مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و نهم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۰، از صفحهٔ ۵۶۳ تا ۵۷۴

بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و زمین شیمیایی در منطقه اکتشافی سرب-روی کلاته‌پیاله، شمال‌شرق اسفراین

میلاد فرهمند[۱]، آزاده ملکزاده شفارودی[*۲]، مریم جاویدی مقدم[۱]

۱-گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲-گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۷/۲۷، نسخه نهایی: ۹۹/۹/۱۸)

چکیده: منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله در شمال‌شرق شهرستان اسفراین در استان خراسان شمالی واقع است. زمین‌شناسی منطقه شامل توالی از واحدهای رسوبی آهک دولومیتی (ژوراسیک پسین)، میکروکنگلومرا، آهک، آهک ماسه‌ای، کنگلومرا (کرتاسه) و مارن (ترشیاری) است. کانی‌شناسی ماده معدنی ساده بوده و شامل کانی‌های سولفیدی اولیه پیریت، گالن و اسفالریت است. کانی‌سازی با بافت‌های رگه-رگچه، برشی و جانشینی اولیه در واحدهای آهک دولومیتی و آهکی شکل گرفته است. گالن به صورت ریز بلور (در بافت برشی)، درشت بلور (در بافت جانشینی) و بلوری مکعبی-هشت‌وجهی است. همچنین، کانی‌های اسفالریت و پیریت (با اندازه حدود ۱۰۰ میکرون) بصورت میانبارهایی در گالن دیده می‌شوند. به دلیل اثر شدید فرآیندهای اکسایش و هوازدگی بر کانی‌سازی اولیه، کانی‌سازی ثانویه کربناتی، سیلیکاتی و اکسیدی گسترش بسیاری داشته و اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، سروزیت، هماتیت و گوتیت تشکیل شده‌است. مهمترین باطله های همراه با کانی‌سازی کلسیت و دولومیت و به مقدار کمتر باریت و کوارتز هستند. دگرسانی‌های عمده کلسیتی و دولومیتی هستند. رگه‌های دربردارنده کانی‌سازی بصورت روزادی در پهنه‌های گسلی با راستای شمال‌غرب-جنوب-شرق و شیب ۹۰ درجه شکل گرفته‌اند. گستره تغییرات زمین شیمیایی عناصر سرب ۴۲۰۰۰-۷۳ گرم در تن، روی ۵۷۰۰۰-۱۲۸ گرم در تن، آرسنیک ۲۵۴-۲ گرم در تن و مس ۱۷۲-۴ گرم در تن است. بر اساس نوع سنگ میزبان، نوع کانی‌سازی، کانی‌شناسی گالن، نوع دگرسانی سنگ دیواره، نبود ارتباط با فعالیت‌های آذرین و همچنین شواهد زمین شیمیایی، منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله مشابه کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی است.

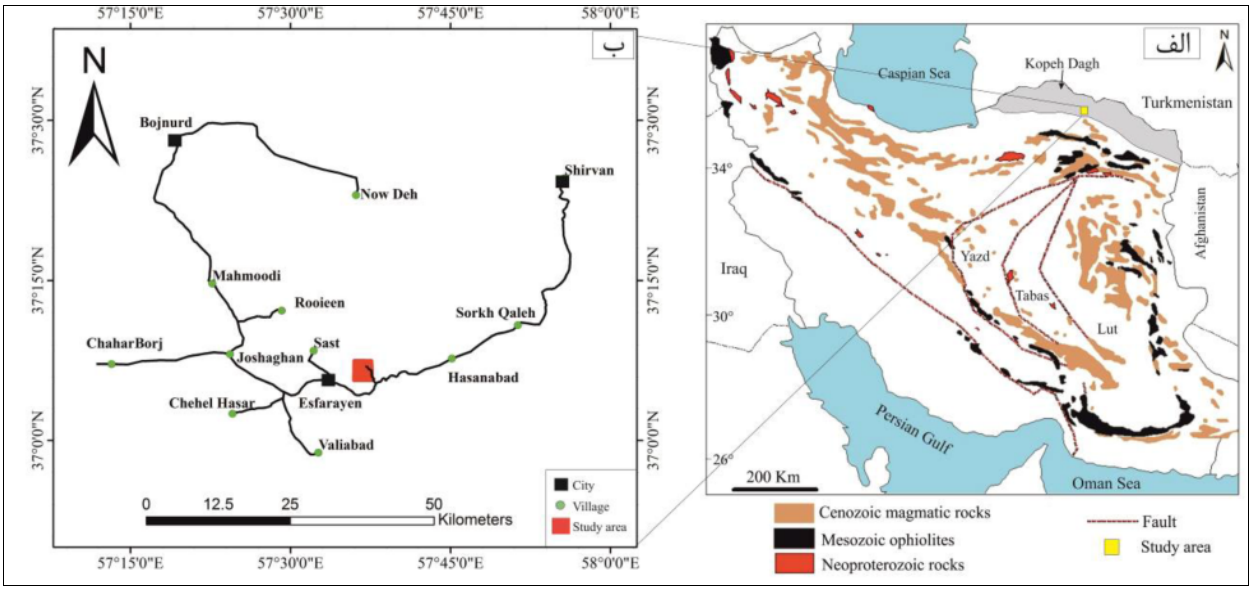
واژه های کلیدی: *کانی‌سازی؛ زمین شیمی؛ سرب-روی؛ کلاته‌پیاله؛ اسفراین.*

مقدمه

منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله در شمال‌شرق ایران و در گستره طول‌های "۵۸ '۳۵ °۵۷ تا "۵۰ '۳۷ °۵۷ شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۲۹ '۵ °۳۷ تا "۳۰ '۷ °۳۷ شمالی و در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال‌شرق شهرستان اسفراین در استان خراسان - شمالی قرار دارد (شکل ۱). بر اساس آخرین تقسیمات ساختاری-رسوبی ایران [۱]، منطقه مورد بررسی در پهنه کپه داغ و در مرز پهنه بینالود واقع است (شکل ۱).

پهنه کپه‌داغ کمربندی چین‌خورده با راستای میانگین N۱۲۰ و درازای نزدیک به ۷۰۰ کیلومتر بوده که در طول مرز ایران و ترکمنستان، از دریای خزر تا افغانستان گسترش یافته است [۲]. این پهنه پس از کوهزایی سیمرین، که سبب بسته شدن اقیانوس پالئوتتیس در تریاس پسین-ژوراسیک پیشین شد، در یک حوضه کششی پس از برخورد در ژوراسیک میانی

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۱۱۹۲۱۳۲، نمابر: ۰۵۱۳-۸۷۹۷۲۷۵، پست الکترونیکی: shafaroudi@um.ac.ir



شکل ۱ الف) موقعیت منطقه مورد بررسی در ایران و ب) راه‌های دسترسی به آن.

پدید آمد [۳]. از ویژگی‌های اصلی پهنه کپه داغ نبود فعالیت ماگمایی طی شکل‌گیری آن و وجود ذخایر فراوان هیدروکربنی (چون میدان گازی خانگیران و معدن زغالسنگ آقدربند) است [۴]. تا کنون، ذخایر غیر فلزی بسیاری (چون گچ، مارن، باریت، سنگ‌های تزئینی) در پهنه کپه‌داغ شناسایی شده اند [۵]، در حالی که منطقه اکتشافی کلاته پیاله از معدود کانی‌سازی‌های فلزی گزارش شده در این پهنه است. تنها پژوهش های انجام شده در منطقه شامل تهیه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شیروان توسط جعفریان و لنگ [۶] و گزارش پایان عملیات اکتشاف سرب کلاته‌پیاله توسط پرهیز [۷] است. تاکنون، بررسی جامع و گسترده‌ای بر ویژگی‌های کانی‌سازی و زمین شیمی در این منطقه اکتشافی انجام نشده است. هدف از این پژوهش بررسی ویژگی های زمین‌شناسی، کانی‌سازی و زمین شیمیایی در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله بوده است.

روش بررسی

در راستای اهداف این پژوهش، برداشت اطلاعات صحرایی (ویژگی‌های ساختی، بافتی و چگونگی ارتباط پدیده‌ها) و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و کانی‌سازی (از سطح و ترانشه‌ها) در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله انجام شد. بیش از ۶۰ نمونه از واحدهای سنگی و کانی‌سازی برداشت شد و در مجموع ۳۰ مقطع نازک، ۸ مقطع نازک صیقلی و ۱۰ قطعه صیقلی تهیه و از نظر سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی بررسی گردیدند. سرانجام نقشه زمین‌شناسی- کانی‌سازی منطقه با مقیاس ۱:۱۵۰۰۰ با نرم افزار ArcGIS تهیه شد.

تعداد ۱۰ نمونه زمین‌شیمیایی به روش خرده‌سنگی از محل کانی‌سازی‌ها (سطح و ترانشه‌ها) برداشت گردید و به‌روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) برای ۲۸ عنصر در آزمایشگاه زرآزما تجزیه شدند. به دلیل بیشتر بودن مقدار سرب و روی از حد بالایی تشخیص در تجزیه ICP-OES در ۲ نمونه زمین شیمیایی، تجزیه این عناصر به روش طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) در آن آزمایشگاه انجام شد. همچنین، ۷ نمونه برای بررسی های کانی‌شناسی به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) در آزمایشگاه زرآزما تجزیه شدند.

زمین‌شناسی

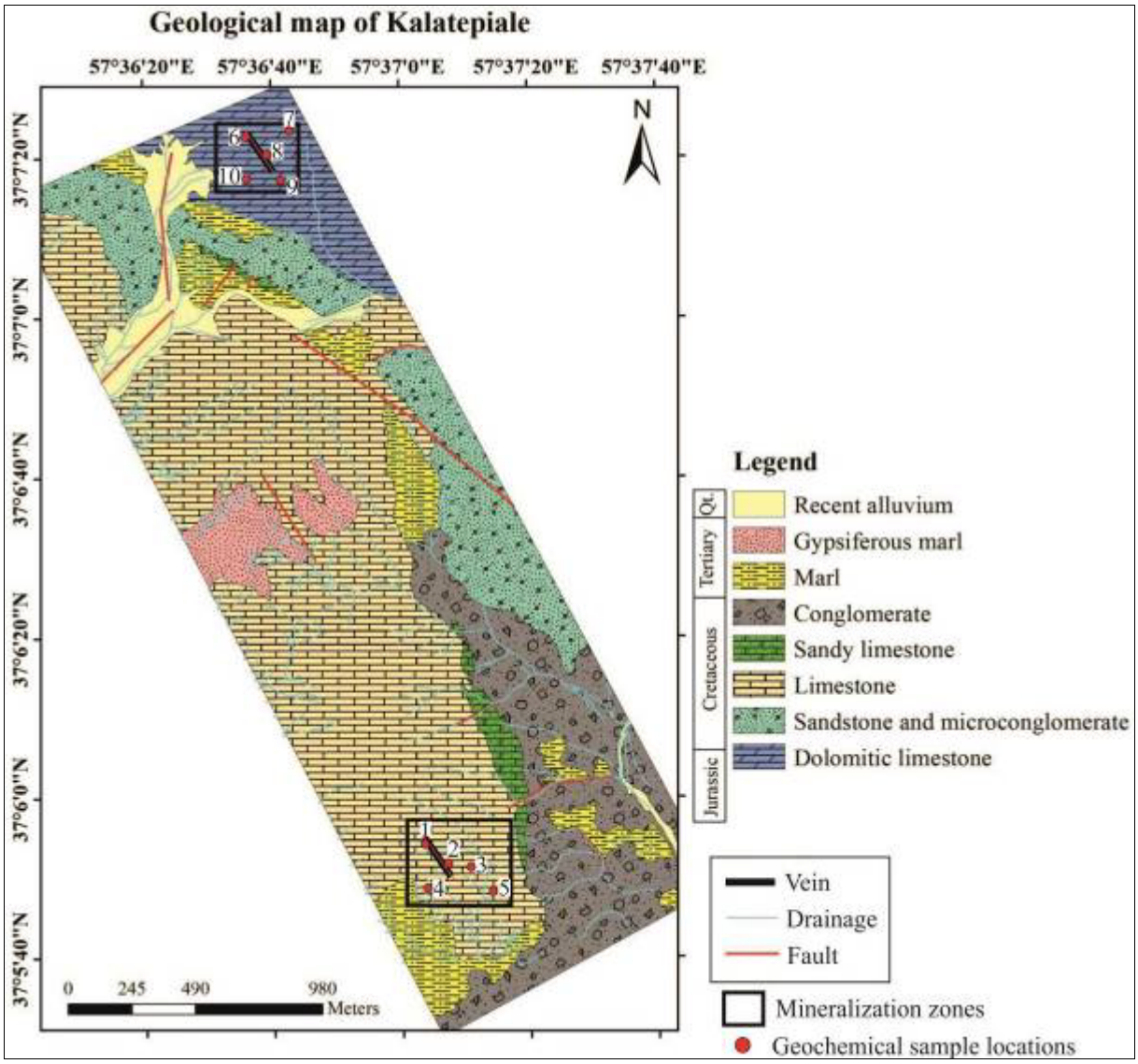
منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله در جنوب‌غربی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیروان [۶] واقع است و واحدهای رسوبی ژوراسیک پسین-ترشیری در آن رخنمون دارند (شکل ۲). گسل‌ها در منطقه مورد بررسی بیشتر دارای روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق و به مقدار کمتر دارای روند شمال‌شرق-جنوب‌غرب هستند.

چینه‌شناسی این منطقه به ترتیب سن از قدیم به جدید شامل آهک دولومیتی (سازند مزدوران)، ماسه‌سنگ-میکروکنگلومرا (سازند شوریجه)، آهک و آهک ماسه‌ای (سازند

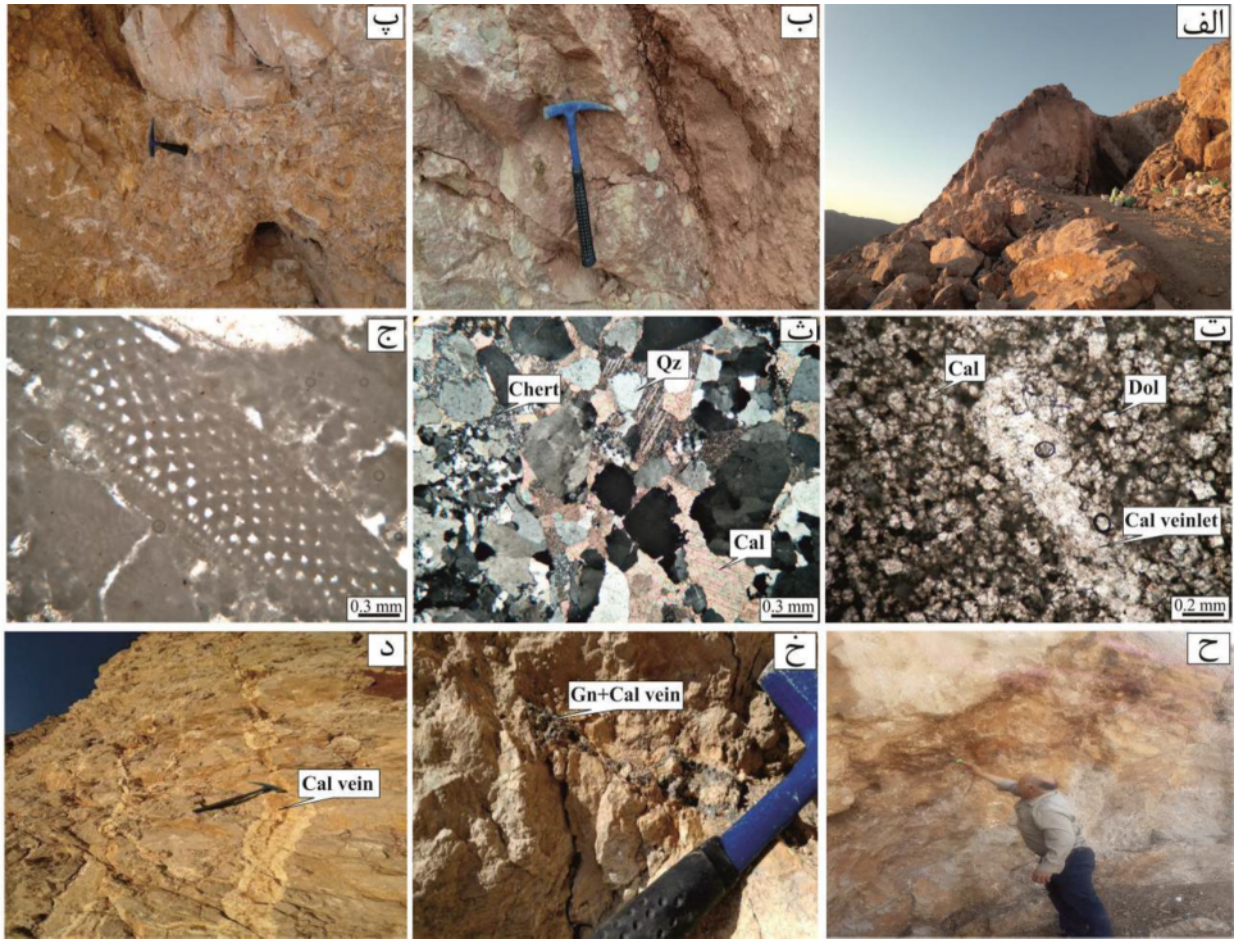
تیرگان)، کنگلومرا (سازند پسته‌لیق) و واحدهای مارن و مارن سنگ گچی هستند.

قدیمی‌ترین واحد سنگی شناسایی شده در منطقه واحد آهک دولومیتی به سن ژوراسیک پسین-کرتاسه پیشین است. این واحد با گسترش کم در شمال منطقه رخنمون دارد (شکل های ۲ و ۳ الف). این واحد از بلورهای کلسیت (۶۰ تا ۷۰ درصد) به اندازه چند میکرون تا ۲ میلی‌متر و به مقدار کمتر دولومیت (۳۰ تا ۴۰ درصد) به اندازه ۰٫۲ تا ۱ میلی‌متر شکل گرفته است (شکل ۳ ت). واحدهای ماسه‌سنگ-میکروکنگلومرا در شمال و شرق منطقه رخنمون دارند (شکل‌های ۲ و ۳ ب).

اندازه قطعه های در واحد میکروکنگلومرایی بیشتر در گستره از ۵ میلی‌متر تا ۲۰ سانتی‌متر است که گرد شدگی خوب تا متوسطی را نشان می‌دهند. جنس قطعه های بیشتر کربناتی و کمتر چرت با سیمان کربناتی و سیلیسی است. همچنین، کانی‌های کوارتز و مقادیر بسیار کم فلدسپارها و میکا نیز در این واحد شناسایی شد (شکل ۳ ث). در بخش ماسه‌سنگی، کوارتز، چرت، کلسیت، ارتوکلاز، پلاژیوکلاز و به مقدار بسیار کم موسکوویت شناسایی گردید. سیمان بخش ماسه‌سنگی بیشتر سیلیسی و کربناتی است.



شکل۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه کلاته‌پیاله.



شکل۳ تصاویر صحرایی از الف) واحد آهک دولومیتی، ب) واحد ماسه‌سنگ-میکروکنگلومرا، پ) واحد آهکی و تصاویر میکروسکوپی از ت) واحد آهک دولومیتی در نور قطبیده متقاطع؛ (XPL)، ث) واحد ماسه‌سنگ-میکروکنگلومرا (XPL)، ج) واحد آهکی دارای فسیل اربیتولین و تصاویر صحرایی از چ) کانی‌سازی در واحد آهکی، ح) کانی‌سازی گالن+کلسیت به‌صورت رگه‌ای و خ) رگه کلسیتی. (Cal: کلسیت، Dol: دولومیت، Gn: گالن، Qz: کوارتز [۸]).

واحد آهکی بیشترین گسترش را در منطقه مورد بررسی دارد و بیشتر در مرکز، شمال و جنوب گسترش یافته است (شکل‌های ۲ و ۳ پ). این واحد بیشتر به صورت میکریتی بوده و دارای فسیل اوربیتولین است (شکل ۳ ج). همچنین ذرات اسکلتی بریوزوئر، براکیوپود، اکینودرم و گاستروپود نیز به مقدار کمتر در این واحد شناسایی شد. در بعضی قسمت‌ها، بلورهای کلسیت در اندازه‌های ۰٫۱ تا ۰٫۵ میلی‌متر شناسایی گردید. واحد آهک ماسه‌ای نسبت به دیگر واحدهای رسوبی کمترین گسترش را در منطقه دارد (شکل ۲) و از کلسیت (۷۰ تا ۸۰ درصد) و به مقدار کمتر کوارتز (۲۰ تا ۳۰ درصد) تشکیل شده است.

واحد کنگلومرایی در قسمت جنوب‌شرقی منطقه رخنمون دارد (شکل ۲). اندازه قطعه ها در این واحد اغلب از چند میلی‌مترتا ۱۵ سانتی‌متر بوده و جنس آنها بیشتر از سنگ آهک و ماسه‌سنگ است. قطعه ها نیمه گرد شده تا زاویه‌دار و دارای جورشدگی ضعیف هستند. سیمان بین قطعه ها بیشتر کربناتی و کمتر سیلیس است. واحدهای مارن و مارن دربردارنده سنگ گچ به طور پراکنده در منطقه رخنمون دارند (شکل ۲). گفتنی است که در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله هیچگونه واحد آذرین شناسایی نشد.

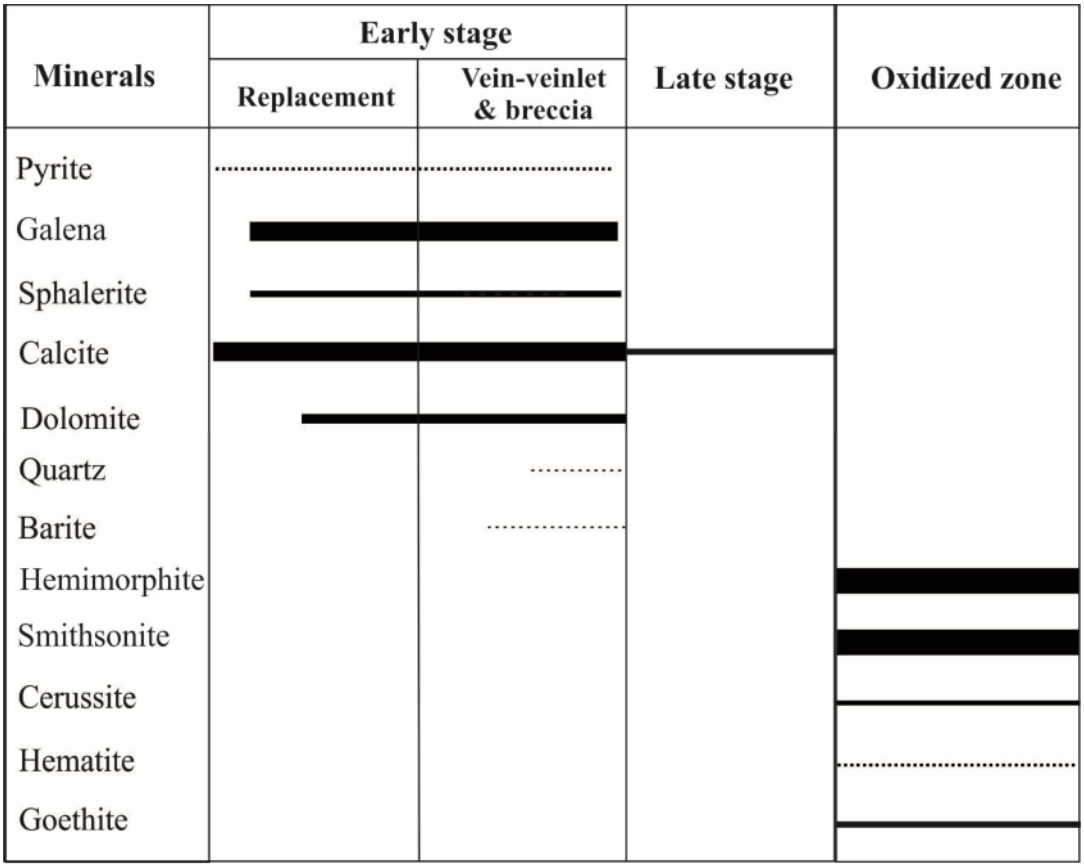
دگرسانی و کانی‌سازی

کانی‌سازی سرب-روی در دو پهنه کانی‌سازی (شکل ۲) به ترتیب در شمال منطقه در واحدهای آهک دولومیتی (به عنوان سنگ میزبان) به سن ژوراسیک پسین و در جنوب منطقه در واحد آهکی (به عنوان سنگ میزبان؛ شکل ۳ چ) به سن کرتاسه

شکل گرفته است. کنترل کننده‌های اصلی در جایگیری ماده معدنی شامل عوامل چینه‌شناسی و ساختاری هستند. سنگ-های کربناتی به دلیل انحلال پذیری و واکنش پذیری بالا، می-توانند به عنوان یک افق مناسب برای کانی‌سازی عمل نمایند [۹].

ورود محلول کانه‌ساز به سنگ میزبان باعث دگرسانی کلسیتی و به مقدار بسیار کمتر دگرسانی دولومیتی شده و کانی‌سازی با بافت‌های رگه-رگچه، جانشینی و برشی شکل گرفته است. رگه‌ها بیشتر دارای راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق هستند و عرض آنها ۲۰ سانتی‌متر تا ۲ متر است. طول این رگه‌ها به ۲۰۰ متر نیز می‌رسد (در شکل ۲، با توجه به مقیاس نقشه، فقط دو رگه اصلی نمایش داده شده اند). در مقیاس میکروسکوپی، عرض رگچه‌ها از چند ده میکرون تا ۰/۵ میلی-متر متغیر است. رگه‌ها و رگچه‌ها بیشتر شامل کانی‌های سولفیدی همراه با باطله کلسیت (شکل ۳ ح) و به مقدار کمتر کانی‌های سولفیدی به تنهایی هستند. همچنین، رگه و رگچه-های کلسیتی بدون کانی‌سازی نیز شناسایی شدند (شکل های ۳ خ و ۴). این رگه-رگچه‌ها نشانگر آخرین مرحله از فعالیت-های گرمابی هستند. در دگرسانی کلسیتی، کلسیت‌ها به صورت شکل‌دار همراه با کانی‌سازی و به مقدار کمتر به صورت رگه، رگچه و پراکنده در زمینه هستند. اندازه بلورهای کلسیت از چند ده میکرون تا ۱/۵ میلیمتر متغیر است. رگچه‌های کلسیتی بطور گسترده پیرامون کانی‌سازی اصلی شکل گرفته‌اند. در دگرسانی دولومیتی، دولومیت‌ها جانشین کلسیت در سنگ میزبان شده‌اند و یا به صورت پرکننده فضای خالی و سیمان سنگ برشی شده میزبان حضور دارند. این دولومیت‌ها به صورت خودشکل هستند و اندازه بلوری آنها ۰/۴ تا ۱/۲ میلی-متر است.

کانی‌های سولفیدی اولیه شامل پیریت، اسفالریت و گالن هستند که در اثر اکسایش کانی‌های ثانویه اکسیدی (هماتیت و گوتیت)، سیلیکاتی (همی‌مورفیت) و کربناتی (سروزیت و اسمیت‌زونیت) ایجاد شده‌اند (شکل ۴). باطله‌های اصلی همراه با کانی‌سازی کلسیت هستند و به مقدار کمتر دولومیت، باریت و کوارتز نیز شناسایی شدند (شکل ۴).

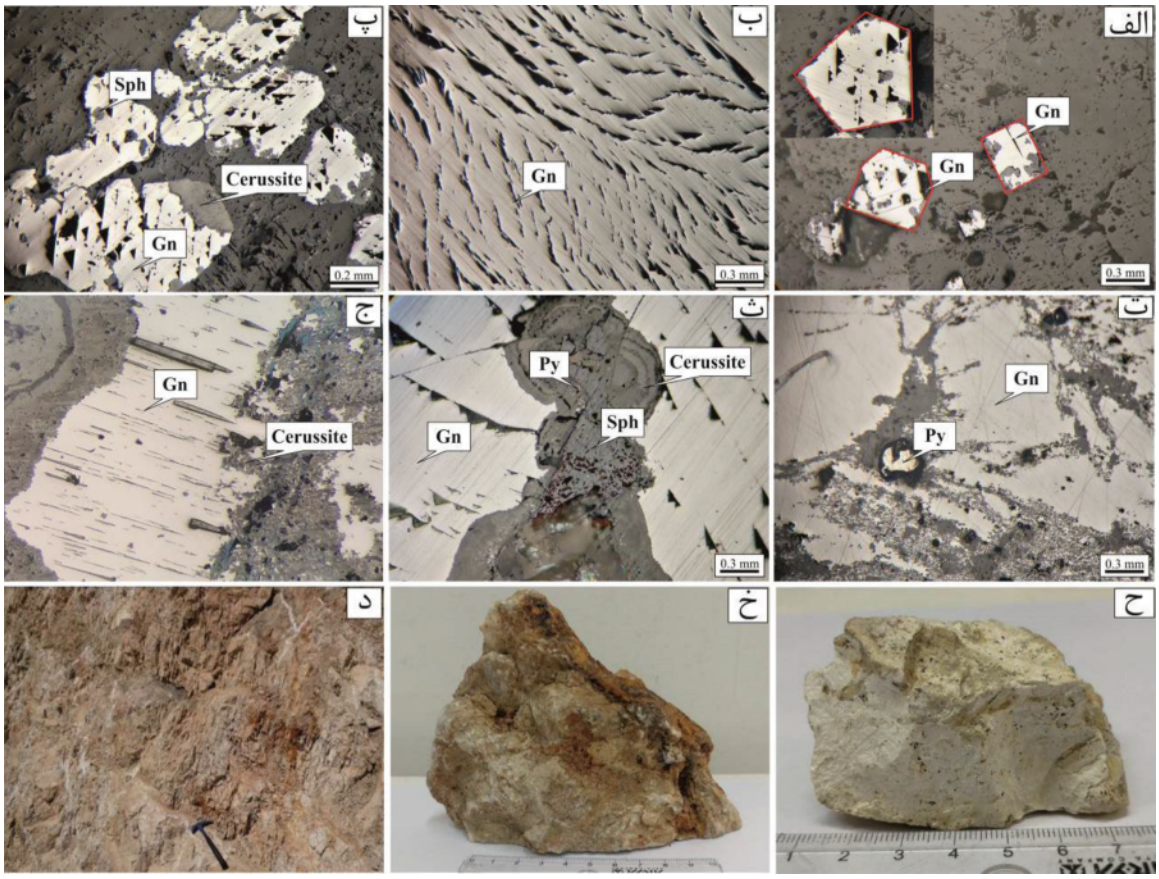


شکل ۴ توالی همبرزایی کانی‌سازی در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله.

کانه‌نگاری کانسنگ

گالن فراوانترین کانی سولفیدی اولیه در منطقه (۸۵ تا ۹۰ درصد) بوده و اندازه آن از ۰٫۲ تا ۸ میلی‌متر متغیر است (شکل های ۵ الف تا ج). کانی گالن دارای سیستم بلوری مکعبی است و دو سطح مکعبی $\alpha\{100\}$ و هشت وجهی $o\{111\}$ می‌توانند در آن گسترش یابند. از این رو، بلورهای با مشخصه‌های متفاوت و به شکل‌های مکعبی، هشت وجهی و نیز شکل ترکیبی مانند مکعبی-هشت‌وجهی دیده می‌شوند [۱۰]. شکل بلوری در گالن وابسته به عواملی چون دمای تشکیل و نیز زمین شیمی محلول است [۱۰، ۱۱]. کانی گالن در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله به صورت نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار است.در برش‌های مختلف، گالن به ترتیب فراوانی سطوح ۶، ۵، ۴ و ۸ ضلعی دارد (شکل ۵ الف). بنابراین گالن در منطقه اکتشافی کلاته پیاله از نوع ترکیبی مکعبی-هشت‌وجهی است. از نظر رخ یا جداشدگی، دو نوع رخ هشت وجهی و چاروجهی در کانی گالن دیده می‌شوند. رخ برای گالن‌های منطقه اکتشافی کلاته-پیاله از نوع چاروجهی است.

عواملی چون سرعت متفاوت آمیختگی سیال‌های کانه‌ساز، فضای رشد و تعداد و سرعت هسته‌زایی بر اندازه کانی‌های سولفیدی اثر دارند [۱۲]. گالن‌های شکل گرفته در برش‌های گسلی بیشتر بی‌شکل و ریز بلور هستند و به صورت سیمان بین قطعه‌های سنگ میزبان برشی دیده می‌شوند، درحالی که گالن-های تشکیل شده در رگه‌ها بیشتر شکل‌دار و درشت بلور هستند. گاهی دگرشکلی‌هایی در سطوح رخ کانی گالن دیده می شود که نشانگر عملکرد تنش بر ماده معدنی است (شکل ۵ ب). همچنین، میانبارهایی از کانی‌های پیریت و اسفالریت با اندازه حدود ۱۰۰ میکرون در کانی گالن شناسایی شد.



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از الف) کانی‌سازی گالن بصورت ۶، ۵ و ۴ وجهی، ب) دگرشکلی در سطوح رخ در کانی گالن، پ) کانی‌سازی گالن و اسفالریت و تبدیل گالن از لبه به سروزیت، ت) کانی‌سازی پیریت، گالن و سروزیت، ث) اسفالریت، پیریت و تبدیل گالن به سروزیت با بافت گل کلمی، ج) سروزیت در لبه کانی گالن، چ) نمونه‌دستی از همی‌مورفیت و ح) اسمیت‌زونیت، خ) اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت). (Gn: گالن، Sph: اسفالریت و Py: پیریت [۸]).

اسفالریت با فراوانی کم (۵ تا ۸ درصد) به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و در اندازه‌های چند ده میکرون تا ۱ میلی‌متر همراه با گالن شکل گرفته است (شکل های ۵ پ و ث). چنان که اشاره شد، اسفالریت به صورت میانبار در کانی گالن نیز دیده می شود. اسفالریت بیشتر به اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت تبدیل شده است (شکل ۴). در بخش‌های سطحی اسفالریت به طور کامل به اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت تبدیل شده است و اثری از اسفالریت دیده نمی‌شود. پیریت اغلب بصورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و در اندازه‌های چند ده میکرون تا ۰/۳ میلی‌متر شناسایی گردید (شکل ۵ ت). این کانی کمترین فراوانی (۱ تا ۲ درصد) را در بین کانی‌های سولفیدی در منطقه مورد بررسی دارد (شکل ۴).

سروزیت با فراوانی کم (۱۰ تا ۱۵ درصد) با بافت جانشینی چون جانشینی کناره‌ای و جانشینی در راستای رخ و شکستگی‌های کانی گالن دیده می‌شود (شکل‌های ۵ پ و ث). اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) با فراوانی ۳ تا ۵ درصد بیشتر در اثر اکسایش و هوازدگی پیریت‌ها در منطقه شکل گرفته‌اند (شکل ۵ خ و جدول ۱). در بعضی مقاطع، این تبدیل شدگی کامل بوده و فقط قالب کانی پیریت باقی مانده است.

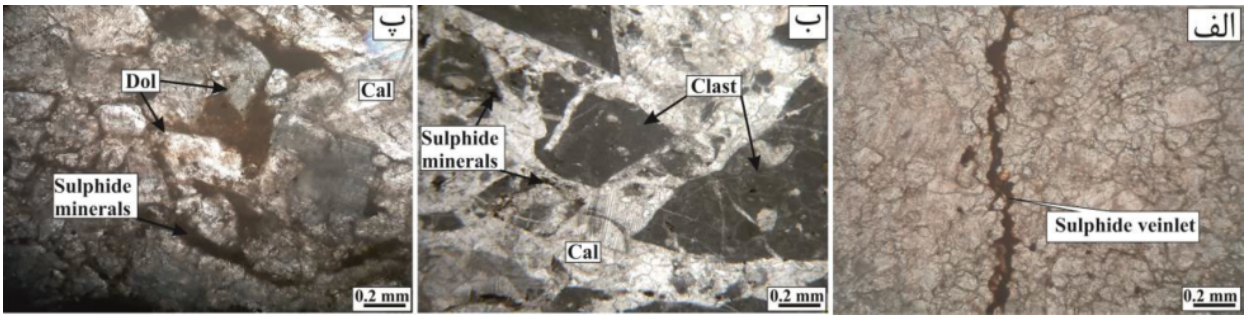
همی مورفیت و اسمیت‌زونیت فراوان‌ترین کانی‌های ثانویه (۷۵ تا ۸۰ درصد) در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله هستند (شکل ۴). همی‌مورفیت بیشتر به رنگ سفید بوده (شکل ۵ چ) و به صورت لایه‌ای با اسمیت‌زونیت رنگ زرد (شکل ۵ ح) دیده می‌شود. گفتنی است که برای شناسایی همی‌مورفیت و اسمیت‌زونیت از روش XRD استفاده گردید (جدول ۱).

ساخت و بافت ماده معدنی

چنان که پیشتر اشاره گردید، بافت‌های دیده شده در منطقه اکتشافی کلاته پیاله بیشتر از نوع رگه-رگچه، جانشینی و برشی هستند. در مورد رگه‌ها و رگچه‌ها (شکل ۶ الف) در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله در بخش کانی‌سازی توضیح داده شد. بافت برشی در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی ایجاد شده است، به طوری که سنگ میزبان دچار شکستگی شده و پهنه‌های خرد شده دارای قطعه‌های چند سانتی‌متری ایجاد کرده که توسط ماده معدنی و کلسیت سیمان شده‌اند (شکل ۶ ب). میزان جدایش، چرخش، فاصله بین قطعه های و ساییدگی قطعه های برش در پهنه‌های کانی‌سازی به نسبت ضعیف است و آنها بر اساس تقسیم بندی لازنیکا [۱۳]، اغلب شامل بافت برش رابل هستند.

جدول ۱ کانی‌های تشکیل دهنده کانی‌سازی در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله که به روش XRD شناسایی شده‌اند.

شماره نمونه	کانی‌ها
۱	کلسیت، سروزیت، دولومیت
۲	کلسیت، باریت، کوارتز، سروزیت، همی مورفیت
۳	کلسیت، دولومیت، باریت، همی مورفیت
۴	اسمیت‌زونیت، همی مورفیت، گوتیت، هماتیت
۵	کلسیت، اسمیت‌زونیت، همی مورفیت، گوتیت
۶	کلسیت، کوارتز، اسمیت‌زونیت، سروزیت
۷	کلسیت، اسمیت‌زونیت، باریت، گوتیت



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از الف) رگچه سولفیدی در واحد آهک دولومیتی، ب) بافت برشی شامل قطعه‌های کربناتی (سنگ میزبان)، سیمان کلسیت و کانی‌های سولفیدی و پ) جانشینی کانی‌های سولفیدی و دولومیت گرمابی در سنگ میزبان آهکی. (Dol: دولومیت و Cal: کلسیت [۸]).

بافت جانشینی از جمله بافت‌های شاخص در بخش‌های درون‌زاد و برون‌زاد کانی‌سازی است. بافت جانشینی در بخش درون‌زاد به صورت جانشینی کانی‌های سولفیدی (گالن، اسفالریت و پیریت) به جای کلسیت و دولومیت در واحدهای آهک و آهک دولومیتی (شکل ۶ پ) و همچنین جانشینی کلسیت و دولومیت گرمابی به جای کلسیت‌ها و دولومیت‌های سنگ میزبان است. در بخش برون‌زاد می‌توان به جانشینی سروزیت به جای گالن (از لبه کانی گالن)، جانشینی اسمیت-زونیت و همی‌مورفیت به جای اسفالریت و جانشینی گوتیت به جای پیریت اشاره نمود.

زمین شیمی

توزیع عناصر در واحدهای سنگی و بررسی وابستگی آنها با هم، از مهمترین موارد بررسی‌های زمین شیمیایی است که با استفاده از آن می‌توان به محیط و فرآیندهای موثر در پدیده-های مختلف زمین‌شناسی پی برد [۱۴، ۱۵]. بر پایه نتایج زمین شیمیایی، مقدار سرب از ۷۳ گرم در تن تا ۴٫۲ درصد در تغییر است (جدول ۲). بیشترین مقدار سرب مربوط به رگه موجود در واحد آهک دولومیتی در شمال منطقه مورد بررسی است. بیشترین مقدار سرب مربوط به کانی‌سازی اولیه (گالن) و ثانویه (سروزیت) در رگه‌هاست. مقدار روی از ۱۲۸ گرم در تن تا بیش از ۵٫۷ درصد در تغییر بوده (جدول ۲) و بیشترین مقدار آن مربوط به رگه موجود در واحد آهکی در جنوب منطقه مورد بررسی است. بیشترین مقدار روی مربوط به کانی-سازی اولیه (اسفالریت) و ثانویه (اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت) روی در رگه‌هاست. تغییرات مقدار نقره و آرسنیک نیز به ترتیب از ۰٫۱۶ تا ۸ گرم در تن و از ۲ تا ۲۵۴ گرم در تن است (جدول ۲). بیشترین مقدار نقره و آرسنیک به ترتیب مربوط به رگه‌های موجود در واحد آهکی و آهک دولومیتی است، اما هیچ کانی مستقلی برای این دو عنصر در مقاطع دیده نشد. مقدار مس از ۴ تا ۱۷۲ گرم در تن در تغییر است (جدول ۲).

خاستگاه کانی‌سازی

رده‌بندی‌های مختلفی برای کانسارهای سرب و روی با میزبان رسوبی ارائه شده است، ولی جدیدترین رده‌بندی‌ها برای این کانسارها در مراجع [۱۶، ۱۷] ارائه شده است. لیچ و همکاران [۱۶] این کانسارها را بر اساس ویژگی‌های توصیفی و بدون درنظر گرفتن مشخصه‌های زایشی به دو گروه: ۱) کانسارهای سرب-روی با سنگ میزبان آواری (شیل، ماسه‌سنگ، لای سنگ و یا جانشینی‌های کربناتی درون توالی تخریبی) یا SEDEX، و ۲) کانسارهای سرب-روی با میزبان کربناتی یا نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) تقسیم کرده‌اند. ویلکینسون [۱۷] این کانسارها را بر اساس ویژگی‌های شاخص کانساری و زایشی به دو رده کلی کانسارهای بروندمی-رسوبی (SEDEX) و MVT تقسیم کرده است.

جدول ۲ نتایج تجزیه نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده از سطح در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله.

شماره نمونه	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	As (ppm)	Pb (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Sb (ppm)
K-P. 1	۰٫۷	۳۷	۵۹٫۳	۱۱٫۶	۱۰۵۶۱	۴۰۹۴	۱۳۲۱۲	۱٫۴۹
K-P. 2	۸٫۱	۱۷۲	۶۹٫۱	۵۴٫۳	۴۲۰۰۰	۱۵۵۶۲	۵۷۰۰۰	۱۷٫۱
K-P. 3	۰٫۱۷	۴	۶۲٫۴	۲	۲۱۴	۲۳۰۳	۱۳۵۳۶	۰٫۸
K-P. 4	۰٫۱۹	۷	۱۰٫۵	۳٫۵	۲۷۹	۸۱۳۹	۵۸۲	۰٫۸۹
K-P. 5	۰٫۲۲	۵	۰٫۳۶	۱۱۳	۷۳	۹۳۷۵۳	۱۲۸	۱٫۱۱
K-P. 6	۰٫۲۹	۱۱	۱۸٫۴	۴٫۷	۵۹۴۴	۱۹۲۱	۳۳۷۳	۰٫۸۴
K-P. 7	۰٫۱۷	۸	۳٫۸	۲۱۲٫۶	۱۳۲۲	۱۳۱۷۶	۸۱۰	۶۵٫۵
K-P. 8	۰٫۱۶	۸	۴٫۲	۲۵۴٫۲	۱۵۹۲	۱۴۶۴۹	۸۸۰	۷۲٫۶
K-P. 9	۲٫۲	۱۲	۲۲	۲٫۱	۴۲۰۰۰	۲۰۹۳	۲۱۴۰	۱٫۱۶
K-P. 10	۰٫۶	۱۳۳	۳۷٫۳	۲۳٫۲	۱۴۶۰۰	۳۶۶۸	۹۲۰۴	۱٫۵۳

بیشترین ذخایر سرب و روی شناخته شده ایران در سنگ-های رسوبی کرتاسه (به عنوان سنگ میزبان) یافت شده و در بیشتر نقاط ایران چون پهنه سنندج-سیرجان (کانسارهای کمربند ملایر-اصفهان)، البرز (کانسارهای برفکه و پیچمتو)، ایران مرکزی (کانسارهای مهدی آباد، منصور آباد، فرح آباد و نخلک) و پهنه سنندج- سیرجان (ایرانکوه، حسین آباد، آهنگران) شناخته شده است [۱۸-۲۲]. نخستین گزارش از کانی‌سازی سرب و روی در پهنه کپه‌داغ مربوط به کلاته‌پیاله بوده که در سنگ‌های آهک دولومیتی و آهک با سن ژوراسیک پیشین-کرتاسه بصورت روزادی شکل گرفته است.

چنان که پیشتر اشاره شد، در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله هیچگونه واحد آذرین شناسایی نگردید. بر اساس نقشه یکصدهزار شیروان، در فاصله ۲۱ کیلومتری از منطقه مورد بررسی سنگ‌های آتشفشانی آندزیت و بازالت به سن کامبرین رخنمون دارند. بنابراین کانی‌سازی نمی‌تواند ارتباطی به این فعالیت‌های ماگمایی و گرمابی داشته باشد. کانسار کلاته پیاله از نظر میزبان، بافت، نوع کانی‌سازی، دگرسانی و نبود ارتباط زایشی با فعالیت‌های آذرین با کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی پی (MVT) [۱۶، ۲۳ و ۲۴] قابل مقایسه است (جدول ۳).

جدول ۳ مقایسه کانسارهای نوع می‌سی‌سی‌پی (MVT) [۱۹، ۲۲ و ۲۳] با کانی‌سازی در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله.

ویژگی	کانسارهای سرب و روی نوع MVT	کانسار کلاته‌پیاله
محیط زمین‌ساختی	بیشتر در مناطق کوهزایی و کمربندهای چین‌خورده و رورانده و کمتر در مناطق کششی	منطقه کششی
زمان کانی‌سازی	بیشتر در دونین تا پرمین و کرتاسه تا ترشیاری و کمتر در نئوپروتروزوییک تا پالئوزوییک پیشین	نامشخص، پس از ژوراسیک پسین-کرتاسه
ارتباط با سنگ‌های آذرین	بدون ارتیاط زایشی با سنگ‌های آذرین	بدون ارتباط زایشی با سنگ‌های آذرین
سنگ میزبان	سنگ‌های کربناتی دانه درشت شامل سنگ آهک و دولومیت دارای شکستگی، کارستی و نفوذپذیری ثانویه	سنگ آهک، سنگ آهک دولومیتی
شکل کانی‌سازی	در مقیاس حوزه‌ای لایه کران، کانسنگ بصورت چینه‌سان و روزادی با گسترش جانبی تا چند کیلومتر جانشین سنگ میزبان می‌شود	بصورت روزادی و رگه‌ای همراه با بافت جانشینی در سنگ میزبان
کانی‌شناسی درون‌زاد	کانی های سولفیدی اسفالریت، گالن و سولفیدهای آهن. کانی‌های باطله:دولومیت، آنکریت، سیدریت، کلسیت، باریت، فلوریت و مقادیر جزیی کوارتز	گالن، اسفالریت و پیریت، کلسیت، دولومیت و مقادیر کمتر کوارتز و باریت
کانی‌شناسی برون‌زاد	اسمیت‌زونیت، هیدروزینسیت، همی‌مورفیت، سروزیت، آنگلزیت	اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، سروزیت
بافت و ساخت	جانشینی سنگ میزبان، پرکننده فضای خالی، برش‌های انحلالی-ریزشی، گل کلمی، نواری	رگه-رگچه، جانشینی، برشی
دگرسانی	دولومیتی شدن، کلسیتی شدن، سیلیسی شدن و باز تبلور دوباره	کلسیتی شدن، دولومیتی شدن

فرایند اکسایش کانی‌سازی سولفیدی اولیه در کانسارهای نوع MVT می‌تواند باعث ایجاد یک نهشته گسترده غیر سولفیدی روی و سرب در کنار نهشته سولفیدی شود. در منطقه مورد بررسی، کانی گالن همراه با نهشته‌های گسترده کربناتی-سیلیکاتی روی (اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت) و به مقدار کمتر اکسیدهای آهن (گوتیت و هماتیت) و کربنات سرب (سروزیت) در سطح دیده می‌شود. این در حالی است که اسفالریت و پیریت به مقدار بسیار کم در مقاطع میکروسکوپی شناسایی گردیدند. بر پایه سری شرمن در یک همبری کانیایی شامل پیریت، اسفالریت و گالن، کانی پیریت بیشترین میل به اکسایش و گالن کمترین میل را دارد [۲۵]. بنابراین روی نسبت به سرب تمایل کمتری به گوگرد دارد و در شرایط اکسایشی، سریع‌تر گوگرد را رها کرده و وارد فازهای ثانویه ازجمله اکسید و سیلیکات روی می‌شود. در ایران نیز، نهشته‌های گسترده غیرسولفیدی روی در کانسارهای نوع MVT چون کانسارهای پیچمتو [۲۱] و دره زنجیر [۲۶] گزارش شده‌اند.

برداشت

در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله، کانی‌سازی با بافت‌های رگه-رگچه، برشی و جانشینی در سنگ‌های رسوبی آهک دولومیتی و آهک به سن ژوراسیک پسین تا کرتاسه پیشین به‌صورت روزادی و در پهنه‌های گسلی شکل گرفته است. کانی‌سازی اولیه شامل پیریت، گالن و اسفالریت است که دگرسانی‌های کلسیتی و دولومیتی آن را همراهی می‌کنند. در اثر اکسایش و هوازدگی کانی‌های ثانویه سروزیت، همی‌مورفیت، اسمیت-زونیت، گوتیت و هماتیت شکل گرفته‌اند. بیشترین مقدار عناصر در نمونه‌های زمین شیمیایی بر پایه سنگ در محل کانی‌سازی برای سرب،۴٫۲ درصد، روی ۵٫۷ درصد، مس ۱۷۲ گرم در تن و آرسنیک ۲۵۴ گرم در تن است. منطقه اکتشافی کلاته پیاله را می‌توان از نظر نوع سنگ میزبان، نوع دگرسانی‌ها (دولومیتی و کلسیتی)، نوع کانی‌سازی، بلورشناسی گالن، ویژگی‌های زمین شیمی و همچنین نبود ارتباط با فعالیت‌های آذرین می توان با کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی مقایسه کرد. همچنین شکل-گیری کانی‌سازی در دو مرحله اولیه (سولفیدها) و ثانویه (بیشتر اکسیدها، کربنات‌ها و سیلیکات‌ها) در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله مشابه برخی از این نوع کانسارهاست.

پهنه کپه داغ به دلیل وجود ذخایر فراوان هیدروکربنی اهمیت دارد. این در حالی است که کانی‌سازی‌های فلزی معدودی از این پهنه گزارش شده که بررسی دقیقی پیرامون خاستگاه آن‌ها انجام نشده است. بنابراین شناخت هر چه بیشتر کانی‌سازی در منطقه کلاته‌پیاله از نظر چگونگی تشکیل، خاستگاه محلول کانه‌دار، سنگ میزبان و ساختارهای زمین-شناسی، گام مثبتی در راستای اکتشاف بهتر این نوع ذخایر در پهنه کپه داغ است.

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح شماره ۳/۵۲۰۱۴ انجام شده است. از همراهی و راهنمایی‌های ارزنده آقای مهندس علی تنها در نخستین بازدید صحرایی از منطقه اکتشافی کمال تشکر را داریم. همچنین از آقایان مهندس علی‌اکبر اکبری و حسین میری که در عملیات صحرایی ما را یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاریم.

مراجع

[1] Aghanabati S.A., *"Geology of Iran"*, Geological Survey of Iran, Tehran (2004) 586 p.

[2] Lyberis N., Manby G., *"Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the Post-Miocene"*, American Association of Petroleum Geologists Bulletin 83 (1999) 1135-1160.

[3] Robert A. M. M., Letouzey J., Kavoosi M. A., Sherkati S., Müller C., Vergés J., Aghababei A., *"Structural evolution of the Kopeh Dagh fold-and-thrust-belt (NE Iran) and interactions with the South Caspian Sea Basin and Amu Darya Basin"*, Marine and Petroleum Geology 57 (2014) 68-87.

[4] Afshar Harb A., *"Petroleum Geology of Iran"*, Educational textbook of the Faculty of Engineering, University of Tehran (2001) 586 p.

[5] Mashkani S.A., *"Iranian Base Metals conference"*, Metal Bulletin, Tehran (2016) 43 p.

[6] Jafarian M.B., Haft Lang R., *"Geological map of Shirvan"*, Scale 1:100,000, Geological Survey and mineral exploration of Iran, Tehran (2004).

[7] Parhiz M., *"Report of exploration license in Kalatepiale prospect area"*, Geological Survey of Iran, Bojnourd (2008) 57 p.

[8] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[9] Evans A. M., *"Ore Geology and Industrial Minerals: An Introduction"*, Blackwell Scientific Publication (1993) 390 p.

[10] Bonev I. k., *"Crystal habit of Ag-, Sb- and Bibearing galena from the Pb-Zn ore deposits in the Rhodope Mountains, Geochemistry"*, Mineralogy and Petrology Sofia 45 (2007) 1-18.

[11] Hagni R. D., *"Origin of platy galena in the Viburnum Trend, southeast Missouri"*, GSA NorthCentral Section 47th Annual Meeting (2013).

[12] Ghazban F., Mcnutt R.H., Schwarcs H.P., *"Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan Area, West-Central Iran"*, Economic geology 89 (1994) 1262-1278.

[13] Laznicka P., *"Breccias and coarse fragmentites. Petrology, environments, associations, ores"*, Elsevier, Developments in Economic Geology 25 (1988) 832 p.

[14] Seward T.M., Barnes H.L., *"Metal transport by hydrothermal ore fluids"*, Geochemistry of hydrothermal ore deposits 3 (1997) 435-486.

[15] Barnes H. L., *"Geochemistry of hydrothermal ore deposits"*, Third edition, New York, John Wiley and Sons (1997) 797 p.

[16] Leach D. L., Taylor R. D., Fey D. L., Diehl S. F., Saltus R. W., *"A deposit model for Mississippi Valley-Type lead-zinc ores, chap. A of Mineral deposit models for resource assessment"*, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–A (2010) 52 p.

[17] Wilkinson J.J., *"Sediment-Hosted Zinc–Lead Mineralization: Processes and Perspectives"*, Treatise on Geochemistry 2nd Edition (2014).

[18] Ghorbani M., *"An introduction to the economic geology of Iran"*, Geological Survey and mineral exploration of Iran (2002) 650 p.

[19] Fardoost F., Ghasemi H., *"Mineralogy of Barfakeh Zinc and Lead ore deposit in the NW of shahrood (Introducing some new minerals in this ore deposit) "*, Journal of Crystallography and Mineralogy 16 (2008) 415-424.

[20] Rajabi A., Rastad E., Canet C., *"Metallogeny of Cretaceous carbonate hosted Zn–Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration"*, International Geology Review 54 (2012) 1649-1672.

[21] Abbasi H., Shamanian Esfahani G.H., Fardoost F., *"Zinc and lead ore deposit of Pichamto, North West of Shahrood: mineralogical, fluid inclusion and isotopic (C, O, S) studies",* Geosciences 26 (2017) 241-250.

[22] Karimpour M.H., Sadeghi M., *"Dehydration of hot oceanic slab at depth 30–50 km: KEY to formation of Irankuh-Emarat Pb-Zn MVT belt, Central Iran"*, Journal of Geochemical Exploration 194 (2018) 88-103.

[23] Sangster D. F., *"Mississippi Valley-type and sedex lead-zinc deposits: a comparative examination"*, Trans Inst Mining Metall B (1990) 21-42.

[24] Leach D. L., Sangster D. F., Kelley K. D., Large R. R., Garven G., Allen C.R., Gutzmer J., Walters S., *"Sediment-hosted lead–zinc deposits: a*

[25] Guilbert J. M., Park Jr. C. F., *"The Geology of ore deposits"*, Freaman and company, New York (1997) 642 p.

global perspective", In: Economic Geology 100th Anniversary (2005) 561-608.

[26] Maghfouri S., Hosseinzadeh M.R., Rajabi A., Azim Zadeh A.M., *"Darreh-Zanjir Deposit, a Typical Carbonate Hosted Zn-Pb Deposit (MVT) in Early Cretaceous Sedimentary Sequence, Southern Yazd Basin"*, 26 (2016) 11-26.