



بیست و سومین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران



23rd Symposium of Crystallography & Mineralogy of Iran

۸ و ۷ بهمن ماه ۱۳۹۴ دانشگاه دامغان

(مطالعات کانی شناسی باطله های فرآوری مجتمع مس سرچشمه)

مینا خالویی^{*}، مهدی خراسانی پور، حسام الدین معین زاده

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، mina_khaloei@yahoo.com

۲- استادیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم، بخش زمین شناسی، khorasani@uk.ac.ir

۲- دانشیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم، بخش زمین شناسی، hesammoeinzadeh@yahoo.com

چکیده

سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه در فاصله ۱۹ کیلومتری شمال معدن مس سرچشمه واقع شده است و مشتمل بر چندین حوضچه تخلیه باطله می باشد. در این پژوهش کانی شناسی باطله های تازه در بخش های غیر اکسیدی سد باطله مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور تعداد ۳۰ نمونه غیر هوازده نمونه برداری شدند. مطالعات میکروسکوپی بر روی مقاطع نازک و صیقلی انجام شد و کانیهای موجود در باطله ها شناسایی شدند. نتایج نشان می دهد که کانی شناسی باطله های معدن سرچشمه شامل کانیهای سیلیکاتی، سولفیدی و اکسیدی می باشد. ترکیب کانی شناختی باطله های غیر دگرسان شامل کانیهای کوارتز، فلدسپار قلیایی، پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، اکسیدهای آهن به عنوان فازهای کانی شناختی اصلی و همچنین آپاتیت، اسفن و زیرکن بعنوان کانیهای فرعی می باشد. این ترکیب کانی شناختی منطبق بر وجود کانیهای موجود در کانسنگ معدنی مس سرچشمه می باشد؛ زیرا تفاوت این باطله ها با کانسنگ خرد شده اولیه جدا شدن کانیهای با ارزش به صورت کنسانتره در طی فرایند فرآوری می باشد. وجود کانیهای سولفیدی مانند پیریت و کالکوپیریت بر پتانسیل تولید زهاب اسیدی این باطله در صورت اکسید شدن آنها تاکید دارد. همچنین این کانیها می توانند حاوی عناصر فرعی نظیر Au، Ag، As، Bi، Cd، Co باشند که از دیدگاه اقتصادی حائز اهمیت است.

واژه های کلیدی: سد رسوبگیر، باطله های فرآوری معدن سرچشمه، مطالعات کانی شناسی

Mineralogical studies of tailings in the Sarcheshmeh copper mine complex

Abstract

The Sarcheshmeh tailings dam, which is located at 19 km north of the Sarcheshmeh porphyry copper mine, consists of several impoundments. In this study, the mineralogy of fresh tailings was investigated in the un-oxidized parts of tailings. For this purpose, 30 samples were collected from non-weathered tailings. Mineralogical phases were identified by using of microscopic studies on prepared thin and polished sections. Based on these studies various mineralogical phases, including silicate, sulfide and oxide minerals were identified in the collected samples. Quartz, alkali feldspar, pyrite, chalcopyrite, chalcocite and iron oxides were



بیست و سومین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران



23rd Symposium of Crystallography & Mineralogy of Iran

۸ و ۷ بهمن ماه ۱۳۹۴ دانشگاه دامغان

the main mineralogical phases, while apatite, esphene and zircon were present as minor or trace minerals. This mineral assemblage is very similar with the mineralogy of the Sarcheshmeh ore, because the separation of valuable minerals during processing process (in the form of concentrate) is the only difference between fresh tailings and the primary crushed ore. Presence of sulfide minerals such as pyrite and chalcopyrite emphasizes on the potential for production of acidic drainage in the oxidation zone of tailings. Sulfide minerals like pyrite also can contain trace elements such as Au, Ag, As, Bi, Cd and Co as substitutions. This issue is important from an economic point of view.

Keywords: tailings dam, Sarcheshmeh copper mine tailings, mineralogical studies

۱- مقدمه

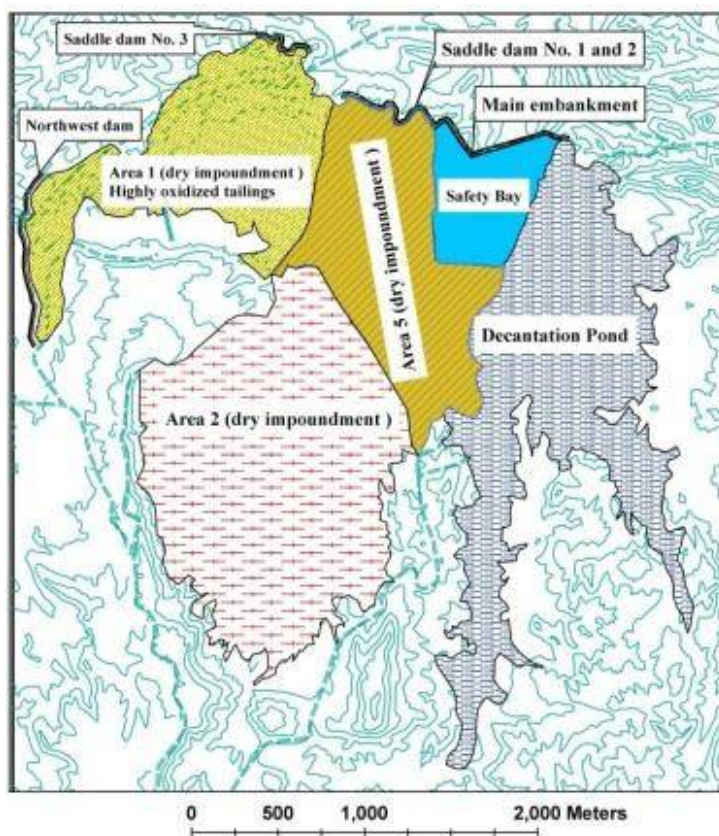
باطله های فرآوری در فرآیندهای فرآوری و غنی سازی کانسنگ معدنی، که کانیهای هدف و یا فلزات را از سنگ میزبان جدا می سازند، تولید می گردند. پریارسازی (Benification) کانسنگ معمولاً با خردایش آن آغاز می شود. در این مرحله ماده معدنی به ذرات دارای اندازه ماسه تا سیلت خرد می گردد. کانیهای هدف از کانسنگ آسیاب شده بوسیله تفکیک چگالشی، مغناطیسی، شناور سازی (فلوتاسیون) و یا سایر روشهای غنی سازی جدا می گردند. پسماند فرآیند فرآوری و تغلیظ که ممکن است تا ۹۰ درصد وزنی کانسنگ را شامل شود، به رغم اینکه از کانیهای هدف تهی گردیده؛ اما می تواند دارای ترکیب زمین شیمیایی متنوعی باشند. کانیهای موجود در باطله ها را می توان ناشی از حوادث گوناگون با دوره های زمانی متفاوت دانست. کانیهای اولیه شامل کانیهای بی ارزش نظیر سیلیکاتها و کانیهای با ارزش مانند بیشتر کانیهای سولفیدی می باشند که از کانسنگ اولیه منشا گرفته اند؛ در حالیکه کانیهای ثانویه در طی زمان و با هواز دگی کانیهای اولیه تشکیل شده اند (Jamboor, 1994). هدف از انجام این پژوهش مطالعه و شناسایی ترکیب کانی شناسی باطله های فرآوری در سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه استان کرمان می باشد.

۲- منطقه مورد مطالعه

معدن مس سرچشمه در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان و ۶۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان رفسنجان در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی واقع شده است. از لحاظ موقعیت زمین شناسی منطقه سرچشمه بخشی از کمربند ولکانوپلوتونیک دهج ساردوئیه و در حقیقت ادامه کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر می باشد. سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه که در فاصله ۱۹ کیلومتری شمال معدن مس سرچشمه واقع شده و مشتمل بر چندین حوضچه تخلیه باطله می باشد. سدهای فعال که در حال حاضر باطله های کانه آرای به آنها تخلیه می شوند حالت باتلاقی داشته و رنگ باطله هانیز کاملاً تیره متمایل به خاکستری است؛ در حالیکه با گذشت زمان و در اثر تخریب کانیهای سولفیدی موجود در لایه سطحی باطله های قدیمی، این باطله ها کاملاً اکسید شده اند. شکل ۱ بخش های مختلف سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه را نشان می دهد.

۳- روش کار

روش کار بر اساس مطالعات کانی‌شناسی بر مبنای مقاطع نازک و صیقلی بنا نهاده شده است. پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی نقشه‌های مربوط به منطقه و طی چندین بازدید نمونه برداری از منطقه صورت گرفت. سپس تعداد ۳۰ نمونه از بخش‌های تازه و غیر اکسیدی سد باطله نمونه برداری و مقاطع نازک و صیقلی از آنها تهیه گردید. برای نمونه برداری از باطله‌ها از ابزارهای غیر فلزی استفاده شد و دقت لازم برای جلوگیری از آلوده شدن نمونه‌ها با یکدیگر صورت پذیرفت. نمونه‌های باطله در محفظه پلاستیکی جمع‌آوری شدند. بعد از این مرحله مطالعات میکروسکوپی بر روی مقاطع نازک و صیقلی انجام شد و کانی‌های موجود در باطله‌ها شناسایی شدند. کانی‌های شناسایی شده باطله‌های معدن سرچشمه شامل کانی‌های سیلیکاتی، سولفیدی و اکسیدی می‌باشند که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم.



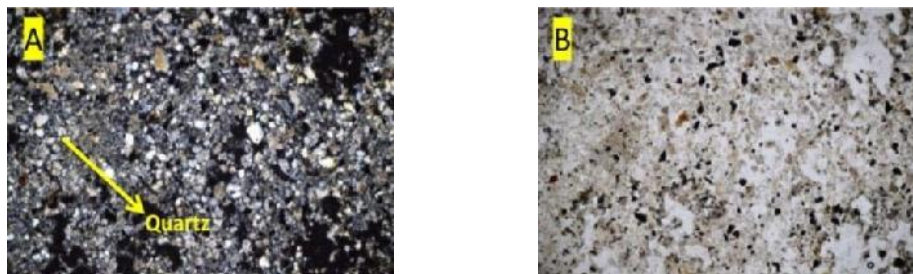
شکل ۱: نقشه مربوط به بخش‌های مختلف سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه (خراسانی پور، ۱۳۹۰).

۴- کانی‌های سیلیکاتی

۴-۱- کوارتز

کوارتز (SiO_2) یکی از فراوانترین کانی‌های سیلیکاتی در باطله‌ها می‌باشد. اندازه کوارتزها از کمتر از ۰/۲ میلی‌متر تا ۳ میلی‌متر است و عموماً بی‌شکل هستند. بعضی از انواع کوارتزها دارای حاشیه‌های گرد و مدور با خاموشی موجی می‌باشند.

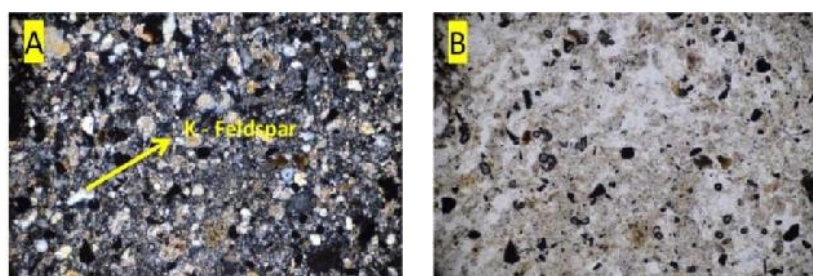
مقدار کوارتز در مقاطع بین ۱۰ تا ۴۰ درصد است. منشأ کانیهای کوارتز و سیریسیت در باطله ها زون دگرسانی کوارتز - سیریسیتی موجود در معدن می باشد. این کانیها به همراه پیریت + کانیهای رسی + کلریت $\pm$ کالکوپیریت از کانیهای اصلی زون فیلیک محسوب می شوند (Shahabpour and Dorandish, 2008). شکل ۲ حضور کانی کوارتز را در باطله ها نشان می دهد.



شکل ۲: کانی کوارتز در باطله ها (A- وضعیت XPL؛ B- وضعیت PPL، بزرگنمایی $\times 10$ ، طول میدان دید ۲mm)

۴-۲- فلدسپار قلیایی

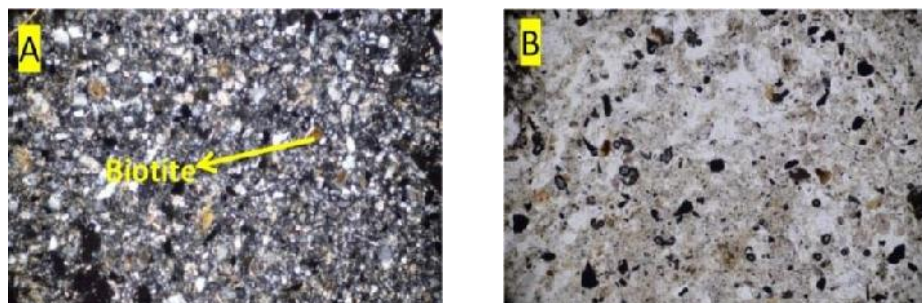
ارتوکلاز ($KAlSi_3O_8$) تنها فلدسپار قلیایی می باشد که در زمینه مقاطع نازک دیده می شود. اندازه این بلورها در مقاطع از ۰/۲ تا ۴ میلی متر متغیر است. این کانی در مقاطع بصورت شکل دار تا نیمه شکل دار دیده می شود. مقدار آنها در مقاطع مورد مطالعه بین ۴ تا ۱۰ درصد است. ارتوکلاز به دلیل دگرسان بودن نمونه ها اغلب به سیریسیت و کانی های رسی تبدیل شده است. فلدسپار قلیایی در زون پتاسیک کانسار سرچشمه وجود دارد. شکل ۳ حضور فلدسپار پتاسیم را در باطله ها نشان می دهد.



شکل ۳: فلدسپار پتاسیم در باطله ها (A- وضعیت XPL؛ B- وضعیت PPL، بزرگنمایی $\times 10$ ، طول میدان دید ۲mm)

۴-۳- بیوتیت

بیوتیت $K_2(Mg, Fe)_2(OH, F)_2(AlSi_3O_{10})$ به صورت نیمه شکل دار در مقاطع دیده می شود. مقدار بیوتیت در مقاطع کم و حدود ۴ درصد می باشد. در کانسار مس پورفیری سرچشمه دو نوع بیوتیت اولیه و ثانویه مشاهده می شود. بیوتیت اولیه مستقیماً از ماگما تبلور یافته است در صورتی که بیوتیت ثانویه در اثر دگرسانی و جانشینی کانی های فرومنیزین ایجاد می شود (شهاب پور، ۱۳۹۰). شکل ۴ حضور بیوتیت را در باطله ها نشان می دهد.

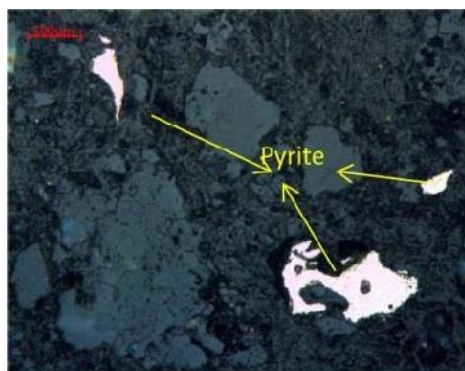


شکل ۴: کانی بیوتیت در باطله‌ها (A- وضعیت XPL؛ B- وضعیت PPL، بزرگنمایی تصویر X۱۰، طول میدان دید ۲ mm)

۴-۴- کانیهای سولفیدی

۴-۴-۱- پیریت

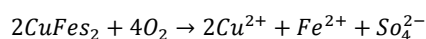
پیریت (FeS_2) از فراوانترین کانی‌های سولفیدی موجود در باطله‌ها است؛ بطوریکه متوسط میزان پیریت موجود در باطله‌ها بین ۷/۵ تا ۸ درصد گزارش یافته است (خراسانی پور، ۱۳۹۰). اندازه این پیریتها حدود ۳-۷ میلی متر می باشد که به صورت نیمه شکل دار تا شکل دار دیده می شود. پیریت در مقاطع صیقلی، دارای رنگ زرد کم رنگ است و در بعضی نمونه‌ها فاقد هوازدگی و در مواردی هم به شدت هوازده شده است. در بسیاری از نمونه‌ها پیریت به اکسید آهن تجزیه شده است. پیریت در کانسار مس پورفیری سرچشمه به وفور در تمامی مناطق کانه زایی یافت می گردد. این کانی مهمترین کانی سولفیدی در زون هیپوژن است که به صورت پراکنده و همچنین در رگه‌ها دیده می شود (شفیعی، ۱۳۷۹). شکل ۵ حضور پیریت را در باطله‌ها نشان می دهد. وجود پیریت به عنوان مهمترین کانی سولفیدی در باطله‌ها موضوعی است که اهمیت زیست محیطی فراوری دارد؛ زیرا این کانی در صورتیکه در معرض اکسیژن جوی قرار گیرد به سرعت اکسید شده و زهاب اسیدی حاوی عناصر بالقوه سمی تولید می کند. شواهد میدانی در بخشهای خشک شده سد رسوبگیر معدن سرچشمه نیز بخوبی موید ایجاد شرایط اسیدی در اثر هوازدگی باطله و بویژه اکسید شدن پیریت موجود در این باطله‌ها می باشند. پیریت‌های طبیعی علاوه بر عناصر اصلی Fe و S، حاوی مقادیر اندکی از عناصر فرعی و کمیاب مانند Ag، As، Bi، Cd، Co، In، Mo، Ni، Pb، Se، Sn، Ti، V، Au، Ge، Hg و Ti هستند که به صورت جایگزینی در آن یافت می شوند (Vaughan and Craig, 1978). این موضوع اهمیت درصد بالای پیریت (حدود ۸ درصد) را نشان می دهد که علاوه بر جنبه‌های زیست محیطی قابلیت اقتصادی آن نیز باید در نظر گرفته شود؛ بویژه آنکه اگر بتوان ناخالصی‌های با ارزش آن مانند طلا و نقره را به عنوان محصول فرعی جداسازی کرد.



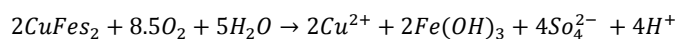
شکل ۵: وجود پیریت در مقاطع صیقلی

۴-۴-۲- کالکوپیریت

یکی دیگر از کانیهای سولفیدی موجود در مقاطع صیقلی کالکوپیریت ($CuFeS_2$) است. کالکوپیریت در بعضی جاها نسبت به پیریت، بیشتر تحت تاثیر هوازدگی قرار گرفته و تبدیل به اکسید آهن شده است که آن هم به دلیل ناخالصیهای عنصری در ترکیب آن نسبت به پیریت است. کالکوپیریت به صورت بی شکل تا نیمه شکل دار دیده می شود. کالکوپیریت در زون هیپوژن معدن سرچشمه وجود دارد، که یکی از اساسی ترین و عمده ترین کانی های اولیه این زون محسوب می شود. شکل ۶ نمونه هایی از وجود کالکوپیریت را در باطله های معدن سرچشمه نشان می دهد. کالکوپیریت های حاوی ناخالصی هایی مانند Ag، As، Bi، Cd، Co، In، Mo، Ni، Pb، Ti، V، Au، Ge، Hg و Ti هستند که به صورت جایگزینی در آن یافت می شوند (Lotter moser, 2003). کالکوپیریت در طی فرآوری کانسنگ معدنی به روش شناور سازی و در قالب کنسانتره معدنی جدا می گردد. با این حال بسته به میزان کارایی فرایند فرآوری امکان حضور این کانی در باطله های حاصل از فرآوری وجود دارد. اکسیداسیون کامل کالکوپیریت بدون تولید اسید (واکنش ۱ و ۲) بصورت زیر می باشد.



واکنش ۱



واکنش ۲



شکل ۶: (A) حضور کالکوپیریت در باطله ها، (B) حضور کالکوپیریت و پیریت در باطله ها



بیست و سومین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

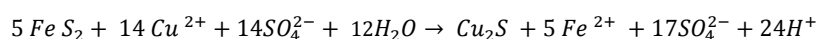


23rd Symposium of Crystallography & Mineralogy of Iran

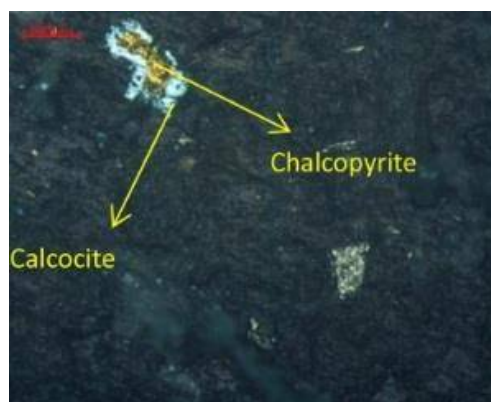
۷ و ۸ بهمن ماه ۱۳۹۴ دانشگاه اصفهان

۴-۴-۳ - کالکوسیت

کالکوسیت (Cu_2S) از کانی‌های سولفیدی دیگری است که مقدار آن در مقاطع شاید به کمتر از ۱ درصد برسد که حاصل تجزیه کالکوپیریت و گاهی پیریت به کالکوسیت است. اندازه بلورهای کالکوسیت از ۱ میلی متر کوچکتر است. نحوه تشکیل کالکوسیت بدین صورت است که تحت شرایط سطحی، سولفیدهای اولیه مس اکسید می شوند و سولفاتهای محلول را تشکیل می دهند، که با آبهای فرورو به طرف پائین حرکت می کند و با کانیهای اولیه مانند پیریت واکنش می دهند و در نتیجه این واکنشها کالکوسیت تشکیل می گردد (واکنش ۳). کالکوسیت مهمترین و فراوانترین کانی منطقه سولفیدی غنی شده ثانویه معدن مس سرچشمه است. شکل ۷ حضور کالکوسیت را در باطله های معدن سرچشمه نشان می دهد.



واکنش ۳



شکل ۷: حضور کالکوپیریت و کالکوسیت در باطله ها

۴-۴-۲ - کانیهای اکسیدی

۴-۴-۱ - اکسیدهای آهن

از کانی هایی که در مقاطع به مقدار کم حضور دارند و بصورت نیمه شکل دار و شکل دار دیده می شوند و اندازه بلورهای آن حدود ۲ میلی متر است. اکسید آهن موجود در باطله ها از اکسایش پیریت حاصل شده است. در معدن مس سرچشمه اکسیدهای آهن بصورت بلورهای شکل دار اولیه و همچنین بصورت رگچه ای همراه با رگه های کوارتز و کالکوپیریت تشکیل شده است. شکل ۸ حضور اکسید آهن را در باطله های معدن سرچشمه نشان می دهد. مسلماً با گذشت زمان و اکسید شدن باطله های فرآوری در بخش های خشک شده سد رسوبگیر اکسیدهای آهن تیره ای تشکیل خواهد شد که در نهایت رنگ تیره اولیه باطله ها را به رنگ های قرمز و زرد تبدیل خواهد کرد.



شکل ۸: (D) حضور کالکوپیریت و اکسید آهن در باطله ها، (F) حضور پیریت و اکسید آهن در باطله ها.

کانی های فرعی موجود در باطله ها شامل اسفن، آپاتیت و زیرکن می باشند. بیشترین کانی فرعی موجود در مقاطع اسفن می باشد که به صورت نیمه شکل دار مشاهده می شود. آپاتیت و زیرکن به مقدار کمتری در مقاطع مشاهده شده اند و کانی های ثانویه شامل اپیدوت، سریسیت، کلریت و کلسیت می باشد.

نتیجه گیری

ترکیب کانی شناختی باطله های غیر دگرسان در سد رسوبگیر سرچشمه شامل کانیهای کوارتز، فلدسپار قلیایی، پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت و اکسیدهای آهن می باشد. این ترکیب کانی شناختی منطبق بر ساختار کانی شناختی باطله های غیر هوازده می باشد که حضور آنها متأثر از شرایط کانی شناسی سنگ معدن مس سرچشمه می باشد. در مقاطع صیقلی مطالعه شده موارد بسیاری از احاطه شدن پیریت توسط کالکوپیریت مشاهده گردید. هاله های سولفیدی مس موجود در اطراف پیریت در زونهای درون زاد و برون زاد به دلیل ماهیت متفاوت فرایندهای تأثیر گذار بر این دو زون متفاوت است، از آنجا که فرایندهای غنی سازی ثانویه بر روی این دو زون اعمال شده و در این دو زون تبدیل کالکوپیریت و پیریت به کالکوسیت بسیار معمول است. در نتیجه، هاله های سولفیدی مس اطراف پیریت، این زون علاوه بر کالکوپیریت، از نوع کالکوسیت هستند؛ در حالیکه در زون درون زاد این فرایندها تأثیر نداشته اند، این هاله ها اکثراً کالکوپیریتی هستند. مسلماً با توسعه معدن و معدنکاری از بخش های مختلف آن ترکیب کانی شناسی باطله های فرآوری نیز تغییر خواهد کرد و با اتمام ذخیره سوپرزن و معدنکاری در زون هیپوژن فرآوری از کنسانتره کالکوپیریت-کالکوسیت به کنسانتره کالکوپیریتی تغییر نموده است. چنین شرایطی در ترکیب کانیهای سولفیدی و کانیهای راه یافته به باطله های فرآوری نیز تأثیر بسزایی خواهد داشت. نتایج بدست آمده از این پژوهش می تواند راه گشای خوبی برای مطالعات زیست محیطی و اقتصادی باطله های فرآوری محسوب گردند.

منابع

۱. خراسانی پور، م.، ۱۳۹۰. تفکیک شیمیایی، تحرک و زیست دسترس پذیری عناصر بالقوه سمی در خاک و رسوبات مرتبط با معدن و مجتمع مس سرچشمه. پایان نامه دکتری زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه شیراز، ۳۸۶ ص.



بیست و سومین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران



23rd Symposium of Crystallography & Mineralogy of Iran

۷ و ۸ بهمن ماه ۱۳۹۴ دانشگاه دامغان

۲. شفیع، ب.، ۱۳۷۹. مطالعه رخداد پراکندگی ژئوشیمیایی و مدل فلز زایی طلا و نقره در کانسار مس پورفیری سرچشمه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۳۵۳ ص.

۳. شهاب پور، ج.، ۱۳۹۰. زمین شناسی اقتصادی. انتشارات دانشگاه کرمان، ۵۴۲ ص.

4. Jambor, J.L., 1994. Mineralogy of sulfide-rich Tailings and Their oxidation products. In Environmental Geochemistry of sulfide Mine-waste. Mineralogical Association of Canada, short course Hand book, v. 22, p. 59-102.

5. Lottermoser, B.G., 2003. Mine waste: Characterization, treatment and Environmental Impacts. Berlin springer, Press, 277pp.

6. Shahabpour, J., 1982. Aspects of alteration and mineralization at The Sar- Cheshmeh copper- molybdenum deposit. Kerman, Iran: Unpub Ph.D. Thesis, leeds university, 342pp.

7. Shahabpour, J., Dorandish, M., 2008. Mine drainage water from The Sar-Cheshmeh porphyry copper mine, Kerman, IR Iran. Environ. Monti. Assess. V. 141, p. 105-120.

8. Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran, a review, American Association of petroleum Geology Bulletin, v. 52, P. 1229-1258.

9. Vaughan, D.J., Craig, J.R., 1978. Mineral chemistry of metal sulfides. Cambridge science series, Cumbridge university press, cambridge.