

اثرات دگرگونی بر روی کانی‌زائی سولفیدی توده ای آتش فشانی در منطقه زورآباد خوی

نوشته : زهرا قدرتی و دکتر علیجان آفتابی*

Effects of metamorphism on the Zurabad volcanogenic massive sulfide deposit in Khoy region

By : Z. Ghodrati & Dr. A. Aftabi*

Abstract

Volcanogenic massive sulfide mineralization occurred within metabasaltic rocks in the Zurabad area. The rocks have been metamorphosed to greenschist facies. Mineralization in the metabasaltic rocks, metamorphism of these rocks and the effects of metamorphism on the sulfide lenses are new discoveries in the area and haven't been noticed previously. This paper documents the effects of metamorphism on the sulfide minerals and post-metamorphic processes on the sulfide mineralization. Mineralization occurs as sulfide lenses and gossans. In addition, sulfide mineralization is observed as disseminated, veins and layers. Sulfide minerals are: pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, sphalerite, covellite and marcasite. The primary oxide minerals are ilmenite and magnetite. The main silicate minerals are actinolite, chlorite, epidote, albite and quartz. Chlorite and actinolite indicate regional metamorphic foliation. The presence of porphyroblastic and granoblastic textures, folding of layers and veinlets, foliation of sulfides, annealing and growth of subgrains, suture and sliding rims in porphyroblast suture and cataclastic texture, all show evidence of dynamic-regional metamorphism. Regional metamorphism and dehydration reactions affected the area, and in this stage chlorite, epidote, calcite, quartz and sulfide veins were formed. Oxidation and supergene processes formed colloform, birds eye pyrite. Chalcopyrite and pyrrhotite were converted to pyrite, marcasite and Fe-oxides. Based on the textural and mineralogical studies, mineralization in the Zurabad area is metamorphosed volcanogenic massive sulfide of Cyprus-type with enrichment of primary pyrrhotite. The temperature of mineralization is estimated from sphalerite geothermometry to be about 240° c.

چکیده

کانی‌زائی در منطقه زورآباد در واحد متابازالتی که در حد رخساره شیبست سبز دگرگون شده، رویداده است. کانی‌زائی در متابازالت، دگرگونی این واحد و تأثیر آن بر روی سولفیدها از یافته‌های جدید در این منطقه است که تاکنون به آن توجه نشده است. این مقاله به تأثیرات دگرگونی روی سولفیدها می‌پردازد همچنین مجموعه فرآیندهای مؤثر روی کانی‌زائی را بعد از تشکیل مورد مطالعه قرار می‌دهد. کانی‌زایی به صورت عدسی‌ها و مناطق گوسان در منطقه دیده می‌شود. علاوه بر شکل باد شده کانی‌زائی انشعاری، رگچه‌ای و لایه‌ای نیز روی داده است. کانی‌های سولفیدی شامل پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، اسفالریت،

کولیت و مارکاسیت بوده و کانی‌های اکسیدی اولیه ایلمنیت و مگنتیت می‌باشند. عمده‌ترین کانی‌های سیلیکاتی، اکتینولیت، کلریت، اپیدوت، آلپیت و کوارتز هستند و کانی‌های کلریت و اکتینولیت در سنگ ایجاد شیبستوزیته نموده‌اند. مطالعات بافتی نشان می‌دهند که کلیه سولفیدها مانند سیلیکات‌ها متحمل دگرگونی شده‌اند. وجود بافت‌هایی نظیر رشد پورفایروبلاستیک، گرانوبلاستیک، چین‌خوردگی لایه‌ها و رگچه‌های سولفیدی، جهت یافتگی سولفیدها در جهت شیبستوزیته، تبلور مجدد و رشد بلورهای فرعی، وجود حاشیه‌های جوش‌خورده و لغزشی در پورفایروبلاستها و بافت کاتاکلاستیک همگی نشان دهنده رویداد دگرگونی دینامیکی- ناحیه‌ای می‌باشند. بعداز دگرگونی پیشرونده فرآیندهای آبرو و دگرگونی پسرونده منطقه را تحت تأثیر قرار داده و در این مرحله رگه‌های کلریتی، اپیدوتی، کلسیتی و کوارتزی همراه با رگه‌های سولفیدی تشکیل شده‌اند. فرآیندهای اکسیداسیون و سوپرژن نیز باعث تشکیل پیریت کلوفرم چشم پرنده‌ای، تبدیل کالکوپیریت و پیرویت به پیریت و مارکاسیت و تشکیل اکسیدهای آهن شده‌اند. براساس مطالعات بافتی و کانی‌شناسی، کانی‌زائی در منطقه زورآباد از نوع سولفیدی توده‌ای، آتشفشانی نوع قبرسی و دگرگون شده و غنی از پیرویت اولیه می‌باشد. نمای تشکیل کانی‌زائی براساس درصد مولی FeS در اسفالریت حدود ۲۴۰ درجه سانتیگراد برآورد می‌شود.

مقدمه

سازنده منطقه می‌باشند که شامل سنگهای فوق بازیک (هارزبورژیت و یونیت) سرپانتینی شده، آمفیبولیت، متابازالت و آهک‌های پلاژیک می‌باشند. تمامی واحدهای مزبور تحت تأثیر دگرگونی قرار گرفته و خاصیت ملانژی دارند. سنگهای آهکی با سن اثوسن و رسوبهای کواترنری روی واحدهای افیولیت ملانژ قرار گرفته‌اند. همچنین سنگهای آندزیتی مربوط به فعالیت‌های ولکانیکی جوان با گسترش محدودی در منطقه دیده می‌شوند (شکل ۱). کانی‌زائی در واحد متابازالتی روی داده است. این واحد به‌شدت اسپلیتی شده و کانی‌های کلریت و اپیدوت نمای سبز به این سنگها داده است این واحد نیز در حد رخساره شیبست سبز دگرگون شده است.

ویژگی‌های ساختی کانی‌زائی

در منطقه زورآباد دو زون کانی‌زائی مورد بررسی قرار گرفته است که شامل زون کانی‌زائی شمال علی شیخ و شمال قزل داش پایین می‌باشد. کانی‌زائی در این زون‌ها در داخل سنگ متابازالتی روی داده و به‌صورت عدسی شکل، رگچه‌ای، انقشاری و لایه‌ای است. اکثریت عدسی‌ها دارای راستای شمال باختری- جنوب خاوری بوده و کم و بیش از روند ساخت‌های منطقه تبعیت می‌کنند. طول عدسی‌ها از ۲۰ سانتی‌متر تا ۲/۵ متر و عرض آنها از ۵ تا ۷۰ سانتی‌متر متغیر است. به‌علت تکتونیزه بودن منطقه بیشتر عدسی‌های سولفیدی دچار خردشدگی، گسلش و چین خوردگی شده‌اند (شکل ۲). همچنین به‌دلیل تأثیر فرآیندهای اکسیداسیون اکثر عدسی‌های سولفیدی نمای گوسانی دارند (شکل ۳). بافت عدسی‌های سولفیدی توده‌ای و لایه‌ای است. در بعضی موارد لایه‌های متناوب سیلیکات و سولفید مشاهده می‌گردد که سبب لایه‌های سولفیدی از حد مهلمتر تا حدود سه سانتی‌متر است (شکل ۴).

کانسارهای سولفیدی توده‌ای آتشفشانی بیشتر تحت تأثیر دگرگونی قرار گرفته‌اند در این کانسارها به‌علت تبلور دوباره، تغییر شکل و تعادل دوباره کانی‌ها، بافت‌های اولیه بنترت حفظ شده‌اند. فقط در چند کانسار جوان نظیر قبرس، عمان و ژاپن بافت‌های میکروسکوپی حفظ شده‌اند که قابل مقایسه با بافت سولفیدهای امروزی است. برپایه مطالعات Graig and Vokes (1993) تغییر شکل کانی‌های سولفیدی طی دگرگونی به دو صورت می‌باشد: تغییر شکل شکننده که معمولاً در کانی‌های سخت مثل پیریت صورت می‌گیرد و تغییر شکل پلاستیکی که در کانی‌های نرم و دارای مقاومت پائین روی می‌دهد. تاکنون مطالعه جامعی در مورد مدل کانی‌زائی و ویژگی‌های بافتی کانسارهای سولفیدی توده‌ای آتشفشانی در ایران صورت نگرفته است. هدف از ارائه این مقاله بررسی چگونگی اثرات دگرگونی بر روی کانی‌زائی سولفیدی توده‌ای آتشفشانی در منطقه زورآبادخوی است.

موقعیت زمین‌شناسی منطقه

منطقه زورآباد در زون ساختاری البرز باختری- آذربایجان و در واحد آمیزه رنگین شمال باختری کشور موسوم به افیولیت‌های خوی- ماکو قرار دارد این منطقه در حدود ۵۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان خوی بر محدوده‌ای بین طول‌های جغرافیایی ۳۳' ۳۳" ، ۳۳' ۳۶" ، ۳۳' ۳۴" شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۸' ۵۰" ، ۲۸' ۵۵" شمالی واقع شده‌است. واحدهای سنگی تشکیل دهنده منطقه شامل سنگهای کرتاسه پایین، کرتاسه بالا و ترشیری می‌باشند. سنگهای کرتاسه پایین، لایه‌های ماسه‌سنگی، توفی و توغیت می‌باشند که در حد رخساره شیبست سبز دگرگون شده‌اند. سنگهای افیولیتی باسن کرتاسه بالا واحدهای اصلی



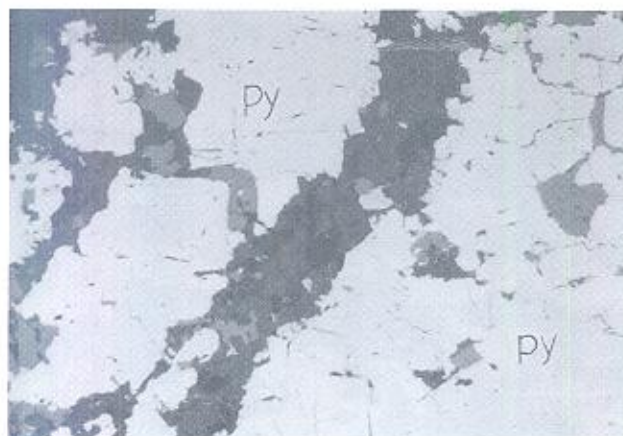
شکل ۲ - یک عدسی سولفیدی چین خورده و گسلیده.



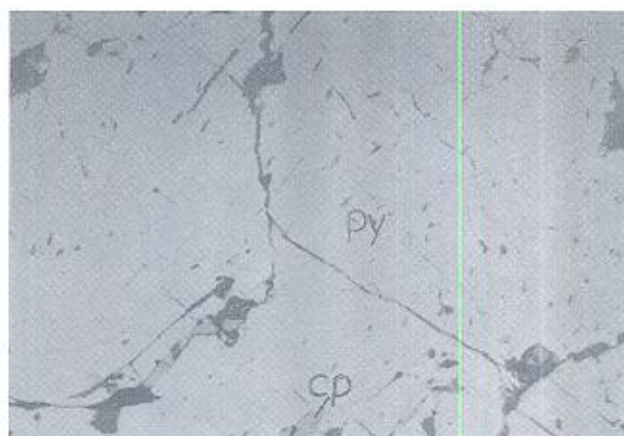
شکل ۳ - اکسیداسیون و چین خوردگی در عدسیهای سولفیدی.



شکل ۴ - لایه بندی سولفید و سیلیکات، ضخامت لایه های سولفیدی تا سه سانتی متر نیز می رسد.



شکل ۶ - چپن خوردگی و قطع شدگی در یک لایه پیریتی. لازم به ذکر است که در این نمونه به علت خوردگی شیمیایی (Etching) کالکوپیریت به رنگ آبی دیده می شود. نور انعکاسی، بزرگنمایی X ۱۰۰



شکل ۵ - لایه بندی سولفیدها در مقیاس میکروسکوپی. نور انعکاسی، بزرگنمایی X ۱۰۰

دگرگونی پیشرونده بوجود می آید. در منطقه زورآباد با وجود دگرگونی غدسی ها، شواهدی از تبدیل پیریت به پیروتیت مشاهده نمی گردند. بنابراین به نظر می رسد که پیروتیت های منطقه اولیه بوده و مقدار زیاد پیروتیت به گمان ناشی از فقر گوگرد در محیط تشکیل سولفیدها می باشد.

کالکوپیریت و اسفالریت نیز از جمله کانی های سولفیدی هستند که به صورت انتشاری، لایه ای و توده ای تشکیل شده اند. این کانی ها نیز تحت تأثیر دگرگونی قرار گرفته و بافت های تبلور مجدد، چپن خوردگی، طول شدگی نشان می دهند. ایلمنیت و مگنتیت کانی های اکسیدی هستند که بیشتر به صورت میله ای و طولی شده در جهت فولیاسیون قرار گرفته اند.

تخمین دمای احتمالی تشکیل کانسار با استفاده از مقدار FeS در اسفالریت

از آنجا که اسفالریت یکی از دیرگدازترین سولفیدهاست و براساس شرایط تشکیل دارای مقادیر متفاوتی آهن می باشد بنابراین یک وسیله ژئوشیمیایی مناسب برای تشخیص محیط تشکیل و تغییر شکل سولفیدهاست.

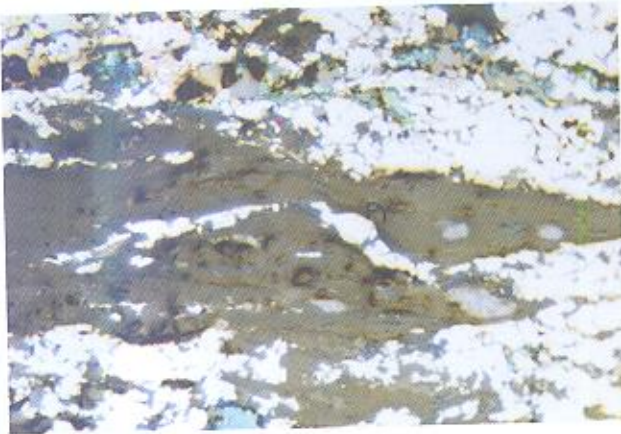
اسفالریت های مورد استفاده توسط پروفیسور Maclean در دانشگاه مکگیل کانادا به روش میکروپروب تجزیه شده اند. مقدار میانگین درصد

سیالات بوجود آمده اند (Cook et al., 1993).

سومین نوع پیریت، پیریت های بعد از دگرگونی هستند که بیشتر به صورت رگچه ای همراه با رگچه های کلریتی، اپیدوتی کلسیتی و کوارتزی تشکیل شده اند. این رگچه ها لایه بندی اولیه را قطع می کنند و رگچه های سولفیدی دارای کانی پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت می باشند. به نظر می رسد تشکیل این رگچه ها بعد از دگرگونی پیشرونده و طی فرآیندهای آبرزا و همزمان با رگه های لیستونیتی (Listvinite) در منطقه باشد (شکل ۱۱).

چهارمین نوع پیریت، پیریت های حاصل از فرآیندهای اکسیداسیون و سوپرژن می باشند. این پیریت ها در اثر اکسیداسیون پیروتیت و کالکوپیریت تشکیل شده اند که به صورت پیریت های چرکی حفره دار (Dirty porous pyrite) همراه با تیغه های مارکاسیت، پیریت کلوفرم چشم پرنده ای (شکل ۱۲) می باشند.

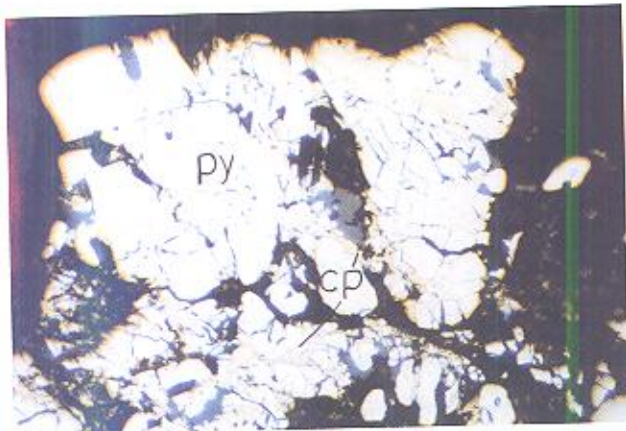
پیروتیت بعد از پیریت دارای بیشترین فراوانی است. کانی های پیروتیت به صورت نیمه شکل دار و میله ای و توده ای در زمینه سنگ می باشند. کانی های پیروتیت در اثر دگرگونی تبلور مجدد یافته و یا با یکدیگر زاویه 120° تشکیل می دهند (شکل ۱۳). برکانسارهای سولفیدی توده ای پیروتیت یا به صورت اولیه تشکیل می شود و یا از تبدیل پیریت طی



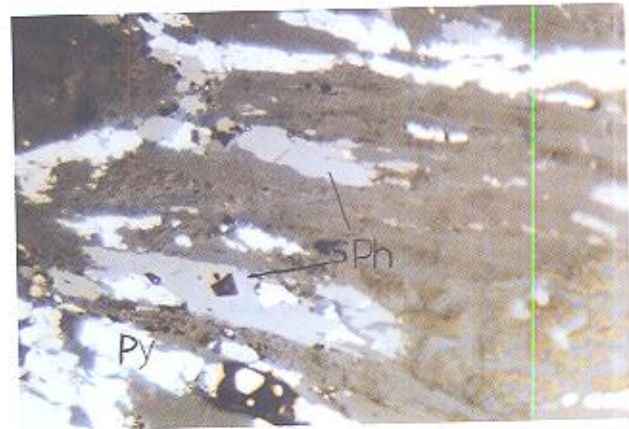
شکل ۸ - رشد بلورهای فرعی در حاشیه متابلاست های پیریت. نور انعکاسی، بزرگنمای X ۱۰۰



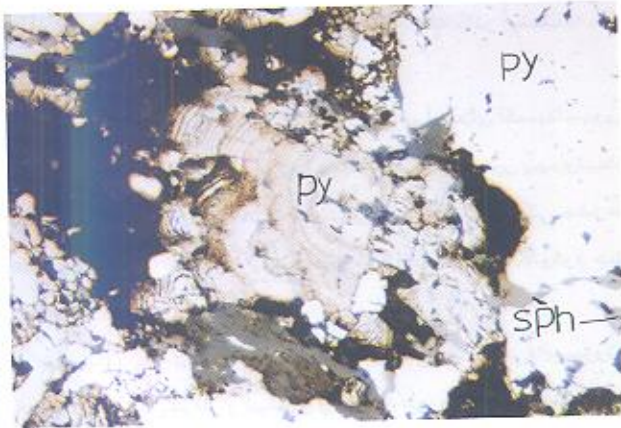
شکل ۷ - جوش خوردگی در حاشیه سه متابلاست پیریت و چرخش انکلوژیونهای سیلیکاتی در داخل پیریت. نور انعکاسی، بزرگنمای X ۱۰۰



شکل ۱۰ - بافت کاتاکلاستیک در پیریت و برشدهگی شکستگی ها توسط کالکوپیریت. نور انعکاسی، بزرگنمای X ۱۰۰



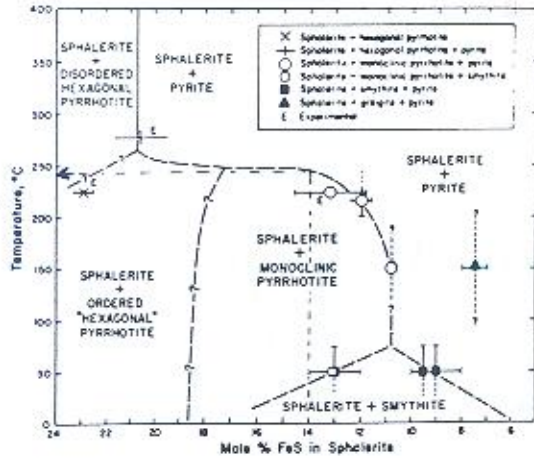
شکل ۹ - طولیل شدگی و جهت یافتگی کانی های اسکالریت و پیریت در جهت شیبستورزیه. نور انعکاسی، بزرگنمای X ۱۰۰



شکل ۱۲ - پیریت کلو فرم چشم برنده ای که در اثر فرایندهای اکسیداسیون و هوازدگی تشکیل شده است. نور انعکاسی، بزرگنمایی X ۱۰۰



شکل ۱۱ - رگچه سولفیدی جوان که لایه بندی اولیه (لایه های افقی) و کانی های اکتینولیت را قطع کرده است. نور PPI، بزرگنمایی X ۴۰



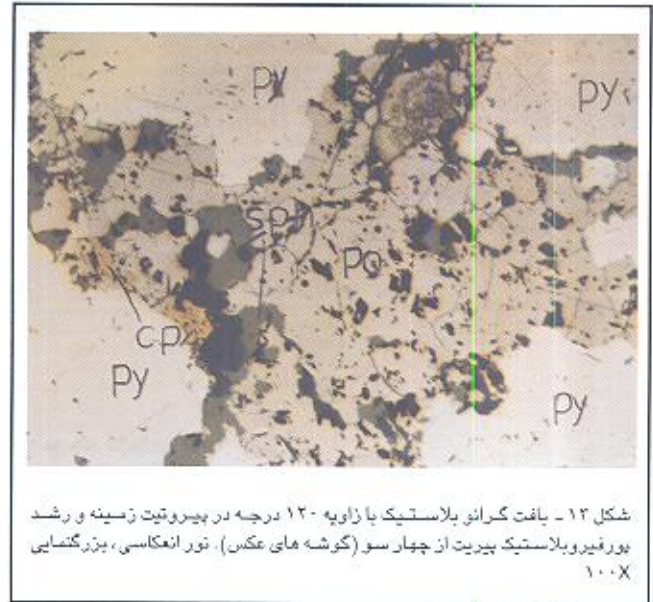
شکل ۱۵ - نمودار فازی و درصد مولی آهن در اسفالریت در ارتباط با دمای تشکیل سولفیدها در سیستم FeS-ZnS-S. خطوط منقطع مرزهای یک متغیر می‌باشند که از طریق نتایج آزمایشگاهی و مجموعه‌های طبیعی رسم شده‌اند (Scott and Kissin 1973)

بر اساس مطالعات Scott (1973) هنگام استفاده از فشارسنج اسفالریت بایستی سه فاز اسفالریت، پیریت و پیرویت همزاکونال در حال تعادل باشند با توجه به اینکه پیرویت‌های منطقه زورآباد از نوع منوکلینیک می‌باشند بنابراین از مقدار FeS اسفالریت نمی‌توان برای فشارسنجی استفاده کرد.

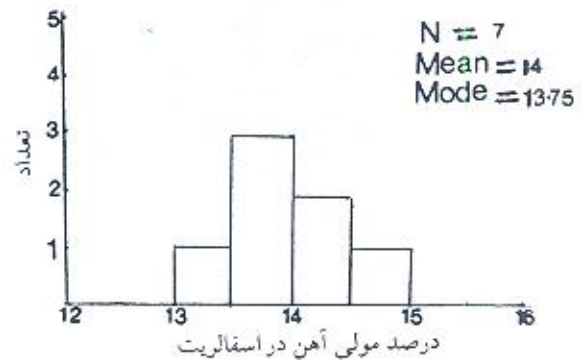
ارزبایی مقدار فشار دگرگونی با استفاده از روشهای دیگر مشکل می‌باشد اما پاراژنز سیلیکاتها (آلبیت، اپیدوت، کلریت، اکتینولیت) نشان می‌دهند که دگرگونی ناحیه‌ای در منطقه تا حد رخساره شیبست سبز رخ داده است. دمای این رخساره بر اساس کارهای تجربی در حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد و فشار آن ۲/۵ تا ۴ کیلو بار می‌باشد.

مدل کانی‌زایی و بافتی عدسی‌های سولفیدی

باتوجه به یافته‌های صحرایی، بافتی و ژئوشیمیایی، مراحل تکامل سیستم گرمایی در منطقه زورآباد از مرحله آتشفشانی تا اکسیداسیون و فرسایش را می‌توان بدین صورت خلاصه نمود که در مرحله آتشفشانی، آبهای ژرفا گرم شده و ضمن ترکیب با گازهای آتشفشانی pH اسیدی پیدا کرده و به حرکت برآمده‌اند. این محلول‌ها تشکیل جریان‌های همرفت داده‌اند و فلزات مس، روی، سرب، طلا و نقره را از داخل سنگهای پوسته اقیانوسی شسته و در نهایت موجب تشکیل کانی‌زایی سولفیدی و اسپلتی شدن سنگهای همبر گردیده‌اند. در مرحله بعد، ضمن جایگزینی افیولیت،



شکل ۱۲ - بافت گرانو بلاستیک با زاویه ۱۲ درجه در پیرویت زمینه و رشد پورفیرو بلاستیک پیریت از چهار سو (کوشه های عکس). نور انعکاسی، بزرگنمایی ۱۰۰X

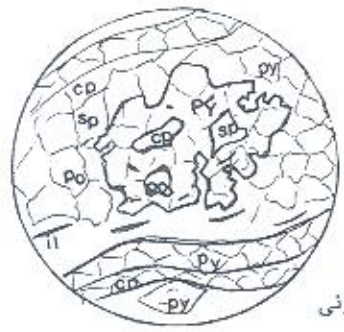
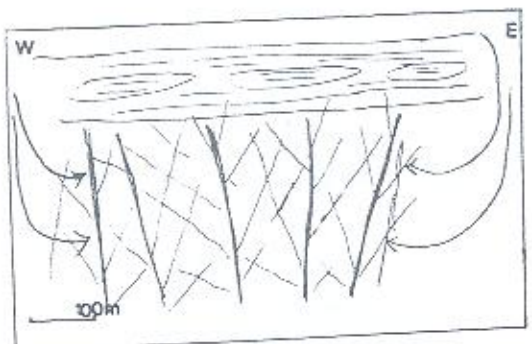


شکل ۱۴ - نمودار فراوانی درصد مولی FeS در اسفالریت

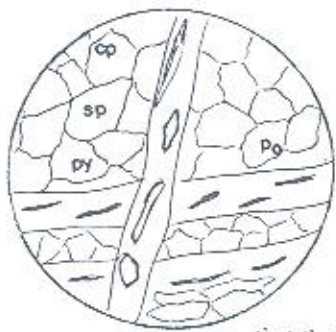
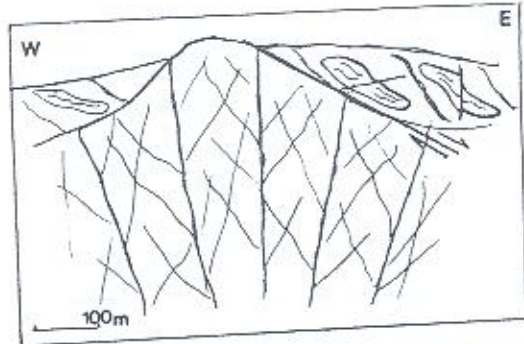
مولی FeS در اسفالریتها ۱۴ بوده و از ۱۲/۵ تا ۱۴/۸ درصد مولی متغیر می‌باشد در شکل ۱۴ نمودار فراوانی FeS در اسفالریت رسم شده است. طبق این نمودار بیشترین تکرار درصد مولی برابر ۱۳/۷۵ می‌باشد. مقدار مس در اسفالریت‌های منطقه به ۰/۱ درصد وزنی می‌رسد این نشان می‌دهد که مقدار مس در اسفالریت پایین بوده و تأثیری بر تخمین دمای کانسار ندارد. وجود مقادیر بسیار کم بافت جدایشی کالکوپیریت در اسفالریت نیز تأییدی بر این مسئله است. درصد کاتیونی آهن در پیرویت‌های منطقه بین ۴۶/۳۱ تا ۴۶/۶۰ می‌باشد این ترکیب به ترکیب پیرویت منوکلینیک نزدیک می‌شود. نمودار (Scott and Kissin 1973) نیز نشان می‌دهد که نوع پیرویت در حال تعادل با اسفالریت و پیریت، پیرویت منوکلینیک می‌باشد. با استفاده از این نمودار (شکل ۱۵) دمای تشکیل کانسار حدود ۲۴۰ درجه سانتیگراد تخمین زده می‌شود.



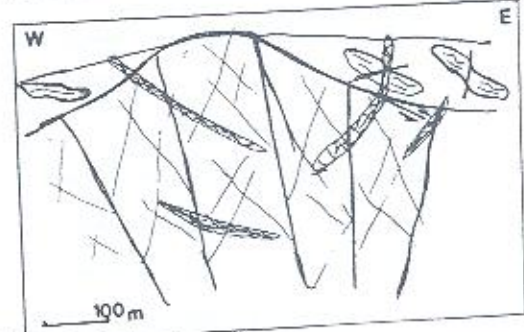
۱- مرحله آشفته‌بانی



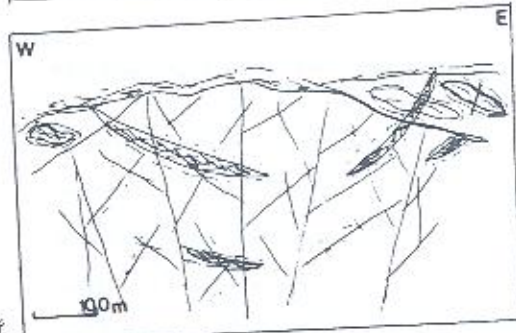
۲- مرحله دگرگونی



۳- مرحله دگرگونی پسروده



۴- مرحله سوپرژن



(الف)

شکل ۱۶- مراحل تکامل کانی‌زایی و بافتی کانسار. شکل الف- مدل کانی‌زایی و شکل ب- مدل بافتی.

بافت‌های تغییر شکل داده نشان‌دهنده رویداد دگرگونی نرحد رخساره شیبست سبز می‌باشند.

۲- وجود رگچه‌های کلریتی، اپیدوتی و کلسیتی همراه با رگچه‌های سولفیدی جوان نشان دهنده فرآیندهای آبزا و دگرگونی پسروده می‌باشند. همچنین تشکیل بافت‌های چشم پرنده‌ای و کلوفرمی تأثیر اکسیداسیون را بر روی کانساز نشان می‌دهند.

۴- استفاده از نماسنج اسفالریت براساس درصد مولی FeS در اسفالریت، نمای تشکیل عدسی‌های سولفیدی را حدود ۲۴۰ برجه سانتیگراد و پاراژنز سیلیکات‌ها نمای دگرگونی را ۲۵۰ تا ۴۰۰ برجه سانتیگراد نشان می‌دهد.

۵- کانی‌زائی در منطقه زورآباد از نوع سولفیدی توده‌ای آتشفشانی دگرگون شده و غنی از پیرویت اولیه می‌باشد.

قدردانی

از زحمات ارزنده پروفیسور مک‌لین (Maclean) از دانشگاه مک‌گیل کانادا که در تجزیه میکروپروب همکاری داشته‌اند کمال تشکر را می‌نمائیم. همچنین از پیشنهادها و انتقادهای سازنده داوران محترم فصلنامه علوم زمین در اعتلای کیفی مقاله قدردانی می‌شود.

دگرگونی کلیه واحدها را تحت تأثیر قرار داده و سولفیدها و سیلیکات‌ها دچار تغییرات بافتی و تغییر شکل شده‌اند. در این مرحله عدسی‌های سولفیدی دچار گسلش، چین‌خورگی و چرخش گردیده‌اند. طبق مشاهدات میکروسکوپی دگرگونی به صورت بنامیک تأثیر گذاشته است. بعد از مرحله دگرگونی، فرآیندهای آبزا موجب تشکیل رگچه‌های اپیدوتی، کلریتی، کلسیتی و سولفیدی جوان شده‌اند و در مرحله آخر نفوذ آب‌های جوی، اکسیداسیون و شسته‌شدن سولفیدها سبب تشکیل زون‌های گوسانی شده‌است. به طوری که اکثر عدسی‌های سولفیدی نمای گوسانی پیدا کرده‌اند. در شکل ۱۶ مراحل تکامل کانی‌زائی و بافتی کانساز ترسیم شده است.

نتیجه‌گیری

- ۱- وجود کانی‌های پیرویت، کالکوپیریت، اسفالریت و پیرویت به صورت توده‌ای، رگچه‌ای، انتشاری در سنگ میزبان بازالتی نشان‌دهنده کانی‌زائی اولیه در منطقه می‌باشند.
- ۲- وجود فولیاسیون در سیلیکات‌ها و سولفیدها، رشد پورفیروبلاستیک، گرانوبلاستیک، چین‌خورگی لایه‌های سولفیدی و دیگر

کتاب‌نگاری

قدرتی، زهرا، ۱۳۷۷، کانی‌زائی سولفیدی توده‌ای آتشفشانی در منطقه زورآبادخوی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۱۱ صفحه

References

- Cook, N.J., Halls, C., and Boyle, A.P., 1993 Deformation and metamorphism of massive sulfide at Sulitjelma, Norway. *Mineral. Mag.*, 57: 67-81.
- Cox, S.F. 1987- Flow mechanisms in sulfide minerals. *Ore Geol. Rev.*, 2: 133-171.
- Cox, S.F., Etheridge, M.A. and Hobbs, B.E., 1981- The experimental ductile deformation of polycrystalline and single crystal pyrite. *Econ. Geol.*, 76:2105-2117.
- Craig, J.R. and Vokes, F.M., 1993- The metamorphism of pyrite and pyritic ores: an overview; *Mineral. Mag.*, 57:3-18.
- Craig, J.R. and Vokes, F.M., 1993- Post-recrystallisation mobilisation phenomena in metamorphosed stratabound sulfide ores, *Mineral. Mag.*, 57:19-28.
- Scott, S.D., 1973- Experimental calibration of the sphalerite geobarometer. *Econ. Geol.*, 63:466-474.
- Scott, S.D. and Kissin, A., 1973- Sphalerite composition in the Zn-Fe-S system below 300 °. *Econ. Geol.*, 68:475-479.

* Shahid Bahonar University, Kerman, Iran