

رخداد کانه زایی سولفید توده ای آتشفشانزاد مس سرسو، جنوب شرق کرمان، بر پایه اطلاعات کانی شناسی، ساخت، بافت و دگرسانی

پوریا ولیخانی^{۱*}، فردین موسیوند^۲، حبیب‌الله قاسمی^۳، مریم شوقانی مطلق^۱

Pooriyavalikhani@gmail.com

^۱ کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه صنعتی شاهرود

^۲ دانشیار گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه صنعتی شاهرود

^۳ استاد گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده :

کانسار سرسو در منطقه معدنی رمشک در پهنه زمین‌شناسی-ساختاری مکران در جنوب استان کرمان و در مجاورت استان‌های سیستان و بلوچستان و هرمزگان واقع شده است. کانه زایی در توالی آتشفشانی-رسوبی دورکان به سن کرتاسه پسین رخ داده است. به‌طور عمده توالی آتشفشانی-رسوبی دگرگون‌شده دورکان از پایین به بالا شامل واحدهای سنگی زیراست: واحد ۱: گدازه‌های بازالتی بالشی، واحد ۲: متابازالت، آندزیت بازالت به همراه کالک‌شیست، کلریت‌شیست، متاپلیت و رادیولاریت همراه با سنگ‌های آهک نازک لایه تا ضخیم لایه‌ای توده‌ای، واحد ۳: توفه‌های سبز دگرگون شده، واحد ۴: سنگ‌آهک ماسه‌ای. دگرگونی ناحیه‌ای در مجموعه دورکان در حد رخساره شیست سبز می‌باشد. کانسار سرسو در واحد دوم توالی رخ داده است. رخساره‌های کانسنگ در این کانسار از پایین به بالا عبارتند از: الف- رخساره استرینگر رگه-رگچه‌ای و برشی که حاوی رگه‌های سیلیسی همراه با کالکوپیریت است. این رخساره با دگرسانی کلریتی-اپیدوتی همراه می‌باشد. ب- رخساره سولفید توده‌ای که به طور غالب شامل پیریت بوده و گاهی با نفوذ رگچه‌های کالکوپیریت و اولیژیست همراه است. در مرز بین رخساره رگه-رگچه‌ای و سولفید توده‌ای، ساخت برشی وجود دارد که با کانی‌های سولفیدی همراه است. کلاهدک آهنی (گوسن) در سطح زمین کانه زایی را پوشانده است. براساس مطالعات صحرایی، بررسی گمانه‌های حفاری و مشاهده نوع رخساره‌های موجود در زون کانه دار، کانه‌زایی در محدوده سرسو بیشترین شباهت را با کانسارهای سولفید توده ای آتشفشانزاد (VMS) مس نوع بشی (Besshi-type) نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: سولفید توده‌ای آتشفشانزاد، بشی، رمشک، سرسو

Occurrence of Sarsu volcanogenic massive sulphide copper mineralization, southeast of Kerman, based on mineralogy, structure, texture and alteration data

Poorya Valikhani^{1*}, Fardin Mousivand², Habibollah Ghasemi³, Maryam Shoghani Motlagh¹

¹M.Sc. Student in Economic Geology, Shahrood University of Technology

Pooriyavalikhani@gmail.com

²Associate professor, Department of Petrology and Economic Geology, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³ Professor, Department of Petrology and Economic Geology, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Abstract

The Sarsu deposit is located in the Ramshek district in the geological-structural zone of Makran in the south of Kerman province and in the vicinity of Sistan and Baluchistan, and Hormozgan provinces. The Durkan metamorphosed volcano-sedimentary sequence mainly consists of the following units from bottom to top: Unit 1: pillow basaltic lava, Unit 2: includes metabasalt, basaltic andesite with



calc schist, chlorite schist, metapelite and radiolarite (ore-bearing host unit) with subunits of laminar and thick-bedded limestones composed of four subunits. Unit 3: includes metamorphosed green tuffs, Unit 4: includes sandy limestone. Degree of the regional metamorphism in the Durkan complex is the green schist facies. Mineralization at Sarsu occurred within the Unit 2. The ore facies from bottom to top include (a) vein-veinlet and brecciated stringer facies that contains silica veins containing chalcopyrite. (b) Massive sulfide ore facies that mainly includes pyrite and is sometimes accompanied by infiltration of chalcopyrite and oligist veinlets. In the boundary between vein-veinlet and massive sulfide facies, there is a brecciated structure of sulfide minerals. Iron cap (Gossan) covers the ores at surface. Based on the field studies of the rock units, examination of drilling boreholes and observation of the type of ore facies in the mineralized zone, the occurrence of ores in the Sarsu deposit shows the most similarities with the Besshi-type volcanogenic Massive sulfide (VMS) copper deposits.

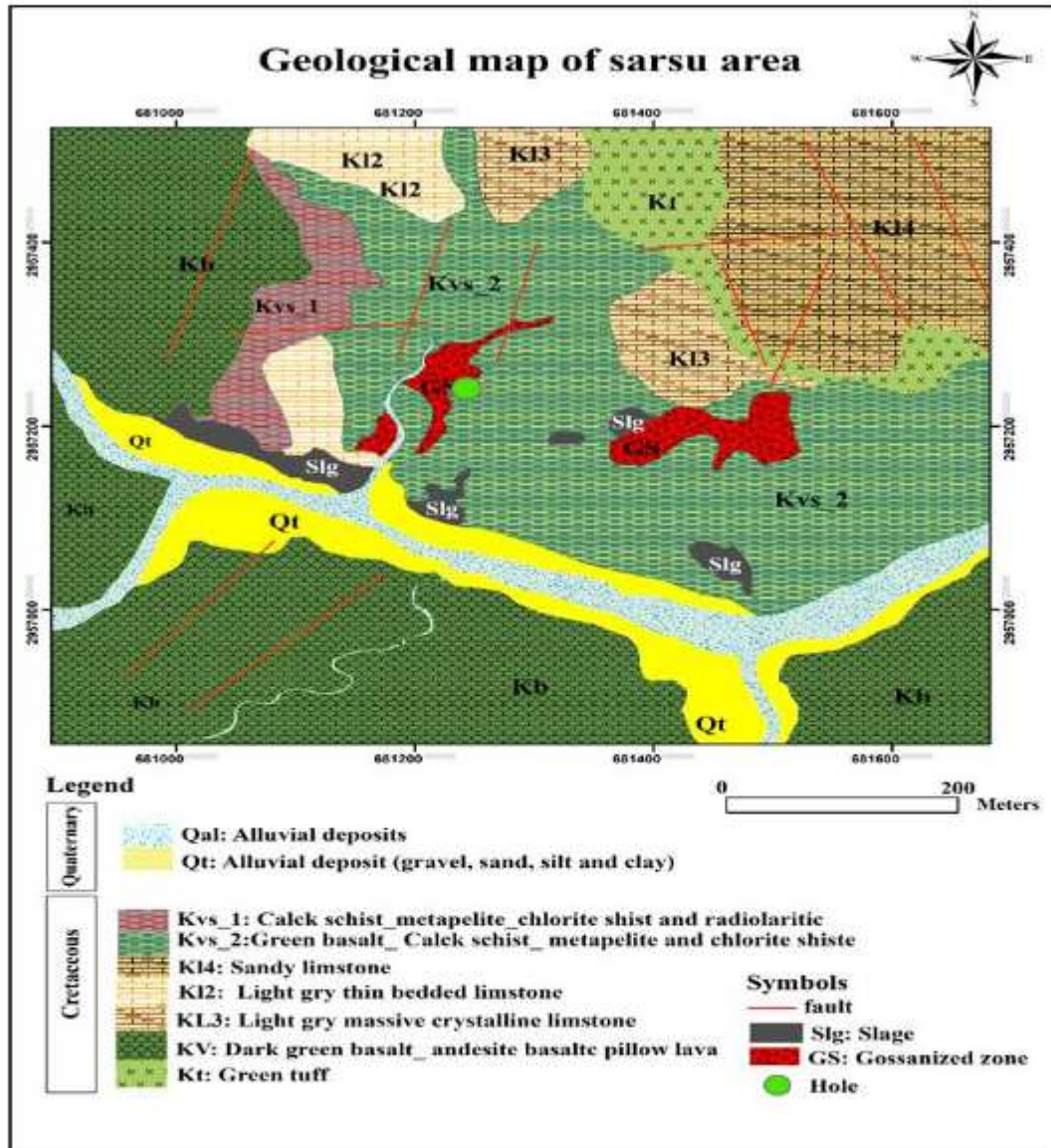
Keywords: Volcanogenic massive sulfide, Besshi, Rameshk, Sarsu, Durkan

مقدمه :

محدوده مورد مطالعه در ۸ کیلومتری جنوب روستای رمشک، در پهنه زمین‌شناسی-ساختاری مکران قرار دارد. این محدوده در جنوب استان کرمان و در مجاورت استان‌های سیستان و بلوچستان و هرمزگان واقع شده است. راه دسترسی به محدوده، جاده آسفالت‌بند عباس-قلعه گنج است که در ادامه از قلعه گنج تا روستای رمشک حدود ۱۵۰ کیلومتر جاده عمدتاً آسفالت‌بند وجود دارد. با توجه مطالعات قبلی صورت گرفته توسط ولیخانی و همکاران (۱۳۹۷) در محدوده معدنی رمشک، کانه‌زایی در این محدوده به‌عنوان سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) معرفی شده است که در مجموعه دگرگونی دورکان رخ داده است. مجموعه دورکان باجگان بعنوان یک مجموعه غیر اقبولی می باشد (درانی و همکاران، ۱۳۹۹). هدف از این تحقیق انجام مطالعات دقیق زمین‌شناسی، پتروگرافی، دگرسانی، کانه‌زایی و تعیین تیپ کانه‌زایی VMS در این محدوده براساس شواهد زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و ساخت، ماده معدنی و سنگ‌های میزبان است که می‌تواند به‌عنوان کلید اکتشافی جهت اکتشاف ذخایر مشابه در توالی‌های چینه‌ای مشابه در منطقه و دیگر پهنه‌های ساختاری ایران مفید باشد.

زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه:

از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه زمین‌شناسی-ساختاری جنوب جازموریان مکران است که در جنوب قراقرادگی هامون- جازموریان و در محدوده نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رمشک و ۱:۲۵۰۰۰۰۰ قنوج (Morgan, 1983a,b) واقع شده است. در محدوده معدنی رمشک، عمدتاً مجموعه دورکان رخنمون داشته و کانی‌سازی مس در سطح زمین به‌صورت حضور عدسی‌های اکسید آهن و کلاک‌های آهنی (Gossan) مشاهده می‌شود. به‌طور کلی مجموعه دورکان در منطقه عمدتاً شامل سنگ‌های آتشفشانی زبردربایی بازالتی و سنگ‌آهک پلاژیک و رادیولاریتی به سن کرتاسه پسین است (شکل ۱). توالی سنگی در این محدوده معدنی شامل گدازه‌های بازالتی بالشی، توف‌های سبز دگرگون‌شده، کالک سیست به همراه کلریت سیست، رادیولاریت و سنگ‌های آهنی نازک لایه و تیل است. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهند که توالی آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده دورکان از پایین به بالا شامل واحدهای سنگی زیراست: واحد ۱: گدازه‌های بازالتی بالشی، واحد ۲: متابازالت، آندزیت بازالت به همراه کالک‌سیست، کلریت‌سیست، متاپلیت و رادیولاریت همراه با سنگ‌های آهنک نازک لایه تا ضخیم لایه‌ی توده‌ای، واحد ۳: توف‌های سبز دگرگون شده، واحد ۴: سنگ‌آهک ماسه‌ای. دگرگونی ناحیه‌ای در مجموعه دورکان در حد رخساره سیست سبز می‌باشد.



شکل ۱. نقشه زمین شناسی پشته معدنی سرسو و موقعیت کانه زایی ها (کلاهک آهتین)

رخداد کانه زایی در منطقه رمشک:

کانسارهای منطقه رمشک در دو افق کانه زایی با جایگاه چینه شناسی خاص حضور دارند. این کانسارها را می توان بر اساس موقعیت چینه شناسی و سنگ میزبان به دو گروه تقسیم نمود:

۱: **افق اول کانه زایی (OH-1):** میزبان این افق از کانه زایی زیر واحد (Kvs-1) از کمپلکس دگرگونی دورکان بوده که عمدتاً شامل سنگ آهک های متورق هستند که توسط سنگ آهک نوده ای بخش بالایی کمپلکس دورکان همراهی می گردند. همچنین در برخی موارد، شیست، متاپلیت به همراه واحد ولکانیک متابازالتی و نیز چرت و رادیولاریت حضور دارند.



۲: افق دوم کانه زایی (OH_2): میزبان این افق از کانه زایی زیر واحد (Kvs-2) از کمپلکس دگرگونی دورکان است که شامل گدازه‌های بازیک- حدواسط می باشد و توسط میان لایه‌هایی از تئیت‌های نازک لایه تیره‌رنگ به همراه کالکتیست، کلریت‌تئیت و متاپلیت همراهی می‌شوند.

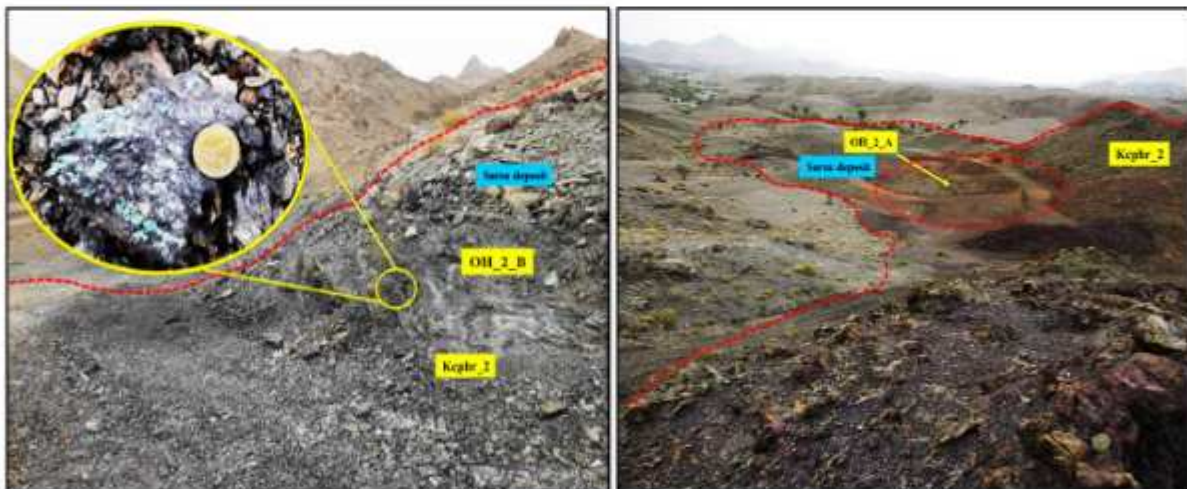
کانه زایی در کانسار سرسو:

کانه زایی در محدوده سرسو در افق دوم (OH_2) رخ داده است و دارای دو زیر افق (OH_2_A) و (OH_2_B) می‌باشد. روند عمومی کانه‌زایی N40 می باشد (شکل ۲). کانی‌سازی مس در سطح زمین به‌صورت عدسی‌های اکسید آهنی (گوسن) مشاهده می‌شود. میزبان این افق از کانه زایی زیر واحد (Kvs-2) از کمپلکس دگرگونی دورکان می‌باشد که شامل گدازه‌های بازیک- حدواسط، بازالت بالشی و متاپلیت (تئیت‌سبز) می‌باشد. این واحد توسط میان لایه‌هایی از تئیت‌های نازک لایه تیره‌رنگ به همراه کالکتیست، کلریت‌تئیت و متاپلیت همراهی می‌شود. این واحد در برخی مناطق دچار دگرسانی نسبتاً شدید پروپیلیتی شده به‌طوری‌که کلریتی شدن در متن سنگ کاملاً مشهود بوده و به‌صورت کلریت‌تئیت در محدوده معدنی قابل مشاهده است. رگه‌های اپیدوت نیز در جهات گوناگون در آن گسترش یافته است و حاوی عدسی‌ها و پچ‌های اکسید آهنی به ابعاد چند ده سانتیمتر تا چند ده متر بوده، که در واقع زون‌های سولفیدی اکسید شده می‌باشند. این عدسی‌ها نیز در برخی مناطق حاوی کانی‌سازی مس هستند.

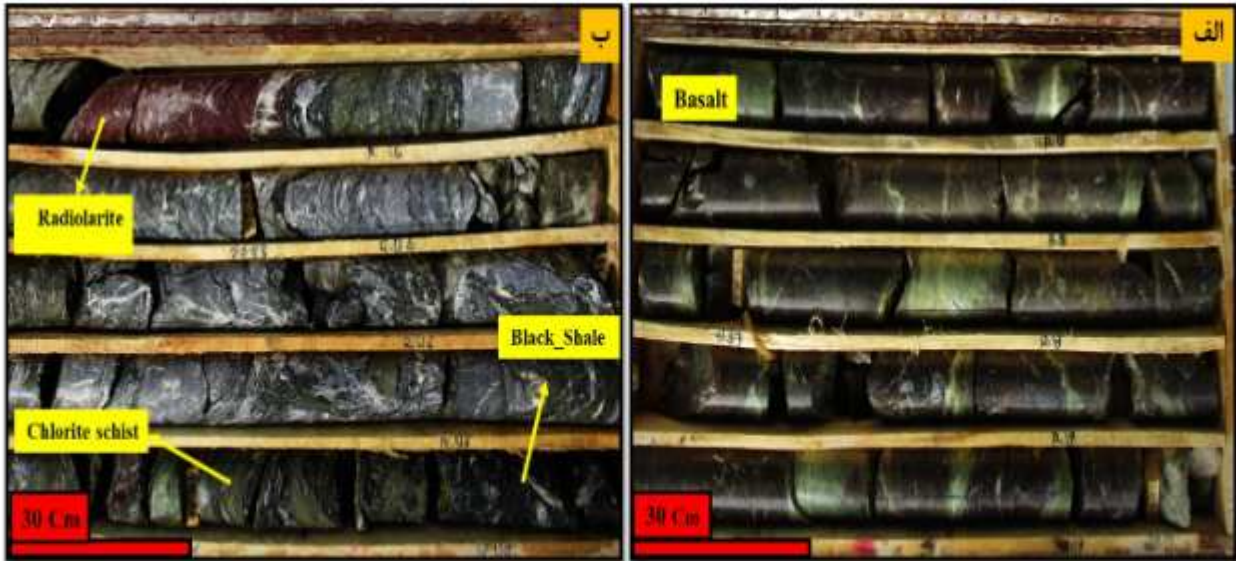
زیر افق (OH_2_A):

این زیر افق در داخل واحد آتشفشانی بازیک دگرسان شده (اپیدوتی و کلریتی) مشاهده می‌شود و در سطح زمین رخنمون کانی‌سازی به‌صورت زون گوسنی غنی از اکسیدهای آهن مشخص می‌شود (شکل ۳-الف).

زیر افق (OH_2_B): این زیر افق در واحدهای تئیتی و کلریت‌تئیت ها رخنمون داشته و کانی‌سازی در این واحد به‌صورت کربنات مس (مالاکیت و آزوریت) در سطح زمین مشخص می‌شود (شکل ۳-ب).



شکل ۲. الف) نمایی از زیر افق ۱ کانه زایی (OH-2-A) در پشته معدنی سرسو، ب) نمایی از کانی‌سازی اکسیدی مس در زیر افق ۲ کانه زایی (OH-2-B) در پشته معدنی سرسو.



شکل ۳. الف) تصویر مغزه حفاری از متاازالت‌های دگرسان شده کلریتی-اپیدوتی کمریابین ماده معدنی در زیر واحد KV8-2 در کانسار سرسو. ب) تصویر مغزه حفاری از سنگ‌های رادیولاریت، کلریت‌شست و متاپلیت در زیر واحد KV8-2 که میزان اصلی کانه زایی در کانسار سرسو است.

رخساره های کانسنگ در محدوده سرسو:

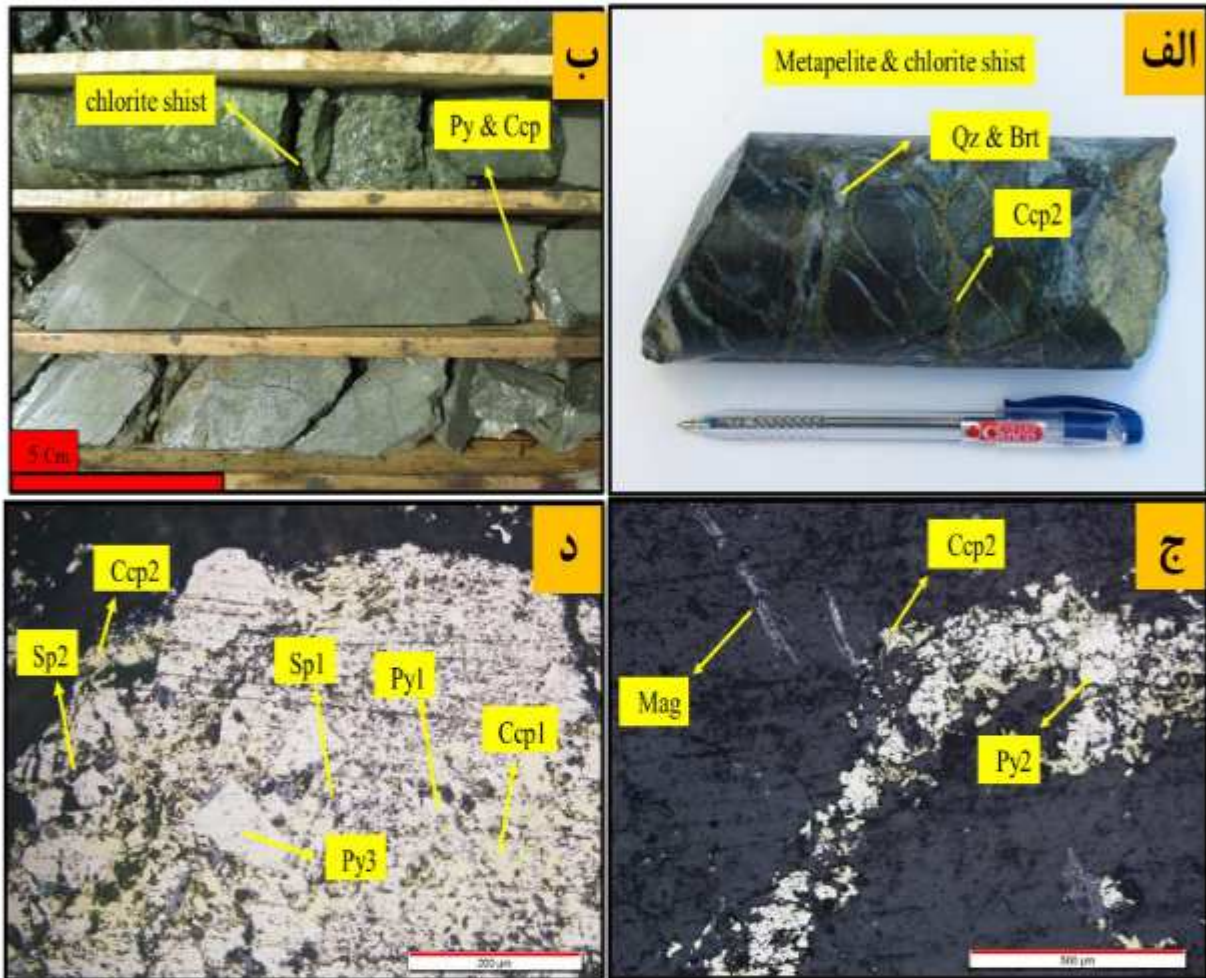
براساس مشاهدات صحرایی و مطالعه گمانه‌های حفاری‌شده، رخساره‌های کانسنگ در منطقه از پایین به بالا عبارتند از: ۱) رخساره استرینگر رگه-رگچه‌ای و برشی، ۲) رخساره سولفیدی توده‌ای (شکل ۴). کلاهی آهنین یا گوسان کانه زایی در سطح زمین را پوشانده است.

رخساره رگه-رگچه‌ای

رخساره رگه-رگچه‌ای در کانسار سن سرسو به صورت شبکه‌هایی از رگه-رگچه‌های سیلیسی-کالکوپیریتی می‌باشد که سنگ میزبان کلریت شست و متاپلیتی را قطع کرده است (شکل ۴-الف). بررسی رگه‌های موجود در رخساره‌های مشابه در کانسارهای سولفیدی توده‌ای نظیر بوانات و چاه‌گز حاکی از عبور سیال کانه‌ساز از این مجاری است که موجب دگرسانی در سنگ دیواره خود نیز گردیده‌اند (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۳۹۵). ساخت برشی نیز در مرز بین رخساره رگه-رگچه‌ای و سولفیدی توده‌ای قرار دارد و با کانی‌های سولفیدی همراه است. (شکل ۴-الف).

رخساره سولفیدی توده‌ای

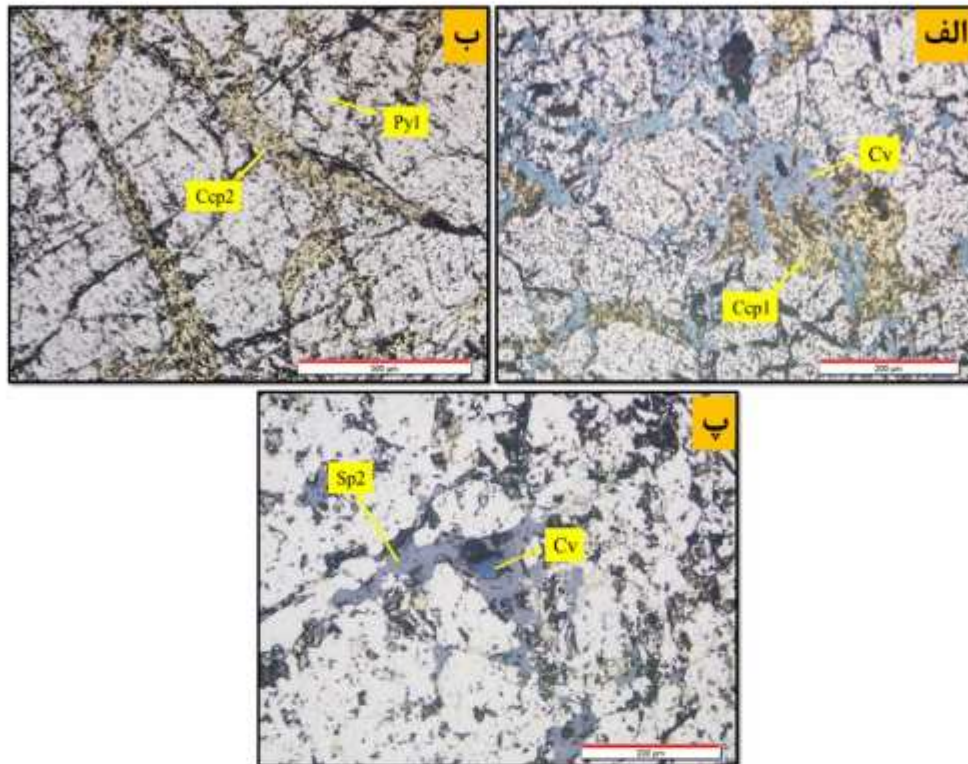
این رخساره که تقریباً در مرکز کانسار قرار دارد، از مهم‌ترین بخش‌های کانسار سرسو است که به صورت رخساره‌ی توده‌ای-لایه‌ای یا عدسی شکل، بالاتر از رخساره رگه-رگچه‌ای، در سنگ میزبان بازالتی و کلریت شستی و به طور محلی در شیل‌های سیاه قرار دارد. این بخش در اغلب کانسارهای سولفیدی توده‌ای دیده می‌شود (Galley et al., 2007). در این رخساره، کانی‌های اصلی شامل پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت، با یکدیگر هم رشدی داشته و دارای بافت توده‌ای و نیمه توده‌ای هستند (شکل ۴-ب). همچنین در اثر هوازدگی بعدی، کوولین جانشین کانی‌های سولفیدی از جمله کالکوپیریت گردیده است. قابل ذکر است که در سطح زمین کلاهی آهنین (گوسان) بر روی بخش سولفیدی توده‌ای قرار گرفته و به‌طور عمده متشکل از اکسید آهن (هماتیت)، سیلیس (چرت)، کلسیت و ژئپس است و محصول هوازدگی کانسنگ سولفیدی است (موسیوند، ۱۳۸۵؛ Heilman., 2006).



شکل ۴. نمایی از رخساره های استرینگر، مجموعه دهانه‌ای و رخساره توده‌ای، الف) رخساره استرینگر ب) رخساره توده‌ای، ج) تصویر میکروسکوپی از رخساره رگه-رگچه‌ای که کانی‌های Py1, Py2, Ccp2 و Mag در آن قابل مشاهده است، د) تصویر میکروسکوپی از رخساره توده‌ای که کانی‌های Ccp1, Py3, Py2, Py1 در آن قابل مشاهده است.

کانی‌شناسی محدوده مورد مطالعه:

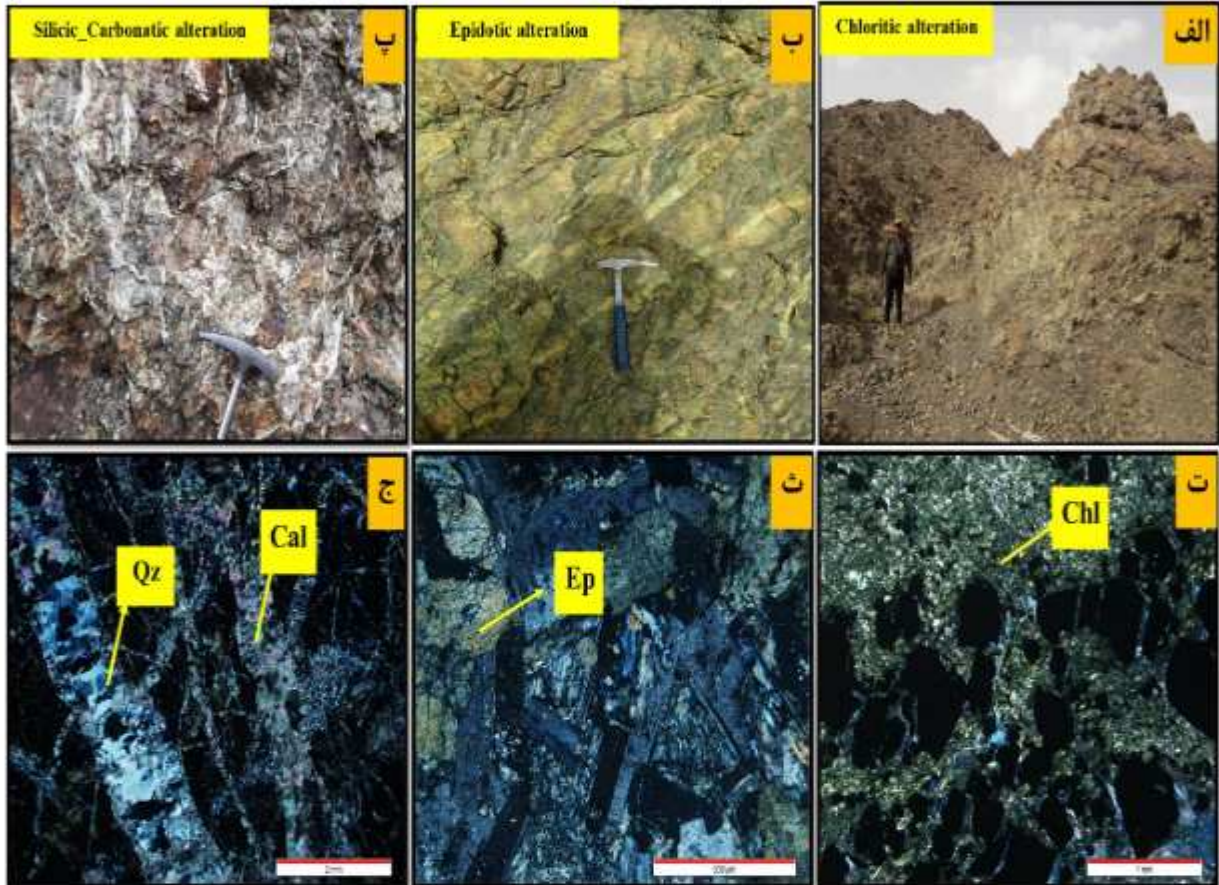
بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، کانی‌های اولیه و اصلی تشکیل‌دهنده این کانسار شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مگنتیت و هماتیت می‌باشد و کانی‌های ثانویه آن مالاکیت، کوولیت، و اکسید-هیدروکسیدهای آهن هستند. کانی‌های پاتله در این کانسار شامل کلسیت، باریت و کوارتز می‌باشد. پیریت، فراوان‌ترین کانی سولفیدی در کانسار مس رمشک بوده و پس از آن کالکوپیریت، مگنتیت و اسفالریت بیشترین فراوانی را دارند. در این کانسار کانه زایی مس بصورت کالکوپیریت در دو نسل (Ccp1) و (Ccp2) در پهنه استرینگر و رخساره کانسنگ توده‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۵). کانه زایی روی نیز به صورت اسفالریت در همه رخساره‌ها قابل مشاهده است و نسبت مس به روی در رخساره استرینگر افزایش بیشتری نسبت به رخساره توده‌ای دارد. این پهنه بندی فلزی و غنی شدگی مس در پهنه استرینگر و افزایش نسبت مس به روی از پهنه چینه سان به سمت پهنه استرینگر از ویژگی‌های بارز کانسارهای VMS است (Franklin et al., 1998; Galley et al., 2007).



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی از یافت جانمایی حاشیه‌ای: الف) تبدیل شدن کالکوپیریت از اطراف به کولیت (CV)، ب) جانمایی کالکوپیریت (Ccp2) به جای پیریت (Py1)، پ) تبدیل شدن اسفالریت (Sp2) به کولیت (CV).

دگرسانی در کانسار سرسو:

یکی از خصوصیات جالب توجه دگرسانی، منطقه‌بندی آن است. بیشتر محدوده‌های معدنی مس، دگرسانی‌های شاخص و نسبتاً مشابهی دارند که با مطالعات عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای قابل تشخیص است. این امر به همراه دگرسانی در اکتشاف کانسارهای مس بسیار استفاده می‌شود (Lentz, 1998). میزان دگرسانی برحسب فاصله با افق معدنی متفاوت بوده و بیشترین میزان دگرسانی مربوطه به کمربند و نزدیک به افق معدنی است و شدت دگرسانی به سمت کمربند کاسته می‌شود (Peter et al., 1999). مهم‌ترین دگرسانی‌های موجود در کانسار سرسو در منطقه رمشک شامل دگرسانی‌های کلریتی، کربناتی، اپیدوتی، سریسیتی و سیلیسی و آرزئلیک ثانویه می‌باشد (شکل-۶). بروز دگرسانی در زیر افق معدنی بیشتر بوده و با دور شدن از قرودیواره به سمت فرادیواره از شدت آن کاسته می‌شود. دگرسانی اپیدوتی و کلریتی بیشترین شدت را در کمربند یا قرودیواره دارد. قابل ذکر است که در نهشته‌های تیپ بشی، دگرسانی کلریتی دارای گسترش زیادی می‌باشد (Peter and Scott, 1999) که در محدوده مورد مطالعه نیز این دگرسانی به وفور در بازالت‌های کمر پایین و کلریت شپست‌ها دیده می‌شود.



شکل ۶. الف) نمایی از دگرسانی کلریتی در کانسار سرسو در یازالت های کم‌پایین، ب) نمایی از دگرسانی اپیدوتی در متابازالت های منطقه به همراه دگرسانی کلریتی (پ) نمایی از دگرسانی سیلیسی کربناتی در کانسار مس سرسو (ت) تصویر میکروسکوپی از سنگ های کم‌پایین یا دگرسانی کلریتی (Chl)، (ث) تصویر میکروسکوپی از کانی اپیدوت (Ep) در متابازالت های اپیدوتی شده در کانسار مس سرسو، (ج) تصویر میکروسکوپی از رگه-رگچه های سیلیسی-کربناتی درستگ های دگرسان شده در نور XPL

بحث و نتیجه‌گیری:

کانسار مس سرسو به طور گسترده در ارتباط با گدازه‌های بازیک- حدواسط بالشی، کلریت شست و متاپلیت می‌باشد. رخساره های کانسنگ در این کانسار عبارتند از: رگه-رگچه‌ای تا برشی و رخساره سولفید نوده‌ای. کانسنگ توسط کلاهک‌های آهنی (گوسن) پوشیده شده که در کانسارهای سولفید نوده‌ای آتشفشانزاد رایج هستند (Franklin et al., 1998). دگرسانی های عمده از نوع کلریتی-اپیدوتی بوده که بیشتر در پهنه رگه-رگچه ای مشاهده می شود. این کانه زایی از دیدگاه جایگاه زمین شناسی ته نشست و رخداد کانه زایی در جایگاه چینه شناسی خاص، ترکیب ثوالی سنگی میزبان، رخساره های کانه دار، ساخت و بافت، کانی شناسی و دگرسانی، بیشترین شباهت را با کانسارهای تیپ بشی (Besshi-type) نشان می‌دهد. از نمونه‌های مشابه با این تیپ کانه زایی در ایران می‌توان به کانسار سرب-روی-نقره بوانات در استان فارس (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۵)، کانسار نوده در جنوب غرب سبزوار (Maghfouri et al., 2016)، گرماب پایین در جنوب شرق شاهرود (Tashi et al., 2021)، وندی کراگی کانادا (Peter and Scott, 1999)، رودنی آلتای در آسیای مرکزی، مرز بین روسیه و قزاقستان (Lobanov et al., 2012) و کانسارهای سولفید نوده‌ای در حوضه رفتی بریا در غرب استرالیا (Pirajno et al., 2016) اشاره کرد.



منابع

- [1] درانی، م.، آروین، م.، اوپرخسلی، ر.، عمرانی، ه.، و درگاهی، س.، ۱۳۹۹. مطالعه پتروگرافی، شیمی کانیفها، تعیین روند دما- فشار دگرگونی و محاسبه اکتیویته سیالات ایدوت-آمفیبول-گارنت شیبست های کمپلکس بچگان، استان کرمان. فصلنامه علوم زمین، سال بیست و نهم، شماره ۱۵، صفحه ۵۲۹-۵۲.
- [2] موسیوند، ف.، ۱۳۸۵. مطالعه مقدماتی ویژگی های کانه زایی محدوده های معدنی رمشک، شرکت کاهتریا، ۱۳ صفحه.
- [3] موسیوند، ف.، راستاد، ا.، امامی، م.، پیتر، ج.، و سولومون، م.، ۱۳۹۵. رخساره های کانسنگ، پهنه بتدی دگرسانی و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار سولفید توده ای مس- روی- نقره نوع یشی، بوانات (جیان)، استان فارس. فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۹، ص. ۶۱-۷۴.
- [4] موسیوند، ف.، راستاد، ا.، امامی، م.، پیتر، ج.، ۱۳۹۲. رخداد انواع گوناگون کانسارهای سولفید توده ای آتشفشانزاد و ارتباط آن با تحولات زمین ساختی- ماگمایی در پهنه سهندج- سیرجان. فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۰، ص. ۱۱-۲۰.
- [5] ولیخانی، پ.، موسیوند، ف.، قاسمی، ج.، ۱۳۹۷. کانی شناسی، ساخت و یافت و کنترل کتده های کانه زایی در کانسار مس تکاشکن، منطقه رمشک، جنوب شرقی، بیست و یکمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. دانشگاه پیام نور قم.
- [6] Franklin, J.M., Hanington, M. D., Jonarson, I. R., Barvie, C. T., 1998, " Arc related volcanogenic massive sulfide deposits". In: *Metallogeny of Volcanogenic Arcs*, British Columbia Geol. Survey, Open file, 1998-8.
- [7] Galley, A.G., Hannington, M.D., and Jonasson, I.R., 2007, Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow, W.D., ed., *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 No. 5, p. 141-161.
- [8] Hellman, Ph., 2006, " Evaluation of the Potential for Copper Mineralisation in the Remeshk Area, Kerman – Sistan va Baluchestan Provinces, Islamic Republic of Iran". P: 37
- [9] Lentz, D. R. (1998). Petrogenetic evolution of felsic volcanic sequences associated with Phanerozoic volcanic-hosted massive sulphide systems: the role of extensional geodynamics. *Ore Geology Reviews*, 12(5), 289-327.
- [10] Lobanov, K.V., Gaskov, I.V., 2012, "The Karchiga copper massive sulfide deposit in the high-grade
- [11] Maghfouri, S., Rastad, E., Mousivand, F., Lin, Y., zaw, K., 2016, Geology, ore facies and sulphur isotopes geochemistry of the Nudeh Besshi- type volcanogenic massive sulphide deposit, Southwest Sabzevar basin, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 125: 1-21.
- [12] metamorphosed rocks of the Kurchum block: geologic structure, formation, and metamorphism (Rudny Altai)", *Russian Geology and Geophysics*, 53, p. 77-91
- [13] Morgan, K., (1983a), Rameshk geological map, scale 1:100000, geological survey of Iran, map no. 7743.
- [14] Morgan, K., (1983b), Fanouj geological map, scale 1:250000, Geological Survey of Iran, map no. 7943.
- [15] Peter, j. M., Scott, S. D., 1999, "Windy Craggy, Northwestern British Columbia: the world largest Besshi- type deposit in Barrie", *Society of Economic Geologists*, V.8. 149.
- [16] Pirajno, F, Chen, Y, Li, N, Li, C, Zhou, L., 2016" Besshi-type mineral systems in the Palaeoproterozoic Bryah Rift-Basin, Capricorn Orogen, Western Australia: Implications" *Geoscience Frontiers*, 9, P. 345-357
- [17] Tashi, M., Mousivand, F., Ghasemi, H., Maghfouri, S., Maslennikov, V., Peter, J.M., Sadykov, S.A., 2021, Evolution of the Garmab-e-Paein native copper-rich volcanogenic massive sulfide deposit from northeast Iran: Insights from sulfur isotope and chlorite chemistry. *Ore Geology Reviews* 138, 104345