

صلى الله عليه وسلم



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته‌ی مهندسی معدن گرایش اکتشاف

پایان نامه کارشناسی ارشد

مطالعات کانی‌شناسی - ژئوشیمی کانسنگ سرب و روی گوشفیل از دیدگاه

اکتشافی و فرآوری

نگارنده: امید رئیس‌زاده

اساتید راهنما:

دکتر آرزو عابدی

دکتر اصغر عزیزی

استاد مشاور:

مهندس مصطفی پایمرد

شهریور ۱۳۹۷

تقدیم به

پدر فداکار

مادر مهربان

و خواهران عزیزم

سپاسگزاری

سپاس ایزد منان که به من این فرصت را داد تا به این مرحله از دانش رسیده و از هیچ محبتی دریغ نکرد و در تمام مراحل زندگی مرا قوت قلب بود.

برخود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

از اساتید گرانقدرم سرکار خانم دکتر عابدی و جناب آقای دکتر عزیزی که زحمت راهنمایی این پایان‌نامه را برعهده داشتند کمال سپاس و قدردانی را دارم.

از کارشناسان معدن گوشفیل به ویژه مهندس پایمرد و مهندس فروتن عزیز به خاطر مشاوره‌هایی که در طول این پروژه به من دادند تشکر می‌کنم.

از کارشناسان آزمایشگاه‌های دانشکده، آقایان مهندس طالع‌زاری، مهندس عباسیان و مهندس جعفری و همچنین مهندس میرباقری عزیز سپاسگزاری می‌کنم.

جا دارد از دوست خوبم مهندس ابراهیمی که در آزمایشگاه فرآوری به من کمک کردند و از تمامی مسئولین دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک که در اجرای این پایان‌نامه همکاری صمیمانه‌ای با من داشتند تشکر کنم.

تعهدنامه

اینجانب امید رئیس زاده دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته اکتشاف، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع مطالعات کانی‌شناسی - ژئوشیمی کانسنگ سرب و روی گوشفیل از دیدگاه اکتشافی و فرآوری تحت راهنمایی خانم دکتر آرزو عابدی و آقای دکتر اصغر عزیزی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه صنعتی شاهرود و یا **Shahrood University of Technology** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ :

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

مطالعات کانی‌شناسی که شامل شناسایی کانی‌های بارزش و باطله، بافت ماده معدنی، نحوه قرار گیری کانه و باطله، ابعاد و درجه آزادی است اولین مرحله از فرآوری بوده و نقش بسیار مهمی در جهت بهبود وضعیت فعلی تکنولوژی فرآوری مواد معدنی دارد. در این تحقیق، مطالعات کانی‌شناسی، شیمی کانسنگ و تعیین درجه آزادی با رویکرد فرآوری بر روی خوراک کارخانه فرآوری معدن سرب و روی گوسفیل صورت گرفت. معدن گوسفیل در منطقه معدنی ایرانکوه واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان شده است. کانی‌های اصلی مشاهده شده توسط میکروسکوپ نوری اسفالریت، گالن و پیریت می باشد که همراه با باطله‌های شیل‌های سیاه رنگ، دولومیت، باریت و کوارتز مشاهده می شوند. کانی‌های رسی از قبیل میکا، ایلیت و کائولینیت بوسیله آنالیز پراش اشعه ایکس آشکار گردید. بر اساس آنالیز ICP-MS صورت گرفته بر روی نمونه معرف کانسنگ میزان In و Cd به ترتیب ۲/۳ و ۶۲/۲ گرم بر تن تعیین گردید. در طیف‌سنجی میکرورامان آشکار شدن طیف مربوط به اسفالریت غنی از آهن در نمونه فلوتاسیون روی قابل توجه است. به منظور بررسی درجه آزادی و انتخاب بهترین محدوده، نمونه‌ها پس از سنگ‌شکنی و آسیاب در ۸ محدوده ابعادی تقسیم‌بندی شدند. در محدوده ابعادی ۱۰۵ تا ۱۴۹ میکرون، گالن به درجه آزادی ۶۹ درصد و اسفالریت به درجه آزادی ۶۶ درصد می‌رسند. همچنین آنالیز XRD در این محدوده کانی‌های کوارتز، دولومیت، مسکویت، گالن و اسفالریت را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های فلوتاسیون نشان داد که با کاهش اندازه ذرات، بازیابی سرب و روی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان بازیابی سرب (۶۱/۸۹) و روی (۸۸/۸۷) در محدوده‌ی ابعادی ۱۰۵ تا ۱۴۹ بدست آمد.

کلمات کلیدی : کانی‌شناسی، سرب، روی، گوسفیل، فرآوری

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

رئیس زاده، ا، عابدی، ا، عزیزی، ا، بررسی تاثیر اندازه ذرات و درجه آزاد شدگی کانی های گالن و اسفالریت بر فلوتاسیون سرب و روی معدن گوسفیل، پنجمین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در شیمی و مهندسی شیمی، شهریور ۱۳۹۷.

فهرست مطالب

۱- فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۳
۳-۱- زمین شناسی منطقه	۵
۴-۱- مطالعات انجام شده قبلی	۸
۱-۴-۱- تحقیقات انجام شده در منطقه مورد مطالعه	۹
۲-۴-۱- تحقیقات انجام شده در سایر مناطق	۱۱
۵-۱- ساختار پایان نامه	۱۵
۶-۱- روش مطالعه	۱۶
۲- فصل دوم: نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها	۱۷
۱-۲- مقدمه	۱۸
۲-۲- نمونه برداری	۱۸
۳-۲- آماده سازی نمونه ها	۱۸
۱-۳-۲- آماده سازی مقاطع صیقلی	۱۸
۲-۳-۲- آماده سازی نمونه ها و تهیه نمونه همگن	۲۰
۳-۳-۲- آماده سازی نمونه ها برای آنالیز XRD	۲۱
۴-۳-۲- آماده سازی نمونه برای آنالیز ICP-MS	۲۲
۵-۳-۲- آماده سازی نمونه ها برای تست های فلوتاسون	۲۳
۶-۳-۲- آماده سازی نمونه ها جهت آنالیز جذب اتمی	۲۴
۳- فصل سوم: مطالعات کانی شناسی و درجه آزادی	۲۵

۲۶	۱-۳- مقدمه
۲۷	۲-۳- کانه نگاری
۲۸	۱-۲-۳- اسفالریت
۳۰	۲-۲-۳- گالن
۳۱	۳-۲-۳- پیریت
۳۲	۳-۳- بررسی پراش XRD نمونه اسفالریت
۳۳	۴-۳- تشخیص کانی‌های رسی توسط XRD
۳۴	۵-۳- شیمی سنگ معدن
۳۸	۶-۳- طیف‌سنجی رامان
۴۰	۷-۳- درجه آزادی
۴۲	۱-۷-۳- انواع درگیری‌های کانه و باطله
۴۲	۲-۷-۳- کانه نگاری بعد از خردایش و تعیین درجه آزادی
۵۹	۳-۷-۳- تخمین درجه آزادی
۶۱	۴- فصل چهارم: فرآوری
۶۲	۱-۴- مقدمه
۶۲	۲-۴- فلوتاسیون
۶۳	۱-۲-۴- عوامل موثر بر فلوتاسیون
۶۴	۲-۲-۴- روش انجام آزمایش‌های فلوتاسیون
۶۵	۳-۲-۴- نتایج حاصله از آزمایش‌ها
۶۶	۳-۴- بازیابی
۶۸	۱-۳-۴- تحلیل بازیابی سرب و روی

۵- فصل پنجم: خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادها ۷۳

۵-۱- خلاصه ۷۴

۵-۲- نتیجه گیری ۷۷

۵-۳- پیشنهادها ۷۷

۶- منابع ۷۹

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: تصویر معدن گوشفیل (برگرفته از گوگل ارث) ۴
- شکل ۲-۱: نقشه توزیع مکانی ذخایر سرب و روی با میزبان کربناته ۷
- شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۸
- شکل ۴-۱: ساختار پایان نامه ۱۶
- شکل ۱-۲: محل نمونه‌برداری (دپوی سنگ کارخانه فرآوری گوشفیل) ۱۹
- شکل ۲-۲: نمونه‌های آماده شده جهت آنالیز XRD ۲۲
- شکل ۳-۲: نمونه‌های آماده شده جهت آنالیز جذب اتمی و آسیای دستی از جنس آگات ۲۴
- شکل ۱-۳: کوارتز و باریت در مقاطع صیقلی ۲۶
- شکل ۲-۳: گالن در کنار اسفالریت ودانه های ریز پیریت ۲۸
- شکل ۳-۳: اسفالریت در مقاطع صیقلی ۲۹
- شکل ۴-۳: گالن در مقاطع صیقلی ۳۰
- شکل ۵-۳: پیریت در مقاطع صیقلی ۳۱
- شکل ۶-۳: نمودار پراش XRD نمونه اسفالریت ۳۲
- شکل ۷-۳: آنالیز XRD مربوط به کانی‌های رسی ۳۳
- شکل ۸-۳: طیف رامان مقطع صیقلی ۳۹
- شکل ۹-۳: طیف رامان کنسانتره روی ۴۰
- شکل ۱۰-۳: انواع درگیریه‌های متداول کانی با ارزش و باطله ۴۲
- شکل ۱۱-۳: تصویر ذرات کمتر از ۱۰۵ میکرون ۴۴
- شکل ۱۲-۳: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات کمتر از ۱۰۵ میکرون ۴۴
- شکل ۱۳-۳: تصویر ذرات بین ۱۰۵ و ۱۴۹ میکرون ۴۶
- شکل ۱۴-۳: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۱۰۵-۱۴۹ میکرون ۴۷

- شکل ۳-۱۵: تصویر ذرات بین ۱۴۹ و ۱۷۷ میکرون ۴۷
- شکل ۳-۱۶: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۱۴۹-۱۷۷ میکرون ۴۸
- شکل ۳-۱۷: تصاویر ذرات بین ۱۷۷ و ۲۵۰ میکرون ۴۹
- شکل ۳-۱۸: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۱۷۷ - ۲۵۰ میکرون ۵۰
- شکل ۳-۱۹: تصویر ذرات بین ۲۵۰ و ۴۰۰ میکرون ۵۱
- شکل ۳-۲۰: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۲۵۰-۴۰۰ میکرون ۵۲
- شکل ۳-۲۱: تصاویر محدوده ابعادی ۴۰۰ تا ۵۹۵ میکرون ۵۳
- شکل ۳-۲۲: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۴۰۰-۵۹۵ میکرون ۵۴
- شکل ۳-۲۳: تصاویر ذرات بین ۵۹۵ و ۸۴۱ میکرون ۵۵
- شکل ۳-۲۴: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۵۹۵-۸۴۱ میکرون ۵۶
- شکل ۳-۲۵: تصاویر محدوده ابعادی ۸۴۹ میکرون و ۱ میلی متر ۵۷
- شکل ۳-۲۶: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۸۴۹-۱۰۰۰ میکرون ۵۸
- شکل ۳-۲۷: نمودار پراش XRD مربوط به نمونه معرف ابعاد زیر ۱ میلیمتر ۵۸
- شکل ۳-۲۸: نمودار درجه آزادی گالن و اسفالریت در محدوده‌های ابعادی مختلف ۶۰
- شکل ۴-۱: تصویر شماتیکی از سلول فلوئتاسیون ۶۲
- شکل ۴-۲: تاثیر دامنه ابعادی ذرات روی بازیابی سرب و روی در فلوئتاسیون ۶۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۳: مطالعات کانی‌شناسی منطقه گوشفیل ۲۷
- جدول ۲-۳: عناصر موجود در نمونه کلی در آنالیز ICP-MS ۳۵
- جدول ۳-۳: نتایج تجزیه ریزپردازنده الکترونی در کانی گالن معدن گوشفیل ۳۶
- جدول ۴-۳: نتایج تجزیه ریزپردازنده الکترونی در کانی اسفالریت معدن گوشفیل ۳۸
- جدول ۵-۳: تعداد کانی‌های با ارزش آزاد و درگیر و درجه آزادی محدوده‌های ابعادی مختلف ۶۰
- جدول ۱-۴: وزن کنسانتره سرب، روی و باطله بدست آمده در محدوده‌های ابعادی مختلف ۶۵
- جدول ۲-۴: نتایج آنالیزهای جذب اتمی ۶۷
- جدول ۳-۴: بازیابی سرب و روی و آهن در فراکسیونهای مختلف ۶۷

فصل اول

کلیات

کشور ایران به دلیل قرارگیری بر روی کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا دربردارنده ی انواع کانسارهای فلزی و غیر فلزی است که از جمله این کانسارها، کانسارهای سرب و روی می باشد. فلزات سرب و روی از فلزهای پایه و با ارزش در صنعت مدرن هستند و جزء رایج ترین فلزات غیرآهنی در جهان بعد از آلومینیوم و مس می باشند. این فلزات به دلیل کاربردهای فراوانی که دارند و همچنین به دلیل مقاومت بالای ترکیب با فلز آهن، از پرمصرف ترین فلزات هستند. ارزندگی فلزات سرب و روی و کاربرد در صنایع مختلف باعث توجه جهانی به این دو فلز ارزشمند شده است. به طوری که بهره برداری وسیع از کانسارهای سرب و روی در دهه های اخیر سبب شده که این کانسارها به شدت در حال کم شدن باشند. لذا در بازارهای جهانی روز به روز تقاضا بر عرضه غلبه کرده، انبارهای نگه داری این فلزات به سمت خالی شدن پیش رفته و قیمت این دو فلز در حال افزایش است (یانگ و همکاران ۲۰۱۶). ایران چهارمین تولیدکننده بزرگ سرب و روی در آسیا بعد از چین، قزاقستان و هند است که از نظر تولید شمش روی در جایگاه ششم و از نظر تولید سرب در جایگاه پنجم در آسیا را دارد. با این حال با توجه به ظرفیت هایی که در ایران وجود دارد تنها از ۳۰ درصد ظرفیت کارخانه های فرآوری سرب و روی استفاده می شود. در حالی که باید از ۱۰۰ درصد ظرفیت های موجود بهره برد. آنچه در این باره از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است، توجه به این موضوع است که معادن سرب و روی ایران باید بتوانند در بخش اکتشاف، استخراج و فرآوری فعالیت های گسترده تری داشته باشند (www.kzg.ir). مهم ترین کانسارهای سرب و روی ایران عبارتند از معدن سرب و روی انگوران، ایرانکوه و کوشک. با افزایش مصرف مواد معدنی در صنایع مختلف و همچنین پیچیدگی رفتار مواد معدنی کم عیار در فرآیند فرآوری، نیاز به مطالعات دقیق کانی شناسی قبل از طراحی مدار فرآوری ضروری می باشد. کاربرد علم کانی شناسی در فرآوری مواد معدنی یا همان کانی شناسی فرآیند، بهره گیری از اطلاعات مربوط به شناسایی ترکیبات و رفتار کانی ها و فازهای مختلف آن در طی عملیات فرآوری مواد معدنی است. کانی شناسی فرآیند جدایش اقتصادی کانه مفید از باطله های همراه به روش های مختلف می باشد. ماده معدنی پس از استخراج با

سنگ‌میزبان و تعدادی کانی‌های همراه با کانسنگ مخلوط می‌باشد که این کانی‌های همراه، باطله محسوب می‌شوند. باطله‌ها می‌توانند سنگ‌میزبان آذرین، دگرگونی و رسوبی داشته باشند. لذا داشتن اطلاعات زمین‌شناسی و کانی‌شناسی یک منطقه بر روی فرآوری مواد معدنی ضروری به نظر می‌رسد (Das et al., 2008).

منطقه مورد مطالعه در این پایان‌نامه بخشی از معادن سرب و روی ایرانکوه می‌باشد، هم‌اکنون متعلق به شرکت باما است که از سال ۱۳۳۱ تاکنون بررسی‌های وسیع اکتشافی - بهره‌برداری را در منطقه انجام داده است. در منطقه ایرانکوه معادن فعالی همچون گوشفیل، تپه سرخ یک، کلاه دراز، ذخیره مدفون (تپه سرخ سه) و زون ۵ رومرمر، معادن متروکه مانند گودزدان، خانه گرگی و چشمه زرد و مناطق اکتشافی مانند زون‌های یک تا چهار رومرمر و زون گوشفیل یک وجود دارد. فرآیند فلوتاسیون معدن گوشفیل، به دلیل درگیری و تنوع کانی‌های مختلف، پیچیدگی‌های مینرالوژیکی و پایین بودن درجه‌ی آزادی کانه‌های سولفیدی کارخانه همواره با مشکلاتی مواجه بوده است و علیرغم مطالعاتی که در این زمینه شده است، همچنان راندمان کارخانه مطلوب نبوده و وجود مقدار بالای شیل و آهن یکی از عوامل مهم در پایین بودن راندمان از طرف مسئولین کارخانه فرآوری معدن گوشفیل گزارش شده است. از این رو، هدف اصلی این پژوهش بر رفتارسنجی کانی‌ها شامل مشخص کردن دقیق انواع کانی‌های موجود در کانسنگ گوشفیل، یافتن کانی‌های حاوی آهن و همچنین ویژگی‌های بافت، شکل، اندازه ذرات و درجه آزادی کانی باارزش، برای ارزیابی مناسب فرآیند فرآوری (فلوتاسیون) کانسنگ سرب و روی گوشفیل، متمرکز می‌باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده معادن ایرانکوه در رشته کوه ایرانکوه، در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان و در شمال جاده اصفهان- شیراز واقع شده است. این منطقه در دامنه‌های شمالی و جنوبی سلسله جبال ایرانکوه (شاهکوه سابق) واقع گردیده است. حداقل ارتفاع محدوده ایرانکوه از سطح دریا برابر ۱۶۷۰ متر و حداکثر ارتفاع آن برابر ۲۵۷۰ متر می‌باشد، ارتفاع متوسط منطقه معدنی برابر ۲۲۱۰ متر می‌باشد.

فعالیت‌های معدنی در ارتفاع ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا انجام می‌گیرد. منطقه ایرانکوه از نظر طول و عرض جغرافیایی بین طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه قرار دارد. در قسمت‌های جنوبی اراضی منطقه مسکونی سپاهان شهر، معدن دولتی باما و چند معدن خصوصی دیگر وجود دارد که غنی از رگه های سرب و روی می‌باشند و از سال‌های قبل فرآیند استخراج از آن‌ها شروع شده و تا اکنون هم ادامه دارد (تیموری اصل و همکاران ۱۳۹۰). شکل ۱-۱ تصویر ماهواره ای معدن گوشفیل را نشان می‌دهد. این منطقه معدنی سرب و روی با روند شمال باختری- جنوب خاوری، از جنوب خاوری فلاورجان تا گردنه لاشتر، با درازایی نزدیک به ۲۵ کیلومتر و پهنای ۴ کیلومتر کشیده شده است. هر دو یال این رشته کوه دارای کانسنگ سرب و روی است (دیانیانی و همکاران ۱۳۹۶).



شکل ۱-۱: تصویر معدن گوشفیل (برگرفته از گوگل ارث)

۱-۳- زمین‌شناسی منطقه

منطقه معدنی ایرانکوه در زون سنندج - سیرجان و در کمربند متالوژنی ملایر- اصفهان واقع شده است. کمربند ملایر- اصفهان یکی از مهم‌ترین ایالت‌های متالوژنی ذخایر سرب و روی ایران با سنگ میزبان کربناته به سن کرتاسه است (Rajabi et al., 2012) که بخش عمده آن استان‌های مرکزی، اصفهان و همدان را در برمی‌گیرد و از نظر سرگذشت زمین‌شناسی، وضعیت رسوب‌گذاری و ساختاری، شبیه پهنه ایران مرکزی است (Nakini et al., 2015). ذخایر حوزه معدنی ایرانکوه اصفهان یکی از بزرگ‌ترین ذخایر سرب - روی (نقره) موجود در کمربند متالوژنی ملایر- اصفهان می‌باشد (Rastad, E., 1981). شکل ۱-۲ نقشه توزیع مکانی ذخایر سرب و روی با میزبان کربناته در پهنه‌های ساختاری ایران و جایگاه ساختاری کمربند فلززایی ملایر - اصفهان در پهنه سنندج - سیرجان را نشان می‌دهد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ اصفهان (زاهدی-۱۹۷۶) مهم‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی در محدوده معدنی ایرانکوه شامل سنگ‌های رسوبی ژوراسیک و کرتاسه زیرین می‌باشد. سنگ‌های کربناته کرتاسه بیشترین سنگ‌های رخنمون یافته در رشته‌کوه ایرانکوه هستند که به صورت دگرشیبی بر روی سازندهای ژوراسیک قرار گرفته‌اند. واحدهای ژوراسیک زیرین اکثراً دارای شیل‌های سیاه با کمی سیلتستون، ماسه‌سنگ و سنگ آهک می‌باشند.

براساس مطالعات کریم‌پور و همکاران (۱۳۹۶) در محدوده گوشفیل، تپه سرخ، ذخیره مدفون و رومرمر، واحدهای آواری ژوراسیک، سنگ‌های کربناته، کرتاسه و رسوبات کواترنری رخنمون دارند. شکل ۱-۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

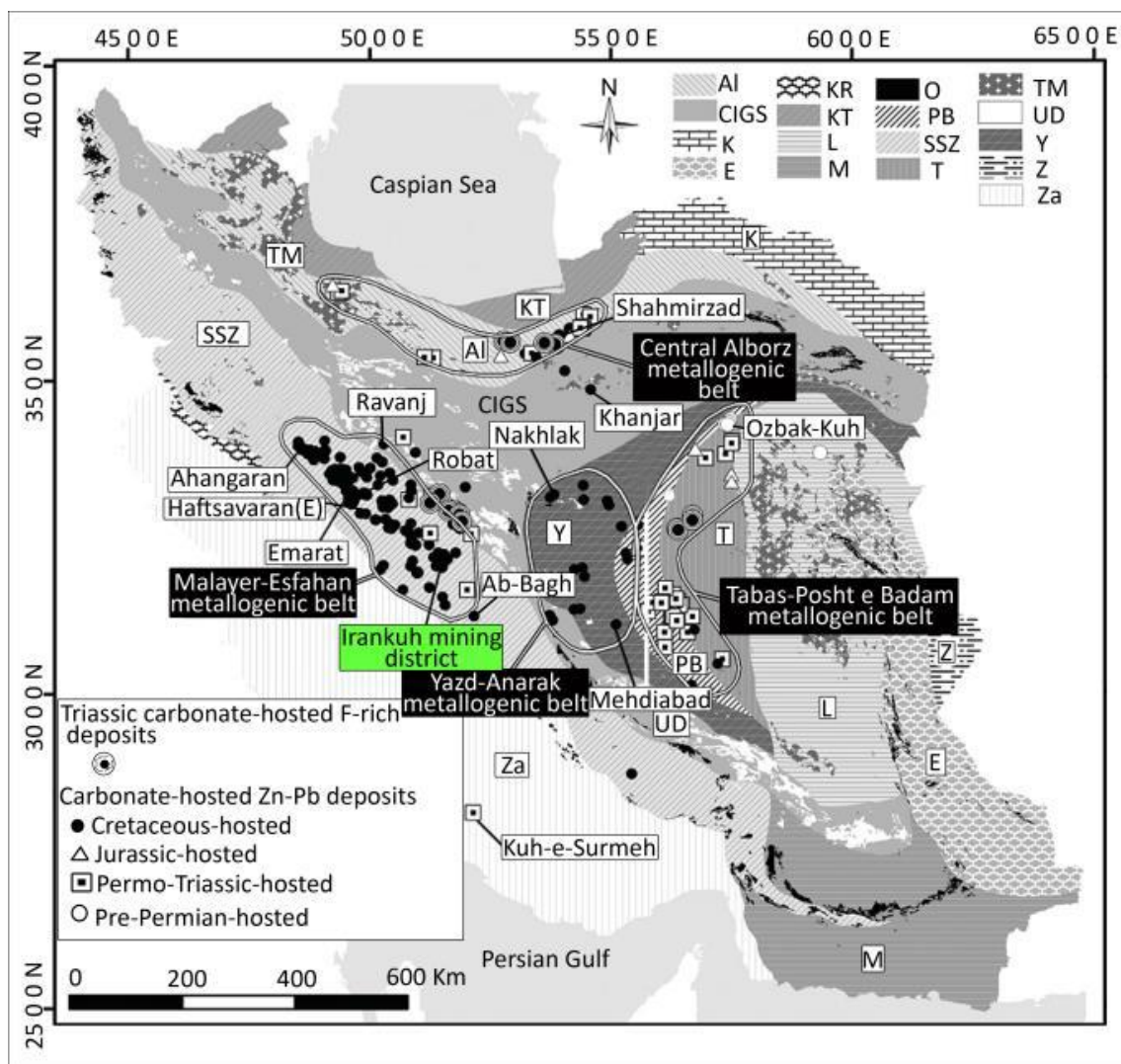
کانی‌سازی در مجموعه معادن ایرانکوه به شکل اپی ژنتیک و باکنترل ساختاری در گسل‌های موجود در مرز شیل‌ها و سیلتستون‌های ژوراسیک و سنگ‌های کربناته کرتاسه و یا در گسل‌های داخل واحد کربناته تشکیل شده است. سنگ میزبان کانی‌سازی سرب و روی اغلب دولستون (دولستون توده ای تا ضخیم لایه خاکستری تا قهوه‌ای- قرمز همراه با مواد آلی) و کمتر شیل و سیلتستون است. در سنگ میزبان دولستون، کانه‌زایی به دو شکل کلی جانشینی و پرکننده فضاهای خالی (فضاهای

ایجاد شده توسط گسل مانند رگچه‌های زمین ساختی یا برش های گسلی و یا حفرات سنگ میزبان) تشکیل شده است؛ درحالی که در واحد شیلی-سیلتستون فقط فضاهای ایجاد شده به وسیله گسل توسط محلول کانه‌دار پر شده است و مقدار ذخیره در آنها بسیار کمتر از واحد دولستون است. کانی‌سازی از لایه‌بندی و شیب سنگ میزبان پیروی نمی‌کند و ساختارهای زمین‌شناسی به دو شکل نقشی مهم در تشکیل آن داشته اند.

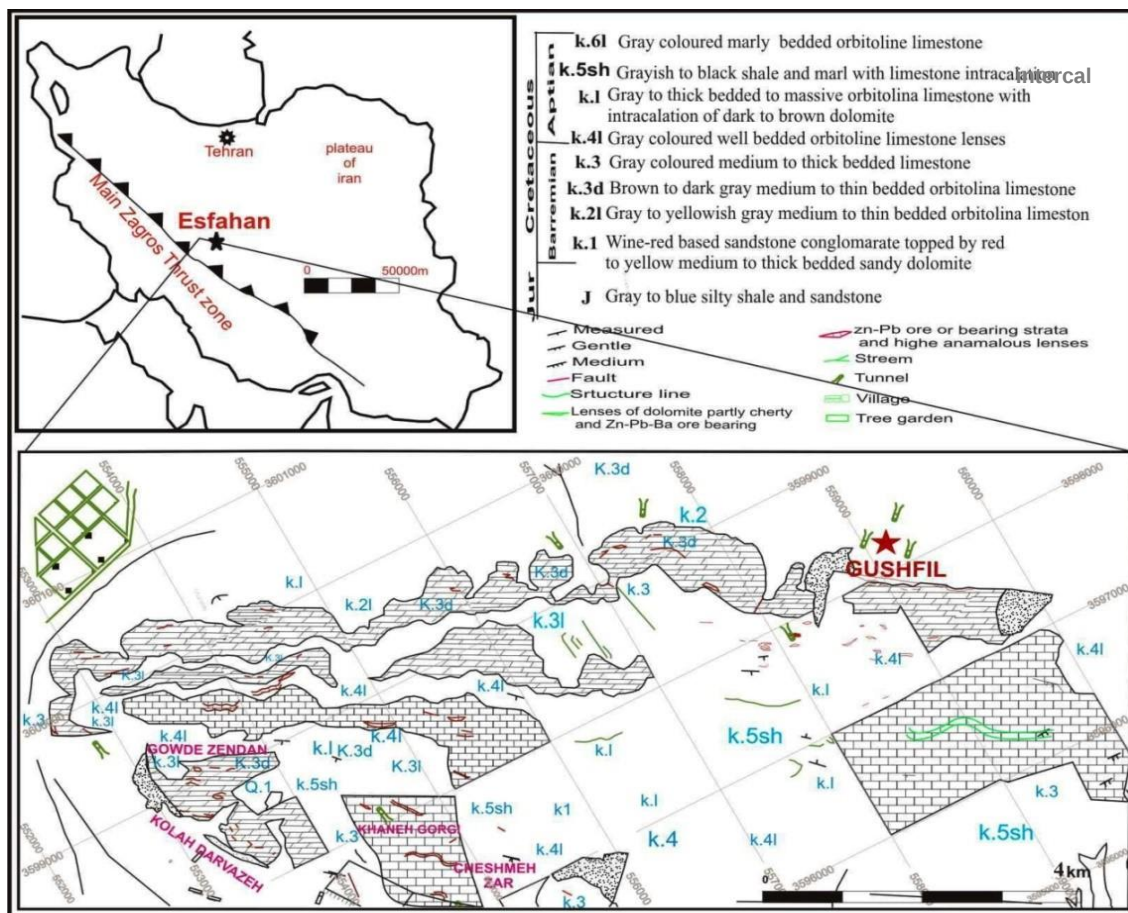
۱- گذرگاه محلول گرمابی از اعماق به منطقه کانی‌سازی

۲- مکان مناسب برای جای گیری، جانشینی با سنگ میزبان و تشکیل ماده معدنی

میزان ضخامت زون کانی‌سازی در حریم اطراف گسل ها در بخش های مختلف ایرانکوه متفاوت است و به میزان تخلخل، اندازه بلورها، ترکیب شیمیایی و ترکیب کانی‌شناختی دولستون میزبان بستگی داشته است. بر همین اساس در برخی قسمت‌ها مانند کانسار گوشفیل، ضخامت‌ها و عیارهای قابل توجهی از کانی‌سازی (ضخامت 30 متر و عیار سرب و روی مجموعاً 7 درصد) به چشم می‌خورد که درزون متالوژنی ملایر- اصفهان بی‌نظیر است. این مساله بیانگر آن است که محلول هیدروترمالی با دولستون میزبان واکنش داده و به جانشینی منجر شده است؛ در حالی که در بخش های دیگری همچون رومرمر و مناطقی از تپه سرخ به دلیل ریزافت بودن دولستون میزبان، عمل جانشینی انجام نشده و ضخامت زون کانی سازی محدود به ضخامت زون گسلی است. (کریم پور و همکاران ۱۳۹۶).



شکل ۱-۲: نقشه توزیع مکانی ذخایر سرب و روی با میزبان کربناته در پهنه‌های ساختاری ایران و جایگاه ساختاری کمربند فلززایی ملایر - اصفهان در پهنه سنندج - سیرجان (AI: البرز؛ CIGS: پهنه زمین‌شناسی - ساختاری ایران مرکزی؛ E: محدوده شرق ایران؛ K: کپه داغ؛ KR: زیرپهنه رادیولاریتی کرمانشاه؛ KT: پهنه ساختاری خزر - تالش؛ L: بلوک لوت؛ M: پهنه مکردران؛ O: کمربندهای افیولیتی؛ PB: بلوک پشت بادام؛ SSZ: پهنه سنندج - سیرجان؛ T: بلوک طبس؛ TM: سنگ‌های ماگمایی ترشیری؛ UD: کمان ماگمایی ارومیه - دختر؛ Y: بلوک یزد؛ Z: منطقه زاغل؛ Za: کوه‌های زاگرس) (Rajabi et al., 2012)



شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، نقشه بالایی موقعیت منطقه مورد مطالعه و زون روراندۀ زاگرس در جنوب غرب ناحیه را بر روی نقشه ایران مشخص می‌کند، نقشه پایینی منطقه معدنی مورد مطالعه را نمایش می‌دهد (نقشه منتشر نشده معدن ایرانکوه ۱۳۸۸، برگرفته از مقاله تیموری اصل و همکاران ۱۳۹۰)

۴-۱- مطالعات انجام‌شده قبلی

باتوجه به موضوع تحقیق که مطالعه کانی‌شناسی فرآیند بر روی کانسار سرب و روی باما و به صورت اختصاصی معدن گوشفیل است در این قسمت سعی می‌شود به تحقیقاتی که در رابطه با کاربرد کانی‌شناسی در بحث فرآوری کانسارهای سرب و روی و همچنین مطالعاتی که در رابطه با بهبود فرآیند فرآوری و افزایش بازیابی کانسارهای سرب و روی در منطقه مورد مطالعه و سایر نقاط دنیا انجام گرفته است اشاره شود.

۱-۴-۱- تحقیقات انجام شده در منطقه مورد مطالعه

حاجتی و همکاران (۱۳۸۳) در پژوهشی درجه آزادی کانی‌های اکسیده روی در معدن سرب و روی گوشفیل را مورد مطالعه قرار دادند. با خردایش نمونه‌ها تا ۹۰ میکرون، کانی اسمیت زونیت (۸۰-۱۰۰) درصد به صورت آزاد و کانی‌های آهن دار در حدود (۵۰-۱۰۰) درصد به صورت آزاد است. در این حالت احتمال وجود نرمه‌های آهن کمتر بوده و اکثر کانی‌های آهن (هماتیت و گوتیت) درگیر با بقیه کانی‌ها که بیشتر دولومیت، اسمیت زونیت و کوارتز است وجود دارد.

کلینی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی که در رابطه با بازیابی ایندیم از پسماند لیچینگ کنسانتره تشویه شده سولفید روی کنسانتره سولفیدی معدن باما داشتند، رسوب بدست آمده از آزمایشات را با محلول اسیدسولفوریک گرم حل کرده و محلول حاصل را مورد بررسی آزمایش‌های استخراج حلالی و سمنتاسیون با پودر روی قرار دادند. بازیابی کل ایندیم از پسماند لیچینگ خنثی کنسانتره تشویه شده سولفید روی بیش از ۹۲ درصد و خلوص محصول نهایی ۹۴/۵ بدست آمد.

آیتی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه ژئوشیمیایی و کانی‌شناختی کانسار سرب و روی گوشفیل بر تشخیص عناصر ردیاب و پارائزهای عنصری در این کانسار و شناسایی کانی‌های منشا در این عناصر تمرکز داشتند، با استفاده از مقایسه نتایج آنالیزهای SEM بهترین عناصر ردیاب Zn, Pb, Ag, Sb, Cd, Cr، معرفی شد و با آنالیز ماکروپروب الکترونی منشا عناصر ردیاب یاد شده گالن، اسفالریت و پیریت تعیین شد.

شهبازی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی قابلیت فرآوری کانسنگ پرپیریت سرب و روی معدن زیرزمینی گوشفیل نتیجه گرفتند که در مطالعات فلوتاسیون جهت جداسازی بخش کربن‌دار، حدود ۲۳ درصد روی و ۳۰ درصد از سرب در بخش شناور شده هدر رفته است. نتایج نشان داد که به علت پیچیدگی کانسنگ پرپیریت معدن گوشفیل، آزمایش‌های فلوتاسیون متداول منجر به حذف بخشی از آهن در کنسانتره‌های سرب و روی می‌شود ولی رسیدن به کنسانتره‌ی سرب حاوی مقادیر مجاز آهن و روی، نیاز به بررسی بیشتر دارد.

خیرآبادی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی شرایط مختلف فلوتاسیون را بر بازیابی کانه های اکسیدی سرب و روی معدن گوشفیل بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که کانه های سرب در pH های ۹/۵ و ۱۱/۵ قابلیت فلوته شدن دارند. و ابعاد کمتر از ۱۰۰ میکرون بهینه ترین ابعاد برای انجام تست های فلوتاسیون نتیجه گرفته شد. در استفاده از کلکتورهای مختلف برای فلوتاسیون روی نشان داده شد که بازیابی فلوتاسیون روی پایین بوده و قسمت اعظم روی بازیابی نشد. در بهترین حالت با استفاده از کلکتور آرماک - تی بازیابی روی به ۲۷ درصد رسید از این رو فرآیند فلوتاسیون برای بازیابی روی مناسب نبوده ولی در مورد سرب به بازیابی حدود ۷۰ درصد با عیار بیش از ۴۰ درصد به دست آمد.

در تحقیقی دیگر شهبازی و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه کانی شناسی و بررسی فلوتاسیون رافر کانسنگ سرب و روی گوشفیل پرداختند. نمونه برداری از نقاط مختلف کانسار نشان داد که گالن و اسفالریت در چند تیپ در شرایط مختلف تشکیل شده اند. تیپ دولومیتی حاوی کانی های گالن و اسفالریت است که راندمان فلوتاسیون بالایی دارد. تیپ پرپیریت حاوی گانگ کربناته، مقادیر زیادی پیریت و کانی های با ارزش گالن و اسفالریت است. با استفاده از مقاطع تهیه شده از کنسانتره های فوق علل راه یابی پیریت به کنسانتره را بررسی کردند. نتایج آزمایش های فلوتاسیون رافر نشان داد که کنسانتره سرب و روی تشکیل شده از کانسنگ فوق، حاوی مقادیری آهن خواهد بود.

دهقانی و شهبازی (۱۳۹۶) در مقاله ای بازداشت پیریت و اسفالریت در فلوتاسیون اولیه گالن از کانسنگ سرب و روی پرپیریت معدن گوشفیل را مورد بررسی قرار دادند. ایشان با انجام آزمایش های مختلف فلوتاسیون و تغییر شرایط آزمایش و همچنین تغییر میزان مواد شیمیایی به بررسی نتایج حاصله پرداختند. با افزایش مقدار سولفات روی بازیابی روی و آهن در کنسانتره سرب افزایش یافته است. با افزایش سیانید سدیم عیار آهن در کنسانتره سرب تغییری نکرده ولی عیار سرب و روی آن کاهش یافته است. همچنین دریافتند که تاثیر پارامترها به pH محیط بستگی دارد. ماکزیمم بازیابی سرب حدود ۳۰ درصد و بازیابی روی و آهن در کنسانتره سرب به ترتیب حدود ۷/۹ و ۵/۲ بدست آمده است.

کریم پور وهمکاران (۱۳۹۶) زمین‌شناسی، کانی‌سازی، شیمی کانی‌ها و شیمی و منشا محلول‌های کانه دار در ناحیه معدنی سرب و روی ایرانکوه را مورد مطالعه قرار دادند. طبق این مطالعات کانی‌سازی، کنترل ساختاری دارد و در سنگ‌های میزبان کربناته (دولستون و سنگ آهک) و کمتر سنگ‌های آواره به شکل اپی ژنتیک تشکیل شده است. کانه‌زایی به شکل برشی، رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، لکه ای، پراکنده و جانشینی دیده می‌شود. مجموعه کانیایی شامل اسفالریت غنی از آهن، گالن، کمی پیریت همراه با باطله‌های دولومیت غنی از آهن، آنکرایت، بیتومن، کلسیت، کوارتز و باریت است. همچنین شاخصه‌های کانی‌شناختی، دمایی و ماهیت غنی از آهن محلول کانه‌دار منطقه ایرانکوه می‌تواند به عنوان الگویی برای اکتشاف اینگونه کنسارها در سراسر ایران قرار گیرد.

۱-۴-۲- تحقیقات انجام‌شده در سایر مناطق

بولتون و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای تاثیر آهن در فلوتاسیون اسفالریت را در pH قلیایی مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش‌ها در یک مقدار مشخصی از غلظت سولفات مس، بازیابی اسفالریت به حداکثر می‌رسد. و پس از آن مقدار با افزایش سولفات مس موجب کاهش بازیابی اسفالریت می‌شود. همچنین حضور آهن برای فلوتاسیون اسفالریت مضر است، زیرا باعث کاهش جذب کلکتور گزینات شده و در نتیجه بازیابی را کاهش می‌دهد. هرچه ذرات بزرگتر باشد این تاثیر بیشتر است.

حاجتی (۱۳۸۶) در مقاله ای دیگر به بررسی نقش ابعاد ذرات از دیدگاه کانی‌شناسی جهت افزایش بازیابی فرآیند فلوتاسیون بر روی کانی‌های اکسیدی دپوی باطله پرداخته است و تلاش کرده تا با بررسی تاثیر توزیع دانه بندی، اثر ابعاد، مطالعات کانی‌شناسی و درجه آزادی و با کنترل بهینه این پارامترها بازیابی کانی اکسیدی روی به کمک کلکتور اکسین بهبود پیدا کند. در بررسی ایشان در همه ابعاد سرندی درصد تجمعی توزیع فلزات از جمله روی به دلیل اکسیداسیون شدید چندان تفاوتی نداشته است و همه کانی‌های حاوی سرب و روی و آهن تقریبا به یک نسبت با همدیگر خرد و توزیع شده اند. در نهایت بهترین رنج دانه‌بندی برای بهینه‌سازی تست‌های فلوتاسیون در محدوده ابعادی

۳۸ تا ۹۰ میکرون انتخاب شده است.

همچنین حاجتی و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی پرعیارسازی اولیه خوراک مدار فلوتاسیون سرب و روی لکان به وسیله سیکلون واسطه سنگین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آزمایشگاهی غرق و شناورسازی بر روی نمونه‌هایی با ابعاد ۱۰-۱ میلی‌متر نشان داد که امکان جدایش بخشی از باطله با روش ثقلی وجود دارد. همچنین عیار سرب و روی به ترتیب ۲/۸۶ و ۸/۶۶ درصد بدست آمد. و حدود ۴۴ درصد از بار ورودی به مدار فلوتاسیون به عنوان باطله کم عیار حذف شد. به این ترتیب امکان افزایش ظرفیت کارخانه فرآوری سرب و روی لکان تا حدود دوبرابر ظرفیت فعلی از طریق جدایش نیمی از گانگ سخت سیلیسی توسط سیکلون واسطه سنگین وجود دارد.

محمدی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی کانی‌شناسی فرآیند و خواص سنجی کانسار روی اکسیده مهدی آباد یزد پرداختند. نتایج این تحقیقات نشان داد که روی در سه کانی اسمیت زونیت، همی مورفیت و کالکو فانیت متمرکز شده است. درجه آزادی کانی‌ها نزدیک ۱۰۰ میکرون به دست آمد و با توجه به نتایج و با توجه به اینکه اسمیت زونیت و همی مورفیت به سادگی توسط اسید سولفوریک لیچ می‌شوند، پیش‌بینی کردند که روش لیچینگ - استخراج حلالی - الکترووینینگ بهترین گزینه برای فرآوری این کانسار باشد و با توجه به عیار پایین و به دلیل وجود همی‌مورفیت پیشنهاد دادند که از لیچینگ تراوشی استفاده شود.

لی و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی که روی ویژگی‌های کانی‌شناسی فرآیند کانسار سرب و روی در چند منطقه پرداختند. عیار سرب و روی در تحقیقات آنها به ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۷۵ بوده است. طبق مطالعات ایشان کانی‌های موجود در سرب عمدتاً گالن و کانی‌های موجود در روی به طور عمده اسفالریت است. دیگر کانی‌های مشاهده شده عمدتاً پیریت و به مقدار کمتر آرسنوپیریت، کالکوپیریت و مارکازیت است. کانی‌های موجود در باطله هم کلسیت و میکا است. طبق مشاهدات در محدوده ابعادی ۷۴ میکرون درجه آزادی اسفالریت، گالن و پیریت به ترتیب ۷۴، ۸۵ و ۵۰ درصد است. رفتار های مختلف مواد معدنی و کانی‌شناسی که روی فلوتاسیون تأثیر می‌گذارند، به وضوح توضیح داده شد.

بهترین روش را برای فلوتاسیون معرفی کرده و به ارائه راهنمایی‌های تئوری برای جداسازی سرب و روی پرداخته‌اند.

ون و همکاران (۲۰۱۳) پژوهشی در این زمینه را روی برخی کانسارهای سرب و روی اکسیدی انجام دادند. در این تحقیق که بر پایه روش فرآوری فلوتاسیون انجام گرفته است ابتدا سرب را فلوته کرده و سپس به فلوتاسیون روی پرداخته‌اند. دریافتند که عیار کنسانتره سرب ۲۷,۴۱ درصد و عیار کنسانتره روی ۲۴,۱۴ درصد، همچنین بازیابی کل سرب ۹۳,۶۶ درصد و بازیابی روی ۹۰,۷۴ درصد است.

کینگ و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی که روی کانسار سرب و روی منطقه یونان چین انجام دادند روش فلوتاسیون را برای فرآوری سرب و روی انتخاب کردند. ابتدا سنگ‌های سولفیدی و سپس سنگ‌های اکسیدی را مورد آزمایش قرار دادند در نتیجه این تحقیقات مشاهده شد که نقره به طور وسیعی در تمام ماده معدنی پراکنده شده است و این نتیجه را گرفتند که برای بازیابی محصول به مطالعات کامل‌تری در این منطقه نیاز است.

آقاجانی و همکاران (۱۳۹۳) در مورد خواص سنجی کانسنگ سولفیدی - اکسیدی معدن سرب و روی انگوران با استفاده از میکروسکوپ نوری، XRD، XRF و SEM مطالعه کرده و نشان دادند که سرب در سه کانی گالن، سروزیت و میمتیت و همچنین روی در کانی‌های اسمیت زونیت و همی مورفیت متمرکز شده‌اند. درجه آزادی کانی‌ها ۷۵ میکرون به دست آمد. با توجه به نتایج پیش‌بینی شد که روش فلوتاسیون بهترین گزینه برای فرآوری این ذخیره باشد. با توجه به قابلیت فلوتاسیون بالای گالن توسط کلکتورهای گزنتات برای کاهش مقدار اسفالریت در کنسانتره گالن پیشنهاد داده شد که این کنسانتره یک بار شست و شو داده شود تا بخشی از اسفالریت‌های درگیر به عنوان باطله جدا شده و مجدداً به مدار آسیا بازگردانده شوند.

آقاجانی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی اندازه بهینه خردایش کانی‌های سولفیدی ذخیره بخش سولفیدی - اکسیدی معدن سرب و روی انگوران را تعیین کردند. جهت تعیین درجه آزادی مناسب و

اندازه بهینه خردایش کانی‌های سولفیدی سرب و روی، مطالعه مقاطع کانی‌شناسی و آزمایش فلوتاسیون انجام شد. بررسی کانی‌شناسی نشان داد که کانی‌های گالن و اسفالریت در ابعاد ۴۰ و ۹۰ میکرون بیشترین آزاد شدگی را دارا می‌باشند. همچنین در آزمایش فلوتاسیون مشخص شد که بیشترین عیار و بازیابی گالن و اسفالریت در d80 معادل ۷۵ میکرون حاصل می‌شود.

اکبری و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی تاثیر فلوکولانت کروزمین در افزایش بازیابی نرمه‌های گالن و اسفالریت خط فلوتاسیون سرب و روی لکان را مورد بررسی قرار دادند. ابتدا pH در دو نقطه ۸ و ۱۰ آزمایش شد که pH=۱۰ مناسب‌تر ارزیابی شد. و با تغییر مقدار فلوکولانت در این محدوده نقطه مطلوب از نظر بازدهی جدایش مصرف ۲۱۰۰ گرم برتن کروزمین می‌باشد. در این شرایط بازدهی جدایش از مقدار ۱۳/۸۹ درصد به مقدار ۵۳/۶۴ درصد، عیار از ۱۳/۶۹ درصد به ۱۱/۴۴ درصد و بازیابی از ۲۴ درصد به ۶۱ درصد تغییر می‌کند.

کریمی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی و تحلیل‌های آماری تاثیر پارامترهای عملیاتی بر نرخ دنباله روی ذرات نرمه در فرآیندهای فلوتاسیون پرداختند. پارامترهای متغیر در این تحقیق غلظت کف‌ساز، درصد جامد و اندازه ذرات بود. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کف‌ساز، به دلیل افزایش پایداری کف و در نتیجه بازیابی آب به کنسانتره باعث افزایش نرخ دنباله‌روی می‌شود. تاثیر اندازه ذرات به دلیل مقدار مشابه کسر ابعادی نرمه نمونه‌ها کمتر ولی مثبت بود. اما بیشترین تاثیر مربوط به درصد جامد با روندی منفی بود که این تاثیر منفی با افزایش ویسکوزیته و در نتیجه زمان ماند کف نسبت داده شد که سبب بازگشت ذرات به فاز پالپ می‌شود.

کریستیان و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله‌ای با عنوان فرآوری سرب و روی اکسیدی کانسار calamine ویژگی‌های شیمیایی و کانی‌شناسی این کانسار را بررسی کرده و فلوچارتی را برای بازیابی کانی‌های سولفیدی و کنسانتره سرب و روی ارائه کردند. ایشان همچنین محتوای نسبتاً کم روی در کنسانتره را به دلیل مجاورت اتم‌های آهن در کنار اتم‌های روی در شبکه کریستالی دانستند.

یانگ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای کانی‌شناسی فرآیند کانسار سرب و روی اکسیدی منطقه

سیچوان را مورد بررسی قرار دادند. مشاهده شد که سرب به طور عمده در گالن و سروزیت متمرکز است، درحالی که روی در اسفالریت، اسمیت زونیت و کالامین رخ می‌دهد. باطله موجود هم بیشتر به شکل دولومیت و کلسیت است. همچنین این کانسار دارای غلظت‌های بالای نقره و آهن بوده و بهترین درجه آزادی کانی‌ها در محدوده ابعادی ۲۰ تا ۴۰ میکرون برآورد شد و در پایان بازیابی سرب ۷۲ درصد و بازیابی روی ۶۷ درصد تعیین شد.

دانگ و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله‌ای که درباره زون اکسیدی روی قبل از فلوتاسیون به رشته تحریر درآوردند با استفاده از هیدروسیکلون به بررسی حضور آهن در روی و مضرات تاثیر آهن در فلوتاسیون روی پرداختند. مزایای این روش نسبت به روش‌های سنتی بیان شده است. و به ضرورت استفاده از هیدروسیکلون اشاره شد. در نتیجه روی با عیار ۳۴/۶۶ و بازیابی ۷۳/۴۱ بدست آمد.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل به رشته تحریر درآمده است. که فصل اول مربوط به مقدمه و کلیاتی درباره کانی‌شناسی فرآیند و ارتباط کانی‌شناسی و فرآوری، معرفی منطقه مورد مطالعه و تحقیقات انجام شده قبلی در رابطه با موضوع این پایان‌نامه می‌باشد. در فصل دوم نمونه‌برداری و طریقه آماده‌سازی نمونه‌ها جهت انجام آزمایش و آنالیزهای مختلف توضیح داده شده است. مطالعات دقیق کانی‌شناسی به روش‌های مختلف، به شکل گسترده و همچنین مطالعات درجه آزادی در فصل سوم گنجانده شده است. فصل چهارم مربوط به تست‌های آزمایشگاهی فلوتاسیون جهت تعیین ابعاد مناسب برای بدست آوردن عیار و بازیابی مناسب می‌باشد. در فصل پنجم نیز خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای تحقیق ارائه شده است.

۱-۶- روش مطالعه

شکل ۱-۴ مراحل مختلف انجام پایان نامه را در یک چارت نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴: ساختار پایان نامه

فصل دوم

نمونه برداری

و

آماده سازی نمونه ها

۲-۱- مقدمه

این فصل چگونگی نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه، مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها برای مطالعات مختلف کانی‌شناسی و همچنین آماده‌سازی نمونه‌ها برای مطالعات درجه آزادی و آزمایش‌های فرآوری (تست‌های فلوتاسیون) را دربر می‌گیرد.

۲-۲- نمونه‌برداری

باتوجه به اینکه خوراک ورودی به کارخانه از قسمت‌های مختلف معدن برداشت شده است. لذا برای مطالعات، از دپوی کارخانه استفاده شد. از آنجایی که هدف، مطالعات کانی‌شناسی قبل و حین انجام فرآیند فرآوری می‌باشد، این محل برای نمونه‌برداری انتخاب گردید. بر این اساس و برای دستیابی به اهداف تحقیق و با حضور کارشناسان معدن گوشفیل در تابستان ۱۳۹۵ نمونه‌برداری انجام شد. پس از انتخاب دپوی کارخانه فرآوری برای نمونه‌برداری، به اتفاق کارشناسان، نمونه‌برداری انجام شد. حدود ۱۰۰ کیلوگرم نمونه به شکل تصادفی از نقاط مختلف دپوی کارخانه فرآوری برداشت شد. شکل ۲-۱ محل نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

۲-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از انتخاب نمونه‌های مطلوب، آماده‌سازی نمونه‌ها برای مطالعات کانی‌شناسی (تهیه مقاطع و آنالیزهای مختلف) انجام شد. سپس آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز XRD، بررسی درجه آزادی و انواع درگیری باطله و کانسنگ صورت گرفت. آماده‌سازی نمونه‌ها جهت انجام تست‌های فلوتاسیون و در نهایت آماده‌سازی نمونه‌های فلوته‌شده جهت ارسال به آزمایشگاه جذب اتمی و آنالیز رامان انجام شد. که به ترتیب توضیح داده خواهد شد.

۲-۳-۱- آماده‌سازی مقاطع صیقلی

مقاطع صیقلی در دو مرحله برای مطالعات کانی‌شناسی و مطالعات درجه آزادی تهیه گردید.

۲-۳-۱-۱- مقاطع صیقلی تهیه شده از سنگ معدن

پس از بررسی نمونه‌های دستی تعداد ۵۰ مقطع صیقلی برای مطالعه کانی‌شناسی تهیه شد. تمامی مراحل تهیه مقطع توسط اینجانب در کارگاه تهیه مقطع گروه زمین‌شناسی صورت گرفت. مطالعه مقاطع صیقلی در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشکده معدن انجام گرفت.



شکل ۱-۲: محل نمونه‌برداری (دپوی سنگ کارخانه فرآوری گوسفیل)

۲-۳-۱-۲- آماده‌سازی مقاطع صیقلی برای مطالعه درجه آزادی

پس از تجزیه سرنندی و انتخاب ابعاد مورد نظر که در قسمت بعد توضیح داده می‌شود، برای مطالعه درجه آزادی در این محدوده‌ها از هر کدام از محدوده‌های ابعادی یک نمونه برای تهیه مقطع صیقلی (جمعا ۸ نمونه) به روش مخروط کردن و ربع کردن برداشته شد. در این روش هر نمونه را به صورت توده ای مخروطی شکل در روی یک سطح صاف درآورده و سپس با استفاده از کاتر به ۴ قسمت مساوی تقسیم گردید. در انتها دوقسمت مقابل هم جدا شده و بقیه کنار گذاشته شد. با تکرار این عمل برای دوقسمتی که در هر مرحله جدا شد وزن دلخواه از نمونه به دست آمد. برای هر نمونه این عمل در یک سطح جداگانه و تمیز انجام داده شد. از هر محدوده ابعادی حدود ۵۰ گرم نمونه معرف گرفته شد و جهت تهیه مقطع به کارگاه تهیه مقطع دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود ارسال و مقاطع توسط کارشناس کارگاه تهیه شد.

۲-۳-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها و تهیه نمونه همگن

در این مرحله نمونه‌ها به آزمایشگاه کانه آرایی و فرآوری دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود آورده شد. نمونه‌های سنگی موجود طی دو مرحله خردایش مورد آماده سازی قرار گرفتند. در مرحله اول توسط سنگ شکن فکی موجود در آزمایشگاه سنگ‌ها را به ابعاد ۱ میلیمتر رسانده و در مرحله دوم چندین بار بوسیله آسیای گلوله ای آسیا شدند و ابعاد نمونه‌ها به کمتر از ۱ میلیمتر رسید. سپس بوسیله سری سرندهای ASTM نمونه‌های موجود در ۸ محدوده ابعادی تقسیم‌بندی و تجزیه سرنندی انجام شد. محدوده‌های ابعادی انتخاب شده به شکل زیر است:

۱- ذرات ریزتر از ۱۴۰مش (کمتر از ۱۰۵ میکرون)

۲- ذرات بین ۱۴۰ و ۱۰۰مش (۱۰۵-۱۴۹ میکرون)

۳- ذرات بین ۱۰۰ و ۸۰مش (۱۴۹-۱۷۷ میکرون)

۴- ذرات بین ۸۰ و ۶۰مش (۱۷۷-۲۵۰ میکرون)

۵- ذرات بین ۶۰ و ۴۰ مش (۲۵۰-۴۰۰ میکرون)

۶- ذرات بین ۴۰ و ۳۰ مش (۴۰۰-۵۹۵ میکرون)

۷- ذرات بین ۳۰ و ۲۰ مش (۵۹۵-۸۴۱ میکرون)

۸- ذرات درشت تر از ۲۰ مش (۸۴۹-۱۰۰۰ میکرون)

۲-۳-۳- آماده سازی نمونه ها برای آنالیز XRD

۲-۳-۳-۱- آنالیز XRD از سنگ معدن

برای اطمینان از درستی مطالعات کانی شناسی صورت گرفته شده و همچنین برای شناسایی فازهای کانی شناسی، قسمتی از یکی از بلوک های تهیه شده بوسیله آسیای دستی از جنس آگات تا حد آرد پودر و برای آنالیز XRD آماده شد. همچنین برای شناسایی کانی های رسی موجود در مقاطع نیز یک نمونه به همین شکل آماده شد. نمونه ها برای آنالیز XRD به شرکت کانساران بینالود ارسال گردید.

۲-۳-۳-۲- آنالیز XRD در فراکسیون های مختلف

از هر کدام از محدوده های ابعادی یک نمونه معرف به روش مخروط کردن برداشته شد و به همراه یک نمونه معرف که مخلوطی از همه این ابعاد (ذرات کمتر از ۱ میلی متر) است، برای آنالیز XRD انتخاب گردید. این نمونه ها بوسیله آسیای دستی از جنس آگات تا حد آرد پودر شد که در نهایت ۹ نمونه پودر شده که وزن هر کدام ۲۵ گرم بود برای آنالیز XRD (شناسایی فازهای کانی سازی و کانی های موجود) به دانشگاه دامغان فرستاده شد. نمونه ها بوسیله دستگاه آنالیز پراش اشعه X (XRD)، مدل D8 Advance-Bruker برای شناسایی فازهای کانی سازی و کانی های موجود مورد آنالیز قرار گرفت. برای آنالیز و تعیین دقیق فازها از گام بسیار کوتاه با مدت زمان طولانی حدود ۵۰ دقیقه برای هر نمونه استفاده شد. زاویه اسکن دستگاه (2θ) برای تعیین پیک های پراشی برای اندازه ۴۰ تا ۷۰ درجه تنظیم گردید. بر اساس طیف پراش، نتایج این آنالیز برای هر محدوده ابعادی در فصل سوم آورده شده است. شکل ۲-۲ نمونه های آماده شده برای این آنالیز را نشان می دهد.



شکل ۲-۲: نمونه‌های آماده شده جهت آنالیز XRD

۲-۳-۴- آماده سازی نمونه برای آنالیز ICP-MS

یک نمونه معرف که ترکیبی از همه ابعاد بود برای آنالیز ICP-MS انتخاب شد و توسط شرکت کانساران بینالود تهران به استرالیا ارسال و آنالیز انجام گرفت.

طیف سنج جرمی پلاسمای جفت شده القایی، نوعی از طیف سنج جرمی است که برای تعیین فلزات و تعدادی از غیرفلزات در غلظت‌های پایین کاربرد دارد. در مقایسه با روش‌های دیگر، ICP-MS دارای سرعت و حساسیت بالاتری است. در روش ICP-MS پلاسمای آرگون با دمای بالا ۸۰۰۰-۶۰۰۰ درجه کلوین به عنوان منبع تولید یون عمل می‌کند. به این منظور ابتدا پلاسما در مشعلی از جنس کوارتز تشکیل می‌شود سپس نمونه به داخل پلاسما مهپاشی شده و در دمای بالای پلاسما، تبخیر، اتمی و یونیزه می‌شود. به منظور برقراری ارتباط ICP با طیف سنجی جرمی یون‌های خارج شده از پلاسما از طریق یک سری فیلتر به درون طیف‌سنج جرمی وارد می‌شود. اولین مرحله در اندازه‌گیری، وارد کردن نمونه است. که به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. مرسوم‌ترین روش ورود نمونه، استفاده از یک مهپاش است. وسیله‌ای که به کمک آن محلول‌ها را به آئورسل تبدیل می‌کنند و سپس آئورسل تولید شده به محیط پلاسما انتقال می‌یابد و یون تولید می‌شود. روش دیگر ورود نمونه، استفاده از لیزر است. در این روش با استفاده از لیزر نمونه به شکل ابر پر ماندی درآمده و به درون پلاسما وارد

می‌شود. معمولاً برای نمونه‌های جامد از این روش استفاده می‌شود هرچند که استفاده از این روش مشکلاتی از جمله تهیه استاندارد در آنالیزهای کمی را دربر دارد. مرحله دوم اندازه‌گیری، شامل تولید پلاسما و در نهایت ایجاد یون در آن محیط است. گاز آرگون توسط جریان الکتریکی موجود در سیم‌هایی که اطراف آن را گرفته یونیزه می‌شود و پلاسما را تولید می‌کند. بعد از ورود نمونه دمای بالای پلاسما سبب ایجاد اتم در محیط و در نهایت تولید یون فلزی می‌شود. پیش از جداسازی جرمی باید یون‌های مثبت خارج شده از پلاسما از یون‌های خنثی و ذرات جامد، جدا شوند. پس از حذف یون‌های مزاحم، یون‌های مثبت بر اساس نسبت جرم به بار جداسازی و توسط آشکارساز فوتون افزای ثانویه شناسایی می‌شوند. برای تجزیه و تحلیل کمی، مقدار فراوانی بدست آمده برای یون خاص را به غلظت آن نسبت می‌دهند. آنالیز داده‌ها در یک مجموعه سیستم‌های کامپیوتری انجام می‌گیرد (لیندان و همکاران ۲۰۱۶).

۲-۳-۵- آماده سازی نمونه‌ها برای تست‌های فلوتاسیون

از هر کدام از ۸ محدوده ۳۰۰ گرم نمونه برای انجام تست‌های فلوتاسیون برداشته شد. فلوتاسیون یکی از متداول‌ترین و موثرترین روش‌ها در پری‌عیارسازی کانی‌های سولفیدی از سنگ معدن می‌باشد. در این تحقیق با توجه به سوابق تحقیق فرآوری سرب و روی و همچنین با توجه به استفاده از این روش فرآوری در معدن سرب و روی گوسفیل روش فلوتاسیون برای فرآوری نمونه‌ها انتخاب شد. تست‌های فلوتاسیون در آزمایشگاه کانه آرایی و فرآوری دانشگاه صنعتی شاهرود توسط اینجانب انجام شد که در فصل چهارم توضیح داده می‌شود.

کربنات سدیم برای تنظیم pH، سولفات روی، ساینور سدیم، کلکتور اتیل گزنات پتاسیم و روغن کاج برای فلوتاسیون سرب مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای فلوتاسیون روی از باقیمانده مرحله قبل (فلوتاسیون سرب) استفاده شد که از آهک برای تنظیم pH، سولفات مس، آمیل گزنات پتاسیم و روغن کاج در فلوتاسیون روی استفاده شد.

۲-۳-۶- آماده سازی نمونه‌ها جهت آنالیز جذب اتمی

از هر کدام از محدوده‌های ابعادی یک نمونه ۲۰ گرمی جهت آنالیز جذب اتمی با همان روشی که در برداشت نمونه در قسمت‌های قبل توضیح داده شد (مخروطی و ربع کردن) انتخاب شد. سپس با آسیای دستی از جنس آگات نمونه‌ها تا حد آرد پودر شده و در قوطی‌های مخصوص قرار داده شد. از هر کدام از محصولاتی که در فلوتاسیون سرب و روی به دست آمده (کنسانتره سرب و روی) نیز یک نمونه برای آنالیز جذب اتمی انتخاب گردید که جمعا ۱۶ نمونه از محصولات فلوته شده (۸ نمونه از فلوتاسیون سرب و ۸ نمونه از فلوتاسیون سرب) برای این کار انتخاب شد. در مجموع ۲۴ نمونه برای آنالیز جذب اتمی به آزمایشگاه تجزیه دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود فرستاده شد. مدل دستگاه آنالیز آزمایشگاه Solaar S series و نوع سیستم آن Flame است. در هر کدام از این نمونه‌ها عیار آهن، سرب و روی توسط این مرکز ارائه شد که در محاسبه عیار و بازیابی برای انتخاب بهترین محدوده ابعادی مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۲-۳ نمونه‌های آماده شده برای آنالیز جذب اتمی و آسیای دستی از جنس آگات را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳: نمونه‌های آماده شده جهت آنالیز جذب اتمی و آسیای دستی از جنس آگات

مطالعات گانی شناسی

و

درجه آزادی

۳-۱- مقدمه

در این فصل شناسی سنگ معدن، به روش میکروسکوپ انعکاسی، XRD و آنالیز رامان مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین آنالیز ICP-MS برای تشخیص عناصرها انجام شده که نتیجه آنالیز در این فصل شرح داده می‌شود. در انتهای فصل نیز به تفصیل به بررسی درجه آزادی ذرات در ابعاد مختلف پرداخته می‌شود.

بر اساس مطالعه نمونه دستی سنگ میزبان شیل و آهک کربناته، کانی‌های پیریت، گالن، اسفالریت، کوارتز و باریت با چشم قابل تشخیص است. شکل ۳-۱ کوارتز و باریت مشاهده شده از مقاطع صیقلی (با چشم غیرمسلح) را نشان می‌دهد. براساس مطالعات کانه نگاری کانی‌های سولفیدی اسفالریت، پیریت و گالن فراوان‌ترین کانی‌های فلزی می‌باشند که در ادامه تشریح می‌شوند. براساس مطالعات کانی‌شناسی انجام شده توسط (تیموری اصل و همکاران ۱۳۹۰)، (آیتی و همکاران ۱۳۹۲)، (شهبازی و همکاران ۱۳۹۳)، (دهقانی و شهبازی ۱۳۹۴)، و (کریم‌پور و همکاران ۱۳۹۶) گالن، اسفالریت و پیریت به همراه کانی‌های ثانویه اکسیدهای سرب، روی، آهن و منگنز، کانی‌های باطله کوارتز، باریت، دولومیت، ایلیت، مسکویت، کلسیت، مونت موریلونیت، کائولینیت، آنکريت و بیتومین مهمترین کانی‌ها در محدوده کانی‌سازی سرب و روی معدن گوشفیل می‌باشند (جدول ۳-۱).



شکل ۳-۱: کوارتز و باریت در مقاطع صیقلی (الف) باریت پراکنده در سطح مقطع (رنگ سفید مایل به صورتی) (ب) کوارتز در تمام سطح مقطع به رنگ سفید قابل مشاهده است.

جدول ۳-۱: مطالعات کانی‌شناسی منطقه گوشفیل

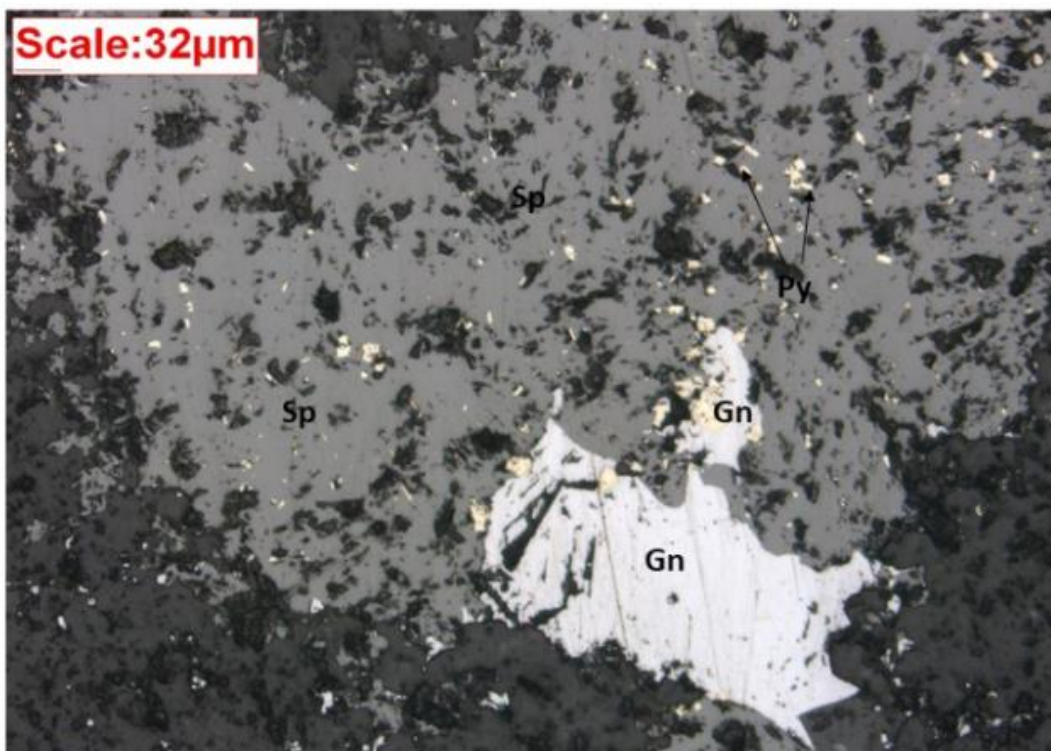
کانی‌های منطقه شامل گالن، اسفالریت و پیریت است. همچنین مدارکی از جانشینی اسفالریت توسط دولومیت دیده می‌شود. در برخی موارد پیریت به علت هوازدگی به اکسیدهای آهن تبدیل شده است. کانی‌های غیر فلزی در شیل و ماسه سنگ‌ها عمدتاً کوارتز و کلسیت هستند.	تیموری اصل و همکاران (۱۳۹۰)
کانی‌های سولفیدی منطقه عمدتاً شامل اسفالریت، گالن و پیریت است. در آنالیز XRD فازهای اصلی شامل گالن، اسفالریت به همراه کوارتز و دولومیت و فازهای فرعی شامل ایلیت، مسکویت، کلسیت و پیریت است. مونت موریلونیت و کائولینیت در نتایج آنالیز نمونه‌های شیلی و دولومیتی معدن گوشفیل مشاهده شده است.	آیتی و همکاران (۱۳۹۲)
گالن و اسفالریت در چند تیپ در شرایط مختلف تشکیل شده‌اند. تیپ دولومیتی حاوی کانی‌های گالن و اسفالریت است. تیپ پرپیریت حاوی گانگ کربناته، مقادیر زیادی پیریت و کانی‌های بارزش گالن و اسفالریت است.	شهبازی و همکاران (۱۳۹۳)
مطالعه مقاطع صیقلی نشان داده است که این کانسنگ سرب و روی از چند تیپ مختلف شامل کانه سرب و روی دولومیتی، سرب و روی پرپیریت، شیت‌های عیاردار و کانسنگ سرب و روی بیتومین‌دار تشکیل شده است. کانی‌های اصلی اسفالریت، گالن و پیریت است.	دهقانی و شهبازی (۱۳۹۴)
کانی‌شناسی منطقه شامل اسفالریت، گالن، پیریت و اندکی کالکوپیریت است که با کانی‌های باطله آنکريت، کوارتز، بیتومین و کمتر کلسیت و باریت همراهی می‌شود. کانی‌های ثانویه شامل کانی‌های ثانویه سرب و روی و اکسیدهای آهن و منگنز است.	کریم پور و همکاران (۱۳۹۶)

۳-۲- کانه نگاری

براساس مطالعات کانه نگاری از مقاطع مورد مطالعه فراوان‌ترین کانی‌های سولفیدی مشاهده شده عمدتاً به شکل اسفالریت، گالن و پیریت وجود دارند. شکل ۳-۲ هر سه کانی (گالن در کنار پیریت های ریزی که در اسفالریت پراکنده شده‌اند) را در کنار هم نشان می‌دهد. همچنین کوارتز و باریت در درصدهای خیلی کم در این مقاطع مشاهده شدند. باطله موجود در این مقاطع نیز شیل های سیاه رنگ می‌باشد که زمینه اکثر مقاطع را تشکیل داده‌اند. هر کدام از این کانی‌ها به همراه تصاویر گرفته شده از آن‌ها یک به یک توضیح داده می‌شود.

علایم اختصاری به کار برده شده در عکس‌ها به صورت زیر می‌باشد.

(اسفالریت: Sp، گالن: Gn، پیریت: Py، کوارتز: Qz، باریت: Ba)

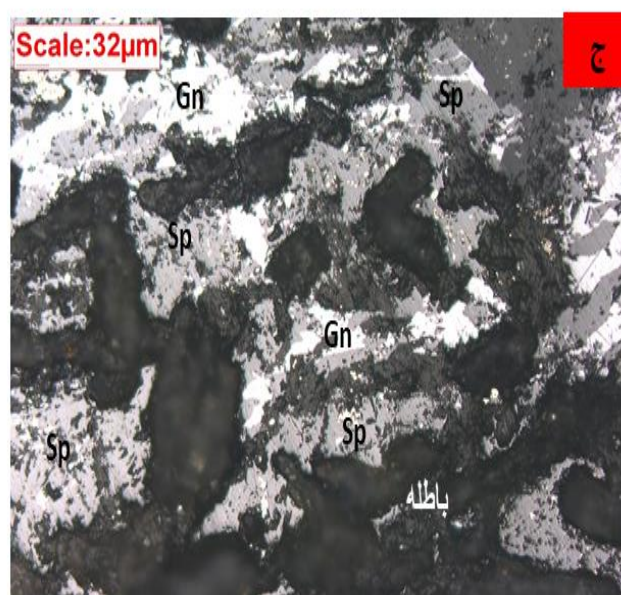
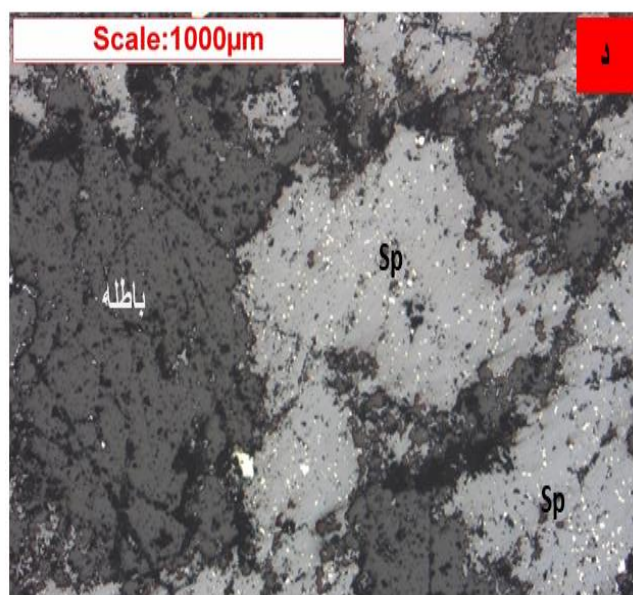
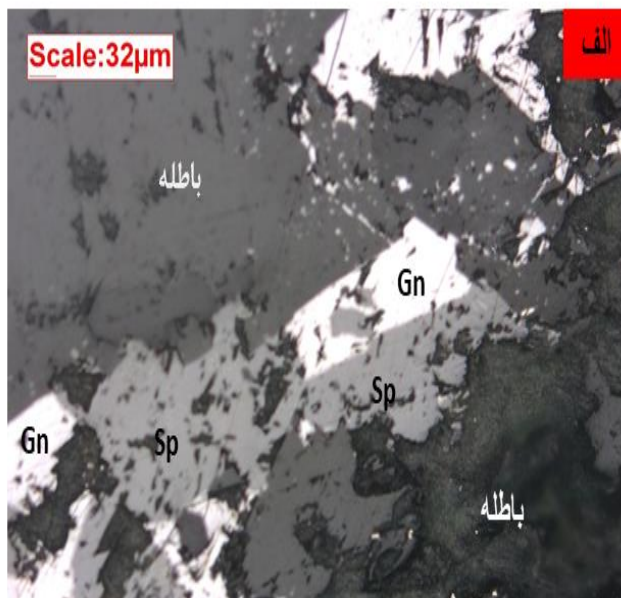
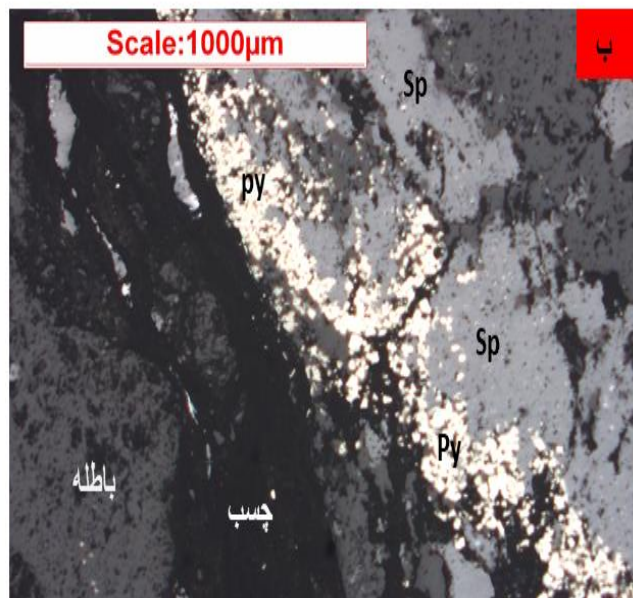


شکل ۲-۳: گالن در کنار اسفالریت ودانه های ریز پیریت پراکنده در اسفالریت در نور ppl

۳-۲-۱ - اسفالریت (ZnS)

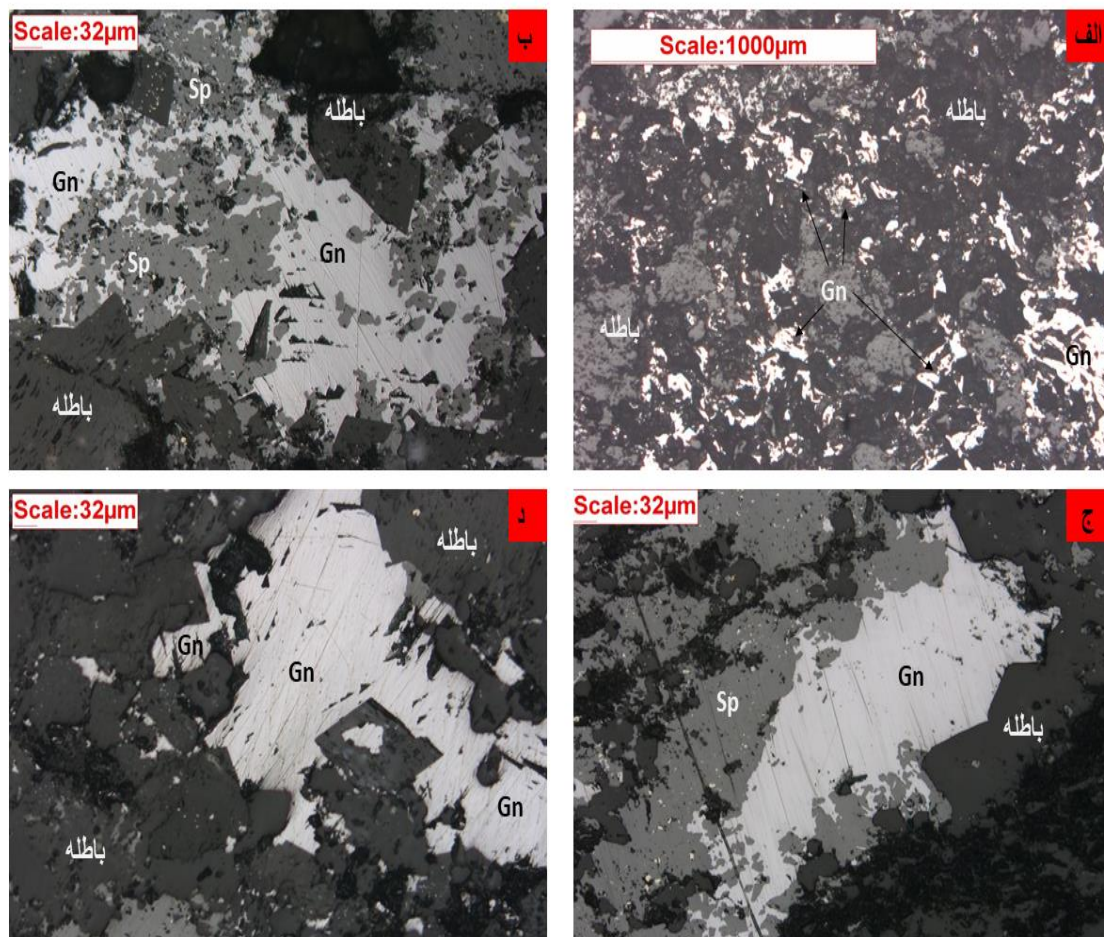
اسفالریت یکی از فراوانترین و مهمترین کانی‌های سولفیدی موجود در مقاطع صیقلی مشاهده شده است. که به طور یکنواخت در ماتریکس غنی از پیریت و گالن پراکنده است. به طوری که در برخی از مقاطع اسفالریت حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از سطح مقطع را تشکیل داده است. انواع گوناگونی از اسفالریت در مقاطع مشاهده می‌شود، به شکل تجمعات هم بعد و بی شکل قابل مشاهده است. اغلب اسفالریت های موجود حاوی بلور های ریز و شکل دار پیریت است که به شکل های مختلف و گاهی به صورت نقطه های بسیار ریز در سطح اسفالریت پراکنده شده‌اند که نشان دهنده جانشینی پیریت بوسیله اسفالریت است. همچنین اسفالریت به شکل پراکنده بر روی سطح باطله (اغلب باطله موجود در نمونه‌ها، شیل های سیاه رنگ است) دیده می‌شود. در برخی موارد به شکل پرکردگی رگچه ها وجود دارد. رشد متداخل گالن و اسفالریت در قسمت رگچه ها به چشم می خورد که به همراه

کانی‌های باطله و پیریت تشکیل شده اند. در شکل ۳-۳ انواع اسفالریت‌های موجود در مقاطع صیقلی نمایش داده می‌شود.



شکل ۳-۳: اسفالریت در مقاطع صیقلی (الف) اسفالریت به همراه گالن در نور ppl (ب) اسفالریت به همراه رگه‌های پیریت در نور ppl (ج) اسفالریت‌های پراکنده و بی شکل به همراه گالن پراکنده رگه‌ها در نور ppl (د) اسفالریت‌های شکل دار به همراه دانه‌های ریز پیریت درون آن‌ها در نور ppl

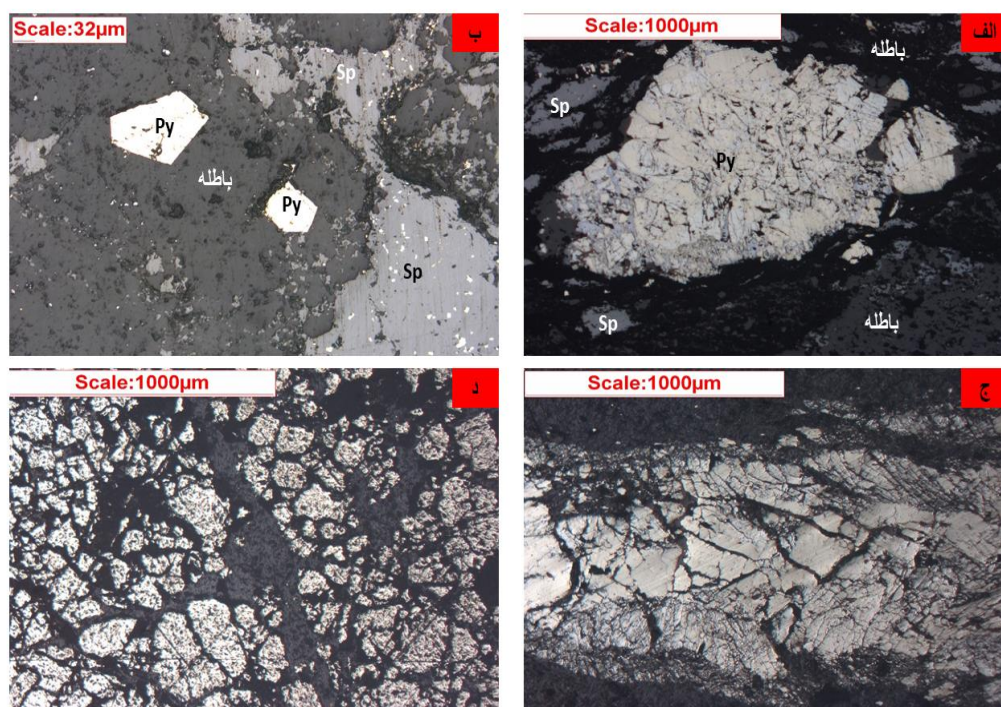
کانی با ارزش دیگری که در مقاطع صیقلی مشاهده می‌شود گالن است. فراوانی گالن در مقاطع کمتر از اسفالریت بوده و حدود ۸ تا ۱۰ درصد از کل مقاطع را شامل می‌شود. بلورهای گالن به صورت ذرات بی شکل تا نیمه شکل دار (شکل های هندسی نامنتظم) و در برخی موارد به صورت تیغه ای و مستطیلی یافت می‌شود. در بعضی مقاطع گالن به صورت درگیر با اسفالریت وجود دارد. گالن همچنین به صورت پراکنده و بلورهای بسیار ریز در سطح باطله یافت می‌شود که این پراکندگی ها اغلب نامنظم و در برخی موارد به صورت منظم است. درگیری پیریت با گالن نسبت به درگیری پیریت با اسفالریت بسیار کمتر است با این حال در بعضی از مقاطع این درگیری به وضوح مشاهده می‌شود. (شکل ۳-۴)



شکل ۳-۴: گالن در مقاطع صیقلی (الف) بلورهای گالن که به شکل های مختلف در باطله پراکنده در نور ppl (ب) گالن و اسفالریت های توده ای پرکننده در نور ppl (ج) رگه های گالن و اسفالریت در کنار هم در نور ppl (د) بلورهای درشت شکل دار گالن پراکنده در باطله در نور ppl

۳-۲-۳- پیریت (FeS₂)

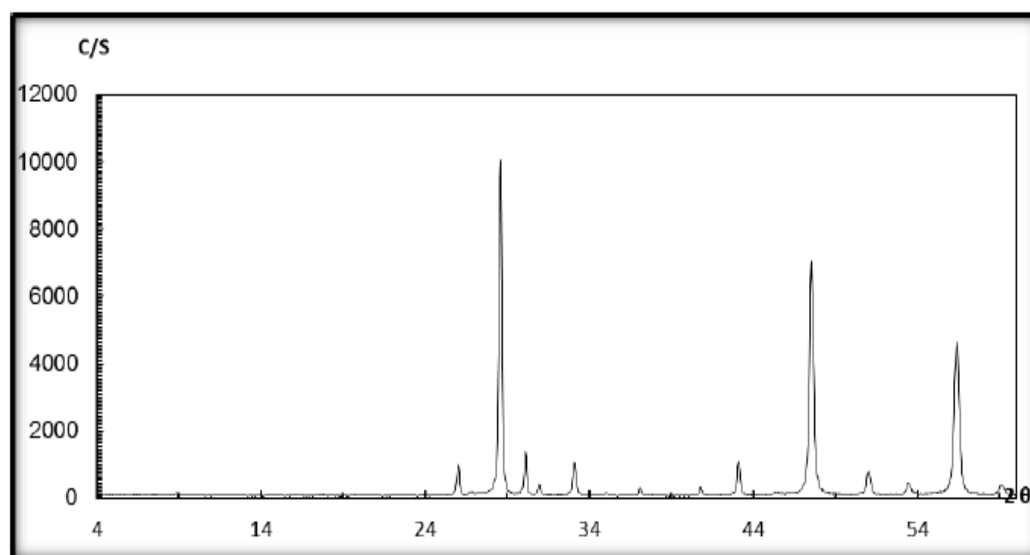
از دیگر کانی‌های تشکیل دهنده نمونه‌های تهیه شده از معدن گوشفیل پیریت است. که به صورت قطعات بزرگ، نیمه شکل‌دار و در برخی موارد به صورت ذرات بسیار ریز پراکنده در متن سنگ، یا بلورهای شکل‌دار موجود در کانی اسفالریت و یا تجمع کانی‌های نسبتاً شکل‌دار به چشم می‌خورد. پیریت یکی از فراوان‌ترین کانی‌ها در اغلب مراحل کانی‌سازی است به طوری که فراوانی این کانی در برخی مقاطع به ۲۰ تا ۲۵ درصد می‌رسد. کانی پیریت اغلب به صورت هم‌رشدی با اسفالریت وجود دارد و درگیری زیادی با کانی اسفالریت دارد. بعضی از پیریت‌ها بر روی هسته‌ای از اسفالریت تشکیل شده‌اند و در تمام سطح اسفالریت دیده می‌شوند. پیریت گاهی به شکل رگه‌های طولانی دیده می‌شود. همچنین به شکل‌های توده‌ای، مدور، چندضلعی‌های منتظم و پرکننده فضاهای خالی نیز وجود دارد. شکل ۳-۵ چند نوع از پیریت‌های مشاهده‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵ پیریت در مقاطع صیقلی الف) توده‌ای از پیریت در بین ذرات اسفالریت و باطله در نور ppl
ب) ذرات شکل‌دار پیریت در کنار بلورهای ریز پیریت پراکنده در اسفالریت در نور ppl ج) رگه‌ای طولانی از پیریت در نور ppl د) بلورهای ریز و درشت پیریت پراکنده در سطح مقطع در نور ppl

۳-۳- بررسی پراش XRD نمونه اسفالریت

با توجه به اینکه در برخی مقاطع بلورهای بسیار ریز مشکوک به پیریت و یا پیروتیت به صورت ادخال با اسفالریت مشاهده شد لذا برای اطمینان از نتایج مطالعات میکروسکوپی، یک قطعه از نمونه اسفالریت حاوی این ذرات به اندازه ۲ سانتی متر پودر گردید و برای آنالیز XRD فرستاده شد (شکل ۳-۶). بر اساس آنالیز XRD کانی اصلی اسفالریت به همراه پیریت می باشد و علاوه بر آن گالن نیز آشکار شده است. دولومیت، مسکویت، ایلیت و میکروکلین نیز از کانی های سنگ میزبان این کانی سازی می باشند.

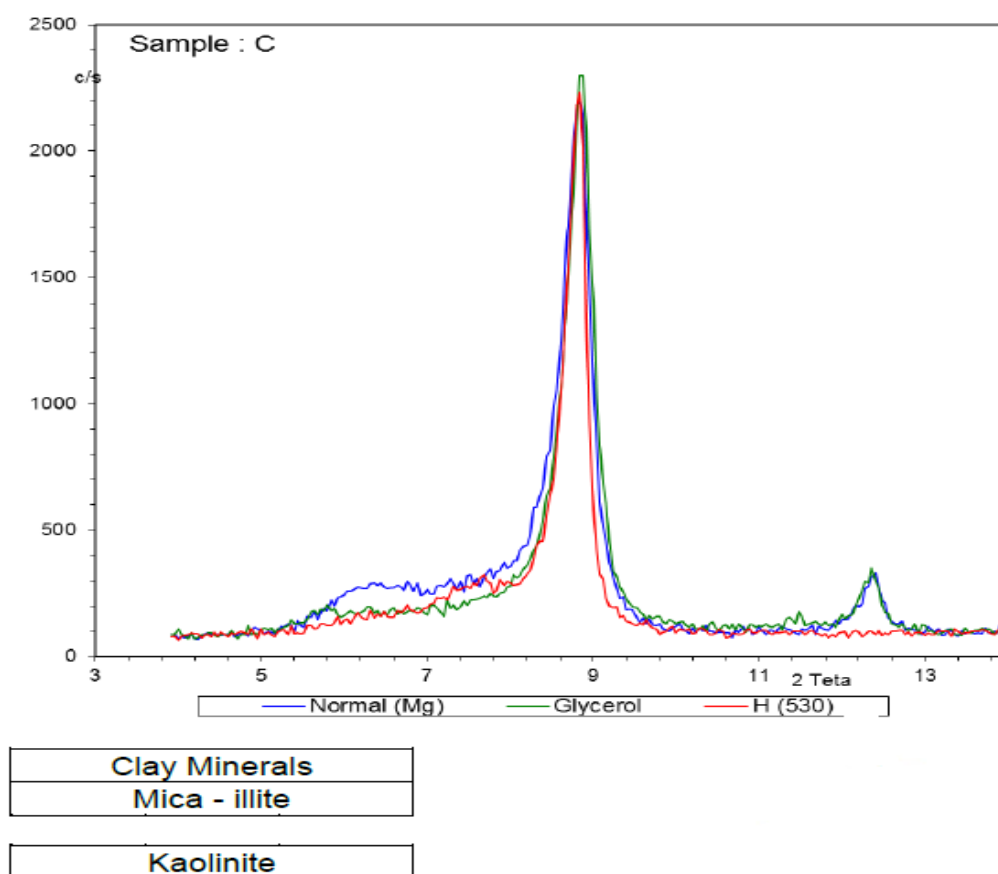


Sample:	Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Minor Phase(s)
S	Sphalerite (05-0566)	Pyrite (06-0710)	Microcline (19-0932)
Az: 15479-66360	ZnS	FeS ₂	KAlSi ₃ O ₈
Date : 23/5/2017		Galena (05-0592)	
kV = 40		PbS	
mA = 30		Dolomite (36-0426)	
Ka. = Cu		CaMg(CO ₃) ₂	
Fil. = Ni		Muscovite - illite (26-0911)	
		KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	

شکل ۳-۶: نمودار پراش XRD نمونه اسفالریت

۳-۴- تشخیص کانی‌های رسی بوسیله XRD

برای تشخیص کانی‌های رسی موجود در نمونه‌ها، آنالیز XRD توسط شرکت کانساران بینالود انجام شد. در این روش ابتدا نمونه جهت حذف کانی‌های کربناته به ظرف حاوی اسید رقیق وارد می‌گردد. اسید مورد استفاده اسید استیک رقیق به جای اسید کلریدریک می‌باشد، چرا که اسید کلریدریک هرچند ضعیف می‌تواند به ساختار رس‌ها آسیب وارد کند. برای این کار یک قسمت اسید استیک با چهار قسمت آب مقطر مخلوط شده و به مدت یک شبانه‌روز نمونه در آن قرار می‌گیرد. سپس نمونه از داخل ظرف اسید، سیفون و یا با سانتریفیوژ جدا می‌گردد (www.binaloud.com). در نتیجه این آنالیز مشخص شد که کانی‌های رسی این نمونه‌ها میکا، ایلیت و کائولینیت است. شکل ۳-۷ پراش XRD مربوط به کانی‌های رسی را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷: آنالیز XRD مربوط به کانی‌های رسی

۳-۵- شیمی سنگ معدن

بررسی شیمی کانسنگ و باطله خوراک ورودی به کارخانه فرآوری از دو دیدگاه بررسی عناصر کمیاب مفید و مضر بسیار حائز اهمیت می باشد و بخشی از مطالعات کانی شناسی فرآیند است. به منظور بررسی عناصر اصلی کمیاب موجود در نمونه ها یک نمونه کلی که نماینده خوراک ورودی به کارخانه می باشد تهیه گردید و به روش ICP-MS در کشور استرالیا آنالیز شد (جدول ۳-۲). بر این اساس میزان $Pb=1/69$ درصد، $Zn=4/09$ درصد، $Fe=2/58$ ، $Mg=2/63$ درصد، $Ca=4/83$ درصد، $K=2/11$ درصد، $Al=4/93$ درصد و $S=7/24$ درصد می باشد. که سرب و روی و پیریت مربوط به فاز کانی سازی سولفیدی و k و Al مربوط به فاز سیلیکاته است. کانی های رسی موجود در شیل ها و Ca و Mg مربوط به کربنات ها به ویژه دولومیت می باشد.

میزان نقره تا ۱۶ ppm احتمالاً داخل گالن سرب و یا اینکه مربوط به فاز آرژنتیت سولفید شده در داخل گالن است (آیتی و همکاران ۱۳۹۳).

آشکار شدن ایندیوم تا ۲/۳ گرم بر تن احتمالاً مربوط به کانی اسفالریت می باشد. کلارک ایندیوم در پوسته زمین ۲۵۰ میلی گرم بر تن است. مهم ترین ماده معدنی دارای ایندیوم در درجه اول اسفالریت و سپس کاکوپیریت می باشد. این عنصر از محصولات جانبی ذخایر سولفید روی بدست می آید. در حالی که از ذخایر مس هم می توان این عنصر را استخراج کرد (کوک و همکاران ۲۰۱۱) و (باتلر و همکاران ۱۹۹۹). وجود ایندیوم در کنسانتره معدن باما نیز در مقالات مختلف به اثبات رسیده است.

عنصر گالیم تا ۱۲/۹ گرم بر تن آشکار شده است. این عنصر به طور متداول در شبکه عنصر آلومینیوم جایگزین می شود. البته ممکن است در شبکه عنصر روی به خصوص کانی اسفالریت هم جانشین شود. گالیم در درجه اول محصول جانبی ذخایر بوکسیت است و در درجات بعدی از ذخایر روی هم به دست می آید (پندیاس و همکاران ۲۰۰۷).

آشکار شدن آرسنیک تا ۱۴۶ گرم بر تن احتمالاً مربوط به کانی های گالن و پیریت است. رفتار شیمی عنصر آرسنیک بسیار شبیه به رفتار شیمی گوگرد است به طوری که بیشترین غلظت این

عنصر در کانی‌های سولفیدی رخ می‌دهد. این عنصر در کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، گالن و مارکازیت دارای غلظت‌های متغیری است (مدبری ۲۰۰۴).

جدول ۲-۳: عناصر موجود در نمونه کلی در آنالیز ICP-MS

عنصر	DL	فراوانی (ppm)	عنصر	DL	فراوانی (ppm)	عنصر	DL	فراوانی (ppm)
Ag	0.01	16	Hf	0.02	0.14	S	50	7.24%
Al	10	4.93%	Hg	0.05	4.8	Sb	0.1	85.8
As	0.5	146	Ho	0.02	0.28	Sc	1	8
Ba	0.2	4150	In	0.01	2.3	Se	0.05	1.31
Be	0.2	1.5	K	10	2.11%	Sm	0.02	2.84
Bi	0.1	0.2	La	0.05	11.9	Sn	0.2	3.1
Ca	10	4.83%	Li	0.5	27.2	Sr	0.1	180
Cd	0.05	62.2	Lu	0.02	0.14	Ta	0.01	0.26
Ce	0.05	30.4	Mg	10	2.63%	Tb	0.02	0.28
Co	0.2	11.2	Mn	2	1290	Te	0.05	0.07
Cr	2	219	Mo	0.1	5.2	Th	0.02	6.1
Cs	0.1	7.6	Na	10	1280	Ti	10	1470
Cu	0.2	82.2	Nb	0.5	4.2	Tl	0.1	1.2
Dy	0.02	1.43	Nd	0.02	12.8	Tm	0.05	0.13
Er	0.05	0.86	Ni	2	12.8	U	0.02	3.92
Eu	0.02	0.63	P	5	338	V	2	74
Fe	100	2.58%	Pb	0.2	1.69%	W	0.1	1.7
Ga	0.05	12.9	Pr	0.05	3.32	Y	0.05	1.03
Gd	0.05	2.11	Rb	0.1	102	Yb	0.05	1.03
Ge	0.05	1.14	Re	0.0005	0.01	Zn	0.2	4.09%

همچنین مقدار ۱/۳۱ گرم بر تن عنصر سلنیم آشکار شده است. بر اساس تحقیقات ایوانوف در سال ۱۹۶۹ سلنیم به صورت ناخالصی در کانی‌های سولفیدی مولیدنیت، کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت وجود دارد.

آشکار شدن ۱/۱۴ گرم بر تن ژرمانیوم احتمالاً مربوط به جانشینی کانی اسفالریت است. ژرمانیوم عمدتاً به عنوان محصول جانبی ذخایر روی از سنگ معدن اسفالریت بازیافت می‌شود (رابینستین ۲۰۰۲) (ریسر و همکاران ۲۰۱۵) (جدول ۲-۳).

مطالعه شیمی کانی‌های گالن، اسفالریت و دولومیت توسط کریم‌پور و همکاران ۱۳۹۶، بویری

کناری و راستاد ۲۰۱۶ و آیتی و همکاران ۱۳۹۳ و ... صورت گرفته است

بر اساس نتایج پژوهش کریم‌پور و همکاران ۱۳۹۶ توسط مایکروپروپ الکترونی بر روی ۱۰ نمونه

کانی گالن، میزان سرب موجود در گالن ۸۵/۵ تا ۸۷/۸ درصد است. فراوانی گوگرد از ۱۳/۶ تا ۱۴/۵

درصد است. میزان فراوانی نقره در گالن بین ۵۴۱ تا ۱۰۲۷ گرم در تن و میزان آهن در شبکه گالن

بین ۲۸۳ تا ۵۵۴ گرم در تن است. عنصر قلع از ۵۴۱ تا ۱۰۲۷ گرم بر تن در این نمونه‌ها موجود است.

مقدار کادمیوم بین ۲۸ تا ۲۴۹ گرم بر تن است. میزان مس موجود در گالن از صفر تا ۱۶۷ گرم بر تن

می‌باشد. (جدول ۳-۳)

جدول ۳-۳: نتایج تجزیه ریزپردازنده الکترونی در کانی گالن معدن گوشفیل (کریم‌پور و همکاران ۱۳۹۶)

نمونه	Pb (%)	S (%)	Ag(ppm)	Sb(ppm)	Fe(ppm)	Cd(ppm)	Cu(ppm)
۱	۸۶/۷	۱۴/۵	۸۸۶	۱۱۷۹	۵۵۴	۲۴۹	۱۶۷
۲	۸۶/۲	۱۴/۵	۸۸۰	۱۱۱۰	۴۸۲	۱۳۸	۱۶
۳	۸۶/۱	۱۴/۴	۹۸۳	۸۷۸	۵۴۳	۱۰۲	۹
۴	۸۷/۸	۱۳/۷	۶۳۳	۸۲۸	۲۸۳	۶۳	-
۵	۸۷/۸	۱۳/۶	۵۴۱	۶۹۳	۳۶۱	۲۸	-
۶	۸۵/۸	۱۴/۴	۹۰۳	۱۲۱۷	۴۰۸	۱۱۸	۴۳
۷	۸۵/۸	۱۴/۵	۹۲۰	۱۰۹۰	۵۱۹	۱۹۱	۸
۸	۸۵/۶	۱۴/۵	۱۰۲۷	۱۰۱۵	۴۵۷	۱۴۵	۸
۹	۸۵/۸	۱۴/۴	۹۹۷	۱۰۰۲	۵۱۳	۱۳۴	۸
۱۰	۸۶/۹	۱۴/۴	۹۰۱	۱۲۱۱	۴۵۲	۱۱۶	۴۱
D.L	۴۴ ppm	۸ ppm	۱۷۰ ppm	۱۵۰ ppm	۶ ppm	۱۷۶ ppm	۶ ppm

نتایج تجزیه ۱۵ نقطه در نمونه اسفالریت معدن گوشفیل در جدول ۳-۴ آورده شده است. روی

موجود در اسفالریت از ۶۰/۴۰ تا ۶۴/۷۶ درصد می‌باشد. همچنین میزان گوگرد از ۳۳/۲۲ تا ۳۳/۶۵

درصد است. آهن موجود در اسفالریت بین ۰/۹۸ تا ۵/۱۵ درصد گزارش شده است. میزان کادمیوم در

اسفالریت معدن گوشفیل بین ۱۳۲۹ تا ۲۱۸۳ گرم بر تن متغیر است. همچنین میزان نقره از ۲ تا ۱۲۱ گرم بر تن موجود و فراوانی منگنز بین ۸ تا ۱۱۲ گرم بر تن می‌باشد. مقدار مس در ساختار اسفالریت نیز بین ۵ تا ۵۹۳۰ گرم در تن متغیر است که البته در بیشتر نمونه ها کمتر از ۲۰۰ گرم در تن است (جدول ۳-۴).

بر اساس مطالعات (بویری کناری و راستاد ۲۰۱۶) بر روی دولومیت‌های این منطقه اغلب مقدار MgO و CaO در دولومیت‌های سنگ میزبان نسبت به دولومیت‌های هیدروترمالی بیشتر است. در دولومیت‌های سنگ میزبان میزان CaO از ۳۱/۱۶ تا ۳۴/۹۶ درصد و میزان MgO از ۱۳/۱۵ تا ۲۰/۸۲ درصد می‌باشد. در حالی که در دولومیت‌های هیدروترمالی میزان CaO از ۲۶/۴۶ تا ۳۴/۳۳ درصد و میزان MgO از ۱۲/۷۳ تا ۲۲/۳۵ درصد است. برعکس میزان آهن و منگنز دولومیت‌های هیدروترمالی در مقایسه با دولومیت سنگ میزبان افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد. در دولومیت‌های هیدروترمالی میزان FeO از ۳/۱۸ تا ۱۰/۶۲ درصد و میزان MnO از ۰/۴۵ تا ۴/۷۴ درصد است. در حالی که در دولومیت‌های سنگ میزبان میزان FeO از ۰/۰۹ تا ۰/۶۳ و میزان MnO از ۰/۰۱ تا ۰/۱۴ می‌باشد.

بر اساس مطالعات آیتی و همکاران ۱۳۹۳ بر روی نمونه‌های گالن معدن گوشفیل، میزان سرب از ۸۵ تا ۸۸/۳۲ درصد، میزان گوگرد از ۱۰/۵۱ تا ۱۱/۵۵ درصد، عنصر آهن بین ۰/۰۲ تا ۰/۷۹ درصد، مقدار کادمیوم از ۰/۰۵ تا ۰/۱۴ درصد و میزان قلع کمتر از ۰/۰۲ درصد می‌باشد. همچنین نمونه‌های اسفالریت دارای ۶۱/۶۶ تا ۶۴/۱۷ درصد روی، از ۳۱/۹۲ تا ۳۲/۸۱ درصد گوگرد، میزان آهن بین ۰/۱ تا ۰/۳۷ درصد، مقدار کادمیوم بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۹ درصد و مقدار نقره از ۰/۰۱ تا ۰/۰۷ درصد می‌باشد. در نمونه‌های دولومیت میزان آهن از ۰/۲۸ ال ۱/۶۸ درصد، میزان منگنز از ۰/۱۱ تا ۰/۴۲ درصد، مقدار کلسیم بین ۲۵/۱۶ تا ۲۵/۲۸ درصد و مقدار منیزیم بین ۱۳/۰۸ تا ۱۳/۷۵ درصد می‌باشد.

جدول ۳-۴: نتایج تجزیه ریزپردازنده الکترونی در کانی اسفالریت معدن گوشفیل (کریم پور و همکاران ۱۳۹۶)

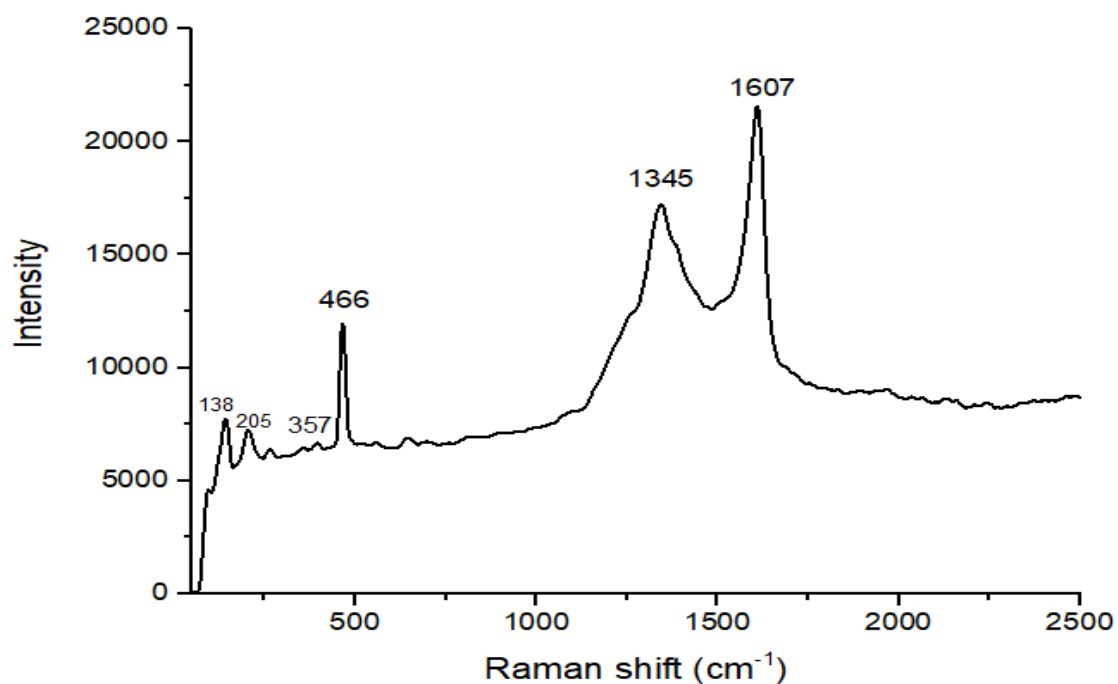
نمونه	Zn (%)	S (%)	Fe (%)	Cd (ppm)	Ag (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
۱	63/05	33/45	1/55	1839	121	98	2034
۲	62/41	33/54	3/79	2183	227	30	5930
۳	63/15	33/65	1/95	1739	98	69	1760
۴	64/74	33/43	1/09	1426	99	87	89
۵	64/39	33/37	0/98	1670	81	112	131
۶	62/20	32/99	3/10	1800	65	81	121
۷	62/40	32/29	3/64	1355	63	9	88
۸	62/01	32/98	3/71	2056	59	83	144
۹	60/99	33/22	4/44	1763	2	45	5
۱۰	61/01	33/15	3/94	1645	2	41	5
۱۱	61/26	33/27	4/51	1800	78	60	-
۱۲	60/40	33/19	5/15	1936	6	32	123
۱۳	63/21	33/35	4/85	1148	-	57	-
۱۴	61/10	33/20	3/91	1750	6	41	143
۱۵	61/83	33/40	4/06	1329	17	8	559
D.L	۶ppm	7ppm	4ppm	10ppm	10ppm	4ppm	10ppm

۳-۶- طیف سنجی رامان

روش طیف سنجی رامان یکی از فن آوری های نوین محسوب می شود که در رشته های مختلف علوم، کاربرد فراوانی دارد. با وجود کاربرد گسترده آن در علوم زمین در دو دهه گذشته، متأسفانه، این روش در کشور ما کمتر شناخته شده است. از این روش در سنگ شناسی به خصوص در شناخت شیشه های سیلیکاتی و ساختار مذاب در دما و فشار بالا، یافتن مکانیسم حل بخاراتی مانند H_2 ، CO_2 و H_2O در مذاب سیلیکاتی (مک میلان، ۱۹۸۹) و مطالعه شخانه ها (اشمیت و پوپ، ۲۰۰۵) استفاده شده است (صالحی و همکاران ۱۳۹۲). بررسی کانی ها و شناسایی فازهای اصلی کانیایی با این روش، رده بندی سنگ ها و شرح فرایندهای پترولوژیکی را آسان تر کرده است (اشمیت و پوپ، ۲۰۰۵). در این پژوهش به منظور تعیین فازهای کانی های موجود در نمونه اولیه (مقطع صیقلی) و برای تعیین فازهای کانی های موجود در محصول نهایی (بعد از فلوتاسیون روی) از روش طیف سنجی رامان استفاده شده

است و طیف‌های حاصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. در هر طیف رامان، محور افقی نشانگر جابجایی رامان است که بر حسب cm^{-1} بیان می‌شود و محور عمودی نشان‌دهنده شدت و متناسب با مقدار فوتون‌های آشکار شده برای دستگاه است.

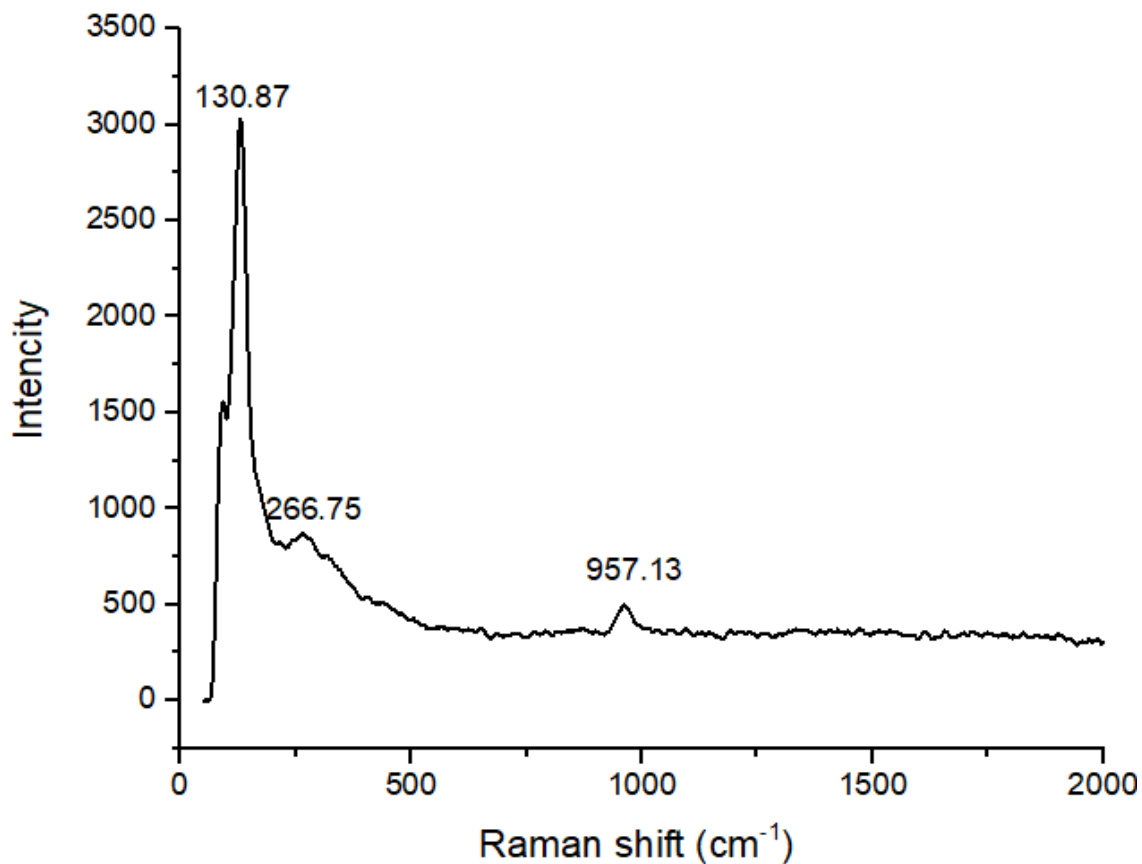
برای آنالیز رامان ۲ نمونه به آزمایشگاه اندازه‌گیری دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود فرستاده شد. در نمونه‌ای که از مقطع صیقلی گرفته شد، کانی‌های کوارتز، اسفالریت، کلسیت و پیریت آشکار شدند. کوارتز در محدوده 138 cm^{-1} تا 466 cm^{-1} ، اسفالریت در محدوده 357 cm^{-1} (بازاتا و همکاران ۲۰۱۳)، کلسیت در محدوده 466 cm^{-1} و پیریت در محدوده 1607 cm^{-1} آشکار شده است (لوپز و همکاران ۲۰۱۵) (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸: طیف رامان مقطع صیقلی

در نمونه‌ای که از کنسانتره روی برداشت شد، اسفالریت غنی از آهن و کوارتز آشکار شدند. کوارتز در محدوده 130 cm^{-1} ، اسفالریت غنی از آهن با باند 266 cm^{-1} (بازاتا و همکاران ۲۰۱۳) آشکار شده

است (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹: طیف رامان کنسانتره روی

۳-۷- درجه آزادی

یکی از مهم‌ترین اهداف خردایش در فرآوری مواد معدنی آزادسازی کانی‌های بارزش از مواد باطله همراه در مناسب‌ترین ابعاد ممکن است. اگر بتوان به چنین هدفی دست یافت نه تنها با کاهش میزان خردایش، مصرف انرژی کاهش می‌یابد، بلکه هزینه جدایش کانی‌ها در مراحل بعدی نیز کمتر و فرآیند جدایش ساده‌تر می‌شود. در حقیقت تولید محصول پرعیار در گرو مطالعه صحیح درجه آزادی است. در صورتی که هدف تولید محصولات با عیار بالا باشد، آزاد شدن کانی‌ها امری ضروری است.

درجه آزادی به عوامل مختلفی بستگی دارد:

۱- هرچه کانی با ارزش‌تر باشد درجه آزادی را باید بالاتر گرفت (به نوع کانی با ارزش یا کانه بستگی

دارد).

۲- هرچه عیار کانه بیشتر باشد میزان خرد کردن کمتر خواهد بود.

۳- هرچه درجه آزادی و میزان خردایش بیشتری لازم باشد، تاسیسات کانه‌آرایی پیشرفته‌تر و مجهزتری لازم است.

۴- در عمل تا حدی (در اغلب موارد) مواد را خرد می‌کنند که به درجه آزادی 80٪ برسد.

۵- بعضی سنگ‌ها تمایل دارند از مرز دانه‌ها بشکنند مانند کنگلومرا و بعضی سنگ‌ها مانند سنگ‌های گرانیتی تمایل دارند که از سطح کانی‌ها بشکنند. بنابراین هرچه سنگ همگن‌تر باشد برای رسیدن به یک درجه آزادی مشخص، میزان خردایش بیش‌تر خواهد بود.

۶- نوع روش خردایش تاثیر بسزایی بر روی درجه آزادی مواد معدنی دارد.

در عمل، آزادسازی کامل کانی‌ها به ندرت امکان پذیر است، حتی اگر سنگ معدن تا حد اندازه دانه‌های کانی با ارزش خرد شود. درجه آزادی در موقعی که مرزهای بین کانی و گانگ ضعیف است، بالا می‌باشد. ولی معمولاً پیوند بین کانی و گانگ محکم است و در طی خردایش اجزا تشکیل دهنده با هم شکسته می‌شوند. این امر باعث تولید محصول میانی زیاد و ذرات کاملاً آزاد شده کم می‌شود (Wills & Atkinson, 1993).

خردایش فرآیندی است که طی آن مواد معدنی در مراحل مختلفی از جمله سنگ شکنی و آسیا به محصولی با ابعاد مورد نظر تبدیل می‌شوند تا نه تنها حمل و نقل آن به مراحل بعدی ساده‌تر شود، بلکه دستیابی به درجه آزادی که مهم‌ترین اهداف خردایش است را نیز تامین کند. جدایش معمولاً در اندازه بهینه انجام می‌شود زیرا خردایش بیشتر موجب افزایش نرمه و مصرف انرژی شده و کاهش بازیابی را به دنبال دارد. محصولات حاصل از اندازه خردایش بهینه اولیه بسته به نوع و میزان درگیری و سایر مشخصات کانی‌شناسی در مراحل مختلف، آسیای مجدد شده و دوباره تحت عمل جدایش قرار می‌گیرند (Wills & Atkinson, 1993).

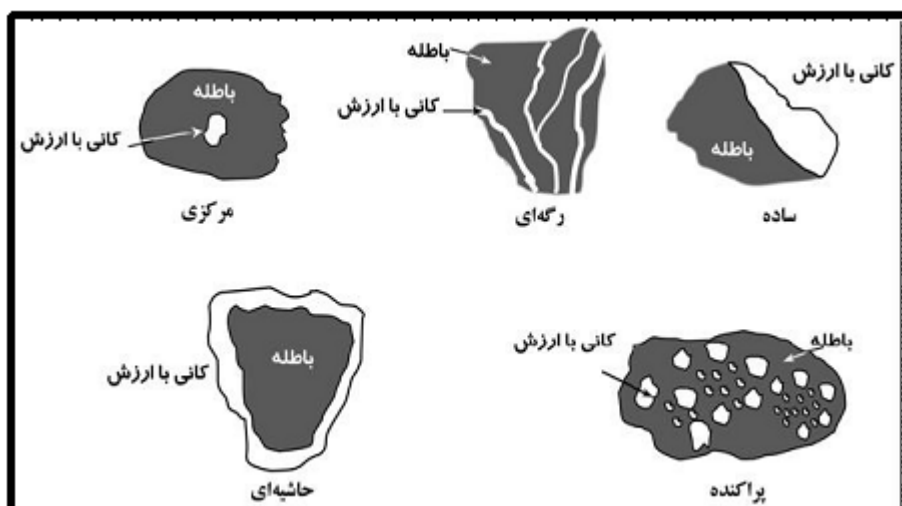
درجه آزادی کانی‌های با ارزش در بار ورودی کارخانه فرآوری نقش کلیدی در بازیابی دارد. این عامل

به ویژه در کانسنگ‌های فلزی اهمیت زیادی دارد. بنابراین تهیه بار ورودی بهینه به صورتی که کانی‌های با ارزش از سایر کانی‌های تشکیل دهنده کانسنگ آزاد شده باشند، از اهداف اولیه خردایش درمعدن فلزی به شمار می‌رود.

۳-۷-۱- انواع درگیری‌های کانه و باطله

انواع مختلف درگیری کانی با ارزش و باطله به شرح زیر است که در شکل ۳-۱۰ ارائه شده است (ایرانمنش و همکاران، ۱۳۸۳)

- مرکزی : یک کانی در مرکز باطله قرار گرفته است.
- پراکنده : یک فاز کانی‌سازی به صورت پراکنده در زمینه‌ی فاز دیگر قرار دارد.
- ساده : کانی با ارزش از پهلوی باطله چسبیده است.
- رگه ای : یک فاز کانی‌سازی به صورت رگه‌ای درون فاز دیگر قرار می‌گیرد.
- حاشیه‌ای : یک فاز کانی‌سازی به صورت لایه ای فاز دیگر را احاطه می‌کند.



شکل ۳-۱۰: انواع درگیری‌های متداول کانی با ارزش و باطله (ایرانمنش و همکاران، ۱۳۸۳)

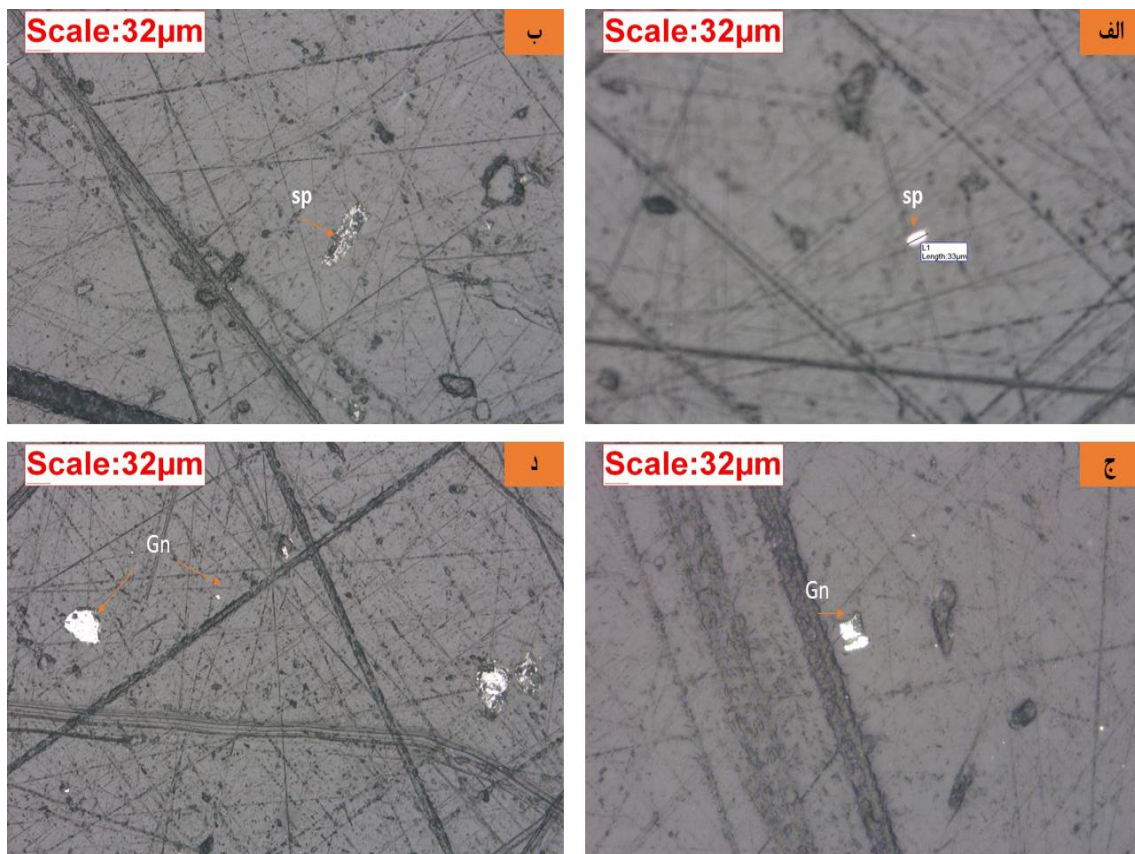
۳-۷-۲- کانه نگاری بعد از خردایش و تعیین درجه آزادی

در این پژوهش پس از مطالعات کانه‌نگاری کانسنگ، ابتدا به منظور بررسی درجه آزادی، نمونه

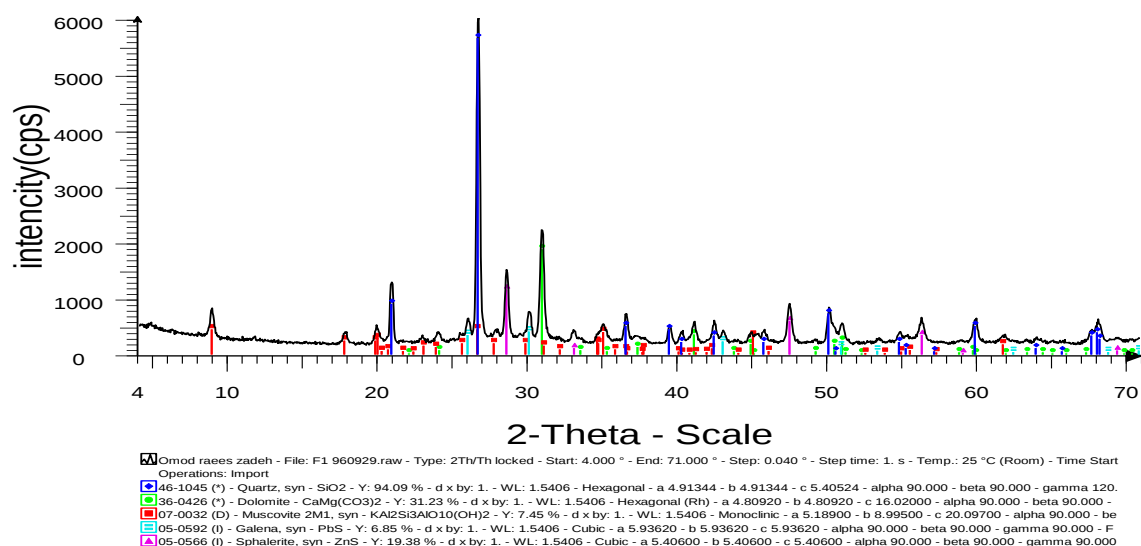
ماده معدنی در محدوده‌های ابعادی مختلف (۸ محدوده) سنگ شکنی و آسیا شد. سپس از هر کدام از این محدوده‌ها یک مقطع صیقلی تهیه شد. که در این قسمت نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌شناسی توسط میکروسکوپ انعکاسی، پراش اشعه ایکس (XRD) و تخمین درجه آزادی ارائه می‌گردد.

۳-۷-۲-۱- ذرات ریزتر از ۱۰۵ میکرون

در این مقطع که ریزترین محدوده‌ی ابعادی است، با توجه به ریز بودن ذرات و کانی‌های موجود که بسیار کوچک هستند، تشخیص کانی‌ها بسیار سخت است. با این حال به نظر می‌رسد که درجه آزادی بالایی داشته باشد زیرا کانی‌های آزاد نسبت به کانی‌های درگیر به فور یافت می‌شود. درگیری کانی‌ها بیشتر به صورت پراکنده در باطله است و کانی‌های با ارزش به صورت دانه‌های بسیار ریز در سطح باطله و به صورت آزاد وجود دارند. اسفالریت در حجم بیشتری نسبت به گالن وجود دارد. اسفالریت بین ۱۰ تا ۱۵ درصد در این محدوده یافت می‌شود. علاوه بر تعداد زیاد ذرات آزاد، اسفالریت‌های درگیر هم به شکل درگیری با باطله‌های سیاه رنگ وجود دارند. همچنین اسفالریت به صورت پراکنده در این باطله‌ها نیز یافت می‌شود. گالن در این مقطع کمتر از اسفالریت مشاهده شده و حجمی بین ۵ تا ۸ درصد از مقطع را شامل می‌شود. گالن‌های آزاد بسیار بیشتر از گالن‌های درگیر، مشاهده است. گالن‌های درگیر به صورت قفل شده با باطله‌ها و پراکنده در سطح باطله یافت می‌شود. شکل ۳-۱۱ تصاویر این محدوده ابعادی را نشان می‌دهد. پراش اشعه ایکس (XRD) این محدوده ابعادی کانی‌های کوارتز، دولومیت، مسکویت، گالن و اسفالریت را به عنوان کانی‌های اصلی نشان می‌دهد (شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۱: تصویر ذرات کمتر از ۱۰۵ میکرون الف) اسفالریت به صورت آزاد در نور ppl ب) اسفالریت پراکنده در باطله در نور ppl ج) گالن درگیر با باطله در نور ppl د) گالن به صورت آزاد در نور ppl.



شکل ۳-۱۲: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات کمتر از ۱۰۵ میکرون

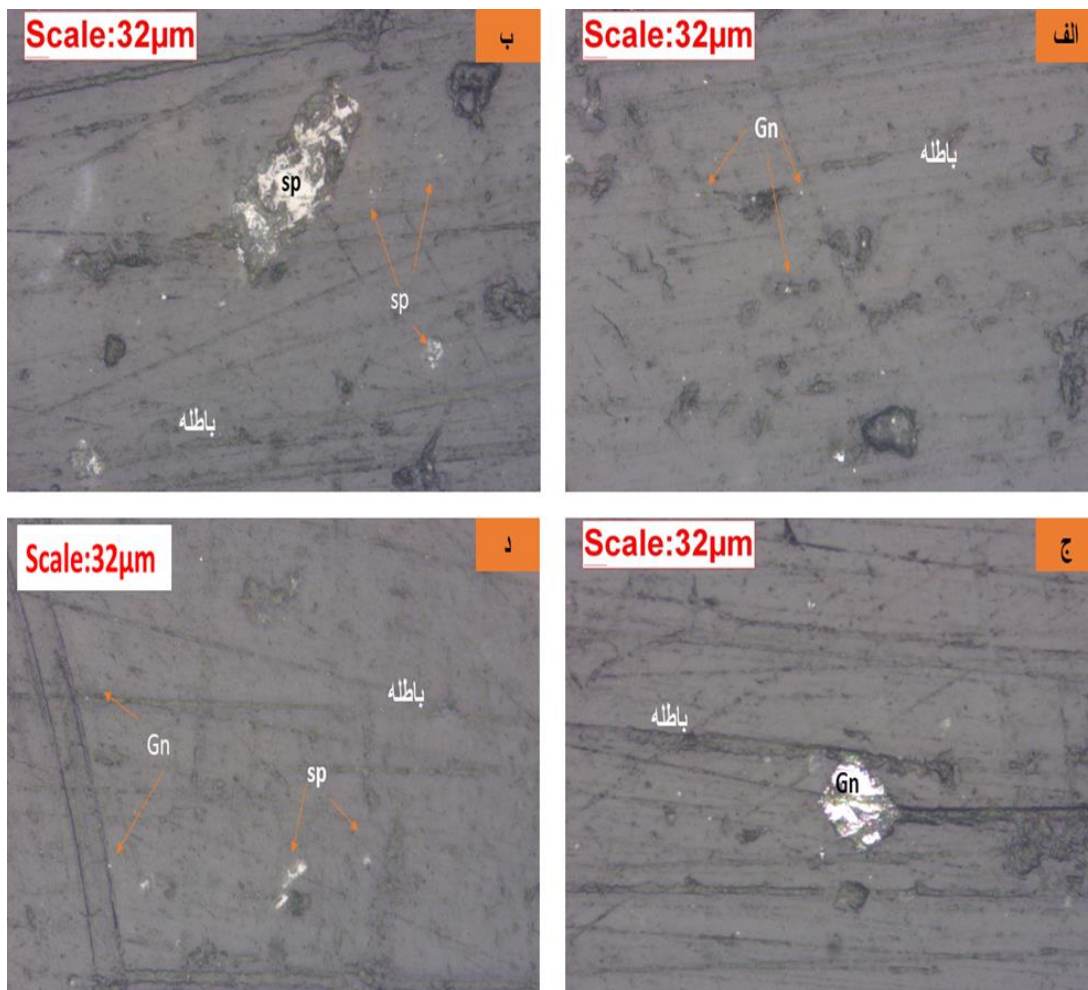
۳-۷-۲-۲- ذرات بین ۱۰۵ و ۱۴۹ میکرون

این محدوده هم مثل ذرات کمتر از ۱۰۵ میکرون جزو ذرات ریز در نمونه‌ها محسوب می‌شود. تعداد زیاد کانی‌هایی که به شکل آزاد وجود دارند نشان می‌دهد که این محدوده احتمالاً یکی از محدوده‌های با درجه آزادی بالا باشد. درگیری‌ها در این محدوده نیز مثل محدوده کمتر از ۱۰۵ میکرون به صورت درگیری با باطله و به شکل کانی‌های پراکنده در باطله است. فراوانی اسفالریت در این محدوده بین ۱۵ تا ۱۸ درصد از حجم سطح مقطع است که بیشتر از نصف اسفالریت‌ها به صورت آزاد و بدون درگیری و قفل شدگی با ذرات دیگر وجود دارند. اسفالریت‌های درگیر نیز به صورت پراکنده در باطله و قفل شده با باطله‌های پراکنده در سطح وجود دارند. دانه‌های گالن از نظر فراوانی کمتر از اسفالریت است ولی از نظر تعداد ذرات آزاد، به نظر می‌رسد، درجه آزادی گالن نسبت به اسفالریت بیشتر باشد. علاوه بر ذرات بسیار ریز گالن که به تعداد زیاد یافت می‌شود ذرات قفل شده گالن به شکل پراکنده در سطح باطله و به شکل درگیر با باطله‌های سیاه رنگ موجود است. شکل ۳-۱۳ تصویر کانی‌های این محدوده ابعادی را نشان می‌دهد. پراش اشعه ایکس (XRD) این محدوده ابعادی کانی‌های کوارتز، دولومیت، مسکویت، گالن و اسفالریت را به عنوان کانی‌های اصلی نشان می‌دهد (شکل ۳-۱۴).

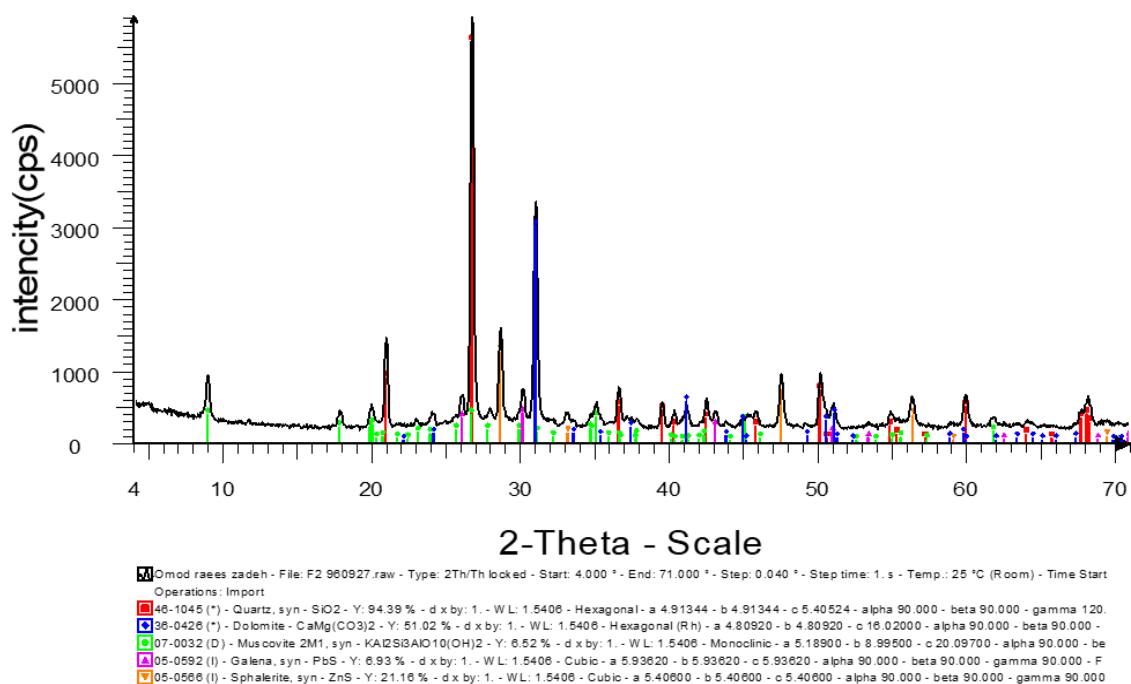
۳-۷-۲-۳- ذرات بین ۱۴۹ و ۱۷۷ میکرون

از این محدوده ابعادی به بعد با درشت شدن ذرات درگیری کانی‌های اصلی با باطله‌ها و کانی‌های دیگر بیشتر شده و کانی‌های با ارزش آزاد کمتر شده لذا درجه آزادی کاهش می‌یابد. در این محدوده درگیری‌ها و قفل شدگی‌ها تنوع بیشتری پیدا می‌کند و به شکل‌های مختلفی دیده می‌شود. فراوانی اسفالریت در این محدوده ابعادی بین ۱۸ تا ۲۰ درصد از سطح مقطع را تشکیل می‌دهد. حدود نصف اسفالریت‌ها به شکل آزاد و بقیه به صورت درگیری با باطله که به شکل‌های پراکنده در باطله و به صورت درگیری ساده با باطله دیده می‌شود. از این محدوده به بعد درگیری اسفالریت با پیریت هم مشاهده می‌شود. که اسفالریت به شکل پراکنده در پیریت دیده می‌شود. گالن حدود ۱۰ درصد از این

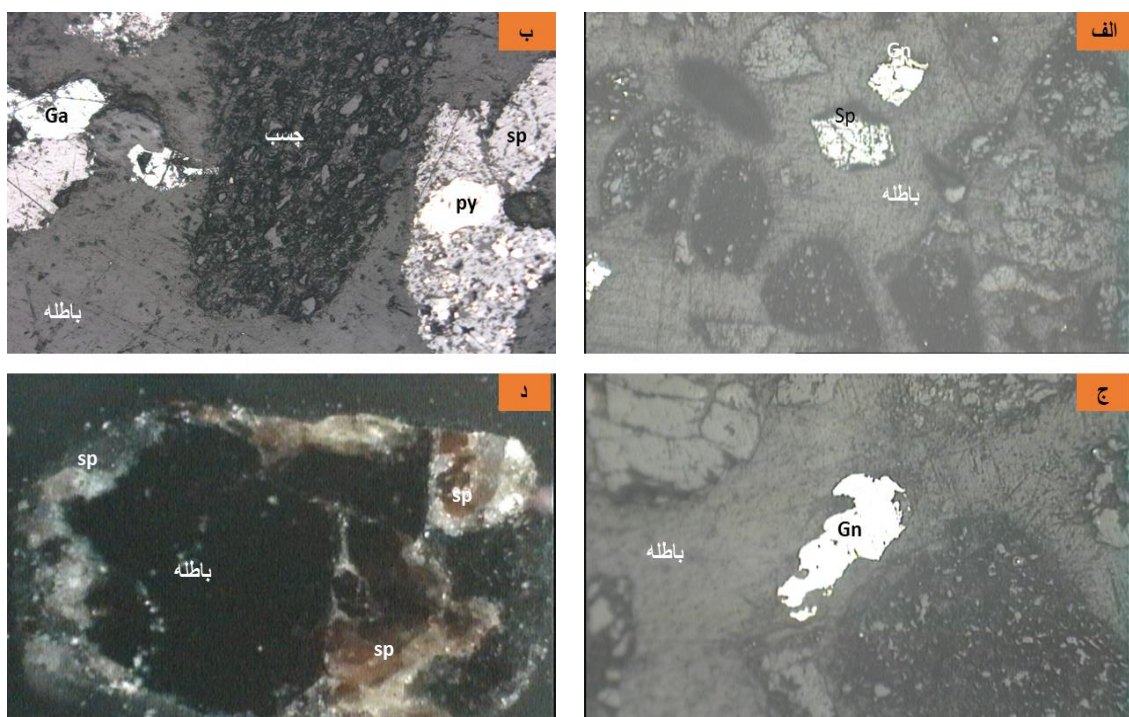
مقطع را تشکیل می‌دهد. و علاوه بر گالن‌های آزاد که حدود نصف گالن‌های موجود را تشکیل می‌دهد. ذرات درگیر گالن به صورت پراکنده در باطله، گالن‌های حاشیه‌ای و درگیری ساده با باطله مشاهده می‌شود. شکل ۳-۱۵ تصاویری از این محدوده را نشان می‌دهد. پراش اشعه ایکس (XRD) این محدوده ابعادی کانی‌های کوارتز، دولومیت، مسکویت، گالن و اسفالریت را به عنوان کانی‌های اصلی نشان می‌دهد (شکل ۳-۱۶).



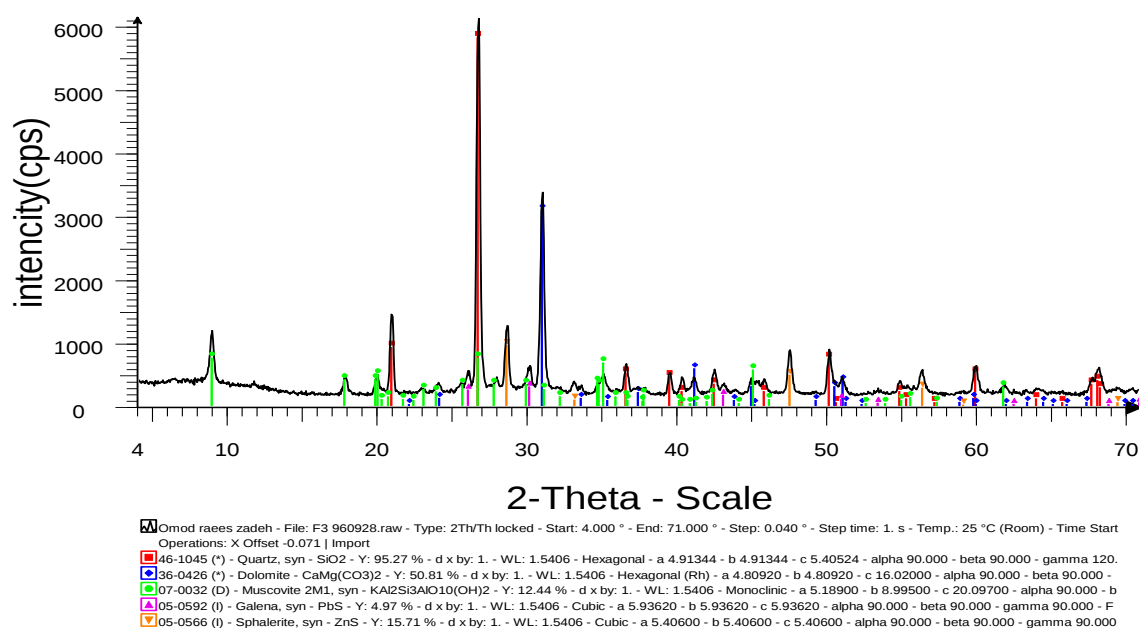
شکل ۳-۱۳: تصویر ذرات بین ۱۰۵ و ۱۴۹ میکرون (الف) دانه های ریز و آزاد گالن که در سطح مقطع پراکنده است. در نور ppl (ب) ذرات پراکنده و آزاد اسفالریت و اسفالریت درگیر باطله در نور ppl (ج) گالن قفل شده در باطله در نور ppl (د) گالن و اسفالریت آزاد در نور ppl.



شکل ۳-۱۴: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۱۰۵-۱۴۹ میکرون



شکل ۳-۱۵: تصویر ذرات بین ۱۴۹ و ۱۷۷ میکرون (الف) اسفالریت و گالن به صورت آزاد در کنار هم (بزرگنمایی ۴x) در نور ppl (ب) سمت چپ: گالن به صورت آزاد، سمت راست: اسفالریت پراکنده در پیریت. (بزرگنمایی ۱۰x) (در نور ppl ج) قفل شدگی ساده گالن با باطله. (بزرگنمایی ۱۰x) در نور ppl (د) اسفالریت پراکنده در باطله (بزرگنمایی ۱۰x) در نور xpl

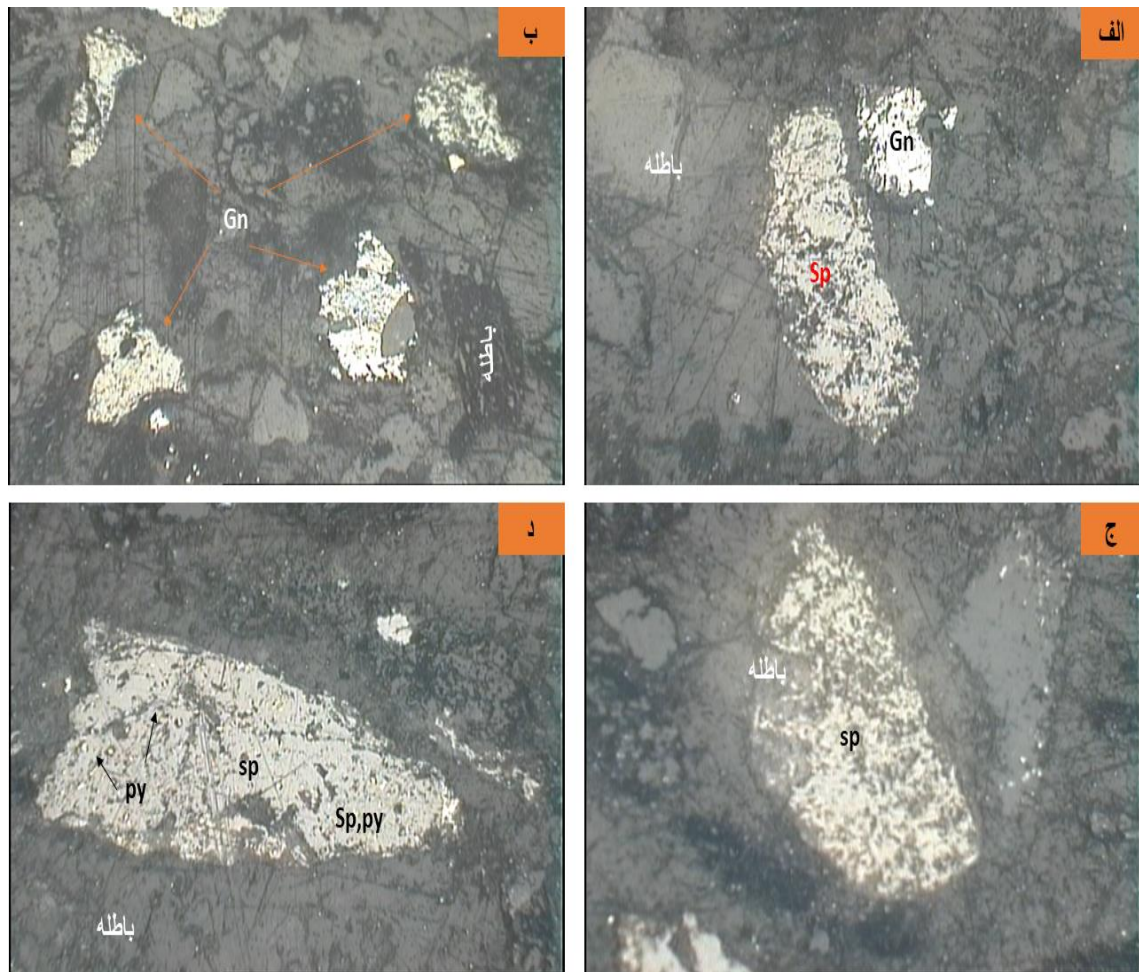


شکل ۳-۱۶: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۱۴۹-۱۷۷ میکرون

۳-۲-۴- ذرات بین ۱۷۷ و ۲۵۰ میکرون

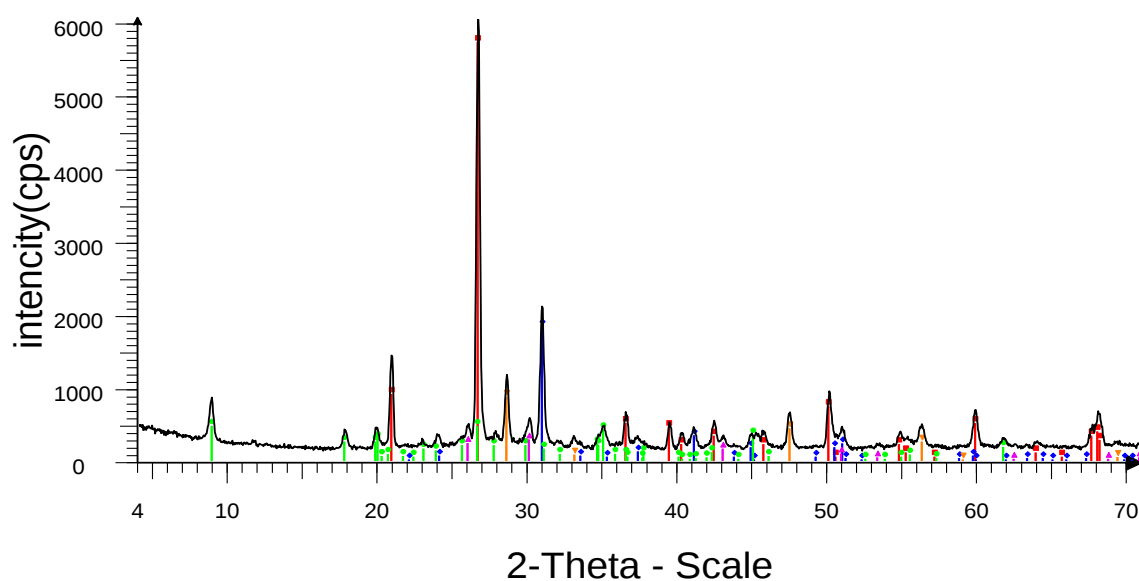
با بزرگتر شدن ابعاد امکان مطالعه میکروسکوپی و واضح تر دیده شدن کانی‌ها بیشتر فراهم می‌شود از طرفی درگیری کانی‌ها و ذرات با ارزش با باطله‌ها و کانی‌های همراه نیز بیشتر می‌شود. از آنجایی که در بحث کانی‌شناسی فرآیند هر ذره یا کانی دیگری غیر از کانی‌های اصلی نیز باطله به حساب می‌آید پس درگیری و قفل شدگی باطله‌ها با کانی‌های با ارزش سبب پایین آمدن درجه آزادی این کانی‌ها می‌شود. فراوانی اسفالریت در این مقطع حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد از سطح مقطع است. حدود ۱/۳ از اسفالریت‌ها به صورت آزاد و بقیه به شکل درگیر با باطله‌ها دیده می‌شوند. درگیری اسفالریت بیشتر به شکل پراکنده در سطح باطله، درگیری با باطله به صورت ساده و به صوت تداخل با پیریت است. گالن حدود ۱۰ درصد از مقطع را تشکیل می‌دهد. کمتر از نصف گالن‌ها به شکل آزاد و بقیه به صورت درگیر با باطله دیده می‌شود. درگیری‌های گالن بیشتر به شکل قفل شدگی با باطله به شکل‌های مختلف و همچنین پراکنده در باطله مشاهده می‌شود. در شکل ۳-۱۷ این محدوده نشان داده می‌شود. پراش اشعه ایکس (XRD) این محدوده ابعادی کانی‌های کوارتز، دولومیت، مسکویت،

گالن و اسفالریت را به عنوان کانی‌های اصلی نشان می‌دهد (شکل ۳-۱۸).



شکل ۳-۱۷: تصاویر ذرات بین ۱۷۷ و ۲۵۰ میکرون

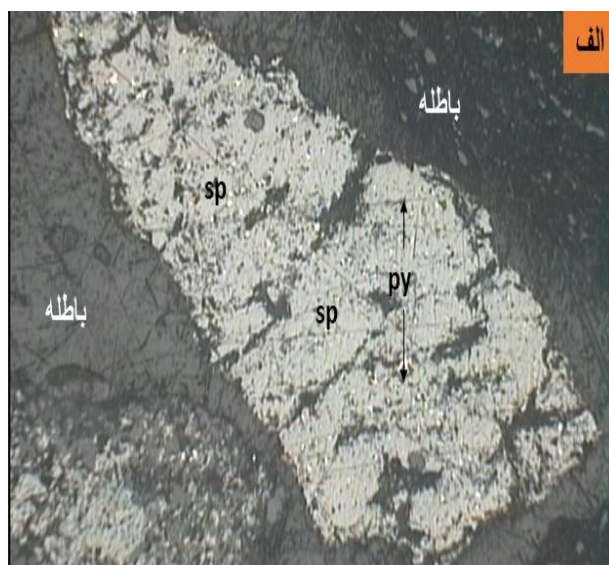
الف – گالن و اسفالریت به صورت آزاد در کنار هم (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl ب (گالن‌های قفل شده در باطله به صورت ساده (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl ج) اسفالریت پراکنده و درگیر با باطله (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl د (اسفالریت قفل شده با پیریت و باطله به صورت پراکنده (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl.



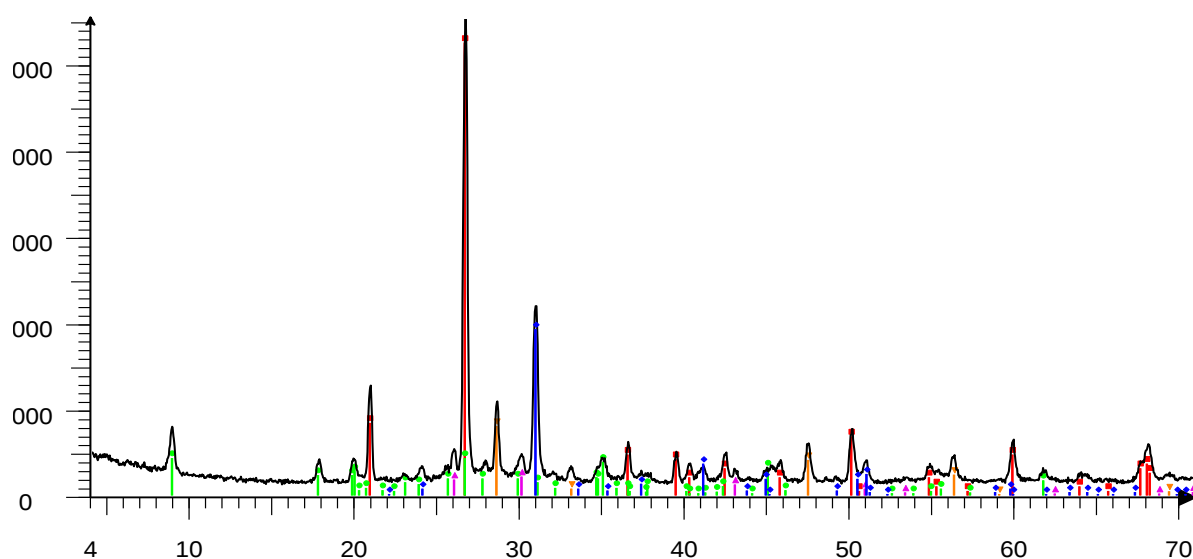
شکل ۳-۱۸: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۱۷۷-۲۵۰ میکرون

۳-۷-۲-۵- ذرات بین ۲۵۰ و ۴۰۰ میکرون

در این محدوده درگیری‌ها بیشتر شده و ذرات آزاد کمتریافت می‌شود. فراوانی اسفالریت در این مقطع حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد از کل مقطع را تشکیل می‌دهد. اسفالریت‌های آزاد کمتر یافت می‌شود (حدود ۱:۵ کل اسفالریت‌ها) اسفالریت‌های درگیر، مثل محدوده‌های ابعادی قبل، به شکل درگیری با پیریت و قفل شدگی در باطله‌های سیاه رنگ مشاهده می‌شود. گالن حدود ۸ تا ۱۰ درصد از مقطع را تشکیل می‌دهد. ذرات آزاد گالن هم مثل اسفالریت در محدوده‌های ابعادی بالاتر کم و کمتر می‌شود. گالن‌های درگیر نیز به شکل درگیری با باطله به صورت های پراکنده و حاشیه‌ای می‌باشد. شکل ۳-۱۹ تصاویری از این ابعاد را نشان می‌دهد. پراش اشعه ایکس (XRD) این محدوده ابعادی کانی‌های کوارتز، دولومیت، مسکویت، گالن و اسفالریت را به عنوان کانی‌های اصلی نشان می‌دهد (شکل ۳-۲۰).



شکل ۳-۱۹: تصویر ذرات بین ۲۵۰ و ۴۰۰ میکرون (الف) رگه‌ی بزرگ اسفالریت که با دانه‌های ریز پیریت و باطله قفل شده (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl (ب) بالا سمت راست: ذرات آزاد اسفالریت، مرکز: اسفالریت درگیر با باطله (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl (ج) گالن به شکل آزاد (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl (د) گالن‌های قفل شده در حاشیه باطله (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl.



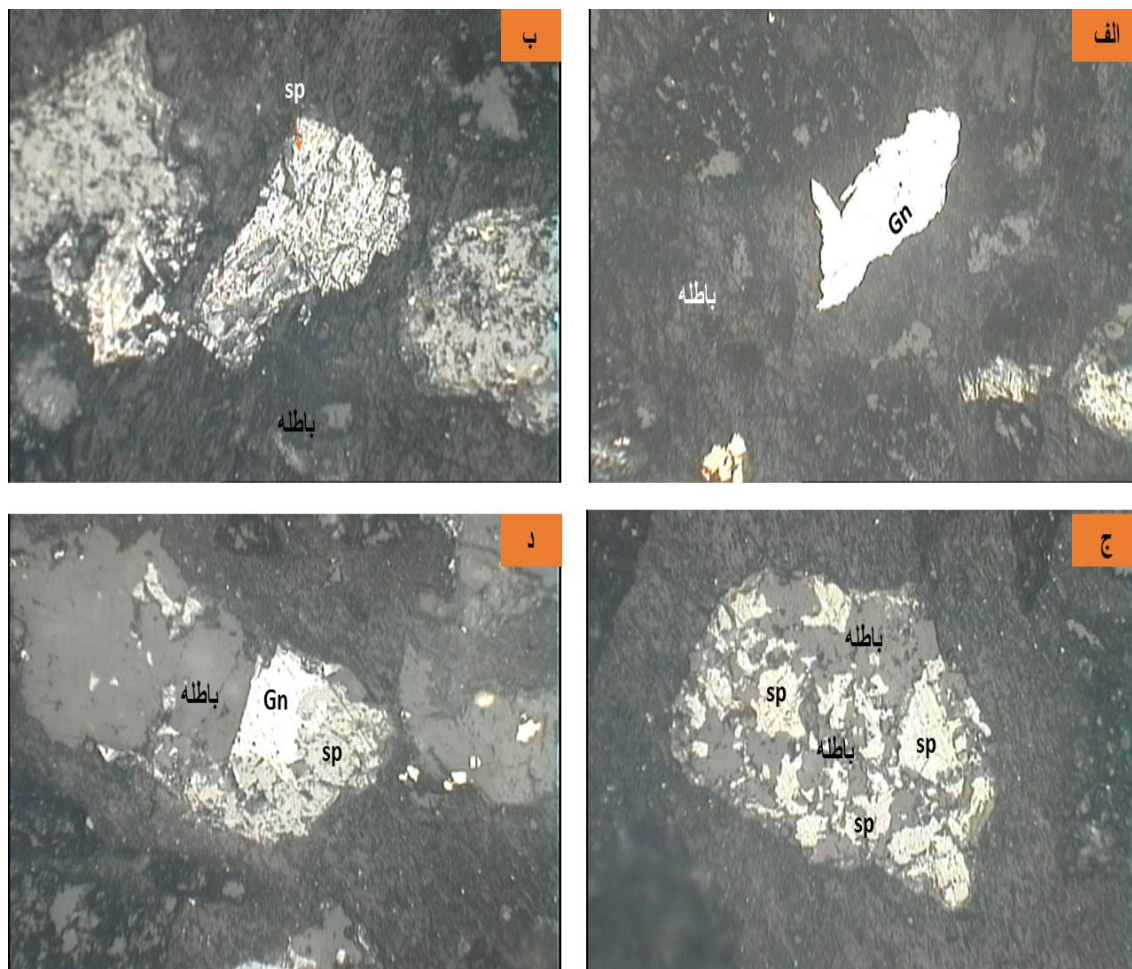
2-Theta - Scale

Omod raees zاده - File: F5 960927.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 71.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Start
 Operations: X Offset -0.076 | Import
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 95.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.
 36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - Y: 34.92 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal (Rh) - a 4.80920 - b 4.80920 - c 16.02000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.
 07-0032 (D) - Muscovite 2M1, syn - KAl₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ - Y: 7.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.18900 - b 8.99500 - c 20.09700 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - F
 05-0592 (I) - Galena, syn - PbS - Y: 3.98 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 5.93620 - b 5.93620 - c 5.93620 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - F
 05-0566 (I) - Sphalerite, syn - ZnS - Y: 14.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 5.40600 - b 5.40600 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - F

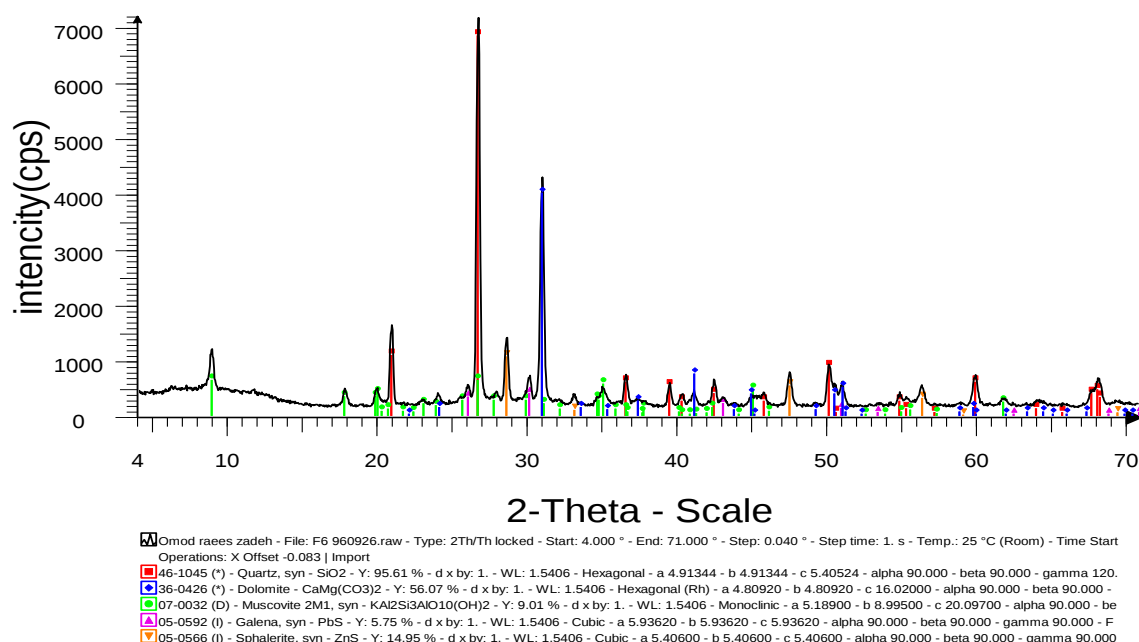
شکل ۲-۳: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۲۵۰-۴۰۰ میکرون

۳-۷-۲-۶- ذرات بین ۴۰۰ و ۵۹۵ میکرون

در این محدوده ابعادی با بزرگتر شدن ابعاد، ذرات به صورت آزاد کمتر یافت شده و درگیری‌ها بیشتر می‌شود. اسفالریت حدود ۱۵ درصد از این مقطع را تشکیل داده است. ذرات آزاد اسفالریت حدود ۲۰ درصد کل اسفالریت‌ها است. اسفالریت‌های درگیر نیز مثل محدوده‌های قبل به شکل درگیر با باطله به شکل‌های درگیری ساده و پراکنده دیده می‌شود. در این مقطع ادخال اسفالریت با پیریت و همچنین درگیری با گالن مشاهده می‌شود. گالن حدود ۱۰ درصد مقطع را تشکیل داده است. حدود ۴۰ درصد گالن‌ها به شکل آزاد و بقیه به شکل درگیر با باطله و اسفالریت مشاهده می‌شود. شکل ۳-۲۱ این محدوده ابعادی را نشان می‌دهد. پراش اشعه ایکس (XRD) این محدوده ابعادی کانی‌های کوارتز، دولومیت، مسکویت، گالن و اسفالریت را به عنوان کانی‌های اصلی نشان می‌دهد (شکل ۳-۲۲).



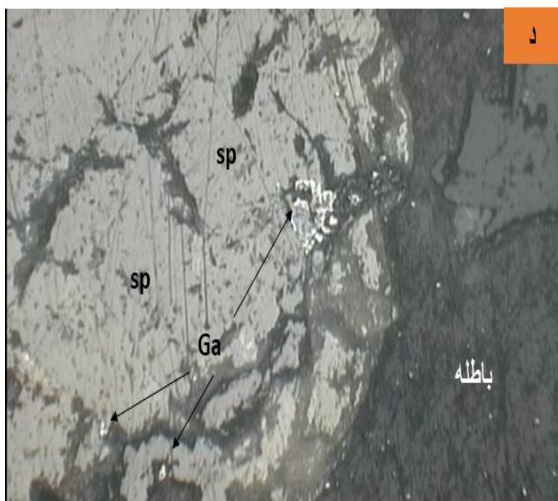
شکل ۳-۲۱۱: تصاویر محدوده ابعادی ۴۰۰ تا ۵۹۵ میکرون (الف) گالن به صورت آزاد (بزرگنمایی ۱۰x) در نور ppl (ب) اسفالریت به صورت آزاد (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl (ج) اسفالریت پراکنده در باطله (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl (د) قفل شدگی گالن و اسفالریت و باطله به شکل ساده (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl



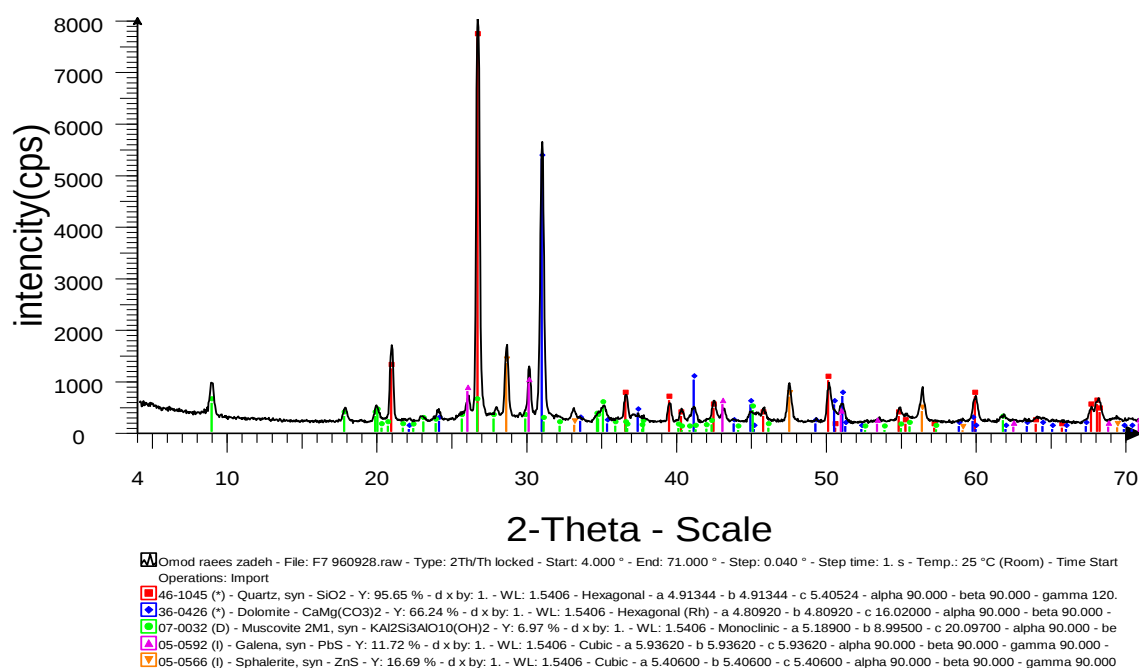
شکل ۳-۲۲: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۴۰۰-۵۹۵ میکرون

۳-۲-۷- ذرات بین ۵۹۵ و ۸۴۱ میکرون

فراوانی اسفالریت در این مقطع حدود ۲۰ درصد است که ذرات آزاد اسفالریت خیلی کمتر از ذرات درگیر مشاهده می‌شود. درگیری‌های اسفالریت به صورت پراکنده در باطله (باطله‌های سیاه رنگ و پیریت) و همچنین درگیری با گالن به شکل حاشیه‌ای دیده می‌شود. گالن حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد از سطح مقطع را تشکیل داده است. علاوه بر تعداد کم گالن‌هایی که به شکل آزاد دیده می‌شود، گالن به شکل قفل شده با باطله و به صورت حاشیه‌ای قفل شده با اسفالریت مشاهده می‌شود. این محدوده ابعادی در شکل ۳-۲۳ نشان داده شده است. پراش اشعه ایکس (XRD) این محدوده ابعادی کانی‌های کوارتز، دولومیت، مسکویت، گالن و اسفالریت را به عنوان کانی‌های اصلی نشان می‌دهد (شکل ۳-۲۴).



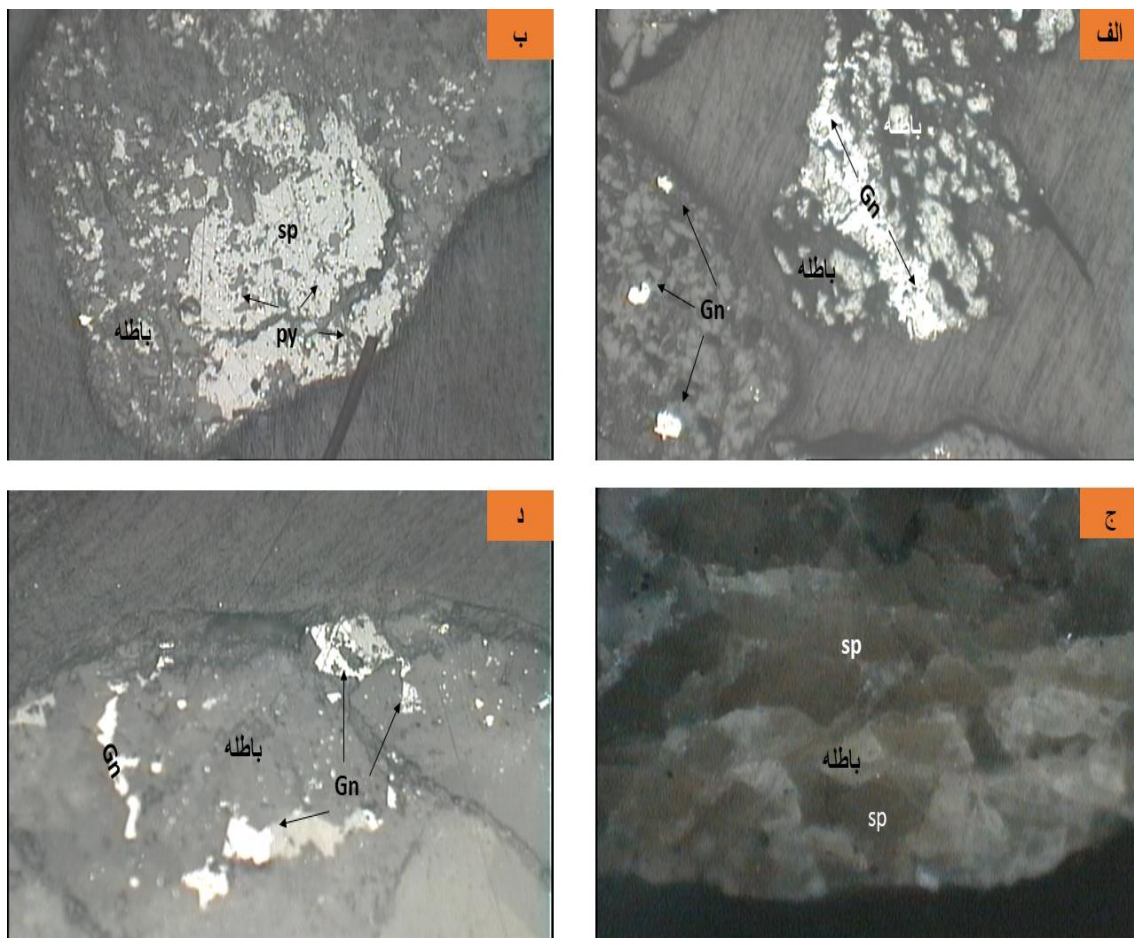
شکل ۳-۲۳۳: تصاویر ذرات بین ۵۹۵ و ۸۴۱ میکرون الف) اسفالریت قفل شده با باطله و پیریت (بزرگنمایی ۲۰x در نور ppl ب) اسفالریت آزاد (بزرگنمایی ۱۰x) در نور ppl ج) رگه آزاد گالن (بزرگنمایی ۱۰x) در نور ppl د) دانه‌های ریز گالن قفل شده در حاشیه اسفالریت (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl



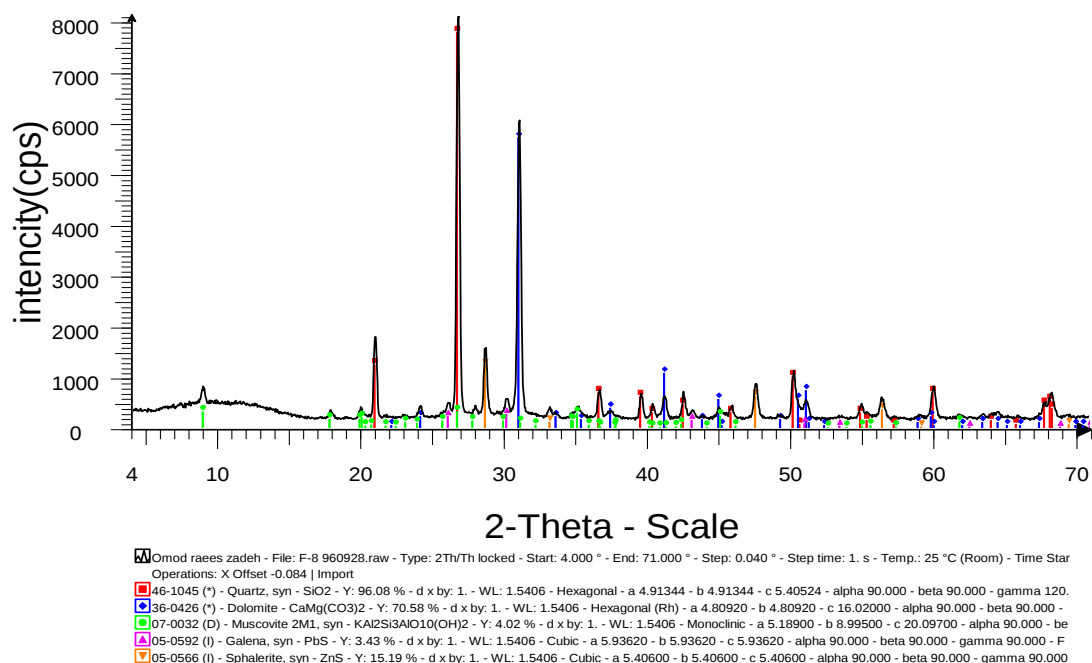
شکل ۳-۲۴۴: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۵۹۵-۸۴۱ میکرون

۳-۲-۸- ذرات بین ۸۴۹ میکرون و ۱ میلیمتر

این محدوده از نظر ابعاد بزرگترین محدوده است و کانی‌های درشت اسفالریت و گالن درگیر با باطله به وفور یافت می‌شود و چون در این ابعاد کانی‌ها کمتر آزاد شده‌اند، درجه آزادی کانی با ارزش به کمترین مقدار خود می‌رسد. اسفالریت حدود ۱۵ درصد از مقطع را تشکیل داده است. درگیری همچون محدوده‌های قبلی قفل شدگی با باطله و پراکنده در باطله است. فراوانی گالن حدود ۱۰ درصد از کل مقطع است و به شکل درگیر با باطله و در تعداد بسیار کم به صورت آزاد یافت می‌شود. شکل ۳-۲۵ تصاویر این محدوده ابعادی را نشان می‌دهد. پراش اشعه ایکس (XRD) این محدوده ابعادی کانی‌های کوارتز، دولومیت، مسکویت، گالن و اسفالریت را به عنوان کانی‌های اصلی نشان می‌دهد (شکل ۳-۲۶).



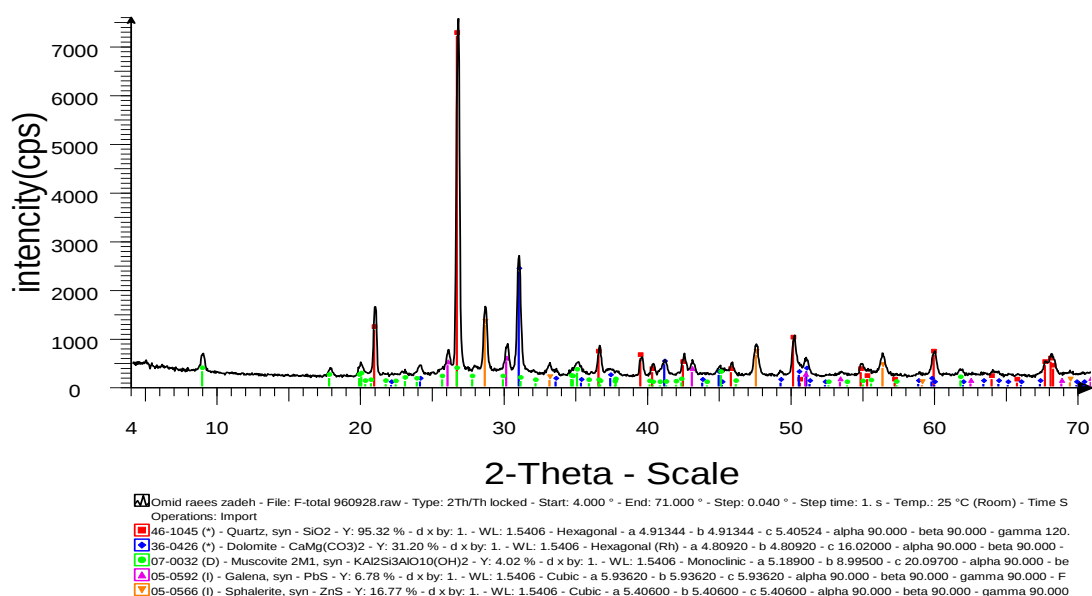
شکل ۳-۲۵۵: تصاویر محدوده ابعادی ۸۴۹ میکرون و ۱ میلیمتر الف) دانه‌های آزاد گالن و گالن‌های پراکنده در باطله (بزرگنمایی ۱۰x) در نور ppl (ب) اسفالریت‌های قفل شده در پیریت و باطله (بزرگنمایی ۱۰x) در نور ppl (ج) اسفالریت پراکنده در باطله (بزرگنمایی ۲۰x) در نور xpl (د) گالن پراکنده در باطله (بزرگنمایی ۲۰x) در نور ppl



شکل ۳-۲۶۶: نمودار پراش XRD مربوط به ذرات بین ۸۴۹-۱۰۰۰ میکرون

• XRD از نمونه معرف

علاوه بر آنالیزهای پراش اشعه ایکس که در بالا ذکر شد، یک نمونه معرف که ترکیبی از همه محدوده‌های ابعادی (ذرات کمتر از ۱ میلی‌متر) نیز برداشته شد و مورد آنالیز XRD قرار گرفت. کانی‌های آشکار شده کوارتز، دولومیت، مسکویت، گالن و اسفالریت است (شکل ۳-۲۷).



شکل ۳-۲۷۷: نمودار پراش XRD مربوط به نمونه معرف ابعاد زیر ۱ میلیمتر

۳-۷-۳- تخمین درجه آزادی

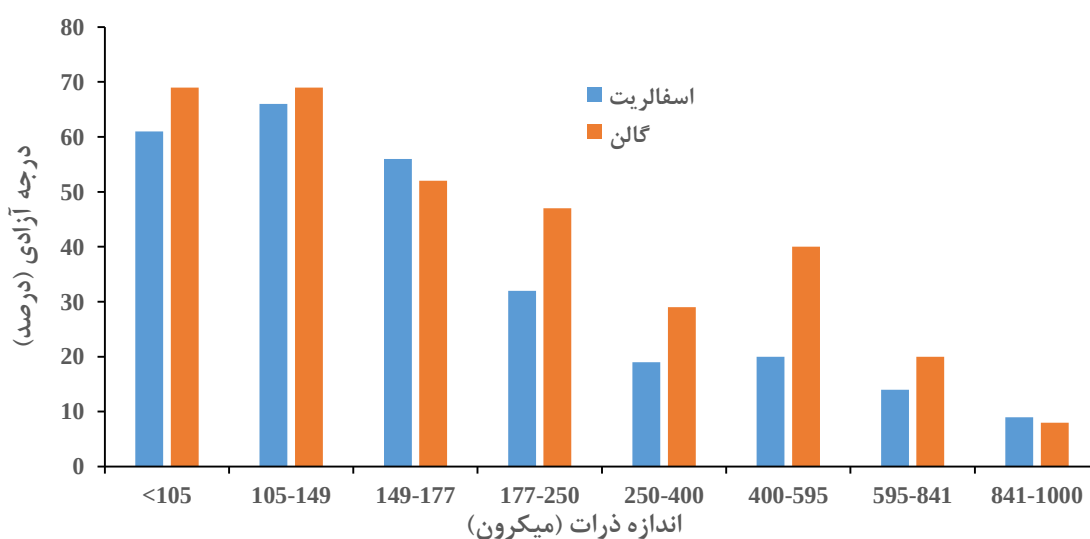
درجه آزادی، نسبت کانی‌های با ارزش آزاد به کل کانی‌های با ارزش تعریف می‌شود. با مطالعه هر مقطع از محدوده‌های ابعادی مختلف به طور جداگانه درجه آزادی با شمردن کانی‌های با ارزش آزاد و کانی‌های با ارزشی که درگیری دارند، در هر محدوده ابعادی به طور چشمی تخمین زده شد. بنا بر توضیحات داده شده در قسمت‌های قبل، کانی‌های با ارزش مورد مطالعه برای درجه آزادی، کانی‌های اسفالریت و گالن است که درجه آزادی برای این دو کانی در هر هشت محدوده ابعادی تخمین زده می‌شود. شکل ۳-۲۸ نمودار درجه آزادی کانی‌های با ارزش را نشان می‌دهد. با مطالعه مفصل تمام مقاطع صیقلی از هر محدوده ابعادی این نتیجه گرفته شد که با خردایش بیشتر، کانی‌های با ارزش بیشتری آزاد می‌شود. به همین دلیل محدوده‌های زیر ۱۴۹ میکرون (محدوده ابعادی یک و دو) درجه آزادی بیشتری نسبت به ابعاد درشت‌تر دارند. از بین این دو محدوده، محدوده دوم (ذرات بین ۱۰۵ و ۱۴۹ میکرون) کانی‌های آزاد بیشتری نسبت به محدوده اول دارد. اسفالریت‌های آزاد شده در محدوده دوم بیشتر از محدوده اول است که نشان‌دهنده این است که خردایش تا یک میزان مشخصی به آزاد شدن کانی‌ها کمک می‌کند و از یک سطحی به بعد، خردایش بیشتر باعث تولید نرمه شده و کانی‌های کمتری آزاد می‌شوند. پس با این شرایط ذرات محدوده دوم (ابعاد بین ۱۰۵ و ۱۴۹ میکرون) درصد کانی‌های آزاد شده بیشتر از سایر ابعاد است و مناسب‌ترین محدوده از نظر درجه آزادی کانی با ارزش است. علاوه بر این دو محدوده (ذرات ریزتر از ۱۴۹ میکرون) محدوده سوم (ذرات بین ۱۴۹ و ۱۷۷ میکرون) نیز درجه آزادی بیشتر از ۵۰ درصد دارند. و در محدوده‌های درشت‌تر از این ابعاد (ابعاد بین ۱۷۷ و ۱۰۰۰ میکرون) درجه آزادی با درشت‌تر شدن ابعاد کم و کمتر می‌شود. تا جایی که در درشت‌ترین ابعاد درجه آزادی کمتر از ۱۰ درصد می‌شود. جدول (۳-۵) تعداد کانی‌های با ارزش آزاد و قفل شده با ذرات دیگر و همچنین درجه آزادی تخمینی در محدوده‌های ابعادی مختلف را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۳-۲۸ درجه آزادی گالن و اسفالریت در محدوده‌های مختلف را بر روی نمودار نشان می‌دهد.

نحوه محاسبه درجه آزادی:

$$\text{درجه آزادی} = \frac{\text{کانی با ارزش آزاد}}{\text{کانی با ارزش آزاد} + \text{کانی با ارزش درگیر}} \times 100$$

جدول ۳-۵: تعداد کانی‌های با ارزش آزاد و درگیر و درجه آزادی محدوده‌های ابعادی مختلف

شماره نمونه	محدوده ابعادی (میکرون)	اسفالریت- های آزاد	اسفالریت- های قفل- شده	درجه آزادی اسفالریت (درصد)	گالن- های آزاد	گالن‌های قفل- شده	درجه آزادی گالن (درصد)
۱	کمتر از ۱۰۵	۵۴	۳۴	۶۱	۱۸	۸	۶۹
۲	۱۰۵-۱۴۹	۶۶	۳۴	۶۶	۳۱	۱۴	۶۹
۳	۱۴۹-۱۷۷	۲۳	۱۸	۵۶	۱۱	۱۰	۵۲
۴	۱۷۷-۲۵۰	۱۸	۳۸	۳۲	۱۹	۲۱	۴۷
۵	۲۵۰-۴۰۰	۵	۲۱	۱۹	۵	۱۲	۲۹
۶	۴۰۰-۵۹۵	۲	۸	۲۰	۴	۶	۴۰
۷	۵۹۵-۸۴۱	۴	۲۵	۱۴	۳	۱۲	۲۰
۸	۸۴۱-۱۰۰۰	۲	۲۰	۹	۱	۱۲	۸



شکل ۳-۲۸: نمودار درجه آزادی گالن و اسفالریت در محدوده‌های ابعادی مختلف

فصل چہارم

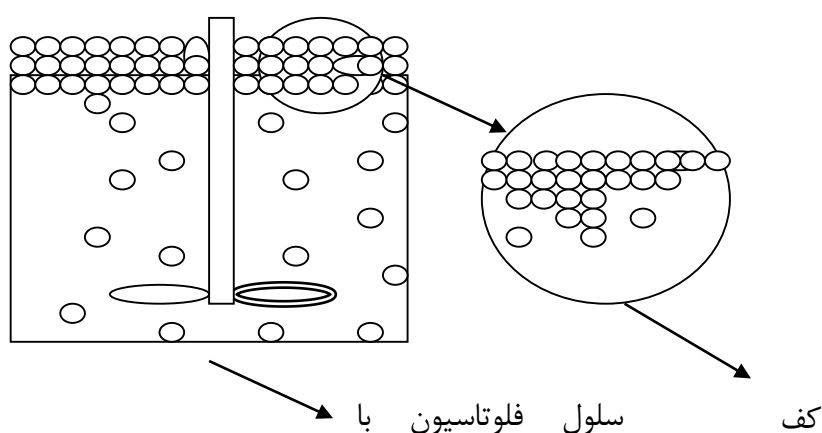
فراوری

۴-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا توضیحات مختصری درباره فلوتاسیون و عوامل موثر بر کارایی فلوتاسیون داده می‌شود، سپس به بررسی تست‌های فلوتاسیون انجام شده در این تحقیق پرداخته می‌شود. و در انتها با عیارهای بدست آمده در این آزمایش‌ها، بازیابی هر کدام از محدوده‌های ابعادی، محاسبه شده و بهترین محدوده‌ها از نظر عیار و بازیابی معرفی می‌شود.

۴-۲- فلوتاسیون

فلوتاسیون یکی از متداول‌ترین و موثرترین روش‌ها در پرعیارسازی کانی‌های سولفیدی از سنگ معدن است که بر مبنای خواص شیمی- فیزیکی سطح جامدات برای ذرات ۲۰ تا ۲۰۰ میکرون در یک محیط سیال و جریان هوا برای ایجاد حبابهای هوا بنا شده است (خیرآبادی و همکاران ۱۳۸۸). شکل ۴-۱ تصویر شماتیکی از سلول فلوتاسیون را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱: تصویر شماتیکی از سلول فلوتاسیون

علیرغم سادگی ظاهری، فلوتاسیون فرایندی پیچیده از تعداد زیادی زیرفرایند است که کلیه جوانب فرایند اصلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بررسی و ارزیابی هر یک از این زیرفرایندها به صورت مستقل در عمل غیرممکن و بی‌معناست؛ به این دلیل که هر زیرفرایند یا وابسته به فرایندهای دیگر است و یا بر عملکرد سایر فرایندها مؤثر است.

به طور کلی، پارامترهای مؤثر بر فرایند فلوتاسیون را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد:

۱- پارامترهای اولیه: شامل مشخصات خوراک، نیروی انسانی و...

۲- پارامترهای شیمیایی: ویژگی‌های مواد شیمیایی، شرایط شیمیایی محیط فرایند (آب و پالپ) و...

۳- پارامترهای مکانیکی و طراحی: طراحی و نوع ماشین فلوتاسیون، چیدمان مدار و... (خوشدست

۱۳۹۵).

۴-۲-۱ عوامل مؤثر بر فلوتاسیون

عوامل زیادی بر کارایی فرایند فلوتاسیون تاثیر دارند. از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر، کانی‌شناسی است. کانی‌شناسی را می‌توان از سه نظر مورد بررسی قرار داد:

نوع قفل‌شدگی ذرات تأثیر قابل توجهی بر کارایی فرایند دارد. هر چقدر درجه آزادی کانی باارزش بیشتر باشد، فرایند جداسازی انتخابی‌تر بوده و عیار افزایش می‌یابد. قفل‌شدگی ناقص باعث ورود گانگ به کنسانتره شده و عیار را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد.

تغییر خواص سطحی کانی‌ها همچون اکسیدشدگی سطح کانی‌های سولفوری، باعث کاهش نرخ شناوری و در نتیجه، کاهش بازیابی خواهد شد.

حضور کانی‌های رسی در سنگ معدن ورودی بسیار مضر است. این کانی‌ها معمولاً در ابعاد بسیار ریز (نرمه) در سطح کانی‌ها تجمع یافته و بازیابی را کاهش می‌دهند. بعلاوه، چنانچه کانی‌های رسی قابلیت جذب کلکتور را داشته باشند، با مصرف آن نرخ شناور شدن کانی‌های با ارزش و بازیابی آنها را کاهش می‌دهند.

از دیگر عوامل مؤثر بر فرایند فلوتاسیون، دانه بندی خوراک است. ذرات بسیار ریز کانی باارزش به دلیل کاهش احتمال برخورد با حباب‌ها، موجب کاهش هم‌زمان عیار و بازیابی می‌شوند؛ چنانچه ذرات ریز، گانگ باشند، در اثر پدیده دنباله‌روی به کنسانتره راه یافته و عیار را کاهش می‌دهند. همچنین، ذرات ریز ممکن است در سطح ذرات درشت کانی باارزش تجمع یافته و بسته به طبیعت‌شان، یعنی

آبران یا آبدوست بودن باعث افزایش یا کاهش بازیابی شوند. اتصال این ذرات به یکدیگر و تشکیل آگلومره (توده) درشت‌تر نیز امکان‌پذیر است که تأثیر آن نیز به ماهیت ذرات ریز بستگی دارد. ذرات بسیار بزرگ کانی با ارزش به دلیل سنگین بودن، ظرفیت حمل حباب‌ها را کاهش می‌دهند و لذا، بازیابی کاهش می‌یابد. بعلاوه، ذرات بزرگ معمولاً از درجه آزادی کمتری برخوردارند که به نوبه خود بر عیار و بازیابی تأثیر منفی دارند (خوشدست ۱۳۹۵). مطالعات درجه آزادی در فصل سوم تایید کننده این مورد است.

۴-۲-۲- روش انجام آزمایش‌های فلوتاسیون

در فصل دوم نحوه آماده سازی نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون شرح داده شد. برای انجام آزمایش فلوتاسیون، ۳۰۰ گرم از نمونه معرف (از هر ۸ محدوده ابعادی انتخابی) به یک سلول فلوتاسیون ۱/۵ لیتری از نوع دنور منتقل گردید. سپس درصد جامد پالپ مورد نظر در سلول فلوتاسیون در میزان ۳۰ درصد و دور همزن در ۱۱۰۰ دور بر دقیقه تنظیم و فلوتاسیون در دو مرحله شامل فلوتاسیون سرب و سپس فلوتاسیون روی انجام شد. مرحله اول فلوتاسیون سرب انجام گردید که ابتدا، pH پالپ با اضافه کردن تدریجی کربنات سدیم در میزان ۷-۷/۵ تنظیم شد. پس از تنظیم pH، ۳۰۰ گرم بر تن سولفات روی بعنوان بازداشت کننده روی و ۸۰ گرم بر تن سیانور سدیم به عنوان بازداشت کننده پیریت به سلول اضافه گردید. سپس بعد از ۵ دقیقه از اضافه کردن بازداشت کننده‌ها، ۱۰۰ گرم بر تن کلکتور اتیل گزنتات پتاسیم به پالپ اضافه شد. زمان آماده سازی در این مرحله ۲ دقیقه بود. پس از آن ۲۰ گرم بر تن روغن کاج بعنوان کف‌ساز به پالپ اضافه و در نهایت بعد از گذشت ۱ دقیقه از زمان اضافه کردن کف‌سازها، شیر هوا باز و به مدت ۴ دقیقه کف‌گیری شد. بعد از این مرحله، فلوتاسیون روی بر روی پالپ باقیمانده سرب انجام گردید. برای انجام فلوتاسیون روی ابتدا pH در مقدار ۹ با اضافه کردن تدریجی ۵۰-۲۰ گرم بر تن آهک تنظیم شد. سپس ۳۰۰ گرم بر تن سولفات مس بعنوان فعال کننده به سلول اضافه و پس از دو دقیقه زمان آماده‌سازی، ۳۰ گرم بر تن

آمیل گزنتات پتاسیم بعنوان کلکتور فلز روی به پالپ سلول اضافه گردید. پس از دو دقیقه از زمان آماده‌سازی، نیم قطره کف ساز روغن کاج (۲۰ گرم بر تن) به پالپ اضافه شد و پس از یک دقیقه شیر هوا باز و به مدت ۴ دقیقه کف‌گیری انجام شد. در انتها محصول بدست آمده از این فرایند، ۲۴ ساعت در هاون قرار داده شد، سپس مقدار کنسانتره سرب و روی و باطله بدست آمده با استفاده از ترازوی دیجیتال آزمایشگاه اندازه‌گیری شد که نتایج این اندازه‌گیری در جدول ۴-۱ آورده شده است.

جدول ۴-۱: وزن کنسانتره سرب، روی و باطله بدست آمده در محدوده‌های ابعادی مختلف در آزمایش‌های مختلف

وزن باطله (گرم)	وزن کنسانتره روی (گرم)	وزن کنسانتره سرب (گرم)	محدوده ابعادی (میکرون)	شماره نمونه
۱۸۶/۰۹	۴۱/۹۸	۲۹/۲۵	کمتر از ۱۰۵	۱
۲۲۴/۵۸	۴۱/۲۶	۲۴/۷۲	۱۰۵-۱۴۹	۲
۲۰۰/۰۳	۴۰/۶۳	۱۷/۶۴	۱۴۹-۱۷۷	۳
۲۰۷/۴۳	۴۰/۶	۱۱/۱۲	۱۷۷-۲۵۰	۴
۱۸۳/۷۶	۲۶/۰۱	۲/۵۴	۲۵۰-۴۰۰	۵
۲۶۴/۹۴	۹/۳۸	۳/۷۴	۴۰۰-۵۹۵	۶
۲۸۶/۹۴	۷/۸	۲/۰۵	۵۹۵-۸۴۱	۷
۲۵۹/۳۳	۱۱/۴۴	۲/۷۴	۸۴۱-۱۰۰۰	۸

۴-۲-۳- نتایج حاصله از آزمایش‌ها

بعد از انجام آزمایش‌ها، کنسانتره‌های سرب و روی (هر ۸ محدوده) به همراه یک نمونه اولیه (خوراک) از هر کدام از محدوده‌های ابعادی برای انجام آنالیز جذب اتمی، جهت تعیین عیار خوراک و عیار کنسانتره‌های سرب و روی (جمعا ۲۴ نمونه) به آزمایشگاه تجزیه دانشکده معدن دانشگاه صنعتی شاهرود ارسال شد. از آنجایی که وجود آهن مزاحم یکی از مشکلات اصلی در فرایند

فرآوری کارخانه فرآوری معدن گوشفیل است، علاوه بر عیار سرب و روی، عیار آهن هر کدام از این نمونه‌ها نیز از آزمایشگاه درخواست شد. نتایج این آنالیزها در جدول ۲ آورده شده است. مدل دستگاه آنالیز آزمایشگاه Solaar S series و نوع سیستم آن Flame است. اطلاعات این جدول به ما کمک می‌کند تا بازیابی در هر کدام از محدوده‌های ابعادی ۸ گانه را محاسبه کرده و بهترین محدوده‌ها را از نظر عیار و بازیابی تعیین کنیم.

نمادهای استفاده شده در این جدول:

F = خوراک CPb = کنسانتره سرب CZn = کنسانتره روی

Pb = سرب Zn = روی Fe = آهن

(محدوده‌های ابعادی ۱ تا ۸ همان محدوده‌های اشاره شده در قسمت‌های قبل است).

۳-۴- بازیابی

مقدار (وزنی) جزء در محصول نسبت به مقدار آن در خوراک فرایند بازیابی گفته می‌شود. بازیابی می‌تواند برای فلز باارزش در کنسانتره و یا گانگ در باطله محاسبه گردد. پس از آنالیز عیاری کنسانتره سرب و روی، مقادیر بازیابی سرب و روی براساس رابطه متالورژیکی زیر بدست می‌آید.

$$R = \frac{Cc}{Ff} \times 100$$

که F و f به ترتیب وزن خوراک و عیار خوراک و C و c به ترتیب بیانگر وزن کنسانتره، و عیار فلز سرب و یا روی در کنسانتره‌ها می‌باشند.

بر اساس این رابطه و با توجه به داده‌های جدول ۴-۲ بازیابی سرب و روی و همچنین بازیابی آهن در کنسانتره سرب و بازیابی آهن در کنسانتره روی محاسبه شده و در جدول ۴-۳ آورده شده است.

جدول ۴-۲: نتایج آنالیزهای جذب اتمی

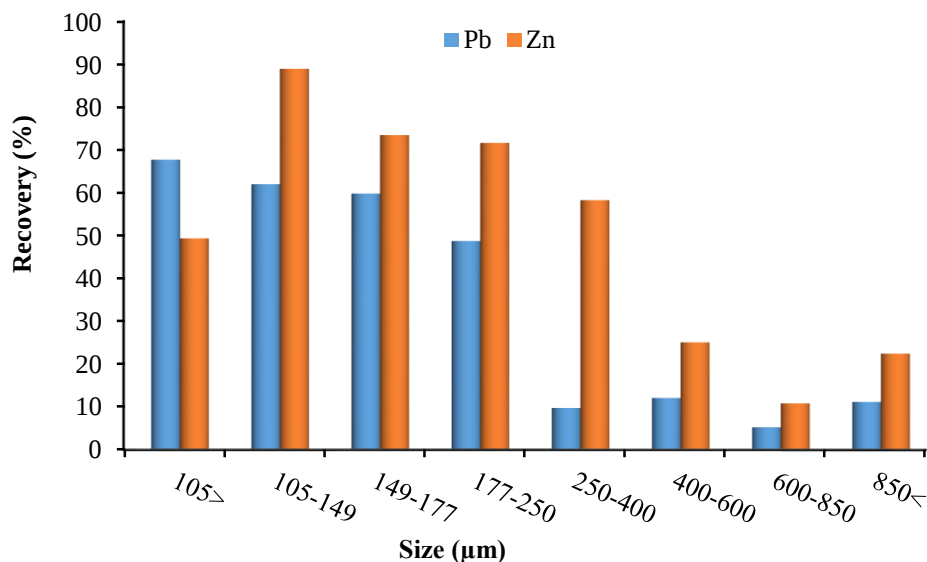
شماره	نام نمونه	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)
1	F1	1.69	2.23	4.17
2	F2	1.61	2.23	4.23
3	F3	1.76	1.89	4.19
4	F4	1.67	1.54	4.01
5	F5	1.18	1.05	2.89
6	F6	1.53	1.17	3.78
7	F7	2.22	1.41	3.83
8	F8	1.64	0.97	4.04
9	CZN1	2.20	1.11	14.67
10	CZN2	2.31	1.61	26.57
11	CZN3	2.67	1.73	22.70
12	CZN4	3.67	2.31	21.20
13	CZN5	2.22	5.01	19.39
14	CZN6	2.68	4.72	30.19
15	CZN7	2.71	4.47	15.91
16	CZN8	2.14	3.81	24.33
17	CPB1	2.15	15.47	11.48
18	CPB2	2.35	11.69	7.65
19	CPB3	2.32	19.19	10.07
20	CPB4	1.89	20.20	9.83
21	CPB5	2.10	12.07	4.58
22	CPB6	1.79	1.13	3.28
23	CPB7	1.92	10.79	4.74
24	CPB8	1.69	11.84	3.67

جدول ۴-۳: بازیابی سرب و روی و آهن در فراکسیون‌های مختلف

شماره نمونه	محدوده ابعادی (میکرون)	بازیابی کنسانتره سرب (درصد)	بازیابی آهن در کنسانتره سرب (درصد)	بازیابی کنسانتره روی (درصد)	بازیابی آهن در کنسانتره روی (درصد)
۱	کمتر از ۱۰۵	۶۷/۶۳	۱۳/۰۲	۴۹/۲۴	۱۸/۲۱
۲	۱۴۹-۱۰۵	۶۱/۱	۸/۲۴	۸۸/۸۶	۱۳/۷۵
۳	۱۷۷-۱۴۹	۵۹/۷	۷/۷۵	۷۳/۳۷	۲۰/۵۴
۴	۲۵۰-۱۷۷	۴۸/۶۲	۴/۱۹	۷۱/۵۵	۲۹/۷۴
۵	۴۰۰-۲۵۰	۹/۷۳	۱/۵	۵۸/۱۷	۱۶/۳۱
۶	۵۹۵-۴۰۰	۱/۲	۰/۴۴	۲۴/۹۷	۵/۴۷
۷	۸۴۱-۵۹۵	۵/۲۲	۰/۵۹	۱۰/۸	۰/۸۳
۸	۱۰۰۰-۸۴۱	۱۱/۱۴	۰/۹۴	۲۲/۳۶	۴/۹۶

۴-۳-۱- تحلیل بازیابی سرب و روی

مقایسه بازیابی سرب و روی در فراکسیون‌های مختلف در قالب نمودار در شکل ۴-۲ آورده شده است.



شکل ۴-۲: تاثیر دامنه ابعادی ذرات روی بازیابی سرب و روی در فلو تاسیون

نتایج جدول ۴-۳ و شکل ۴-۲ نشان می‌دهد که با کاهش ابعاد ذرات تا ۱۰۵ میکرون (۱۴۰ مش) میزان بازیابی سرب و روی افزایش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین میزان بازیابی سرب و روی به ترتیب در محدوده‌های ابعادی ۱۰۵ تا ۱۴۹ میکرون (۱۰۰ تا ۱۴۰ مش) و ۱۴۹ تا ۱۷۷ میکرون (۸۰ تا ۱۰۰ مش) بدست می‌آید. همان‌طور که مشاهده می‌شود در فراکسیون ۱۰۰+ و ۱۴۰- میکرون، بازیابی روی ۸۸/۸۷ و سرب ۶۱/۸۹ درصد است. زیرا با کاهش اندازه ذرات، سطح موثر افزایش یافته و نتیجتاً تاثیر مواد شیمیایی بویژه کلکتور روی سطح کانی‌های گالن و اسفالریت برای شناورسازی آن‌ها افزایش می‌یابد. همچنین آنالیز جذب اتمی و مطالعات کانی‌شناسی نیز حاکی از حضور پایین آهن در این محدوده ابعادی است که می‌تواند نقش بسزایی در بهبود راندمان داشته باشد. از طرفی تصاویر مقاطع صیقلی نیز تایید می‌کند که در این فراکسیون‌ها میزان آزاد شدگی کانی‌های بارزش سرب و روی بیشتر است. ضمناً همان‌طور که انتظار می‌رفت و نتایج بدست آمده از شکل نیز نشان می‌دهد، ابعاد بالای ۴۰۰ میکرون میزان بازیابی سرب و روی بسیار پایین است که نشان از آن است کانی‌های گالن و

اسفالریت به درجه آزادی مناسب و مورد نظر نرسیدند و به نوبه خود بر عیار و بازیابی تأثیر منفی دارند. همان‌طور که در فصل قبل نیز مشاهده می‌شود، کمترین میزان درجه آزادی کانی‌های اسفالریت و گالن به ترتیب مربوط فراکسیون‌های ۸۵۰+ و ۱۰۰۰- میکرون (ذرات درشت تر از ۲۰مش)، ۶۰۰+ و ۸۵۰- میکرون (۲۰ تا ۳۰ مش) و ۴۰۰+ و ۶۰۰- میکرون (۳۰ تا ۴۰ مش) است. بعلاوه ذرات بسیار بزرگ کانی باارزش به دلیل سنگین بودن، ممکن ظرفیت حمل حباب‌ها را کاهش دهند و لذا، بازیابی کاهش می‌یابد. اما در مورد ذرات با ابعاد کوچکتر از ۱۰۵ میکرون انتظار می‌رفت که با کاهش ابعاد ذرات درجه آزادی کانی‌های باارزش (گالن و اسفالریت) بیشتر شده و منجر به مقادیر بازیابی سرب و روی بیشتر گردند (همان‌طور در شکل ۲ مشاهده می‌گردد)، درحالی‌که نتایج حاکی از آن است که علی‌رغم بازیابی خوب سرب (۶۷/۶۳ درصد)، با کاهش بازیابی فلز روی مواجه هستیم که این رفتار می‌تواند براساس دو پدیده زیر باشد:

۱- پرعیارسازی کانسنگ‌های سولفیدی کمپلکس (چند فلزی)، به خصوص اگر کانی‌ها به صورت دانه ریز و پراکنده باشند، مشکل است و کانی‌های موجود در کمپلکس‌های سولفیدی معمولاً رفتاری متفاوت از کانی‌های منفرد دارند (دهقانی و شهبازی، ۱۳۹۶). علت این امر اندرکنش بین کانی‌های مختلف موجود در کانسنگ، بین کانی‌ها با بار خرد کننده در مرحله خردایش و شرایط الکتروشیمیایی بین کانی‌ها در سیستم فلوتاسیون دارد. زیرا کانی‌های سولفیدی (گالن، اسفالریت و پیریت) نیمه هادی بوده و منابع الکترون هستند و نتیجتاً می‌توانند واکنش‌ها را در سطح تشکیل دهند. علاوه بر این کانی‌های سولفیدی قابلیت واکنش شیمیایی با اکسیژن محلول در آب را دارند که این خاصیت به دلیل ناپایداری سولفور رخ می‌دهد. بنابراین در طول فرآیند خردایش و فلوتاسیون، وقتی که تماس اولیه میان کانی‌ها و گلوله‌های فولادی و یا بین خود کانی‌ها بویژه در فلوتاسیون رخ می‌دهد، سبب می‌شوند که به علت تفاوت زیادی که در پتانسیل الکتروشیمیایی (پتانسیل استراحت) کانی‌های سولفیدی گالن و اسفالریت با پیریت وجود دارند، یک یا چند زوج گالوانیکی (پیل الکتروشیمیایی) تشکیل دهند و کانی‌هایی با پتانسیل الکتروشیمیایی منفی‌تر (گالن و اسفالریت) در محیط پالپ داخل

فلوتاسیون به عنوان آند و کانی پیریت با پتانسیل الکتروشیمیایی مثبت تر بعنوان کاتد عمل نماید. این رفتار منجر به افزایش اکسید شدن گالن و اسفالریت می شود و وقتی که میزان پیریت زیاد باشد، این عمل تشدید می گردد و شرایط لازم را برای فعال کردن کانی های گانگ دیگر فراهم می کند. بعلاوه این عمل منجر به کاهش اکسیژن محلول در پالپ و واکنش با آب برای تشکیل یون های هیدروکسیل می گردد. یون های هیدروکسیل نیز متقابلاً بر یون های آهن محلول در پالپ فلوتاسیون که از مرحله خردایش (خورده شدن گلوله فولادی) و کانی های آهن دار آزاد شدند، اثر می گذارند و سبب تشکیل انواع هیدروکسیدهای آهن می شوند که ممکن است بعداً در سطح کانی رسوب کند و متعاقباً با کاهش اثر کلکتور به شدت بر فرآیند فلوتاسیون تاثیر بگذارد. این رفتار در مورد اسفالریت که مطالعات کانی شناسی هم نشان از میزان بالای آهن دارد و یک نوع هم بستگی را بین میزان آهن موجود در نمونه و اسفالریت نشان می دهد، کاملاً مشهود است.

۲- کاهش کیفیت کنسانتره می تواند به دلیل درجه آزادی کم، انتخابیت ضعیف فرآیند فلوتاسیون و یا پوشیده شدن ذرات توسط ذرات دانه ریز دیگر (نرمه) نیز باشد. در مورد ذرات با ابعاد درشت مورد اول صدق می کند. اما در مورد ذرات ریز بحث دوم یعنی نرمه مطرح می باشد. زیرا همان طور که در تصاویر XRD مشاهده می شود اکثر کانی های باطله همراه سیلیسی (کوارتز) هستند (پیک های آبی رنگ) که خردایش بیشتر کانسنگ را به منظور رسیدن به درجه آزادی مناسب می طلبد. از طرفی آسیاکردن نمونه تا ابعاد کوچک هر چند موجب آزادسازی بیشتر کانی ها می شود ولی منجر به تولید ذرات بسیار ریز نرمه نیز می گردد. حضور نرمه ها می تواند موجب مصرف بیش از حد مواد شیمیایی شامل بازداشت کننده ها و کلکتور شود و همچنین در فلوتاسیون ایجاد اختلال کند. مهمترین اثر نرمه ها در فلوتاسیون، پدیده دنباله روی گانگ به کنسانتره است. پدیده دنباله روی به دلیل قرار گرفتن ذرات ریز در فضای آب ساکن پشت حباب های بالارونده هوا و راه یافتن آن ها به فاز کف و سپس کنسانتره رخ می دهد. این پدیده به طور عمده در مورد ذرات دانه ریزی مشاهده می شود که به دلیل خاصیت آبدوستی قادر به اتصال به حباب ها نیستند ولی به دلیل وزن کم و در نتیجه قابلیت تعلیق

زیاد در فضای پالپ، توسط جریان آب به سمت کنسانتره هدایت می‌شوند. بنابراین، پدیده دنباله‌روی یک فرایند غیرانتخابی است که با آلوده کردن کنسانتره، کاهش عیار محصول را (ابعاد کوچکتر از ۱۰۵ میکرون) سبب می‌شود و بدین ترتیب تأثیر منفی بر راندمان فلوتاسیون می‌گذارد.

یکی از راه حل‌ها برای غلبه بر مشکلات مطرح شده (در مورد گزینه اول)، کنترل پتانسیل پالپ در سیستم فلوتاسیون است، زیرا واکنش‌های الکتروشیمیایی در پتانسیل‌های مختلف انجام می‌شوند و بنابراین، با کنترل آن امکان فلوتاسیون انتخابی کانی‌های کمپلکس بوجود می‌آید.

برای کنترل و رفع پدیده دنباله‌روی می‌توان راهکارهای زیر در نظر گرفت:

- (۱) در اولین گام، باید بهبود مرحله خردایش (آسیا) برای کاهش نرخ تولید نرمه‌ها مورد بررسی قرار گیرد.
- (۲) چنانچه کاهش تولید نرمه به هر دلیلی در مرحله آسیا ممکن نبود، باید با بهبود مرحله طبقه‌بندی، سهم ذرات بسیار ریز را در خوراک مرحله فلوتاسیون کاهش داد (به عنوان مثال، کنترل پارامترهای عملیاتی واحد طبقه‌بندی و یا استفاده از دو مرحله طبقه‌بندی).
- (۳) در صورت امکان، می‌توان با کنترل نوع و مقدار مواد شیمیایی مورد استفاده در مرحله فلوتاسیون، نرخ دنباله‌روی را در مرحله رافر و رمق‌گیر به حداقل رساند.
- (۴) چنانچه حضور نرمه‌های گانگ در کنسانتره همچنان بالا بود، باید امکان استفاده از سیستم شستشوی کف را در مرحله رافر مورد بررسی قرار داد.
- (۵) اگر امکان استفاده از دوش آب فراهم نشد و یا استفاده از آن مؤثر نبود، باید بهره‌برداری و یا بهینه‌سازی واحد کلینر در مدار فلوتاسیون را مورد ارزیابی قرار داد.

فصل پنجم

خلاصه،

نتیجه‌گیری

و پیشنهادها

۵-۱- خلاصه

با توجه به افزایش مصرف ماده معدنی در عرصه‌های مختلف و همچنین کم‌عیار شدن کانه‌های مختلف و پیچیده شدن فرآوری آن‌ها، نیاز به مطالعات کانی‌شناسی و شیمی ماده معدنی قبل از فرآوری ماده معدنی ضروری می‌باشد. بدین منظور نمونه‌برداری از خوراک ورودی به کارخانه فرآوری معدن گوسفیل انجام شد و مطالعات کانی‌شناسی و شیمی کانسنگ بر روی نمونه‌ها صورت گرفت، برای بررسی درجه آزادی نمونه‌ها در ۸ محدوده تقسیم‌بندی شده و پس از آن آزمایش‌های فلوتاسیون برای محاسبه عیار و بازیابی در این محدوده‌ها صورت گرفت.

معدن گوسفیل در منطقه معدنی ایرانکوه و متعلق به مجتمع معدنی باما واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان است که در زون سنندج - سیرجان و بر روی کمر بند متالوژنی ملایر - اصفهان واقع شده است. کانی سازی در مجموعه معادن ایرانکوه به شکل اپی ژنتیک و با کنترل ساختاری در گسل‌های موجود در مرز شیل ها و سیلتستون های ژوراسیک و سنگ های کربناته کرتاسه و یا در گسل های داخل واحد کربناته تشکیل شده است. سنگ میزبان کانی سازی سرب و روی اغلب دولستون (دولستون توده ای تا ضخیم لایه خاکستری تا قهوه ای- قرمز همراه با مواد آلی) و کمتر شیل و سیلتستون است. در سنگ میزبان دولستون، کانه زایی به دو شکل کلی جانشینی و پرکننده فضاهای خالی (فضاهای ایجاد شده توسط گسل مانند رگچه های زمین ساختی یا برش های گسلی و یا حفرات سنگ میزبان) تشکیل شده است؛ درحالی که در واحد شیلی - سیلتستون فقط فضاهای ایجاد شده به وسیله گسل توسط محلول کانه دار پر شده است و مقدار ذخیره در آنها بسیار کمتر از واحد دولستون است و کانی سازی از لایه بندی و شیب سنگ میزبان پیروی نمی‌کند (کریم‌پور و همکاران ۱۳۹۶)

مهم‌ترین کانی‌های فلزی مشاهده شده اسفالریت، گالن و پیریت همراه با رگه‌های کوارتز و باریت است. کانی‌های رسی شامل میکا، ایلیت و کائولینیت می‌باشد. در مطالعه XRD نمونه اسفالریت علاوه بر گالن، اسفالریت و پیریت کانی‌های دولومیت، مسکویت، ایلیت و میکروکلین نیز آشکار شده است.

بر اساس بررسی‌های ژئوشیمی میزان $Pb=1/69$ درصد، $Zn=4/09$ درصد، $Fe=2/58$ ، $Mg=2/63$ درصد، $Ca=4/83$ درصد، $K=2/11$ درصد، $Al=4/93$ درصد و $S=7/24$ درصد می‌باشد. که سرب و روی و پیریت مربوط به فاز کانی‌سازی سولفیدی و k و Al مربوط به فاز سیلیکاته و کانی‌های رسی موجود در شیل‌ها و Ca و Mg مربوط به کربنات‌ها به ویژه دولومیت می‌باشد. همچنین میزان حضور ایندیوم و ژرمانیوم و کادمیوم در کانه مورد بررسی به ترتیب $2/3$ گرم بر تن، $1/14$ گرم بر تن و $62/2$ گرم بر تن است.

در آنالیز رامان بر روی نمونه‌ای که از کنسانتره روی برداشت شد، اسفالریت غنی از آهن و کوارتز آشکار شدند. کوارتز در محدوده 130 cm^{-1} ، اسفالریت غنی از آهن با باند 266 cm^{-1} آشکار شده است. پس از انجام مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمی به منظور بررسی درجه آزادی و همچنین آزمایش‌های فلوتاسیون جهت یافتن بازیابی مطلوب، نمونه‌ها پس از سنگ‌شکنی و آسیا در ۸ محدوده ابعادی تقسیم بندی شدند. از هر کدام از محدوده‌های ابعادی یک مقطع صیقلی جهت مطالعه درجه آزادی، یک نمونه برای آنالیز اشعه ایکس و ۳۰۰ گرم نمونه جهت انجام تست‌های فلوتاسیون برداشت شد.

در محدوده زیر ۱۰۵ میکرون که ریزترین محدوده ابعادی است تشخیص کانی‌ها خیلی سخت بوده و درگیری کانی‌های اصلی به شکل پراکنده در باطله‌های سیاه رنگ می‌باشد. درجه آزادی اسفالریت ۶۱ درصد و درجه آزادی گالن ۶۹ درصد است. در این محدوده بازیابی کنسانتره سرب $67/63$ درصد، بازیابی کنسانتره روی $49/24$ درصد و بازیابی آهن در کنسانتره روی $18/21$ درصد می‌باشد.

ذرات بین ۱۰۵ تا 149 میکرون قفل‌شدگی با باطله به صورت پراکنده دارند. درجه آزادی اسفالریت ۶۶ درصد و درجه آزادی گالن ۶۹ درصد است. در این ابعاد بازیابی سرب $61/1$ ، بازیابی روی $88/86$ و بازیابی آهن در روی $13/75$ درصد می‌باشد. که با این تفاسیر بهترین محدوده ابعادی از نظر بازیابی و درجه آزادی است.

در محدوده بین ۱۴۹ تا ۱۷۷ میکرون درگیری کانی‌های اصلی به شکل قفل‌شدگی با پیریت و

باطله‌های دیگر می‌باشد. درجه آزادی اسفالریت ۵۶ درصد و درجه آزادی گالن ۵۲ درصد است. بازیابی سرب ۵۹/۷ درصد، بازیابی روی ۷۳/۳۷ درصد و بازیابی آهن در روی ۲۰/۵۴ درصد می‌باشد.

از محدوده ۱۷۷ تا ۲۵۰ میکرون به بعد با بزرگتر شدن ابعاد میزان درگیری کانی‌های اصلی با باطله‌ها بیشتر شده و موجب کاهش درجه آزادی و بازیابی می‌شود. در این محدوده درجه آزادی گالن ۴۷ درصد، درجه آزادی اسفالریت ۳۲ درصد، بازیابی سرب ۴۸/۶۲ درصد، بازیابی روی ۷۱/۵۵ درصد و بازیابی آهن در روی ۲۹/۷۴ درصد می‌باشد.

در محدوده ۲۵۰ تا ۴۰۰ میکرون درگیری‌ها بیشتر شده و ذرات آزاد کمتر یافت می‌شوند. در این محدوده ابعادی درجه آزادی گالن ۲۹ درصد، درجه آزادی اسفالریت ۱۹ درصد بازیابی سرب ۹/۷۳ درصد، بازیابی روی ۵۸/۱۷ درصد و بازیابی آهن در روی ۱۶/۳۱ درصد می‌باشد.

ذرات بین ۴۰۰ تا ۵۹۵ میکرون قفل‌شدگی به صورت ساده و پراکنده در باطله دارند. در این محدوده گالن در ۴۰ درصد و اسفالریت در ۲۰ درصد به درجه آزادی می‌رسند. میزان بازیابی سرب ۱/۲ درصد، بازیابی روی ۲۴/۹۷ درصد و بازیابی آهن در روی ۵/۴۷ درصد می‌باشد.

در محدوده ۵۹۵ تا ۸۴۱ میکرون ذرات آزاد کمتری یافت می‌شود و درگیری‌ها به شکل حاشیه‌ای و پراکنده در باطله است. درجه آزادی گالن ۲۰ درصد، درجه آزادی اسفالریت ۱۴ درصد، بازیابی سرب ۵/۲۲ درصد، بازیابی روی ۱۰/۸ درصد و بازیابی آهن در روی ۰/۸۳ درصد می‌باشد.

در بزرگترین محدوده که ابعادی بین ۸۴۱ تا ۱۵۰۰ میکرون دارند کانی‌های درشت اسفالریت گالن و اسفالریت‌های درشت درگیر با باطله به وفور یافت می‌شود در این محدوده درجه آزادی گالن ۸، درجه آزادی اسفالریت ۹ درصد، بازیابی سرب ۱۱/۱۴ درصد، بازیابی روی ۲۲/۳۶ درصد و بازیابی آهن در روی ۴/۹۶ درصد می‌باشد.

در تمامی محدوده‌های ابعادی ذکر شده کانی‌های کوارتز، دولومیت، مسکویت، گالن و اسفالریت در پراش اشعه ایکس آشکار شده‌اند.

۵-۲- نتیجه گیری

✓ مطالعات کانی‌شناسی و شیمی کانسنگ نشان می‌دهد که کانه‌ها شامل گالن، اسفالریت، اسمیت زونیت و سروزیت و باطله‌ها شامل پیریت، کوارتز، دولومیت، آنکريت و کانی‌های رسی ایلیت و کائولینیت و شیل می‌باشند.

✓ کانی‌های حاوی آهن عبارتند از: پیریت، اسفالریت غنی از آهن، آنکريت، دولومیت غنی از آهن.

✓ مطالعات درجه آزاد شدگی کانی‌ها و بازیابی فلوتاسیون سرب و روی نشان می‌دهد که با کاهش ابعاد ذرات تا ۱۰۵ میکرون میزان بازیابی سرب و روی افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین میزان بازیابی سرب (۶۱/۸۹) و روی (۸۸/۸۷) در محدوده‌ی ابعادی ۱۰۵ تا ۱۴۹ بدست آمد. تصاویر مقاطع صیقلی نیز تایید کرد که در این فراکسیون میزان آزاد شدگی کانی‌های با ارزش سرب و روی بیشتر است. درجه آزادشدگی کانی‌های با ارزش گالن و اسفالریت در این محدوده به ترتیب ۶۹ و ۶۶ درصد تعیین شد. همچنین مطالعات کانی‌شناسی و آنالیز جذب اتمی نیز نشان داد که میزان آهن در این محدوده‌ی ابعادی نسبت به دیگر محدوده‌های ابعادی پایین تر است. ضمناً نتایج نشان داد همانطور که انتظار می‌رفت ابعاد بالای ۴۰۰ میکرون میزان بازیابی و عیار سرب و روی بسیار پایین است و نشان از آن است که کانی‌های گالن و اسفالریت به درجه آزادی مناسب و مورد نظر نرسیدند و بر عیار و بازیابی تأثیر منفی داشتند.

۵-۳- پیشنهادها

(۱) با توجه نتایج حاصل از مطالعات کانی‌شناسی فرآیند که نشان از حضور بالای آهن بصورت پیریت در کانه است و می‌تواند نقش بسزایی در کاهش راندمان فرآیند در مرحله فلوتاسیون داشته باشد، پیشنهاد می‌شود که مطالعه‌ای بر امکان حذف یا کاهش آهن قبل از مرحله فلوتاسیون انجام پذیرد.

(۲) با توجه به آنالیز رامان که حضور میزان بالای آهن را به صورت پیریت در شبکه اسفالریت

(اسفالریت غنی از آهن در کنسانتره) در کانسنگ نشان می‌دهد، پیشنهاد می‌شود که بهینه‌سازی مرحله‌ی فلوتاسیون روی با تاکید بر تغییر در نوع و میزان مواد شیمیایی مصرفی (شامل کلکتور، کف ساز و بازداشت کننده) انجام گیرد. بعلاوه مطالعات XRD نیز حاکی از حضور گانگ کربناته بصورت دولومیت است که می‌توانند فلوتاسیون سرب و روی را تحت تاثیر قرار دهد و با بهینه‌سازی پارامترهای شیمی فرآیند و تغییر نوع مواد شیمیایی راندمان می‌تواند بهبود یابد. بعنوان مثال سیلیکات سدیم می‌تواند بعنوان متفرق کننده و یا بازداشت کننده کانی‌های کربناته استفاده گردد.

۳) با توجه نتایج آنالیز ICP که نشان از میزان حضور بالای فلزات استراتژیک و باارزش ایندیوم و ژرمانیوم و کادمیوم در کانه مورد بررسی گوسفیل است، پیشنهاد می‌شود که مطالعه‌ای بر حضور و امکان بازیابی این فلزات باارزش انجام گردد.

منابع

- آقاجانی و، فرزندگان ا، جرجانی ا، ارجمند فرح، (۱۳۹۳) "کانی‌شناسی فرآیند: مطالعه موردی خواص سنجی کانسنگ سولفیدی-اکسیدی معدن سرب و روی انگوران " پنجمین کنفرانس مهندسی معدن، مصلی امام خمینی تهران
- آیتی ف، دهقانی ه، مختاری ا و مجتهدزاده س، (۱۳۹۳) " مطالعات ژئوشیمیایی و کانی‌شناختی کانسار سرب و روی گوشفیل ایرانکوه، اصفهان " نشریه علمی-پژوهشی روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، شماره ۶، ص ۸۳ تا ۹۱.
- ایرانمنش ح، بهروز م و بنیسی ص، (۱۳۸۳) " تاثیر درجه آزادی و نوع قفل‌شدگی کانی‌های حاوی مس در بازیابی مدار فلوتاسیون کارخانه فرآوری مجتمع مس سرچشمه " کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- تیموری اصل ف، پاکزاد ح ر و باقری ه، (۱۳۹۰) "بررسی منشاء فلزات و سیالات کانه‌زا در کانسار سرب و روی ایرانکوه" پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، سال بیست و هفت، شماره سوم، پاییز.
- خوشدست ح، (۱۳۹۵) "جزوه درسی فلوتاسیون پیشرفته " گروه فرآوری مواد معدنی، بخش مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی زرنند، تابستان .
- حاجتی ع، (۱۳۸۶) "ارزیابی نقش مؤثر ابعاد ذرات از دیدگاه کانی‌شناسی جهت افزایش بازیابی فرآیند فلوتاسیون- مطالعه موردی کانی‌های اکسید روی دپوی باطله " پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- حاجتی ع، سمیعی ع، سراجیان س و خدادادی ا، (۱۳۸۳) " تعیین درجه آزادی کانی‌های اکسیده روی در معدن روی و آهن گوشفیل ایران " کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران، دانشگاه تربیت

مدرس.

حسینی دیانیانی ه، آفتابی ع (۱۳۹۶) "دماسنجی بر پایه ماکل کلسیت و سیال های درگیر در باریت (کانسار سرب روی ایرانکوه، جنوب باختری اصفهان)" **پترولوژی**، سال هشتم، شماره بیست و نهم، بهار ، ص ۱ تا ۲۰.

خیرآبادی ا، نوع پرست م، اصلانی س و قربانی ع (۱۳۸۸) "تأثیر شرایط مختلف فلوتاسیون بر بازیابی کانههای اکسیده سرب و روی معدن گوشفیل" **نشریه دانشکده فنی**، دوره ۴۳، شماره ۳، ص ۲۴۹ تا ۲۵۷.

دهقانی ع و شهبازی م (۱۳۹۶) " بازداشت پیریت و اسفالریت در فلوتاسیون اولیه گالن از کانسنگ سرب و روی پرپیریت معدن گوشفیل" **نشریه مهندسی معدن**، دوره دوازدهم، شماره ۳۵، تابستان، ص ۳۵ تا ۵۱.

رحمانی م، (۱۳۹۴)، پایان نامه ارشد : "مطالعات کانی شناسی – ژئو شیمی بر روی فاز اکسیدی کانی سازی مس در محدوده امیرآباد در جنوب شرق رفسنجان با رویکرد فرآوری"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

سهراب نژاد م، (۱۳۸۶)، پایان نامه ارشد : "بررسی توزیع عناصر کمیاب به ویژه عنصر سلنیم در کالکوپیریت های ذخایر مس ایران"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

شهبازی م، (۱۳۹۳)، پایان نامه ارشد: " بررسی قابلیت فرآوری کانسنگ پرپیریت سرب و روی معدن زیرزمینی گوشفیل"، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه یزد.

صالحی ل، رساء ا، علیرضایی س، مطرودی ف و توسلی س ح، (۱۳۹۲) "طیف سنجی رامان و کاربرد آن در شناسایی دگرسانی های موجود در کانسارهای مس عباس آباد، شمال شرق شاهرود" **پژوهشهای دانش زمین**، سال چهارم، شماره 13، صفحات 69-83 .

عابدی آو شفایی س (۱۳۹۴) "نقش کانی شناسی در فرآوری مواد معدنی (کانی شناسی فرآیند)

"بیست و سومین همایش بلور شناسی و کانی شناسی ایران.

کریم پور م ح، ملک زاده آ، اسماعیلی ع، شعبانی س، الازج و استرن چ، (۱۳۹۶) "زمین شناسی، کانی سازی، شیمی کانی ها، شیمی و منشا محلول کانه دار در ناحیه معدنی سرب و روی ایرانکوه، جنوب اصفهان" **مجله زمین شناسی اقتصادی**، جلد ۹، شماره ۲، ص ۲۶۷ تا ۲۹۴.

کلینی س م ج، صابریان ک، عبداللهی م و مهرپویا ح (۱۳۸۷) "لیچینگ انتخابی روی و ایندیم از کنسانتره تشویه شده سولفید روی" **دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران**، دانشگاه تهران.

محمدی س، سالاری راد م و حسینی ب (۱۳۹۱) "کانی شناسی فرآیند: مطالعه موردی خواص سنجی کانسار روی اکسیده مهدی آباد یزد" **چهارمین کنفرانس معدن ایران**، دانشگاه تهران.

ناکینی ع، محجل م، راستاد ا و بویری م (۱۳۹۴) "چین خوردگی و گسلش در گستره معدنی ایرانکوه، جنوب اصفهان" **یافته های نوین در زمین شناسی (نشریه علوم دانشگاه خوارزمی)** جلد ۱، شماره ۲، پاییز و زمستان.

References

- Boulton A. Fornasiero D. & Ralston J. (2005). "Effect of iron content in sphalerite on flotation". **Minerals Engineering**, 18(11), 1120-1122.
- Boveiri Konari M. and Rastad E. (2016) "Nature and origin of dolomitization associated with sulphide mineralization: new insights from the Tappehsorkh Zn-Pb (-Ag-Ba) deposit, Irankuh Mining District, Iran" **Geological Journal**, 10.1002.
- Butler I. B. and Nesbitt R. W. (1999). "Trace element distributions in the chalcopyrite wall of a black smoker chimney: insights from laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS)". **J. of Earth and Planetary Science Letters**, 167, 3, pp. 335-345.
- Buzatu A. Buzgar N. Damian G. Vasilache, V. and Apopei A I. (2013). "The determination of the Fe content in natural sphalerites by means of Raman spectroscopy" **Vibrational Spectroscopy**, 68, 220-224.
- Cook N. J. Ciobanu C. L. and Williams T. (2011). "The mineralogy and mineral

- chemistry of indium in sulphide deposits and implications for mineral processing”.**J. of Hydrometallurgy**, 108, 3, pp. 226-228.
- Das A. Singh R. Saho K.K and Goswami N.G. (2008) “Importance of Mineralogy in Mineral Processing “**Training Course on Mineral Processing and Nonferrous Extractive Metallurgy**, 2008. June30 – July5.
- Deng W. Zhao H. Jiang D. B and Lan Y. Z (2013)” Experimental Research of Mineral Processing on a Certain Lead-Zinc Oxidize Ore” **Advanced Materials Research** Vol. 669, pp. 34-38.
- He D.S.Chen Y. Xiang P. Yu Z. and Potgieter J.H (2018) “Study on the pre-treatment of oxidized zinc ore prior to flotation” **International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials**, 25, 2, 117-122.
- Ivanov v. (1969). “Determination of Trace elements in the main ore minerals” **ore deposits of USSR**, 3. pp. 473.
- Kabata-Pendias A. (2010), “Trace elements in soils and plants ” CRC press.
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A. B. (2007) “Trace elements from soil to human ” **Springer Science & Business Media**, Berlin Heidelberg New York.
- Li Z. Y. Guo X. F. Liu J. Wang L. L and Li H. Q (2013)” Study on Technological Mineralogy of a Certain Lead-Zinc Ore” **Advanced Materials Research**, Vol. 634, pp. 3498-3501.
- Lindon J. C. Tranter G. E and Koppenaal D. (2016). “Encyclopedia of spectroscopy and spectrometry” **Academic Press**.
- López A and Frost R. L (2015)” Raman spectroscopy of pyrite in marble from Chillagoe, Queensland” **Journal of Raman Spectroscopy**, 46(10), p.1033-1036.
- Maghfouri S. Hosseinzadeh M. R. Rajabi A and Choulet F. (2018)” A review of major non-sulfide zinc deposits in Iran” **Geoscience Frontiers**, 9(1),p. 249-272.
- McMillan F (1989)” Raman Spectroscopy in Mineralogy and Geochemistry, Ann” **Earth Planet. Sci., Arizona University**, p. 255-283.
- Modabberi S. (2004) “Environmental geochemistry and trace element anomaly in the Takab area and their impact on the Zarrineh Roud reservoir dam, with special reference to Zarshuran deposit ” University of Shiraz.
- Nakini A. Mohajjel M. Rastad A. and Bovieri Konari M. (2015) ”Folding and faulting in Irankuh deposit, south of Isfahan” **New Findings in Geology**, 1(2): p.235-254.
- Rajabi A. Rastad E and Canet C. (2012). “Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted

- Zn–Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration”. **International Geology Review**, 54, p.1649–1672.
- Rastad E. (1981). “Geological, mineralogical and ore facies investigation of the lower cretaceous stratabound Zn-Pb-Ba- Cu deposits of the Irankuh Mountain rang. Isfahan. West central Iran” Heidelberg university, German, 334p.
- Reiser F. K. Rosa D. R. Pinto Á. M. Carvalho J. R. Matos J. X. Guimarães F. M. and de Oliveira D. P. (2011). “Mineralogy and geochemistry of tin-and germanium-bearing copper ore, Barrigão re-mobilized vein deposit, Iberian pyrite belt, Portugal”. **J. of International Geology Review**, 53, 10, pp. 1212-1238.
- Rubinstein, J. (2002). “Non-ferrous metal ores: deposits, minerals and plants “ 1. CRC Press.
- Wills B.A. and Atkinson K. (1993). “Some observations on the fracture and liberation of mineral assemblies”, **Minerals Engng**, 6(7), 697.
- Yang M. Xiao W. Yang X and Zhang P. (2016), “Processing Mineralogy Study on Lead and Zinc Oxide Ore in Sichuan”, **Metals**, 6, p.93.
- Zahedi M. (1976). “Geological map of Esfahan, scale 1:250,000. Geological Survey of Iran”.
- www.binaloud.com
- www.googleearth.com
- www.kzg.ir

Abstract

Mineralogical studies including identification of valuable and gangue minerals, texture, relationship between ore and gangues, size, and degree of liberation are the first stage of mineral processing operation and have very important effect on the improvement of current mineral processing technology. In this research, mineralogy studies, ore chemistry and degree of liberation from the point of view of mineral processing was performed on the processing plant feed of Gushfill Pb-Zn mine. Gushfill mine is located at the Iran Kuh Mining area, 20 km SW Isfahan. Sphalerite, galena and pyrite are the main minerals observed by optical microscope, in association with black shales, dolomite, barite and quartz as the gangues. Clay minerals such as mica, illite and kaolinite were characterized by X-ray diffraction. Based on ICP-MS results the content of Cd and In were determined 2.3 and 62.2 ppm, respectively. Fe-rich sphalerite in the Zinc flotation sample was identified by micro Raman spectroscopy. In order to investigate the degree of liberation and to select the best size range, the samples were crushed and grinded and then divided into 8 size fractions. In the dimension range of 105-149 microns, the maximum degree of liberation was determined 69% and 66% for galena and sphalerite, respectively. Based on XRD analyses, quartz, muscovite, galena and sphalerite were the main minerals in the mentioned dimension range. The results obtained from flotation experiments indicated that the recovery of Pb and Zn increased with decreasing the particle size. Also, the results showed that the highest recovery rate of lead (61.89%) and zinc (87.88%) achieved in the range of 105 to 149 micron.

Key words: Mineralogy, Pb, Zn, Gushfill, Mineral processing



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering
Mining exploration department

...

**Mineralo-Geochemical studies on Goshfil lead and zinc
ores, from mineral processing and exploration point of view**

By: Omid Raiszadeh

Supervisor:

Dr. Arezoo Abedi

Dr. Asghar Azizi

Advisor:

Mostafa Paymard

September 2018