شدن سنگها بصورت رگچه‌های کائولن و نیز کائولنی شدن انتخابی برخی کانیهای سنگ در سراسر گمانه، کم و بیش قابل مشاهده است [۱].

۳-۱-۳-۲-۳- شرح گمانه BH_۳

این گمانه به عمق ۱۵۰ متر با شیب ۱۵ درجه و امتداد N۹۰E در سنگهای زون دگرسان شده سیلیسی و کائولنی واقع در بخش شرقی کال کافی حفاری و تعداد ۱۴۹ نمونه از آن برداشت و تحت آزمایش اندازه‌گیری مس، مولیبدنیم و طلا قرار گرفت. همچنین در تعداد ۸ نمونه به شیوه موردی میزان عناصر پاراژنز تنگستن، سرب، قلع و روی اندازه‌گیری گردید که در لاگ این گمان درج شده است.

مغزه‌های بدست آمده از این گمانه با ترکیب کوارتز مونزونیت، مونزوگرانیت تا گرانودیوریت به رنگ خاکستری بوده که متحمل دگرسانی‌های کائولنی (آرژیلی)، سیلیسی، کربناتی، سریسیتی و لیمونتی شده است. بافت سنگ ریز تا متوسط بلور بوده که متناوباً جایگزین یکدیگر می‌گردند. در برخی نقاط گمانه نیز بافت پورفیری قابل تشخیص است. عمق زون اکسیداسیون را در این گمانه می‌توان در ۶۵/۰ متر تعیین نمود.

کانی‌های عمده سولفیدی شامل کالکوپیریت، مولیبدنیت و پیریت است. کانی‌سازی مس و مولیبدن نسبت به دو گمانه دیگر در این گمانه ضعیف‌تر می‌باشد.

از ابتدا تا عمق ۱/۹۰ متر واریزه سنگ‌های گرانیت آلکالن و سپس تا عمق ۵/۰ متر گرانیت آلکالن هوازده، خرد شده، متوسط بلور و لیمونیتی شده بود ضمن اینکه از عمق ۳/۰ متر از شدت هوازدگی کاسته می‌شود.

از عمق ۴/۰ تا ۵/۰ متر همراه با چند رگچه مالاکیت و رگچه‌های دندریتی اکسید منگنز در درزه‌های نامنظم دیده می‌شود.

از عمق ۱/۰ تا ۸/۰ متر میزان طلا نسبتاً بالا بوده و حداقل آن ۰/۰۱۸ ppm و حداکثر آن ۰/۰۷۸ ppm و میانگین آن ۰/۰۳۶ ppm می‌باشد. این بخش از مغزه گمانه، دگرسانی کمتری متحمل شده است.

از عمق ۰/۸ تا ۶۴/۰ متر دگرسانی کائولنی نسبتاً شدیدتر بوده و در حالیکه دگرسانی سیلیسی آن بصورت رگچه‌های سیلیسی، کاهش نسبی نسبت به بخش بالاتر دارد.

از عمق ۵/۰ تا ۲۹ متر سیلیسی شده و کربناتی شده بود و کربناتی شدن به صورت رگچه‌های کربناتی قهوه‌ای رنگ و متعدد می‌باشد. شیب رگچه‌های کربناتی و سیلیسی عمدتاً پرشیب و بیش از ۶۰ درجه تا ۹۰ درجه بوده و خردشدگی مغزه‌ها به واسطه درزه‌های ۶۰ تا ۹۰ درجه و تقاطع این درزه‌ها با یکدیگر رخ داده است. تصویر شماره ۹ نمایشگر بخشی از این سنگهاست [۱].

۳-۱-۴- ارزیابی عیار و ذخیره زون‌های کانی‌سازی

همانطور که شرح داده شد، هدف از این بررسی‌ها تعیین چگونگی گسترش عمقی کانی‌سازی مس-مولیبدنیوم - طلا در زون دگرسان شده مس و مولیبدنیوم‌دار و چگونگی توزیع و پراکندگی عیار طلا در زون دگرسان شده شبکه رگچه‌ای بود که ابتدا دو گمانه BH_۱ و BH_۲ بر روی زون مس‌دار و دو گمانه BH_۳ و NH_۴ در زون شبکه رگچه‌ای طلا‌دار طراحی گردد ولی به علت عدم امکان انتقال دستگاه حفاری به بخش خاوری زون شبکه رگچه‌ای، از حفر گمانه BH_۴ چشم‌پوشی گردید و فقط به حفر گمانه BH_۳ به صورت شبیدار در این زون اکتفا گردید.

با توجه به آنالیز نمونه‌های برداشت شده از گمانه‌ها عیار میانگین مس در گمانه BH_۱ ۴۱۶۵ گرم در تن و مولیبدنیوم ۲۵۵ گرم در تن و طلا کمتر از ۰/۱ گرم در تن می‌باشد، در حالیکه در گمانه BH_۲ عیار میانگین مس برابر با ۲۰۳۶ گرم در تن و مولیبدنیوم ۴۸۱ گرم در تن و طلا ۳۶ میلی‌گرم در تن می‌باشد، لذا از تلفیق نتایج این دو گمانه، عیار میانگین مس در زون دگرسان شده مس-مولیبدنیوم‌دار ۳۱۰۰ گرم در تن و مولیبدنیوم ۳۷۰ گرم در تن و طلا کمتر از ۰/۱ گرم در تن می‌باشد.

با توجه به گسترش سطحی زون دگرسان شده مس-مولیبدنیوم‌دار به میزان ۴۴۰ × ۱۸۰ مترمربع و با احتساب وزن مخصوص ۲/۵، ذخیره‌ای برابر تقریباً ۳۰ میلیون تن کانسنگ با عیار میانگین ۳۱۰۰ گرم در تن مس (۰/۳ درصد) و ۳۷۰ گرم در تن مولیبدنیوم و حدود ۸۰ میلی‌گرم در تن طلا تا عمق ۱۵۰ متری (عمق گمانه‌های BH_۱ و BH_۲) در آن قابل پیش‌بینی است.

با توجه به نتایج گمانه BH_۳، عیار میانگین مس در زون دگرسان شده شبکه رگچه‌ای برابر با ۴۸۶ گرم در تن و مولیبدنیوم ۳۴۶ گرم در تن و طلا کمتر از ۰/۱ گرم در تن می‌باشد.

با توجه به گسترش سطحی زون دگرسان شده شبکه رگچه‌ای به میزان ۳۷۰ × ۲۳۰ مترمربع و با احتساب مخصوص ۲/۵، ذخیره‌ای به میزان بیش از ۳۰ میلیون تن کانسنگ با عیار میانگین ۴۸۶ گرم در تن مس و ۳۴۶ گرم در تن مولیبدنیوم و کمتر از ۰/۱ گرم در تن طلا در آن قابل پیش‌بینی است.

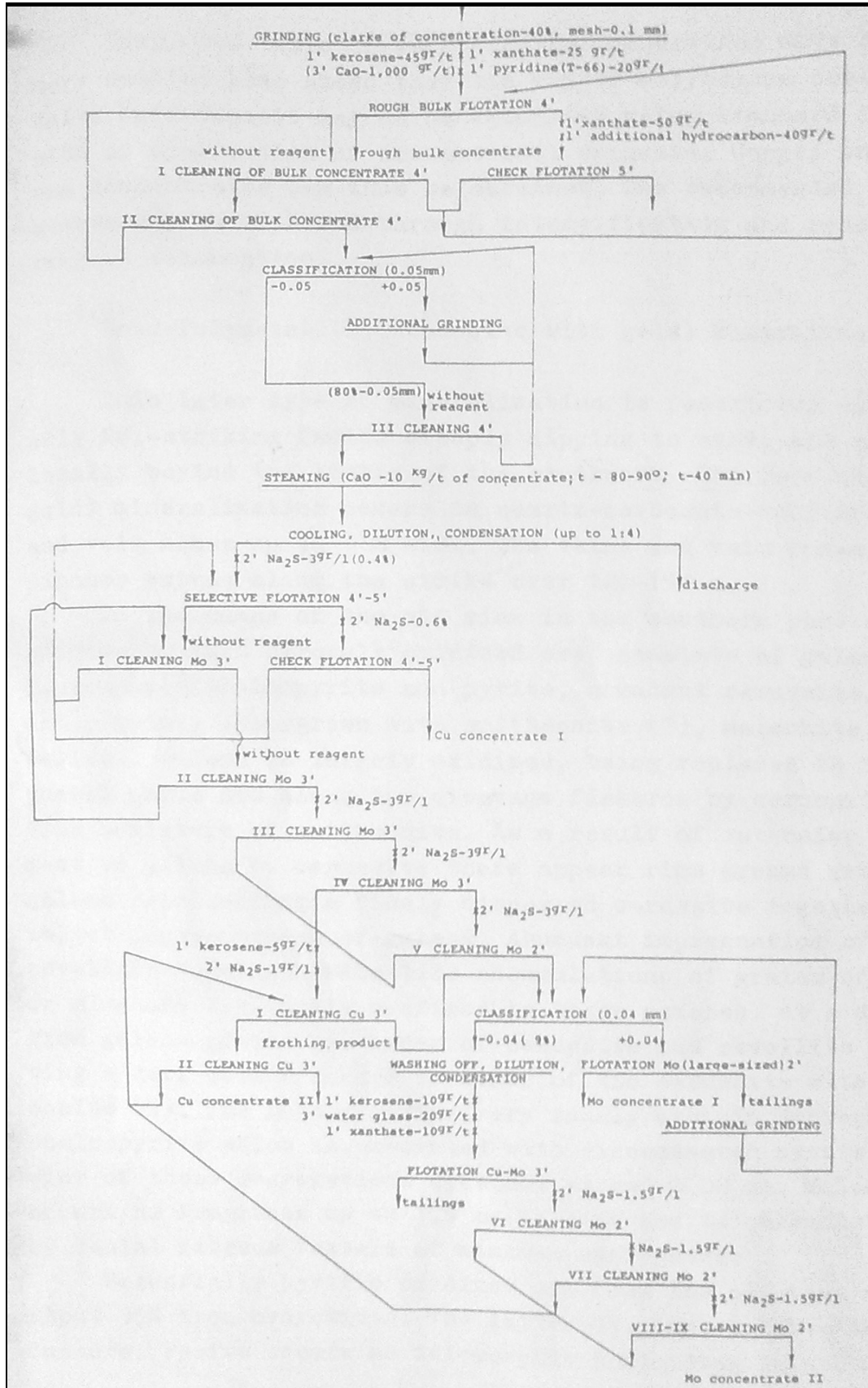
بنا به آنچه گفته شد ذخیره‌ای حدود ۹۰۰۰۰ تن مس، حدود ۱۱۰۰۰ تن مولیبدنیوم و حدود ۱/۵ تن طلا در زون دگرسان شده مس - مولیبدنیوم‌دار قابل محاسبه و پیش‌بینی است، در حالیکه در زون دگرسان شده شبکه رگچه‌ای سیلیسی - آرژیلی با توجه به عیار پایین مس، حدود ۱۴۵۰۰ تن مس، حدود ۱۰ هزار تن مولیبدنیوم و حدود ۱/۷ تن طلا پیش‌بینی می‌گردد [۱۲].

۳-۱-۵- مطالعات فرآوری قبلی

در سال ۱۹۸۱ سازمان Techno Export روسیه مطالعات کانه‌آرایایی را برای استحصال مس و مولیبدن بر روی نمونه‌ای از کان‌سنگ کال‌کافی که شامل کانی‌های اصلی کالکوپیریت، پیریت، مگنتیت، مولیبدنیت، انارژیت، مالاکیت و تورنیت بود انجام داد. این نمونه دارای ۰/۲۴ درصد مس و ۰/۳۸ درصد مولیبدن بوده است. فلوشیت طراحی شده توسط این شرکت در شکل ۳-۱ نشان دادن شده است.

این شرکت با انجام دو مرحله فلوتاسیون تجمعی و فلوتاسیون انتخابی کنسانتره‌ای از مس حاوی ۲۳/۸ درصد مس با بازیابی ۷۵/۵ درصد و ۰/۱۱۵ درصد مولیبدنیوم، ۴ گرم بر تن طلا و ۱۶ گرم بر تن نقره به دست آورد [۱۱].

همچنین کنسانتره مولیبدن حاوی ۴۵ درصد مولیبدنیوم، ۲/۵ درصد مس، ۱۰/۶۸ درصد سیلیکا، ۱۰/۶ گرم بر تن طلا و ۲۸ گرم بر تن نقره بود [۱۱].



شکل ۳-۱: فلوشیت پریارسازی مس و مولیبدن کال کافی طراحی شرکت Techno Export روسیه (۱۹۸۱) [۱۱].

۲-۳- مطالعات فرآوری و آزمایش‌های آزمایشگاهی

در راستای بررسی امکان‌پذیری استحصال مس و مولیبدن از کانسار کال‌کافی، نمونه معرف از دو گمانه BH_۱ و BH_۲ که جهت اکتشاف تکمیلی این کانسار حفاری شده بود، توسط شرکت توسعه علوم زمین تهیه و در اختیار سازمان زمین‌شناسی کشور قرار گرفت.

۳-۲-۱- خردایش و آماده‌سازی نمونه اولیه

۲۲۰ کیلوگرم نمونه مغزه (شکل ۳-۲) از کانسار مس و مولیبدن پرفیری کال‌کافی، جهت انجام مطالعات کانی‌شناسی و فرآوری مورد خردایش قرار گرفت. ابعاد این مغزه‌ها با خردایش در چهار مرحله سنگ‌شکنی به شرح زیر در آزمایشگاه کانه‌آرایی سازمان زمین‌شناسی کاهش یافت.

- مرحله اول سنگ‌شکن فکی بزرگ، در مسیر باز.
 - مرحله دوم سنگ‌شکن فکی کوچک، در مسیر باز.
 - مرحله سوم سنگ‌شکن مخروطی، در مسیر باز.
 - مرحله چهارم سنگ‌شکن غلطکی، در مسیر بسته با استفاده از سرند کنترل ۷ مش.
- نمونه‌های خردشده به روش مخروط ناقص به چهار بخش تقسیم و توسط ریفل به بخش‌های کوچک‌تر تقسیم و در نهایت در بسته‌های ۲ کیلوگرمی جهت سهولت استفاده بسته‌بندی گردید.



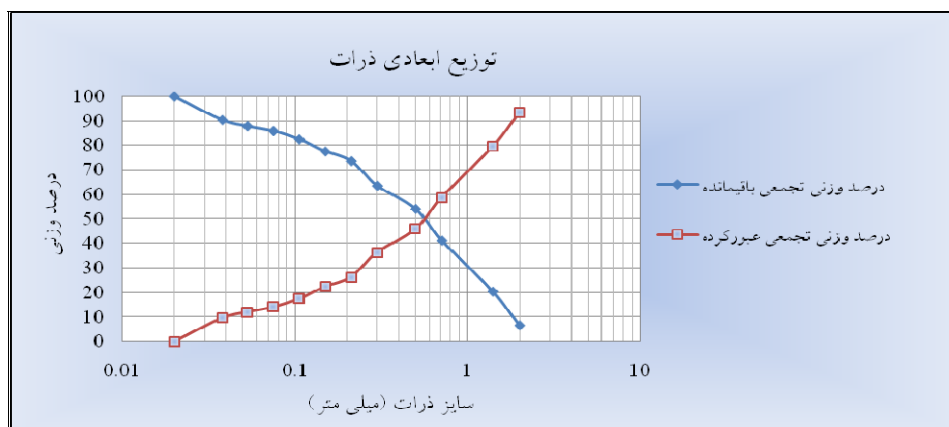
شکل ۳-۲: نمونه معرف که به صورت مغزه نمونه‌برداری شده است

۳-۲-۲- آزمایش تجزیه سرندي

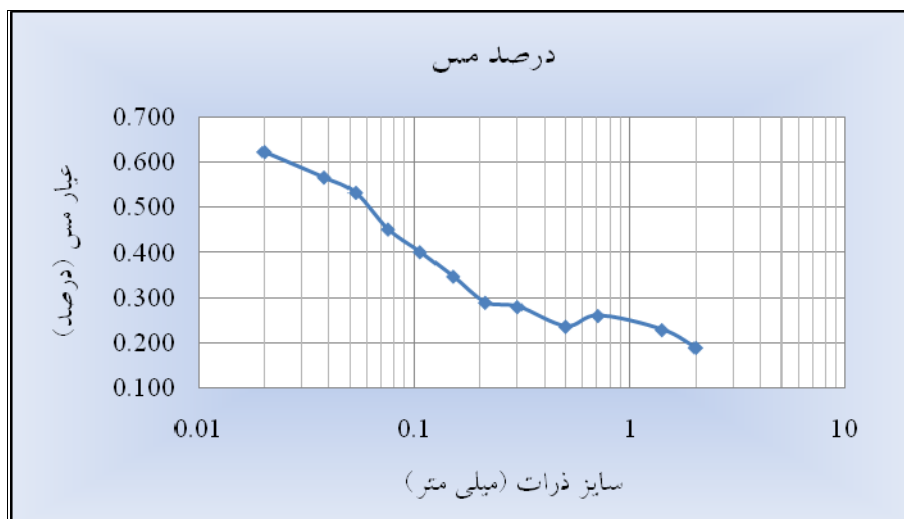
به منظور بررسی وضعیت دانه‌بندی و تغییرات احتمالی مقدار مس و مولیبدن در بخش‌های دانه‌بندی، یک بسته دو کیلوگرمی به صورت تصادفی انتخاب گردید و مورد آزمایش دانه‌بندی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۳-۱ آمده است و نمودار درصد وزنی تجمعی باقیمانده و عبورکرده آن در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱: تجزیه سرندي دو کیلوگرم از کانسنگ که پس از خردایش با ریفیل تقسیم شده بود.

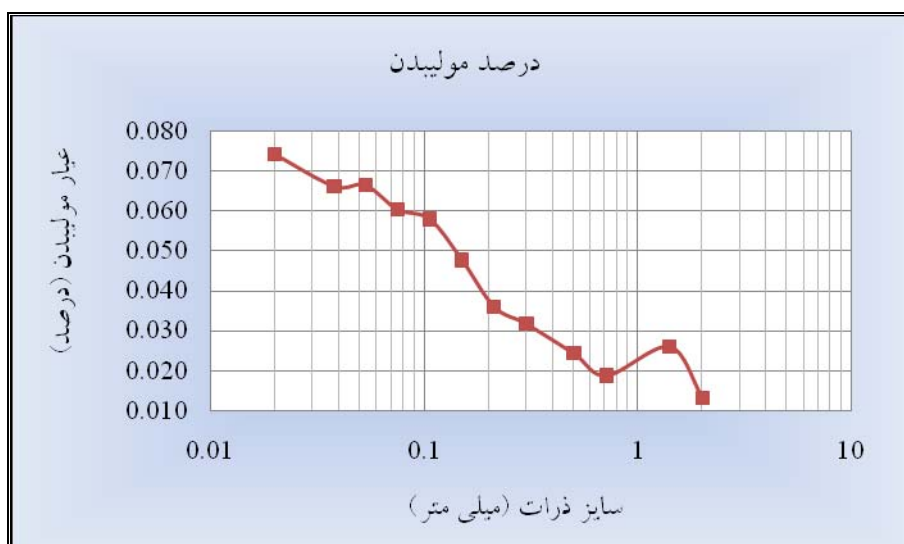
ابعاد سرندي		وزن (گرم)	درصد وزنی	درصد وزنی تجمعی		مس (درصد)		مولیبدن (درصد)	
مش	میلی متر			باقیمانده	عبورکرده	عیار	توزیع	عیار	توزیع
۱۰	۲	۱۳۴	۷	۹۳	۰/۱۹۱	۵/۱	۰/۰۱۳	۳/۱	
۱۴	۱/۴	۲۷۶	۱۴	۷۹	۰/۲۳۰	۱۲/۷	۰/۰۲۶	۱۲/۶	
۲۵	۰/۷۱	۴۱۶	۲۲	۵۷	۰/۲۶۱	۲۱/۷	۰/۰۱۹	۱۳/۷	
۳۵	۰/۵	۲۵۹	۱۴	۴۳	۰/۲۳۷	۱۲/۳	۰/۰۲۴	۱۱/۱	
۵۰	۰/۳	۱۸۸	۱۰	۳۳	۰/۲۸۱	۱۰/۵	۰/۰۳۲	۱۰/۴	
۷۰	۰/۲۱۲	۲۰۲	۱۱	۲۳	۰/۲۹۱	۱۱/۷	۰/۰۳۶	۱۲/۸	
۱۰۰	۰/۱۵	۷۹	۴	۱۹	۰/۳۴۸	۵/۵	۰/۰۴۸	۶/۶	
۱۴۰	۰/۱۰۶	۹۹	۵	۱۴	۰/۴۰۲	۷/۹	۰/۰۵۸	۱۰/۰	
۲۰۰	۰/۰۷۵	۶۸	۴	۱۰	۰/۴۵۳	۶/۲	۰/۰۶۰	۷/۲	
۲۷۰	۰/۰۵۳	۴۰	۲	۸	۰/۵۳۴	۴/۳	۰/۰۶۶	۴/۷	
۴۰۰	۰/۰۳۸	۵۰	۳	۵	۰/۵۶۷	۵/۶	۰/۰۶۶	۵/۸	
۴۰۰	۰/۰۳۸	۱۰۰	۵	۰	۰/۶۲۴	۱۲/۴	۰/۰۷۴	۱۳/۰	
مجموع		۱۹۱۰	۱۰۰	---	---	۱۰۰	---	۱۰۰	



شکل ۳-۳: نمودار درصد وزنی تجمعی باقیمانده و عبورکرده از سرندي ۱۴۰ مش.

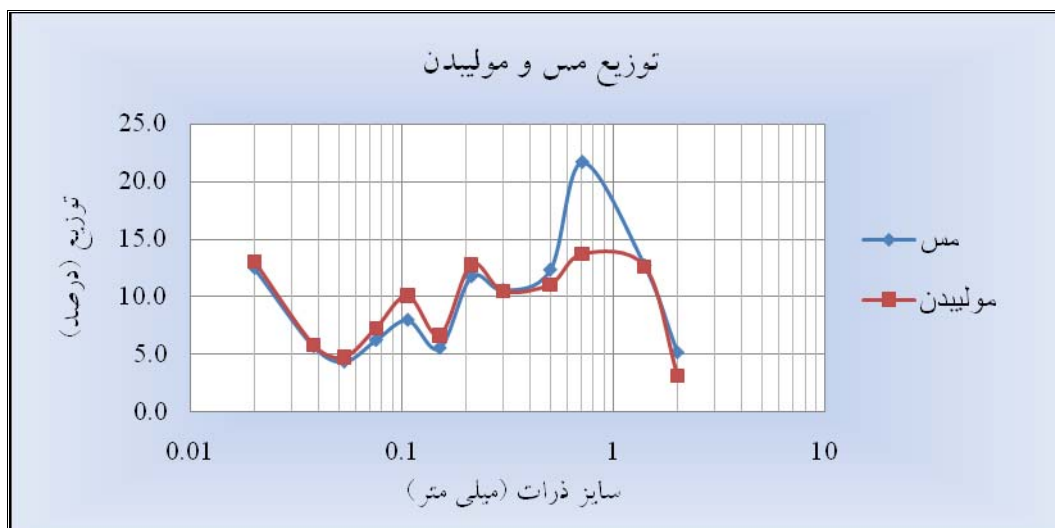


شکل ۳-۴: نمودار عیار مس نسبت به ابعاد پس از خردایش.



شکل ۳-۵: نمودار عیار مولیبدن نسبت به ابعاد پس از خردایش.

همانطور که در شکل ۳-۴ و ۳-۵ مشاهده می‌شود هرچه دانه‌بندی ریزتر می‌شود بر عیار مس و مولیبدن افزوده می‌گردد. این وضعیت زمانی بوجود می‌آید که کانی‌های همراه کانی باارزش استحکام بیشتری نسبت به کانی باارزش دارند، که در اینجا سیلیس و سیلیکات‌ها نسبت به مولیبدنیت و کالکوپیریت از استحکام بیشتری برخوردار بودن و مولیبدنیت و کالکوپیریت سریع‌تر از سیلیس و سیلیکات‌ها خرد شده و در بخش‌های ابعادی کوچک‌تر تجمع می‌کنند.



شکل ۳-۶: توزیع مس و مولیبدن را در بخش‌های دانه‌بندی نشان می‌دهد.

همان‌طور که در نمودار شکل ۳-۶ مشاهده می‌شود توزیع مس و مولیبدن بر مبنای سایز از روند یکسانی پیروی می‌کند که این موضوع حاکی از درگیری نسبی دو کانی را می‌باشد.

۳-۲-۳- تجزیه کامل شیمیایی، XRD و ICP

دو نمونه حد از خوراک ۷- مش شده، به روش تقسیم با ریفل تهیه و برای تجزیه کامل شیمیایی به آزمایشگاه توسعه علوم زمین ارسال گردید. نتایج تجزیه در جدول ۳-۲ مشاهده می‌شود. نتایج آزمایش XRD نشان داد که نمونه حاوی کوارتز، باریت، کلسیت و کانی‌های رسی می‌باشد. همچنین نتایج تجزیه ICP بر روی سه حد از خوراک، باطله و کنسانتره مس در سازمان زمین‌شناسی نشان داد که این نمونه‌ها به ترتیب حاوی ۲/۶، ۲ و ۳۳/۸ ppm اورانیوم می‌باشند. البته برای اطمینان از این نتیجه، نیاز به ارسال نمونه‌های بیشتر به چند آزمایشگاه می‌باشد.

جدول ۳-۲: تجزیه شیمیایی دو نمونه معرف

عنصر یا اکسید (%)	حد اول	حد دوم
Au(ppm)	---	---
Ag(ppm)	۰/۴۵	۰/۵۱
Cu(ppm)	۲۵۷۷	۲۷۲۵
Mo(ppm)	۴۰۵	۳۱۵
Pb(ppm)	۱۰۵	۸۰/۲
Zn(ppm)	۶۲	۵۰/۲
SiO _۲	۶۹/۷	۷۰/۲
Al _۲ O _۳	۱۴/۹	۱۵/۲
CaO	۱/۵۸	۱/۶۲
Fe _۲ O _۳	۱/۲۸	۱/۳۶
K _۲ O	۵/۵۴	۴/۹۴
MgO	۰/۳۹	۰/۴۰
MnO	۰/۰۲	۰/۰۲
Na _۲ O	۴/۱۸	۴/۳۱
P _۲ O _۵	۰/۰۹	۰/۰۹
TiO _۲	۰/۲۲	۰/۲۲
SO _۳	۰/۱۹	۰/۱۵
L.O.I	۰/۷۳	۰/۷۶

همچنین از نمونه‌ای که جهت تجزیه سرنندی ارسال شده بود عیار میانگین گرفته شد و با توجه به این سه عیار، عیار میانگین مس و مولیبدن به ترتیب $۰/۲۶$ و $۰/۰۳$ درصد تعیین گردید.

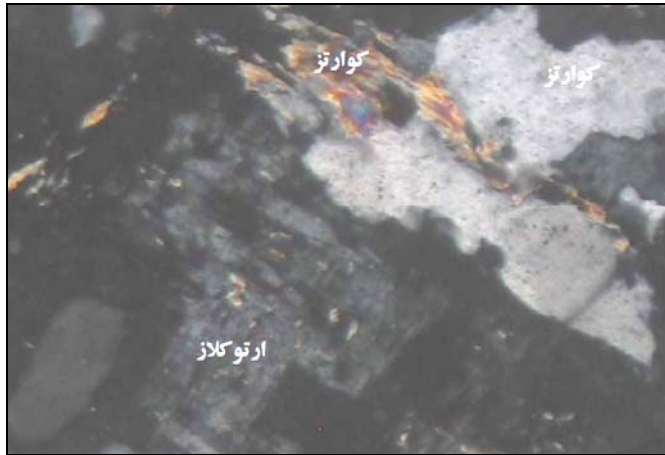
۳-۲-۴- کانی‌شناسی

به منظور بررسی کانی‌شناسی و آماری میکروسکوپی ۲۵ تیغه مقاطع نازک و صیقلی از نمونه دستی کانسنگ، فراکسیون‌های دانه‌بندی و یک نمونه محصول فرآوری شده، تهیه شد و با یک دستگاه میکروسکوپ دو منظوره MEIGI مورد مطالعه قرار گرفت.

۳-۲-۴-۱- مطالعه تیغه‌های تهیه شده از نمونه‌های دستی کانسنگ مس-مولیبدن کال کانی

میزبان کانی سازی مس- مولیبدن، یک سنگ درونی کوارتز فلدسپاتی است که از کانی‌های ارتوکلاز، ارتوکلازپرتیتی، کوارتز و به مقدار کم پلاژیوکلازهای با ترکیب آلبیت تشکیل شده است (شکل ۳-۷). کانی‌های آمفیبول، بیوتیت، مسکویت (و سریسیت) از کانی‌های فرعی سطح مقاطع

محسوب می‌شود. به مقدار ناچیز کانی‌های آپاتیت، زیرکن و اسفن از فازهای دیگری است که در سطح مقاطع دیده می‌شود.



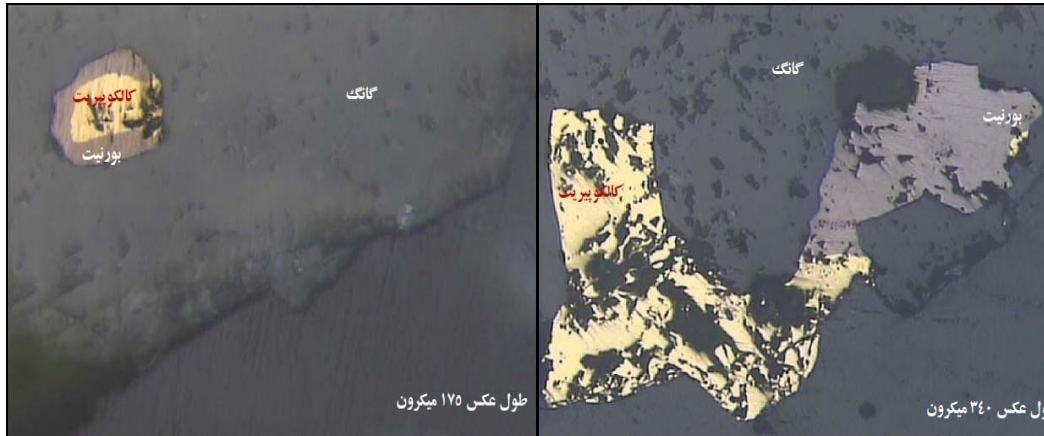
شکل ۳-۷: نمایی از بلورهای ارتوکلاز شکل‌دار، سربیسیت، و کوارتز در سطح یکی از مقاطع نازک تهیه شده از کانسنگ کال کافی. طول عکس ۹۰۰ میکرون است.

مهمترین فاز مس اولیه کالکوپیریت می‌باشد و شامل دانه‌هایی بی‌شکل در ابعاد کمتر از چند میکرون تا چند میلیمتر است که در سطح مقاطع و نیز نمونه دستی سنگ میزبان کوارتز-فلدسپاتی به مقدار کم قابل مشاهده است. در سطح بعضی مقاطع، این کانی از حاشیه به کانی‌های ثانویه مس (کالکوسیت، کوولیت و دیجنیت) تبدیل شده است. شدت این پدیده طوری است که گاهی فقط بخش کوچکی از این کانی محفوظ مانده و بافت باقیمانده را تشکیل می‌دهد (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸: نماهایی از آلتراسیون شدید کالکوپیریت به کانی‌های ثانویه مس (کوولیت-دیجنیت، کالکوسیت) و اکسیدهای آهن در فراکسیون دانه‌بندی ۱۴۰-۲۰۰ مش. طول عکس‌ها ۱۷۵ میکرون

همچنین محلول‌های حاوی مس و آهن حاصل از هوازدگی و آب شست کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت و پیریت، به نهشت مجدد کانی‌های ثانویه ای نظیر مالاکیت و اکسیدهای آهن (گوتیت) انجامیده است که بصورت پرکننده فضاهای خالی و رگه و رگچه، سنگ کوارتز-فلدسپاتی را قطع کرده است این‌ها فراوانترین کانی‌های کدر سطح مقاطع مورد مطالعه می باشد. بورنیت اغلب همراه با کالکوپیریت است (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹: نمایی از بخشی از یک دانه در سطح مقاطع تهیه شده از فراکسیون‌های دانه‌بندی ۱۸-۲۵ مش (عکس سمت چپ) و ۲۵-۳۵ مش (عکس سمت راست) کانسنگ کال کافی که کانی‌های بورنیت و کالکوپیریت درگیر با باطله است.

فاز اولیه مولیبدن کانی مولیبدنیت است که به مقدار اندک در سطح بعضی از مقاطع دیده شد. این کانی اغلب شامل بلورهای تیغه‌ای نسبتاً کشیده (lath-shaped molybdenit) در ابعاد از حدود ۱۰۰ میکرون تا بیش از ۴۰۰ میکرون است که با آنیزوتروپی بسیار مشخص بصورت بافت پوسته‌ای و پرکننده درز و شکستگی‌های سنگ میزبان به صورت تجمعی از بلورها و یا منفرد دیده می شود. در سطح بعضی از مقاطع رگه رگچه‌هایی دیده می شود اغلب همراهی این کانی با کالکوپیریت را می‌توان مشاهده نمود که مولیبدنیت به صورت بلورهای تیغه‌ای کشیده در متن کالکوپیریت و یا در حاشیه و درگیر و همراه با آن در طول رگچه دیده می‌شود.

یکی از کانی‌های کمیاب و در عین حال شاخص مقاطع مورد مطالعه کانی مگنتیت است که به صورت بلورهای اولیه نیمه شکل دار در متن این سنگ آذرین در ابعاد کمتر از ۱۰ میکرون تا ۲۷۰

میکرون دیده می‌شود. در بعضی از مقاطع این کانی به مقدار کم به هماتیت (مارتیت) تبدیل شده است.

۳-۲-۴-۲- مطالعه تیغه‌های تهیه شده از فراکسیون‌های دانه‌بندی

تعداد ۱۰ تیغه نازک از فراکسیون‌های دانه‌بندی بین ۱ میلی‌متر تا ۷۵ میکرون تهیه و جهت بررسی درجه آزادی مورد مطالعه قرار گرفت.

۳-۲-۴-۲-۱- فراکسیون ۱۸ تا ۳۵ مش (۰/۵ تا ۱ میلی‌متر)

در این فراکسیون‌ها کانی هدف بخش کوچکی از یک دانه را تشکیل می‌دهد. دانه‌های کانه در آن‌ها اغلب درگیر با باطله است و درجه آزادی آن‌ها کمتر از ۲۰ درصد ارزیابی شده است.

۳-۲-۴-۲-۲- فراکسیون ۵۰ تا ۳۵ مش (۰/۳ تا ۰/۵ میلی‌متر)

در این فراکسیون‌ها نیز دانه‌ها اغلب درگیر است و کالکوپیریت بخش کوچکی از یک دانه را تشکیل می‌دهد. دانه‌های کانه در آن‌ها اغلب درگیر با باطله است و درجه آزادی آن‌ها کمتر از ۳۰ درصد ارزیابی شده است.

۳-۲-۴-۲-۳- فراکسیون ۷۰ تا ۵۰ مش (۰/۲۱۲ تا ۰/۳ میلی‌متر)

بخش عمده دانه‌های درشت در این فراکسیون آزاد است. دانه‌های ریز درگیری بیشتری داشته و اغلب به باطله کوارتز-فلدسپاتی متصل و یا در متن مجموعه‌ای از این کانی‌ها قرار دارد. درجه آزادی دانه‌های کانه در این فراکسیون حدود ۳۵ درصد است. چنانچه فقط دانه‌های درشت (بیش از ۱۰۰ تا ۱۵۰ میکرون) را مد نظر قرار دهیم درجه آزادی این فراکسیون به حدود ۵۰ درصد می‌رسد. جند دانه مولیدنیت درگیر با کالکوپیریت در این فراکسیون مشاهده شد.

۳-۲-۴-۲-۴- فراکسیون ۱۰۰ تا ۷۰ مش (۰/۱۵ تا ۰/۲۱۲ میلی‌متر)

حدود ۷۰ درصد دانه‌های کالکوپیریت در این فراکسیون دارای عیاری بیش از ۹۰ درصد است و بنابراین آزاد می‌باشد. همانطور که مطالعه فراکسیون‌های درشت‌تر نیز نشان می‌دهد، دانه‌های درشت

آزاد در این فراکسیون نسبتاً زیاد است. به عبارت دیگر با وجود آن که از ۳۹ دانه واجد کالکوپیریت فقط ۲۷ دانه آزاد کالکوپیریت است و بقیه درگیر با باطله می باشد ولی اغلب دانه‌های درشت در این فراکسیون آزاد می باشد. به عبارت دیگر کالکوپیریت در دانه‌های درگیر اغلب ریز و در محدوده ابعادی ۵۰ تا ۹۰ میکرون قرار دارد، به طوری با خردایش بیشتر حتی در فراکسیون‌های بسیار ریز نیز دانه‌های در ابعاد ۵۰ میکرون نیز همچنان با باطله کوارتز-فلدسپاتی درگیر خواهند ماند. لذا اگر دانه‌های ریز را در محاسبات درجه آزادی به طور فرضی مد نظر قرار ندهیم در این صورت درجه آزادی این فراکسیون حدود ۸۰ درصد برآورد می شود.

مولیدنیت نیز که بندرت در سطح مقطع تهیه شده از این فراکسیون دیده می شود، بدون درگیری با باطله و اغلب بصورت دانه‌های آزاد است.

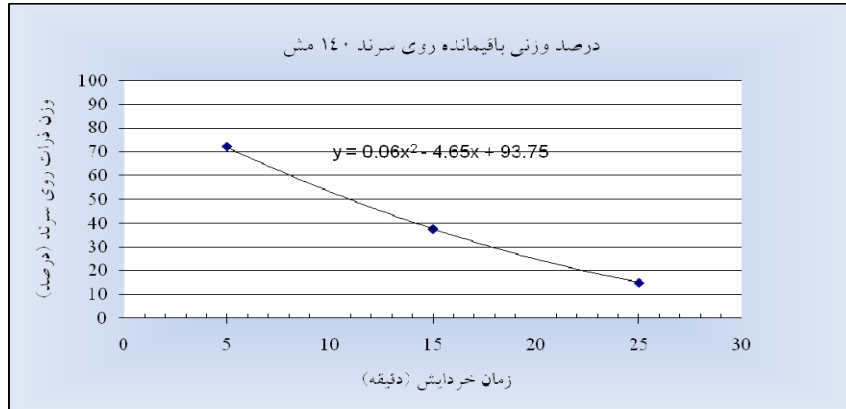
۳-۲-۴-۵- فراکسیون ۲۰۰ تا ۱۰۰ مش (۰/۰۷۵ تا ۰/۱۵ میلی متر)

درجه آزادی کالکوپیریت برای فراکسیون ۱۴۰ تا ۱۰۰ مش (۰/۱۰۶ تا ۰/۱۵ میلی متر) بیش از ۹۰ درصد است. با افزایش خردایش درجه آزادی این کانی تغییر عمده‌ای در فراکسیون ۲۰۰ تا ۱۴۰ مش (۰/۰۷۵ تا ۰/۱۰۶ میلی متر) ایجاد نمی شود. به عبارت دیگر بخش عمده کانی‌های فلزی در این فراکسیون‌ها آزاد و درجه آزادی در محدوده ۹۰ تا ۹۴ درصد قرار دارد. از ۵۳ دانه مورد بررسی در فراکسیون ۲۰۰ تا ۱۴۰ مش (۰/۰۷۵ تا ۰/۱۰۶ میلی متر) فقط ۲ دانه آزاد مولیدن مشاهده شد.

در نهایت ابعاد سرنندی که حداقل ۸۰ درصد نمونه از آن عبور کرده و کانی‌های مس و مولیدن به درجه آزادی لازم (بیش از ۹۰ درصد آزاد) رسیده، ۱۴۰ مش (۱۰۶ میکرون) تعیین گردید.

۳-۲-۵- تعیین زمان خردایش

برای آزادسازی کانی‌های بارزش، نمونه باید تا ۱۴۰ مش (۱۰۶ میکرون) خرد گردد. که برای رسیدن به زمان خردایش در آسیا، سه نمونه یک کیلوگرمی در سه زمان مختلف مورد خردایش قرار گرفت و سپس هر محصول از سرنند ۱۴۰ مش عبور داده شد. نمودار شکل ۳-۱۰ بخش باقیمانده در روی سرنند را در هر خردایش نشان می دهد.



شکل ۳-۱۰: درصد وزنی باقیمانده بر روی سرنند کنترل (۱۴۰ مش) در زمان‌های مختلف خردایش

همانطور که در نمودار شکل ۳-۹ مشاهده می‌شود در زمان ۲۲ دقیقه ۸۰ درصد محصول خردشده از سرنند ۱۴۰ مش عبور می‌کند.

۳-۲-۶- آزمایش‌های فلوتاسیون

آزمایش‌های فلوتاسیون در دو مرحله، ابتدا فلوتاسیون تجمعی برای جدایش کانی‌های سولفور مس و مولیبدن از باطله و سپس فلوتاسیون انتخابی برای جدایش کانی‌های مولیبدن از کانی‌های مس انجام گرفت.

۳-۲-۶-۱- آزمایش‌های فلوتاسیون تجمعی

آزمایش‌های فلوتاسیون تجمعی در سه مرحله رافر و کلینر (شستشو) و اسکاونجر برای جدایش کانی‌های سولفور مس و مولیبدن از باطله صورت گرفت آزمایش‌های فلوتاسیون تجمعی در مقیاس‌های ۱ و ۵ کیلوگرمی در آزمایشگاه و ۱۷ و ۱۸/۵ کیلوگرمی در پایلوت اجرا گردید. در مرحله رافر برای افزایش بازیابی، pH، نوع و مقدار کلکتور و کف‌ساز مورد بررسی قرار گرفت

۳-۲-۶-۱-۱- بهینه‌سازی pH فلوتاسیون رافر

آزمایش‌های فلوتاسیون تجمعی رافر روی نمونه‌های یک کیلوگرمی، در سلول ۲ لیتری به منظور جداسازی کانی‌های سولفور مس و مولیبدن از کانی‌های باطله صورت گرفت. در این آزمایش‌ها گزینتات و گازوئیل به‌عنوان کلکتور، آهک به‌عنوان تنظیم کننده pH و سیلیکات سدیم به‌عنوان بازدارنده سیلیکات‌ها مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳-۱۱).

برای یافتن شرایط مناسب جهت جدایش مولیبدنیت و کالکوپیریت ۱۰ آزمایش اولیه طراحی گردید که نتایج در جدول ۳-۴، ۳-۶ و ۳-۸ آورده شده است. این آزمایش‌ها به صورت رندم انجام گردید و بعضی از آنها تکرار گردید. در این آزمایش‌ها از ۰/۲ کیلوگرم بر تن گازوئیل به عنوان کمک کلکتور استفاده شد. همچنین به ازای هر کیلوگرم خوراک یک قطره کف‌ساز اضافه گردید.



شکل ۳-۱۱: فلوتاسیون مرحله رافر نمونه یک کیلوگرمی

جدول ۳-۳: آزمایش‌های فلوتاسیون رافر روی ۴ نمونه یک کیلوگرمی (آزمایش اول با کلکتور PEX و سه آزمایش

بعدی با کلکتور PAX در سه pH بازی

شماره آزمایش	پی‌اچ	مواد مصرفی				
		بازداشت کننده (مصرف گرم)	کمک ککتور + کلکتور	کف ساز		
		مصرف (گرم)	نوع	مصرف PAX (کیلوگرم بر تن)	نوع	محصول
۱	۱۰/۵	---	گازوئیل + پتاسیم اتیل گزنتات	۰/۲۵	روغن کاج	---
۲	۹/۵	---	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۰/۲۵	روغن کاج	باطله کنسانتره
۳	۱۰/۵	---	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۰/۲۵	روغن کاج	باطله کنسانتره
۴	۱۱/۵	---	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۰/۲۵	روغن کاج	باطله کنسانتره

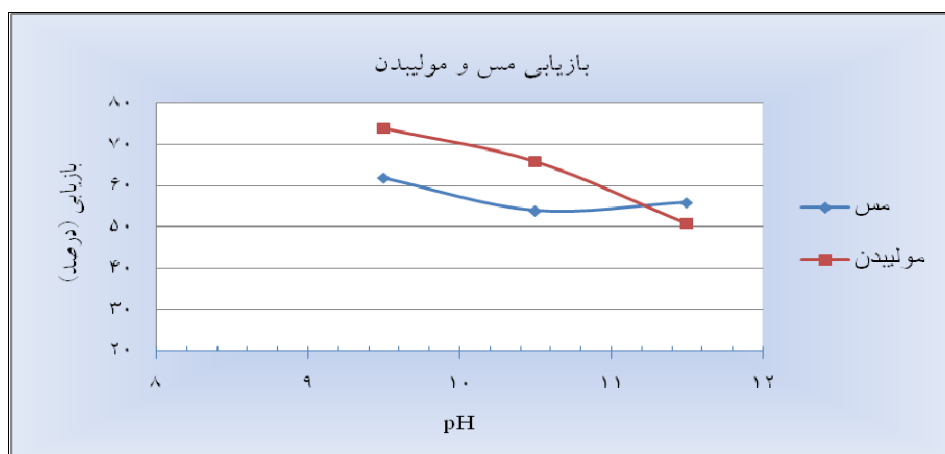
آزمایش یک دو بار تکرار شد، نشان داد پتاسیم‌اتیل‌گزنتات کلکتور ضعیفی برای شناورسازی کانی‌های سولفور موجود در نمونه است. بنابراین کلکتور پتاسیم‌امیل‌گزنتات که شاخه هیدروکربنی

بزرگ‌تر، و توانایی بیشتر برای فلوتته‌کردن دارد مورد آزمایش قرار گرفت و نشان داد که قادر است کانی‌های سولفورده این کانه را شناور سازد.

آزمایش ۲، ۳ و ۴ به ترتیب در pH ۹/۵، ۱۰/۵ و ۱۱/۵ انجام گرفت. بازیابی مس و مولیبدن در این سه pH در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است.

جدول ۳-۴: عیار و بازیابی مس و مولیبدن سه آزمایش فلوتاسیون رافر در سه pH قلیایی

کنسانتره آزمایش	عیار مس (%)	بازیابی مس (%)	عیار مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)
۲	۱/۵۴	۶۲	۰/۱۹	۷۴
۳	۱/۴۴	۵۴	۰/۱۷	۶۶
۴	۱/۴۳	۵۶	۰/۱۴	۵۱



شکل ۳-۱۲: نمایش بازیابی مس و مولیبدن در سه pH قلیایی

نتایج:

- ۱- با افزایش pH، از ۹/۵ به ۱۱/۵ عیار مولیبدن از ۰/۱۹ درصد به ۰/۱۴ درصد کاهش یافت.
- ۲- با افزایش pH، از ۹/۵ به ۱۱/۵ بازیابی مولیبدن از ۷۴ درصد به ۵۱ درصد کاهش یافت.
- ۳- با افزایش pH، از ۹/۵ به ۱۱/۵ عیار مس از ۱/۵۴ درصد به ۱/۴۳ درصد کاهش یافت.
- ۴- با افزایش pH، از ۹/۵ به ۱۱/۵ بازیابی مس از ۶۲ درصد به ۵۶ درصد کاهش یافت.

۳-۲-۶-۱-۲- تعیین عملکرد افزایش کلکتور و سیلیکات سدیم

به‌علت پایین بودن عیار و بازیابی در آزمایش‌های قبل مقدار کلکتور از ۰/۲۵ به ۰/۵ کیلوگرم بر تن افزایش داده شد. در آزمایش ۶ یک کیلوگرم بر تن سیلیکات سدیم اضافه شد و در آزمایش ۷ این مقدار به ۲ کیلوگرم بر تن افزایش داده شد. آزمایش‌های ۵، ۶ و ۷ به علت مشخص نبودن pH مناسب در pH= ۱۰/۵ انجام گرفت. بنابراین در این آزمایش‌ها بازیابی پایین است.

جدول ۳-۵: آزمایش‌های فلوتاسیون رافر روی نمونه‌های یک کیلوگرمی با تغییر در مقدار کلکتور و سیلیکات

سدیم (آزمایش ۵، ۶ و ۷)

شماره آزمایش	پی‌اچ	مواد مصرفی			
		بازداشت کننده مصرف (گرم)	کمک کلکتور + کلکتور		
			نوع	مصرف PAX (کیلوگرم بر تن)	کف ساز نوع
۵	۱۰/۵	---	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۰/۵	روغن کاج
۶	۱۰/۵	۱	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۰/۵	روغن کاج
۷	۱۰/۵	۲	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۰/۵	روغن کاج

در آزمایش ۶ سیلیکات سدیم به‌عنوان بازدارنده کانی‌های سیلیکاته و کاهش اثرات منفی نرمه بر فرآیند، به مقدار ۱ کیلوگرم بر تن اضافه گردید و در آزمایش ۷ مقدار آن به ۲ کیلوگرم بر تن افزایش یافت.

جدول ۳-۶: عیار و بازیابی مس و مولیبدن آزمایش ۵، ۶ و ۷

کنسانتره آزمایش	عیار مس (%)	بازیابی مس (%)	عیار مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)
۵	۲/۵۷	۵۲	۰/۳۱	۶۱
۶	۲/۴۶	۶۱	۰/۲۴	۷۶
۷	۳/۹۹	۶۰	۰/۴۸	۷۰

نتایج:

۱- افزایش مقدار کلکتور تا نیم کیلوگرم بر تن افزایش عیار مس از ۱/۵۴ به ۲/۵۷ درصد و افزایش عیار مولیبدن از ۰/۱۹ به ۰/۳۱ درصد را به دنبال دارد.

۲- استفاده از سیلیکات سدیم به عنوان بازدارنده کانی‌های سیلیکاته و کاهنده اثرات منفی نرمة نتایج مثبتی را در افزایش بازیابی مس از ۵۲ به ۶۱ درصد و مولیبدن از ۶۱ به ۷۶ درصد دارد.

۳- افزایش مقدار سیلیکات سدیم تا ۲ کیلوگرم بر تن باعث افزایش عیار مس از ۲/۴۶ به ۳/۹۹ و مولیبدن از ۰/۲۴ به ۰/۴۸ درصد گردید.

۳-۱-۶-۲-۳- مرحله‌ای اضافه کردن کلکتور و دو مرحله شستشو بر روی آزمایش ۵ کیلوگرمی

با آماده شدن و بررسی نتایج آزمایش‌های ۲ تا ۴، $pH = 9/5$ به عنوان pH بهینه انتخاب گردید.

جدول ۳-۷: آزمایش‌های فلوتاسیون رافر روی نمونه‌های یک کیلوگرمی و ۵ کیلوگرمی (آزمایش ۸، ۹ و ۱۰)

مواد مصرفی						شماره آزمایش
محصول	کف ساز نوع	کمک ککتور + کلکتور		بازداشت کننده مصرف (گرم)	پی-اچ	
		مصرف PAX (کیلوگرم بر تن)	نوع			
باطله کنسانتره	ام. آی. بی. سی	۰/۵	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۲	۹/۵	۸
باطله کنسانتره	روغن کاج	۰/۵	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۲	۹/۵	۹
باطله میانی اول میانی دوم کنسانتره	روغن کاج	۰/۵	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۲	۹/۵	۱۰

در آزمایش ۸ از کف‌ساز MIBC استفاده گردید. در آزمایش ۹، کلکتور بصورت مرحله‌ای (دو مرحله) اضافه شده است. در آزمایش ۱۰، بار ورودی (خوراک) ۵ کیلوگرم بوده و دو مرحله کلینر به فرآیند اضافه شده است در مرحله رافر ۲ کیلوگرم بر تن سیلیکات سدیم و در کلینر اول ۱ کیلوگرم بر تن و در کلینر دوم ۰/۵ کیلوگرم بر تن سیلیکات سدیم اضافه گردید.

جدول ۳-۸: عیار و بازیابی مس و مولیبدن (آزمایش ۸، ۹ و ۱۰)

کنسانتره آزمایش	عیار مس (%)	بازیابی مس (%)	عیار مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)
۸	۲/۹۴	۶۲	۰/۴۱	۷۱
۹	۳/۶۷	۵۸	۰/۴۸	۷۰
۱۰	۱۹/۶۶	۴۵	۳/۱۴	۵۸

نتایج:

- ۱- استفاده از کف‌ساز MIBC باعث کاهش عیار مس از ۳/۹۹ به ۲/۹۴ درصد گردید.
- ۲- مرحله‌ای اضافه کردن کلکتور تاثیر محسوسی در عیار و بازیابی ندارد.
- ۳- با شستشوی کنسانتره می‌توان به کنسانتره مس با عیار بالا (۱۹/۶۶ درصد) حاوی ۳/۱۴ درصد مولیبدن دست یافت.

۳-۲-۶-۱-۴- انتخاب کف‌ساز مناسب

آزمایش‌های ۸ و ۹ نشان داد که روغن کاج در مقایسه با MIBC کف پایدارتری تولید می‌کند. به‌منظور تعیین کف‌ساز مناسب ۳ آزمایش انجام گرفت. در این آزمایش‌ها از ۲ کیلوگرم بر تن سیلیکات سدیم به عنوان بازداشت‌کننده، ۰/۲ کیلوگرم بر تن گازوئیل و ۰/۵ کیلوگرم بر تن کلکتور (PAX) استفاده گردید. کف‌ساز مورد استفاده در آزمایش یک Aerofloat ۶۵، آزمایش دو روغن کاج و آزمایش سه ترکیب ۱ به ۱ روغن کاج و Aerofloat ۶۵ بوده است (شکل ۳-۱۳).

جدول ۳-۹: شرایط آزمایش‌های ۱۵ تا ۱۷ برای تعیین چگونگی تاثیر کف‌ساز.

شماره آزمایش	پی‌اچ	بازداشت‌کننده مصرف (گرم)	مواد مصرفی	
			کمک کلکتور + کلکتور	کف‌ساز
			نوع	مصرف PAX (کیلوگرم بر تن)
۱۱	۹/۵	۲	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۰/۵
۱۲	۹/۵	۲	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۰/۵
۱۳	۹/۵	۲	گازوئیل + پتاسیم امیل گزنتات	۰/۵

جدول ۳-۱۰: نتایج آزمایش‌های تعیین چگونگی تاثیر کف‌ساز بر عیار و بازیابی مس و مولیبدن.

کنسانتره آزمایش	عیار مس (%)	بازیابی مس (%)	عیار مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)
۱۱	۱/۹۴	۶۷	۰/۴۵	۷۴
۱۲	۳/۴۶	۵۴	۰/۹۰	۶۹
۱۳	۵/۶۳	۶۰	۱/۳۱	۶۹

نتایج:

- ۱- استفاده از Aerofloat ۶۵ به‌تنهایی عیار پایین‌تر ($Cu= ۱/۹۴\%$ و $Mo ۰/۴۵\%$) ولی بازیابی بالاتری ($Mo ۷۴\%$ و $Cu= ۶۷\%$) از مس و مولیبدن را ارائه می‌دهد.
- ۲- استفاده از روغن کاج به‌تنهایی عیار بالاتر ($Cu= ۳/۴۶\%$ و $Mo ۰/۹۰\%$) ولی بازیابی پایین‌تری ($Mo ۶۹\%$ و $Cu= ۵۴\%$) از مس و مولیبدن را ارائه می‌دهد.
- ۳- استفاده از روغن کاج و Aerofloat ۶۵ به صورت ترکیبی (۱ به ۱) کف پایدار با کیفیت مطلوب، عیار بسیار خوب ($Cu= ۵/۶۳\%$ و $Mo ۱/۳۱\%$) و بازیابی قابل قبولی ($Cu= ۶۰\%$ و $Mo ۶۹\%$) از مس و مولیبدن را ارائه می‌دهد.



شکل ۳-۱۳: نمایش عملکرد کف‌سازها بر عیار مس و مولیبدن

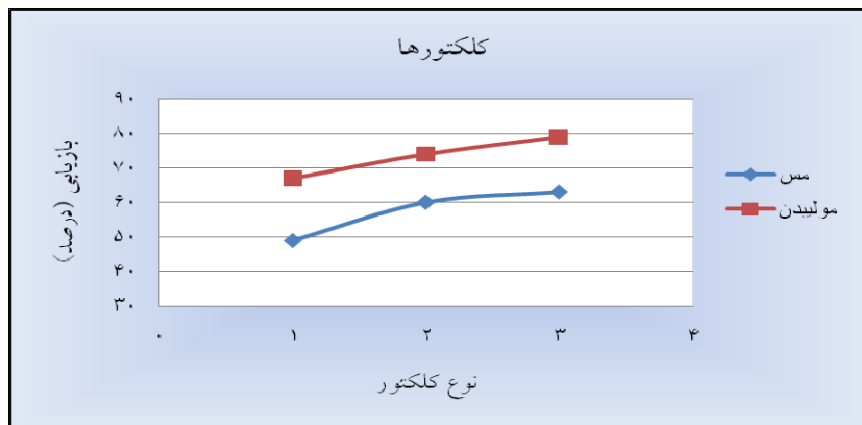
۳-۲-۶-۱-۵- بررسی میزان تأثیر سه کلکتور مختلف روی بازیابی مس و مولیبدن

برای این‌که بتوانیم تأثیر کلکتورهای دیگر را در افزایش بازیابی مس و مولیبدن به‌دست آوریم سه آزمایش را در شرایط مشابه با تغییر کلکتور مورد بررسی قرار دادیم. کلکتورهای مورد مطالعه از خانواده گزنتات‌ها شامل پتاسیم آمیل‌گزنتات (PAX)، سدیم ایزوپروپیل‌گزنتات (SIPX) و سدیم ایزوبوتیل‌گزنتات (SIBX) بوده‌اند. نتایج در جدول ۳-۱۱ و شکل ۳-۱۴ ارائه شده است. در

آزمایش‌ها از ۲ کیلوگرم بر تن سیلیکات‌سدیم و ۰/۱ کیلوگرم بر تن گزوثیل و ۰/۵ کیلوگرم بر تن کلکتور استفاده گردید.

جدول ۳-۱۱: بررسی میزان تأثیر سه کلکتور مختلف روی بازیابی مس و مولیبدن

آزمایش	نمونه	وزن (گرم)	مس (%)	بازیابی مس (%)	مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)	آهن (%)
PAX (۱)	باطله	۸۲۶	۰/۱۵	۵۱	۰/۰۱	۳۳	۰/۹۸
	کنسانتره	۱۱۰	۱/۰۵	۴۹	۰/۱۳	۶۷	۲/۱۴
SIPX (۲)	باطله	۸۸۳	۰/۰۹	۴۰	۰/۰۱	۲۶	۰/۹۳
	کنسانتره	۹۹	۱/۲۶	۶۰	۰/۱۶	۷۴	۲/۳۶
SIBX (۳)	باطله	۸۳۹	۰/۱۰	۳۷	۰/۰۱	۲۱	۰/۹۸
	کنسانتره	۱۳۲	۱/۰۵	۶۳	۰/۱۳	۷۹	۲/۰۹



شکل ۳-۱۴: نمایش عملکرد سه کلکتور مختلف بر بازیابی مس و مولیبدن

نتایج:

- ۱- پتاسیم آمیل گزنتات باعث کسب بازیابی پایینی از مس (۴۹٪) گردید.
- ۲- سدیم ایزوپروپیل گزنتات بازیابی بالاتری از مس (۶۳٪) و مولیبدن (۷۹٪) ارائه داده است.

بدلیل کافی نبودن کلکتورهای سدیم ایزوپروپیل گزنتات و سدیم ایزوبوتیل گزنتات برای انجام آزمایش‌های بعدی از کلکتور پتاسیم آمیل گزنتات استفاده گردید.

۳-۲-۶-۱-۶- آزمایش بدون استفاده از کمک کلکتور گازوئیل

برای بررسی چگونگی تاثیر گازوئیل بر عیار و بازیابی مس و مولیبدن در فلوتاسیون تجمعی، فلوتاسیون تجمعی رافر بدون استفاده از گازوئیل انجام گرفت. در این آزمایش از ۲ کیلوگرم بر تن سیلیکات سدیم و ۰/۵ کیلوگرم بر تن کلکتور استفاده گردید. بازیابی خوبی از مس (۸۹٪) حاصل گردید. و بازیابی مولیبدن (۷۰٪) نیز قابل قبول است.

جدول ۳-۱۲: داده‌های حاصل از آزمایش یک کیلوگرمی بدون استفاده از گازوئیل

محصول	وزن (گرم)	مس (%)	بازیابی مس (%)	مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)
باطله	۸۳۵	۰/۰۲	۹	۰/۰۱	۲۹
میانی	۱۵۱/۸	۰/۳۳	۲۸	۰/۰۳	۱۵
کنسانتره	۱۵/۳	۷/۵۶	۶۳	۱	۵۵

۳-۲-۶-۱-۷- فراهم کردن کنسانتره مس و مولیبدن برای جدایش مس از مولیبدن

عیار مس و مولیبدن در کان‌سنگ بسیار پایین است بنابراین حجم کنسانتره حاصل از فلوتاسیون تجمعی بر روی نمونه ۱ کیلوگرمی، برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون انتخابی و شستشوی محصول کم است. بنابراین آزمایش‌های بعدی فلوتاسیون تجمعی در وزن‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ کیلوگرمی انجام گرفت تا حجم کنسانتره حاصل، برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون انتخابی مس و مولیبدن کافی باشد. همچنین جهت بررسی چگونگی عملکرد گازوئیل بر بازیابی مس و مولیبدن در مرحله رافر فلوتاسیون تجمعی، همه پارامترها با نتایج به دست آمده از آزمایش‌های قبلی، ثابت نگه داشته شد و مقدار گازوئیل در این مرحله از آزمایش‌ها تغییر داده شد.

قابل ذکر است که در هر کیلوگرم از کانه به طور متوسط ۰/۵ گرم کانی مولیبدنیت (MoS_2) و ۷/۵

گرم کانی کالکوپیریت وجود دارد.

بعد از آماده‌سازی خوراک در مرحله رافر فلوتاسیون تجمعی، ۲ کیلوگرم بر تن سیلیکات سدیم در یک مرحله و ۰/۵ کیلوگرم بر تن کلکتور (PAX) در سه نوبت (سه مرحله کف‌گیری) در $pH=9/5$ که نوبت اول و دوم کف ساز روغن کاج و ۶۵ Aerofloat به صورت ترکیبی استفاده گردید.

همچنین در آزمایش‌ها گازوئیل به مقادیر متفاوت (۵۰۰ - ۰ گرم بر تن) به همراه اولین مرحله افزودن کلکتور اضافه گردید (شکل ۳-۱۵، ۳-۱۶ و ۳-۱۷).

بازیابی مس و مولیبدن در کنسانتره حاصل از مرحله رافر فلوتاسیون تجمعی، در ارزیابی تاثیر گازوئیل در بازیابی مس و مولیبدن این مرحله محاسبه شد.

در مرحله کلینر فلوتاسیون تجمعی کنسانتره (محصول رافر) در $pH=9/5$ سه بار شسته شد. ۱ کیلوگرم بر تن سیلیکات سدیم در مرحله اول کلینر (شستشو)، و ۰/۵ کیلوگرم بر تن سیلیکات سدیم در هر یک از مراحل دوم و سوم برای بازداشت کانی‌های سیلیکاته و کاهش اثرات منفی نرمة استفاده گردید.



شکل ۳-۱۵: کف‌گیری مرحله رافر آزمایش ۵ کیلوگرمی



شکل ۳-۱۶: شستشوی (کلینر) مرحله اول آزمایش ۵ کیلوگرمی



شکل ۳-۱۷: شستشوی (کلینر) مرحله سوم آزمایش ۵ کیلوگرمی

۳-۲-۶-۲ - آزمایش‌های فلوتاسیون انتخابی

فلوتاسیون انتخابی جهت جداسازی کانی‌های مولیبدن از کانی‌های مس، با بازداشت کانی‌های مس و شناورسازی کانی‌های مولیبدن انجام گرفت.

۳-۲-۶-۱ - آزمایش اول

در این آزمایش برای جداسازی مس و مولیبدن از سولفور سدیم به منظور بازداشت مس به میزان ۱۰ کیلوگرم بر تن (pH=۱۰/۸) استفاده گردید. همچنین از ۵۰۰ گرم بر تن کلکتور گازوئیل به‌عنوان کلکتور مولیبدنیت و از روغن کاج و ۶۵ Aerofloat به صورت ترکیبی به‌عنوان کف‌ساز استفاده گردید. نتایج در جدول ۳-۱۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۳: داده‌های حاصل از آزمایش ۵ کیلوگرمی اول برای جدایش مس و مولیبدن

نمونه	وزن (گرم)	مس (%)	بازیابی مس (%)	مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)	آهن (%)
باطله	۴۳۶۰	۰/۰۷	۳۳	۰/۰۲	۴۸	۱
میانی اول	۶۰/۳	۰/۷۱	۵	۰/۰۶	۲	۴
میانی دوم	۱۰/۳	۱/۶۴	۲	۰/۲۳	۱	۱۱
میانی سوم	۲/۳	۷/۱۰	۲	۰/۹۵	۱	۲۱
کنسانتره مس	۱۶/۶	۱۶/۷۴	۲۹	۰/۹۳	۹	۲۲
کنسانتره مولیبدن	۱۳/۶	۲۰/۶۵	۳۰	۴/۹۹	۳۹	۲۹

نتایج:

۱- در مرحله حذف باطله (مرحله رافر) بازبایی مس (۶۷٪) ولی نیمی از مولیبدن (۴۸٪) به باطله منتقل شده است.

۲- در مرحله جدایش (شناورسازی مولیبدن) قسمت عمده مولیبدن (۳۹٪ از ۴۸٪) فلوته شده، اما فقط ۵۰ درصد مس بازداشت شده است.

۳-۲-۲-۶-۲-۲- آزمایش دوم

در این آزمایش جهت جداسازی مس و مولیبدن از سولفور سدیم به میزان ۱۰ کیلوگرم بر تن (pH=۱۱) و سیانور به میزان ۱ کیلوگرم بر تن، به منظور بازداشت کانی‌های سولفور مس استفاده گردید. همچنین از ۵۰۰ گرم بر تن گازوئیل جهت فلوته کردن مولیبدنیت و کف ساز روغن کاج و Aerofloat ۶۵ به صورت ترکیبی استفاده گردید. نتایج در جدول ۳-۱۴ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۴: داده‌های حاصل از آزمایش ۵ کیلوگرمی دوم برای جدایش مس و مولیبدن

نمونه	وزن (گرم)	مس (%)	بازبایی مس (%)	مولیبدن (%)	بازبایی مولیبدن (%)
باطله	۴۴۴۳	۰/۱	۳۶	۰/۰۱	۳۰
میانی اول	۴۵۴	۰/۲۶	۱۰	۰/۰۳	۸
میانی دوم	۳۲	۰/۱۳	۰/۵	۰/۰۸	۲
میانی سوم	۷	۷/۷۸	۴/۵	۰/۲۶	۱
کنسانتره مس	۱۲/۵	۱۷/۵۷	۱۹	۰/۵۳	۵
کنسانتره مولیبدن	۱۵/۶	۲۳/۲۴	۳۱	۴/۷۴	۵۳

نتایج:

- بازبایی مولیبدن (۷۰٪) در مرحله رافر بهبود یافته، اما بازبایی مس (۶۴٪) پایین است.
- بیش از ۹۱ درصد از مولیبدن در مرحله جدایش شناور شده اما فقط ۶۲ درصد مس نیز شناور شده و نیاز به شستشو دارد.
- دلیل بازداشت نشدن مس پاک نشدن کلکتور گزنتات از سطح کانیهای سولفور مس می‌باشد.

۳-۲-۶-۲-۳- آزمایش سوم

شرایط انجام این آزمایش و مواد شیمیایی مصرفی مشابه آزمایش قبل بوده فقط در این آزمایش قبل از جدایش مس و مولیبدن، کنسانتره برای حذف کلکتورهای گزنتات باقیمانده بر روی کانی‌های سولفور مس با آب گرم (۵۰ درجه سانتی‌گراد) دو بار شسته شد و سپس آزمایش جهت جدایش مس و مولیبدن ادامه پیدا کرد که نتایج آن را در جدول ۳-۱۵ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۵: داده‌های حاصل از آزمایش ۵ کیلوگرمی سوم برای جدایش مس و مولیبدن

نمونه	وزن (گرم)	مس (%)	بازیابی مس (%)	مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)
باطله	۴۵۳۴	۰/۰۸	۳۲	۰/۰۱	۴۰
میانی اول	۱۷۷/۴	۰/۴۳	۷	۰/۰۴	۶
میانی دوم	۳۷	۱/۶۳	۵	۰/۰۶	۲
میانی سوم	۸/۶	۷/۸۱	۶	۰/۲۱	۱
کنسانتره مس	۲۲	۲۱/۵۶	۶۲	۰/۶۴	۱۷
کنسانتره مولیبدن	۵/۳	۱۷/۶۷	۸	۱۰/۶۳	۴۱

نتایج:

- ۱- بازیابی مرحله رافر مرحله حذف باطله مس (۶۸٪) و مولیبدن (۶۰٪) پایین است.
- ۲- کنسانتره مولیبدن نیاز به شستشوی بیشتری دارد. جهت تامین این خواسته باید حجم خوراک اولیه را افزایش داد تا حجم کنسانتره مرحله اول (خوراک فلوتاسیون جدایشی) افزایش یابد و برای شستشوی کافی باشد.
- ۳- در مرحله جدایش بیش از ۸۸ درصد مس بازداشت که به علت حذف نسبی کلکتور گزنتات در اثر شستشو با آب ۵۰ درجه است.

۳-۲-۶-۲-۴- آزمایش چهارم

خوراک این آزمایش حاصل مجموع کنسانتره‌های حاصل از فلوتاسیون مرحله اول و دوم دو نمونه ۵ کیلوگرمی است. برای جداسازی از سولفور سدیم به میزان ۲۰ کیلوگرم بر تن (pH=۱۲/۵) و سیانور به میزان ۲ کیلوگرم بر تن، به منظور بازداشت کانیهای سولفور مس استفاده گردید. از ۵۰۰ گرم بر تن گازوئیل جهت فلوته کردن مولیبدنیت و کف ساز روغن کاج و ۶۵ Aerofloat به صورت

ترکیبی استفاده گردید. یک مرحله شستشو نیز به فرآیند اضافه گردید. نتایج در جدول ۳-۱۶ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۶: داده‌های حاصل از آزمایش ۵ کیلوگرمی چهارم برای جدایش مس و مولیبدن

آزمایش	نمونه	وزن (گرم)	مس (%)	بازیابی مس (%)	مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)	آهن (%)
اول	باطله	۵۰۶۵	۰/۱۳	۴۹	۰/۰۱	۴۲	۱/۳۱
	میانی اول	۲۷۸/۵	۰/۴۶	۱۰	۰/۰۳	۷	۲/۳۷
	میانی دوم	۲۵/۳	۲/۱۷	۴	۰/۲۳	۵	۴/۸۳
	میانی سوم	۵	۳/۸۳	۱	۰/۲۱	۱	۵/۳۵
دوم	باطله	۵۰۴۵	۰/۱۳	۵۱	۰/۰۱	۴۲	۱/۳۰
	میانی اول	۳۵۶/۷	۰/۳۴	۹	۰/۰۳	۷	۲/۲۹
	میانی دوم	۲۸/۲	۰/۵۳	۱	۰/۰۴	۱	۲/۶۱
	میانی سوم	۹/۸	۲/۰۸	۲	۰/۱۷	۱	۴/۵۱
جدایش	کنسانتره مس	۴۰	۲۳/۱۸	۹۷	۰/۱۳	۵	۲۱/۶۰
	میانی	۱/۲	۱۰/۶۸	۱	۶/۴۱	۷	۹/۸۷
	کنسانتره مولیبدن	۴	۳/۳۵	۱	۲۶/۱۶	۸۹	۳/۹۵

نتایج:

- ۱- در مرحله رافر هر دو آزمایش ۵۰ درصد مس و ۴۰ درصد مولیبدن به باطله منتقل شده است.
- ۲- در مرحله جدایش ۹۷ درصد مس بازداشت و ۸۹ درصد مولیبدن شناور شده است که می‌تواند نتیجه افزایش مقدار سولفور سدیم و سیانور و نتیجتاً پاک‌سازی کلکتور باقیمانده بر روی کانی‌های مس توسط این مواد شیمیایی باشد. افزودن یک مرحله شستشو نیز بر کیفیت محصول افزوده است
- ۳- در مرحله جدایش کنسانتره مس فقط حاوی ۰/۱۳ درصد مولیبدن می‌باشد و میزان مس در کنسانتره مولیبدن نیز به ۳/۳ درصد کاهش یافته است.

۳-۲-۶-۲-۵- آزمایش پنجم

در این آزمایش بار در گردش وجود نداشت و در سلول بزرگ مرحله رافر و شستشوی اول انجام گرفت اما به دلیل بهینه نبودن پارامترهای سلول (عدم وجود پره‌های کنترل کننده پالپ) بازیابی رافر و

شستشوی اول افت زیادی داشت. مرحله جدایش مس و مولیبدن انجام نشد. نتایج فلوتاسیون مرحله اول در جدول ۳-۱۷ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۷: داده‌های حاصل از آزمایش ۵ کیلوگرمی پنجم برای جدایش مس و مولیبدن

نمونه	وزن (گرم)	مس (%)	بازیابی مس (%)	مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)	آهن (%)
باطله	۱۱۲۰۰	۰/۱۴	۴۰	۰/۰۱	۳۵	۱/۱۱
میانی اول	۴۰۰۰	۰/۲۲	۲۲	۰/۰۲	۲۰	۱/۱۱
میانی دوم	۱۳۸۴	۰/۲۶	۹	۰/۰۲	۷	۱/۴۶
میانی سوم	۷۱	۵/۷۹	۱۰	۰/۱۱	۲	۷/۱۲
میانی چهارم	۲۸/۵	۷/۱۱۴	۵	۰/۳۵	۲	۷/۹۸
کنسانتره	۲۹/۵	۱۷/۷۶	۱۳	۴/۶۴	۳۴	۱۷/۳۵

۳-۲-۶-۲-۶- آزمایش ششم

خوراک این آزمایش مجموع کنسانتره‌های مس و مولیبدن حاصل از فلوتاسیون مرحله رافر و سه مرحله کلینر سه نمونه ۵ کیلوگرمی است. برای جداسازی از سولفور سدیم به میزان ۲۵ کیلوگرم بر تن (pH=۱۳/۵) و سیانور به میزان ۲ کیلوگرم بر تن و ۵۰۰ گرم بر تن پرمنگنات پتاسیم به منظور بازداشت کانیهای سولفور مس استفاده گردید. از ۵۰۰ گرم بر تن گازوئیل جهت فلوته کردن مولیبدنیت و کف ساز روغن کاج و ۶۵ Aerofloat به صورت ترکیبی استفاده گردید. یک مرحله شستشو نیز به فرآیند اضافه گردید. نتایج در جدول ۳-۱۸ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۸: داده‌های حاصل از آزمایش ۵ کیلوگرمی ششم برای جدایش مس و مولیبدن

نمونه	وزن (گرم)	مس (%)	بازیابی مس (%)	مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)	آهن (%)
باطله	۱۱۳۵۰	۰/۱۰	۳۱	۰/۰۱	۲۵	۱/۰۵
میانی اول	۲۶۱۰	۰/۲۲	۱۵	۰/۰۱	۸	۱/۳۰
میانی دوم	۵۱۰/۸	۰/۵۷	۸	۰/۰۵	۵	۱/۷۳
میانی سوم	۱۵۰	۰/۹۳	۴	۰/۰۸	۳	۲/۱۸
میانی چهارم	۶۲	۱/۶۳	۳	۰/۱۶	۲	۲/۸۴
کنسانتره مس	۷۵	۱۸/۵۶	۳۷	۰/۲۹	۵	۱۸/۳۹
میانی مس	۲/۸	۱۷/۲۹	۱	۱/۵۴	۱	۱۷/۴۰
کنسانتره مولیبدن	۶/۸	۴/۴۸	۱	۳۳/۴۴	۵۱	۴/۷۰

نتایج:

- ۱- بازیابی مس و مولیبدن در مرحله رافر بهبود یافته است.
- ۲- افزایش مقدار سولفور سدیم همراه با افزودن پرمنگنات پتاسیم باعث شده که جدایش بهتری صورت گیرد.
- ۳- کنسانتره مس حداقل عیار تجاری را کسب کرده است. مقدار مولیبدن نیز در آن به ۰/۲۹ درصد رسیده است.
- ۴- کنسانتره مولیبدن نیز به عیار بالای ۳۰ درصد رسیده است.

۳-۲-۶-۲-۷- آزمایش هفتم

خوراک این آزمایش فلوتاسیون انتخابی، محصول فلوتاسیون تجمعی یک خوراک ۱۸/۵ کیلوگرمی در سلول بزرگ پایلوت همراه با بار در گردش (شکل ۳-۱۸) و به دنبال آن سه مرحله کلینر می‌باشد.

برای جداسازی از سولفور سدیم به میزان ۲۵ کیلوگرم بر تن (pH=۱۳/۵) و سیانور به میزان ۲ کیلوگرم بر تن، به منظور بازداشت کانیهای سولفوره مس استفاده گردید. از ۵۰۰ گرم بر تن گازوئیل جهت فلوته کردن مولیبدنیت و کف ساز روغن کاج و ۶۵ Aerofloat به صورت ترکیبی استفاده گردید. نتایج در جدول ۳-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۸: فلوتاسیون مرحله رافر آزمایش ۲۰ کیلوگرمی همراه با بار در گردش



شکل ۳-۱۹: شستشوی مرحله اول آزمایش ۲۰ کیلو گرمی



شکل ۳-۲۰: جدایش مس و مولیبدن



شکل ۳-۲۱: کنسانتره مولیبدن

جدول ۳-۱۹: داده‌های حاصل از آزمایش ۵ کیلوگرمی هفتم برای جدایش مس و مولیبدن

نمونه	وزن (گرم)	مس (%)	بازیابی مس (%)	مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)	آهن (%)
باطله	۱۵۳۳۰	۰/۱۰	۲۹	۰/۰۱	۲۵	۰/۰۴
میانی اول	۲۷۵۰	۰/۲۵	۱۳	۰/۰۲	۷	۱۳/۲۸
میانی دوم	۱۷۱	۱/۲۸	۴	۰/۱۳	۳	۲/۴۰
میانی سوم	۱۸	۵/۰۲	۲	۰/۵۴	۱	۷/۱۷
کنسانتره مس	۱۰۵	۲۱/۵۸	۴۵	۱/۸۸	۲۶	۲۴/۱۴
میانی مس	۱۵/۵	۲۰/۹۴	۶	۱/۶۰	۳	۲۶/۹۹
کنسانتره مولیبدن	۷/۱	۱/۸۴	۰	۳۷/۶۳	۳۵	۳/۰۷

نتایج:

۱- بازیابی مس و مولیبدن در مرحله رافر بالای ۷۰ درصد رسید. به نظر می‌رسد این کلکتور (پتاسیم آمیل گزنتات) توانایی بهبود بازیابی مس و مولیبدن در این کانسنگ را بیش از این را ندارد.

۲- عیار کنسانتره مس به ۲۱ درصد با بازیابی کلی ۴۵ درصد و بازیابی جدایشی ۱۰۰ درصد رسید

۳- در مرحله جدایش عیار کنسانتره مولیبدن به ۳۷ درصد با بازیابی جدایشی ۵۵ درصد رسید.

۳-۲-۶-۳- تعیین چگونگی عملکرد گازوئیل بر کف

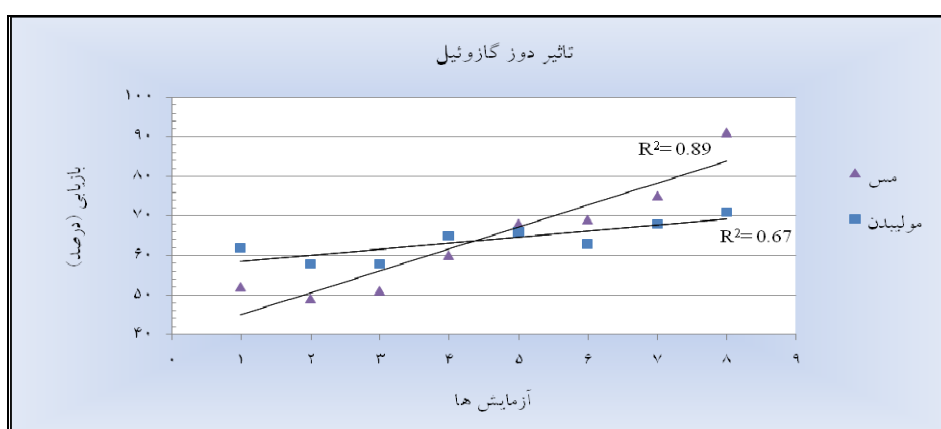
برای بررسی چگونگی عملکرد گازوئیل بر بازیابی مس و مولیبدن در مرحله رافر فلوتاسیون انتخابی، در آزمایش‌های انجام شده همه پارامترها در مرحله رافر ثابت بوده و مقدار گازوئیل تغییر داده شده بود.

تغییرات گازوئیل در ۸ مقدار مختلف بوده و بعضی مقادیر در دو آزمایش لحاظ شده که متوسط بازیابی دو آزمایش استفاده شده است. نتایج در جدول ۳-۲۰ آورده شده است. همچنین داده‌ها بر روی نمودار شکل ۳-۲۲ نشان داده شده‌اند. در آزمایش شماره ۱ و ۲ بالاترین مصرف گازوئیل را داشته‌ایم. و همینطور هر چه بر رقم آزمایش‌ها افزوده می‌شود از میزان مصرف کلکتور کاسته شده

است. بطوریکه در آزمایش شماره ۷ و ۸ از گازوئیل استفاده نشده است. آزمایش شماره ۸، یک کیلوگرمی بوده و آزمایش ۵، ۱۸/۵ کیلوگرمی بوده و باقی آزمایش‌ها ۵ کیلوگرمی بوده است.

جدول ۳-۲۰: داده‌های حاصل از تغییرات مقدار گازوئیل مرحله رافر بر بازیابی مس و مولیبدن

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
مقدار مصرف (kg/t)	۰/۳	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰
بازیابی مس	۵۲	۴۹	۵۱	۶۰	۶۸	۶۹	۷۵	۹۱
بازیابی مولیبدن	۶۲	۵۸	۵۸	۶۵	۶۶	۶۳	۶۸	۷۱



شکل ۳-۲۲: نمایش حاصل از داده‌های جدول ۳-۲۰ (تاثیر مقدار گازوئیل بر بازیابی مس و مولیبدن)

نتایج:

- در آزمایش‌هایی که مقدار بیشتری از گازوئیل به عنوان کلکتور کمکی مولیبدن استفاده شده، بازیابی مولیبدن در سطح بالاتری از بازیابی مس قرار دارد و همینطور که مقدار مصرف گازوئیل کاهش می‌یابد بازیابی این دو به هم نزدیک می‌شود و زمانی فرا می‌رسد که با کاهش مصرف گازوئیل این روند معکوس شده و بازیابی مس بالاتر از بازیابی مولیبدن قرار می‌گیرد.
- آزمایش ۸ که از گازوئیل استفاده نشده است بازیابی مس در بالاترین سطح (۹۱٪) و بالاتر از مولیبدن است. بازیابی مولیبدن نیز در بالاترین سطح (۷۱٪) نسبت به آزمایش‌های قبلی قرار دارد. نتیجتاً استفاده از گازوئیل کارآمد نمی‌باشد.

۳-۲-۶-۴- استفاده از کلکتور سدیم ایزوبوتیل گزنتات برای افزایش بازیابی

جهت بررسی افزایش بازیابی مس و مولیبدن در مرحله رافر فلوتاسیون تجمعی، دو آزمایش ۵ کیلوگرمی با کلکتور سدیم ایزوبوتیل گزنتات (SIBX) انجام گرفت و در آنها از گازوئیل استفاده نگردید.

۳-۲-۶-۴-۱- آزمایش اول

بعد از آماده‌سازی خوراک در مرحله رافر، ۲ کیلوگرم برتن سیلیکات سدیم در یک مرحله و ۰/۳ کیلوگرم برتن کلکتور (SIBX) در سه نوبت (سه مرحله کف‌گیری) در $\text{pH}=9.5$ که در دو نوبت اول کف‌ساز روغن کاج و Aerofloat ۶۵ به صورت ترکیبی استفاده گردید.

در مرحله بعد کنسانتره مرحله اول (محصول فلوته شده) در $\text{pH}=9.5$ سه بار شسته شد. ۱ کیلوگرم برتن سیلیکات سدیم در مرحله اول کلینر (شستشو)، و ۰/۵ کیلوگرم برتن سیلیکات سدیم در هر یک از مراحل دوم و سوم برای بازداشت کانی‌های سیلیکاته و کاهش اثرات منفی نرمة استفاده گردید.

جدول ۳-۲۱: داده‌های حاصل از آزمایش اول ۵ کیلوگرمی با کلکتور سدیم ایزوبوتیل گزنتات

نمونه	وزن (گرم)	مس (%)	بازیابی مس (%)	مولیبدن (%)	بازیابی مولیبدن (%)	آهن (%)
باطله	۴۴۸۰	۰/۱۲	۳۲	۰/۰۱	۱۹	۱/۱
میانی اول	۲۷۶	۰/۳۳	۶	۰/۰۲	۳	۱/۶
میانی دوم	۶۶	۰/۵۵	۲	۰/۰۳	۱	۲
میانی سوم	۲۷	۱/۵۲	۳	۰/۱۱	۲	۲/۷
کنسانتره	۶۴	۱۴/۴۷	۵۷	۲	۷۵	۱۹/۲

نتایج:

۱- بازیابی مرحله رافر مولیبدن (۸۱٪) بهتر از مس (۶۸٪) و کیفیت کف بسیار خوب بود.

۲- بازیابی کلی مولیبدن ۷۵ درصد و بازیابی کلی مس ۵۷ درصد است.

۳-۲-۶-۴-۲- آزمایش دوم

آزمایش دوم نیز دقیقاً تکرار آزمایش اول، با همان مواد شیمیایی، همان مقادیر و همان زمان‌ها بود

اما نتیجه حاصل بهتر بود.

جدول ۳-۲۲: داده‌های حاصل از آزمایش دوم ۵ کیلوگرمی با کلکتور سدیم ایزوبوتیل گزنتات

نمونه	وزن (گرم)	مس (%)	بازیابی مس (%)	مولیدن (%)	بازیابی مولیدن (%)	آهن (%)
باطله	۴۳۰۰	۰/۰۹	۲۱	۰/۰۱	۱۱	۱/۰۵
میانی اول	۴۲۴	۰/۳۱	۷	۰/۰۲	۳	۱/۵
میانی دوم	۷۹	۰/۶۵	۳	۰/۰۵	۲	۲
میانی سوم	۲۵	۱/۵	۲	۰/۱۵	۲	۱۶/۸
کنسانتره	۷۵	۱۶	۶۷	۲/۵	۸۲	۲۱/۸

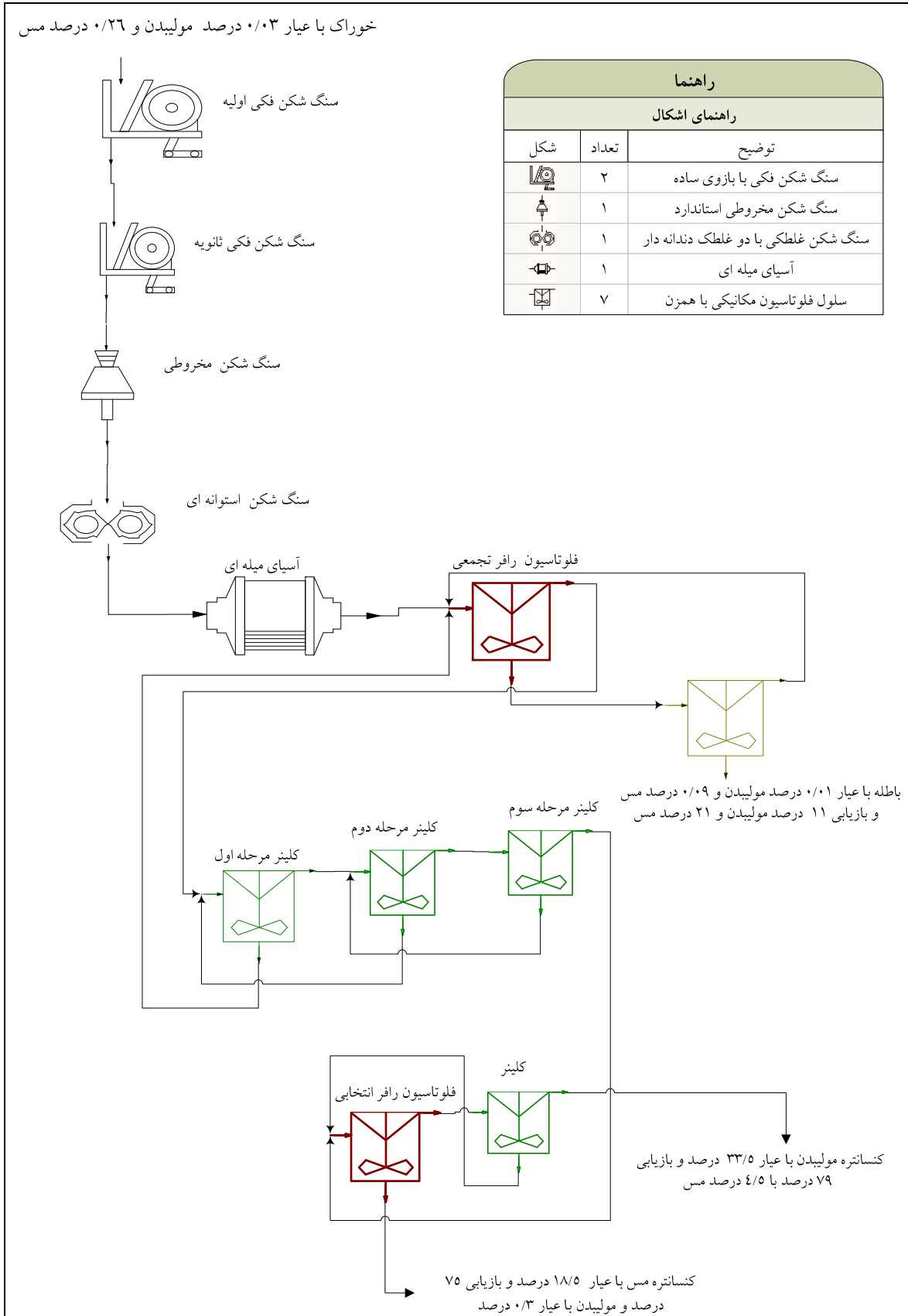
نتایج:

۱- در مرحله رافر بازیابی ۷۹ درصد برای مس و بازیابی ۸۹ درصد برای مولیدن به دست آمده است.

۲- بازیابی کلی مولیدن (۸۲٪) و بازیابی کلی مس (۶۷٪) است.

۳- بازیابی مولیدن بالاتر از مس قرار گرفت (مخالف آنچه که در استفاده از کلکتور PAX مشاهده کردیم. همچنین زمانی که در آزمایش‌های بررسی کلکتور از کلکتور SIBX همراه با ۰/۱ کیلوگرم بر تن گازوئیل استفاده شد (نمودار شکل ۳-۱۴) بازیابی مولیدن در سطح بالاتری از مس قرار داشت.

در شکل ۳-۲۳ فلوشیت اجرا شده همراه با عیار و بازیابی مس و مولیدن در ورودی (خوراک) و خروجی‌ها در این گزارش ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود فلوتاسیون در دو مرحله فلوتاسیون تجمعی و انتخابی اجرا شده که در محاسبه عیار و بازیابی ورودی و خروجی‌ها بر روی فلوشیت از بهترین نتایج هر مرحله استفاده گردید. به این صورت که در مرحله فلوتاسیون تجمعی از آزمایش دوم استفاده از کلکتور SIBX بخش ۳-۲-۶-۲-۴ و در مرحله فلوتاسیون انتخابی از آزمایش ششم بخش ۳-۲-۶-۲-۶ استفاده شده است.



شکل ۳-۲۳: فلوشیت ارائه شده برای آرایش مس و مولیبدن از کان سنگ کال کافی

۳-۳- نتیجه‌گیری

۱- بررسی‌های مختلف کانی‌شناسی، تجزیه‌های شیمیایی و مطالعات درجه آزادی بر روی نمونه کانسنگ نشان داد که میزبان کانی سازی مس- مولیبدن، یک سنگ درونی کوارتز فلدسپاتی است. مهمترین فاز مس اولیه کالکوپیریت می باشد و شامل دانه‌هایی بی شکل در ابعاد کمتر از چند میکرون تا چند میلیمتر است. در سطح بعضی مقاطع، این کانی از حاشیه به کانی‌های ثانویه مس (کالکوسیت، کوولیت و دیجنیت) تبدیل شده است. فاز اولیه مولیبدن کانی مولیبدنیت است که به مقدار اندک در سطح بعضی از مقاطع دیده شد. این کانی اغلب شامل بلورهای تیغه‌ای نسبتاً کشیده در ابعاد از حدود ۱۰۰ میکرون تا بیش از ۴۰۰ میکرون است. مطالعات درجه آزادی، آزادی ۹۰ درصد از کامی‌های مس و مولیبدن را ۱۴۰ مش (۱۰۶ میکرون) تعیین کرد. نمونه به طور متوسط حاوی ۰/۲۶ درصد مس و ۰/۰۳ درصد مولیبدن است.

۲- آزمایش‌های فلوتاسیون تجمعی در pH بازی، $pH = 9/5$ را مطلوب برای فلوته شدن کانی‌های مس و مولیبدن تعیین کرد. به جهت وجود نرمه و کانی‌های سیلیکاته، سیلیکات سدیم نقش مؤثری در افزایش عیار و بازیابی ایفا می‌کند. در بین کلکتورهای گزنتات، کلکتورهای بازنجیره کوتاه مثل پتاسیم اتیل گزنتات قادر به فلوته کردن کانی‌های سولفور موجود در نمونه نیستند ولی توسط کلکتورهای با زنجیره بلند مثل سدیم ایزوبوتیل گزنتات می‌توان به بازیابی نسبتاً بالایی از مس و مولیبدن دست یافت. مصرف مقادیر مختلف از گازوئیل به‌عنوان کمک کلکتور مولیبدنیت نشان داد که استفاده آن باعث افت بازیابی می‌شود.

۳- آزمایش‌های فلوتاسیون انتخابی برای جدایش مس و مولیبدن، با استفاده از سولفور سدیم و سیانید سدیم در مقادیر مختلف، جهت بازداشت کانی‌های مس و گازوئیل جهت شناورسازی مولیبدن انجام شد. هر چه بر مقدار سولفور سدیم تا ۲۵ کیلوگرم بر تن افزوده می‌شود، این جدایش با موفقیت بیشتری صورت می‌گیرد. نقش سیانید سدیم تمیز کردن سطح کانی‌های مس از کلکتور گزنتات است و هر چه موفقیت در این مرحله بیشتر باشد جدایش بهتر صورت می‌گیرد.

۳-۴- پیشنهادات

- ۱- بررسی‌های بیشتر برای تعیین میزان اورانیوم و تجزیه شیمیایی توسط سازمان‌های حرفه‌ای در این زمینه، مانند سازمان انرژی اتمی بر روی چندین نمونه معرف از این کان‌سنگ، جهت به‌دست آوردن تخمینی واقعی از میزان اورانیوم این کانسار انجام گیرد.
- ۲- به‌جهت پایین بودن عیار مولیبدن در نمونه برای انجام هر آزمایش فلوتاسیون جدایشی و شستشوی کنسانتره مولیبدن، نیاز به انجام آزمایش فلوتاسیون تجمعی (جدایش کانی‌های سولفور مس و مولیبدن از باطله) بر روی نمونه‌های ۲۰ کیلوگرمی و به‌دست آوردن حجم بالایی از کنسانتره مس و مولیبدن است. بنابراین نیاز به حجم زیادی از نمونه اولیه است (برای انجام ۲۰ آزمایش جدایش نیاز به ۴۰۰ کیلوگرم نمونه معرف اولیه است). پیشنهاد می‌شود حجم بیشتری از نمونه فراهم و آزمایش‌های تکمیلی فلوتاسیون انتخابی برای جدایش مولیبدن از کنسانتره مس و شستشوی کنسانتره مولیبدن انجام گیرد.
- ۳- استفاده از کلکتورهای جدیدتر و یا استفاده ترکیبی از کلکتورهای گزنتات، دی‌تیوفسفات، مرکاپتان و تیونوکربامات‌ها در مرحله فلوتاسیون تجمعی می‌تواند دستیابی به بازیابی بالاتری از مس و مولیبدن را ممکن سازد.