

کانه‌زایی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسار سرب-روی-مس رسوبی چرلانقوش، شمال شرق ماهشان

سکینه جمالی‌پور^۱، محمد ابراهیمی^{۱*}، قاسم نباتیان^۱، مریم هنرمند^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات علوم پایه زنجان، زنجان، ایران.

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱/۱۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۴/۳/۳۱)

چکیده: کانسار سرب-روی-مس چرلانقوش در شمال شرق ماهشان و در گوشه شمال غربی پهنه ایران مرکزی واقع است. واحدهای سنگی موجود در این منطقه وابسته به سنوزویک و شامل سازند قرمز پیشین، سازند قم، سازند قرمز پسین و نهشته‌های کواترنری هستند. در منطقه مورد بررسی، سازند قرمز پسین که میزبان کان‌زایی است دارای گسترش زیادی بوده و شامل تناوبی از مارن، لای-سنگ، ماسه‌سنگ‌های اکسایشی قرمز رنگ و ماسه‌سنگ‌های احیایی خاکستری روشن است. کان‌زایی سرب-روی-مس در بخش‌های دارای مواد آلی درون ماسه‌سنگ‌های خاکستری پهنه شسته‌شده رخ داده است. در کانسار سرب-روی-مس چرلانقوش، دو افق کان‌زایی وجود دارد و هر یک از آن دارای سه پهنه شامل پهنه کان‌زایی، پهنه شسته‌شده و پهنه قرمز اکسایشی هستند. بافت‌های دیده شده در این کان‌زایی شامل بافت‌های جانشینی، دانه‌پراکنده، شبه‌لامینه‌ای، عدسی‌شکل و سیمان بین‌دانه‌ای هستند. سنگ میزبان در این کانسار، ماسه‌سنگ و کانه‌های اولیه شامل گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوسیت اولیه و کالکوپیریت و کانی‌های ثانویه کالکوسیت ثانویه، کولین، مالاکیت، آزوریت، گوتیت و لپیدوکروزیت هستند. ویژگی‌های این کان‌زایی از نظر ساخت و بافت، سنگ میزبان، کانه‌ها، چینه‌شناسی و عوامل کنترل کننده کان‌زایی (مواد آلی گیاهی و به مقدار کمتر پیریت به عنوان عامل اصلی احیا کننده محیط و همچنین نفوذپذیری بالا در سنگ میزبان) شبیه کانسارهای مس رسوبی نوع لایه‌های قرمز هستند.

واژه‌های کلیدی: سازند قرمز پسین؛ ساخت و بافت؛ کان‌زایی سرب-روی-مس رسوبی نوع لایه‌های قرمز؛ چرلانقوش؛ ماهشان.

مقدمه

کان‌زایی‌های مس رسوبی نوع لایه‌های قرمز در مناطق مختلفی از ایران با سن‌های متفاوت از جمله زاگرس (کانسار ده‌معدن و خونگاه به سن کامبرین پیشین- اردوئین)، ایران مرکزی (کانسار مس قره‌تپه به سن پرمین، کانسار مس چهرآباد و کانسار سرب-روی-مس چرلانقوش به سن میوسن و کانسار مس قره‌آغاچ به سن پلیوسن)، قطعه طبس (کانسارهای مس رسوبی محور طبس-راور به سن ژوراسیک پسین) و کپه‌داغ (کانسارهای مس رسوبی در سازند شورجه به سن ژوراسیک پسین - کرتاسه پیشین) گزارش شده‌اند.

کانسارهای مس رسوبی در محیط‌های رسوبی متنوعی تشکیل می‌شوند و دارای توزیع مکانی و زمانی گسترده‌ای از پروتروزوئیک تا سنوزوئیک بوده و ذخیره آنها از مقادیر کم و نیمه‌اقتصادی تا ذخایر در حد چند صد میلیون تن متغیر هستند [۱]. این کانسارها چینه‌سان تا عدسی‌شکل هستند و حدود ۲۳ درصد مس دنیا از این ذخایر استخراج و تولید می‌گردد. افزون بر این، کانسارهای مس رسوبی دارای مقادیر قابل ملاحظه‌ای نقره و کبالت هستند [۱].

نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۴۳۳۰۵۴۰۰۹، پست الکترونیکی: ebrahimi@znu.ac.ir

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0



International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited

کانه‌نگاری تهیه گردید. بررسی‌های سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری با میکروسکوپ قطبشی دو منظوره Prior در گروه زمین‌شناسی دانشگاه زنجان انجام شد. برای بررسی‌های زمین‌شیمیایی بر سنگ‌های میزبان، تعداد ۸ نمونه از واحدهای ماسه‌سنگی بدون کانه‌زایی انتخاب و پس از خردایش و آسیاب شدن، به منظور اندازه‌گیری عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و خاکی نادر به روش‌های طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی X (XRF) و طیف-سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) به آزمایشگاه زراژما ارسال شدند.

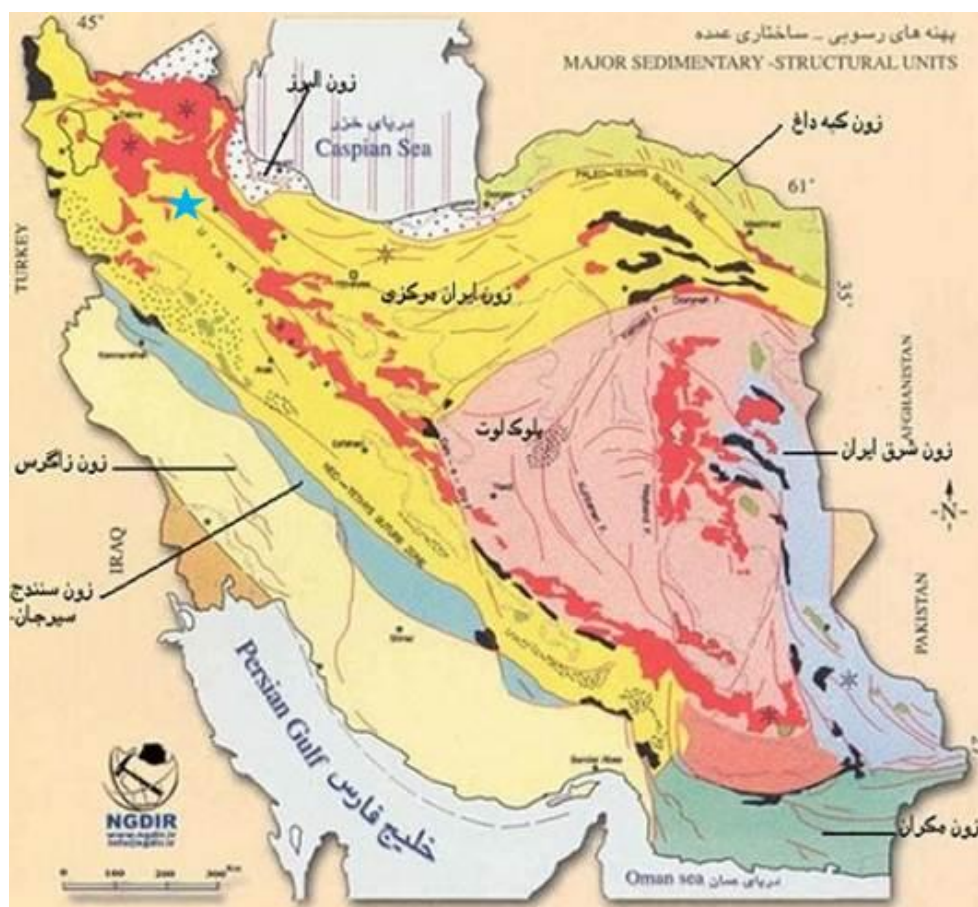
زمین‌شناسی منطقه

کانسار سرب-روی-مس چرلانقوش در شمال غرب زنجان و شمال شرق ماهنشان (در فاصله حدود ۵ کیلومتری شمال شرق چرلانقوش) بین عرض‌های جغرافیایی ۵۱° ۳۶' تا ۵۹° ۳۶' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۱° ۴۷' تا ۵۴° ۴۷' شرقی و در پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار دارد (شکل ۱).

کانسارهای مس و یا سرب رسوبی نوع لایه‌های قرمز در مناطق متعددی از استان زنجان از جمله کانسار مس حلب [۲]، کانسار مس چهرآباد [۳-۵]، کانسار مس قویی [۶]، کانسار سرب-روی اورتاسو [۷]، کانسار سرب قره‌بوته [۸] و کانسار سرب-روی-مس چرلانقوش [۹] یافت شده‌اند. در این پژوهش، کانه‌زایی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسار سرب-روی-مس رسوبی چرلانقوش به تفصیل بررسی شده است. معرفی ویژگی‌های این کانسار که در رسوب‌های تخریبی سازند قرمز پسین به سن میوسن تشکیل شده است، می‌تواند به عنوان کلید اکتشافی برای پی‌جویی ذخایر مشابه مفید باشد.

روش بررسی

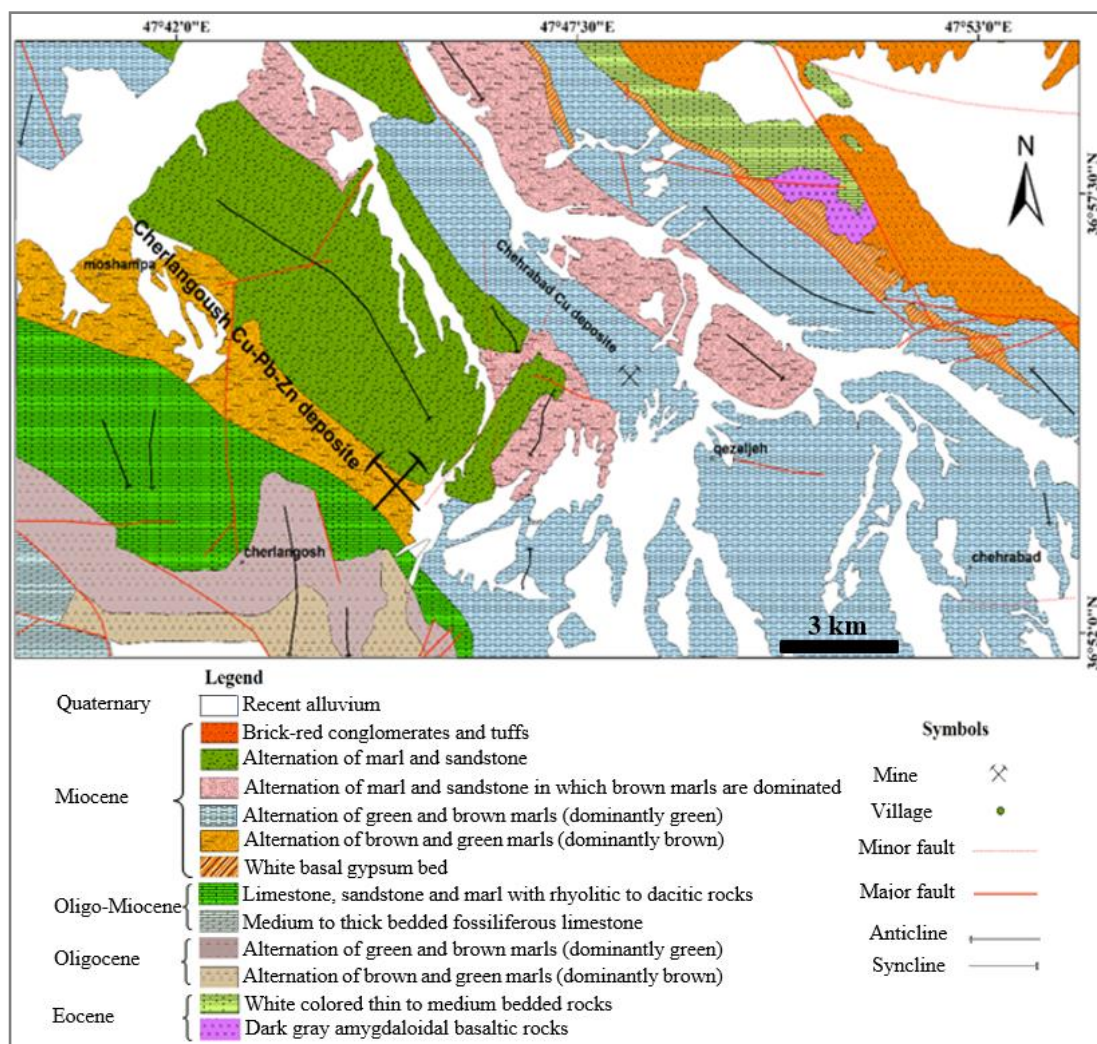
طی چند نوبت بررسی‌های صحرایی، در مجموع بیش از ۵۰ نمونه از مواد معدنی و سنگ‌های میزبان بدون کانه‌زایی برداشت شد. از بین نمونه‌های برداشت شده، ۱۵ مقطع نازک و ۱۸ مقطع نازک صیقلی برای بررسی‌های سنگ‌نگاری و



شکل ۱ نقشه پهنه‌های ساختاری - رسوبی ایران بر گرفته از مرجع [۱۰] که موقعیت کانه‌زایی مورد بررسی با ستاره آبی رنگ بر آن مشخص شده است.

منطقه مورد بررسی دارای دو بخش است؛ بخش پیشین بیشتر شامل رسوب‌های مارنی رنگین دارای گچ است و با یک لایه کلیدی گچ از رسوب‌های دریایی سازند قم مجزا می‌گردد. در بخش پیشین سازند قرمز پسین در این منطقه افزون بر میان‌لایه‌های گچ، نهشته‌های نمک (برای مثال گنبد نمکی چهرآباد و گنبد نمکی ایلجاق) نیز وجود دارند [۱۱]. بخش پسین سازند قرمز پسین در منطقه مورد بررسی شامل تناوبی از مارن و شیل‌های قرمز با ماسه‌سنگ است. بقایای گیاهی، رسوب‌های تخریبی قرمز رنگ بسیار و برخی ساخت‌های رسوبی از جمله موج نما و ترک‌های گلی نشان دهنده محیط تشکیل قاره‌ای- کولابی تا دریایی کم‌عمق برای این سنگ‌هاست [۱۲]. جوان‌ترین رسوب‌های موجود در منطقه مورد بررسی نهشته‌های کواترنری بوده که شامل پادگانه‌های آبرفتی، رسوب-های مخروط افکنه‌ای و رسوب‌های آبرفتی عهد حاضر هستند.

سنگ‌های میزبان این کان‌زایی رسوب‌های تخریبی میوسن (سازند قرمز پسین) هستند. افزون بر سازند قرمز پسین سایر نهشته‌های دارای برونزد در این منطقه و بخش‌های کنار شامل سازند قرمز پیشین، سازند قم و نهشته‌های آبرفتی کواترنری هستند (شکل ۲). قدیمی‌ترین واحد سنگی دارای برونزد در منطقه چرلانقوش در جنوب این روستا رخنمون دارد و شامل تناوبی از مارن‌های به رنگ سبز و قهوه‌ای است. سن این واحد سنگی الیگوسن و وابسته به سازند قرمز پیشین است. از این بخش به طرف شمال یک توالی سنگی شامل ماسه‌سنگ، مارن و آهک به همراه سنگ‌های آتشفشانی به سن الیگومیوسن (سازند قم) رخنمون دارند. روی سازند قم با ناپیوستگی فرسایشی، نهشته‌های سازند قرمز پسین به سن میوسن قرار دارند. سازند قرمز پسین در بخش گسترده‌ای از مرکز و شرق نقشه ارائه شده در شکل ۱ گسترش دارد. سازند قرمز پسین در



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی برگرفته از [۱۱] با تغییرات.

سنگ‌نگاری سنگ‌های میزبان

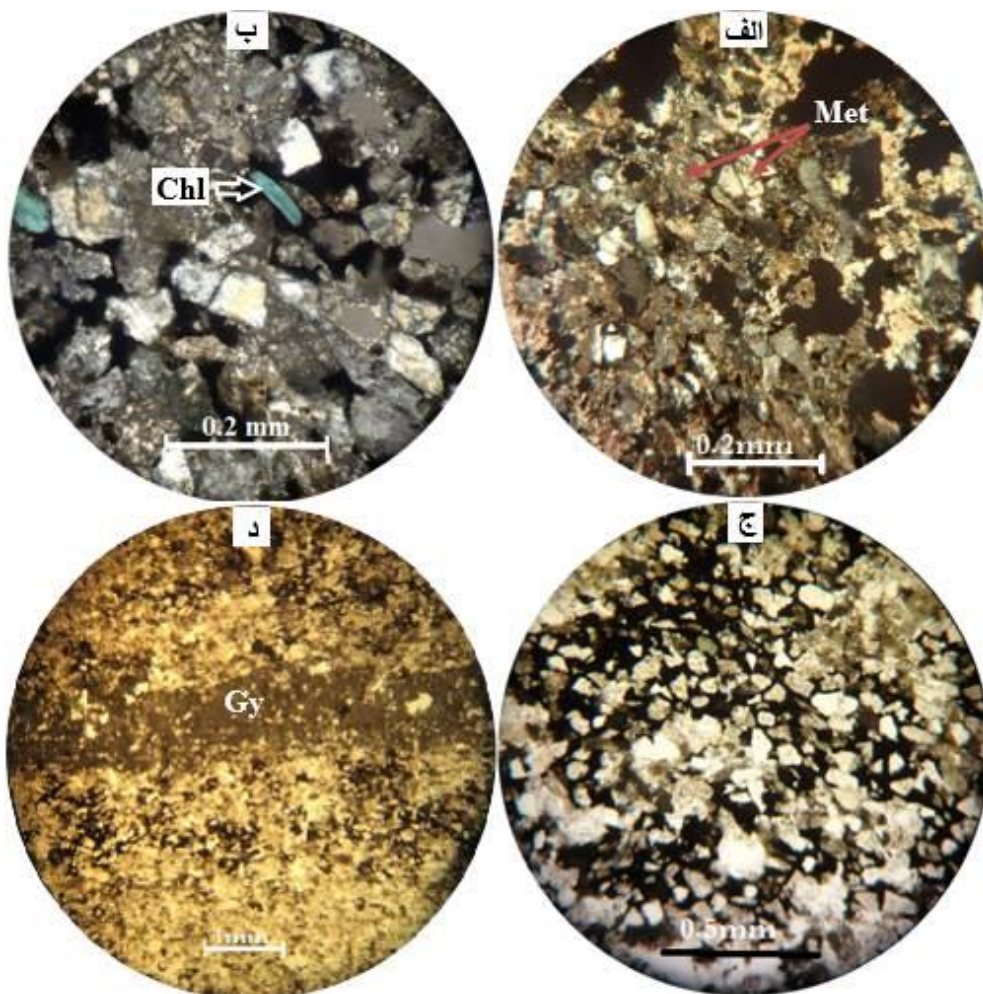
کانه‌زایی سرب-روی-مس چرلانقوش در توالی تخریبی قاره‌ای میوسن (سازند قرمز پسین) و به ویژه در ماسه‌سنگ‌های احیای خاکستری رنگ رخ داده است. سازند قرمز پسین در این منطقه شامل تناوبی از رسوب‌های رسی-مارنی به رنگ قرمز تا قهوه‌ای با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ به رنگ‌های قرمز تا قهوه‌ای و خاکستری مایل به سبز است. در این مجموعه، مارن و شیل-های قرمز تیره که در بعضی بخش‌ها همراه با لایه‌های متناوب از ماسه‌سنگ سبز هستند، نیز دیده می‌گردد. این ماسه‌سنگ‌ها دارای برخی ساخت‌های رسوبی چون اثر قطره‌های باران، ترک‌های گلی، چینه‌بندی متقاطع و موج نماهای جریان‌ی هستند (شکل ۳).

بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی ماسه‌سنگ‌های منطقه بیشتر لیت‌آرنایت هستند. لیت‌آرنایت‌ها ماسه‌سنگ‌هایی با کمتر از ۷۵ درصد کوارتز هستند و مقدار قطعه‌های سنگی موجود در

آنها از مقدار فلدسپار بیشتر است. این ماسه‌سنگ‌ها دربردارنده کانی‌های کوارتز، فلدسپات، بیوتیت، قطعه‌های خرده‌سنگی آذرین و دگرگونی (شکل ۴ الف) هستند. البته فراوانی قطعه‌های خرده‌سنگی دگرگونی از قطعه‌های خرده‌سنگی آذرین بیشتر است. گاهی کانی‌های فلدسپاتی موجود در این سنگ‌ها به کانی‌های رسی و سربیسیت، و بیوتیت آنها به کلریت (شکل ۴ ب) تبدیل شده‌اند. سولفیدهای مس بویژه کالکوسیت گاهی به صورت سیمان بین‌دانه‌ای در ماسه‌سنگ‌های میزبان دیده می‌گردد (شکل ۴ پ). گردشگی دانه‌ها در این ماسه‌سنگ‌ها ضعیف تا متوسط است و جورشدگی متوسط دارند. همچنین مجموعه‌ای از رگچه‌های سنگ گچ سنگ‌های ماسه‌سنگی میزبان و کانسنگ سرب-روی-مس را قطع نموده‌اند (شکل ۴ ت).



شکل ۳ برخی ساخت‌های رسوبی در نهشته‌های سازند قرمز پسین در منطقه مورد بررسی: الف) چینه‌بندی متقاطع در نهشته‌های ماسه‌سنگی و ب) آثار موج نما در نهشته‌های مارنی.



شکل ۴ تصاویر نور عبوری از ماسه‌سنگ‌های میزبان کان‌زایی: الف) ماسه‌سنگ با سیمان کلسیتی و دارای قطعه‌های خرده‌سنگی دگرگونی (Met)، ب) کانی بیوتیت که به کلریت (Chl) تبدیل شده است. پ) ماسه‌سنگ آهکی دارای ماده معدنی بصورت سیمان بین بلوری و ت) ماسه‌سنگ دارای رگچه سنگ گچ (Gy). تصویر ت در نور یک بار قطبیده و بقیه تصاویر در نور دو بار قطبیده تهیه شده‌اند. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۳] هستند.

کانه‌زایی

در منطقه چرلانقوش، کان‌زایی سرب-روی-مس در دو افق ماسه‌سنگی خاکستری رخ داده است. افق پیشین یک افق کان‌زایی مس به ضخامت چند دسی‌متر تا یک متر است (شکل ۵ الف) و افق دوم که بخش اصلی کان‌زایی بوده یک افق کان‌زایی سرب-روی-مس به ضخامت میانگین بیش از ۱ متر است (شکل ۵ ب). در برخی بخش‌ها، ضخامت افق کان‌زایی تا ۳ متر نیز می‌رسد. در هر دو افق، کان‌زایی درون ماسه‌سنگ‌های احیایی خاکستری تا خاکستری مایل به سبز رخ داده است.

در کانسارهای رسوبی مس نوع لایه قرمز، کان‌زایی در افق

های احیایی رخ می‌دهد [۱]. افق‌های احیایی اغلب دربردارنده مواد آلی و سنگواره‌های گیاهی هستند و ممکن است که در آبراهه‌های قدیمی ته‌نشست نموده باشند. آبراهه‌های قدیمی درون افق‌های احیایی از ماسه‌سنگ‌های درشت‌دانه در قاعده تشکیل شده‌اند که به سمت بالا ریز شده و به تدریج به ماسه-سنگ‌های بسیار ریزدانه تبدیل می‌شوند. در منطقه مورد بررسی نیز چنین آبراهه‌هایی وجود دارند که ماسه‌سنگ‌ها به سمت بالا ریز می‌شوند. آثار و بقایای گیاهی در افق‌های کانی-زایی از عوامل مهم احیاکننده محیط و کنترل‌کننده کانی‌زایی هستند که برخی پژوهشگران [۱۴، ۱۵] در دیگر کانسارهای مس با میزبان ماسه‌سنگی قرمز نیز گزارش کرده‌اند.



شکل ۵ تصاویر صحرایی از الف) ماسه‌سنگ‌های خاکستری رنگ میزبان کانه‌زایی مس (دید به سمت شمال شرق) و ب) ماسه-سنگ‌های خاکستری رنگ میزبان کانه‌زایی سرب-روی-مس (دید به سمت شمال).

دگرسانی و نقش آن در پهنه‌های مختلف کانه‌زایی

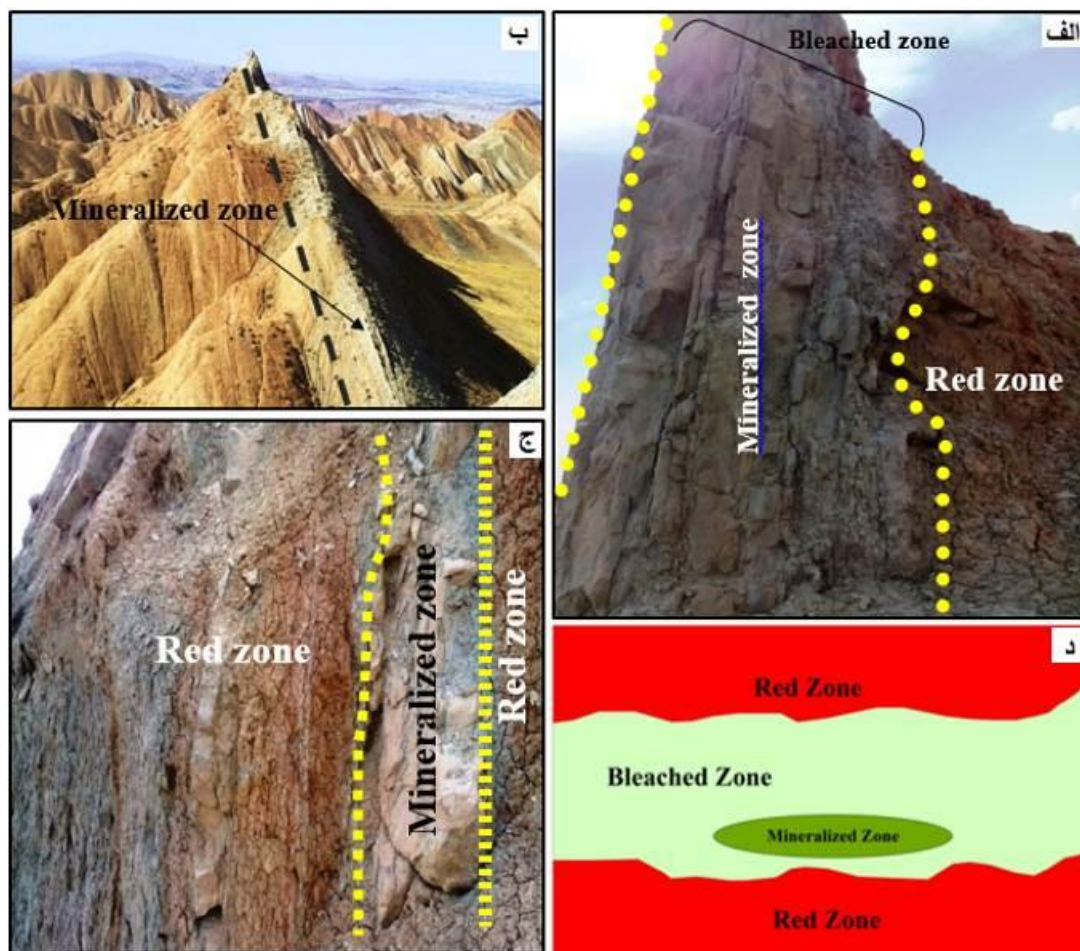
در افق‌های ماسه‌سنگی که میزبان کانه‌زایی به شمار می‌روند، بر اساس دگرسانی صورت گرفته در منطقه، دو پهنه مهم دگرسانی پهنه قرمز اکسایشی و پهنه شسته‌شده در هر دو افق کانه‌زایی گسترش یافته‌اند افزون بر این، درون پهنه شسته‌شده، زیرپهنه کانه‌زایی به صورت عدسی‌هایی تشکیل شده است.

پهنه قرمز اکسایشی که در کنار افق‌های احیایی قرار دارد، شامل لایه‌های ماسه‌سنگی و مارنی قرمز رنگ شامل مقادیر بالایی از اکسیدهای آهن است (شکل ۴). ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ از نوع لیت‌آرنایت هستند. دانه‌های آواری موجود در این پهنه با اکسیدهای آهن دربرگرفته شده‌اند. مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده این بخش کوارتز، پلاژیوکلاز، کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن هستند. همچنین، قطعه‌های خرده‌سنگی دگرگونی و به مقدار کم قطعه‌های خرده‌سنگی آذرین نیز در این بخش دیده می‌شوند. در این بخش از ماسه‌سنگ‌ها، به جز بلورهای پیریت اکسید شده، هیچ نوع کانه‌زایی سولفیدی و اکسیدی مس، سرب و روی رخ نداده است.

پهنه شسته‌شده در واقع بخشی از توالی لایه‌های ماسه-سنگی است که در اثر فرآیند دگرسانی، تغییر رنگ ایجاد شده در آن به خوبی نمایان است. چنان که پیشتر گفته شد، لایه‌های ماسه‌سنگی بیشتر قرمز رنگ هستند. در سنگ‌های پهنه قرمز اکسایشی، رنگ قرمز سنگ‌ها به دلیل وجود اکسید آهن پیرامون دانه‌هاست، در حالیکه در سنگ‌های بخش شسته‌شده، اکسید آهن وجود ندارد و این بخش‌ها با رنگ سبز و خاکستری

مشخص هستند (شکل ۶). این پهنه در اثر سیال‌های احیاء کننده، به رنگ خاکستری مایل به سبز درآمده است. به باور مک اینتایر [۱۶]، مرز بین بخش شسته‌شده و پهنه قرمز اکسایشی چنان است که تغییر رنگ سنگ‌ها از قرمز به خاکستری در کمتر از یک سانتی‌متر رخ می‌دهد. چنان که اشاره گردید، درون این پهنه، زیرپهنه کانه‌زایی وجود دارد که به صورت عدسی‌شکل تشکیل شده است. در ادامه، این زیرپهنه به طور مفصل توضیح داده شده است.

در پهنه شسته‌شده، هر جا که مواد آلی وجود دارند، کانه‌زایی سرب-روی-مس و مس رخ داده است. گفتنی است که یکی از عوامل بسیار مهم و اثرگذار در کانه‌زایی، نفوذپذیری سنگ میزبان بوده که در حضور مواد آلی با افزایش نفوذپذیری، باعث افزایش کانه‌زایی شده است. در کانسار مس و سرب-روی-مس چرلانقوش، زیرپهنه احیایی کانه‌زایی شده به صورت عدسی‌شکل درون بخش شسته‌شده قرار دارد. بقایای گیاهی و همچنین پیریت، نقش بسزایی در احیای محیط و همچنین کنترل کانه‌زایی داشته‌اند. مهم‌ترین کانی‌هایی که در این بخش دیده می‌شوند، عبارتند از گالن، اسفالریت، کالکوسیت، کولیت، کالکوپیریت و پیریت. اکسایش برونزادی، سولفیدهای سرب و روی اولیه را به طور بخشی به سروزیت، آنگلیزیت و اسمیت‌زونیت و همچنین پیریت و سولفیدهای مس اولیه را به کالکوسیت ثانویه، کولیت، ملاکیت، آزوریت و هیدروکسیدهای آهن تبدیل نموده است.



شکل ۶ پهنه‌های موجود در افق‌های کانه‌زایی و چگونگی قرارگیری آنها نسبت به هم در کانه‌زایی چرلانقوش: الف و ب) تصاویر صحرایی از افق کانه-زایی سرب-روی-مس (دید در تصویر الف به سمت شمال شرق و در تصویر ب به سمت جنوب غرب). ج) نمایی نزدیک از افق مس. د) تصویر نمادین از افق‌های کانه‌زایی شده.

کانی‌شناسی، بافت و ساخت

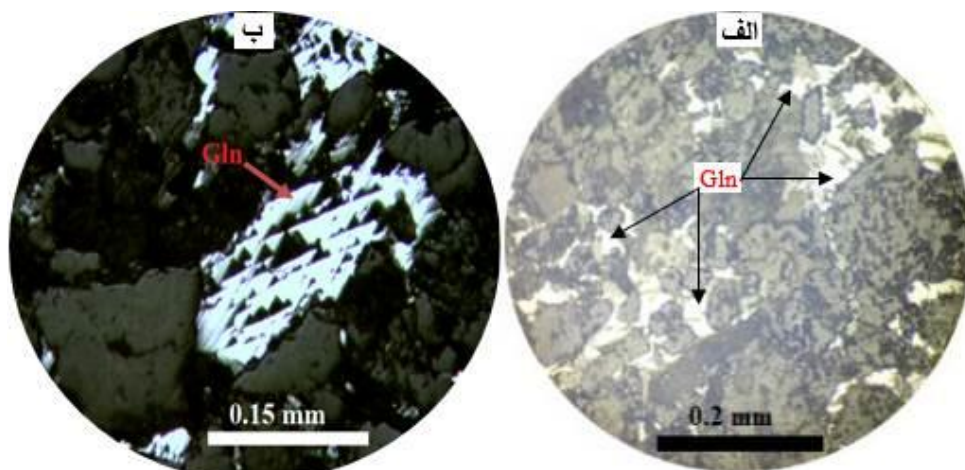
در ماسه‌سنگ‌های خاکستری مایل به سبز وجود دارد. از بافت-های شاخص این کانی، بافت دانه‌پراکنده و بافت سیمان بین بلوری است (شکل ۷). بافت دانه‌پراکنده در کانسارهای رسوبی نوع لایه قرمز بافتی است که پس از پدیده دگرسانی Bleaching و احیای محیط، در اثر برخورد سیال اکسایشی با بخش‌های احیایی و در قسمت‌های با نفوذپذیری بالا در اثر جانشینی گالن به جای سیمان کربناتی و یا به صورت پرکننده فضاهای خالی بین دانه‌ها تشکیل می‌شود [۱۶، ۱۷]. از این رو، بافت دانه‌پراکنده در کانسار چرلانقوش، بافت اولیه رسوب-گذاری نبوده و طی مرحله درون‌زایی میانی تشکیل شده است. یکی دیگر از بافت‌های موجود در کانسار سرب-روی-مس چرلانقوش بافت شبه‌لامینه‌ای است (شکل ۸). این بافت به صورت لامینه‌های نازک تیره‌رنگ در ماسه‌سنگ‌های احیایی خاکستری کانه‌دار (شکل ۸ الف) نمایان است. در شکل‌های ۸

کانه‌های اولیه در کانه‌زایی چرلانقوش شامل گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت هستند. فراوان‌ترین کانه اولیه در افق کانه‌زایی سرب-روی-مس کانه گالن بوده که با اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت همراه است. فراوان‌ترین کانه در افق کانه‌زایی مس کانه کالکوسیت بوده که با کالکوپیریت و پیریت همراه است. این کانه‌ها، در جریان فرآیندهای برون‌زایی و هوازدگی به کانی‌های ثانویه از جمله سروزیت، اسمیت‌زونیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، گوتیت و لپیدوکروزیت تبدیل شده‌اند. بافت‌های دانه‌پراکنده، شبه‌لامینه‌ای، سیمان بین‌بلوری، جانشینی، بازماندی و پیریت فرامبوئیدی از جمله بافت‌های مهم در این کانسار هستند.

در افق کانه‌زایی سرب-روی-مس کانسار چرلانقوش، گالن به شکل بلورهای ریز دانه‌پراکنده، عدسی‌شکل و شبه‌لامینه‌ای

سیمان بین بلوری در واقع نوع ویژه‌ای از بافت دانه‌پراکنده است که در آن، تمرکز کانی‌های سولفیدی از جمله اسفالریت، پیرامون دانه‌های آواری زیاد است (شکل ۹). در واقع می‌توان گفت که این کانی‌ها فضای خالی بین دانه‌های آواری را پر نموده و یا جانشین سیمان کربناتی در لبه بلورهای کوارتز و فلدسپات شده‌اند.

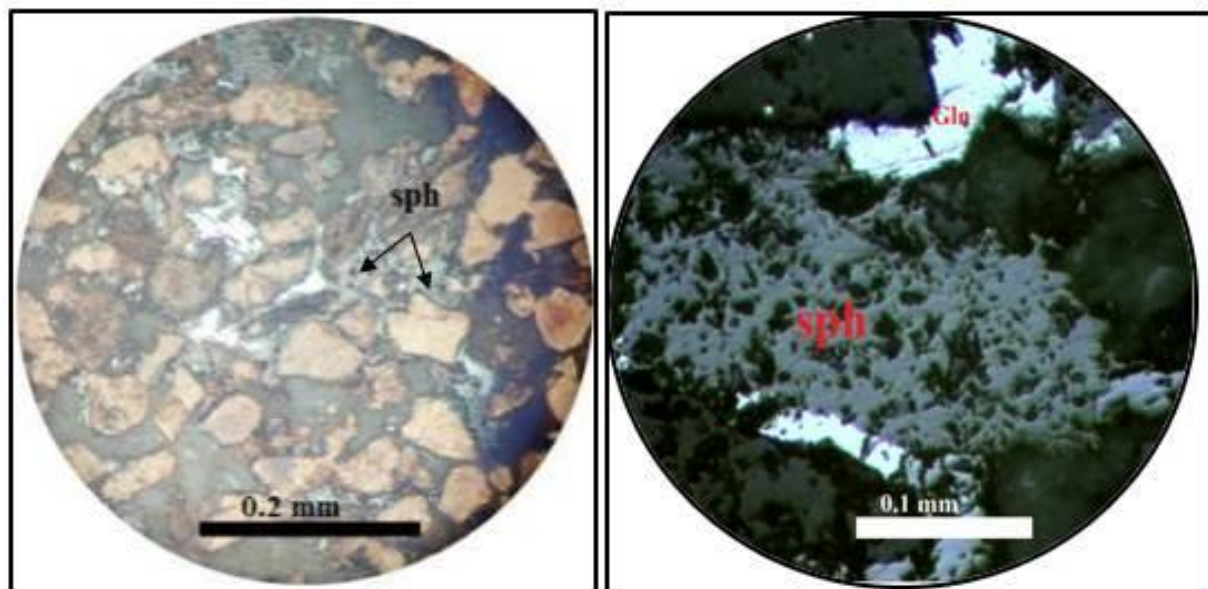
ب و پ، این بافت در تصاویر میکروسکوپی نور عبوری یک بار قطبیده با بزرگنمایی‌های مختلف نشان داده شده است. اسفالریت دیگر کانی سولفیدی است که در ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی سرب-روی-مس دیده می‌شود. اسفالریت فراوانی کمتری از گالن دارد و به شکل‌های دانه‌پراکنده و یا سیمان بین‌بلوری همراه با گالن دیده می‌شود (شکل ۹). بافت



شکل ۷ الف و ب- تصاویر میکروسکوپی با نور بازتابی یکبار قطبیده از کانی گالن (Gln) با بافت سیمان بین بلوری. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۳] هستند.



شکل ۸ تصاویر بافت شبه‌لامینه‌ای در کانسار چرلانقوش: الف) بافت شبه‌لامینه‌ای دارای کانی‌های گالن و اسفالریت در نمونه دستی (بخش‌های تیره رنگ، ب) تصویر میکروسکوپی از بافت شبه‌لامینه‌ای در نور دو بار قطبیده عبوری و پ) تصویر با بزرگنمایی بیشتر از بخش مستطیل زرد رنگ مشخص شده در شکل ب. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۳] هستند.



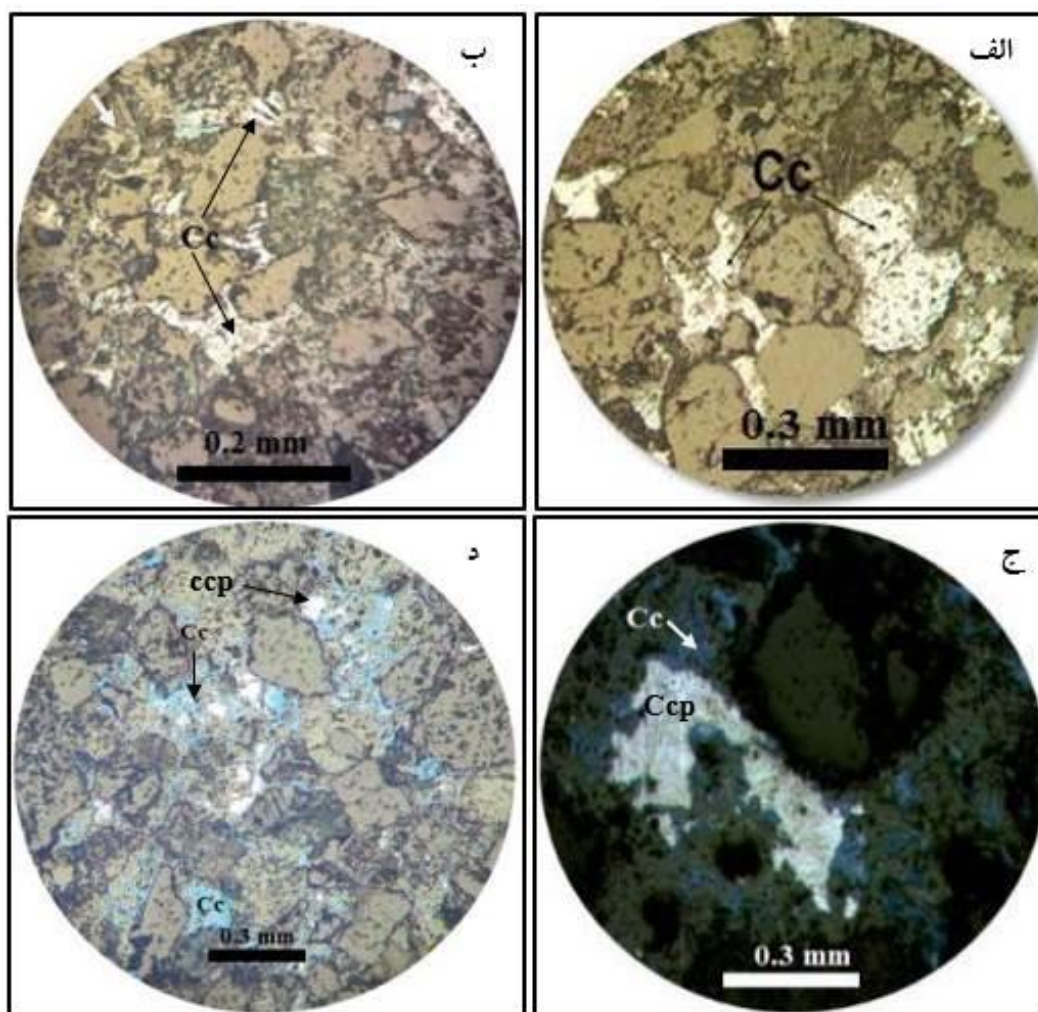
شکل ۹ تصاویر میکروسکوپی با نور بازتابی یکبار قطبیده از اسفالریت (sph) در همراهی با گالن (Gln) که به صورت بافت سیمان بین بلوری در کانسار سرب-روی-مس چرلانقوش فضای بین بلورها را پر کرده است. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۳] هستند.

شکل در اندازه‌های ۵۰ تا ۱۰۰ میکرون هستند. بلورهای پیریت فرامبوئیدی که نسل اول پیریت در این کانسار محسوب می‌شوند، در برخی بخش‌ها اکسید شده و به هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. پیریت‌های فرامبوئیدی در هر دو افق کانه‌زایی (مس و سرب-روی-مس) یافت می‌شوند. گفتنی است که پیریت نسل اول یا پیریت فرامبوئیدی برآمده از یک ژل سولفیدی بوده که در مرحله همزاد شکل گرفته است [۲۰]. در کانسار چرلانقوش، افزون بر پیریت فرامبوئیدی، نوع دیگری از پیریت وجود دارد که به صورت مکعبی تا بی‌شکل بوده و پیریت نسل دوم است (شکل ۱۱ ب). پیریت نسل دوم طی دگرسانی شستشو و احیای محیط تشکیل شده و با بقایای گیاهی دیده می‌شود.

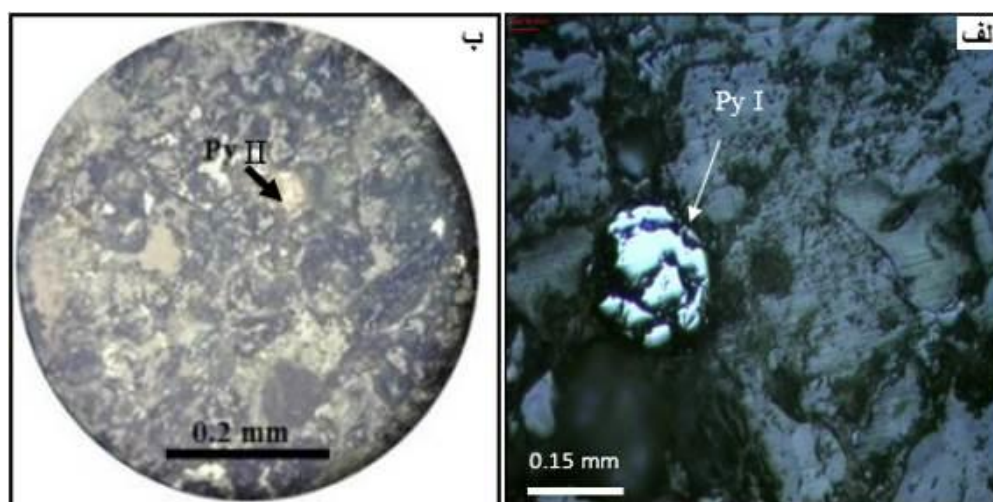
کالکوپیریت در زمینه ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی در افق کانه‌زایی سرب-روی-مس، در اندازه‌های بسیار کوچک، با بافت‌های دانه‌پراکنده و بازماندی دیده می‌شود که از سایر کانی‌ها، فراوانی کمتری دارد. بر اثر جانشینی کالکوپیریت با کالکوسیت و کوولیت که در لبه بلور وجود دارد، کالکوپیریت به صورت بافت بازماندی دیده می‌شود.

کالکوسیت با بافت‌های متعددی از جمله دانه‌پراکنده، جانشینی، سیمان بین بلوری و شبه‌لامینه‌ای در کانسار چرلانقوش دیده می‌شود (شکل ۱۰). بافت دانه‌پراکنده کالکوسیت در بیشتر کانسارهای با میزبان رسوبی نشان می‌دهد که این کانی در فضای بین بلوری سنگ میزبان تشکیل شده است [۱۸]. کانی کالکوسیت در این کانسار دو نسل دارد: کالکوسیت نسل اول دارای بافت‌های دانه‌پراکنده، سیمان بین بلوری و شبه‌لامینه‌ای بوده در حالی که کالکوسیت نسل دوم با بافت جانشینی در لبه کالکوپیریت تشکیل شده است.

در کانسار چرلانقوش، کانی پیریت در هر دو افق کانه‌زایی (مس و سرب-روی-مس) تشکیل شده است. پیریت از معمول-ترین کانی‌های سولفیدی است که در بسیاری از نهشته‌های معدنی تشکیل می‌شود [۱۹]. بر اساس روابط بافتی، بلورهای پیریت موجود در این کانسار را می‌توان به دو نسل تفکیک کرد: پیریت‌های نسل اول با بافت فرامبوئیدی و پیریت‌های نسل دوم با بافت دانه‌پراکنده. بافت فرامبوئیدی شامل انبوهه‌های بلورهای پیریت بی‌شکل خوشه‌مانند است [۲۰]. این پیریت‌ها شاخص محیط‌های با دمای پایین هستند. بلورهای پیریت فرامبوئیدی چنان که در شکل ۹ الف نیز دیده می‌شوند، به صورت کروی



شکل ۱۰ الف و ب) کانی کالکوسیت (Cc) با بافت دانه پراکنده یا سیمان بین بلوری مربوط به افق کانه‌زایی مس. پ و ت) کانی کالکوسیت (Cc) نسل دوم که در افق کانه‌زایی سرب-روی-مس جانشین کالکوپیریت (Ccp) شده است. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۳] هستند.



شکل ۱۱ الف) پیریت فرامیوئیدی (Py I) تشکیل شده درون ماسه‌سنگ میزبان کانه‌زایی مس. ب) پیریت فرامیوئیدی (Py II) تشکیل شده درون ماسه‌سنگ میزبان کانه‌زایی سرب-روی-مس. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۳] هستند.

فیلنت [۲۲]، کلسیمی مورد نیاز برای تشکیل سیمان کلسیتی، از تخریب فلدسپارها به وجود می‌آید.

در اواخر مرحله درونزایی اولیه، سیال‌های بین‌سازندی اکسایشی و گرم دارای کلر از واحدهای تبخیری از جمله لایه-های تبخیری و گنبد‌های نمکی (گنبد‌های نمکی ایلجاق و چهرآباد) شکل گرفته‌اند. این سیال‌ها در مسیر عبور خود از بین رسوب‌های قرمز رنگ، مس آزاد شده از کانی‌های سیلیکاتی ناپایدار را شسته و با خود به افق‌های احیایی حمل نموده‌اند. به دلیل وجود مواد آلی و پیریت‌های اولیه در این افق‌ها، سیال-های بین‌سازندی احیاء شده و سیال‌های احیایی را به وجود آورده‌اند.

در مرحله درونزایی میانه، عبور سیال‌های احیایی در این افق‌ها باعث گسترش شرایط احیایی و شسته شدن سنگ میزبان گردیده است. در نتیجه این فرآیند، افق‌های غنی از مواد آلی شسته شده و افق‌های دگرسان شسته شده به وجود آمده‌اند [۲۳]. سیال احیایی تولید شده که غنی از کمپلکس بی-سولفیدی است، اکسیدهای آهن پیرامون دانه‌ها را شسته و باعث تشکیل پیریت درونزاد می‌شود. در این مرحله، از آنجا که محیط احیایی است، شرایط لازم برای کانه‌زایی و همچنین تشکیل کانی‌های سولفیدی از جمله گالن، اسفالریت، کالکوسیت، کالکوپیریت و پیریت فراهم می‌شود. طی این فرآیند، بافت‌های مختلف کانه‌زایی چون جانشینی، شبه‌لامینه-ای، سیمان بین بلوری و دانه‌پراکنده تشکیل گردیده‌اند.

در مرحله کانی‌زایی، در افق‌های بالاتر، سولفیدهای سرب و روی از جمله گالن و اسفالریت تشکیل شده‌اند. سیال اکسایشی که دارای کمپلکس‌های کلریدی است، از واحدهای تبخیری موجود در توالی‌های رسوبی شکل گرفته و عامل حرکت و انتقال سرب و دیگر فلزها محسوب می‌شود. تمرکز کانه‌ها به صورت دانه‌پراکنده، شبه‌لامینه‌ای، سیمان بین بلوری و عدسی-شکل در ماسه‌سنگ‌های منطقه طی فرآیندهایی چون انحلال، ته‌نشینی دوباره، اکسایش و احیای دوباره صورت گرفته است.

در ادامه، مرحله درونزایی پایانی رخ داده اتفاق افتاده است، این مرحله شامل فرآیندهایی است که در مناطق عمیق‌تر و موقع بالآمدگی بر رسوب اثر داشته و موجب فشردگی ذره‌ها در این مرحله شده است.

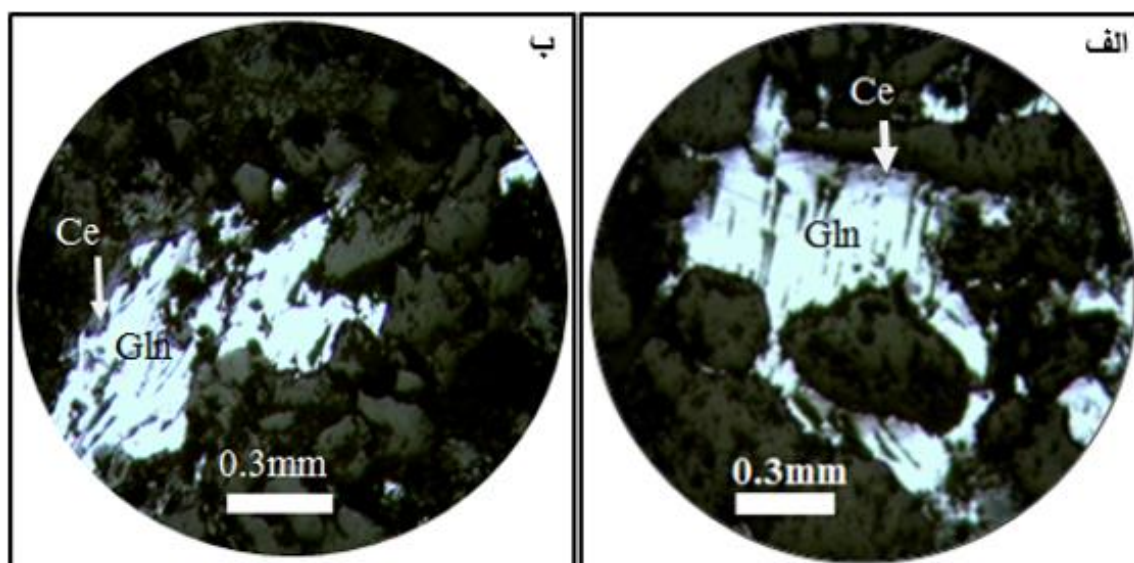
مرحله بعدی، مرحله پسا کانی‌زایی است. در این مرحله، رگه و رگچه‌های سنگ گچ هنگام بالآمدگی، درون رسوب‌های مارنی و ماسه‌سنگی در اثر اسید سولفوریک ناشی از تجزیه سولفورها بر کربنات‌ها تشکیل شده‌اند.

از جمله کانه‌های ثانویه در کانسار چرلانقوش می‌توان به سروزیت، اسمیت‌زونیت، کولین، کالکوسیت ثانویه، ملاکیت و آزوریت و اکسیدهای آهن اشاره نمود. سروزیت بیشتر در لبه گالن با بافت جانشینی دیده می‌شود (شکل ۱۲). پدیده جانشینی اغلب در راستای شکستگی‌ها، شکاف‌ها، مرز دانه‌ها و سطوح تورق رخ می‌دهد. گالن در جریان فرایندهای برونزایی و هوازدگی به کانی‌های ثانویه‌ای چون سروزیت و آنگلزیت تبدیل شده است. کولین طی مرحله برونزایی از هوازدگی کالکوسیت و کالکوپیریت و اغلب پس از تشکیل کالکوسیت ثانویه ایجاد شده است. این کانی در بخش احیایی کانه‌دار در هر دو افق مس و سرب-روی-مس در شرایط برونزایی تشکیل گردیده است و بیشتر در افق کانه‌زایی مس دیده می‌شود (شکل‌های ۱۳ الف و پ). همچنین، کولیت در افق کانه‌زایی سرب-روی-مس در اثر جانشینی در سولفیدهای مس از جمله کالکوپیریت شکل گرفته است (شکل ۱۳ ب). کانی‌های ملاکیت (شکل‌های ۱۴ الف و ب) و آزوریت (شکل ۱۴ پ) در جریان فرایندهای برونزایی تشکیل می‌شوند و در رخنمون‌های سطحی در هر دو افق کانه-زایی (مس و سرب-روی-مس) می‌توان آن‌ها را دید.

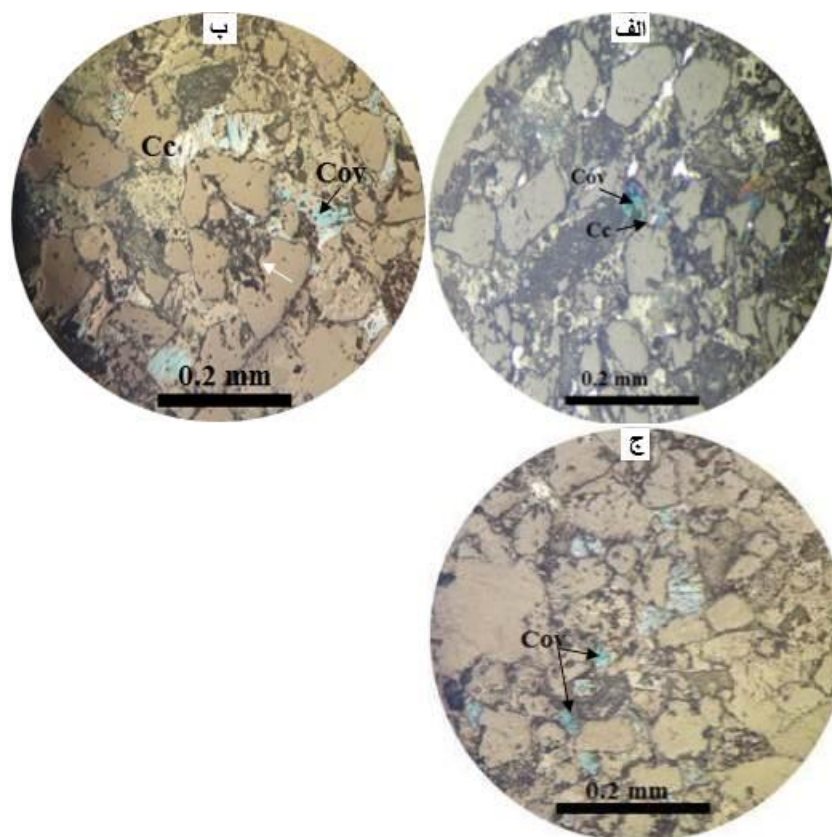
توالی همبرزادی و مراحل تشکیل کانه‌ها

توالی همبرزادی و مراحل کانه‌زایی در رخداد معدنی سرب-روی-مس چرلانقوش را می‌توان چنین معرفی کرد که پیریت فرامبوئیدی در مراحل اولیه درونزایی (کمی پس از ته‌نشست رسوب‌ها) از ژل سولفیدی متبلور شده است [۲۰]. هنگام ته-نشست رسوب‌ها، کانی‌های سیلیکاتی آهن‌دار چون بیوتیت، فلدسپار و هورنبلند که به احتمال بسیار درون شبکه خود دارای فلزهای پایه از جمله مس، سرب و روی هستند، وارد حوضه رسوبی شده‌اند. طی فرآیند تجزیه، آهن موجود در ساختار این کانی‌ها آزاد شده و به صورت اکسید آهن III، دور قطعه‌های آواری رسوب کرده و باعث قرمز شدن رسوب‌ها گردیده است (پهنه‌های قرمز اکسایشی). با گذشت زمان، رنگ قرمز رسوب‌ها تیره‌تر شده و به احتمال بسیار این فرایند تا اواخر مرحله درونزایی آغازین ادامه یافته است [۲۱].

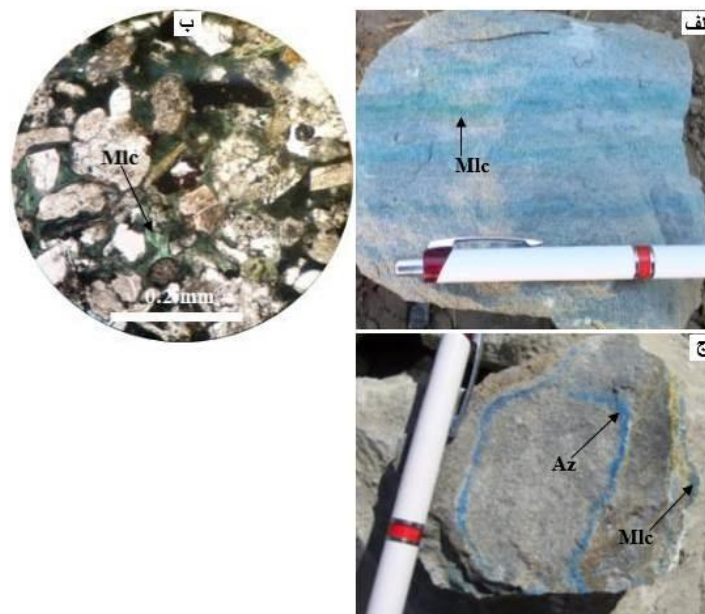
در مرحله هم درونزایی، پیریت فرامبوئیدی (پیریت نسل اول) در شرایطی که مقدار فراگیرتری از سولفیدهای آهن متبلور می‌شوند، تشکیل شده است. در مرحله درونزایی اولیه، کلسیت بیشتر به صورت سیمان کلسیتی در بین قطعه‌ها آواری انباشته شده است. فرآیند سیمانی شدن به حرکت مایع‌های درون رسوب‌ها، یون‌های موجود در مایع‌های درون حفره‌ای و نیز شرایط رسوب‌گذاری بستگی دارد. بر اساس بررسی‌های



شکل ۱۲ تصاویر میکروسکوپی با نور بازتابی یکبار قطبیده از کانی سروزیت (Ce) به صورت لبه جانشینی پیرامون گالن (Gln). نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۳] هستند.



شکل ۱۳ الف) کانی کوولیت (Cov) به صورت لبه جانشینی پیرامون کالکوسیت (Cc) مربوط به افق کانه‌زایی سرب-روی-مس. ب و پ- کانی کوولیت (Cov) به صورت لبه جانشینی پیرامون کالکوسیت (Cc) مربوط به افق کانه‌زایی مس. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۳] هستند.



شکل ۱۴ الف- مالاکیت (Mlc) با بافت انحلالی و ایجاد لامینه کاذب در ماسه‌سنگ‌های پهنه احیایی کانهدار در افق مس. ب) کانی مالاکیت (Mlc) تشکیل شده پیرامون بلورها. پ) تصویر نمونه دستی از کانی‌های آزوریت (Az) و مالاکیت (Mlc) در ماسه‌سنگ‌های افق کانهدار سرب-روی-مس. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۳] هستند.

به منظور بررسی زمین شیمی واحدهای ماسه‌سنگی در منطقه چرلانقوش، تعداد ۸ نمونه از این سنگ‌ها انتخاب و پس از خردایش و پودر کردن، در آزمایشگاه زراژما روش‌های طیف-سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) و طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) تجزیه شدند. داده‌های این تجزیه‌ها در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

ترکیب شیمیایی سنگ‌های آواری تابع فرآیندهای پیچیده-ای چون هوازدهی، حمل و نقل، درون‌زایی و جورشدگی است. دگرسانی سریع، هوازدهی فلدسپارها و همچنین آب‌شویی کانی‌های فرعی در ماسه‌سنگ‌ها سبب خطا در تفسیر حوضه-های رسوبی می‌شود. فراوانی زیرکن از موارد مهم برای تفسیر ترکیب خاستگاه است و بر پایه مقدار TiO_2 نسبت به عنصر زیرکونیوم (Zr)، سه نوع خاستگاه مافیک، فلسی و حدواسط مشخص می‌شود. خاستگاه ذره‌های آواری تشکیل دهنده طبقه‌های قرمز کانسار چرلانقوش را می‌توان با جایابی نقاط بر نمودار TiO_2 نسبت به Zr [۲۴] تعیین کرد. چنان که در شکل ۱۵ مشخص است، نمونه‌های مورد بررسی از یک خاستگاه فلسیک شکل گرفته‌اند.

برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌ها می‌توان از شیمی عناصر اصلی و کمیاب استفاده کرد. بر اساس

در پایان، در اثر فرآیندهای هوازدهی و برون‌زایی، کانی‌های ثانویه اکسیدی، کربناتی و سولفیدی تشکیل گردیده‌اند. در مرحله برون‌زایی، کانی‌های سولفیدی در معرض آب‌های جوی اکسایشی قرار گرفته و موجب شسته شدن سرب، روی و مس از آنها شده و در نتیجه کانی‌هایی چون سروزیت، آنگلیزیت، اسمیت‌زونیت و کوولیت تشکیل گردیده‌اند. همچنین، کانی‌های برونزاد مالاکیت، آزوریت، لپیدوکروزیت و گوتیت نیز در این مرحله تشکیل شده‌اند. توالی همبرزادی و مراحل مختلف تشکیل کانی‌ها در کانسار چرلانقوش در جدول ۱ نشان داده شده است.

زمین‌شیمی سنگ میزبان

توالی همبرزادی و مراحل سنگ‌های رسوبی آواری با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده خود نشانگرهای خوبی از محیط گذشته و حتی جایگاه زمین‌ساختی زمین پویای گذشته هستند. ترکیب این نوع سنگ‌ها تابعی از متغیرهایی چون سنگ مادر، هوازدهی، حمل و نقل، جورشدگی، تمرکز کانی‌های سنگین و درون‌زادی است. از این رو، از بررسی‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های رسوبی آواری می‌توان به‌عنوان ابزاری مؤثر برای شناسایی عوامل کنترل‌کننده ویژگی‌های رسوب‌ها طی رسوب‌گذاری و پس از آن، استفاده کرد.

مرجع [۲۵] با استفاده از زمین شیمی عناصر اصلی، جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها تفکیک شده است. براساس نمودار سه متغیره $Th-Co-Zr/10$ و $Th-Sc-Zr/10$ ، [۲۶]، می‌توان جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های میزبان کانسار سرب-روی-مس چرلاتقوش را مشخص کرد. این نمودار بر اساس

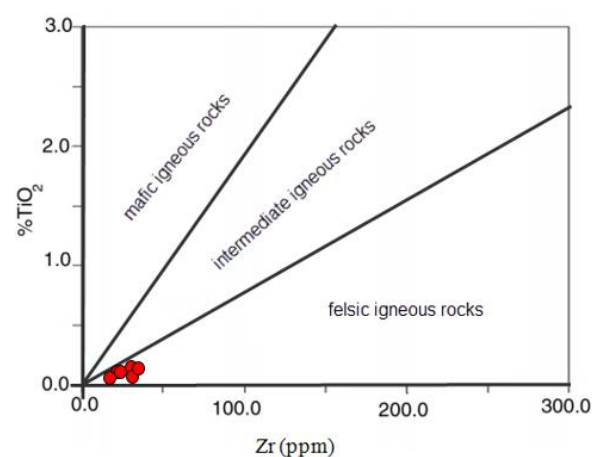
فراوانی عناصر اصلی، چهار محیط زمین‌ساختی متفاوت را مشخص می‌نماید. در این نمودار، حروف A، B، C و D به-ترتیب نشان دهنده جزایر قوسی، قوس‌های قاره‌ای، کرانه فعال و کرانه غیرفعال قاره‌ای هستند. در این نمودار، نمونه‌های مورد بررسی در بخش کرانه فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۱۶).

جدول ۱ توالی هم‌رزدی کانسار مس و سرب-روی-مس چرلاتقوش.

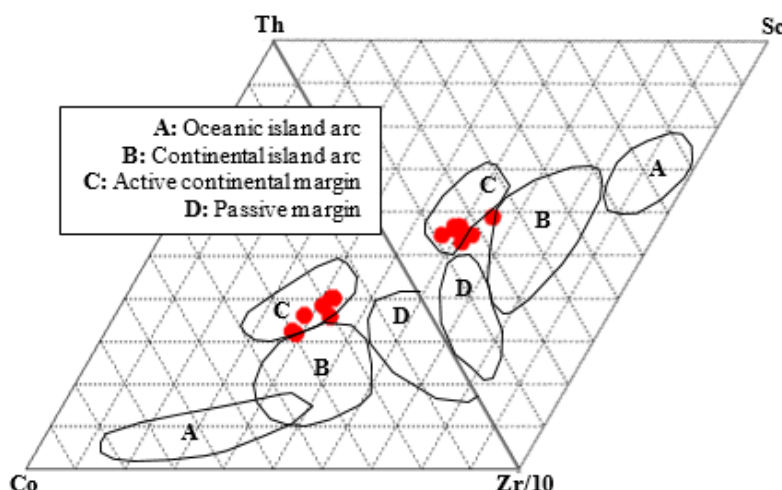
مراحل کانه‌زایی-کانی‌ها و فرایندها	دیاژنز و رسوب‌گذاری				پس از کانه‌زایی (بالآمدگی)	هوازدهی و برونزاد
	همزمان با رسوبگذاری	دیاژنز آغازین	دیاژنز میانی	دیاژنز پایانی		
قرمزدگی	_____					
سیمان کلسیتی		_____				
تجزیه مواد آلی و انحلال اسیدی		_____	_____			
ایجاد تخلخل		_____	_____			
شستشو	_____		_____	_____		
فشرده‌گی	_____	_____				
پیریت I			_____			
پیریت II			_____			
کاکوپیریت			_____			
کالکوسیت I			_____			
گالن					_____	
اسفالریت						_____
ژپس						_____
سروزیت						_____
اسمیت سونیت II						_____
کالکوسیت						_____
کولین						_____
مالاکیت						_____
آزوریت						_____
گوتیت						
لپیدوکروزیت						
بافت ماده معدنی	فرامبوییدال	_____				
	دانه پراکنده		_____			
	شبه لایمینه‌ای		_____			
	جانشینی		_____			_____
	سیمان بین دانه‌ای		_____			
	رگه-رگچه‌ای				_____	_____
	بازماندی					

جدول ۲ نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی و فرعی برحسب درصد وزنی و عناصر کمیاب و خاکی نادر برحسب ppm برای واحدهای ماسه-سنگی در منطقه چرلانقوش.

شماره نمونه	M-۳	M-۷	M-۸	M-۱۳	M-۱۵	M-۱۸	M-۲۱
SiO ₂	۶۰.۵۶	۵۹.۸۰	۶۱.۵۹	۵۱.۲۶	۵۳.۷۹	۵۳.۱۴	۵۳.۴۲
Al ₂ O ₃	۲۶.۳۳	۲۳.۶۶	۲۴.۹۲	۲۰.۷۸	۲۹.۹۴	۲۲.۹۴	۲۲.۹۶
CaO	۸.۶۳	۱۲.۱۶	۹.۳۲	۲۳.۶۲	۱۷.۰۳	۲۰.۰۲	۱۹.۵۵
Na ₂ O	۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۱۰	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۸
K ₂ O	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۰۶
Fe ₂ O _{3t}	۲.۳۲	۲.۳۴	۲.۳۶	۲.۱۹	۲.۲۱	۲.۰۴	۲.۱۵
MgO	۱.۳۴	۱.۱۳	۰.۹۶	۱.۱۷	۱.۱۶	۱.۱۲	۱.۱۰
MnO	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۱۰	۰.۲۴	۰.۱۵	۰.۱۸	۰.۱۶
TiO ₂	۰.۳۰	۰.۳۳	۰.۳۱	۰.۴۲	۰.۳۵	۰.۳۰	۰.۳۲
P ₂ O ₅	۰.۱۹	۰.۲۰	۰.۲۲	۰.۱۶	۰.۱۷	۰.۰۷	۰.۱۶
LOI	۱۱.۳۰	۱۱.۱۸	۱۰.۹۵	۱۳.۰۹	۱۰.۳۱	۱۰.۴۷	۱۱.۷۴
مجموع	۹۹.۹۴	۹۹.۹۴	۹۹.۹۶	۹۹.۹۷	۱۰۰.۰۰	۹۹.۹۴	۱۰۰.۰۰
Pb	۲۱۲۹۰۰	۲۱۱۸۰۰	۲۸۲۲۰۰	۱۰۰۰۰	۱۵۹۸۰۰	۱۵۶۴۰۰	۲۱۳۲۰۰
Zn	۴۰۹۰۰	۳۵۳۰۰	۱۶۵۰۰	۳۴۶۰۰	۴۲۱۰۰	۴۲۷۰۰	۳۹۲۰۰
Cu	۲۰۱۳۲	۱۰۱۴۵	۲۵۲۶۵	۲۳۵	۱۱۸۱	۱۱۵۲	۹۸
Ag	۳۱۴.۸	۲۱۴.۸	۳۳۱	۴۹	۵۰.۶	۴۹.۲	۵۹.۳
Ba	۲۰.۸	۱۶۶	۱۴۸	۱۷۸	۲۰.۱	۲۰.۵	۲۰.۱
Rb	۲۱	۱۴	۱۴	۱۵	۱۹	۱۸	۱۹
Sr	۹۰.۸۶	۸۰.۳۹	۷۵.۴۴	۳۰.۳۷	۳۰.۷۴	۳۰.۰۷	۲۰.۴۵
U	۱.۲	۱.۱	۱.۱	۰.۹	۱	۱	۰.۹
Th	۲.۷۹	۲.۳۵	۲.۳۵	۳.۱۷	۳.۲۵	۳.۳۴	۳.۳۲
Zr	۳۳	۲۹	۲۴	۳۹	۳۵	۳۶	۳۵
Nb	۱۱	۹.۹	۷.۹	۱۲.۵	۱۱.۶	۱۱.۴	۱۱.۲
Ta	۰.۱۳	۰.۱۲	۰.۱۱	۰.۲۴	۰.۱۸	۰.۱۹	۰.۱۷
Co	۲۶	۲.۲	۰.۱	۱.۸	۲.۳	۱.۸	۱.۵
Ni	۶	۶	۳	۸	۸	۸	۷
Sc	۱.۹	۰.۹	۰.۶	۱.۵	۱.۳	۱.۲	۱.۲
As	۲۲.۶	۳۹.۹	۴۰	۸.۳	۱۵.۸	۱۷.۹	۶.۳
La	۱۲	۱۳	۸	۱۶	۱۴	۱۳	۱۳
Ce	۲۴	۲۵	۱۷	۳۲	۲۷	۲۸	۲۷
Pr	۲.۲۷	۱.۹۱	۱.۴۸	۲.۵۴	۲.۳۴	۲.۲۴	۲.۲۱
Nd	۱۱	۹.۹	۷.۹	۱۲.۵	۱۱.۶	۱۱.۴	۱۱.۲
Sm	۲	۱.۷۶	۱.۴	۲.۳۷	۲.۱۸	۲.۱۳	۲.۱۲
Eu	۰.۵	۰.۴۶	۰.۳۵	۰.۵۷	۰.۵۳	۰.۵۲	۰.۵۱
Gd	۱.۹۷	۱.۷	۱.۴۵	۲.۴۵	۲.۱۴	۲.۱۸	۲.۱۲
Tb	۰.۳	۰.۲۷	۰.۲۲	۰.۳۷	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۳۲
Dy	۱.۴۲	۱.۲۳	۰.۹۹	۱.۸۱	۱.۶۷	۱.۶۱	۱.۵۸
Er	۰.۸۷	۰.۶۷	۰.۵۹	۱.۰۹	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۰
Tm	۰.۱۲	۰.۱	۰.۱	۰.۱۶	۰.۱۴	۰.۱۴	۰.۱۳
Yb	۰.۸	۰.۷	۰.۶	۱	۱	۱	۰.۹
Lu	۰.۲۷	۰.۲۷	۰.۳۲	۰.۳۱	۰.۲۴	۰.۲۷	۰.۲۶
Y	۸	۶.۳	۵.۹	۸.۲	۸	۷.۸	۷.۷
Cd	۶۸۷.۱	۸۸۰.۲	۲۳۶.۲	۸۲۳.۴	۱۲۷۶.۹	۱۲۶۰.۶	۱۱۵۱.۸
Hf	۰.۹۱	۰.۷۹	۰.۶۸	۱.۰۹	۱.۰۲	۱.۰۶	۰.۹۸
V	۳۶	۳۷	۳۲	۴۶	۴۲	۴۱	۴۱
Cr	۴۲	۳۷	۴۸	۲۹	۳۶	۲۷	۳۷
Cs	۱.۱	۱	۱	۱.۱	۱.۳	۱.۳	۱.۲



شکل ۱۵ نمودار Zr نسبت به TiO_2 [۲۴] تعیین خاستگاه ماسه سنگ‌ها که نمونه‌های مورد بررسی بر آن جایابی شده‌اند.



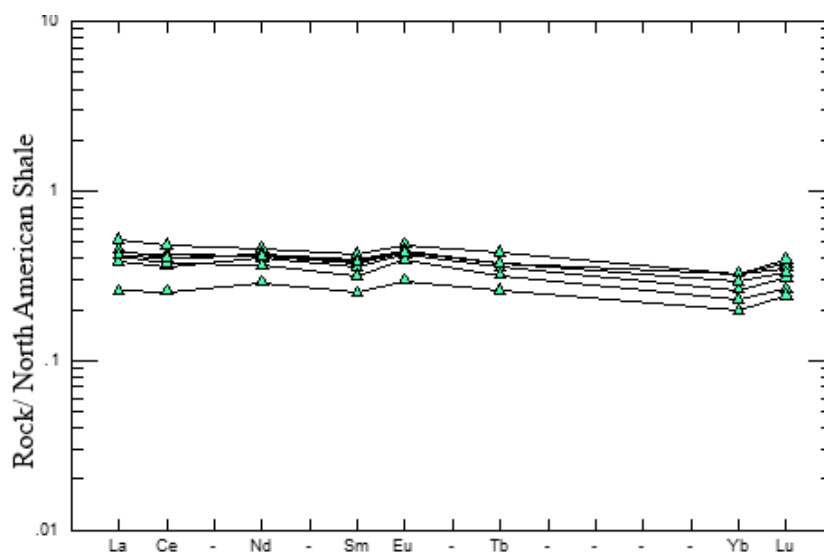
شکل ۱۶ نمودار تفکیک محیط‌های زمین ساختی برای ماسه‌سنگ‌ها بر اساس فراوانی عناصر کمیاب [۲۶] که نمونه‌های مورد بررسی بر آن جایابی شده‌اند.

[۲۹] استفاده شد. به اعتقاد [۲۷]، ترکیب این شیل‌ها نسبت به شهاب‌سنگ‌های کندریتی از نظر عناصر خاکی نادر سبک (LREE)، حدود ۱۰ برابر غنی‌تر است و عنصر Eu ناهنجاری منفی کمتری از خود نشان می‌دهد.

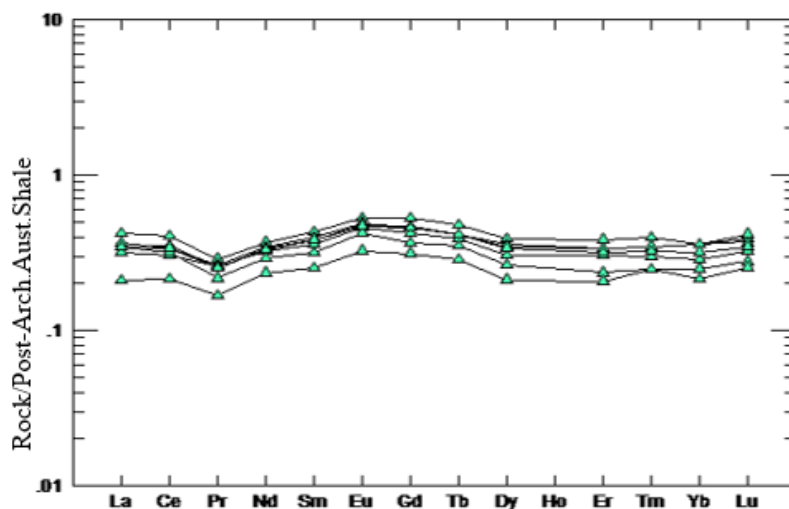
در شکل‌های ۱۷ و ۱۸، الگوهای پراکندگی عناصر خاکی نادر سنگ میزبان کانه‌زایی چرلانقوش نشان داده شده‌اند. در این الگوها، ناهنجاری مثبت در عناصر Eu, Gd, Tb و ناهنجاری منفی در عناصر Pr و Yb دیده می‌شود. غنی‌شدگی Eu در نمونه‌های مورد بررسی می‌تواند به دلیل حضور کانی پلاژیوکلاز در سنگ میزبان کانسار چرلانقوش باشد.

عناصر خاکی نادر (REE) کاربردهای بسیاری در بررسی‌های زمین‌شیمیایی و فرایندهای آذرین، رسوبی و دگرگونی دارند. این عناصر قابلیت انحلال کمی دارند و طی فرایندهای هوازدگی، دگرگونی و دگرسانی به نسبت غیرمتحرک هستند. از این رو، این عناصر با تحرک بسیار کم، کاربردهای بسیاری در تعیین خاستگاه کانسارهای آذرین، رسوبی و دگرگونی دارند [۲۷].

برای بررسی چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر خاکی نادر در ماسه‌سنگ‌های منطقه چرلانقوش، از استاندارد ترکیب شیل آمریکای شمالی [۲۸] و همچنین از ترکیب شیل استرالیا



شکل ۱۷ الگوی پراکندگی عناصر خاکی نادر در کانسار چرلانقوش بر اساس شیل آمریکای شمالی [۲۸].



شکل ۱۸ الگوی پراکندگی عناصر خاکی نادر در کانسار چرلانقوش بر اساس شیل استرالیا [۲۹].

چگونگی تشکیل کانسار

کانسارهای مس رسوبی با میزبان ماسه‌سنگی طی فرآیند درون‌زایی تشکیل می‌شوند [۱۴، ۱۵، ۲۱] پیریت فرامبوئیدی در این نوع کانسارها در مرحله هم‌درون‌زایی (کمی پس از ته‌نشست رسوب‌ها) از ژل سولفیدی به همراه رسوب‌ها ته‌نشست و متبلور می‌شود [۲۰]. سپس طی فرآیندهای آب‌کافتی، کانی‌های سیلیکاتی موجود در توالی لایه قرمز (چون پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت)، ناپایدار می‌گردند و آهن موجود در شبکه آنها آزاد شده و به صورت هیدروکسیدهای آهن سه‌ظرفیتی در می‌آیند. این هیدروکسیدها پیرامون دانه‌های آواری انباشته شده و موجب قرمز شدن رسوب‌ها طی درون‌زایی اولیه می‌گردند [۲۱]. همچنین، هم‌زمان با آزاد شدن آهن، عناصر دیگری چون روی و سرب نیز از شبکه کانی‌هایی از جمله فلدسپات آزاد شده و وارد سیال اکسایشی می‌شوند. عناصر آزاد شده طی این مرحله (درون‌زایی آغازین) توسط هیدروکسیدهای آهن و اسمکتیت موجود در زمینه رسی ماسه‌سنگ جذب می‌شوند [۲۴].

به گزارش واکر [۲۱]، تبلور و بلوغ هیدروکسیدهای آهن غیر بلورین و تبدیل آن به هماتیت و همچنین تبدیل اسمکتیت به ایلیت با خروج آب سنگواره غنی از کلرید و افزایش فشار رخ می‌دهد. از این رو، در زمان این تبدیل‌ها، شرایط برای حمل سرب-روی-مس و سایر عناصر همراه به صورت کمپلکس کلریدی مهیاست.

در منطقه چرلانقوش، گنبد‌های نمکی در اثر بالا آمدگی و گنبدزایی، موجب چرخش سیال‌های موجود پیرامون آنها

شده‌اند و در اثر آب‌زدایی و انحلال کانی‌های تبخیری در توالی-های تبخیری سازند قرمز پسین، منجر به سیال‌های غنی از کلرید با شوری متوسط تا بالا گردیده‌اند. این سیال‌ها که حالت اکسایشی داشته‌اند، فلزهایی چون سرب، روی و مس را به صورت کمپلکس کلریدی حمل نموده‌اند. از سوی دیگر، وجود مواد آلی با تمرکزهای بالا در برخی از افق‌های ماسه‌سنگی، باعث احیای سیال‌های بین سازندی و ایجاد سیال‌های احیایی شده‌اند. باکتری‌های بی‌هوازی با گرفتن انرژی مورد نیاز از مواد آلی، سولفات موجود در آب بین سازندی را احیاء نموده و به کمپلکس بی‌سولفیدی تبدیل می‌کنند. این فرآیند موجب شسته شدن افق‌های غنی از مواد آلی شده و در نتیجه پهنه-های دگرسان شسته شده را ایجاد نموده‌اند. در این حالت، اکسیدهای آهن موجود در بخش احیایی، در کنار سیال‌های غنی از کمپلکس بی‌سولفیدی، به صورت پیریت درون‌زاد ته‌نشست کرده‌اند. سیال اکسایشی کانه‌ساز در مسیر چرخش خود، با رسیدن به افق‌های احیایی غنی از مواد آلی و در اثر برخورد با سیال احیایی، باعث ناپایدار شدن کمپلکس‌های کلریدی حامل سرب، روی و مس شده و در نتیجه سولفیدهای سرب، روی و مس (گالن، اسفالریت، کالکوسیت و کالکوپیریت) تشکیل شده‌اند.

کانسار مس، سرب-روی-مس رسوبی چرلانقوش دارای منطقه‌بندی قائم فلزی است. منطقه‌بندی فلزی قائم در این کانسارهای رسوبی به شرایط محیطی و جغرافیایی گذشته مربوط است. در برخی از کانسارهای مس رسوبی از جمله کانسار کوپریت، منطقه‌بندی فلزی مربوط به پیشروی و

شکل ۱۹ مدل طرحوار و مراحل تشکیل کانه‌زایی سرب-روی-مس در منطقه چرلانقوش: الف) ته‌نشست رسوب‌های تبخیری به همراه ماسه-سنگ-های دارای مواد آلی در یک محیط کم‌عمق، ب) گندزدایی و بالاآمدگی گنبد‌های نمکی و تشکیل سیال اکسایشی درون توالی تبخیری و چرخش آنها در لایه‌های سرخ و شسته شدن سرب، روی و مس توسط سیال اکسایشی از درون لایه‌های سرخ. سرب، روی و مس به صورت کمپلکس کلریدی حمل شده و به بخش‌های احیائی دارای مواد آلی و بقایای گیاهی رسیده‌اند. مواد آلی به وسیله باکتری‌ها تخریب شده و سیال‌های احیائی را در این افق‌ها بوجود آورده و باعث دگرسانی (شستشو) شده‌اند. در نتیجه برخورد سیال‌های اکسایشی با سیال‌های احیائی، کمپلکس‌های کلریدی ناپایدار شده و موجب ته‌نشست سولفیدهای سرب، روی و مس گردیده است. ب) چین‌خوردگی، رسوب‌ها و خروج آنها.

جدول ۳ مقایسه ویژگی‌های کانسار سرب-روی-مس رسوبی چرانقوش با برخی کانسارهای مس رسوبی ایران.

کانسار	چرانقوش	چهرآباد	مارکشه	چهرگان
موقعیت	شمال غرب زنجان	شمال غرب زنجان	شمال غرب راور	شمال تسوج
سن	میوسن	میوسن	ژوراسیک- کرتاسه	میوسن
عناصر معدنی	Cu-Pb-Zn	Cu-Ag	Cu-Ag	Cu
جایگاه زمین‌ساختی	محیط کشتی (حاشیه فعال)	محیط کشتی	محیط کشتی	محیط کشتی؟
محیط ته‌نشست	کم‌عمق و جزر و مدی	کم‌عمق و جزر و مدی	جزر و مدی	کم‌عمق
ژئومتری	لایه‌ای و عدسی‌شکل هم‌روند با لایه-بندی	چینه‌کران، عدسی‌شکل و هم‌روند با لایه‌بندی	عدسی‌شکل و هم‌روند با لایه‌بندی	عدسی‌شکل و هم‌روند با لایه‌بندی
سنگ میزبان	ماسه‌سنگ	ماسه‌سنگ	ماسه‌سنگ و کنگلومرا	ماسه‌سنگ
کانی‌شناسی کانسنگ	کالکوسیت، کوولیت، گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، سروزیت، آنگلزیت، اسمیت‌زونیت، مالاکیت و آزوریت	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، آرژانتیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت	کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، مالاکیت، آزوریت، آرژانتیت و کریزوکلا	کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت
ساخت و بافت	جانشینی، دانه‌پراکنده، سیمان بین‌دانه‌ای، Solution seam، عدسی‌شکل و پیریت کلوform	جانشینی، دانه‌پراکنده، سیمان بین‌دانه‌ای، Solution seam و عدسی‌شکل	جانشینی، دانه‌پراکنده، Solution seam، سیمان بین‌دانه‌ای و کلوform	جانشینی و دانه‌پراکنده
دگرسانی	Bleaching	Bleaching	Bleaching	Bleaching
عامل احیاکننده	مواد آلی، بقایای گیاهی و پیریت دیازنتیکی	مواد آلی، بقایای گیاهی و پیریت دیازنتیکی	بقایای گیاهی و پیریت دیازنتیکی	بقایای گیاهی و پیریت دیازنتیکی
عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی	وجود عامل احیاکننده و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیاکننده و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیاکننده و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیاکننده و نفوذپذیری سنگ میزبان
تیپ کانی‌زایی	Redbed SHC	Redbed SHC	Redbed SHC	Redbed SHC
منبع	نتایج حاصل از این پژوهش	[۳، ۵، ۳۴]	[۳۱، ۳۲]	[۳۳]

برداشت

کانسار سرب-روی-مس چرانقوش در پهنه ایران مرکزی واقع است. بر پایه بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، واحدهای سنگی دارای برونزد در منطقه چرانقوش شامل سازند قرمز پیشین، سازند قم، سازند قرمز پسین و نهشته‌های آبرفتی کواترنری هستند. کانسار سرب-روی-مس چرانقوش در واحدهای ماسه‌سنگی سازند قرمز پسین تشکیل شده است. از عوامل اصلی اثر در شکل‌گیری کانسار سرب-روی-مس چرانقوش می‌توان به مقدار زیاد مواد آلی (بقایای گیاهی) و به مقدار کمتر پیریت به عنوان عامل احیا کننده، نفوذپذیری بالای ماسنگ‌های میزبان کانه‌زایی، وجود نهشته‌های تبخیری بویژه

نمک، فراوانی شکستگی‌ها (گسل‌ها و درزه‌ها) اشاره نمود. کانسار سرب-روی-مس چرانقوش موازی با لایه‌بندی در ماسه‌سنگ‌های احیایی خاکستری تا متمایل به سبز سازند قرمز پسین تشکیل گردیده و دارای بافت‌های شبه‌لامینه‌ای، دانه-پراکنده، سیمان بین بلوری، جانشینی و بازماندی است. کانه‌های اصلی این کانسار شامل گالن، اسفالریت، کالکوسیت، کالکوپیریت و پیریت هستند که در اثر فرآیندهای هوازدگی و برونزایی به سروزیت، اسمیت‌زونیت، کوولیت، کالکوسیت ثانویه، مالاکیت، آزوریت و گوتیت تبدیل شده‌اند. براساس جایگاه زمین‌ساختی (محیط کشتی)، محیط تشکیل (حوضه رسوبی قاره‌ای تا دریایی کم عمق)، نوع سنگ میزبان (ماسه‌سنگ‌های

quarterly Geology Journal, The Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 24(96) (2015) 249–262.

[6] Ebrahimi M., Nabatian Gh., Khodaii M., "Mineralography of the Ghuii sedimentary Cu deposit (southwest of Gheidar), Zanjan providence", 15th national conference of the Iranian Economic Geology Association. (2012) 1–7.

[7] Haghighi A. S., "Geology, Mineralogy, geochemistry and genesis of the Ortasu Pb-Zn deposit, northwest of Zanjan", M.S. thesis, (2016) 140 p.

[8] Ebrahimi M., Goli M., Esmaeili R., Nematollahi M.J., Taghilu B., Veisia A., "Gharabuteh sedimentary Pb deposit, northwest of Zanjan", 26th national conference of the Iranian Crystallography and Mineralogy Association. (2018) 608–613.

[9] Jamalipur S., "Mineralogy and geochemistry of the host rock and ore body in the Chehrabad sedimentary Cu deposit, northeast of Mahneshan", MSc thesis, (2015) 118 p.

[10] Lotfi M., "1:100000 geologic map of Mahneshan", The Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, (2001).

[11] Aghazadeh M., Badrzadeh Z., "Introducing horizons of the sedimentary Cu deposit in Iran", 29th Earth Science Conference, The Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, (2010) 1–8.

[12] Aghanabati A., "Geology of Iran", The Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. 586 p.

[13] Kretz R., *Symbols for rock-forming minerals*, American mineralogist, Vol: 68 (1983) p: 277-279.

[14] Hitzman M., Kirkham R., Broughton D., Thorson J., Selley D., "The sediment-hosted stratiform copper ore system", 100th anniversary volume of Economic Geology 609-612.

[15] Brown A. C., "Refinements for footwall red bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform

احیایی خاکستری تا مایل به سبز)، کانی‌شناسی ماده معدنی (گالن، اسفالریت، کالکوسیت، کالکوپیریت و پیریت)، ساخت و بافت (بافت‌های شبه‌لامینه‌ای، دانه‌پراکنده، سیمان بین بلوری، جانیشینی و بازماندی) و عوامل کنترل کننده کانه‌زایی (مقدار بالای مواد آلی گیاهی و مقادیر کمتر پیریت به عنوان عوامل احیا کننده، نفوذپذیری بالای سنگ‌های میزبان و همچنین فراوانی شکستگی‌ها)، کانسار سرب- روی-مس چرانقوش بیشترین شباهت را به کانسارهای رسوبی نوع لایه قرمز دارد.

قدردانی

مؤلفین مقاله از مسئولین محترم دانشگاه زنجان به دلیل حمایت مالی از این پژوهش قدردانی می‌نمایند. همچنین از داوران محترم که با ارایه نظرات ارزنده خود موجب غنای علمی این مقاله شده‌اند، سپاسگزاری می‌گردد.

مراجع

[1] Hitzman M. W., Selley D., Bull S., "Formation of sedimentary rock hosted stratiform copper deposits through earth history", Economic Geology, 105 (2010) 627–639.

[2] Ebrahimi M., Musavimotlagh H., "A study of Halab sedimentary Cu deposit, southwest of Zanjan", 4th national conference of the Iranian Economic Geology Association. (2012) 358–363.

[3] Bikdeli Z., "Mineralogy and geochemistry of the host rock and ore body in the Cherlanghush area, sedimentary Cu deposit, northeast of Mahneshan", MSc thesis, (1393) 107 p.

[4] Bikdeli Z., Ebrahimi M., Nabatian Gh., Mokhtari M.A.A., "Mineralogy, structure and texture of the Chehrabad sedimentary Cu deposit, northwest of Zanjan", 21th national conference of the Iranian Crystallography and Mineralogy Association. (2013) 1–7.

[5] Bikdeli Z., Ebrahimi M., Nabatian Gh., Mokhtari M.A.A., "Mineralization, mineralogy, structure and texture of the Chehrabad sedimentary Cu deposit, northwest of Zanjan", The

copper, sandstone lead, sandstone uranium vanadium deposits. In: Lentz D.R. (Eds.), *Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit forming environments*, Geological Association of Canada, Geotext 4 (2003) 121–133.

[24] Hayashi K.I., Fujisawa H., Holland H.D., Ohmoto H., "Geochemistry of ~ 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada", *Geochimica et cosmochimica acta*, 61(19), (1997) 4115-4137.

[25] Bhatia, M. R., "Plate tectonics and geochemical composition of sandstones", *The Journal of Geology*, 91(6) (1983) 611-627.

[26] Bhatia M.R., Crook K.A., "Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92(2), (1986) 181-193.

[27] Rollinson H. R., "Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation", Longman, UK, 352 p (1993).

[28] Gromet L.P., Haskin L.A., Korotev R.L., Dymek R.F., "The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92(2) (1986) 181-193.

[29] Taylor S.R., McLennan S.M., "The geochemical evolution of the continental crust", *Reviews of geophysics*, 33(2) (1995) 241-265.

[30] Cox D. P., Carrasco R., André-Ramos O., Hinojosa-Velasco A., Long K. R., "Copper deposits in sedimentary rocks in U.S. Geological Survey and Servicio Geológico de Bolivia, Geology and Mineral resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia with a section on application of economic evaluations to deposit models by D.I. Bleiwas & R.G. Christiansen", U.S. Geological Survey Bulletin 1975 (1992) 95-108.

[31] Madavi A., "Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of the Markesheh Cu

copper deposits model", *Economic Geology*, 100 (2005) 765–771.

[16] MacIntyre T. J., "Fault-controlled hydrocarbon-related bleaching and sediment-hosted copper mineralization of the Jurassic Wingate sandstone at the Cashin Mine, Montrose County, Colorado", Doctoral dissertation, Colorado School of Mines, Colorado, United State, (2006) 360 pp.

[17] Woodward L. A., Kaufman W. H., Schumacher O. L., Talbott L. W., "Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico", *Economic Geology*, 69(1) (1974) 108-120.

[18] Asael D., Matthews A., Bar-Matthews M., Halicz L., "Copper isotope fractionation in sedimentary copper mineralization, Timna Valley, Israel", *Chemical Geology*, 243 (2007) 238–254.

[19] Yilmaz H., Oyman T., Sonmez F.N., Arehart G.B., Billor Z., "Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Sahinli /Tespitb Dere (Lapseki/ Western Turkey)", *Ore Geology Reviews*, 37(3-4) (2010) 236-258.

[20] Love L. G., Brockley H., "Peripheral radial texture in framboids of polyframboidal pyrite", *Fortschr. Miner.*, 50 (1973) 264-269.

[21] Walker T. R., "Application of diagenetic alterations in red beds to the origin of copper in stratiform copper deposits. In: Boyle R. W., Brown A. C., Jefferson W., Jowett E. C., Kirkham R. V. (Eds.), *Sediment-hosted stratiform copper deposits*", Geological Association of Canada, 36 (1989) 85-96.

[22] Flint S. S., "Sediment-hosted stratabound copper deposits of the Central Andes in Boyle, R.W., Brown, A. C., Jefferson, C. W., Jowett, E. C. & Kirkham, R. V., *Sediment-hosted stratiform copper deposits*", Geological Association of Canada Special Paper, 36 (1989) 371–400.

[23] Brown A. C., "Red beds: Source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone

south of Central Iran", The quarterly Geology Journal, The Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 21(81) (2011) 81–92.

[33] Panahzadeh M., "An investigation on the Cu-bearing beds in Chehregan village, Tasuj. East Azarbayejan province", MSc thesis, (2010) 225 p.

deposit, northeast of Ravar, Kerman province", MSc thesis, (2008) 188 p.

[32] Mahdavi A., Rastad A., Hosseini Barzi M., "Mineralogy and structure and formation of the Markesh Cu sedimentary-diagenetic occurrence, لایه قرمز type, in the Jurassic Garahdu formation,