

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی توزیع عناصر کمیاب به ویژه عنصر سلنیم (Se) در کالکوپیریت‌های ذخایر مختلف  
مس ایران

نگارنده: مهشید سهراب نژاد

استاد راهنما:

دکتر آرزو عابدی

استاد مشاور:

دکتر بهنام شفیعی

شهریور ۱۳۹۶

تقدیم به:

پدر و مادر فداکارم

خواهران و برادر عزیزم

و آنان که دوستشان دارم

## تشکر و قدردانی

پاس خدای یکران را که بندگانش را در پیچ هم به ای تنها گذاشته و پس از سختی باره سعادت را در پیش رویش قرار داده است. شکر خدای را که عنایت فرمود تا با بهره گیری از محضر بزرگوارانی فریخته و با اخلاق، تپه این مشق را به پایان برسانم.

بر خود لازم می دانم از تمام کسانی که در کسوت استاد، دوست یا به شکل دیگر مراد اتمام این پژوهش یاری کردند مراتب سپاس گذاری را به جا آورم که اگر دست یاریشان نبود این مشق به پایان نمی رسید. از استاد م سرکار خانم دکتر عبدی پاسگلزارم که زحمت را بهمانی این پایان نامه را بر عهده داشتند و ایده های خام بنده را مجال بروز داده و در پرورش این ایده با صبور بودند. همچنین بنحصر ارسال نمونه های کالکوپریت مناطق زون کرمان از جناب آقای دکتر بهنام شنبی عضو هیئت علمی دانشگاه گلستان، نمونه های معدن بتقله زری از دکتر سعید یوسفی عضو هیئت علمی دانشگاه بیرجند، نمونه های اندیس سخاست و لوشان از دکتر منصور ضیایی عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شاهرود و نمونه از معدن پنج کوه از آقای اکبر عبداللہی کارشناس ارشد زمین شناسی کمال پاس و قدردانی را دارم.

از شرکت امید رو که بخشی از هزینه های پایان نامه (آمالیز الکترون میکرو پروب) را در قالب طرح قبول زحمت نموده اند تشکر می شود.

از دوستان عزیزم که در مراحل مختلف این پروژه از کمک ایشان بهره فراوان بردم تشکر و قدردانی می کنم.

میش از همه میخواهم قدردانی ام را از خانوادۀ عزیزم کنم که با حمایت های بی دریغشان عرصه پیشرفت را برای این جانب هموار کردند.

و در پایان پاس بی اتقاد دارم از هر آن کس که در زندگی به من آموخت.

همشید سهراب نژاد

تابستان ۱۳۹۶

## تعهد نامه

اینجانب مهشید سهراب نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: بررسی توزیع عناصر کمیاب به ویژه عنصر سلنیم (Se) در کالکوپیریت‌های ذخایر مختلف مس ایران تحت راهنمایی دکتر آرزو عابدی متعهد می شوم.

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

تاریخ: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

مهشید سهراب نژاد

### مالکیت نتایج و حق نشر

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

## چکیده

عناصر کمیاب Se, Te, In, Ga, Ge در ساخت صفحات خورشیدی کاربرد دارند که محصول جانبی ذخایر مس و سرب-روی می‌باشند. با توجه به رو به پایان بودن ذخایر فسیلی، قرارگیری کشور ایران در کمربند خورشیدی جهان و واقع شدن ایران در کمربند جهانی مس در این پژوهش به بررسی شیمی کانی کالکوپیریت در برخی ذخایر مس ایران به منظور اکتشاف عناصر کمیاب پرداخته شد. مطالعات کانه‌نگاری بر روی ۵۵ مقطع، آنالیز الکترون میکروپروب بر روی ۵۷ نقطه کالکوپیریت، آنالیز میکروپروب اشعه ایکس بر روی ۱۸ نقطه و آنالیز پودری ICP-MS بر روی ۵ نمونه (ذخایر مس سرچشمه، سرکوه، چهارگنبد، پنج‌کوه و قلعه‌زری) صورت گرفت. براساس نتایج حاصل از آنالیز ICP-MS بر روی نمونه های پودر شده کالکوپیریت میزان سلنیم ۳۹/۵ تا ۱۱۸ گرم بر تن، میزان تلوریم در دو منطقه سرچشمه و سرکوه ۰/۳ و ۰/۴ گرم بر تن، گالیم تا ۱/۵۱ گرم بر تن، ژرمانیوم ۰/۰۸ تا ۰/۳۲ گرم بر تن و ایندیم ۰/۰۳ تا ۲/۲۸ آشکار شد. در نتایج بدست آمده از آنالیز الکترون میکروپروب بر روی کانی کالکوپیریت در مناطق مختلف محدوده غلظت عنصر ایندیم تا ۷۰۰، ژرمانیوم تا ۷۰۰، گالیم تا ۵۰۰ گرم بر تن است. در مطالعات نقطه ای میکروپروب اشعه ایکس میزان سلنیم فقط در نمونه قلعه زری تا ۱۴۲ گرم بر تن آشکار شد.

با توجه به حضور سولفاسالت های حاوی سلنیم به عنوان انکلوزن در کالکوپیریت قلعه زری، بالا بودن میزان سلنیم در نمونه پودری و آنالیز XPMA منطقه قلعه‌زری برای اکتشاف عناصر کمیاب مناسب تر به نظر می‌رسد.

کلمات کلیدی : کالکوپیریت، ذخایر مس ایران ، عناصر کمیاب، سلنیم

لیست مقالات استخراج شده :

۱- سهراب نژاد م, عابدی آ, " بررسی توزیع عنصر سلنیم در کانی‌های سولفیدی ذخایر فلزات پایه " ،  
سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین ، تهران، اسفند ۱۳۹۵ .

۲- سهراب نژاد م, عابدی آ, شفیعی ب, " بررسی عنصر ایندیم در کالکوپیریت‌های معدن مس سرچشمه "  
نهمین همایش ملی زمین شناسی اقتصادی ایران ، بیرجند، شهریور ۱۳۹۶ .

3- Sohrabnezhad M, Abedi A, Shafiei B, "Investigation on the trace element contents in  
chalcopyrite from Qale-zary copper mine SE birjand", 4<sup>TH</sup> YES Congress, Iran, Tehran, Aug  
2017

## فهرست مطالب

فصل اول	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ هدف و ضرورت انجام تحقیق	۴
۱-۳ متالوژنی مس در ایران	۵
۱-۴ مروری بر کارهای انجام شده قبلی	۷
۱-۵ روش تحقیق	۱۵
۱-۶ ساختار پایان نامه	۱۶
فصل دوم	۱۷
۱-۲ مقدمه	۱۸
۲-۲ نمونه برداری	۱۸
۳-۲ آماده سازی	۲۲
۱-۳-۲ آماده سازی نمونه پودری	۲۲
۲-۳-۲ تهیه مقاطع صیقلی	۲۴
۳-۳-۲ آماده سازی مقاطع جهت مطالعات EPMA و XPMA	۲۴
۴-۲ روش آنالیز نمونه ها	۲۴
۱-۴-۲ آنالیز الکترون مایکروپروب (EPMA)	۲۴
۲-۴-۲ دستگاه میکروپروب اشعه ایکس (XPMA)	۲۵
۳-۴-۲ آنالیز ICP-MS	۲۶
فصل سوم	۲۹
۱-۳ مقدمه	۳۰
۲-۳ زمین شناسی	۳۰
۱-۲-۳ سرچشمه	۳۲
۲-۲-۳ میدوک	۳۲
۳-۲-۳ دره زار	۳۳
۴-۲-۳ نوچون	۳۳
۵-۲-۳ کرور	۳۴



۳۴.....	۶-۲-۳ چهارگنبد .....
۳۴.....	۷-۲-۳ سرکوه .....
۳۵.....	۳-۳ مطالعات کانه‌نگاری .....
۳۵.....	۱-۳-۳ سرچشمه .....
۳۸.....	۲-۳-۳ میدوک .....
۳۸.....	۳-۳-۳ دره‌زار .....
۳۹.....	۴-۳-۳ نوچون .....
۴۰.....	۵-۳-۳ کرور .....
۴۱.....	۶-۳-۳ سرکوه .....
۴۲.....	۴-۳ شیمی کانی کالکوپیریت .....
۴۲.....	۱-۴-۳ سرچشمه .....
۴۵.....	۲-۴-۳ میدوک .....
۴۷.....	۳-۴-۳ دره‌زار .....
۴۹.....	۴-۴-۳ نوچون .....
۵۱.....	۵-۴-۳ کرور .....
۵۳.....	۶-۴-۳ چهارگنبد .....
۵۴.....	۷-۴-۳ سرکوه .....
۵۷.....	فصل چهارم .....
۵۸.....	۱-۴ مقدمه .....
۵۸.....	۲-۴ زمین شناسی معدن قلعه‌زری .....
۶۰.....	۳-۴ مطالعات کانه‌نگاری .....
۶۲.....	۴-۴ شیمی کالکوپیریت .....
۶۷.....	فصل پنجم .....
۶۸.....	۱-۵ مقدمه .....
۶۸.....	۲-۵ زمین شناسی .....
۶۹.....	۱-۲-۵ سنخواست .....
۶۹.....	۲-۲-۵ لوشان .....
۶۹.....	۳-۲-۵ پنج‌کوه .....

۶۹.....	۳-۵ مطالعات کانه نگاری .....
۶۹.....	۱-۳-۵ سنخواست .....
۷۰.....	۲-۳-۵ لوشان .....
۷۱.....	۳-۳-۵ پنج کوه .....
۷۱.....	۴-۵ شیمی کالکوپیریت .....
۷۱.....	۱-۴-۵ سنخواست .....
۷۳.....	۲-۴-۵ لوشان .....
۷۵.....	۳-۴-۵ پنج کوه .....
۷۹.....	فصل ششم .....
۸۰.....	۱-۶ مقدمه .....
۸۰.....	۲-۶ عناصر کمیاب موجود در کالکوپیریت .....
۸۰.....	۱-۲-۶ سلنیم و تلوریم .....
۸۴.....	۲-۲-۶ گالیم، ژرمانیوم و ایندیم .....
۸۸.....	۳-۲-۶ سرب و روی .....
۹۱.....	۴-۲-۶ آرسنیک و آنتیموان .....
۹۴.....	۵-۲-۶ نقره .....
۹۵.....	۳-۶ نتیجه گیری .....
۹۶.....	۴-۶ پیشنهادات .....
۹۷.....	منابع و مراجع .....

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- نقشه پراکندگی ذخایر مس در ایران..... ۷
- شکل ۱-۲- روند نمای اجرایی مراحل انجام پایان نامه..... ۱۵
- شکل ۱-۳- موقعیت مکان های نمونه برداری بر روی نقشه متالورژی ایران..... ۲۰
- شکل ۲-۱- نمونه های ارسالی..... ۲۱
- شکل ۲-۲- کالکوپریت خرد شده منطقه قلعه زری..... ۲۳
- شکل ۲-۳- نمونه های پودری بسته بندی شده جهت ارسال به استرالیا..... ۲۳
- شکل ۳-۱- موقعیت معدن مس سرچشمه و مناطق نمونه برداری در کمربند ارومیه - دختر..... ۳۱
- شکل ۳-۲- پیریت در مقاطع سرچشمه در نور ppl..... ۳۶
- شکل ۳-۳- کالکوپریت در مقاطع سرچشمه در نور ppl..... ۳۷
- شکل ۳-۴- برنیت در مقاطع سرچشمه در نور ppl..... ۳۷
- شکل ۳-۵- کانی های مشاهده شده در مقاطع مس میدوک در نور ppl..... ۳۸
- شکل ۳-۶- کانی های مشاهده شده در مقاطع مس دره زار در نور ppl..... ۳۹
- شکل ۳-۷- کانی پیریت و کالکوپریت در مقاطع مس - مولیبدن نوچون در نور ppl..... ۴۰
- شکل ۳-۸- کانی کالکوپریت و هماتیت در مقطع صیقلی منطقه کرور در نور ppl..... ۴۱
- شکل ۳-۹- کانی کالکوپریت، پیریت و کالکوزیت معدن سرکوه در نور ppl..... ۴۲
- شکل ۳-۱۰- موقعیت یکی از نقاط مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی سرچشمه..... ۴۳
- شکل ۳-۱۱- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپریت سرچشمه..... ۴۴
- شکل ۳-۱۲- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی میدوک..... ۴۶
- شکل ۳-۱۳- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپریت میدوک..... ۴۷
- شکل ۳-۱۴- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی دره زار..... ۴۸
- شکل ۳-۱۵- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپریت دره زار..... ۴۹
- شکل ۳-۱۶- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی نوچون..... ۵۰
- شکل ۳-۱۷- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپریت منطقه نوچون..... ۵۱
- شکل ۳-۱۸- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی کرور..... ۵۲

- شکل ۳-۱۹- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت منطقه کرور..... ۵۳
- شکل ۳-۲۰- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی سرکوه..... ۵۴
- شکل ۳-۲۱- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت در منطقه سرکوه..... ۵۵
- شکل ۴-۱- موقعیت قرارگیری معدن قلعه زری در بلوک لوت..... ۵۸
- شکل ۴-۲- کانی کالکوپیریت معدن مس قلعه زری در نور ppl..... ۶۰
- شکل ۴-۳- کانی هماتیت در مقاطع معدن مس قلعه زری در زیر نور ppl..... ۶۱
- الف- کانی هماتیت ب- کانی هماتیت به همراه کانی کالکوپیریت..... ۶۱
- شکل ۴-۴- کانی گالن به همراه کانی کالکوپیریت در مقاطع معدن مس قلعه زری در نور ppl..... ۶۲
- شکل ۴-۵- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی قلعه زری..... ۶۲
- شکل ۴-۶- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت قلعه زری..... ۶۳
- شکل ۵-۱- محل قرار گیری مناطق سنخواست، لوشان و پنج کوه بر روی نقشه ایران..... ۶۸
- شکل ۵-۱- کانی کالکوپیریت و کالکوزیت در مقطع مس سنخواست در نور PPL..... ۷۰
- شکل ۵-۲- کانی کالکوپیریت و کالکوزیت در مقاطع اندیس لوشان در نور PPL..... ۷۰
- شکل ۵-۳- کانی کالکوپیریت به همراه کانی گالن و مگنتیت در مقطع منطقه پنج کوه در نور PPL..... ۷۱
- شکل ۵-۴- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی سنخواست..... ۷۲
- شکل ۵-۵- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت منطقه سنخواست..... ۷۳
- شکل ۵-۶- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی اندیس لوشان..... ۷۴
- شکل ۵-۷- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت اندیس لوشان..... ۷۵
- شکل ۵-۸- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی پنجکوه..... ۷۶
- شکل ۵-۹- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت و گالن منطقه پنج کوه..... ۷۷
- شکل ۶-۱- تغییرات میزان سلنیم براساس آنالیز ICP-MS..... ۸۳
- شکل ۶-۲- تغییرات میزان گالیم براساس آنالیز ICP-MS..... ۸۵
- شکل ۶-۳- تغییرات میزان گالیم براساس آنالیز EPMA..... ۸۵
- شکل ۶-۴- تغییرات میزان ژرمانیوم براساس آنالیز EPMA..... ۸۶
- شکل ۶-۵- تغییرات میزان ژرمانیوم براساس آنالیز ICP-MS..... ۸۷

- شکل ۶-۶- تغییرات میزان ایندیم براساس آنالیز EPMA ..... ۸۸
- شکل ۶-۷- تغییرات میزان ایندیم براساس آنالیز ICP-MS ..... ۸۸
- شکل ۶-۸- تغییرات میزان روی براساس آنالیز EPMA ..... ۸۹
- شکل ۶-۹- تغییرات میزان روی براساس آنالیز ICP-MS ..... ۹۰
- شکل ۶-۱۰- تغییرات میزان سرب براساس آنالیز ICP-MS ..... ۹۱
- شکل ۶-۱۱- تغییرات میزان آرسنیک براساس آنالیز EPMA ..... ۹۲
- شکل ۶-۱۲- تغییرات میزان آرسنیک براساس آنالیز ICP-MS ..... ۹۲
- شکل ۶-۱۳- تغییرات میزان آنتیموان براساس آنالیز EPMA ..... ۹۳
- شکل ۶-۱۴- تغییرات میزان آنتیموان براساس آنالیز ICP-MS ..... ۹۳
- شکل ۶-۱۵- تغییرات میزان نقره براساس آنالیز EPMA ..... ۹۴
- شکل ۶-۱۶- تغییرات میزان نقره براساس آنالیز ICP-MS ..... ۹۵

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲ - محل و نوع نمونه ارسالی از مناطق مختلف ذخایر مس ..... ۱۹
- جدول ۱-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سرچشمه براساس آنالیز XPMA ..... ۴۳
- جدول ۲-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سرچشمه براساس آنالیز EPMA ..... ۴۵
- جدول ۳-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های میدوک براساس آنالیز XPMA ..... ۴۶
- جدول ۴-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های میدوک بر اساس آنالیز EPMA ..... ۴۷
- جدول ۵-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های دره‌زار براساس آنالیز XPMA ..... ۴۸
- جدول ۶-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های دره‌زار بر اساس آنالیز EPMA ..... ۴۹
- جدول ۷-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های نوچون براساس آنالیز XPMA ..... ۵۰
- جدول ۸-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های نوچون بر اساس آنالیز EPMA ..... ۵۱
- جدول ۹-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های کرور براساس آنالیز XPMA ..... ۵۲
- جدول ۱۰-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های کرور بر اساس آنالیز EPMA ..... ۵۳
- جدول ۱۱-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سرکوه براساس آنالیز XPMA ..... ۵۴
- جدول ۱۲-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سرکوه بر اساس آنالیز EPMA ..... ۵۵
- جدول ۱۳-۳ - عناصر موجود در نمونه کالکوپیریت سرچشمه، چهارگنبد و سرکوه در آنالیز ICP-MS ..... ۵۶
- جدول ۱-۴ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های قلعه‌زری براساس آنالیز XPMA ..... ۶۳
- جدول ۲-۴ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های قلعه‌زری بر اساس آنالیز EPMA ..... ۶۴
- جدول ۳-۴ - عناصر موجود در نمونه کالکوپیریت قلعه‌زری در آنالیز ICP-MS ..... ۶۵
- جدول ۱-۵ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سنخواست براساس آنالیز XPMA ..... ۷۲
- جدول ۲-۵ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سنخواست بر اساس آنالیز EPMA ..... ۷۳
- جدول ۳-۵ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های لوشان براساس آنالیز XPMA ..... ۷۴
- جدول ۴-۵ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های لوشان بر اساس آنالیز EPMA ..... ۷۵
- جدول ۵-۵ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های پنج‌کوه براساس آنالیز XPMA ..... ۷۶
- جدول ۶-۵ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های پنج‌کوه بر اساس آنالیز EPMA ..... ۷۷

جدول ۵-۷- عناصر موجود در نمونه کالکوپیریت پنج کوه در آنالیز ICP-MS ..... ۷۸

جدول ۶-۱- میزان عناصر در لجن آندی خام از مناطق مختلف دنیا..... ۸۱

جدول ۶-۲: تیپ های اقتصادی ذخایر فلزات مختلف حاوی سلنیم..... ۸۲





# فصل اول

## کلیات

## ۱-۱ مقدمه

مطالعه و بررسی عناصر کمیاب<sup>۱</sup> از چند دهه قبل در کشورهای مختلف مورد پژوهش قرار گرفته است. این عناصر به منظور اکتشاف، فرآوری ذخایر سولفیدی دارای پیریت و مسائل زیست محیطی در باطله های معادن بررسی شده اند [۱] و [۲]. با بررسی عناصر کمیاب و شناسایی نحوه رخداد آنها در کانی های مختلف می توان به اکتشاف، شناسایی عناصر مزاحم جهت طراحی بهتر سیستم فرآوری و آگاهی از مشکلات زیست محیطی کمک کرد [۳]. مطالعات ژئوشیمی بر روی سولفیدها، می تواند منجر به اکتشاف کانی سازی دیگر در اطراف یک معدن نیز شود [۴] و [۵]. عناصر کمیاب در ساخت انواع دستگاه های تولید انرژی سبز که سازگار با محیط زیست هستند، کاربرد دارد.

در عصر حاضر، جامعه بشری با چهار نیاز اساسی مواجه است که به طور پیچیده ای به هم مرتبط هستند؛ این نیازها عبارتند از غذا، آب، انرژی و محیط زیست. انرژی خورشیدی عظیم ترین منبع انرژی در جهان است، این انرژی پاک، ارزان و بی پایان بوده و در بیشتر مناطق کره زمین قابل استحصال است. در چند دهه اخیر مصرف سوخت های فسیلی باعث تولید گازهای گلخانه ای، باران های اسیدی و پدیده گرم شدن زمین و سایر پدیده های مضر زیست محیطی شده است. محدودیت منابع فسیلی و پیامدهای حاصل از آن باعث می شود برای این منبع انرژی پایان پذیر جایگزینی یافت. خورشید در مدت هر ۳ ثانیه، انرژی حدود یک میلیارد کوادز<sup>۲</sup> آزاد می کند بطوری که تخمین زده می شود سالانه حدود ۲/۳ میلیون کوادز از انرژی خورشیدی به زمین می رسد. چنانچه بخش کوچکی از انرژی خورشیدی مهار شود مشکل تامین انرژی مورد نیاز جهان حل خواهد شد. یکی از مشکلات اساسی انرژی خورشیدی این است که پتانسیل دریافت آن بر

---

<sup>1</sup> Trace elements

<sup>2</sup> quads

روی سطح زمین کم است و برای استحصال انرژی خورشیدی نیاز به کلکتورها با سطح وسیع است. سیستم-های انرژی خورشیدی، فناوری‌های جدیدی هستند که برای تامین گرما، آب گرم، الکتریسیته و حتی سرمایه‌های منازل مسکونی و تجاری و صنعتی بکار می‌روند. امروزه بیشترین سرمایه‌گذاری‌ها در راستای ایجاد و توسعه‌دادن منابع انرژی سبز یا انرژی خورشیدی استفاده می‌شود. تعدادی از تکنولوژی‌های دسترسی به منابع انرژی سبز، صفحه‌های خورشیدی، پنل‌های ژئوترمال و توربین‌های بادی است که بخش عمده این تکنولوژی‌های جدید برای بهره‌گیری از انرژی سبز با استفاده از عناصر کمیاب ساخته می‌شوند [۶] و [۷]. عناصر کمیابی که در ساخت صفحات خورشیدی کاربرد دارند عناصر حیاتی انرژی نامیده می‌شوند شامل Se, Ag, Ge, Ga, Te, In هستند، و سهم زیادی از عناصر کمیاب پوسته زمین را در برمی‌گیرند با این حال بسیاری از این عناصر به طور گسترده قابل استخراج نیستند و از ذخایر دیگر بدست می‌آیند. عوامل متعددی جهت محدود کردن یک عنصر کمیاب وجود دارد که عنصر در پوسته زمین متمرکز نشود و در چند کانسار اقتصادی یافت شوند. در حال حاضر عناصر کمیاب به عنوان محصول جانبی<sup>۱</sup> پالایش فلزات بدست می‌آیند. بسیاری از این عناصر در غلظت کافی یافت نشده‌است ولی در فرآیند پالایش کانی‌ها به‌ویژه مس، روی و سرب می‌توان این عناصر را بدست آورد [۸] و [۹]. معادن دارای سلنیم در دنیا بیشتر شامل معادن مس هستند که به عنوان محصول جانبی این معادن عنصر سلنیم استخراج می‌شود [۶]. با توجه به تحقیقات فنگ و لیو<sup>۲</sup> در سال (۲۰۰۲) قاره آمریکا دارای ۵۲ درصد از ذخایر سلنیم در کل دنیا است [۱۰]. برون<sup>۳</sup> در سال (۱۹۹۸) کشور چین را بعد از کانادا، آمریکا و بلژیک چهارمین کشور دارنده ذخیره سلنیم برشمرد [۱۱]. طبق تحقیقات انجام شده توسط سازمان زمین شناسی آمریکا در سال (۲۰۱۶) میزان سلنیمی که از ذخایر مس در سراسر دنیا بدست می‌آید از قرار زیر است: ۱۰ هزار تن آمریکا، ۶ هزار تن کانادا، ۲۵ هزار تن

---

<sup>1</sup> By product

<sup>2</sup> Feng and Liu

<sup>3</sup> Brown

شیلی، ۲۶ هزار تن چین، ۱۳ هزار تن پرو، ۶ هزار تن لهستان، ۲۰ هزار تن روسیه، ۲۱ هزار تن هند،  
سودان و صربستان و ۱۲۰ هزار تن از دیگر کشورها [۱۲].

عنصر تلوریم نیز یکی دیگر از محصولات جانبی ذخایر مس است و دارای ذخیره مستقل نمی‌باشد. کشور  
کانادا با تولید ۵۲ درصد تلوریم از ذخایر مس بزرگترین تولیدکننده این عنصر می‌باشد. بعد از کشور کانادا،  
کشورهای چین، بلژیک و فیلیپین تولید کننده‌های دیگر تلوریم در جهان هستند. در بررسی های انجام  
شده توسط سازمان زمین شناسی آمریکا میزان تلوریم در سال (۲۰۱۶) در ذخایر مس کشورهای آمریکا،  
کانادا، پرو، سوئد و دیگر کشورها به ترتیب ۳۵۰۰، ۸۰۰، ۳۶۰۰، ۶۷۰ و ۱۶۰۰۰ تن برآورد شده است.  
عنصر ژرمانیوم از ذخایر سرب و روی\_ مس بدست می‌آید، کشور چین بزرگترین تولید کننده عنصر ژرمانیوم  
در دنیا است. عنصر گالیم محصول جانبی ذخایر آلومینیوم و سرب - روی است و به طور جداگانه ذخیره  
ندارد مانند دیگر عناصر کمیاب میزان قابل توجهی از این عنصر توسط کشور چین تولید می‌شود. ایندیم  
محصول جانبی ذخایر سرب\_ روی و مس است، کشورهای کانادا، چین، فرانسه و بلژیک به ترتیب با تولید  
۲۵، ۱۴، ۱۳ و ۱۲ درصد ایندیم تولیدی در جهان بزرگترین کشورهای تولید کننده این عنصر هستند.  
اطلاعاتی از میزان استحصال عناصر گالیم، ژرمانیوم و ایندیم از ذخایر در دسترس نمی‌باشد [۱۲] و [۱۳].

## ۱-۲- هدف و ضرورت انجام تحقیق

با توجه به رو به پایان بودن ذخایر فسیلی، قرارگیری کشور ایران در کمربند خورشیدی جهان، اختصاص  
بالاترین رده دریافت انرژی خورشیدی در نقاط جهان به ایران، برای تامین انرژی و بهره‌گیری از انرژی  
خورشیدی در ایران ساخت صفحات خورشیدی نیاز است. که بر طبق تحقیقات انجام شده کشور ایران  
تاکنون تولید عنصر سلنیم را نداشته اگرچه تحقیقات مهمی بر روی میزان سلنیم در لجن آندی منطقه

سرچشمه توسط دهقان پور و همکاران (۱۳۹۳)، محتشم (۱۳۷۶) و عبدالهی و شفایی تنکابنی (۱۳۸۲) انجام شده است [۱۴]، [۱۵] و [۱۶].

ار آنجا که کالکوپیریت یکی از منابع اصلی سلنیم و کانسنگ مهم در اکثر ذخایر مس سولفیدی است و ایران بر روی کمر بند جهانی مس قرار گرفته است [۱۷]. در این پایان نامه برای اولین بار به بررسی شیمی کالکوپیریت مناطق مختلف ایران به منظور بررسی توزیع برخی عناصر کمیاب در آن پرداخته می شود. در این فصل به متالوژنی ذخایر مس ایران، مطالعات قبلی در رابطه با شیمی کالکوپیریت پرداخته می شود.

### ۳-۱ متالوژنی مس در ایران

بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر از کمر بند جهانی مس از ایران میگذرد [۱۷]. براساس مطالعات خوئی و همکاران (۱۳۷۸) و مطالعات قربانی و همکاران (۱۳۸۶) توزیع ذخایر و اندیس‌های مس در ایران به شش منطقه اصلی تقسیم می‌شود [۱۸] و [۱۹]:

- ۱- کمر بند ارومیه - دختر که از نظر ذخایر مس به بخش جنوبی (ناحیه کرمان)، مرکزی (تفت- انارک- کاشان) و شمالی قابل تقسیم است.
- ۲- زون محور طالقان - تارم- هشتچین (البرز غربی)
- ۳- زون کویر سبزوار (بینالود- تکنار)
- ۴- زون سبلان (ناحیه اهر)
- ۵- زون لوت
- ۶- زون مکران

در تحقیقات انجام شده توسط نظافتی (۲۰۱۵) ذخایر و اندیس‌های معدنی بر اساس نوع ذخیره دسته‌بندی شده که با توجه به این دسته‌بندی بیش از ۴۰۰ ذخیره و اندیس معدنی مس ایران در ۶ گروه زیر قرار می‌گیرند [۲۰]:

۱- ذخایر مس پورفیری ترشیری  $Cu + Mo + Au$  (کرمان، اهر)

۲- نوع اسکارن

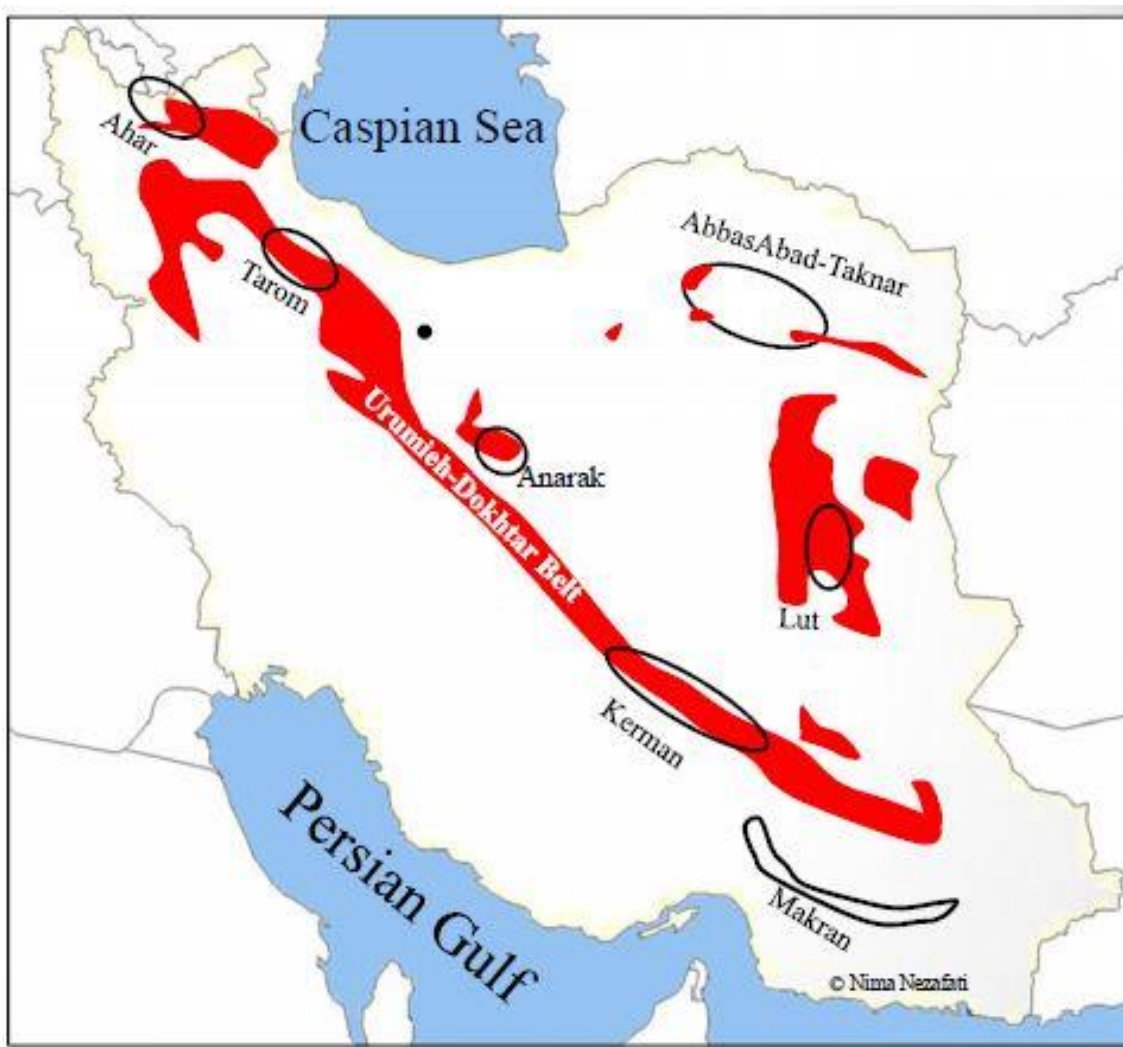
۳- ذخایر رسوبی مس (Redbed)

۴- ذخایر مس منتو (میشیگان) ائوسن میانی بالا (انارک، عباس اباد- تکنار)

۵- نوع VMS (مربوط به افیولیت‌ها) (کرمان، مکران)

۶- انواع دیگر (هیدروترمال حرارت پایین در تارم و بلوک لوت)

در شکل ۱-۱ پراکندگی ذخایر مس در ایران مشاهده می‌شود. مناطق دارای ذخایر مس عمده کرمان، اهر، لوت و ... در نقشه مشخص شده‌است [۲۱].



شکل ۱-۱- نقشه پراکنندگی ذخایر مس در ایران [۲۱]

#### ۴-۱ مروری بر کارهای انجام شده قبلی

- براساس تحقیقات ایوانوف<sup>۱</sup> (۱۹۶۹) کانی مولیبدنیت بیشترین میزان سلنیم را در کانی‌های موجود در طبیعت در خود جای داده است که بعد از مولیبدنیت، کالکوپیریت نسبت به دیگر سولفیدهای اصلی حاوی سلنیم بیشتری است [۲۲].

<sup>1</sup> Ivanov

– کبری و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۸۴) به بررسی عناصر کمیاب در سولفیدهای منطقه سابواری و استیل واتر با روش الکترون میکروپروب پرداخته‌اند. در کالکوپریت‌های بررسی شده منطقه سابواری میزان روی تا ۸۰۰ گرم بر تن و سلنیم تا ۲۳۰ گرم بر تن مشخص شد و در منطقه استیل واتر سلنیم تا ۲۸۱ گرم بر تن اندازه‌گیری شد [۲۳].

– کمپیل و همکاران<sup>۲</sup> در سال (۱۹۸۵) توزیع عناصر کمیاب موجود در ماسیوسولفیدهای سرب و روی (مس) در معادن کشور کانادا را با استفاده از دستگاه‌های PIXE<sup>۳</sup> و EPMA<sup>۴</sup> مطالعه کرده‌اند. براساس نتایج کانی‌های موجود در این معادن شامل کالکوپریت، برنیت، گالن، پیریت، پیروتیت و اسفالریت است، میزان عناصر نقره، سلنیم و ایندیم با توجه به سنگ میزبان متفاوت دارد. با توجه به نتایج آنالیزها کالکوپریت میزبان اصلی نقره در این نمونه‌ها بوده است [۲۴].

– اوکلیر و همکاران<sup>۵</sup> در سال (۱۹۸۷) نمونه‌های سولفیدی هیدروترمال درجه حرارت بالا در شمال اقیانوس آرام را به منظور بررسی توزیع عنصر سلنیم در این نمونه‌ها با دستگاه EPMA آنالیز کرده‌اند به این نتیجه رسیدند که محتوای سلنیم در سولفیدها به پارامترهای فیزیکوشیمیایی سیال در زمان ایجاد ذخیره بستگی دارد. در منطقه سولفید مس، سولفید آهن، سولفید روی وجود داشت که میزان سلنیم در ذخایر سولفید مس اولیه (کالکوپریت) تا حدود ۲۵۰۰ گرم بر تن اندازه‌گیری شده که بیشتر از ذخایر سولفیدی مس ثانویه (برنیت و کوولیت) است و هر چه ضخامت دانه کالکوپریت بیشتر باشد میزان سلنیم موجود در آن بیشتر است. با اندازه‌گیری عناصر کمیاب در پیریت دریافتند که میزان سلنیم در پیریت شکل‌دار تا ۱۵۰۰

---

1 Cabri et al

2 Campbell et al

3 Particle-induced x-ray emission

4 Electron probe micro analysis

5 Auclair et al



گرم بر تن قابل اندازه‌گیری است که میزان آن نسبت به پیریت کلوفرم بیشتر است. در این اندازه‌گیری‌ها میزان ناخالصی سلنیم در کانی اسفالریت اندک بود [۲۵].

– کیفیت و دامان<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۰ کالکوپیریت‌های منطقه برگزلاگن<sup>۲</sup> سوئد را به منظور بررسی میزان ایندیم در این کانی مطالعه کرده اند. میزان ایندیم و نقره به ترتیب تا ۰/۰۹ و ۰/۰۳ درصد وزنی در کالکوپیریت مشخص شد [۲۶].

– ویلگالیس و همکاران<sup>۳</sup> در سال (۱۹۹۰) میزان سلنیم و تلوریم را در ذخیره مس مورگل ترکیه مورد بررسی قرار دادند که در نهایت میزان سلنیم و تلوریم در کالکوپیریت‌های منطقه پایین تر از حد تشخیص دستگاه بوده و گزارش نشده است [۲۷].

– موراو و همکاران<sup>۴</sup> (۱۹۹۵) ذخایر پلی‌متالیک قلع را با روش الکترون میکروپروب مطالعه کردند. کانی‌های سولفیدی کالکوپیریت، پیریت و آرسنوپیریت در ذخایر پلی‌متالیک قلع وجود دارد. با توجه به نتایج بدست آمده کالکوپیریت‌های موجود در منطقه حاوی ایندیم، بیسموت، روی، آرسنیک، آنتیموان، سلنیم و قلع است [۲۸].

– هاستون و همکاران<sup>۵</sup> در سال (۱۹۹۵) عناصر کمیاب را در کانی‌های سولفیدی شرق استرالیا با روش الکترون میکروپروب بررسی کردند. با توجه به نتایج بیشترین میزان ایندیم ۱۰۰ گرم بر تن و سلنیم ۳۲۰ گرم بر تن است [۲۹].

---

<sup>1</sup> Kieft and Damman

<sup>2</sup> Bergslagen

<sup>3</sup> Willgallis et al

<sup>4</sup> Murao et al

<sup>5</sup> Huston et al

\_ ایوانوف در سال (۱۹۹۶) تیپ های اقتصادی ذخایر فلزات مختلف را جهت بررسی میزان سلنیم مطالعه کرد. با توجه به نتایج موجود بیشترین میزان سلنیم را کانی مولیبدنیت دارد. کانی های پنتلانیدیت، پیروتیت، اسفالریت، پیریت، گالن، برنیت و کالکوپیریت هم حاوی سلنیم است [۳۰].

\_ نیکولایدو<sup>۱</sup> در سال (۱۹۹۷) میزان سلنیم موجود در سولفیدهای ذخیره چالکیدیکی یونان را با روش جذب اتمی بررسی کرده است. میزان سلنیم در کالکوپیریت های مربوط به ذخایر پورفیری به طور متوسط ۲۰۰ گرم بر تن اندازه گیری شده است [۳۱].

\_ بوتلر و نسبیت<sup>۲</sup> (۱۹۹۹) توزیع عناصر کمیاب را در کالکوپیریت های دودکش های سیاه<sup>۳</sup> با روش ICP-<sup>۴</sup> MS بررسی کردند. با بررسی انجام شده مشخص شد که ایندیم، تلوریم و نقره در ساختمان کالکوپیریت وجود دارد [۳۲].

\_ رابینستون<sup>۵</sup> (۲۰۰۲) عناصر کمیاب را در ذخایر غیر آهنی بررسی کرد. با توجه به نتایج حاصل از بررسی، کانی کالکوپیریت را دارای عناصر گالیم، ایندیم، سلنیم و تلوریم معرفی کرده است [۳۳].

\_ مگی - کاچی و همکاران<sup>۶</sup> در سال (۲۰۰۲) با دستگاه PIXE<sup>۷</sup> - ۵۰  $\mu$  نمونه کالکوپیریت از نمونه های موجود در موزه مینرالوگرافی دانشگاه فلورنس ایتالیا که از معادن ایتالیا و اسلواکی جمع آوری شده بودند را به منظور تهیه نقشه توزیع عناصر مورد آنالیز قرار دادند. نتایج بدست آمده از آنالیزها تمایل جانشینی نقره و سلنیم را در مس و گوگرد در ساختار کالکوپیریت تایید می کند [۳۴].

---

<sup>1</sup> Nicolaidou

<sup>2</sup> Butler and Nesbitt

<sup>3</sup>Black smokers

<sup>4</sup> Inductively coupled plasma mass spectrometry

<sup>5</sup> Rubinstein

<sup>6</sup> Moggi-Cecchi et al

<sup>7</sup> Micro- Particle-induced x-ray emission

– اکونوموا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) وجود عناصر کمیاب را در کانی‌های سولفیدی کالکوپیریت، پیریت و اسفالریت بررسی کردند. که در بررسی‌های انجام شده میزان سلنیم در یک نمونه ۱/۱ درصد وزنی اندازه گیری شد. مابقی عناصر کمتر از حد تشخیص دستگاه بود [۳۵].

– ریسر و همکاران<sup>۲</sup> در سال (۲۰۰۹) با روش الکترون مایکروپروب به بررسی ژئوشیمی کالکوپیریت‌های منطقه باریگوا پرتغال پرداخت. میزان ژرمانیوم در کالکوپیریت تا ۰/۴ درصد وزنی مشاهده شد [۳۶].

– واسیلوا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰) عناصر کمیاب را در سولفیدهای ذخیره پلی متالیک معدن کوهستان رودوپه با روش LA-ICP-MS<sup>۴</sup> بررسی کردند. میزان عناصر آرسنیک، نیکل و ژرمانیوم تا ۱۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰ گرم بر تن در کالکوپیریت اندازه گیری شد [۳۷].

– ریسر و همکاران (۲۰۱۱) ژئوشیمی قلع و ژرمانیوم را در ذخایر مس باریگوا پرتغال بررسی کردند. میزان ژرمانیوم ۶۱ گرم بر تن و میزان قلع ۳۲۰ گرم بر تن در کالکوپیریت اندازه گیری شد [۳۸].

– در سال (۲۰۱۲) یانو<sup>۵</sup> از طریق آنالیزهای ICP-MS, ICP-OES<sup>۶</sup>, LA-ICP-MS و SEM<sup>۷</sup> به بررسی نحوه پخش عناصر کمیاب موجود در نمونه‌های جمع آوری شده از ذخایر اسکارن و پورفیری مس به ویژه کانی کالکوپیریت پرداخته‌است. که براساس این آنالیزها نتایج ذیل بدست آمده است: عنصر سلنیم در شبکه سولفوری به جای عنصر گوگرد جانشین شده‌است اما به طور معمول در کانی کالکوپیریت غنی می‌شود. این عنصر در فازهای ثانویه مس هم احتمال جانشینی دارد ولی میزان غلظت آن در کانی کالکوپیریت بیشتر از

---

<sup>1</sup> Economou et al

<sup>2</sup> Reiser et al

<sup>3</sup> Vassileva et al

<sup>4</sup> Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

<sup>5</sup> yano

<sup>6</sup> Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy

<sup>7</sup> Scanning electron microscope

دیگر سولفیدهای مس است. عنصر گالیم در فازهای سولفیدی مس یافت نشد و در ذخایر آهن (مگنتیت) غنی می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیزها میزان غلظت عنصر ایندیم در ذخایر اسکارن از ذخایر پورفیری بیشتر است و از روند غنی شدگی عنصر نقره پیروی می‌کند ولی میزان ایندیم از نقره بیشتر است. عنصر ایندیم و تلوریم در کانی کالکوپیریت قابل اندازه‌گیری بودند [۹].

– کیوکا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) از دستگاه LA-ICP-MS برای تعیین غلظت عناصر کمیاب در بیش از ۱۵۰ دانه کالکوپیریت، پیریت و برنیت در ذخایر پورفیری رومانی استفاده کرده‌اند. نتایج آنالیزها نشان می‌دهد که Bi, Ag, Se و Te در کالکوپیریت و برنیت قابل اندازه‌گیری است [۳۹]، [۴۰] و [۴۱].

– آیوپوا و همکاران<sup>۲</sup> در سال (۲۰۱۴) میزان ایندیم و سلنیم را در ذخایر مس – روی ماسیو سولفید جنوب اورال بررسی کرد. کالکوپیریت‌های که در درجه حرارت بالا تشکیل شده‌اند میزان ایندیم بوده‌اند. میزان ایندیم و سلنیم در کالکوپیریت تا ۱۲۷ و ۴۹۳ گرم بر تن گزارش شد [۴۲].

– روان و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۴) شیمی عناصر کمیاب را با روش LA-ICP-MS در ذخایر سولفیدی شمال غربی ترکیه بررسی کرده‌اند. میزان سلنیم، نقره و تلوریم به ترتیب ۲۵/۸۱، ۴۳۴/۵۹ و ۴۳ گرم بر تن اندازه‌گیری شد [۴۳].

– کوک و همکاران<sup>۴</sup> در سال (۲۰۱۴) توزیع عناصر کمیاب را در سولفیدها بررسی کردند. تحقیقات نشان می‌دهد که کالکوپیریت میزان نقره است بعضی موارد قلع هم در کالکوپیریت جانشین می‌شود. میزان ایندیم موجود در کالکوپیریت کمتر از میزان این عنصر در کانی اسفالریت است [۳].

---

<sup>1</sup> Cioacă et al

<sup>2</sup> Ayupova et al

<sup>3</sup> Revan et al

<sup>4</sup> Cook et al

– بوگدانو<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) پیریت و کالکوپیریت‌های مربوط به ذخایر پورفیری-ابی‌ترمال را با روش LA-ICP-MS مورد بررسی قرار داد. که براساس اطلاعات بدست‌آمده عناصر تیتانیوم، کروم، منگنز، کبالت، نیکل و سلنیم در کالکوپیریت قابل اندازه‌گیری است [۵].

– ویکنتیو<sup>۲</sup> در سال (۲۰۱۶) حضور عناصر سلنیم، تلوریم، نقره، آرسنیک و جیوه را با روش های SEM, EPMA, <sup>۳</sup>INAA, ICP-MS و LA-ICP-MS در ذخایر سولفیدی منطقه اورال مورد بررسی قرار داد. براساس نتایج بدست آمده عنصر سلنیم، تلوریم، نقره، آرسنیک و جیوه به ترتیب تا ۳۱۳، ۳۱۴، ۶، ۳۰۰۰ و ۷۹۲ گرم بر تن در کالکوپیریت غلظت نشان داده‌اند [۴۴].

– گئورگه و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۶) نقشه عناصر کمیاب موجود در کانی‌های گالن، اسفالریت و کالکوپیریت جمع‌آوری شده از ۹ تیپ مختلف اسکارن، اپی‌ترمال و سدکس کشورهای استرالیا، نروژ و رومانی جهت پیش‌بینی رفتار عناصر کمیاب در این سولفیدها با استفاده از دستگاه LA-ICP-MS بدست آوردند. با توجه به نتایج آنالیز گالیم و ایندیم در اسفالریت و کالکوپیریت دیده می‌شوند، میزبان اصلی سلنیم کانی گالن است که در صورت عدم وجود گالن در محیط این عنصر در کانی کالکوپیریت غنی خواهد شد [۴۵].

– گئورگه و همکاران در سال (۲۰۱۷) به جمع‌آوری آنالیز کالکوپیریت در سراسر دنیا پرداخته‌اند [۴۶]. در ایران مطالعات بر روی شیمی کانی کالکوپیریت به منظور بررسی عناصر کمیاب برای اولین بار صورت می‌گیرد ولی با اهداف دیگر بر روی برخی مناطق آنالیز کالکوپیریت صورت گرفته‌است. که در ذیل آورده شده است.

---

<sup>1</sup> Bogdanov

<sup>2</sup> Vikentev

<sup>3</sup> Instrumental Neutron Activation Analysis

<sup>4</sup> George et al

\_ عابدی در سال (۱۳۸۰) منطقه کانی سازی شده طلا در کوه زر تربت حیدریه را جهت بررسی کانی شناسی و ژئوشیمیایی مطالعه کرده است. با توجه به مطالعات انجام شده مهمترین کانی های فلزی منطقه شامل اسپیکیولاریت، کالکوپیریت، پیریت، آوینیت، آکانتیت، طلای طبیعی، الکتروم است. ترکیب شیمیایی کانی های فلزی با استفاده از روش مایکروپروب الکترونی مطالعه شده است که در کانی کالکوپیریت میزان Ag تا ۲۵۰ گرم بر تن اندازه گیری شده است. بر اساس اطلاعات بدست آمده از طیف سنجی نشری علاوه بر نقره عناصر ناخالص Ni, Mn, Pb, Sn, Mo, V, Zn, Co در کالکوپیریت وجود داشته است [۴۷].

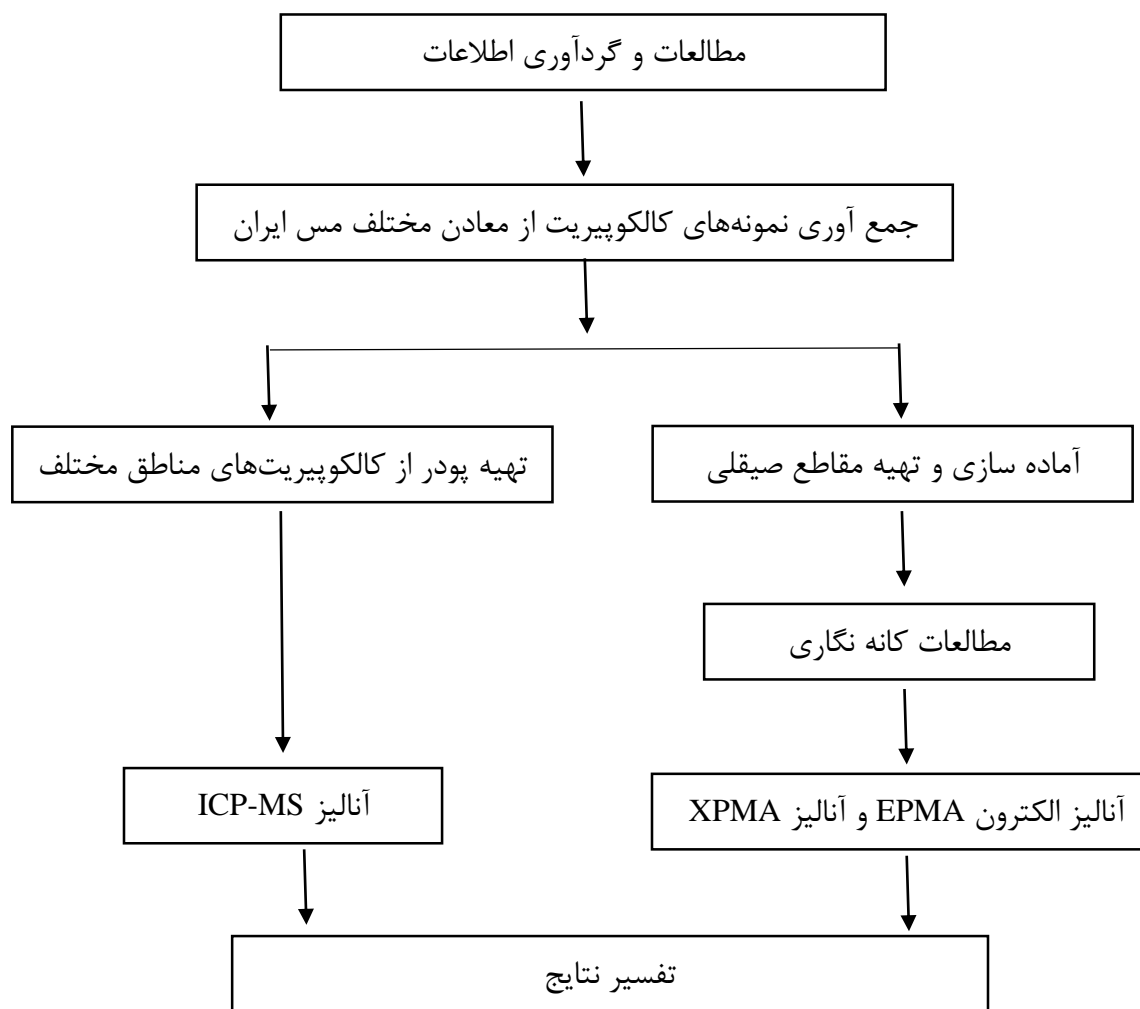
\_ معانی جو در سال ۱۳۸۷ به منظور مطالعه زمین شناسی، کانی شناسی و عناصر موجود، کانی های سولفیدی موجود در کانسار چهل کوره زاهدان را بررسی کردند. با توجه به مطالعات مینرالوگرافی انجام شده منطقه دارای کانی های سولفیدی پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، پیروتیت و گالن است. برای مشخص کردن عناصر اصلی و فرعی موجود در کانی ها مطالعه میکروپروب انجام داده اند و با توجه به نتایج بدست آمده عنصر سلنیم در همه کانی ها بررسی شده، وجود داشته است، البته میزان آن در کانی پیروتیت بیشتر از دیگر کانی ها بوده است. میزان عنصر سلنیم در کانی های سولفیدی در این منطقه در حد درصد بوده است که ۰/۰۲ درصد در کالکوپیریت گزارش شده است. علاوه بر Se عناصر Mn, Ag, Hg, Pb و Bi در کالکوپیریت اندازه گیری شد، با توجه به نسبت میزان گوگرد به سلنیم موجود در کانی ها منشا کانی سازی ها مشخص شد [۴۸].

\_ یوسفی و مرادیان (۱۳۹۱) جهت تعیین الگوی کانه زایی کانسار مس- طلای چهارگنبد به مطالعه کانی شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی عناصر موجود در منطقه پرداختند، کانی پیریت و کالکوپیریت مهم ترین سولفیدهای موجود در منطقه بودند. با بررسی غنی شدگی عناصر موجود در منطقه فازهای کانه زایی تعیین شد. در این کانسار عناصر طلا، بیسموت، مس، گوگرد و سلنیم بیشترین غنی شدگی را نسبت به عناصر دیگر در منطقه کانی سازی داشتند [۴۹].

\_ نیکزاد (۱۳۹۴) شیمی کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و تنانتیت موجود در منطقه سرچشمه را با دیدگاه زیست محیطی بررسی کرد. با بررسی‌های انجام شده میزان جیوه و آرسنیک به ترتیب تا ۱۲۰۰ و ۵۲۰۰ گرم بر تن در کالکوپیریت آشکار شد [۵۰].

## ۱-۵ روش تحقیق

شکل ۱-۲ روند نمای اجرایی از مراحل انجام این پایان‌نامه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲ روند نمای اجرایی مراحل انجام پایان‌نامه

## ۱-۶- ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر در شش فصل تدوین شده است. فصل اول به بررسی موضوع و اهمیت آن، فصل دوم نحوه جمع‌آوری نمونه‌ها و آماده سازی آن‌ها و در فصل سوم مطالعات کانی شناسی نمونه‌ها و آنالیزهای ICP-MS<sup>۱</sup>، EPMA و XMPA زون کرمان، فصل چهارم مطالعات کانی شناسی نمونه‌ها و آنالیزهای ICP-MS ، EPMA و XMPA بلوک لوت و فصل پنجم مطالعات کانی شناسی نمونه‌ها و آنالیزهای ICP-MS ، EPMA و XMPA سایر مناطق نمونه برداری شده پرداخته می‌شود. در آخر در فصل ششم بحث و نتیجه‌گیری از اطلاعات بدست آمده آورده شده است.

---

<sup>۱</sup> X-ray microprobe analysis



# فصل دوم

نمونه برداری، روش های آماده سازی

نمونه ها و روش های آنالیز

## ۱-۲ مقدمه

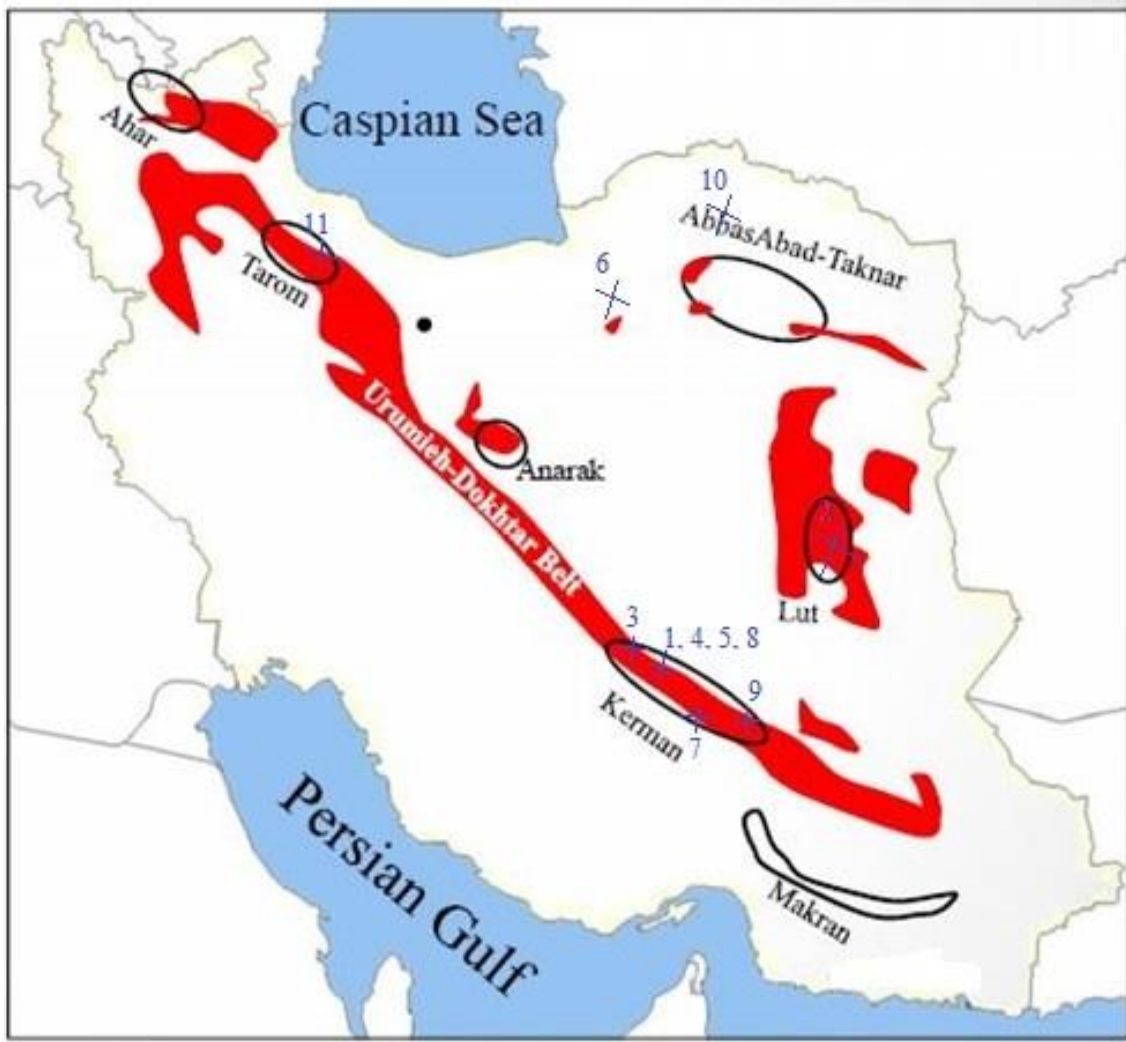
در این پایان نامه از نمونه‌های مختلف کالکوپیریت از تعدادی معادن ایران استفاده شده است. در این فصل توضیحی در مورد جمع‌آوری نمونه‌ها، بررسی روش‌های آماده سازی و آنالیز نمونه‌ها آورده شده است.

## ۲-۲ نمونه برداری

نمونه‌های مورد مطالعه از معادن مس ایران با توجه به امکانات موجود ارسال گردید. انتخاب محل جمع‌آوری نمونه‌ها به صورت سیستماتیک نبوده و از مناطق دارای ذخیره مس به ویژه مس سولفیدی به صورت تصادفی نمونه‌ها برداشت شده‌اند. در جدول ۱-۲ محل نمونه‌گیری، نوع ذخیره و نوع نمونه مشخص شده است. نمونه‌های مورد مطالعه از ۱۱ منطقه مس دار ایران انتخاب شده‌اند که در شکل ۱-۲ در نقشه متالوژنی ایران محل نمونه‌برداری آن‌ها با علامت ضربدر مشخص شده‌است. با توجه به جدول ۱-۲ نمونه انتخابی از معدن مس رگه‌ای قلعه‌زری از عمق ۲۶۰ متری نمونه‌برداری و ارسال شده است. در شکل ۲-۲ تصویر نمونه‌های ارسالی از مناطق مختلف نمونه‌برداری شده را مشاهده می‌شود.

جدول ۱-۲ - محل و نوع نمونه ارسالی از مناطق مختلف ذخایر مس

تعداد مقطع صیقلی	نوع نمونه های ارسالی	موقعیت کانسار	نوع ذخیره	منطقه	
۱۵	نمونه دستی از جبهه کار معدن و مقطع صیقلی	جنوب غرب کرمان	مس - مولیبدن پورفیری	سرچشمه	۱
۱۲	نمونه دستی از عمق ۲۶۰ متری	جنوب غرب بیرجند	مس رگه ای	قلعه زری	۲
۳	نمونه دستی از عمق ۵۶۲ متری	شمال شهرستان بابک، کرمان	مس اکسیدی و پورفیری	میدوک	۳
۴	نمونه دستی از عمق ۱۵۴ متری	شمال شرق سیرجان	مس پورفیری	دره زار	۴
۴	نمونه دستی از عمق ۱۲۰ متری	شهرستان پاریز، کرمان	مس پورفیری	سرکوه	۵
۳	نمونه های دستی از جبهه کار معدن	جنوب دامغان	کانسار آهن	پنج کوه	۶
۲	نمونه پودر شده	جنوب غرب کرمان	مس پورفیری - رگه ای	چهارگنبد	۷
۴	نمونه دستی از عمق های ۵۸۲ متر و ۲۶۰ متری	جنوب غرب کرمان	مس - مولیبدن	نوچون	۸
۳	نمونه دستی از عمق ۲۳۴ متری	شرق جیرفت	پورفیری	کرور	۹
۵	نمونه دستی و مقطع صیقلی	شمال بجنورد	اندیس مس رسوبی	سنخواست	۱۰
۵	نمونه دستی و مقطع صیقلی	شمال قزوین	اندیس مس - طلا	لوشان	۱۱



شکل ۲-۱- موقعیت مکان‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه متالوژی ایران [۲۱]



شکل ۲-۲ نمونه های ارسالی

الف و ب معدن سرچشمه، ج و د - نمونه های معدن قلعه زری، ه - نمونه معدن میدوک، و - نمونه ارسالی معدن دره زار،  
 ز - نمونه ارسالی معدن سرکوه، ح - نمونه ارسالی معدن پنج کوه، ط - نمونه ارسالی معدن نوچون، ی - نمونه ارسالی  
 معدن کرور، ک - نمونه ارسالی اندیس معدنی سنخواست، ل - نمونه ارسالی اندیس معدنی لوشان

## ۲-۳ آماده سازی

نمونه های جمع آوری شده غالباً دارای کالکوپیریت، پیریت و کانی های همراه بودند که به منظور شناسایی کالکوپیریت، نمونه ها به صورت دستی در مقیاس میکروسکوپی بررسی شدند. برای انجام مطالعات ICP-MS کالکوپیریت ها به صورت پودر و جهت مطالعات میکروسکوپی و انجام مطالعات دستگاهی EPMA و XPMMA نمونه ها به صورت مقطع صیقلی آماده سازی شدند. با توجه به اینکه در برخی ذخایر دانه های کالکوپیریت اندازه های ریزی داشتند و امکان جداسازی کانی وجود نداشت، از همه مناطق به جز چهارگنبد مقطع صیقلی تهیه شد و از ۵ منطقه سرچشمه، سرکوه، چهار گنبد، قلعه زری و پنج کوه نمونه پودری آماده سازی گردید.

### ۲-۳-۱ آماده سازی نمونه پودری

بعد از شناسایی نمونه ها به صورت دستی برای جدا کردن کالکوپیریت موجود در نمونه، نمونه ها با استریومیکروسکوپ بررسی شد و سپس نمونه با چکش در اندازه های کوچکتر خرد گردید. در این مرحله برای جدا کردن کالکوپیریت از دیگر کانی های موجود، نمونه ها پس از چند مرحله خردایش با چکش با استریومیکروسکوپ مجدداً مورد بررسی قرار گرفت تا حداکثر جدایی کالکوپیریت بدست آمد و سپس نمونه های کالکوپیریت خالص جدا شده در هاون آگاتی پودر گردید (شکل ۲-۳). جهت اطمینان از عدم ورود آلودگی به نمونه های مناطق مختلف، بعد از هر دفعه پودر کردن، هاون به وسیله الکل شستشو داده شده و توسط هوا خشک گردید. در نهایت نمونه های پودری بسته بندی شده از ۵ منطقه سرچشمه، قلعه زری، سرکوه، پنج کوه و چهارگنبد جهت آنالیز به مرکز فرآوری کرج و استرالیا ارسال گردید (شکل ۲-۴) ولی به دلیل عدم درستی نتایج آنالیز ICP-MS مرکز فرآوری کرج، در پایان نامه از آن نتایج استفاده نشد.



شکل ۲-۳- کالکوپیریت خرد شده منطقه قلعه زری



شکل ۲-۴- نمونه های پودری بسته بندی شده جهت ارسال به استرالیا

## ۲-۳-۲ تهیه مقاطع صیقلی

از بین نمونه‌های بررسی شده تعدادی نمونه جهت تهیه مقاطع صیقلی انتخاب شد. مقاطع صیقلی در کارگاه تهیه مقطع دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود تهیه شد.

## ۲-۳-۲ آماده سازی مقاطع جهت مطالعات EPMA و XPMA

بعد از آماده سازی مقاطع صیقلی، مطالعات کانه‌نگاری ۵۵ مقطع صیقلی با میکروسکوپ پلاریزان OLYMPUS در آزمایشگاه نوری دانشکده معدن انجام شد که از این تعداد ۱۵، ۱۲، ۵، ۴، ۴، ۳، ۳ و ۳ مقطع صیقلی به ترتیب مربوط به منطقه سرچشمه، قلعه‌زری، سنخواست، لوشان، سرکوه، نوچون، دره‌زار، میدوک، کرور، پنج‌کوه می‌باشد. از بین مقاطع موجود ۴، ۲، ۲، ۱، ۲، ۱، ۳، ۲، ۳ و ۲ مقطع به ترتیب از سرچشمه، میدوک، دره‌زار، نوچون، کرور، سرکوه، قلعه‌زری، سنخواست، لوشان و پنج‌کوه برای مطالعات EPMA و XPMA انتخاب شد. که در انتها بر روی ۱۸ نقطه کالکوپیریت مطالعات XPMA و ۵۷ نقطه مطالعات EPMA انجام گردید.

## ۲-۴ روش آنالیز نمونه‌ها

جهت آنالیز نمونه‌ها به روش نقطه‌ی از EPMA و XPMA و پودری از ICP-MS استفاده گردید که در ذیل به توضیح مختصری از این دستگاه‌ها پرداخته می‌شود

## ۲-۴-۱ آنالیز الکترون مایکروپروب (EPMA)

الکترون مایکروپروب یک تکنیک برای آنالیز ترکیب شیمیایی یک نقطه کوچک در نمونه های جامد است. اساس کار این روش بمباران الکترونی حجم بسیار کوچکی از نمونه توسط یک تفنگ الکترونی با انرژی ۵ تا ۳۰ کیلو الکترون ولت و اندازه‌گیری میزان فوتون‌های اشعه ایکس ساطع شده توسط نمونه می‌باشد. از آنجایی که طول موج اشعه ایکس ساطع شده، مشخصه عنصر معینی می‌باشد، ترکیب نمونه به سادگی



شناسایی می‌گردد. الکترون میکروپروب روشی است که قادر است بدون تخریب نمونه، حجم بسیار کوچکی (در حد میکرومتر) از نمونه را با حساسیت حدود گرم بر تن تجزیه کند [۵۱].

دستگاه EPMA مورد استفاده برای آنالیز نمونه‌ها در مرکز فرآوری مواد معدنی کرج از نوع CAMECA SX 100 و ساخت شرکت CAMECA فرانسه می‌باشد.

#### ۲-۴-۲ دستگاه میکروپروب اشعه ایکس (XPMA)

این دستگاه پرتوهای اشعه ایکس را به باریکی ۱۰ و یا ۱۰۰ میکرون بر روی نقطه‌ای از نمونه که توسط میکروسکوپ مشخص می‌گردد، تابانده و آن را با دقت زیاد مورد تجزیه شیمیایی قرار می‌دهد. محدوده آنالیز عناصر از سدیم تا اورانیم است و این دستگاه می‌تواند در محیط خلاء و یا در شرایط اتمسفر معمولی برای نمونه‌های خاص کار نماید. جهت تعیین موقعیت آنالیز، دوربینی با قدرت تفکیک بالا امکان مشاهده جزئیات نمونه و تعیین موقعیت آنالیز را فراهم می‌نماید. اشعه ایکس قادر است از برخی نمونه‌ها عبور کرده و ساختار داخلی آن‌ها را بوضوح نمایان ساخته و اطلاعات با ارزشی ارائه نماید. اشعه ایکس پس از تولید در محفظه، از لوله بسیار باریک اشعه ایکس خارج شده و به اتم‌های نمونه برخورد می‌کند که این امر باعث کنده شدن الکترون از ترازهای مختلف در اتم شده و در نتیجه باعث برانگیخته شدن اتم‌های داخل نمونه می‌شود. برای جبران برانگیختگی و ناپایداری اتم‌ها، الکترونی از ترازهای بالاتر به سمت ترازهای پایین تر که انرژی آن کمتر است مهاجرت می‌نماید که در این نقل و انتقالات الکترونی، مازاد انرژی که از اتم‌ها ایجاد شده به صورت امواج اشعه ایکس ساطع می‌شود. تشعشعات ایکس خارج شده طول موج‌های مشخصی دارند که امواج فلورسانس نام دارند. هر طول موج مربوط به عنصری است که در نمونه وجود دارد. با اندازه‌گیری میزان انرژی این طول موج‌ها، عناصر مربوطه نیز شناسایی شده و مقدار آن نیز از روی شدت بدست می‌آید. با توجه به سهولت کار دستگاه و ارتباط با کامپیوتر، الگوی کاری و اسکن نمونه نیز به راحتی قابل تعریف است. آنالیز می‌تواند بر روی یک نقطه خاص متمرکز شده و یا در طول یک خط با فواصل قابل

تعریف باشد و یا حتی ابعاد یک شبکه را پیمایش نموده و تغییرات عناصر را ثبت نماید. در این دستگاه نمونه را می‌توان در خلاء کامل یا در فشار اتمسفر معمولی قرار داد [۵۲].

نمونه‌ها در آزمایشگاه کانساران بینالود تهران با دستگاه میکروپروب اشعه ایکس XPMA هوربا مدل ایکس جی تی ۷۲۰۰ مورد بررسی قرار گرفتند.

## ۲-۴-۳ آنالیز ICP-MS

طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی، نوعی از طیف سنجی جرمی است که برای تعیین فلزات و تعدادی از نافلزات 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 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 روش‌هایی مختلفی انجام می‌شود. مرسوم‌ترین روش ورود نمونه، استفاده از یک مهپاش است. وسیله‌ای که به کمک آن محلولها را به آئورسل<sup>۱</sup> 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 پرمانندی در آمده و به درون پلاسما وارد می‌شود. معمولاً برای نمونه‌های جامد از این روش استفاده می‌شود هر چند که استفاده از این روش مشکلاتی از جمله تهیه استاندارد در آنالیزهای کمی را دربردارد. 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

---

<sup>۱</sup> Aerosol

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 براساس 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 [۵۳]. نمونه‌های پودری توسط شرکت کانساران بینالود تهران به استرالیا ارسال و آنالیزهای مورد استفاده در پایان نامه در استرالیا انجام گرفت.



فصل سوم

بررسی کالکوسریت های مناطق زون

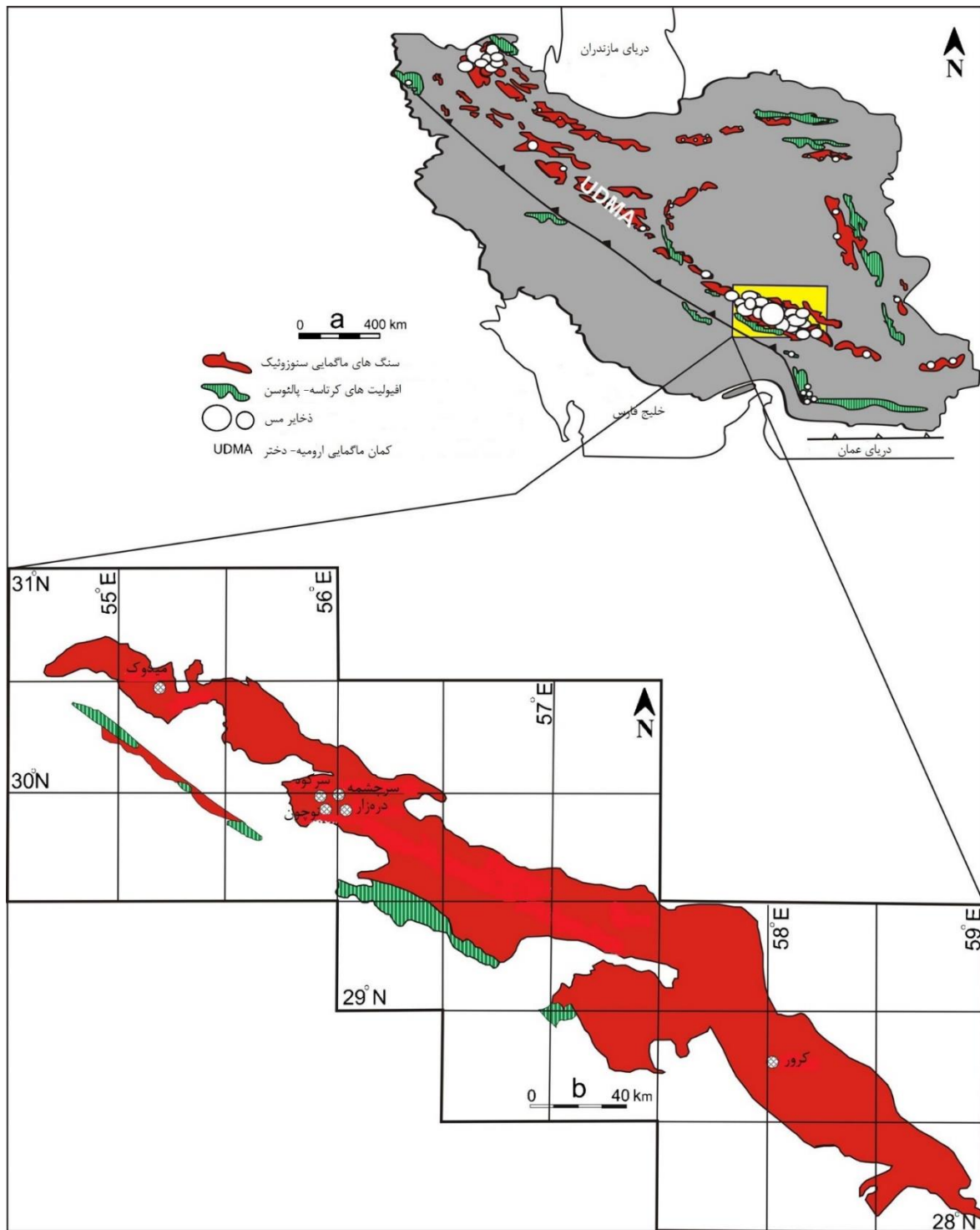
کرمان

### ۱-۳ مقدمه

نمونه‌های انتخابی از زون کرمان از چند ذخیره متفاوت از جمله سرچشمه، میدوک، دره زار، نوچون، کرور، چهارگنبد و سرکوه می‌باشند. مطالعات کانه‌نگاری و بررسی شیمی کانی کالکوپیریت پس از آماده‌سازی انجام گردید. در این فصل به زمین‌شناسی معادن موجود در زون کرمان، مطالعات کانه‌نگاری و شیمی کالکوپیریت پرداخته می‌شود.

### ۲-۳ زمین‌شناسی

ناحیه کرمان از نظر کانی‌سازی مس پرمایه است که درازای حدود ۴۰۰ کیلومتر و پهنای ۴۰-۷۰ کیلومتر با روند شمال باختری - جنوب خاوری دارد و از انارک شروع تا ناحیه بزمان ادامه می‌یابد. در این ناحیه بیش از ۲۰۰ کانسار و نشانه معدنی مس شناخته شده است [۱۹]. موقعیت معدن مس سرچشمه و دیگر ذخایر مس زون کرمان در شکل ۱-۳ دیده می‌شود.



شکل ۱-۳ - موقعیت معدن مس سرچشمه و مناطق نمونه برداری در کمربند ارومیه - دختر [۵۴]

### ۳-۲-۱ سرچشمه

معدن مس سرچشمه در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان و ۵۰ کیلومتری جنوب غرب رفسنجان واقع شده است. ذخیره مس پورفیری سرچشمه به همراه بیش از ۵۰ ذخیره پورفیری و رگه ای در کمربند آتشفشانی دهج- ساردوییه در بخش جنوبی کمربند ماگمایی ارومیه- دختر واقع شده است. این معدن بزرگترین معدن تولید کننده مس و مولیبدن در کشور ایران است [۵۵] و [۵۶].

مطالعاتی بسیار روی این معدن انجام شده که قدیمی ترین مطالعه زمین شناسی منطقه توسط بازین و هوبنر<sup>۱</sup> (۱۹۶۹) و واترمن و همیلتون<sup>۲</sup> (۱۹۷۵) انجام شده است، در محدوده معدن واحدهای سنگی متفاوتی وجود دارد، که فاز اصلی نفوذی و مولد کانسار با نام محلی استوک سرچشمه پورفیری با ترکیب گرانودیوریت شناخته شده است. کانی سازی در مس سرچشمه مانند سایر معادن مس پورفیری از بخش فوقانی به سمت پایین به ترتیب از منطقه شسته شده، منطقه اکسیدی، منطقه سوپرژن و منطقه هیپوژن تشکیل شده است. منطقه شسته شده در بالاترین قسمت قرار گرفته و شامل گوتیت، لیمونیت، هماتیت و بیوتیت می باشد. در این توالی به سمت پایین منطقه اکسیدی بعد از منطقه شسته شده قرار گرفته و کربنات های مس، مانند مالاکیت، آزرویت و اکسید مس (کوپریت) در این بخش واقع شده اند. در منطقه سوپرژن کانی های ثانویه مس، کالکوزیت و کوولیت قرار گرفته اند. منطقه هیپوژن در زیر منطقه سوپرژن واقع شده و تا عمق نهایی معدن ادامه دارد، کانی های اصلی این منطقه شامل کالکوپریت، برنیت، مولیبدنیت و مقدار کمی رگه های گالن، اسفالریت و انارژیت است. پیریت در همه مناطق معدن مشاهده می شود [۵۷]، [۵۸] و [۵۹].

### ۳-۲-۲ میدوک

کانسار مس میدوک در فاصله ۲۷ کیلومتری شمال شهرستان شهر بابک از توابع استان کرمان قرار دارد که در شمال غربی نوار دهج - ساردوییه قرار گرفته است. کانسار مس میدوک مهم ترین کانسار مس پورفیری

<sup>1</sup> Bazin and Hübner

<sup>2</sup> Waterman and Hamilton



بعد از کانسار مس سرچشمه در استان کرمان است. انباشتگی مس پورفیری میدوک در یک توده مدور با حدود ۳۰۰ متر قرار دارد. این توده به شکل یک استوک نفوذی با جنس دیوریت تا کوارتز دیوریت است [۶۰] و [۶۱]. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی انجام شده توسط عطاپور و آفتابی (۲۰۰۸) چهار زون کانی-سازی در این کانسار مشخص شده که شامل زون اکسیده، سوپرژن، گذری و هیپوژن است. کانی اصلی در زون اکسیده، مالاکیت و آزوریت، در زون گذری کالکوزیت و کالکوپیریت، در زون سوپرژن، کالکوزیت و پیریت و در زون هیپوژن، کالکوپیریت می‌باشد [۵۹].

### ۳-۲-۳ دره‌زار

کانسار پورفیری دره‌زار در استان کرمان و شمال‌شرق سیرجان در منطقه بند ممزار و به همراه کانسار پورفیری سرچشمه و کانسار پورفیری نوچون در زون ماگمایی ترشیری ارومیه دختر واقع شده است [۶۲] و [۶۳]. قدیمی‌ترین توده نفوذی در محدوده معدنی دره‌زار، توده پورفیری دره‌زار با ترکیب کوارتز مونزونیتی است [۶۴]. کانی‌سازی تیپ پورفیری در استوک پورفیری دره‌زار زون‌های متعددی را نشان می‌دهد که از سطح به عمق شامل زون‌های فرونشست، زون اکسید، زون سوپرژن و زون هیپوژن است. زون فرونشست در اثر دگرسانی و شستشو توسط محلول فرورو فاقد آثار کانی‌سازی است ولی در مواردی کانی‌های هماتیت، لیمونیت در منطقه دیده می‌شود. کانی‌های مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا در زون اکسید مشاهده شده‌اند. در زون سوپرژن، کالکوزیت به همراه پیریت کانی‌های اصلی هستند که کالکوزیت در اغلب موارد از حاشیه به کولیت تبدیل شده است [۶۵] و [۶۶]. پاراژنز کانی‌شناسی در زون هیپوژن، پیریت، کالکوپیریت و برنیت و به میزان خیلی جزئی مولیبدنیت است [۶۷].

### ۳-۲-۴ نوچون

معدن مس نوچون در ۴ کیلومتری جنوب غرب معدن سرچشمه در استان کرمان واقع شده است. کانسار نوچون اولین رخداد از کانه زایی پورفیری سرشار از مولیبدن ولی فقیر از مس در ایران است [۶۸]. [۶۹]. اولین مطالعات انجام شده در منطقه توسط زمین‌شناسان یوگسلاوی انجام شده است براساس مطالعات

سلطانی نژاد و همکاران کانی‌های سولفیدی اصلی منطقه شامل کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، مولیبدنیت و اندکی مگنتیت است [۷۰] و [۷۱].

### ۳-۲-۵ کرور

مس کرور در فاصله ۴۳ کیلومتری شرق جیرفت در استان کرمان قرار دارد. از دیدگاه زمین‌شناسی این محدوده در زون ارومیه- دختر و دامنه جنوبی جبال بارز قرار می‌گیرد. کانه‌زایی به شکل استوک-ورک و انتشاری دیده می‌شود. کانی‌های فلزی اصلی شامل پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت و کانی‌های ثانویه فلزی آزرویت، ملاکیت و هماتیت است [۷۲] و [۷۳].

### ۳-۲-۶ چهارگنبد

معدن مس- طلای چهارگنبد در بخش جنوب شرقی ایران در حدود ۱۱۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان جای‌گرفته است. کانی‌سازی در این معدن در اثر عبور سیالات گرمایی در طول سیستم گسلی چهارگنبد به وجود آمده و به فرم رگه‌ای و عدسی شکل است. کانی‌زایی در دو مرحله اولیه و ثانویه انجام شده است. کانی‌های اولیه فلزی موجود در منطقه پیریت و کالکوپیریت و کانی‌های فلزی ثانویه هماتیت، گوتیت و لیمونیت است [۴۹] و [۷۴].

### ۳-۲-۷ سرکوه

منطقه سرکوه در جنوب غرب کانسار مس پورفیری سرچشمه در شمال شرق شهرستان پاریز در استان کرمان قرار دارد. این منطقه به طور مقدماتی توسط یوگسلاوها مطالعه شده است. کانسار مس سرکوه در کمر بند آتشفشانی پلوتونیک ارومیه-دختر و کمر بند دهج-ساردوییه قرار گرفته است. در این منطقه کمپلکس آتشفشانی -رسوبی ائوسن شامل آندزیت-بازالت، بازالت، توف‌های برشی و برشهای آذرآواری است. در طی فاز پلوتونیک الیگو-میوسن، توده‌های نیمه عمیق با ترکیب گرانودیوریتی و کوارتز دیوریتی در مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن جایگزین شده است. سپس همه این سنگ‌ها توسط دایک‌هایی با

ترکیب گرانودیوریتی و داسیتی قطع شده است. نفوذ توده نیمه عمیق و فعالیت سیال‌های گرمایی حاصل از آن سبب ایجاد هاله‌های دگرسانی در توده نفوذی و کمپلکس آتشفشانی گردیده است. از نظر کانه‌سازی در توده نفوذی کانه‌سازی پیریت به طور وسیع، کالکوپیریت، مگنتیت، تتراهدريت، تنانتیت، برنیت، گوتیت، کالکوزیت، مالاکیت و آزوریت و در کمپلکس آتشفشانی-رسوبی کانه‌سازی پیریت، گالن و اسفالریت دیده می‌شود [۷۵] و [۷۶].

### ۳-۳ مطالعات کانه‌نگاری

مقاطع تهیه شده از مناطق نمونه برداری در زون کرمان با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان انعکاسی در آزمایشگاه نوری دانشکده معدن مورد مطالعه قرار گرفتند که نتایج مطالعه انجام شده در ذیل آورده شده است.

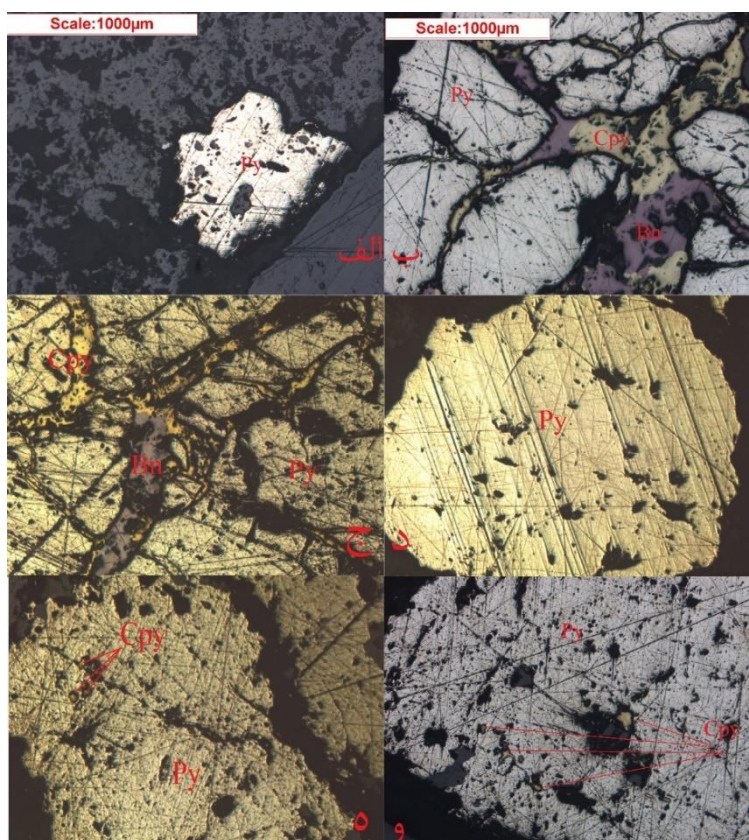
#### ۳-۳-۱ سرچشمه

در مطالعات انجام شده کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، برنیت، کالکوزیت، دیژنیت و کوولیت در مقاطع دیده شد.

پیریت: در مقاطع صیقلی مطالعه شده فراوان‌ترین کانی پیریت است در بعضی از مقاطع در حدود ۷۰ درصد مقطع را این کانی پوشانده است. کانی پیریت به صورت پراکنده در زمینه و کمتر به صورت رگه - رگچه در داخل مقطع مشاهده شد. ابعاد دانه‌ها از کوچک تا بزرگ متغیر است. کانی‌های پیریت به صورت مستقل و همراه با کانی‌های دیگر مثل کالکوپیریت و برنیت هستند، شکستگی‌های میان کانی پیریت توسط کالکوپیریت و برنیت پر شده است. کانی کالکوپیریت در بعضی موارد به صورت ادخالی در کانی پیریت قابل مشاهده است. (شکل ۳-۲)

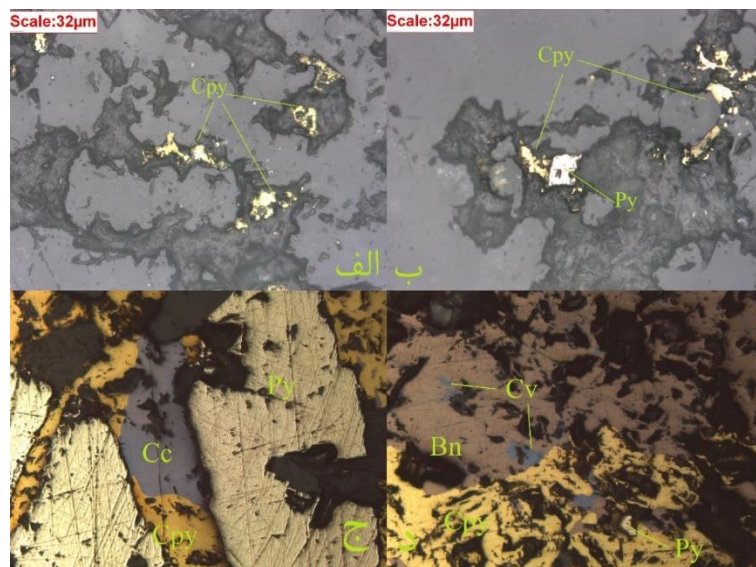
**کالکوپیریت** : کانی کالکوپیریت بعد از پیریت فراوان ترین کانی موجود در مقاطع است، در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد مقطع را به خود اختصاص می دهد. ابعاد ذرات آن از ۱۰ تا ۱۰۰۰ میکرون متغیر است. این کانی به صورت مجزا و همراه با کانی های پیریت، برنیت، دیژنیت و کوولیت در مقاطع دیده می شود (شکل ۳-۳).

**برنیت** : فراوانی این کانی در بعضی از مقاطع به ۱۰ درصد از حجم مقطع می رسد. کانی برنیت در این مقاطع در اطراف یا داخل کانی های کالکوپیریت و پیریت قرار گرفته است. بلورهای برنیت در بعضی نقاط از حاشیه به کوولیت و دیژنیت تبدیل می شود.



شکل ۳-۲- پیریت در مقاطع سرچشمه در نور ppl

الف - کانی پیریت به صورت مستقل، ب و ج - کانی پیریت به همراه کانی کالکوپیریت و برنیت به صورت پراکنده شکستگی های پیریت، د - کانی پیریت، و و ه - کانی کالکوپیریت به صورت ادخال در کانی پیریت  
 پیریت: Py، کالکوپیریت: Cpy، برنیت: Bn

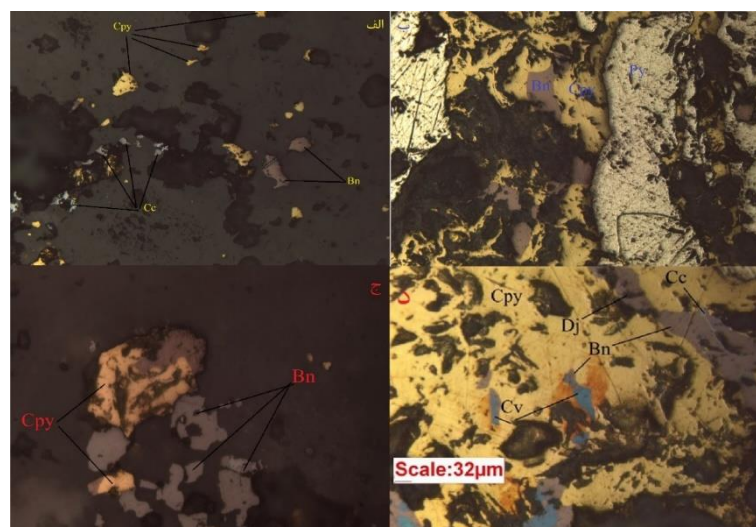


شکل ۳-۳ - کالکوپیریت در مقاطع سرچشمه در نور ppl

الف - کالکوپیریت، ب- کالکوپیریت و پیریت، ج- کالکوپیریت، پیریت و کوولیت، د- کالکوپیریت، پیریت، برنیت و کوولیت  
 پیریت: Py، کالکوپیریت: Cpy، برنیت: Bn، کوولیت: Cv، کالکوزیت: Cc

کالکوزیت، کوولیت و دیژنیت: در مقاطع مورد مطالعه، درصد این کانی ها خیلی کم بوده و بیشتر در حاشیه

کانی های کالکوپیریت و برنیت به صورت جانیشینی مشاهده می شوند (شکل ۳-۴)



شکل ۳-۴ - برنیت در مقاطع سرچشمه در نور ppl

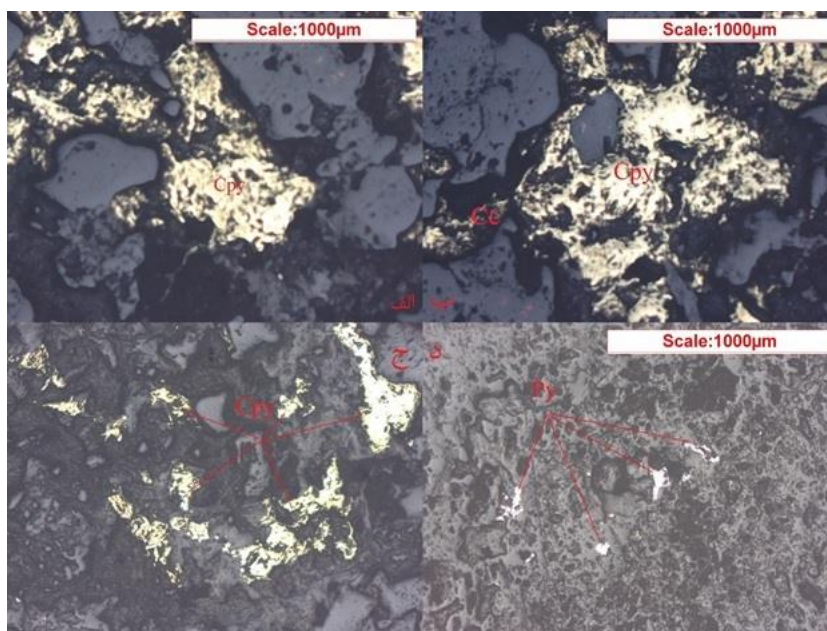
الف- کانی برنیت به همراه کانی کالکوپیریت و کالکوزیت، ب- کانی برنیت به همراه کانی کالکوپیریت و پیریت، ج- کانی  
 برنیت در اطراف کانی کالکوپیریت، د- کانی برنیت، کالکوزیت، دیژنیت، کالکوپیریت و کوولیت

پیریت: Py، کالکوپیریت: Cpy، برنیت: Bn، کوولیت: Cv، کالکوزیت: Cc، دیژنیت: Dj

### ۳-۳-۲ میدوک

کانی های شناسایی شده در مقاطع مس میدوک در زیر میکروسکوپ پلاریزان انعکاسی شامل کالکوپیریت، پیریت، کالکوزیت است، بیشتر حجم مقطع را سنگ بستر پوشش می دهد.

فراوان ترین کانی موجود در مقاطع مورد مطالعه کانی کالکوپیریت است که در نمونه های مربوط به این منطقه به صورت مجزا و درگیر با دیگر کانی ها دیده می شود. کانی کالکوپیریت در اندازه های گوناگون از خیلی ریز تا درشت در مقاطع مشاهده شد. دو کانی پیریت و کالکوزیت در مقاطع مورد مطالعه از این منطقه به ندرت دیده شدند (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵- کانی های مشاهده شده در مقاطع مس میدوک در نور ppl

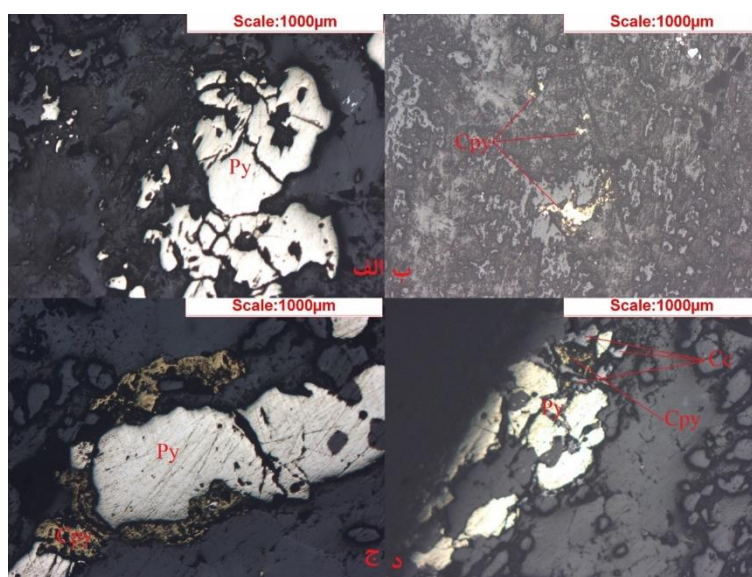
الف- کالکوپیریت، ب- کانی کالکوپیریت به همراه کانی کالکوزیت، ج- کانی کالکوپیریت، د- کانی پیریت  
پیریت: Py، کالکوپیریت: Cpy، کالکوزیت: Cc، دیژنیت: Dj

### ۳-۳-۳ دره زار

براساس مطالعات انجام شده مهم ترین کانی های این منطقه شامل پیریت، کالکوپیریت و کالکوزیت است.

پیریت: فراوان ترین کانی مشاهده شده در مقاطع این منطقه کانی پیریت است که در اندازه های ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ میکرومتر می توان این کانی را مشاهده کرد. کانی پیریت به صورت مجزا و درگیر با کانی کالکوپیریت و نیز رگه- رگچه ای در داخل مقاطع دیده می شود (شکل ۳-۶)

کالکوپیریت و کالکوزیت: کانی کالکوپیریت در این مقاطع به ندرت دیده می شد. کانی کالکوزیت نیز در یک نمونه مشاهده شد.

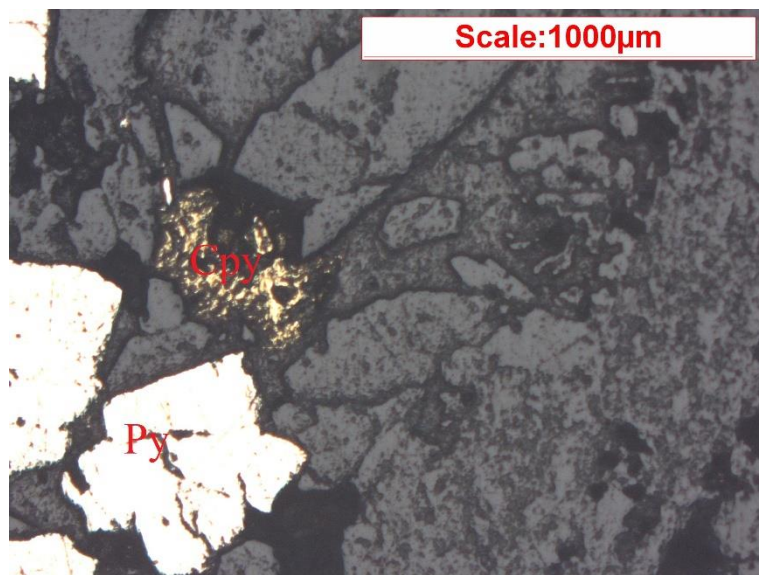


شکل ۳-۶ - کانی های مشاهده شده در مقاطع مس در هزار در نور ppl  
 الف- پیریت، ب- پیریت و کالکوپیریت، ج- پیریت و کالکوپیریت د - پیریت، کالکوپیریت و کالکوزیت  
 پیریت: Py، کالکوپیریت: Cpy، کالکوزیت: Cc

### ۳-۴ نوچون

مهم ترین کانی های مشاهده شده در مقاطع این منطقه عبارتند از پیریت و کالکوپیریت.

فراوان ترین کانی موجود در مقاطع مطالعه شده کانی پیریت است، پیریت های موجود در این مقاطع اندازه های مختلفی از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر دارند این کانی به صورت درشت و کوبیک در مقاطع دیده می شود. کانی کالکوپیریت به ندرت در مقاطع در اندازه ریز مشاهده گردید (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷ - کانی پیریت و کالکوپیریت در مقاطع مس - مولیبدن نوچون در نور ppl  
 پیریت: Py، کالکوپیریت: Cpy

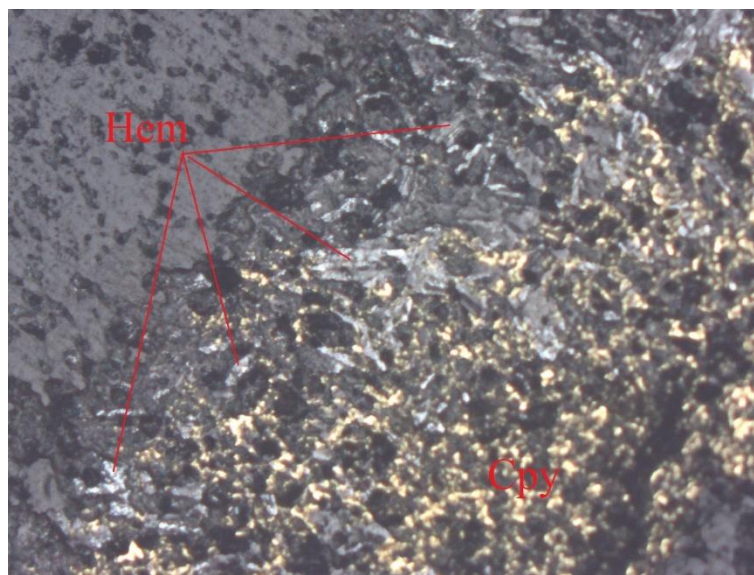
### ۳-۳-۵ کرور

کانی های موجود در نمونه های این منطقه بیشتر در داخل یک رگه قابل روئیت بود که شامل کانی کالکوپیریت، هماتیت و پیریت است.

کالکوپیریت: فراوان ترین کانی موجود در مقاطع کانی کالکوپیریت است. کانی کالکوپیریت و کانی هماتیت در مقاطع با هم هم رشدی دارند که حجم وسیعی از مقطع را کانی کالکوپیریت پوشش می دهد.

پیریت و هماتیت: این کانی ها نسبت به کالکوپیریت کمتر در مقاطع مشاهده شدند. کانی هماتیت به همراه کانی کالکوپیریت دیده می شود. (شکل ۳-۸)





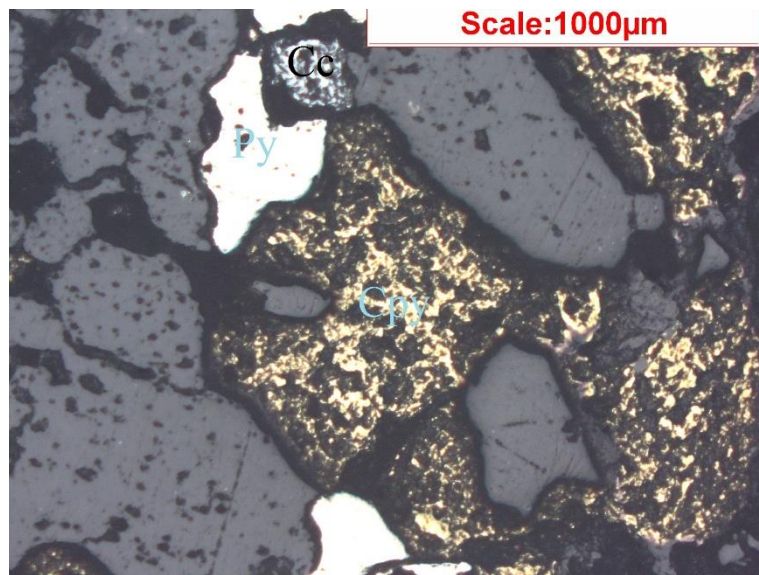
شکل ۳-۸- کانی کالکوپیریت و هماتیت در مقطع صیقلی منطقه کرور در نور ppl  
 کالکوپیریت: Cpy، هماتیت: Hem

### ۳-۳-۶ سرکوه

کانی های موجود در مقاطع مطالعه شده شامل کالکوپیریت، پیریت و کالکوزیت است

**کالکوپیریت:** کانی های کالکوپیریت مشاهده شده در این منطقه به صورت مجزا و همراه با کانی های دیگر قابل روئیت می باشد. کانی های کالکوپیریت متغیر از ۱۰۰ میکرومتر تا ۲۰۰۰ میکرومتر به صورت پراکنده در مقاطع دیده می شود.

**پیریت و کالکوزیت:** کانی پیریت در اندازه های متغیر از بزرگ و کوچک به صورت مشاهده می شود. کانی کالکوزیت در مقاطع مطالعه شده بیشتر اطراف کانی کالکوپیریت قابل مشاهده است. کانی کالکوزیت در داخل مقاطع به ندرت دیده شد و در اکثر موارد با کانی های موجود در مقاطع همراه است (شکل ۳-۹).



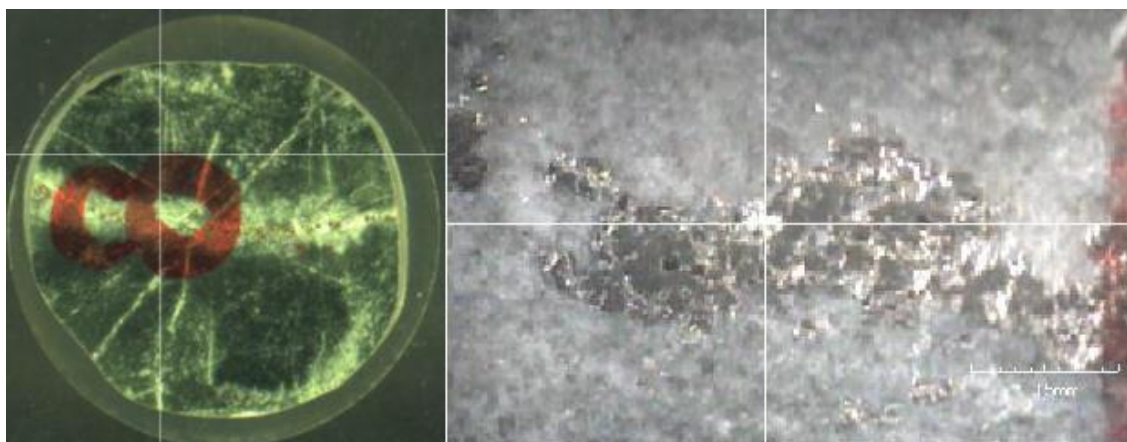
شکل ۳-۹- کانی کالکوپیریت، پیریت و کالکوزیت معدن سرکوه در نور ppl  
 پیریت: Py، کالکوپیریت: Cpy، کالکوزیت: Cc

### ۳-۴ شیمی کانی کالکوپیریت

برای مطالعه و بررسی شیمی ترکیب کانی کالکوپیریت، از مناطق مختلف نمونه‌برداری شده در زون کرمان مقاطع و نمونه پودری انتخاب شد و مطالعات میکروسکوپی انجام گردید که در ادامه نتایج بدست آمده از هر منطقه تشریح شده است

#### ۳-۴-۱ سرچشمه

**مطالعات XPMA:** در مقاطع مطالعه شده ۵ نقطه کالکوپیریت با دستگاه XPMA مورد تابش اشعه ایکس قرارگرفت (شکل ۳-۱۰). در نقاط ۱ و ۲ به دلیل ریز بودن کالکوپیریت اطراف دانه کالکوپیریت هم مورد بررسی قرار گرفته است. درصد وزنی گوگرد در محدوده ۴/۲۲ تا ۳۳/۴۹، آهن ۷/۹۲ تا ۳۲/۸۷، مس ۷/۷۷ تا ۳۳/۷۶، کلسیم تا ۰/۵۹، استرانسیم تا ۰/۰۳، زیرکن تا ۰/۰۹، آلومینیوم تا ۰/۴ و سیلیس تا ۳۷/۴۲ اندازه‌گیری شده است (جدول ۳-۱).

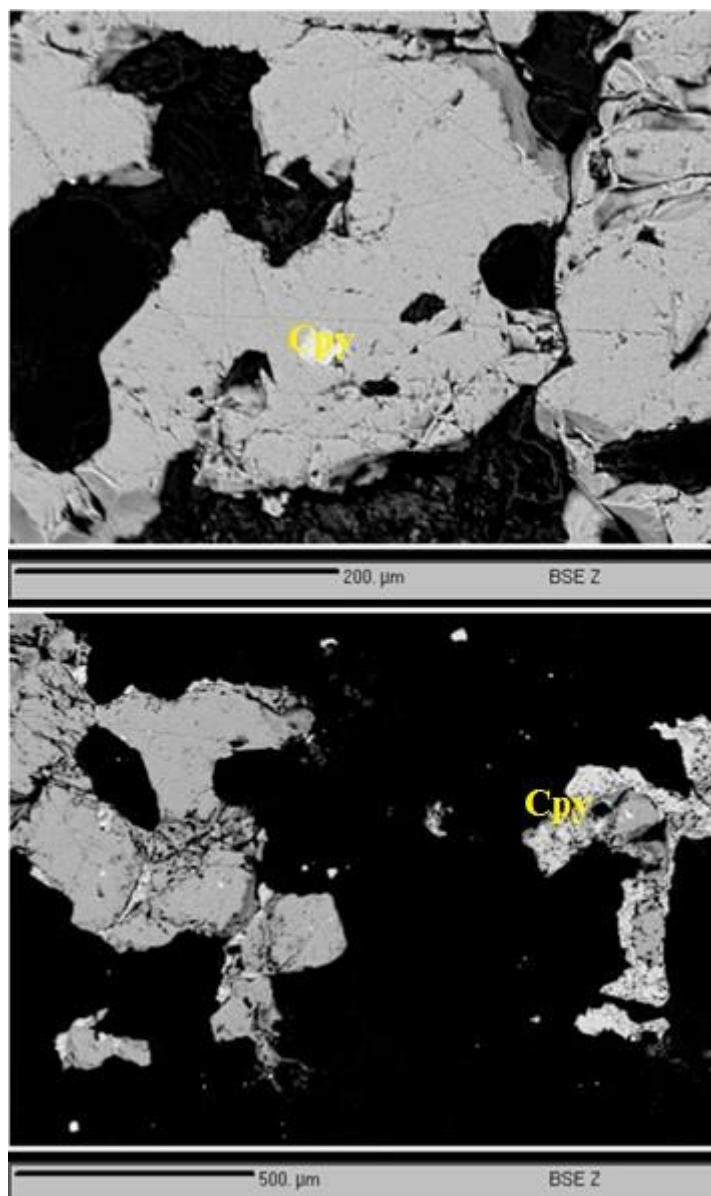


شکل ۳-۱۰- موقعیت یکی از نقاط مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی سرچشمه

جدول ۳-۱ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سرچشمه براساس آنالیز XPMA (غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی بیان شده است)

نقاط آنالیز	Al	Ca	Cu	Fe	S	Si	Sr	Zr	O	total
1	-	0.03	7.77	7.92	4.22	37.42	-	-	42.64	100
2	0.25	-	19.09	17.48	18.87	20.61	-	-	23.7	100
3	0.4	0.13	33.28	30.48	33.49	0.79	0.02	0.09	1.32	100
4	0.16	0.59	30.92	30.29	31.69	2.73	0.03	0.07	3.52	100
5	-	-	33.76	32.87	33.37	-	-	-		100

**مطالعات EPMA:** برای انجام مطالعات EPMA ۸ نقطه کالکوپیریت مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول ۳-۲ درصد وزنی گوگرد در محدوده ۳۴/۲۸ تا ۳۵/۴۲، آهن ۲۹/۵۵ تا ۳۱/۶۹، مس ۳۳/۶۶ تا ۳۴/۸۷ قرار دارد. میزان کلسیم در کالکوپیریت‌های آنالیز شده حداکثر تا ۲۰۰۰، روی حداکثر تا ۱۳۰۰، گالیم حداکثر تا ۲۰۰، ژرمانیوم حداکثر تا ۳۰۰، آرسنیک حداکثر تا ۳۰۰، استرانسیم حداکثر تا ۳۰۰، نقره حداکثر تا ۱۰۰، ایندیم حداکثر تا ۱۰۰، آنتیموان زیر ۱۰۰ و باریم از ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ گرم بر تن گزارش شد. شکل ۳-۱۱ تصاویر تهیه شده با مایکروپروب الکترونی از کانی کالکوپیریت و نقاط مورد آنالیز در این کانی است.



شکل ۳-۱۱- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت سرچشمه  
کالکوپیریت: Cpy

جدول ۳-۲ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سرچشمه براساس آنالیز EPMA (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن است، عناصر مس، آهن و گوگرد بر حسب درصد وزنی بیان شده اند)

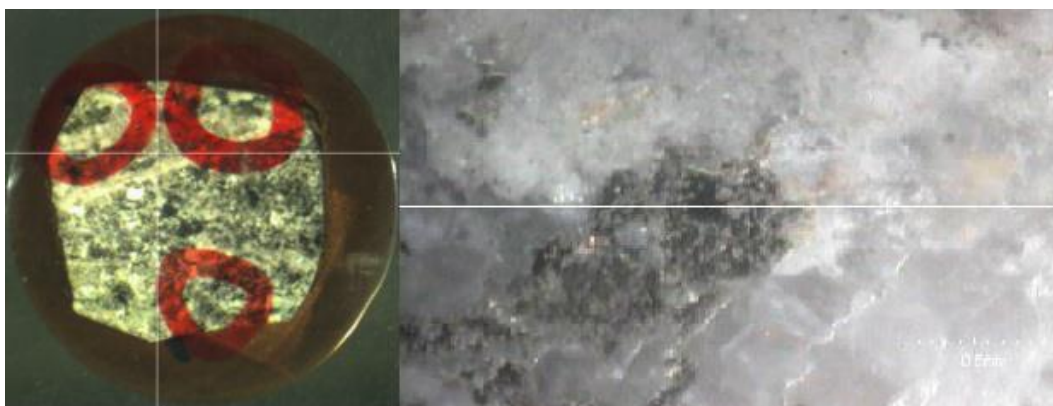
نقاط آنالیز	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Sr	Ag	In	Sb	Ba	Total
1	34.28	0	30.34	34.86	0	0	0	0	0	0	0	0	800	99.56
2	33.45	2000	31.69	34.87	0	0	300	0	0	0	0	0	500	100.29
3	34.75	200	30.3	34.26	0	0	0	0	300	100	0	0	1200	99.79
4	34.36	200	31.45	33.66	0	0	0	0	300	0	100	0	400	99.57
5	35.18	200	29.55	34.15	0	0	0	0	200	0	0	0	800	99
6	35.42	0	30.36	34	1300	0	0	0	200	0	0	0	500	99.98
7	34.74	0	29.96	34.14	0	200	0	300	0	0	0	0	300	98.97
8	34.62	0	30.57	33.84	0	0	0	0	0	0	100	0	600	99.12

MDL= 100 ppm

**آنالیز ICP-MS:** از منطقه سرچشمه یک نمونه پودری به استرالیا جهت آنالیز ICP-MS ارسال گردید. غلظت سه عنصر مس، آهن و گوگرد به ترتیب ۳۵/۷۷، ۲۷ و ۳۳/۷۰ درصد وزنی می‌باشد و میزان عناصر نقره، آلومینیوم، آرسنیک، باریم، کلسیم، گالیم، ژرمانیوم، ایندیم، سرب، آنتیموان، سلنیم، استرانسیم و روی به ترتیب ۲۲، ۷۵۴۰، ۱۲، ۲۸/۷، ۴۲۲، ۱/۵۱، ۰/۳۲، ۰/۳۸، ۰/۳۸، ۱۹۱، ۰/۵، ۸۸/۱، ۶/۸ و ۱۴۶ گرم بر تن می‌باشد (جدول ۳-۱۳).

### ۳-۴-۲ میدوک

**مطالعات XPMA:** یک نقطه از منطقه میدوک برای مطالعات XPMA انتخاب شد (شکل ۳-۱۲) با توجه به اینکه کالکوپیریت‌های منطقه میدوک اندازه‌ی ریزی دارند نقطه مورد آنالیز اطراف دانه کالکوپیریت را هم در بر گرفته و نتایج زیر را بدست داده است میزان مس، آهن، گوگرد، کلسیم و سیلیس به ترتیب ۱۲/۲۲، ۱۰/۹۹، ۱۱/۳۸، ۰/۱۲ و ۳۰/۵ درصد وزنی بوده است. (جدول ۳-۳).

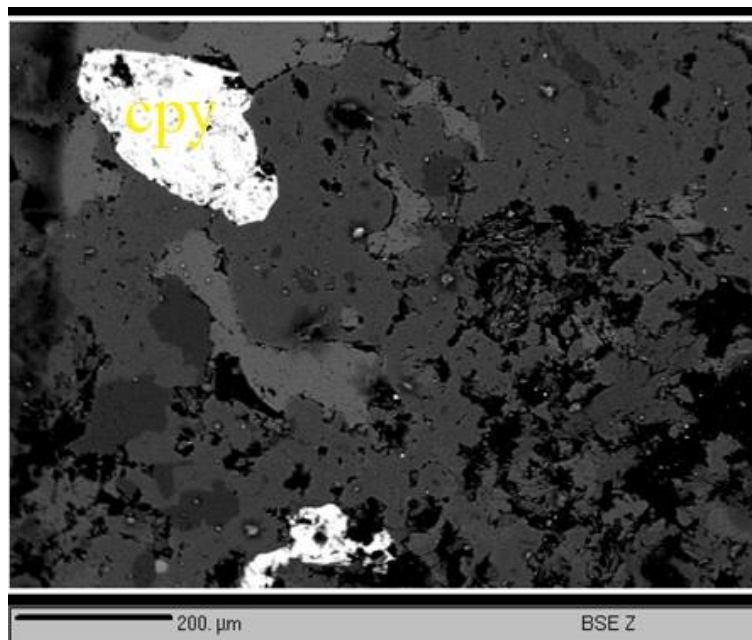


شکل ۳-۱۲- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی میدوک

جدول ۳-۳ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های میدوک براساس آنالیز XPMA (غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی بیان شده است)

نقاط آنالیز	Ca	Cu	Fe	S	Si	O	total
1	0.12	12.22	10.99	11.38	30.5	34.79	100

**مطالعات EPMA:** در مقاطع انتخابی ۶ نقطه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳-۱۳). با توجه به جدول ۳-۴ درصد وزنی گوگرد در محدوده ۲۵/۹۹ تا ۳۴/۷۸، آهن ۱۱/۳۱ تا ۳۰/۲۶، مس ۳۴/۰۳ تا ۶۲/۲۶ قرار دارد. میزان کلسیم در کالکوپیریت‌های آنالیز شده حداکثر تا ۱۴۰۰، روی حداکثر تا ۶۰۰، گالیم حداکثر تا ۲۰۰، ژرمانیوم کمتر از ۱۰۰، آرسنیک حداکثر تا ۵۰۰، استرانسیم حداکثر تا ۶۰۰، نقره حداکثر تا ۱۲۰۰، ایندیم حداکثر ۱۰۰ تا ۵۰۰، آنتیموان زیر ۱۰۰ و باریم حداکثر تا ۴۰۰ گرم بر تن گزارش شد.



شکل ۳-۱۳ - تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت میدوک  
کالکوپیریت: Cpy

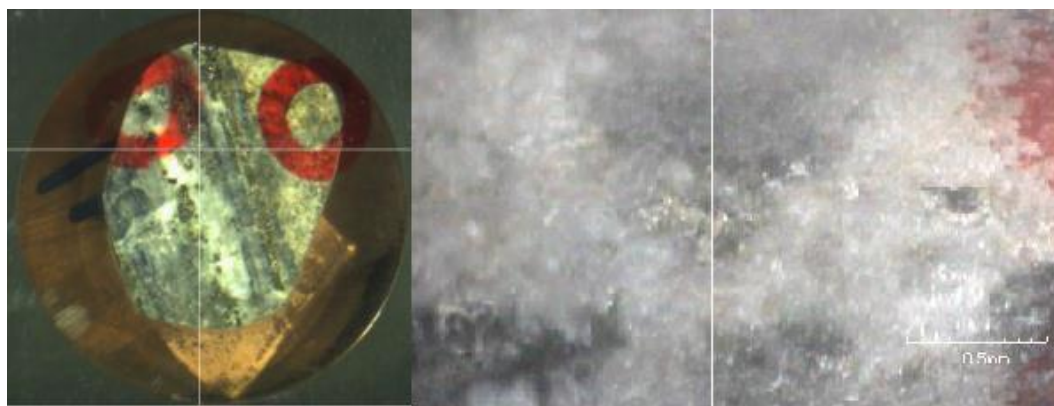
جدول ۳-۴ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های میدوک بر اساس آنالیز EPMA (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن است، عناصر گوگرد، مس و آهن، بر حسب درصد وزنی بیان شده اند)

نقاط آنالیز	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Sr	Ag	In	Sb	Ba	Total
1	25.99	100	11.31	62.26	500	100	0	0	0	1200	0	0	200	99.77
2	26.46	1400	11.77	61.52	500	0	0	0	500	0	500	0	400	100.11
3	34.54	100	29.88	34.7	400	0	0	500	0	0	0	0	200	99.24
4	34.78	100	30.26	34.03	600	0	0	0	0	0	0	0	0	99.22
5	34.57	0	30.05	34.36	300	200	0	0	600	0	0	0	0	99.09
6	34.49	200	29.86	34.77	0	100	0	0	600	0	400	0	0	99.25

MDL= 100 ppm

### ۳-۴-۳ دره زار

**مطالعات XPMA:** به دلیل ریز بودن کانی‌های کالکوپیریت موجود در منطقه، در آنالیز نقطه ای کانی‌های موجود در اطراف هم تحت تابش اشعه ایکس قرار گرفته است (شکل ۳-۱۴)، طیف وسیعی از عناصر در نقطه آنالیز شده وجود داشته است که علاوه بر مس، آهن و گوگرد که به ترتیب ۷/۹۱، ۱۵/۰۶ و ۶/۷۴ درصد وزنی نمونه اندازه‌گیری شده اند شامل آلومینیوم، منیزیم، منگنز، سیلیس، زیرکن و وانادیم است که به ترتیب ۹/۸۷، ۷/۶۶، ۰/۰۵، ۱۳/۲۱، ۰/۰۳ و ۰/۱۴ درصد وزنی غلظت دارند (جدول ۳-۵).



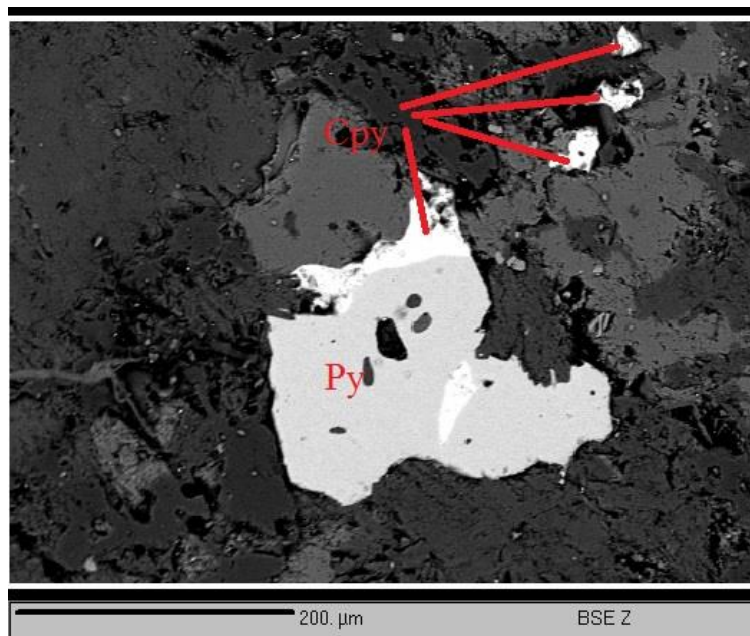
شکل ۳-۱۴- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی دره‌زار

جدول ۳-۵ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های دره‌زار براساس آنالیز XPMA (غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی بیان شده است)

نقاط آنالیز	Al	Cu	Fe	S	Mg	Mn	Si	Zr	V	O	total
1	9.87	7.91	15.06	6.74	7.66	0.05	13.21	0.03	0.14	32.59	100

**مطالعات EPMA:** برای انجام مطالعات EPMA ۷ نقطه در مقاطع معدن میدوک مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳-۱۵). با توجه به جدول ۳-۶ درصد وزنی گوگرد در محدوده ۳۳/۸۴ تا ۳۴/۷۸، آهن ۲۹/۸۸ تا ۳۰/۷۹، مس ۳۳/۳۵ تا ۳۴/۱۳ قرار دارد. میزان کلسیم در کالکوپیریت‌های آنالیز شده در محدوده حداکثر تا ۲۸۰۰، روی از ۲۰۰ تا ۱۲۰۰، گالیم حداکثر تا ۵۰۰، ژرمانیوم کمتر از ۱۰۰، آرسنیک حداکثر تا ۴۰۰، استرانسیوم حداکثر تا ۱۱۰۰، نقره کمتر از ۱۰۰، ایندیم حداکثر تا ۴۰۰، آنتیموان زیر ۱۰۰ و باریوم حداکثر تا ۱۲۰۰ گرم بر تن گزارش شد.





شکل ۳-۱۵ - تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت دره زار  
 کالکوپیریت: Cpy، پیریت: Py

جدول ۳-۶ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های دره زار بر اساس آنالیز EPMA (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن است، عناصر گوگرد، مس و آهن، بر حسب درصد وزنی بیان شده اند)

نقاط آنالیز	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Sr	Ag	In	Sb	Ba	Total
1	35.45	200	30.12	33.76	1100	0	0	300	800	0	400	0	0	99.61
2	35.65	100	30.24	34.01	500	0	0	200	0	0	0	0	0	100.02
3	34.97	0	30.72	33.35	700	100	0	0	1100	0	100	0	0	99.24
4	34.49	400	30.12	33.7	300	0	0	400	0	0	300	0	0	98.57
5	33.84	200	30.79	34.13	400	0	0	0	0	0	300	0	200	99.05
6	34.71	2800	29.88	33.79	200	500	0	0	0	0	0	0	1200	98.87
7	34.58	2400	30.61	33.41	1200	0	0	0	0	0	300	0	600	99.1

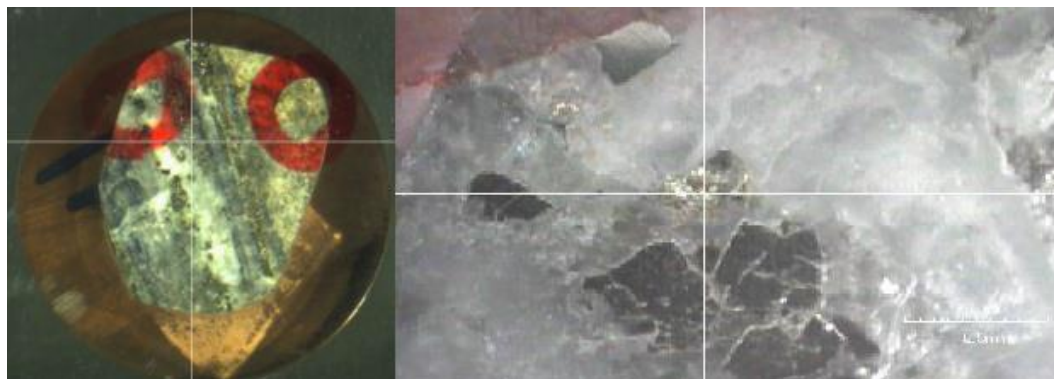
MDL= 100 ppm

### ۳-۴-۴ نوچون

مطالعات XPMA: بعد از انجام مطالعات کانی شناسی یک مقطع از این منطقه جهت مطالعات دستگاہی

انتخاب شد در این نمونه اندازه کالکوپیریت‌های موجود در مقطع نسبت به مناطق دیگر بزرگ تر بود ولی

باز هم نسبت به اندازه استاندارد دستگاه کمی کوچکتر بود و حاشیه های کانی هم در آنالیز دخیل بوده است (شکل ۳-۱۶).



شکل ۳-۱۶- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی نوچون

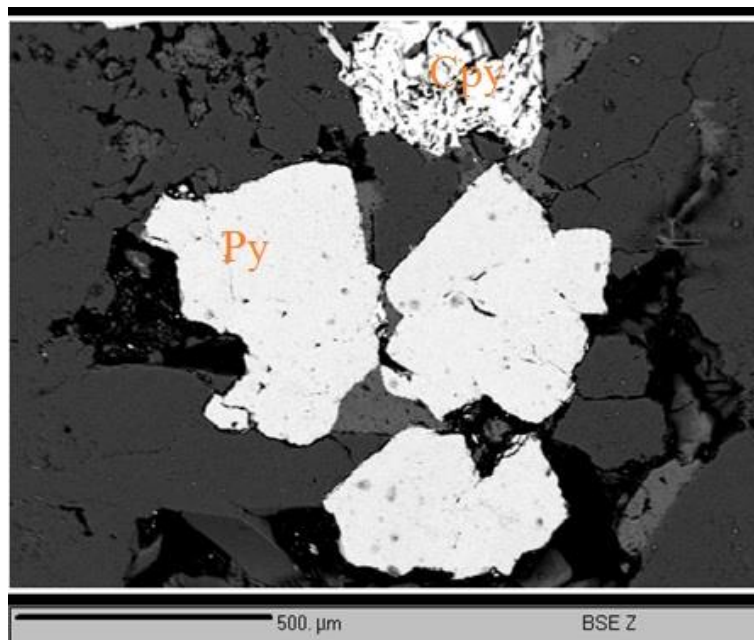
مطالعه XPMA بر روی مقطع انتخاب شده انجام شد ولی به دلیل اینکه در مطالعات XPMA حد تشخیص دستگاه بالا است عناصری که میزان غلظت بالای دارند در این آنالیز مشخص شدند که برای کالکوپیریت انتخابی در مقطع مورد نظر عناصر Si، Ca، Fe، Cu و S بدست آمدند که به ترتیب ۱/۲۱، ۰/۱۹، ۲۹/۷۴، ۳۵/۸۲ و ۳۱/۵۹ در صد وزنی به خود اختصاص داده است (جدول ۳-۷)

جدول ۳-۷ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت های نوچون براساس آنالیز XPMA (غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی بیان شده است)

نقاط آنالیز	Cu	Fe	S	Ca	Si	O	total
1	35.82	29.74	31.59	0.19	1.21	1.45	100

**مطالعات EPMA:** ۳ نقطه کالکوپیریت از منطقه نوچون توسط EPMA مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳-۱۳). با توجه به جدول ۳-۶ درصد وزنی گوگرد در محدوده ۳۴/۵۵ تا ۳۴/۹۱، آهن ۳۰/۱ تا ۳۰/۳۵، مس ۳۴/۰۱ تا ۳۴/۱۲ قرار دارد. میزان کلسیم در کالکوپیریت های آنالیز شده حداکثر تا ۲۰۰، روی از ۵۰۰ تا ۹۰۰، گالیم کمتر از ۱۰۰، ژرمانیوم کمتر از ۱۰۰، آرسنیک حداکثر تا ۵۰۰، استرانسیم حداکثر تا ۳۰۰.

نقره حداکثر تا ۲۰۰، ایندیم حداکثر تا ۱۰۰، آنتیموان زیر ۱۰۰ و باریوم حداکثر تا ۹۰۰ گرم بر تن گزارش شد.



شکل ۳-۱۷- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت منطقه نوچون کالکوپیریت: Py، پیریت: Cpy

جدول ۳-۸ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های نوچون بر اساس آنالیز EPMA (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن است، عناصر گوگرد، مس و آهن، برحسب درصد وزنی بیان شده اند)

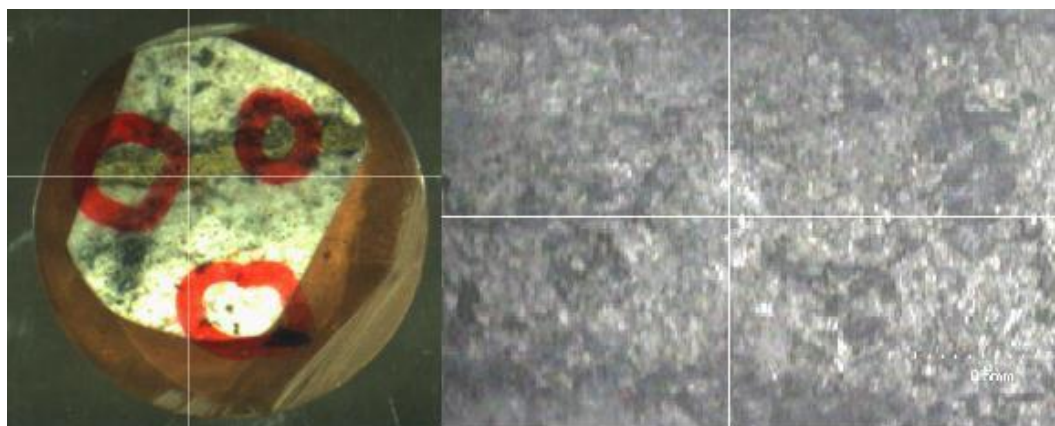
نقاط آنالیز	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Sr	Ag	In	Sb	Ba	Total
1	34.67	0	30.35	34.03	500	0	0	0	300	200	0	0	0	99.15
2	34.91	200	30.1	34.12	500	0	0	0	0	0	100	0	0	99.22
3	34.55	100	30.24	34.01	900	0	0	400	0	0	100	0	900	99.04

MDL=100ppm

### ۳-۴-۵ کرور

مطالعات XPMA: در دو نقطه آنالیز شده توسط اشعه ایکس محدوده غلظت عنصر گوگرد ۰/۰۸ تا ۳۱/۶۴، کلسیم ۰/۰۷ تا ۰/۲۱، آهن ۲۰/۴۸ تا ۳۰/۷۲، مس ۲۲/۷۳ تا ۳۷/۵۴، آلومینیوم تا ۴/۳۹ و سیلیسیم

تا ۱۲/۴۱ بارزسازی شده اند(جدول ۳-۹). در نقاط آنالیز شده میزان سیلیسیم در حد درصد است که به علت ریز بودن کانی کالکوپیریت در آنالیز و وجود سنگ بستر سیلیسی در اطراف دانه کالکوپیریت میزان سیلیس در حد درصد نشان داده شده است ( شکل ۳-۱۸).

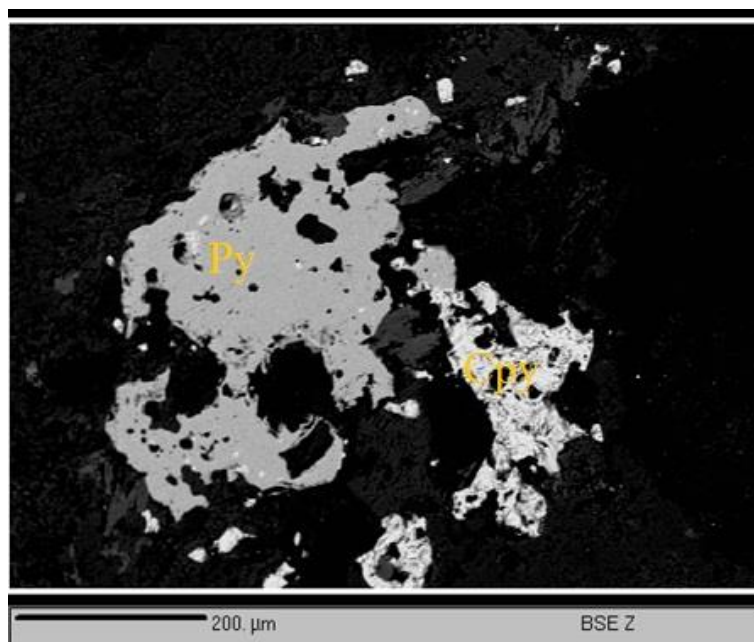


شکل ۳-۱۸- موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی کرور

جدول ۳-۹ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های کرور براساس آنالیز XPMA (غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی بیان شده است)

نقاط آنالیز	Cu	Fe	S	Al	Ca	Si	O	total
1	37.54	30.72	31.64	-	-	-	0.03	100
2	22.73	20.48	20.08	4.39	0.21	12.41	18.39	100

**مطالعات EPMA:** از این بخش ۴ نقطه کالکوپیریت مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳-۱۹). که درصد وزنی گوگرد در محدوده ۳۴/۵۷ تا ۳۴/۸۳، آهن ۲۹/۸۳ تا ۳۰/۵۸، مس ۳۳/۷ تا ۳۴/۴۴ قرار دارد. میزان کلسیم در کالکوپیریت‌های آنالیز شده حداکثر تا ۲۰۰، روی حداکثر تا ۱۰۰، گالیم کمتر از ۱۰۰، ژرمانیوم کمتر از ۱۰۰، آرسنیک کمتر از ۱۰۰، استرانسیم حداکثر تا ۶۰۰، نقره حداکثر تا ۲۰۰، ایندیم حداکثر تا ۳۰۰، آنتیموان زیر ۱۰۰ و باریم از ۲۰۰ تا ۷۰۰ گرم بر تن گزارش شد( جدول ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۹- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت منطقه کرور  
کالکوپیریت: Cpy، پیریت: Py

جدول ۳-۱۰ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های کرور بر اساس آنالیز EPMA (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن است، عناصر گوگرد، مس و آهن، برحسب درصد وزنی بیان شده اند)

نقاط آنالیز	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Sr	Ag	In	Sb	Ba	Total
1	34.57	0	30.58	33.7	100	0	0	0	0	0	0	0	200	99.04
2	34.64	0	29.91	34.44	0	0	0	0	0	200	300	0	700	99.11
3	34.72	200	29.83	33.91	0	0	0	0	200	0	0	0	400	98.54
4	34.83	0	30.37	33.92	0	0	0	0	600	0	0	0	700	99.4

MDL=100ppm

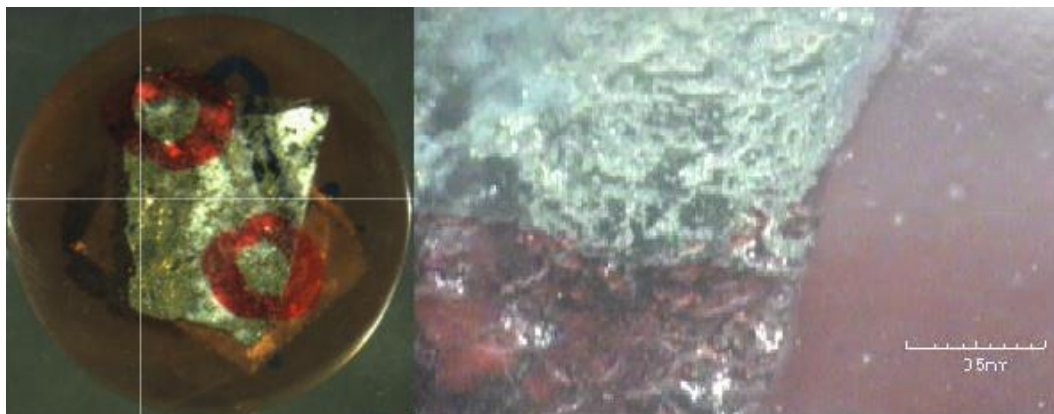
### ۳-۴-۶ چهار گنبد

مطالعات ICP-MS: از این منطقه نمونه پودری ارسال شده بود که این نمونه برای آنالیز ICP-MS آماده سازی شد. نتایج حاصل از این آنالیز میزان مس، آهن و گوگرد به ترتیب ۳۰/۵۱، ۳۰/۴۰ و ۳۵/۷۰ درصد وزنی می‌باشد و نقره، آلومینیوم، آرسنیک، باریم، کلسیم، ژرمانیوم، گالیم، ایندیم، سرب، آنتیموان، سلنیم،

استرانسیم و روی را به ترتیب ۲، ۲۳۴، ۵/۴، ۱/۵، ۰/۲۴، ۰/۲۴، ۰/۲۴، ۲۱، ۳/۴، ۳۹/۵، ۱/۲ و ۶/۸ گرم بر تن نشان می‌دهد(جدول ۳-۱۳)

### ۳-۴-۷ سرکوه

مطالعات **XPMA**: در مطالعه انجام شده توسط میکروپروب اشعه ایکس بر نقاط مشخصی از کالکوپیریت-های منطقه سرکوه (شکل (شکل ۳-۲۰) عناصر مس، آهن و گوگرد در آنالیزها مشخص شد و هیچ‌گونه ناخالصی در این نمونه‌ها با **XPMA** بارزسازی نشد( جدول ۳-۱۱).



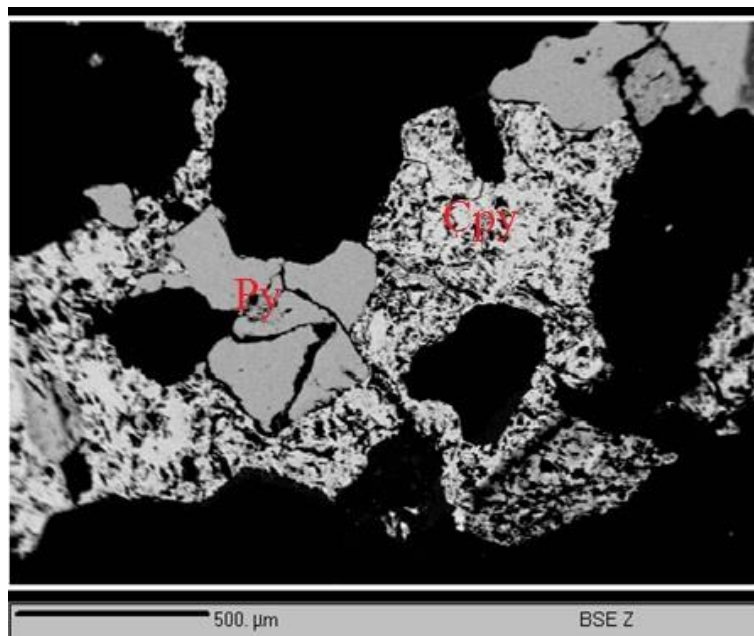
شکل ۳-۲۰- موقعیت نقطه مورد آنالیز با **XPMA** در مقطع انتخابی سرکوه

جدول ۳-۱۱ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سرکوه براساس آنالیز **XPMA** (غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی بیان شده است)

نقاط آنالیز	Cu	Fe	S	total
1	36.81	30.56	32.63	100

مطالعات **EPMA**: ۳ نقطه از کالکوپیریت‌های مقطع با روش الکترون میکروپروب آنالیز شدند(شکل ۳-۲۱) که درصد وزنی گوگرد در محدوده ۳۴/۰۱ تا ۳۴/۸۲، آهن ۲۹/۸۷ تا ۳۰/۰۹، مس ۳۴/۲۷ تا ۳۴/۷۷ قرار دارد. میزان کلسیم در کالکوپیریت‌های آنالیز شده حداکثر تا ۱۰۰، روی کمتر از ۱۰۰، گالیم کمتر از

۱۰۰ ، ژرمانیوم کمتر از ۱۰۰، آرسنیک حداکثر تا ۲۰۰، استرانسیم از ۲۰۰ تا ۴۰۰، نقره کمتر از ۱۰۰ ، ایندیم حداکثر تا ۲۰۰، آنتیموان زیر ۱۰۰ و باریم از ۴۰۰ تا ۸۰۰ گرم بر تن قرار می‌گیرد (جدول ۳-۱۲).



شکل ۳-۲۱- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت در منطقه سرکوه  
کالکوپیریت: Cpy، پیریت: Py

جدول ۳-۱۲ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سرکوه بر اساس آنالیز EPMA (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن است، عناصر گوگرد، مس و آهن، بر حسب درصد وزنی بیان شده اند)

نقاط آنالیز	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Sr	Ag	In	Sb	Ba	Total
1	34.01	0	29.87	34.79	0	0	0	100	300	0	200	0	400	98.78
2	34.76	100	29.98	34.27	0	0	0	200	200	0	0	0	500	99.19
3	34.82	0	30.09	34.77	0	0	0	0	400	0	100	0	800	99.85

MDL=100ppm

**مطالعات ICP-MS:** در نمونه پودری منطقه سرکوه عناصر کمیاب سلنیم، ایندیم، تلوریم، ژرمانیوم و گالیم به ترتیب ۶۸/۸، ۱/۷، ۰/۴، ۰/۹۵ و ۰/۸۳ گرم بر تن گزارش شده است. البته میزان آلومینیوم این منطقه بالا بوده است. (جدول ۳-۱۳)

جدول ۳-۱۳- عناصر موجود در نمونه کالکوپیریت سرچشمه، چهارگنبدو سرکوه در آنالیز ICP-MS (غلظت عناصر بر

حسب گرم بر تن)

Elm	DL	Srchshme	Chhrgonbad	Sarkoh	Elm	DL	Srchshme	Chhrgonbad	Sarkoh
Ag	0.01	22	2	15	Na	10	375	40	391
Al	10	7540	234	1780	Nb	0.5	<0.5	<0.5	<0.5
As	0.5	12	5.4	3	Nd	0.02	0.95	0.77	6.02
Ba	0.2	28.7	1.5	32.7	Ni	2	13	13	25
Be	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	P	5	<5	<5	<5
Bi	0.1	0.7	278	5.9	Pb	0.2	191	21	82.2
Ca	10	422	2290	8900	Pr	0.05	0.22	0.2	1.59
Cd	0.05	1.73	<0.05	2.72	Rb	0.1	11.6	<0.1	1.5
Ce	0.05	1.84	1.24	12.5	Re	0.01	0.01	<0.01	0.0098
Co	0.2	30.6	7.8	12.2	S	50	33.70%	35.70%	34.50%
Cr	2	<2	<2	<2	Sb	0.1	0.5	4.3	0.2
Cs	0.1	0.5	<0.1	<0.1	Sc	1	2	<1	<1
Cu	0.2	35.76%	30.51%	27.35%	Se	0.05	88.1	39.5	68.8
Dy	0.02	0.2	0.07	0.49	Sm	0.02	0.29	0.14	1.3
Er	0.05	0.1	0.05	0.2	Sn	0.2	3.7	1.7	4.8
Eu	0.02	0.13	0.06	0.27	Sr	0.1	6.8	1.2	9
Fe	100	27.00%	30.40%	30.70%	Ta	0.01	0.01	<0.01	<0.01
Ga	0.05	1.51	0.24	0.95	Tb	0.02	0.04	<0.02	0.1
Gd	0.05	0.25	0.11	0.83	Te	0.2	0.3	<0.2	0.4
Ge	0.05	0.32	0.24	0.1	Th	0.02	<0.02	<0.02	0.41
Hf	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	Ti	10	153	<10	20
Hg	0.05	<0.05	0.07	<0.05	Tl	0.1	0.2	<0.1	0.1
Ho	0.02	0.03	<0.02	0.08	Tm	0.05	<0.05	<0.05	<0.05
In	0.01	0.38	2.28	1.7	U	0.02	0.05	0.06	0.19
K	10	3180	120	537	V	2	8	<2	<2
La	0.05	0.84	0.57	7.55	W	0.1	0.9	<0.1	<0.1
Li	0.5	1.9	0.7	<0.5	Y	0.05	0.37	0.17	1.54
Lu	0.02	0.02	<0.02	<0.02	Yb	0.05	0.08	<0.05	0.13
Mg	10	2900	820	385	Zn	0.2	146	6.8	83.7
Mn	2	68	201	56	Zr	1	<1	<1	<1
Mo	0.1	1.7	1.2	0.7					



# فصل چہارم

بررسی کالکوسیرت ہامی منطقہ بلوچ لوت

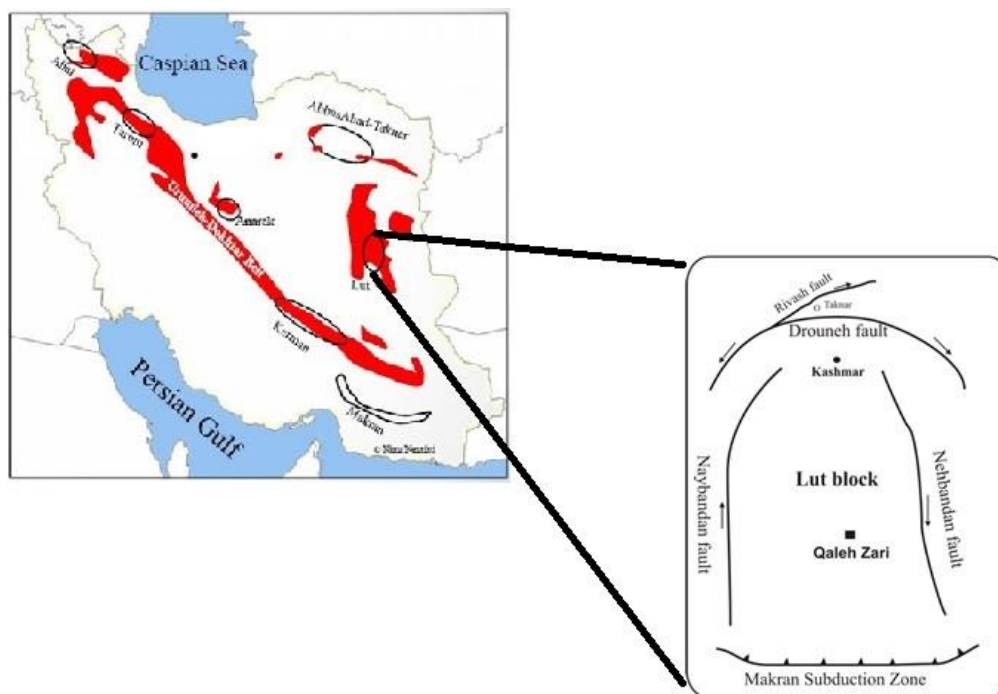
(قلعہ زری)

#### ۴-۱ مقدمه

نمونه های انتخابی بلوک لوت از ذخیره Cu-Ag-Au قلعه زری انتخاب شده است. مطالعات کانه نگاری و بررسی شیمی کانی کالکوپیریت پس از آماده سازی انجام گردید. در این فصل به زمین شناسی معدن قلعه زری واقع در بلوک لوت، مطالعات کانه نگاری و شیمی کالکوپیریت پرداخته می شود.

#### ۴-۲ زمین شناسی معدن قلعه زری

معدن مس قلعه زری یکی از بزرگترین معادن مس ایران است که در ۱۸۰ کیلومتری جنوب غرب بیرجند، در حاشیه شرقی لوت مرکزی ایران قرار گرفته است. شکل ۴-۱ موقعیت قرارگیری معدن قلعه زری را در بلوک لوت نشان می دهد.



شکل ۴-۱ موقعیت قرارگیری معدن قلعه زری در بلوک لوت

کانه زایی در این معدن از نوع رگه‌ای گرمابی که در امتداد شکستگی‌های بزرگ و کوچک با روند شمال غرب - جنوب شرق صورت پذیرفته است [۷۷]، [۷۸] و [۷۹]. معدن قلعه زری، معدنی پلی متالیک است که مس عنصر اصلی و دیگر فلزات قیمتی نقش عنصر فرعی را دارند [۸۰] و [۸۱]. براساس مطالعات انجام شده بر روی مقاطع صیقلی، کانی‌های اکسیدی و کربناتی مس و آهن در بخش اکسیدان و کانی‌های ثانویه مس بخصوص برنیت، کوولیت و دیژنیت و مس خالص در بخش سوپرژن و کانی‌های هماتیت، پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، ایکینیت، ماتیلدیت و بیسموتیت در بخش هیپوژن این معدن وجود دارد [۷۷] و [۷۸]. براساس مطالعات پتروگرافی انجام شده بر کانسنگ قلعه زری توسط حسن نژاد و مر (۱۳۷۳) کانی زایی اولیه در منطقه در دو مرحله صورت گرفته است. در مرحله اول اکسیدهای آهن، پیریت، کالکوپیریت، به همراه اسفالریت و در مرحله دوم گالن به همراه تتراهدریت، گروه ایکینیت به همراه ماتیلدیت و تتراذیمیت نهشته شده‌اند [۸۸]. در مطالعات بعدی انجام شده بر کانسار مس قلعه زری، این کانسار یک ذخیره Cu-Ag-Au هیدروترمال رگه‌ای غنی از اسپیکیولاریت است و کانی‌سازی براساس درجه حرارت هموژنیزاسیون در چهار مرحله انجام شده است که در مرحله اول اسپیکیولاریت، کلریت، کوارتز، کالکوپیریت و تعدادی سولفاسالت تشکیل شده‌اند. در مرحله دوم پیریت، کالکوپیریت، سری پاونیت و تعدادی از سولفاسالت‌ها و در مرحله سوم و چهارم کانی‌های هماتیت، کوارتز، کلسیت، پیریت و سولفاسالت‌های غنی از نقره تشکیل شده‌اند. در کانسنگ‌های مطالعه شده منطقه قلعه زری توسط کریم پور و رزم آرا و کریم پور و همکاران کانی‌ایکانیت به صورت ناخالصی در داخل کانی کالکوپیریت یافت می‌شود، کانی ماتیلدیت و گالن به صورت انکلوزیون<sup>۱</sup>های بی‌شکل در داخل کانی کالکوپیریت دیده می‌شوند [۸۲]، [۸۳]، [۸۴] و [۸۵].

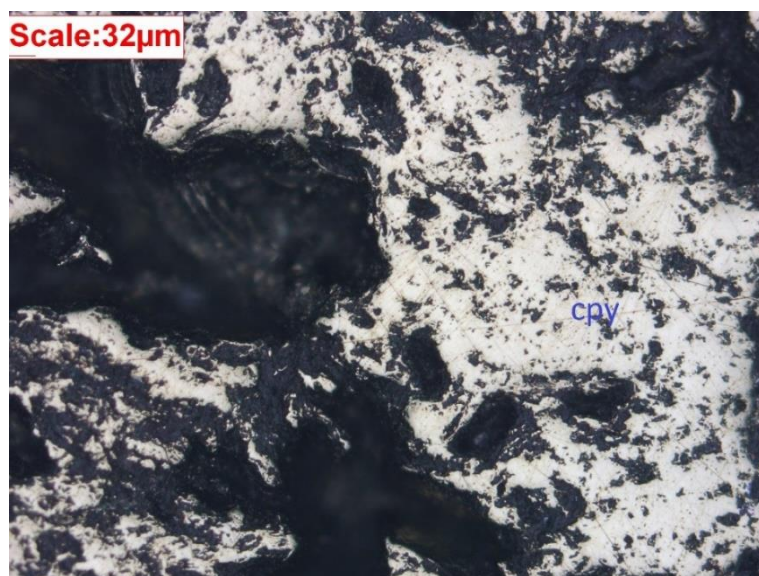
---

<sup>1</sup> inclusion

## ۳-۴ مطالعات کانه‌نگاری

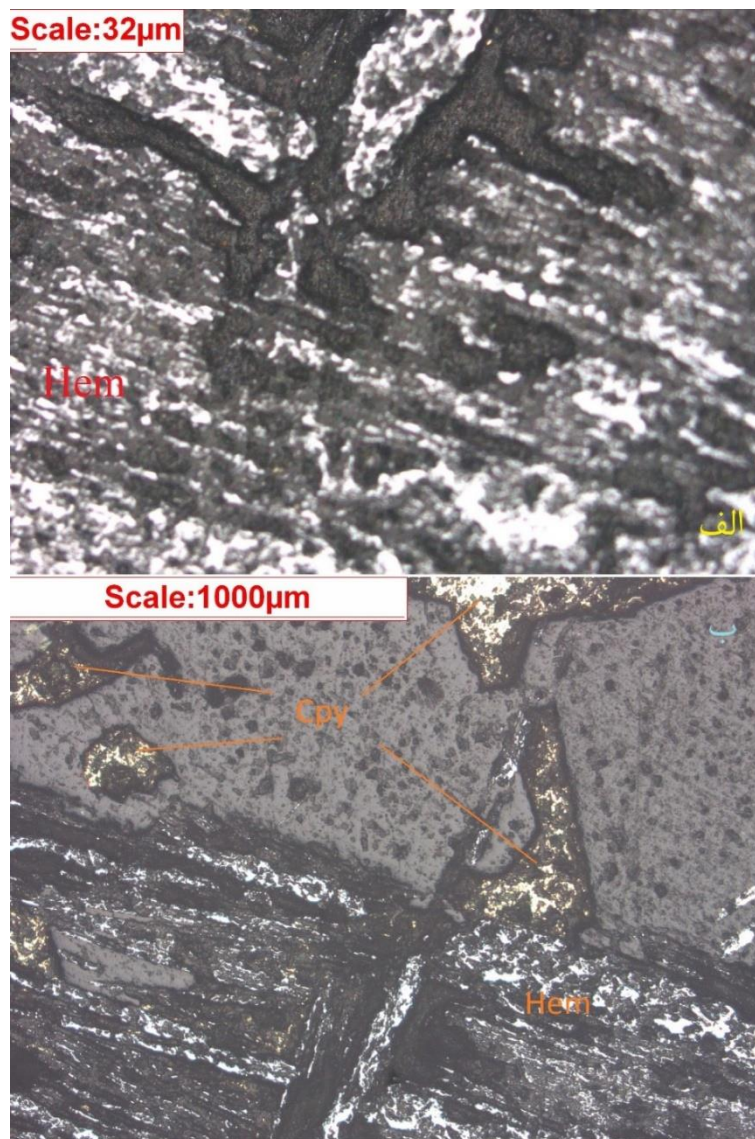
در بررسی مقاطع تهیه شده از نمونه‌های معدن مس قلعه‌زری کانی کالکوپیریت، کانی هماتیت و گالن مشاهده شد.

کالکوپیریت: فراوان‌ترین کانی موجود در مقاطع مطالعه شده قلعه‌زری کانی کالکوپیریت است. ابعاد ذرات کانی‌های کالکوپیریت مشاهده شده تا ۲۰۰۰ میکرومتر متغیر است به صورتی در بعضی از مقاطع مطالعه شده فقط کانی کالکوپیریت مشاهده می‌شود (شکل ۲-۴)



شکل ۲-۴- کانی کالکوپیریت معدن مس قلعه‌زری در نور ppl  
کالکوپیریت: Cpy

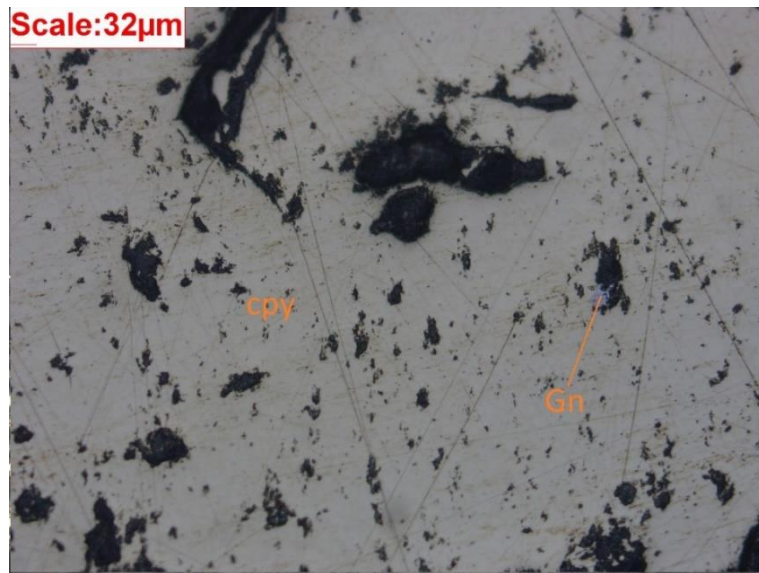
هماتیت: بعد از کانی کالکوپیریت فراوان‌ترین کانی موجود در مقاطع کانی هماتیت است. در اندازه‌های ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میکرومتر این کانی در مقاطع دیده می‌شود (شکل ۳-۴).



شکل ۴-۳- کانی هماتیت در مقاطع معدن مس قلعه زری در زیر نور ppl  
 الف - کانی هماتیت ب- کانی هماتیت به همراه کانی کالکوپیریت  
 Hem: هماتیت، Cpy: کالکوپیریت

گالن: از نظر فراوانی، این کانی در مقاطع مطالعه شده خیلی ناچیز است و به ندرت میزان آن به یک درصد

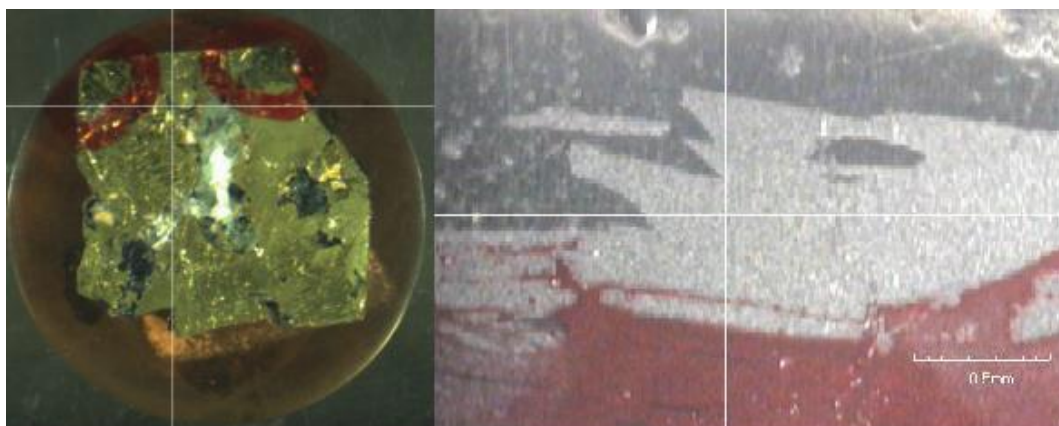
در مقطع می‌رسد (شکل ۴-۴)



شکل ۴-۴- کانی گالن به همراه کانی کالکوپیریت در مقاطع معدن مس قلعه زری در نور ppl  
کالکوپیریت: Cpy، گالن: Gn

#### ۴-۴ شیمی کالکوپیریت

مطالعات XPMA: با توجه به اینکه نمونه‌های مطالعه شده بیشتر از کانی کالکوپیریت تشکیل شده اند ۳ نقطه کالکوپیریت مورد آنالیز قرار گرفت (شکل ۴-۵). در مطالعه انجام شده بر روی نمونه‌های انتخابی عناصر S، Fe، Cr، Cu، V و Se آشکار شده که به ترتیب غلظت‌شان در محدوده ی بین ۳۲/۰۴ تا ۳۳/۳۵، ۳۰/۶۹ تا ۳۰/۷۵، ۰/۶، ۳۵/۶۹ تا ۳۷/۲۱، ۰/۰۲ درصد وزنی و ۱۴۲ گرم بر تن گزارش شد (جدول ۴-۱).



شکل ۴-۵ - موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی قلعه زری

جدول ۴-۱ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های قلعه‌زری براساس آنالیز XPMA (غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی بیان شده است)

نقاط آنالیز	Cr	Cu	Fe	S	Se	V	O	Total
1	-	37.21	30.75	32.04	-	-	-	100
2	0.61	35.69	30.69	32.72	-	-	0.28	100
3	-	35.92	30.69	33.35	-	0.02	0.01	100
4	-	24.82	19.76	16.28	142(ppm)	-	39.12	100

**مطالعات EPMA:** تعداد ۵ نقطه کالکوپیریت بوسیله میکروپروب الکترونی، مورد بررسی قرار گرفت (شکل

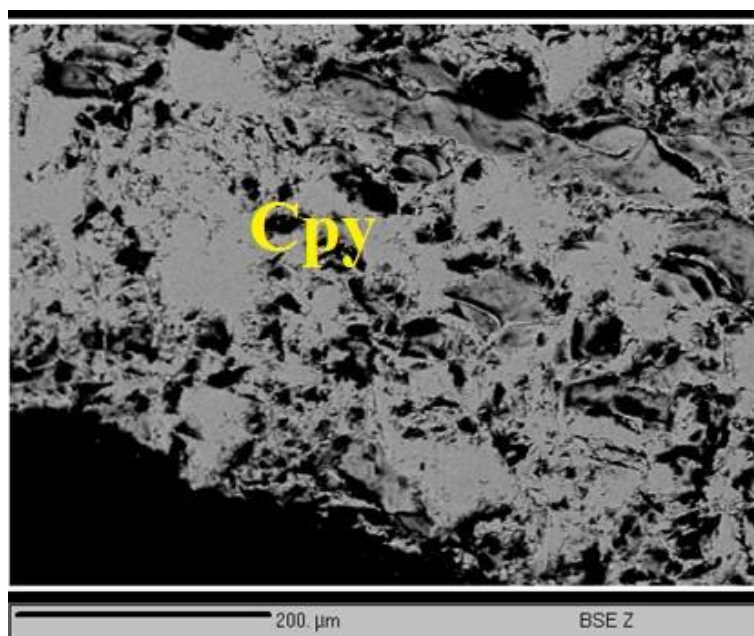
۴-۶). درصد وزنی گوگرد در محدوده ۳۴/۰۹ تا ۳۴/۸۹، آهن ۲۹/۴۶ تا ۳۰/۹۳، مس ۳۳/۷۲ تا ۳۴/۹۹

قرار دارد. میزان کلسیم در کالکوپیریت‌های آنالیز شده در محدوده کمتر از ۱۰۰، روی حداکثر تا ۶۰۰، گالیم

حداکثر تا ۱۰۰، ژرمانیوم زیر ۱۰۰، آرسنیک حداکثر تا ۴۰۰، استرانسیم حداکثر تا ۴۰۰، نقره حداکثر تا

۲۰۰، ایندیم حداکثر تا ۳۰۰، آنتیموان زیر ۱۰۰ و باریم از ۶۰۰ تا ۱۱۰۰ گرم بر تن گزارش شد (جدول ۴-

۲).



شکل ۴-۶ - تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت قلعه‌زری

کالکوپیریت: Cpy

جدول ۲-۴ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های قلعه‌زری بر اساس آنالیز EPMA (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن است، عناصر گوگرد، مس و آهن، برحسب درصد وزنی بیان شده اند)

نقاط آنالیز	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Sr	Ag	In	Sb	Ba	Total
1	34.76	0	29.46	34.99	0	0	0	400	0	0	0	0	800	99.33
2	34.09	0	30.93	34.44	600	0	0	0	100	0	0	0	600	99.59
3	34.59	0	29.75	33.88	0	100	0	200	400	200	300	0	900	98.43
4	34.65	0	30.65	33.72	0	0	0	0	0	0	0	0	600	99.08
5	34.89	0	29.77	34.32	0	0	0	0	0	0	100	0	1100	99.11

MDL= 100ppm

**مطالعات ICP- MS:** از این منطقه یک نمونه پودر شده جهت بررسی آنالیز ICP-MS به استرالیا ارسال گردید. در نمونه ارسالی به استرالیا چندین عنصر آنومالی نشان داده‌اند. در جدول ۳-۴ غلظت عناصری که در نمونه آنومالی نشان داده اند در محدوده گرم بر تن دیده می‌شود که طبق نتایج بدست آمده عناصر Ag، As، Ca، Ge، In، K، Pb، S، Sb، Se و Zn علاوه بر Fe، Cu و S نشان داده شده‌اند.



جدول ۴-۳- عناصر موجود در نمونه کالکوپیریت قلعه زری در آنالیز ICP-MS (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن)

Elm	DL	Qale-zari	Elm	DL	Qale-zari
Ag	0.01	31	Na	10	<10
Al	10	28	Nb	0.5	<0.5
As	0.5	5.2	Nd	0.02	<0.02
Ba	0.2	8.8	Ni	2	<2
Be	0.2	<0.2	P	5	<5
Bi	0.1	10.3	Pb	0.2	5.3
Ca	10	206	Pr	0.05	<0.05
Cd	0.05	12	Rb	0.1	<0.1
Ce	0.05	<0.05	Re	0.01	<0.01
Co	0.2	14	S	50	35.10%
Cr	2	<2	Sb	0.1	2.9
Cs	0.1	<0.1	Sc	1	1
Cu	0.2	39.54%	Se	0.05	74.6
Dy	0.02	<0.02	Sm	0.02	<0.02
Er	0.05	<0.05	Sn	0.2	<0.2
Eu	0.02	<0.02	Sr	0.1	0.3
Fe	100	30.70%	Ta	0.01	0.02
Ga	0.05	<0.05	Tb	0.02	<0.02
Gd	0.05	<0.05	Te	0.2	<0.2
Ge	0.05	0.27	Th	0.02	<0.02
Hf	0.02	<0.02	Ti	10	<10
Hg	0.05	0.06	Tl	0.1	<0.1
Ho	0.02	<0.02	Tm	0.05	<0.05
In	0.01	0.35	U	0.02	<0.02
K	10	207	V	2	<2
La	0.05	<0.05	W	0.1	<0.1
Li	0.5	<0.5	Y	0.05	<0.05
Lu	0.02	<0.02	Yb	0.05	<0.05
Mg	10	16	Zn	0.2	200
Mn	2	<2	Zr	1	<1
Mo	0.1	0.3			



# فصل پنجم

بررسی کالکوسیریت های مس سخواست،

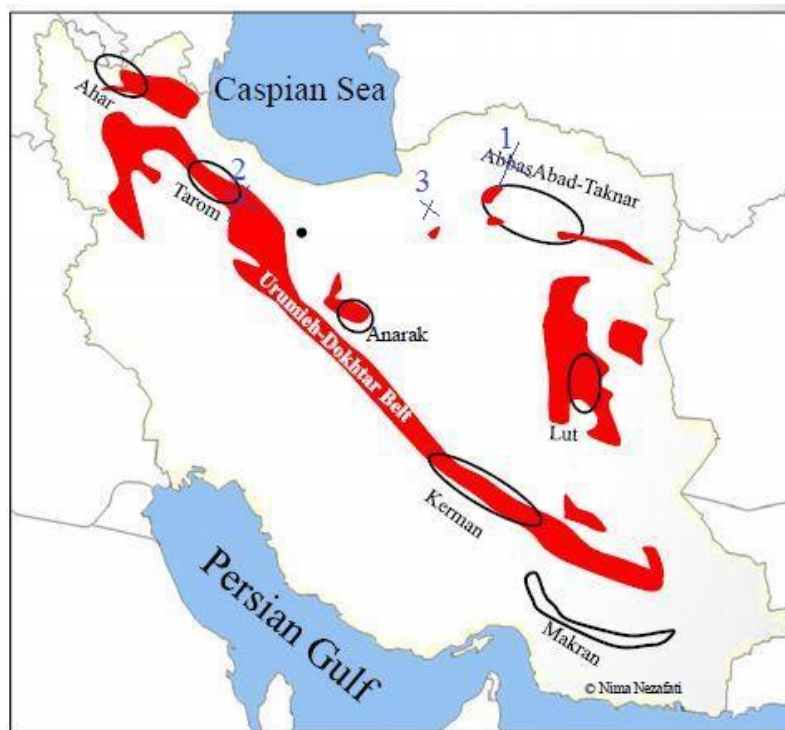
مس لوشان و آهن پنج کوه

## ۵-۱ مقدمه

نمونه های مورد بررسی در این فصل از دو اندیس مس سنخواست و اندیس مس لوشان و ذخیره آهن پنج کوه انتخاب شده‌اند. مطالعات کانه‌نگاری و بررسی شیمی کانی کالکوپیریت پس از آماده‌سازی انجام گردید. در این فصل به زمین شناسی اندیس‌های سنخواست و لوشان و ذخیره آهن پنج کوه، مطالعات کانه‌نگاری و شیمی کالکوپیریت پرداخته می‌شود.

## ۵-۲ زمین شناسی

نمونه های انتخابی در این فصل از اندیس معدنی سنخواست، لوشان و ذخیره آهن پنج کوه انتخاب شده اند. در شکل ۵-۱ محل قرار گیری این ذخایر در متالوژنی مس ایران مشخص شده‌است، شماره ۱ اندیس معدنی مس سنخواست، شماره ۲ مس لوشان و شماره ۳ نمایانگر معدن آهن پنج کوه می‌باشد.



شکل ۵-۱ - محل قرار گیری مناطق سنخواست، لوشان و پنج کوه بر روی نقشه ایران [۲۱]

### ۵-۲-۱ سنخواست

این اندیس معدنی مس در متالوژنی شمال شرق در بجنورد استان خراسان شمالی واقع شده است. هنوز به یک معدن فعال تبدیل نشده و مرحله اکتشاف آن ادامه دارد. با توجه به بررسی های که تاکنون انجام شده این اندیس از نوع کانسار مس رسوبی از تیپ Red Bed می باشد.

### ۵-۲-۲ لوشان

اندیس معدنی لوشان در منطقه نجف آباد در استان قزوین در متالوژنی تارم قرار گرفته است که با توجه به مطالعات اکتشافی که در منطقه انجام شده، منطقه مس - طلا دار است. مطالعات زمین شناسی در منطقه برای گواهی اکتشاف در حال انجام است. کانی زایی منطقه شناسایی نشده است.

### ۵-۲-۳ پنج کوه

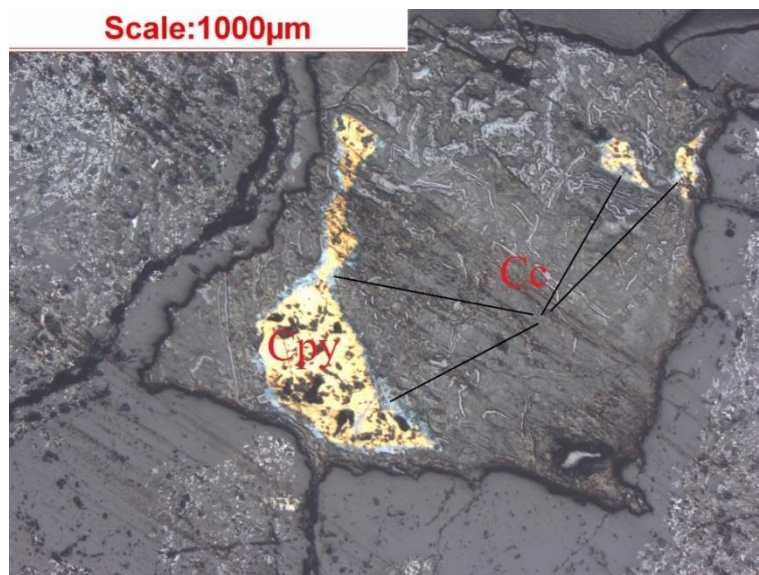
کانسار پنج کوه یک ذخیره آهن در شمالی ترین بخش ایران مرکزی در استان سمنان ( جنوب شرق دامغان) قرار گرفته است [۸۶]. مهم ترین کانه های فلزی این معدن شامل مگنتیت و به مقدار کمتر کالکوپیریت، پیریت، هماتیت، مالاکیت و آزرویت به مقدار بسیار کمتری گالن است [۸۷]، [۸۸] و [۸۹].

### ۵-۳ مطالعات کانه نگاری

مقاطع صیقلی تهیه شده از مناطق سنخواست، لوشان و پنج کوه توسط میکروسکوپ پلاریزان انعکاسی مطالعه شد که در ذیل توضیحی از مطالعات انجام شده آورده شده است.

### ۵-۳-۱ سنخواست

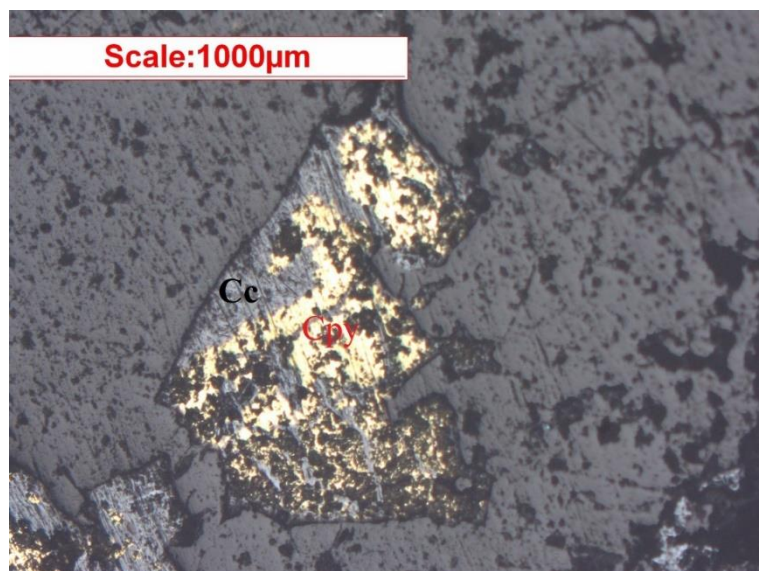
نمونه های مطالعه شده از این بخش دارای کانی کالکوزیت و کالکوپیریت است. کالکوزیت فراوان ترین کانی موجود در مقاطع مطالعه شده است. در مقاطع مطالعه شده کالکوزیت در حال جانشینی با کالکوپیریت است به صورتی که کانی کالکوپیریت را از اطراف کاملاً در بر گرفته است (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱ - کانی کالکوپیریت و کالکوزیت در مقطع مس سنخواست در نور PPL  
 کالکوپیریت: Cpy، کالکوزیت: Cc

### ۵-۳-۲ لوشان

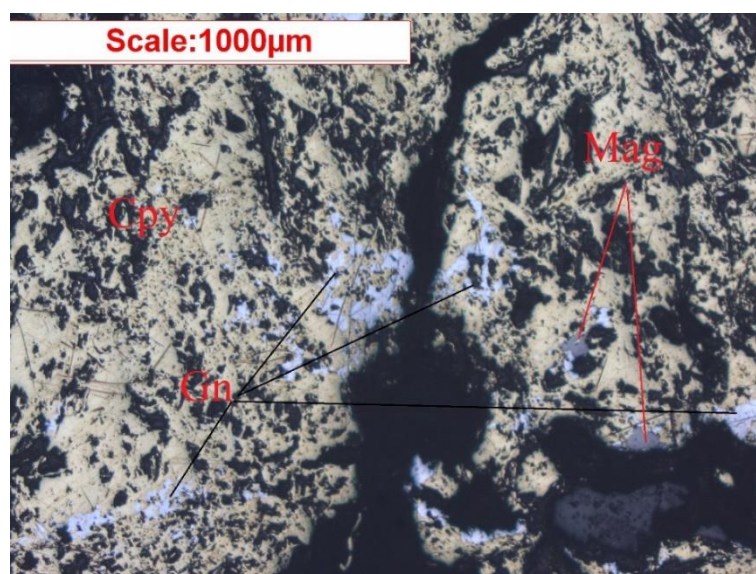
براساس مطالعه میکروسکوپی مقاطع موجود از منطقه کانی مالاکیت، کالکوزیت و کالکوپیریت در منطقه وجود دارد. کانی کالکوزیت و کالکوپیریت در کنار یکدیگر دیده می‌شوند به این صورت که کانی کالکوزیت کانی کالکوپیریت را احاطه کرده و در حال تبدیل شدن است ( شکل ۵-۲).



شکل ۵-۲ - کانی کالکوپیریت و کالکوزیت در مقاطع اندیس لوشان در نور PPL  
 کالکوپیریت: Cpy، کالکوزیت: Cc

### ۳-۳-۵ پنج کوه

کانی های موجود در مقاطع این منطقه شامل کالکوپیریت و به ندرت گالن و مگنتیت است. فراوان ترین کانی مشاهده شده در مقاطع کانی کالکوپیریت است. اندازه های کالکوپیریت موجود در مقطع متغیر و تا ۲۰۰۰ میکرومتر قابل مشاهده اند. به ندرت کانی گالن و مگنتیت را به همراه کانی کالکوپیریت می توان مشاهده نمود. کانی گالن و مگنتیت در مقاطع مطالعه شده اندازه های بسیار ریزی دارد (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵- کانی کالکوپیریت به همراه کانی گالن و مگنتیت در مقطع منطقه پنج کوه در نور PPL  
کالکوپیریت: Cpy، کالکوزیت: Cc، گالن: Gn

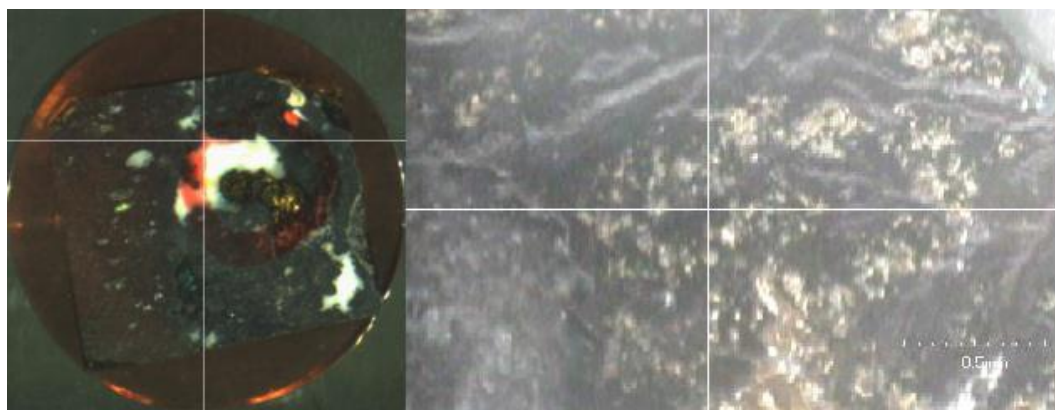
### ۴-۵ شیمی کالکوپیریت

مقاطع انتخابی از هر بخش توسط دستگاه EPMA و XPMa بررسی شدند. به دلیل درشت بودن کالکوپیریت های منطقه پنج کوه نمونه پودری از این منطقه تهیه و با روش ICP-MS آنالیز شد.

### ۱-۴-۵ سنخواست

مطالعات XPMa: از این بخش یک نقطه برای بررسی با اشعه ایکس انتخاب شد (شکل ۴-۵). در نقطه مورد بررسی عناصر گوگرد، مس، آهن، کلسیم، سیلیسیم و سرب میزان بالاتری از حد تشخیص دستگاه

داشته اند و بارز سازی شده اند که به ترتیب ۸/۳۱، ۳۵/۲۶، ۴۸/۱۷، ۰/۰۸، ۴/۰۷ و ۳/۲۴ درصد وزنی در نمونه آنالیز شده غلظت دارند (جدول ۵-۱).



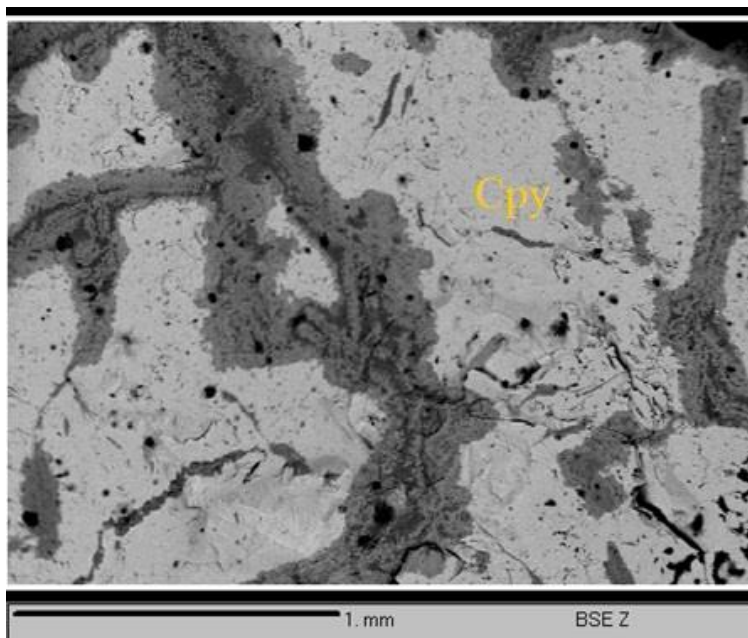
شکل ۴-۵ - موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی سنخواست

جدول ۵-۱ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سنخواست براساس آنالیز XPMA (غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی بیان شده است)

نقاط آنالیز	Pb	Ca	Cu	Fe	S	Si	O	Total
1	3.24	0.08	35.26	48.17	8.31	4.07	2.76	100

**مطالعات EPMA:** تعداد ۶ نقطه کالکوپیریت بوسیله میکروپروب الکترونی، مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵-۵). با توجه به جدول ۵-۲ درصد وزنی گوگرد در محدوده ۳۴/۸۴ تا ۳۶/۲۱، آهن ۲۹/۵۳ تا ۳۰/۳۲، مس ۳۳/۴۹ تا ۳۴/۴۳ قرار دارد. میزان کلسیم در کالکوپیریت‌های آنالیز شده حداکثر تا ۲۰۰، روی از ۲۰۰ تا ۱۵۰۰، گالیم کمتر از ۱۰۰، ژرمانیوم کمتر از ۱۰۰، آرسنیک کمتر از ۱۰۰، استرانسیم حداکثر تا ۲۰۰، نقره کمتر از ۱۰۰، ایندیم حداکثر تا ۷۰۰، آنتیموان حداکثر تا ۱۰۰ و باریم حداکثر تا ۳۰۰ گرم بر تن گزارش شد.





شکل ۵-۵- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت منطقه سنخواست  
کالکوپیریت: Cpy

جدول ۲-۵ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های سنخواست بر اساس آنالیز EPMA (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن است، عناصر گوگرد، مس و آهن، برحسب درصد وزنی بیان شده اند)

نقاط آنالیز	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Sr	Ag	In	Sb	Ba	Total
1	36.11	0	30.08	34.09	800	0	0	0	0	0	600	0	0	100.42
2	36.08	0	30.03	34.43	1100	0	0	0	200	0	700	0	200	100.76
3	35.75	0	29.86	34.24	1500	0	0	0	0	0	0	100	0	100.01
4	36.21	0	29.53	33.7	200	0	0	0	0	0	200	0	0	99.48
5	34.84	0	30.32	33.49	500	0	0	0	200	0	0	0	300	98.75
6	35.14	200	30.15	34.28	1400	0	0	0	100	0	0	0	100	99.8

MDL=100ppm

#### ۵-۴-۲ لوشان

مطالعات XPMA: در آنالیز انجام شده بر روی کالکوپیریت موجود در نمونه انتخاب شده اطراف دانه کالکوپیریت در آنالیز بررسی شده است (شکل ۵-۶) گوگرد، آهن و مس به ترتیب با غلظت ۲۸/۴۶، ۳۳/۴۲ و ۳۶/۳۷ درصد وزنی به عنوان عناصر اصلی تشکیل دهنده ی کالکوپیریت و عناصر سیلیسیم، کلسیم و

منگنز با غلظت ۰/۳۴، ۰/۰۶ و ۰/۵۷ درصد وزنی به عنوان ناخالصی‌های موجود در کالکوپیریت شناسایی شده است (جدول ۳-۵).

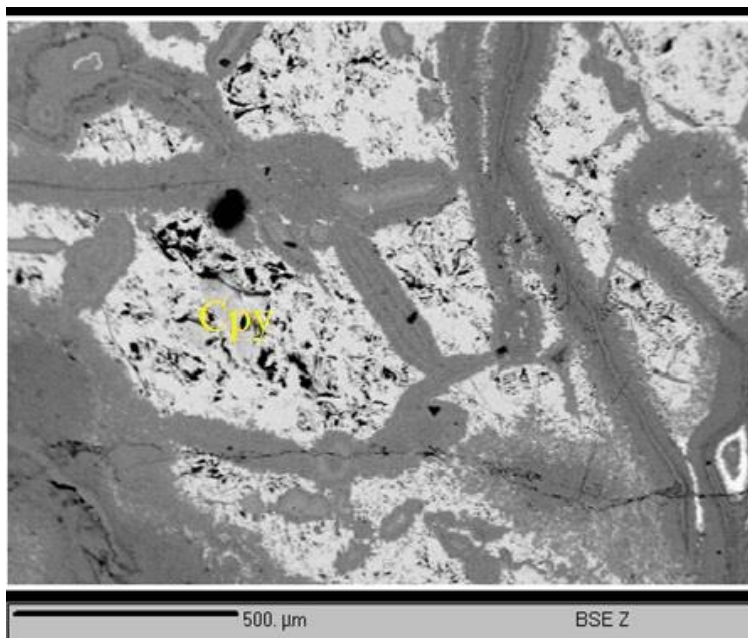


شکل ۵-۶ - موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی اندیس لوشان

جدول ۳-۵ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های لوشان براساس آنالیز XPMA (غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی بیان شده است)

نقاط آنالیز	Ca	Cu	Fe	S	Si	Mn	O	Total
1	0.06	36.37	33.42	28.46	0.34	0.57	0.75	100

**مطالعات EPMA:** در شکل ۵-۷ محل آنالیز کالکوپیریت‌های موجود در مقاطع مس لوشان مشاهده می‌شود که در جدول ۴-۵ نتایج آورده شده است. درصد وزنی گوگرد در محدوده ۳۴/۴۹ تا ۳۶/۱۸، آهن ۲۹/۷۱ تا ۳۰/۳۸، مس ۳۳/۶۶ تا ۳۴/۷۱ قرار دارد. میزان کلسیم در کالکوپیریت‌های آنالیز شده حداکثر تا ۲۰۰، روی از ۲۰۰ تا ۹۰۰، گالیم حداکثر تا ۵۰۰، ژرمانیوم حداکثر تا ۷۰۰، آرسنیک حداکثر تا ۱۰۰، استرانسیم حداکثر تا ۶۰۰، نقره حداکثر تا ۱۰۰، ایندیم حداکثر تا ۷۰۰، آنتیموان حداکثر تا ۱۰۰ و باریم حداکثر تا ۶۰۰ گرم بر تن گزارش شد.



شکل ۵-۷ - تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت اندیس لوشان  
کالکوپیریت: Cpy

جدول ۵-۴ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های لوشان بر اساس آنالیز EPMA (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن است، عناصر گوگرد، مس و آهن، بر حسب درصد وزنی بیان شده اند)

نقاط آنالیز	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Sr	Ag	In	Sb	Ba	Total
1	35.02	0	30.26	33.9	300	0	0	0	400	0	0	0	600	99.37
2	35.07	0	30.17	33.66	900	0	0	0	400	0	0	0	0	99.05
3	35.04	100	30.38	34.04	700	0	0	0	0	0	100	0	300	99.58
4	36.18	200	30.28	33.77	200	0	0	0	200	100	0	0	200	100.41
5	34.47	200	29.91	33.87	0	0	700	100	0	0	0	0	600	98.41
6	34.64	100	29.76	34.71	0	0	200	0	300	0	700	0	600	99.3
7	34.49	0	29.87	34.6	0	500	0	0	0	0	0	0	600	99.1
8	34.9	0	29.71	34.37	0	0	0	100	600	100	0	0	100	99.15

### ۵-۴-۳ پنج کوه

مطالعات XPMA: آنالیز مایکروپروب اشعه ایکس بر روی مقطع انتخابی از معدن آهن پنجکوه بر روی یک نقطه انجام شد (شکل ۵-۸) و نتایج نشان می‌دهد که علاوه بر مس، آهن و گوگرد به عنوان عناصر اصلی

کالکوپیریت با غلظت ۳۵/۲۹، ۳۰/۸۲ و ۲۵/۳۳ درصد وزنی، عناصر کروم و سرب غلظت بالایی در کالکوپیریت‌های این منطقه دارند که به ترتیب ۰/۴۱ و ۶/۸ درصد وزنی غلظت نشان داده‌اند (جدول ۵-۵).

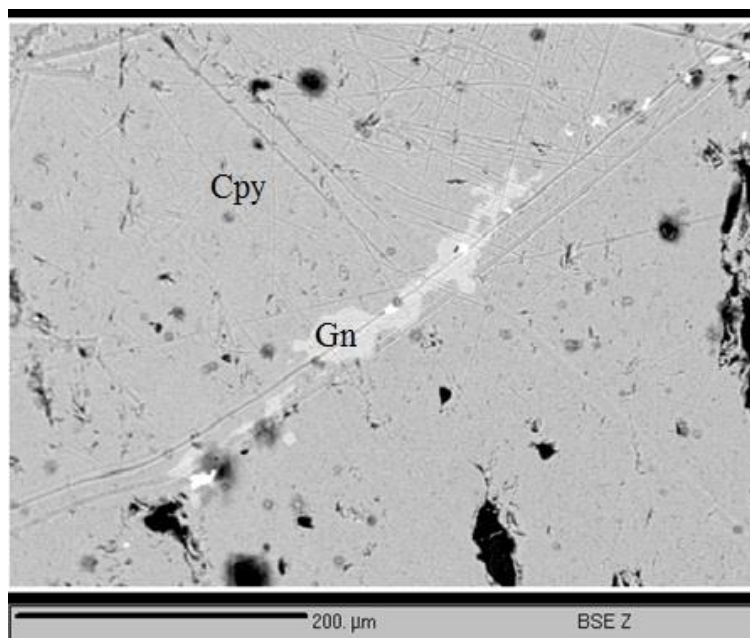


شکل ۵-۸ - موقعیت نقطه مورد آنالیز با XPMA در مقطع انتخابی پنج کوه

جدول ۵-۵ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های پنج کوه براساس آنالیز XPMA (غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی بیان شده است)

نقاط آنالیز	Cr	Cu	Fe	Pb	S	O	Total
1	0.41	35.29	30.82	6.8	25.33	0.91	100

**مطالعات EPMA :** ۵ نقطه از کالکوپیریت‌های موجود در مقاطع پنج کوه آنالیز شدند (شکل ۵-۹) که در جدول ۶-۵ نتایج آورده شده است. درصد وزنی گوگرد در محدوده ۲۷/۴۷ تا ۳۵/۲۱، آهن ۱۲/۴۸ تا ۳۰/۵۹، مس ۳۳/۰۱ تا ۵۹/۸۷ قرار دارد. میزان کلسیم در کالکوپیریت‌های آنالیز شده حداکثر تا ۲۰۰، روی از ۵۰۰ تا ۸۰۰، گالیم کمتر از ۱۰۰، ژرمانیوم کمتر از ۱۰۰، آرسنیک حداکثر تا ۴۰۰، استرانسیم حداکثر تا ۶۰۰، نقره حداکثر تا ۶۰۰، ایندیم حداکثر تا ۴۰۰، آنتیموان کمتر از ۱۰۰ و باریوم حداکثر تا ۵۰۰ گرم بر تن گزارش شد.



شکل ۵-۹- تصویر میکروپروب الکترونی کانی کالکوپیریت و گالن منطقه پنج کوه کالکوپیریت: Cpy، گالن: Gn

جدول ۵-۶ - غلظت عناصر موجود در کالکوپیریت‌های پنج کوه بر اساس آنالیز EPMA (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن است، عناصر گوگرد، مس و آهن، برحسب درصد وزنی بیان شده اند)

نقاط آنالیز	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Sr	Ag	In	Sb	Ba	Total
1	35.02	0	30.39	33.27	500	0	0	400	600	0	400	0	0	98.87
2	34.38	0	30.59	34.16	500	0	0	0	0	0	300	0	500	99.26
3	34.63	0	30.31	33.01	700	0	0	200	0	0	200	0	0	98.06
4	35.21	0	30.25	34	600	0	0	0	0	0	0	0	200	99.54
5	34.63	0	29.99	33.77	700	0	0	0	200	0	0	0	0	98.48
6	27.47	200	12.48	59.87	800	0	0	0	0	600	200	0	100	100.21

**آنالیز ICP-MS:** در آنالیز نمونه پودری چندین عنصر آنومالی نشان داده اند. در جدول ۵-۷ عناصری که در نمونه آنومالی نشان داده اند در محدوده گرم برتن نشان داده شده است که طبق نتایج بدست آمده عناصر Ag, Al, As, Ca, Ge, In, K, Pb, S, Sb, Se و Zn نسبت به حد تشخیص دستگاه میزان بالاتری نشان داده اند.

جدول ۵-۷- عناصر موجود در نمونه کالکوپیریت پنج کوه در آنالیز ICP-MS (غلظت عناصر بر حسب گرم بر تن)

Elm	DL	Panjkoh	Elm	DL	Panjkoh
Ag	0.01	39	Na	10	261
Al	10	1760	Nb	0.5	<0.5
As	0.5	4.7	Nd	0.02	0.12
Ba	0.2	2.3	Ni	2	<2
Be	0.2	<0.2	P	5	<5
Bi	0.1	0.1	Pb	0.2	6920
Ca	10	501	Pr	0.05	<0.05
Cd	0.05	0.42	Rb	0.1	0.4
Ce	0.05	0.21	Re	0.01	<0.01
Co	0.2	2.1	S	50	36.90%
Cr	2	<2	Sb	0.1	0.2
Cs	0.1	<0.1	Sc	1	<1
Cu	0.2	30.87%	Se	0.05	118
Dy	0.02	0.02	Sm	0.02	<0.02
Er	0.05	<0.05	Sn	0.2	<0.2
Eu	0.02	<0.02	Sr	0.1	12.1
Fe	100	31.20%	Ta	0.01	<0.01
Ga	0.05	0.82	Tb	0.02	<0.02
Gd	0.05	<0.05	Te	0.2	<0.2
Ge	0.05	0.08	Th	0.02	0.14
Hf	0.02	<0.02	Ti	10	24
Hg	0.05	<0.05	Tl	0.1	0.1
Ho	0.02	<0.02	Tm	0.05	<0.05
In	0.01	0.03	U	0.02	0.07
K	10	233	V	2	6
La	0.05	0.14	W	0.1	<0.1
Li	0.5	3.7	Y	0.05	0.14
Lu	0.02	<0.02	Yb	0.05	<0.05
Mg	10	3630	Zn	0.2	109
Mn	2	71	Zr	1	<1
Mo	0.1	0.2			

# فصل هشتم

بحث و بررسی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۶-۱ مقدمه

در این فصل به بررسی نتایج بدست آمده از آنالیز شیمی کالکوپیریت‌های مورد مطالعه و مقایسه با سایر نقاط دنیا پرداخته می‌شود. ابتدا ژئوشیمی عناصر کمیابی که در کالکوپیریت می‌تواند وجود داشته باشد به طور مختصر ارائه می‌گردد.

## ۶-۲ عناصر کمیاب موجود در کالکوپیریت

کانی کالکوپیریت ( $CuFeS_2$ ) یکی از مهم‌ترین سنگ‌معدن مس در اکثر ذخایرسولفیدی می‌باشد [۹]. این کانی با سیستم تبلور هگزاگونال، سختی ۳/۵ تا ۴ با جلای فلزی و رنگ زرد برنجی شناخته می‌شود. این کانی به طور متداول دارای ناخالصی‌های است که کبالت، نیکل، منگنز، قلع و روی به جای مس، سلنیم و آرسنیک به جای گوگرد جانشین می‌شوند، علاوه بر این مقداری عناصر نقره، طلا، پلاتین، پلادیم، سرب، وانادیم، کروم، ایندیم، آلومینیوم و آنتیموان در آن اندازه‌گیری شده‌است [۹۰]. بعضی از عناصر مانند Se, Te, As, Sb, Au در کالکوپیریت به عنوان اکسیدهای فرار در مرحله تشویه به وسیله الکترولیز از لجن آندی<sup>۱</sup> بدست می‌آیند. لجن آندی مس یکی از منابع مهم عناصر کمیاب می‌باشد [۲۱]. در جدول ۱-۱ میزان عناصر موجود در لجن آندی مس ارائه شده است [۹۱].

## ۶-۲-۱ سلنیم و تلوریم

عنصر سلنیم یکی از عناصر پایدار در گروه ۱۶ جدول تناوبی است که خواص کریستالی مشابه با گوگرد دارد، شعاع یونی گوگرد و سلنیم نزدیک به هم می‌باشد [۹۲] و [۹۳]. کلارک عنصر سلنیم در پوسته‌ی زمین، سنگ‌های آذرین مافیک، سنگ‌های آذرین اسیدی و در سنگ‌های رسوبی به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۱۲-۰/۰۱، ۰/۰۵-۰/۰۱ و ۰/۰۳-۰/۱ گرم بر تن اندازه‌گیری شده است [۹۴]. حدود ۱۰۰ کانی حاوی سلنیم شناسایی

<sup>۱</sup> Anode slime



شده است که اکثرا به صورت ترکیبات سلنیدی و سولفیدی مس، سرب، نقره، جیوه، کبالت، پالادیم، بیسموت، آنتیموان، کادمیم، تلوریم، تالیم، آهن، روی، طلا، مولیبدن و نیکل است که می توان از این کانی‌ها برزیلیانیت (سلنید مس)، کلوستالیت (سلنید سرب)، تی‌امانیت (سلنید جیوه)، امانزیت (سلنید مس) را نام برد [۹۵].

جدول ۶-۱ میزان عناصر در لجن آندی خام از مناطق مختلف دنیا

عناصر	کمیت ( درصد )
مس	۵ تا ۶۰
نقره	۱ تا ۴۰
طلا	کمتر از ۱/۵
سلنیم	۱/۵ تا ۱۶
تلوریم	ناچیز تا ۷
آرسنیک	۰/۳ تا ۵
انتیموان	ناچیز تا ۱۰
سرب	۱ تا ۳۰

براساس تحقیقات ایوانوف در سال (۱۹۶۹) سلنیم به صورت ناخالصی در کانی‌های سولفیدی مولیبدنیت، کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت وجود دارد [۲۲]. عنصر سلنیم در طبیعت به عنوان یک ماده معدنی اصلی وجود ندارد و معمولا به عنوان محصول جانبی<sup>۱</sup> ذخایر مس می‌باشد [۹۶] و [۹۷]. مهم‌ترین ماده خام سلنیم از محصولات ذخایر مس استحصال می‌شود، ممکن است از ذخایر روی، سرب، نیکل و نقره هم بدست‌آید [۹۸]، [۹۹] و [۱۰۰]. با توجه به تحقیقات ایوانوف در سال (۱۹۹۶) کانی پنتلاندیت با میزان ۱۳۰ گرم بر تن حاوی بیشترین میزان عنصر سلنیم در معادن سولفید مس - نیکل می‌باشد. در حالی که در معادن مس و مس-مولیبدن پورفیری کانی مولیبدنیت با مقدار متوسط ۲۶۵ گرم بر تن حاوی بیشترین مقدار سلنیم می‌باشد. در ذخایر ماسیوسولفید مس-روی، کالکوپیریت با میزان ۹۱ گرم بر تن دارای بیشترین

<sup>1</sup> by product

مقدار سلنیم نسبت به دیگر سولفیدها می‌باشد. در حالی که در ماسیوسولفیدهای سرب- روی- مس، گالن با میزان متوسط ۵۵۰ گرم بر تن بیشترین مقدار سلنیم را نسبت به سایر سولفیدهای موجود در ذخیره دربردارد. در اکثر ذخایر مرتبط با مس کانی کالکوپیریت حاوی سلنیم است (جدول ۶-۲) [۳۰].

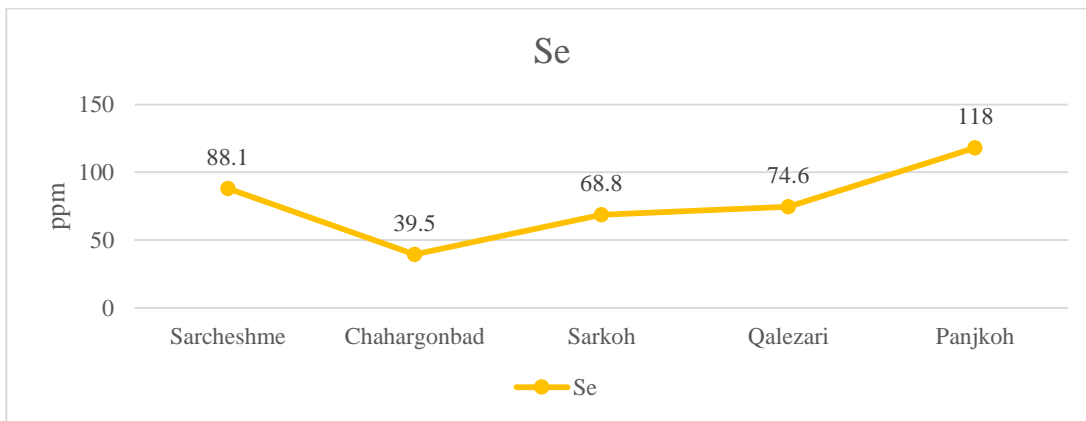
جدول ۶-۲: تیپ‌های اقتصادی ذخایر فلزات مختلف حاوی سلنیم [۳۰]

معدان	کانی‌های حاوی سلنیم	متوسط غلظت سلنیم (گرم بر تن)	میزان ذخیره سلنیم
مس - نیکل	کالکوپیریت	۸۰	بزرگ - خیلی بزرگ
	پنتلاندیت	۱۳۰	
	پیروتیت	۵۰	
مس و مس - مولیبدن پورفیری	کالکوپیریت	۱۱۸	بزرگ - خیلی بزرگ
	مولیبدنیت	۲۶۵	
	پیریت	۶۵	
مس - روی ماسیوسولفید	کالکوپیریت	۹۱	بزرگ - خیلی بزرگ
	پیریت	۷۰	
	اسفالریت	۱۰	
مس استراتی فرم در سنگ های رسوبی و رسوبی ولکانیکی	کالکوزیت	۲	متوسط - بزرگ
	برنیت	۳	
	کالکوپیریت	۵	
مس اسکارت	کالکوپیریت	۸۰	کم
مس رگه ای	کالکوپیریت	۵۰	کم
سرب - روی اسکارت	گالن	۱۲۴	متوسط
	اسفالریت	۴	
	پیریت	۱۶	
ماسیو سولفید سرب- روی- مس در سنگ های درونی- رسوبی	گالن	۵۵۰	بزرگ
	کالکوپیریت	۵۱	
	اسفالریت	۱۸	

گاهی اوقات فرآیندهای زمین شناسی باعث غنی سازی محلی یک یا تعدادی عنصر کمیاب از طریق جانشینی در عنصر با ویژگی‌های شیمیایی مشابه می‌شود طبق این گفته سلنیم ممکن است در گوگرد جانشین شود [۸]. فراوانی سلنیم در مقایسه با گوگرد بسیار پایین است ولی به دلیل جانشینی سلنیم با

گوگرد میزان این عنصر در کانی‌های سولفیدی تا حدودی بیشتر از دیگر کانی‌هاست [۱۰۱]. سلنیم در لجن آندی معمولاً به صورت ترکیبات بین فلزی نقره، مس و طلا وجود دارد. فرآیندهای متفاوتی برای استخراج سلنیم از لجن آندی به کار برده می‌شود که می‌توان روش‌های تشویه سولفاتی، تشویه اکسیدی و تشویه قلیایی را نام برد [۱۵].

در بررسی‌های انجام شده بر روی سولفیدها در دنیا، غلظت سلنیم در کانی‌های سولفیدی متغیر است. میزان سلنیم در ذخایر سولفیدی شمال اقیانوس آرام، معادن ایتالیا و اسلواکی، ذخایر مربوط اسکارن، اپی‌ترمال و سدکس از استرالیا، نروژ و رومانی، معدن مس مولیبدن-طلائی پورفیری بینگام، مس-طلائی پورفیری گراسبرگ اندونزی، مس-روی اسکارن ریپابلیک آریزونا، معادن سولفیدی سادبوری و استیل واتر و ماسیوسولفیدهای سرب و روی (مس) معادن کانادا به ترتیب ۶۴۵، ۹۳۰، ۲۹، ۳۵۰، ۲۲۰، ۱۴۴، ۹۰ و ۶۰۶ گرم بر تن اندازه‌گیری شد [۹]، [۲۴]، [۲۵]، [۳۴] و [۴۵]. در نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش در مطالعات نقطه‌ای انجام شده به وسیله EPMA و XPMa میزان سلنیم فقط در نمونه‌های منطقه قلعه‌زری تا ۱۴۲ گرم بر تن آشکار گردید. در آنالیز پودری انجام شده توسط دستگاه ICP-MS سلنیم در ۵ منطقه قلعه‌زری، سرچشمه، سرکوه، پنج‌کوه و چهارگنبد به ترتیب ۷۴/۶، ۸۸/۲، ۶۸/۸، ۱۱۸ و ۳۹/۵ گرم بر تن غلظت نشان داده است (شکل ۶-۱).



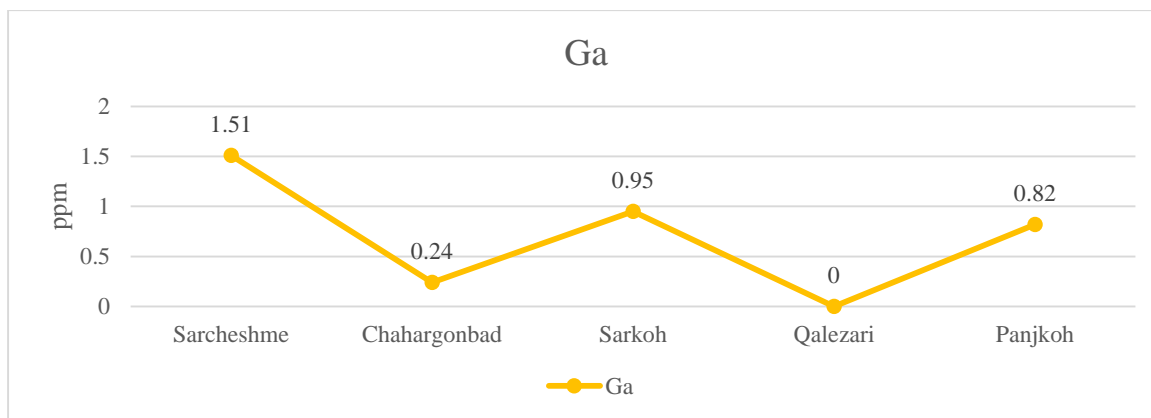
شکل ۶-۱- تغییرات میزان سلنیم براساس آنالیز ICP-MS

یکی دیگر از عناصر گروه ۱۶ جدول تناوبی عنصر **تلوریم** با عدد اتمی ۵۲ است که اولین بار به عنوان محصول جانبی ذخایر طلا شناسایی شده است. فراوانی این عنصر در پوسته زمین ۱ تا ۵ میلی گرم بر تن است [۸] و [۹]. این عنصر رفتار شیمیایی شبیه به سلنیم دارد. تلوریم مانند سلنیم به جای گوگرد جانشین می شود و در ذخایر سولفیدی یافت می شود. مواد معدنی رایج تلورید دار شامل کالاوریت، سیلوانیت و پتزیت است و عمدتاً در مناطق کانی سازی Au, As, Sb, Ba و Bi دیده می شود. این عنصر همانند سلنیم به صورت ماده معدنی اصلی وجود ندارد و محصولات جانبی ذخایر مس است [۲۶]، [۹۲] و [۹۴]. عنصر تلوریم در ذخایر مس- روی یوچالینک با روش INAA تا ۳۱۴ گرم بر تن اندازه گیری شد. همچنین این عنصر در کالکوپیریت های ذخایر بیتابیهور، اراویتا، تروچیا کشور رومانی به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۱۲ و ۰/۰۴ گرم بر تن غلظت دارد [۴۴] و [۴۵]. در این پژوهش براساس نتایج بدست آمده از آنالیز ICP-MS عنصر تلوریم در مقطع سرکوه و سرچشمه با غلظت ۰/۴ و ۰/۳ گرم بر تن آشکار گردید.

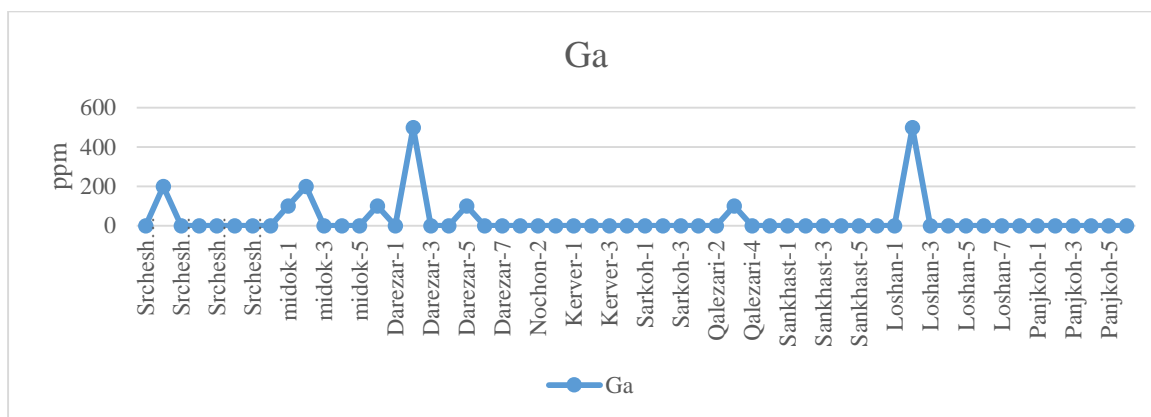
#### ۲-۲-۶ گالیم، ژرمانیوم و ایندیم

عنصر **گالیم** در گروه ۱۳ جدول تناوبی قرار گرفته است. فراوانی این عنصر در پوسته ی زمین ۱۹ میلی گرم بر تن اندازه گیری شده است. گالیم مانند آلومینیوم در محیط های نزدیک به سطح زمین نسبتاً تحرک ندارد. گالیم با طیف وسیعی از فلزات مثل برومید، کلرید، هیدرید، نیتريد، اکسید، سلنید، سولفید و تلورید ترکیب می شود [۸] و [۳۳]. 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 وهله اول محصول جانبی ذخایر بوکسیت است و در درجات بعدی از ذخایر روی هم بدست می آید [۹۲] و [۹۴]. میزان گالیم در کالکوپیریت معدن مس بینگام، چوکویکاماتا شیلی، معدن کاپوت مکزیک و یرینگتون نوادا کمتر از حد تشخیص دستگاه گزارش شد ولی در نمونه های معدن گراسبرگ اندونزی و الیزا مکزیک به ترتیب ۴/۸ و ۱۷۰ گرم بر تن مشخص شده است [۹] و [۱۰۲]. براساس نتایج حاصل از آنالیز ICP-MS بر روی نمونه

های مناطق مورد مطالعه میزان عنصر گالیم در قلعه‌زری پایین تر از حد تشخیص دستگاه گزارش شده است و در بین نمونه‌ها بیشترین میزان گالیم را، نمونه تهیه شده از منطقه سرچشمه با ۱/۵۱ گرم بر تن دارد (شکل ۲-۶) در آنالیز نقطه‌ای EPMA حداکثر غلظت گالیم ۵۰۰ گرم بر تن در نمونه‌های منطقه دره‌زار و لوشان آشکار شده است (شکل ۳-۶).



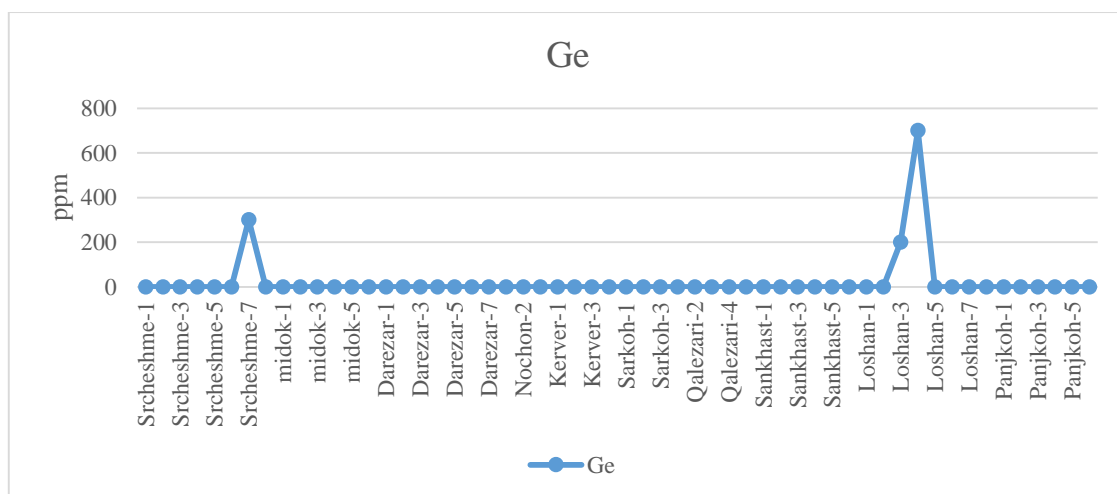
شکل ۲-۶- تغییرات میزان گالیم براساس آنالیز ICP-MS



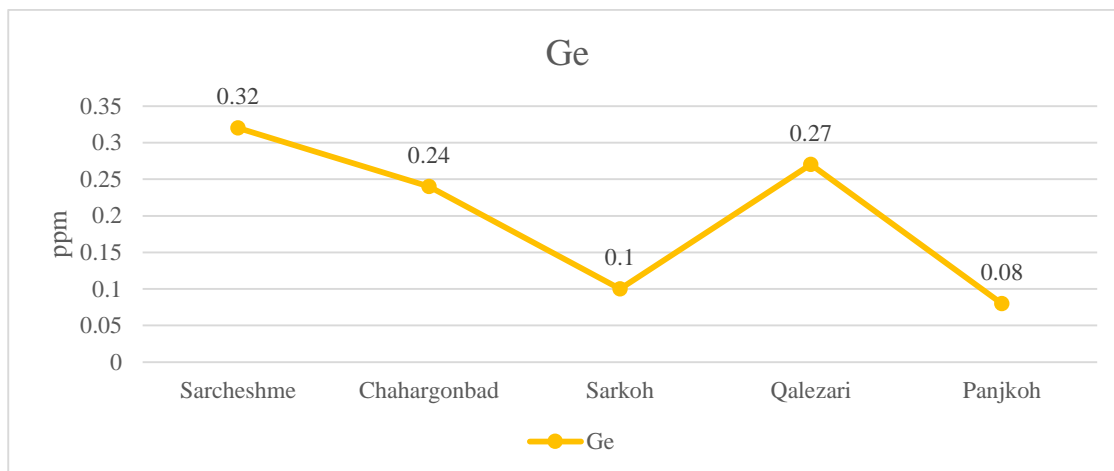
شکل ۳-۶- تغییرات میزان گالیم براساس آنالیز EPMA

ژرمانیوم در گروه ۱۴ جدول تناوبی قرار گرفته که کلارک این عنصر در پوسته زمین ۱/۶ گرم بر تن تخمین زده شده‌است. ۳۰ ماده معدنی دارای ژرمانیوم شناسایی شده‌است که اکثراً سولفیدی می‌باشند و متداول‌ترین

آنها کانی ژرمانیت است. این عنصر در شبکه روی در کانی اسفالریت جانشین می‌شود. ژرمانیوم عمدتاً به عنوان محصول جانبی ذخایر روی از سنگ معدن اسفالریت بازیافت می‌شود [۳۳] و [۱۰۳]. براساس نتایج موجود در مورد حضور ژرمانیوم در کالکوپیریت و آنالیزهای در دسترس از میزان ژرمانیوم در کالکوپیریت های ذخیره مس رگه ی باریگوا در کشور پرتغال، این عنصر به صورت غیر عادی تا ۴۰۰۰ گرم بر تن اندازه گیری شده است که در کالکوپیریت های فاز دیگر همین معدن تا ۶۱ گرم بر تن بالا رفته است. در مطالعات یانو سال (۲۰۱۲) که به روی کالکوپیریت های نوادا آمریکا انجام داد میزان ژرمانیوم را تا ۶/۸۵ گرم بر تن بدست آورد [۹]، [۳۶]، [۳۸]، [۱۰۲] و [۱۰۳]. در مناطق مورد مطالعه این پژوهش محدوده تغییرات عنصر ژرمانیوم در آنالیز نقطه ای EPMA حداکثر تا ۷۰۰ گرم بر تن مربوط به منطقه لوشان بدست آمده است (شکل ۶-۴). در نتایج ICP-MS حداقل و حداکثر غلظت‌ها مربوط به سرچشمه و پنج کوه است (شکل ۶-۵).



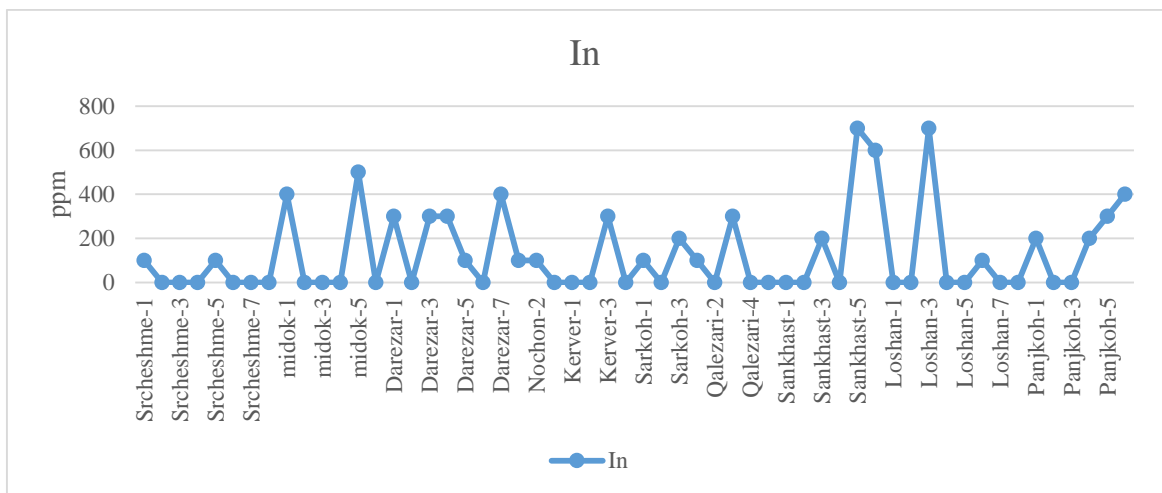
شکل ۶-۴- تغییرات میزان ژرمانیوم براساس آنالیز EPMA



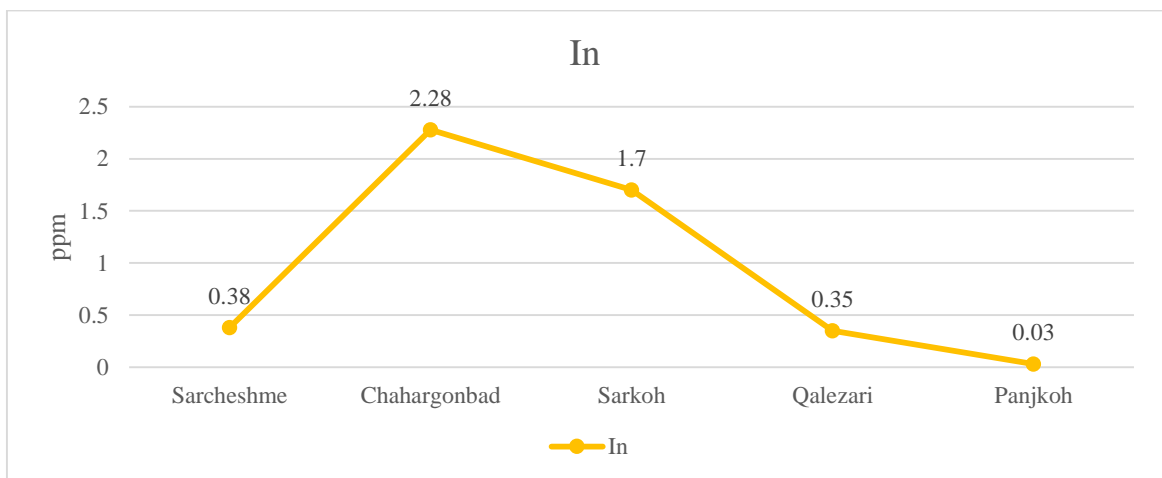
شکل ۶-۵- تغییرات میزان ژرمانیوم براساس آنالیز ICP-MS

یکی دیگر از عناصر گروه ۱۳ جدول تناوبی عنصر ایندیم است، کلارک این عنصر در پوسته زمین ۲۵۰ میلی گرم بر تن است. ایندیم به طور معمول در اسفالریت یافت می‌شود و به میزان کمتر در سولفیدهای دیگر مثل گالن و کالکوپیریت می‌باشد. مواد معدنی شامل ایندیم که متداول هستند عبارتند از: روگوسیت، لافوریت و انیدیت و همچنین با کانی‌های سلنید و تلورید هم به طور معمول همراه می‌باشد. این عنصر از ذوب فلزات پایه به دست می‌آید که در درجه اول از ذخایر روی و در درجات بعدی از ذخایر مس و قلع استحصال می‌شود [۳۲] و [۱۰۴].

غلظت ایندیم در نمونه‌های کالکوپیریت مورد مطالعه در سراسر دنیا به شرح ذیل می‌باشد: به ترتیب در نمونه‌های مربوط به ذخایر ماسیوسولفید اورال جنوبی، منطقه گسبورن سوئد و نوادا آمریکا به ترتیب تا ۱۰۱، ۹۰۰ و ۷۱/۶ گرم بر تن می‌باشد [۹]، [۲۶] و [۴۲]. در مطالعات آنالیز نقطه‌ای انجام شده توسط EPMA در نمونه‌های مورد مطالعه حداکثر میزان ایندیم ۷۰۰ گرم بر تن مربوط به ذخیره سنخواست بدست آمده است (شکل ۶-۶). در آنالیز پودری محدوده‌ی میزان ایندیم از ۰/۰۳ تا ۲/۲۸ گرم بر تن آشکار شده است که بیشترین مربوط به چهارگنبد و کمترین مربوط به پنج کوه می‌باشد (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۶- تغییرات میزان ایندیم براساس آنالیز EPMA



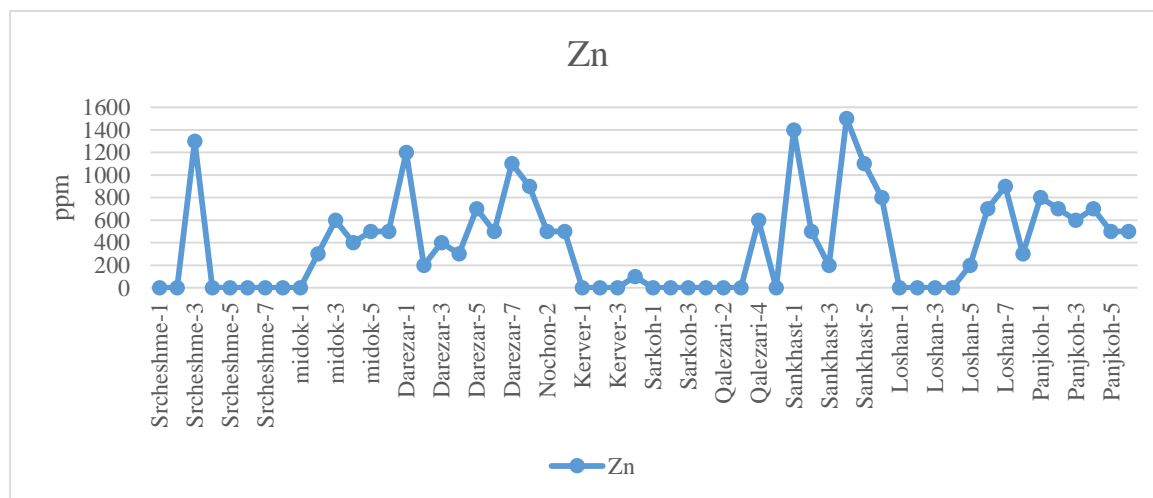
شکل ۶-۷- تغییرات میزان ایندیم براساس آنالیز ICP-MS

### ۳-۲-۶ سرب و روی

عنصر روی یکی از عناصر گروه ۱۲ جدول تناوبی می‌باشد که کلارک آن در پوسته زمین ۰/۰۲ تا ۰/۰۹ گرم بر تن است. کانی‌های رایج دارای عنصر روی شامل اسفالریت، اسمیت سونیت، همی مرفیت، زنکیت و ویلمیت می‌باشد [۹۲] و [۹۴]. این عنصر در غلظت پایین در عنصر آهن موجود در کالکوپریت جانشین می‌شود ولی وجود میزان بالایی از این عنصر به دلیل حضور آنکلوزیون اسفالریت در کانی کالکوپریت است

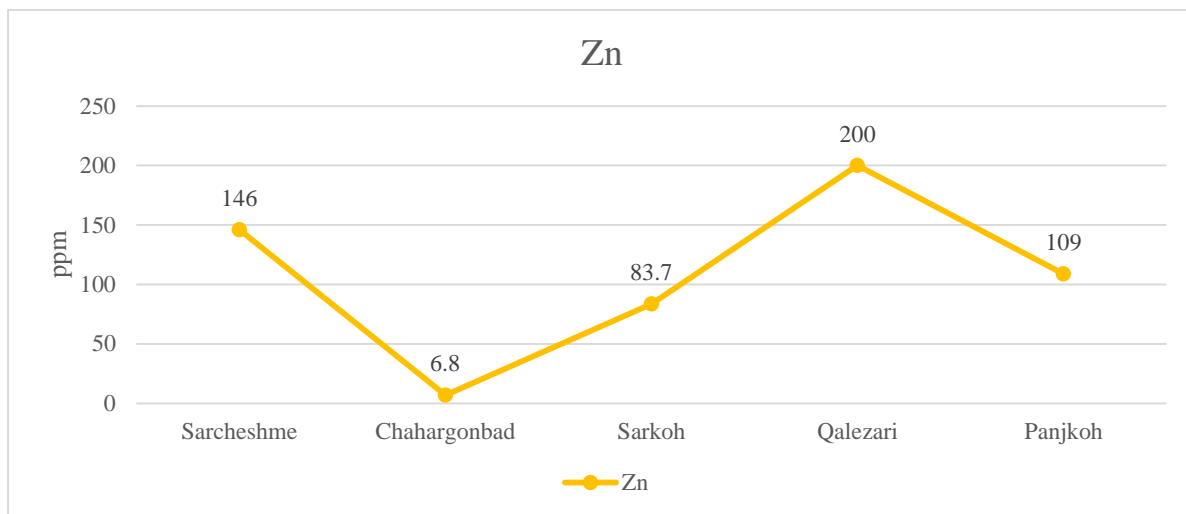


[۲۹]. بارتون و بیتکه<sup>۱</sup> در سال (۱۹۸۷) عبارت بیماری کالکوپیریت را برای جانشینی کالکوپیریت و اسفالریت به جای هم پیشنهاد کرد [۱۰۵]. بیماری کالکوپیریت در نتیجه وجود کالکوپیریت به صورت انکلوزیون در اسفالریت و به العکس رخ می‌دهد [۱۰۶]، [۱۰۷] و [۱۰۸]. در بررسی های انجام شده در این پژوهش میزان روی در کانی‌های کالکوپیریت مناطق مختلف مس دار در ایران بر اساس مطالعات EPMA در کمتر از ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ گرم بر تن متغیر بود. که بیشترین میزان عنصر روی در نمونه های مناطق سنخواست و سرچشمه اندازه‌گیری شد (شکل ۶-۸). در مطالعات XPMa عنصر روی آشکارسازی نشد ولی در آنالیز ICP-MS عنصر روی در ۵ منطقه مورد بررسی، بیشترین غلظت مربوط به منطقه قلعه‌زری با ۲۰۰ گرم بر تن و کمترین میزان مربوط به چهار گنبد با ۶/۸ گرم بر تن می‌باشد (شکل ۶-۹). براساس مطالعات انجام شده توسط دیمه ور، ۱۳۷۴؛ حسن نژاد و مر ۱۳۸۱ و حسن نژاد و مر، ۱۳۷۳ در منطقه قلعه زری کانی اسفالریت وجود دارد [۷۷]، [۷۸] و [۸۱]. میزان بالای روی می تواند نتیجه وجود اسفالریت به صورت انکلوزیون در کالکوپیریت باشد.



شکل ۶-۸ - تغییرات میزان روی براساس آنالیز EPMA

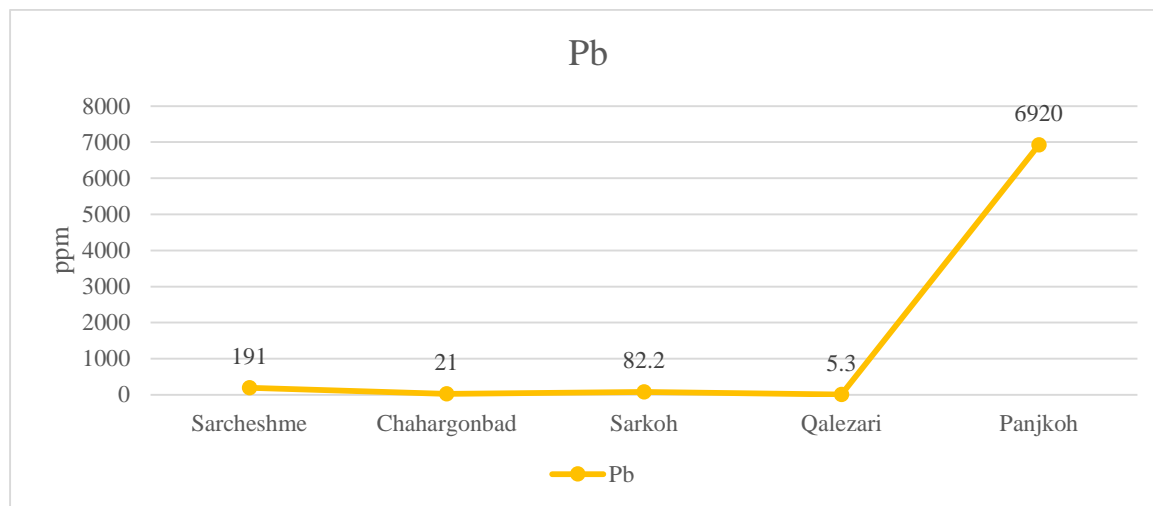
<sup>1</sup> Barton and Bethke



شکل ۶-۹- تغییرات میزان روی براساس آنالیز ICP-MS

عنصر سرب یکی از عناصر گروه ۱۴ جدول تناوبی با کلارک ۱۵ گرم بر تن در پوسته زمین می‌باشد. کانی‌های متداول دارای سرب به شرح ذیل می‌باشد: گالن، آنگلیت، کروسیت، پیرومرفیت و مینیوم [94], [92]. که براساس مطالعات هاستون و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۵)، وجود میزان بالای سرب در کالکوپیریت نشان دهنده ی حضور گالن به صورت انکلوزیون در کالکوپیریت است [۲۹]. در آنالیزهای انجام شده در مناطق مورد مطالعه عنصر سرب در آنالیز XPMA فقط در کالکوپیریت‌های منطقه پنج کوه و سنخواست به ترتیب تا ۶/۸ و ۳/۲۴ درصد وزنی بارزسازی شد ولی در آنالیز ICP-MS به ترتیب در مناطق سرچشمه، قلعه‌زری، سرکوه، پنج کوه و چهارگنبد ۱۹۱، ۵/۳، ۸۲/۲، ۶۹۲۰ و ۲۱ گرم بر تن اندازه‌گیری شد. (شکل ۶-۱۰). میزان بالای سرب در کالکوپیریت‌های معدن پنج کوه به دلیل وجود کانی گالن همراه با کالکوپیریت می‌باشد که در مقاطع صیقلی مشاهده شدند ولی به دلیل ریز بودن قابل جدایش نبود.

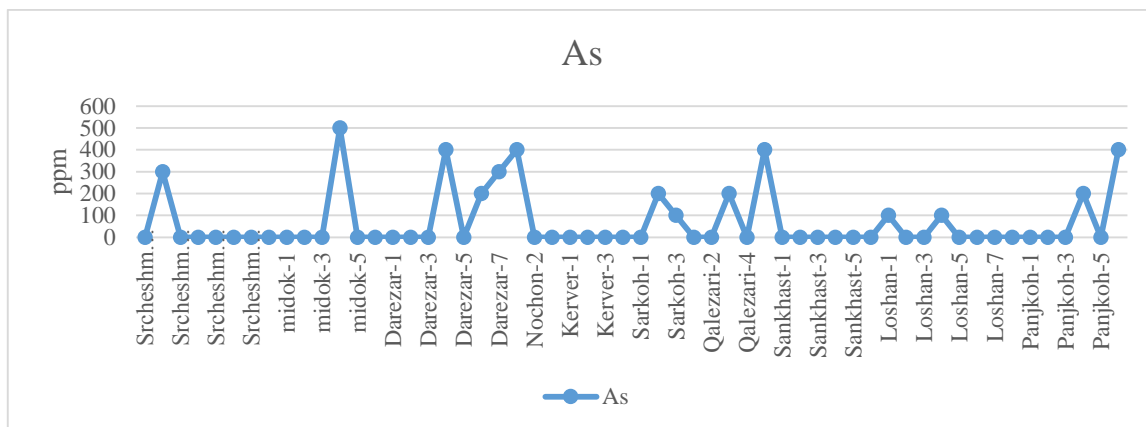
<sup>۱</sup> Huston et al



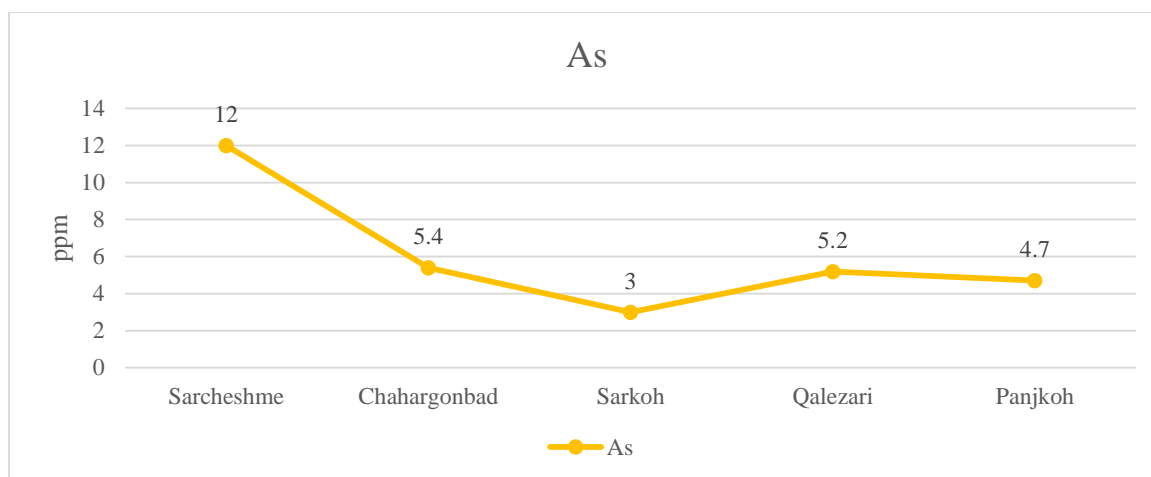
شکل ۶-۱۰- تغییرات میزان سرب براساس آنالیز ICP-MS

#### ۴-۲-۶ آرسنیک و آنتیموان

آرسنیک یکی از عناصر پایدار گروه ۱۵ جدول تناوبی است که به طور گسترده در محیط زیست پخش می‌شود. کلارک ای عنصر در پوسته زمین بین ۰/۵ تا ۲/۵ گرم بر تن می‌باشد از کانی‌های متداول دارای آرسنیک می‌توان اورپیمنت، رآلگار و آرسنوپیریت را نام برد [۹۲] و [۹۴]. رفتار شیمی عنصر آرسنیک بسیار به رفتار شیمی گوگرد نزدیک است، به طوری که بیشترین غلظت این عنصر در کانی‌های سولفیدی رخ می‌دهد. آرسنیک در ساختار بیشتر کانی‌های سولفیدی جانشین گوگرد می‌شود. این عنصر در کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، گالن و مارکازیت دارای غلظت‌های متغیری است [۱۰۹]. در نمونه‌های کالکوپیریت مناطق بالکوما، رزبری، واترلو، کوهستان کالمر که در کشور استرالیا واقع‌اند به ترتیب حداکثر میزان آرسنیک ۳۱۰، ۲۶۳۰، ۷۰ و زیر حد تشخیص دستگاه گزارش شده است [۲۹]. در بررسی شیمی کالکوپیریت نمونه‌های مورد مطالعه عنصر آرسنیک در آنالیز XPMA آشکار نشد ولی در آنالیز EPMA غلظت این عنصر تا ۵۰۰ گرم بر تن اندازه‌گیری شد که حداکثر غلظت این عنصر مربوط به منطقه میدوک می‌باشد (شکل ۶-۱۱). در روش ICP-MS بیشترین غلظت آرسنیک در نمونه پودری منطقه سرچشمه با ۱۲ گرم بر تن اندازه‌گیری شده است (شکل ۶-۱۲).



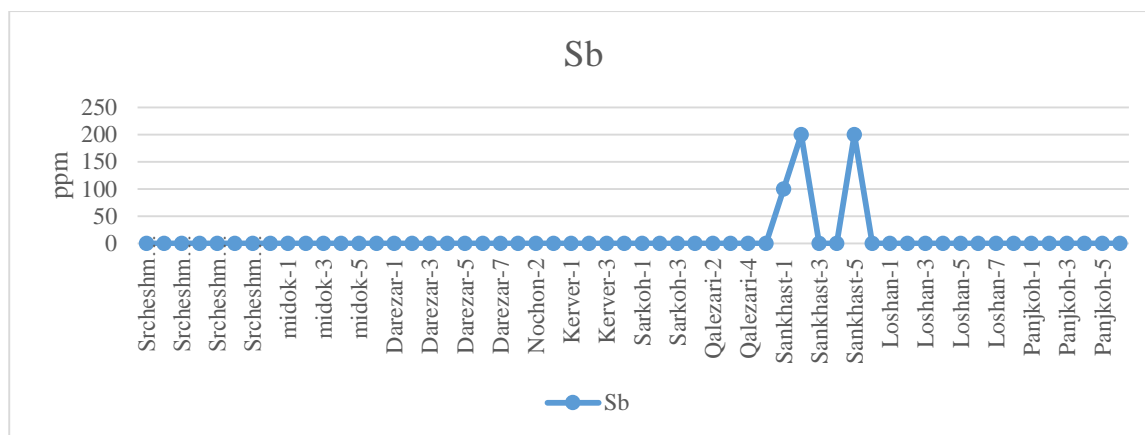
شکل ۶-۱۱- تغییرات میزان آرسنیک براساس آنالیز EPMA



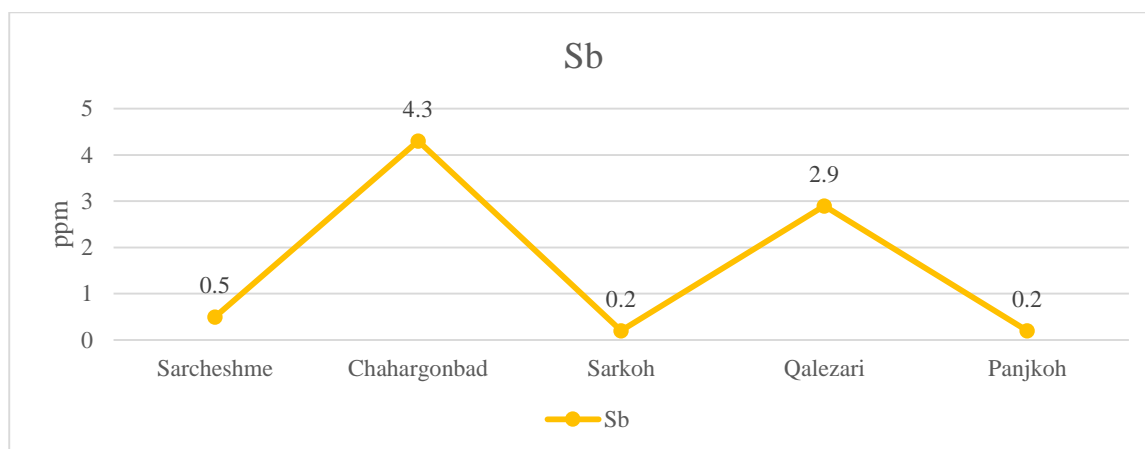
شکل ۶-۱۲- تغییرات میزان آرسنیک براساس آنالیز ICP-MS

یکی دیگر از عناصر گروه ۱۵ جدول تناوبی عنصر آنتیموان است که کلارک این عنصر در پوسته زمین ۰/۱ تا ۰/۹ گرم بر تن اندازه‌گیری شده است. کانی‌های رایج آنتیموان شامل استینیت و والتینیت می‌باشد. آنتیموان با اینکه در شعاع یونی با گوگرد متفاوت است ولی در بعضی موارد به جای آرسنیک جانشین می‌شود [۹۲] و [۹۴]. آنتیموان تمایل زیادی برای ترکیب با سولفیدها دارد و به همین دلیل جزء عناصر گوگرد دوست به حساب می‌آید. آنتیموان معمولاً در حالت عنصری یافت نمی‌شود و اکثراً در غالب کانی‌های سولفیدی و سولفوسالتی از قبیل استینیت، تتراهدريت و بورنیت نمود می‌یابد [۱۰۹]. در آنالیز نقطه‌ای

کالکوپریت نوادا آمریکا حداکثر میزان آنتیموان ۴/۶۱ گرم بر تن اندازه‌گیری شده که در اکثر نمونه‌ها پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه بوده است. در آنالیز نمونه کلی کالکوپریت معدن چوکویکاماتای شیلی این عنصر ۴۷۰ گرم بر تن غلظت داشته است [۹]. در بررسی‌های انجام شده بر روی کالکوپریت‌های مورد مطالعه توسط روش EPMA در اکثر نقاط آنالیز شده میزان آنتیموان کمتر از حد تشخیص دستگاه بوده و میزان حداکثر این عنصر ۲۰۰ گرم بر تن گزارش شده که مربوط به نمونه‌های منطقه سنخواست می‌باشد (شکل ۶-۱۳). در نمونه کلی تهیه شده از مناطق مختلف حداکثر میزان آنتیموان در نمونه چهارگنبد ۴/۳ گرم بر تن گزارش شده است (شکل ۶-۱۴).



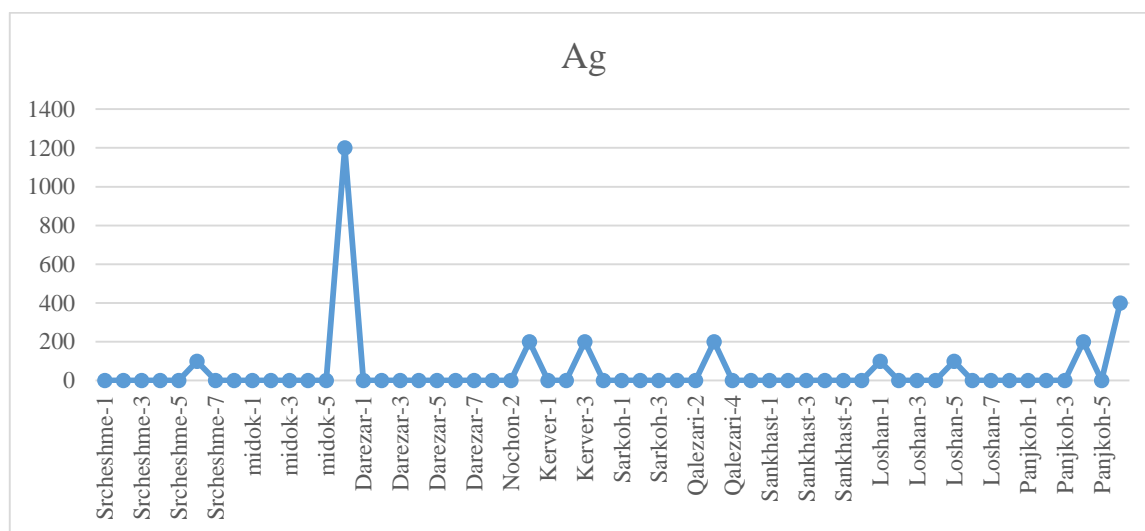
شکل ۶-۱۳- تغییرات میزان آنتیموان براساس آنالیز EPMA



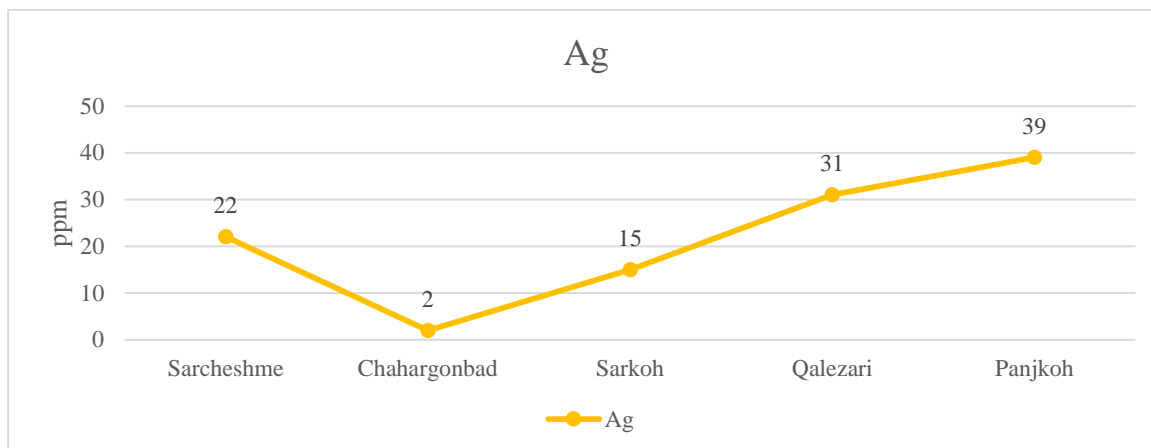
شکل ۶-۱۴- تغییرات میزان آنتیموان براساس آنالیز ICP-MS

## ۶-۲-۵ نقره

عنصر نقره در گروه ۱۱ جدول تناوبی با کلارک ۰/۰۷ تا ۰/۰۸ گرم بر تن قرار گرفته است. رفتار ژئوشیمی عنصر نقره بسیار به عنصر مس شباهت دارد. از کانی های رایج دارای نقره می توان آرسنید را نام برد. نقره به راحتی با عناصر دیگر مثل سلنیم، تلوریم، آرسنیک، آنتیموان و بیسموت ترکیب می شود [۹۲] و [۹۴]. در ساختار کالکوپریت عناصر گراندتری مثل نقره نیز وجود دارد. نقره در ساختار کالکوپریت به جای عنصر مس جانشین می شود [۲۴] و [۱۱۰]. در مطالعات هاستون و همکاران میزان نقره در محدوده کمتر از حد تشخیص دستگاه تا ۴۷۰ گرم بر تن در کالکوپریت های ذخایر استرالیا گزارش شد [۲۹]. در نمونه های مورد مطالعه محدوده غلظت عنصر نقره در آنالیز نقطه‌ی EPMA بین کمتر از حد تشخیص دستگاه تا ۱۲۰۰ گرم بر تن مشخص شد که بیشترین میزان نقره در نمونه مربوط به مس میدوک گزارش شد (شکل ۶-۱۵). در آنالیز نمونه پودری حداقل میزان نقره ۲ گرم بر تن برای کالکوپریت های منطقه چهارگنبد و حداکثر آن ۳۹ گرم بر تن مربوط به نمونه های پنج کوه می باشد (شکل ۶-۱۶)



شکل ۶-۱۵- تغییرات میزان نقره براساس آنالیز EPMA



شکل ۶-۱۶- تغییرات میزان نقره براساس آنالیز ICP-MS

### ۳-۶ نتیجه گیری

- کالکوپیریت‌های معدن آهن پنج کوه با میزان ۱۱۸ گرم بر تن سلنیم دارای بالاترین میزان سلنیم در نمونه های مورد مطالعه است. میزان سلنیم در دیگر مناطق مورد مطالعه سرچشمه، سرکوه، چهارگنبد و قلعه زری به ترتیب ۸۸/۱، ۶۸/۸، ۳۹/۵ و ۷۴/۶ گرم بر تن آشکار شده است. از آنجا که سلنیم در ترکیب سولفیدها جانشین گوگرد می‌شود و از طرفی میزان کمتر ترکیبات سولفیدی در معدن آهن پنج کوه احتمالاً میزان بیشتر سلنیم در کالکوپیریت آشکار شده است که نیاز به بررسی های بیشتری دارد.
- براساس نتایج آنالیز ICP-MS، ۷۴/۶ گرم بر تن سلنیم در نمونه پودر کالکوپیریت معدن قلعه زری آشکار گردید. هم‌چنین آنالیز نقطه‌ای XPMA نیز میزان ۱۴۲ گرم بر تن سلنیم را در نمونه کالکوپیریت مربوط به معدن قلعه زری نشان داد و از طرف دیگر تحقیقات کریم پور و همکاران (۲۰۰۵) نیز اثبات نمود که سلنیم تا میزان ۱/۵۱ درصد در داخل سولفاسالت از نوع ایکینیت به فرم ادخال در داخل کالکوپیریت های معدن قلعه زری وجود دارند.

- حداکثر میزان ایندیم در کالکوپیریت‌های منطقه چهارگنبد تا ۲/۲۸ گرم بر تن آشکار شده است که با توجه به اینکه ۹۵ درصد ایندیم از ذخایر سرب-روی و فقط ۲ درصد از ذخایر مس استحصال می‌شود چنین به نظر می‌رسد که عنصر ایندیم در کالکوپیریت چندان اهمیت اقتصادی ندارد.
- میزان به نسبت بالای گالیم در کالکوپیریت‌های منطقه سرچشمه براساس آنالیز ICP-MS احتمالاً به هم‌رشدی و همراهی اسفالریت با کالکوپیریت وابسته است.

#### ۴-۶ پیشنهادات

- ✓ بررسی توزیع سلنیم در کالکوپیریت‌های سایر ذخایر مس سولفیدی ایران به ویژه ماسیوسولفیدها مورد بررسی قرار گیرد
- ✓ از آنجا که میزان تلوریم در کالکوپیریت‌های مناطق سرچشمه و سرکوه بالاتر از برخی ذخایر می‌باشد، لذا بررسی بیشتر آن مورد توجه است.
- ✓ با توجه به وجود سولفاسالت‌ها و نیز میزان بالایی سلنیم در کالکوپیریت معدن قلعه زری، لذا بهتر است این منطقه برای اکتشاف عنصر سلنیم به طور دقیق‌تر بررسی گردد.
- ✓ با توجه به بالا بودن میزان ژرمانیوم در کالکوپیریت سرچشمه نسبت به ذخایر دیگر، توزیع این عنصر در این منطقه نیازمند مطالعات بیشتری می‌باشد.



## منابع و مراجع

- [1]. Lottermoser B. (2003) " Mine Water " in Mine Wastes. **J. of. Springer**, Berlin, Heidelberg. Pp. 83-141.
- [2]. Abraitis P. K., Patrick R. A. D., and Vaughan, D. J. (2004). "Variations in the compositional, textural and electrical properties of natural pyrite: a review " **J. of. Mineral Processing**, **74**, **1**, pp. **41-59**.
- [3]. Cook N. J., Ciobanu C. L., George L. L., Crowe B., and Wade B. P. (2014). "Trace element distributions in sulphides: progress, problems and perspectives " **J. of. Acta Geologica Sinica (English Edition)**, **88**, **s2**, pp. **1444-1446**.
- [4]. Roberts F. I. (1982). "Trace element chemistry of pyrite: A useful guide to the occurrence of sulfide base metal mineralization " **J. of. Geochemical Exploration**, **17**, **1**, pp. **49-62**.
- [5]. Bogdanov K. (2015). "Pyrite and chalcopyrite as minerals-vectors toward porphyry-epithermal systems " **J. of. Bulg. Geol. Soc. Ann. Conf. Sofia,** " **Geosciences 2015**" **14**, **13**.
- [6]. Daming P., (1996), "Seldom selenium resource in China. China Non-metallic Mining Industry Herald " (in Chinese)
- [7]. زارعی محمودآبادی ه، ویسه س. (۱۳۹۰). "کاربردهای انرژی خورشیدی و سیستم های فتوولکائیک در ایران"، همایش ملی اصلاح الگوی تولید و مصرف، کرمان، ص ۸، موسسه آموزش عالی کرمان
- [8]. Jaffe R., Price J., Ceder G., Eggert R., Graedel T., Gschneidner K., and King A. (2011). "Energy critical elements: securing materials for emerging technologies " Materials Research Society/American Physical Society, Washington, DC.
- [9]. Yano R. I. (2012), M.sc. thesis "Trace element distribution in chalcopyrite-bearing porphyry and skarn deposits " University of Nevada, Reno.
- [10]. Feng C. X., Liu J. J., Liu S., Li Z. M., and Li E. D. (2002). "An outline of selenium resources and its exploitation and utilization " **J.of. Geology and Resources**, **11**, **3**, pp. **152-156**. (in Chinese).

[11]. Brown Jr R. D. (1998). "Selenium and tellurium—Supply demand relationship: International Symposium on the Uses of Selenium and Tellurium " 6<sup>th</sup>. **Scottsdale, AZ, May, pp. 10-12.**

[12]. Ober J. A. (2016). "**Mineral commodity summaries 2016**". US Geological Survey.

[13]. Ober J. A. (2017). "**Mineral commodity summaries 2017**". US Geological Survey.

[۱۴]. دهقان پور م. ح، ترابی م، زیودار م، و دانش پژوه ش، (۱۳۹۳)، "استخراج مس و تهیه پودر سلنیم از لجن آندی مس سرچشمه به روش کاملاً هیدرومتالورژیکی، پانزدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، تهران، دانشگاه تهران

[۱۵]. محتشم ع، (۱۳۷۶) پایان نامه کارشناسی ارشد، بررسی ساختار لجن آندی مس سرچشمه و استخراج عناصر کم مقدار و گران قیمت از آن، دانشگاه تربیت معلم تهران

[۱۶]. عبدالهی م، شفایی تنکابنی س. ض، (۱۳۸۲)، تعیین شرایط بهینه استخراج (۱۱/۲۰۸) سلنیم از لجن مس آندی سرچشمه به روش تاگوچی، هشتمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

[17]. Ghorbani M. (2013). "The economic geology of Iran: mineral deposits and natural resources" **J.of. Springer Science & Business Media.**

[۱۸]. خوبی ن، قربانی م، تاجبخش پ، (۱۳۷۸)، "کانسارهای مس در ایران"، سازمان زمین شناسی کشور، تهران

[۱۹]. قربانی م. (۱۳۸۶)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات آریز زمین

[20]. **Nezafati n. (2015).** "Mineral Resources of Iran; an overview", Berg- und Hüttenmännischer Tag (BHT), At Freiberg, Germany, Volume: 66.

- [21]. Kilic Y., Kartal G., and Timur S. (2013). “An investigation of copper and selenium recovery from copper anode slimes ” **J. of Mineral Processing**, **124**, pp. **75-82**.
- [22]. Ivanov v., (1969). “**Determination of Trace elements in the main ore minerals in: ore deposits of ussr**”, 3. pp. 473. (in Russian)
- [23]. Cabri L. J., Blank H., El Goresy A., Laflamme J. G., Nobiling R., Sizgoric M. B., and Traxel K. (1984).” Quantitative trace-element analyses of sulfides from Sudbury and Stillwater by proton microprobe”. **J. of The Canadian Mineralogist**, **22**, **4**, pp. **521-542**.
- [24]. Cabri L. J., Campbell J. L., Laflamme J. G., Leigh R. G., Maxwell J. A., and Scott, J. D. (1985). “Proton-microprobe analysis of trace elements in sulfides from some massive-sulfide deposits”. **J. of The Canadian Mineralogist**, **23**, **2**, pp. **133-148**.
- [25]. Auclair G., Fouquet Y., and Bohn M. (1987). “Distribution of selenium in high-temperature hydrothermal sulfide deposits at 13 degrees North, East Pacific Rise”. **J. of The Canadian Mineralogist**, **25**, **4**, pp. **577-587**.
- [26]. Kieft K. E. E. S., and Damman A. H. (1990). “Indium-bearing chalcopyrite and sphalerite from the Gåsborn area, West Bergslagen, central Sweden”. **J. of Mineralogical Magazine**, **54**, **374**, pp. **109-112**.
- [27]. Willgallis A., Özgür N., and Siegmann E. (1990). “Se-and Te-bearing sulphides in copper ore deposits of Murgul, NE Turkey ” **J. of Eur. Mineral**, **2**, pp. **145-148**.
- [28]. Murao S., Sie S. H., and Suter G. F. (1995). “Proton microprobe study of tin-polymetallic deposits”. In Proc. 9th Australian Conference on Nuclear Techniques of Analysis, pp. 8-10
- [29]. Huston D. L., Sie S. H., Suter G. F., Cooke D. R., and Both R. A. (1995). “Trace elements in sulfide minerals from eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits; Part I, Proton microprobe analyses of pyrite, chalcopyrite, and sphalerite, and Part II, Selenium levels in pyrite; comparison with delta 34 S values and implications for the source of sulfur in volcanogenic hydrothermal systems”. **J. of Economic Geology**, **90**, **5**, pp. **1167-1196**.

- [30]. Ivanov v., (1996). “**Gelological geochemistry elements Guidebook**”,3, p. 351(in Russian).
- [31]. Nicolaidou A. E. (1997). “Selenium content in sulfide ores from the Chalkidiki peninsula, Greece”. **J. of environmental pathology, toxicology and oncology: official organ of the International Society for Environmental Toxicology and Cancer**, 17, 3-4, pp. 189-197.
- [32]. 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.
- [33]. Rubinstein, J. (2002). “**Non-ferrous metal ores: deposits, minerals and plants** “, 1. CRC Press.
- [34]. Moggi-Cecchi V., Cipriani C., Rossi P., Ceccato D., Rudello V., and Somacal H. (2002). “Trace element contents and distribution maps of chalcopyrite: a micro-PIXE study”. **J. of Per Mineral**, 71, pp. 101-9.
- [35]. Economou-Eliopoulos M., Eliopoulos D. G., and Chryssoulis S. (2008). “A comparison of high-Au massive sulfide ores hosted in ophiolite complexes of the Balkan Peninsula with modern analogues: Genetic significance”. **J. of Ore Geology Reviews**, 33, 1, pp. 81-100.
- [36]. Reiser F. K., Guimarães F., Pinto Á. M., Matos J. X., Carvalho J. R., Oliveira D. P., and Rosa, D. (2009). “Germanium-rich chalcopyrite from the Barrigão remobilised vein deposit, Iberian Pyrite Belt, Portugal”. In Smart Science for Exploration and Mining: Proceedings of the Tenth Biennial SGA Meeting, 2009.
- [37]. Vassileva R., Atanassova R., Stefanova E., Marchev P., Peytcheva I., and Kouzmanov K., (2010). “Minor and trace element content of sulphides from the Madan polymetallic deposits, Central Rhodopes: a LA-ICP-MS study”, BULGARIAN GEOLOGICAL SOCIETY, National Conference with international participation “GEOSCIENCES 2010”.

- [38]. Reiser F. K., Rosa, D. R., Pinto Á. M., Carvalho J. R., Matos J. X., Guimarães, F. M., and 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.
- [39]. Cioacă, M., (2013). “Investigation of the rare elements from the porphyry copper deposits in Romania”.
- [40]. Cioacă M.E., Munteanu M., Qi L., Costin G., (2014). “Trace element concentrations in porphyry copper deposits from Metaliferi Mountains, Romania: A reconnaissance study ”, **J. of Ore Geology Reviews**, **63**, pp. 22-39.
- [41]. Cioacă M.E., Munteanu M., Wälle M., Marincea Ş., Dumitraş D.G., and Zurich E.T.H., (2015). “Comparative study on the trace element contents of sulfides from the Neogene and Laramian porphyry copper deposits from Romania”, **Goldschmidt**, **25**, pp. 559.
- [42]. Ayupova N. R., Maslennikov V. V., Kotlyarov V. A., Maslennikova S. P., Danyushevsky L. V., and Large R. (2017). “Se and In minerals in the submarine oxidation zone of a massive sulfide orebody of the molodezhnoe copper–zinc massive sulfide deposit, Southern Urals”. **J. of Doklady Earth Sciences**, **473**, **1**, pp. 318-322.
- [43]. Revan M. K., Genç, Y., Maslennikov, V. V., Maslennikova S. P., Large R. R., and Danyushevsky L. V. (2014). “Mineralogy and trace-element geochemistry of sulfide minerals in hydrothermal chimneys from the Upper-Cretaceous VMS deposits of the eastern Pontide orogenic belt (NE Turkey)”. **J. of Ore Geology Reviews**, **63**, pp. 129-149.
- [44]. Vikentev I. (2016). “Selenium, tellurium and precious metal mineralogy in Uchalinsk copper-zinc-pyritic district, the Urals”. **In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, **123**, **1**, pp. 012027). **IOP Publishing**.
- [45]. George L. L., Cook N. J., and Ciobanu C. L. (2016). “Partitioning of trace elements in co-crystallized sphalerite–galena–chalcopyrite hydrothermal ores”. **J. of Ore Geology Reviews**, **77**, pp. 97-116.
- [46]. George L. L., Cook N. J., Crowea B., and Ciobanu C. L. (2017). *Mineralogical Magazine*.

- [۴۷]. عابدی آ، (۱۳۸۰)، "مطالعات کانی شناسی- ژئوشیمیایی بر روی منطقه کانی سازی شده طلا در کوه زر تربت حیدریه"، **مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران**، سال ۱۰، شماره ۱
- [۴۸]. معانی جو م، (۱۳۸۷)، رساله دکتری، "ژئوشیمی، شناخت منشا سیالات کانه ساز و نحوه تشکیل کانسار مس چهل کوره (شمال غرب زاهدان)"، دانشگاه شهید بهشتی
- [۴۹]. یوسفی س. ج. و مرادیان ع.، (۱۳۹۱) "الگوی کانه زایی کانسار مس- طلای چهارگنبد (سیرجان)، با استفاده از مطالعات کانی شناسی، دگرسانی، ژئوشیمیایی و آزمونهای آماری چند متغیره"، **مجله زمین-شناسی اقتصادی**، شماره ۴، جلد ۱، ص. ۱۵۳-۱۳۵.
- [۵۰]. نیکزاد ط. (۱۳۹۴). پایان نامه کارشناسی ارشد، "مطالعات کانی شناسی - ژئوشیمیایی بر روی پیریت های موجود در سنگ معدن، باطله های معدنی و باطله های فرآوری معدن مس سرچشمه از دیدگاه زیست محیطی" دانشکده معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [51]. Reed S.J.B., (2005). "Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology". Cambridge University Press
- [۵۲]. شرکت کانساران بینالود تهران، میکروپروب اشعه ایکس XPMA هوریا مدل ایکس جی تی ۷۲۰۰
- [53]. Lindon J. C., Tranter G. E., and Koppelaar D. (2016). "Encyclopedia of spectroscopy and spectrometry". Academic Press
- [54]. Shafiei B., Shamanian G., Mathur R., and Mirnejad H. (2015). "Mo isotope fractionation during hydrothermal evolution of porphyry Cu systems". **J.of. Mineralium Deposita**, 50, 3, pp. 281-291.

[۵۵]. کمیزی ع. خشنودی م. حاج احمدی م. و دهقان ر، (۱۳۷۹)، "بررسی کاتیونهای فلزی در آب رودخانه شور مجتمع مس سرچشمه"، سومین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان، کرمان،

[56]. Shafiei B., and Shahabpour J. (2012). "Geochemical aspects of molybdenum and precious metals distribution in the SarCheshmeh porphyry copper deposit, Iran". **J. of Mineralium Deposita**, 47, 5, pp. 535-543.

[57]. Bazin D. and Hübner H., (1969). "Copper deposits in Iran" 13-14. Geological Survey of Iran

[58]. Waterman G.C. and Hamilton R.L. (1975). "The SarCheshmeh porphyry copper deposit". **J.of Economic Geology**, 70, 3, pp. 568-576

[59]. Atapour H. and Aftabi A., (2007). "The geochemistry of gossans associated with Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Rafsanjan, Kerman, Iran: implications for exploration and the environment". **J. of Geochemical Exploration**, 93, 1, pp.47-65

[60]. Aliani F., Alirezaei A., Moradian A., and Abbasloo. Z. (2009) "Geochemistry and petrography of Meiduk copper deposit's host volcanic rocks-Kerman." **J.of Crystallography and mineralogy**, 17, 3, pp. 449-462

[61]. Asadi S., Moore F., Zarasvandi A., and Khosrojerdi M. (2013). "First report on the occurrence of CO<sub>2</sub>-bearing fluid inclusions in the Meiduk porphyry copper deposit, Iran: implications for mineralisation processes in a continental collision setting". **J.of Geologos**, 19, 4, pp. 301-320.

[۶۲]. خاکزاد الف، و همتی ج، (۱۳۷۷)، "بررسی زمین شناسی اقتصادی کانسار مس دره زار"، دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، مشهد، انجمن زمین شناسی ایران

[۶۳]. همتی ج. (۱۳۷۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "بررسی زمین شناسی اقتصادی کانسار مس دره زار" ، دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی.

[۶۴]. پارساپور الف، خلیلی م، مقامی م، و باقری ه، (۱۳۹۳)، "بررسی شرایط فیزیکی- شیمیایی تشکیل سولفیدها و سولفات‌ها بر اساس مطالعات پتروگرافی و ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد- اکسیژن در کانسار مس پورفیری دره‌زار (کرمان)"، **مجله زمین شناسی اقتصادی**، شماره ۱، جلد ۶، ص ۱۷۷-۱۹۷.

[۶۵]. روانخواه ع. موید م. امینی ص. و حسین‌زاده ق. (۱۳۸۸)، "مطالعات زمین شناسی، پترولوژی، زمین شناسی اقتصادی و زون‌های دگرسانی در کانسار مس پورفیری دره‌زار (جنوب غرب کرمان)"، **فصلنامه زمین شناسی ایران**، سال سوم، شماره دوازدهم، ص ۶۳-۷۵.

[۶۶]. کیوانیان س.ج. موید م. برهان‌زاده ف. و روانخواه ع. (۱۳۸۶)، "مطالعه اکتشافی، مدل سازی تخمین ذخیره معدن مس دره‌زار"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

[67]. Sillitoe R.H., (2005). "Supergene oxidized and enriched porphyry copper and related deposits". **J.of Economic Geology 100th Anniversary Volume**, pp. 723-768.

[۶۸]. ماهنامه توسعه معادن، ۱۳۹۰، معدن نوچون، شماره ۱۹ ص ۶۳

[۶۹]. شهسواری بمی م. (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "مطالعه کانی‌شناسی و ژئوشیمی تبادلات جرمی زون‌های دگرسانی ذخیره مس- مولیبدن پورفیری نوچون، کرمان"، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

[۷۰]. سلطانی نژاد س. و شفیعی ب. (۱۳۹۰)، "جنبه‌های کانی شناختی، زمین شیمیایی و زایشی کانی- سازی کانسار مس-مولیبدن پورفیری نوچون، استان کرمان، ایران"، **مجله علوم زمین**، سال بیست و سوم، شماره ۹۱، ص ۱۱-۲۴.



[۷۱]. سلطانی نژاد، س. (۱۳۸۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "مطالعه توزیع و رفتار ژئوشیمیایی مولیبدن در کانسار پورفیری تحت اکتشاف نوچون، جنوب معدن مس سرچشمه رفسنجان، استان کرمان"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان.

[۷۲]. قاسمی ق. علیرضایی س. عین‌علی م. و ایرانمنش م.ر. (۱۳۹۰)، "پتروگرافی و پترولوژی توده‌های نفوذی در محدوده کانسار مس پورفیری کرور، جبال بارز، استان کرمان". دومین همایش ملی انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه لرستان

[۷۳]. مقیلی دامنه م. (۱۳۹۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "مدل سازی و تخمین ذخیره معدن مس کرور واقع در شهرستان عنبرآباد"، دانشکده فنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[۷۴]. مالکی القندیس الف. (۱۳۷۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "تعیین حد استخراج روباز- زیرزمینی کانسار مس چهارگنبد"، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[۷۵]. نظری س. مهربابی ب. تقی زاده ح. و قلیچ پور ح. (۱۳۹۱)، "تحلیل آماری داده‌های لیتوژئوشیمیایی و معرفی کانسار سرکوه کرمان به عنوان منطقه امید بخش جهت اکتشاف Cu"، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شیراز.

[۷۶]. طورچی م. و عباسلو ز. (۱۳۷۹)، "بررسی هاله‌های دگرسانی مس سرکوه"، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

[۷۷]. دیمه ور م. (۱۳۷۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "بررسی زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس قلعه زری بیرجند"، دانشگاه تربیت مدرس.

[۷۸]. حسن نژاد ع، و مر ف، (۱۳۸۱)، "نقش کانی کوارتز در شناخت محیط زایشی کانسار مس قلعه زری"،

دهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

[۷۹]. حسن نژاد ع، (۱۳۸۴)، رساله دکتری، "فلزایی معدن مس - طلا - نقره قلعه زری در لوت شرقی

ایران"، دانشگاه شیراز

[۸۰]. حسن نژاد ع، (۱۳۷۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "مطالعات ژئوشیمیایی و سیالات درگیر در معدن

مس قلعه زری استان خراسان، ایران"، دانشگاه شیراز.

[۸۱]. حسن نژاد ع، و مر ف، (۱۳۷۳)، "ژئوشیمی و مینرالوژی معدن مس قلعه زری - استان خراسان"،

دومین سمپوزیوم زمین شناسی شرق ایران، دانشگاه بیرجند.

[۸۲]. کریم پور م، و رزم آرا م، (۱۳۸۱)، "سولفاسالت های نقره و مجموعه پاراژنتیک آنها در کانسار مس

قلعه زری"، مجموعه مقالات ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه کرمان.

[83]. Karimpour m. (2005), "Comparison of Qaleh Zari Cu-Au-Ag deposit with other Iron Oxides Cu-Au (IOGC-Type) deposits and a new classification", **J.of. Iranian society of crystallography and mineralogy, 13, 1.**

[84]. Karimpour M.H. and Zaw KhinHuston, D.L. (2005), "S-C-O Isotopes, Fluid Inclusion Microthermometry, and the Genesis of Ore Bearing Fluids at Qaleh-Zari Fe-Oxide Cu-Au-Ag Mine, Iran", **J. of. Sciences, Islamic Republic of Iran, 16, 2, pp. 153-168**

[85]. Karimpour M. H. Large R. R. Razmara M. and Patrick R. A. D, (2005), "Bi- sulfosalt mineral series and their paragenetic associations in specularite-rich Cu-Ag-Au deposit, Qaleh Zari mine, Iran", **J.of. Iranian society of crystallography and mineralogy, 13, 2.**

[۸۶]. اسماعیلی د، شیعی م، و کنعانیان ع، (۱۳۸۵)، "سنگ زایی و روند تکاملی اسکارن آهن پنج کوه

(خاور ایران)" **مجله علوم زمین**، شماره ۵۹، دوره ۱۵: ص ۳۸-۴۹.

[۸۷]. عرب عامری ف، یزدی م، بهزادی م، و مرادی م، (۱۳۹۰)، "پتروگرافی، مینرالوگرافی و دگرسانی در

معدن آهن پنج کوه دامغان"، دومین همایش علوم زمین، آشتیان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آشتیان

[۸۸]. صفائی م، عرب عامری ف، و یزدی م، (۱۳۹۱)، "کانی سازی طلا در معدن آهن پنج کوه

دامغان"، سی و یکمین همایش علوم زمین، تهران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

[۸۹]. اسماعیلی د، شیبی م، و کنعانیان ع، (۱۳۸۳)، "خاستگاه اسکاپولیت در توده نفوذی پنج کوه (جنوب

شرق دامغان) "مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، جلد ۱۲، شماره ۲، ص ۱۸۹-۲۰۱.

[90]. Taseska M., Makreski P. Stibilj V. Jaćimović R. Stafilov T. and Jovanovski G. (2008). "Determination of trace elements in chalcopyrite (CuFeS<sub>2</sub>) by k<sub>0</sub>-instrumental neutron activation analysis after matrix elements removal". **Macedonian J. of. Chemistry and Chemical Engineering**, 27, 2, pp. 141-147.

[۹۱]. کرمی نژاد م، (۱۳۹۶)، "بازیابی سلنیم از لجن پالایشگاه مس سرچشمه" اولین سمپوزیوم متالورژی ایران، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

[92]. Kabata-Pendias A. and Mukherjee A. B. (2007). "Trace elements from soil to human", Springer Science & Business Media, Berlin Heidelberg New York..

[93]. Floor G. H. and Román-Ross G. (2012). "Selenium in volcanic environments: a review". **J. of. Applied Geochemistry**, 27, 3, pp. 517-531.

[94]. Kabata-Pendias A. (2010), "Trace elements in soils and plants", CRC press.

[95]. Wang C., Li S., Wang H., and Fu J. (2016). "Selenium minerals and the recovery of selenium from copper refinery anode slimes". **J.of. the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, 116, 6, pp.593-600.

[96]. Brown Jr R. D. (1994). "Selenium and tellurium". US Geological Survey Minerals Yearbook. Pennsylvania: Bureau Assoc, pp. 671.

[97]. Kesler. (1994). “Mineral Resources, Economics and the Environment”, in Ayres R.U. Ayres L.W. Råde I., (2013). **“The life cycle of copper, its co-products and by products”**, Springer Science & Business Media.

[98]. Sinclair W. D. (2007). “Porphyry deposits ”. Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, **5**, pp. **223-243**.

[99]. Kavlak G. and Graedel T. E. (2013). “Global anthropogenic selenium cycles for 1940–2010” **J. of Resources, Conservation and Recycling**, **73**, pp. **17-22**.

[100]. Lu D. K., Chang Y. F., Yang H. Y., and Feng X. I. E. (2015). “Sequential removal of selenium and tellurium from copper anode slime with high nickel content ” **J. of Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, **25**, **4**, pp. **1307-1314**.

[101]. Rankama K. and Sahama, T.G. (1949). **“Geochemistry”**, University Of Chicago Press, Chicago, pp. 743-755.

[102]. Paradis S. (2015). “Indium, germanium and gallium in volcanic-and sediment-hosted base-metal sulphide deposits”. **In Symposium on critical and strategic materials. British Columbia Geological Survey Paper . 3**, pp. **23**.

[103]. 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**.

[104]. 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**.

[105]. Barton Jr P. B. and Bethke P. M. (1987). “Chalcopyrite disease in sphalerite: pathology and epidemiology ”. **J.of. American Mineralogist**, **72**, **5-6**, pp. **451-467**.

[106]. Bortnikov N. S., Genkin A. D., Dobrovolskaya M. G. Muravitskaya G. N. and Filimonova A. A. (1991). "The nature of chalcopyrite inclusions in sphalerite; exsolution, coprecipitation, or "disease"?". **J. of Economic Geology**, **86**, **5**, pp. **1070-1082**.

[107]. Lockington J.A.K. (2012). **Ph. D. thesis**, "Trace and minor elements in sphalerite: an assessment of distributions in metamorphosed deposits" **School of Earth and Environmental Sciences, University of Adelaide**.

[108]. Cook N.J. Ciobanu C.L. Pring A. Skinner W. Shimizu M. Danyushevsky L. Saini-Eidukat B. and Melcher F. (2009). "Trace and minor elements in sphalerite: A LA-ICP-MS study". **J. of Geochimica et Cosmochimica Acta**, **73**, **16**, pp. **4761-4791**

[109]. Modabberi S. (2004). **Ph. D. thesis**, "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**.

[110]. Harris D. C., Cabri L. J., and Nobile R. (1984). "Silver-bearing chalcopyrite, a principal source of silver in the Izok Lake massive-sulfide deposit; confirmation by electron- and proton-microprobe analyses", **J. of The Canadian Mineralogist**, **22**, **3**, pp. **493-498**.

## **Abstract**

The trace elements Se, Te, In, Ga, Ge are used in the manufacture of solar panels, they are a by-product of copper and lead-zinc deposits. Considering the end of fossil fuels, Iran's position in the world's solar belt, and the presence of Iran in the global belt of copper, In this research, mineral chalcopyrite chemistry is studied in some Iranian copper deposits for explore trace elements. Mineralogical studies on 55 polished sections and electron micro probe analysis on 57 points of chalcopyrite, x-ray microprobe analysis on 18 point of chalcopyrite and bulk analysis of ICP-MS on 5 samples (Sarcheshmeh, Sarkouh, charGonbad, PanjKohh and Qaleh Zari copper deposits) was done . Based on the results of ICP-MS analysis on bulk, selenium content was 39.5 to 118 ppm, tellurium content in Sarcheshmeh and Sarkouh 0.3 and 0.4 ppm, gallium to 1.51 ppm, germanium is 0.08 to 0.32 ppm and the indium is 0.03-0.28 ppm. In the results obtained from the electron micro probe analysis on chalcopyrite, the concentrations of the indium element are up to 700, germanium to 700, gallium to 500 PPM. In XPMA spot analysis studies, selenium levels were found to be only 142 ppm in the Qale-zary.

Regarding the presence of sulfasalts containing selenium in the form of inclusion in Chalcopyrite Qaleh Zari, high levels of selenium in powder samples and XPMA analysis of Qale-Zari region are introduced for the detection of suitable trace elements.

**Keywords:** Chalcopyrite, Copper deposits of Iran, Trace Elements, Selenium



**Shahrood University of Technology**

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mineral Exploration

**Investigation on Trace Elements Distribution Especially (Se) in  
Chalcopyrite from Different Cu Deposits of Iran**

By: Mahshid Sohrabnezhad

**Supervisor**

Dr. Arezoo Abedi

**Advisor**

Dr. Behnam Shafiei

September 2017