

زمین‌شناسی، کانه‌زایی، زمین‌شیمی و خاستگاه کانسار چندفلزی کج‌کلاه، شرق زنجان

زهرا طولابی فر^۱، قاسم نباتیان^{۱*}، مریم هنرمند^۲، مریم افشاری^۳

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

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

۳- آموزش و پرورش، زنجان، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۷/۱۰، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۹/۲۶)

چکیده: کانسار چندفلزی کج‌کلاه در شرق زنجان و در زیر پهنه طارم و نوار فلززایی طارم- هشتجین واقع است. این کانسار درون توده نفوذی طارم تشکیل شده است. ترکیب توده نفوذی طارم در گستره مورد بررسی کوارتزمونزونیت تا کوارتزمونزودیوریت است و کانی‌های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، کوارتز و کلینوپروکسن هستند. ماهیت زمین‌شیمیایی توده طارم آهکی قلیایی پتاسیم بالا تا شوشونیتی و در ارتباط با خاستگاه زمین ساختی فرورانش است. کانه‌زایی منگنز، مس، سرب و روی و باریت در کانسار کج‌کلاه به‌صورت رگه- رگچه‌ای و عدسی شکل درون توده طارم روی داده است. کانی‌های اصلی ماده معدنی در این کانسار شامل گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، آرسنوپیریت، پسیلوملان، پیرولولزیت، منگنیت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و گوتیت بوده و کانی‌های باطله نیز شامل کلسیت، باریت و کوارتز هستند. بافت‌های قابل مشاهده در این کانسار توده‌ای، سوزنی، رگه- رگچه‌ای، شانه- ای و گل‌کلمی هستند و در مقیاس میکروسکوپی شامل بافت‌های جانیشینی، رگه- رگچه‌ای، گل‌کلمی، توده‌ای، بازماندی و پرکننده فضای خالی است. فاز اول و اصلی کانه‌زایی در این منطقه، کانه‌زایی سولفیدی است که با فاز بعدی، کانه‌زایی اکسیدی، قطع شده است. فاز اکسیدی در این کانسار شامل دو زیرمرحله کوارتز- باریت و کوارتز منگنز است. در مرحله آخر، رگه- رگچه‌های کوارتز و کلسیت فازهای کانه‌زایی پسین را قطع و برشی کرده‌اند. الگوی عناصر نادر و خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت در نمونه‌های کانه‌دار و توده نفوذی، شبیه هم است. این امر بیانگر نقش توده نفوذی در تشکیل دگرسانی‌ها و سیال‌های کانه‌ساز در این کانسار است. کانسار چندفلزی کج‌کلاه با توجه به ویژگی‌های صحرایی، میکروسکوپی و زمین‌شیمیایی، بیشترین شباهت را با کانسارهای چندفلزی سولفیدشدگی حدواسط دارد.

واژه‌های کلیدی: چندفلزی؛ فراگرمایی؛ کوارتزمونزونیت؛ آهکی قلیایی پتاسیم بالا؛ کج‌کلاه؛ طارم- هشتجین.

مقدمه

دارد. کمربند فلزایی طارم- هشتجین بیشتر از واحدهای مربوط به سازند کرج تشکیل شده است که مجموعه‌ای از توده‌های نفوذی با سن ائوسن پایانی درون سازند کرج نفوذ کرده‌اند [۳-۵]. از دیدگاه فلززایی، این کمربند میزبان کانه‌زایی‌های مهمی از جمله آهن، طلا، مس، سرب و روی است که کانسارهای متعددی چون سرخه دیزج، مروارید، ذاکر، کردکند،

گستره معدنی کج‌کلاه در ۲۰ کیلومتری شرقی استان زنجان قرار دارد و بخشی از نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ زمین‌شناسی طارم [۱] (شکل ۱) را شامل می‌شود. از نظر تقسیم‌های زمین‌شناسی- ساختاری ایران، منطقه مورد بررسی در پهنه ماگمایی البرز- غربی- آذربایجان [۲] و در نوار فلززایی طارم- هشتجین قرار

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۴۳۳۰۵۴۲۷۸، پست الکترونیکی: gh.nabatian@znu.ac.ir

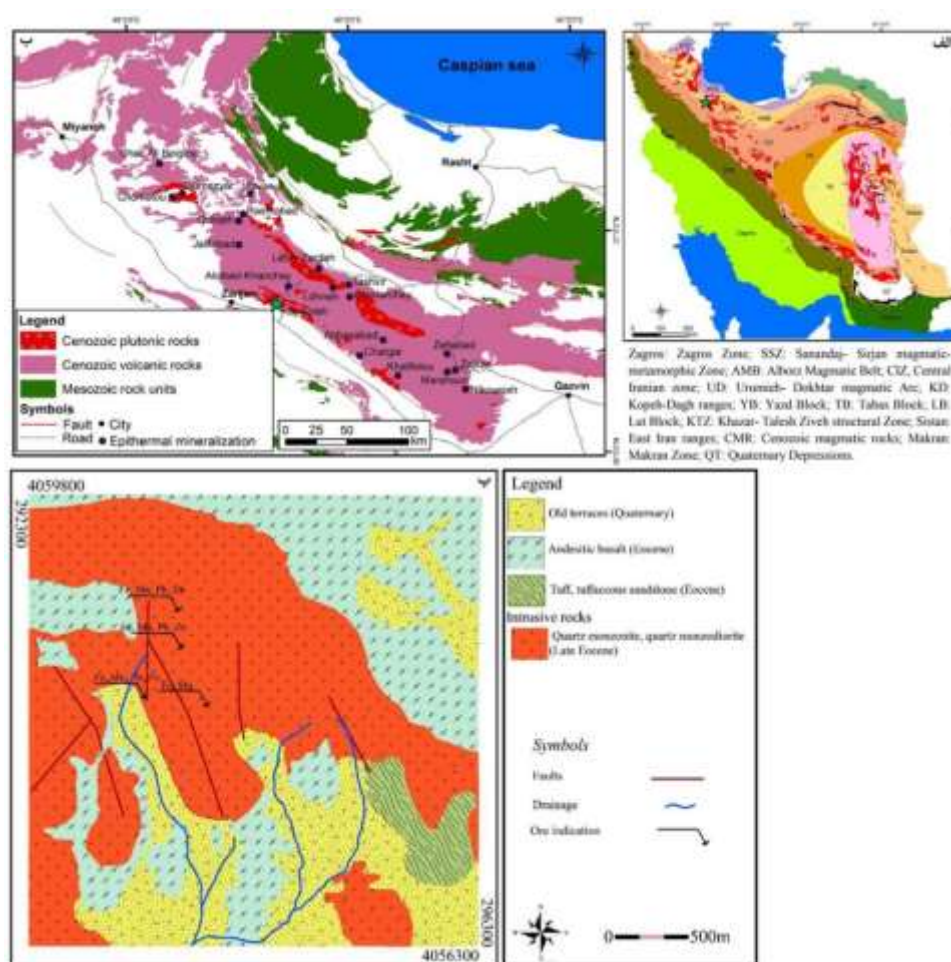


شناسایی نسبی سنگ‌ها، واحدهای زمین‌شناسی و ماده معدنی و ارتباط آنها با هم، نمونه‌برداری هدف‌دار از سنگ میزبان و توده‌های نفوذی و نمونه‌های کانه‌دار انجام شد. در مرحله آزمایشگاهی، ۱۲ مقطع نازک و ۲۳ مقطع نازک- صیقلی برای بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانه‌نگاری و ساخت و بافت ماده معدنی تهیه گردید. سپس برای بررسی‌های زمین- شیمیایی، تعداد ۵ نمونه از توده نفوذی (در شرکت زرآزما) و ۵ عدد نمونه ماده معدنی (در شرکت کانسارهای بینالود) به روش‌های طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی X، (XRF) اکسید عناصر اصلی و طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) برای عناصر کمیاب و خاکی نادر تجزیه شدند. سپس نتایج تجزیه‌های شیمیایی بررسی و با نتایج بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی ترکیب شد.

ماری، لهنه، دهنه و گلجیک در آن تشکیل شده‌اند [۳-۸]. با وجود اکتشاف‌های انجام شده در منطقه کچ‌کلاه، بررسی دقیق علمی و پژوهشی در این منطقه صورت نگرفته است. بر این اساس، در این پژوهش، کانه‌زایی سرب- روی و منگنز کچ‌کلاه بر پایه ویژگی‌های زمین‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه این کانسار بررسی گردید که عوامل کلیدی توزیع مکانی و زمانی اکتشاف کانه‌زایی‌های مشابه در این ناحیه را مشخص کرد. در این پژوهش، کانه‌زایی سرب، روی و منگنز در این بخش از استان زنجان برای نخستین بار بررسی شده است که نتایج آن می‌تواند در پی‌جویی کانسارهای مشابه در پهنه البرزغربی - آذربایجان مفید باشد.

روش بررسی

طی بازدیدهای صحرایی به منظور بررسی کلی گستره معدنی و



شکل ۱ الف) نقشه زمین‌شناسی- ساختمانی ایران [۹، ۱۰] که موقعیت منطقه مورد بررسی با علامت ستاره سبز رنگ بر آن نشان داده شده است. ب) نقشه زمین‌شناسی ساده شده از کمربند فلزایی طارم- هشتجین که کانسارهای مهم فراگرمایی همچنین کانسار کچ‌کلاه (علامت ستاره سبز رنگ) بر روی آن مشخص شده است، برگرفته از مرجع [۱۱] با تغییرات جزئی. نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد بررسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰.

زمین‌شناسی

بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم [۱]، روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی، همسان با دیگر مناطق البرز غربی، NW-SE است. پی‌سنگ قدیمی این ناحیه، مجموعه سنگ‌های دگرگونی واحد P_{em}^t است که به احتمال بسیار وابسته به زمان پرکامبرین است. رسوب‌های کم ضخامت و پراکنده‌ای از پالئوزوئیک و مزوزوئیک در بخش‌های شمال‌شرقی و جنوب-غربی ورقه رخنمون دارد. در بین آن‌ها، نهشته‌های سنوزوئیک و به ویژه ائوسن اهمیت شایانی دارند. در زمان ائوسن، بر اثر فازهای کششی، حجم زیادی از گدازه‌های آتشفشانی و مواد آذرآواری به همراه نهشته‌های رسوبی تشکیل شده است. ردیف ائوسن به صورت پیش‌رونده با کنگلومرای قاعده‌ای سازند فجن بر رسوب‌های مزوزوئیک و یا قدیمی‌تر نشسته است. ضخامت این واحدها که در منطقه با نام سازند کرج از آن‌ها یاد می‌شود، به بیش از ۳۰۰۰ متر می‌رسد. براساس نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه کج‌کلاه (شکل ۱ ب)، واحدهای سنگی رخنمون یافته در این گستره شامل واحدهای ائوسن (توف‌های ماسه-سنگی، توف، بازالت‌های آندزیتی) و کواترنری هستند که توده نفوذی طارم با ترکیب بیشتر کوارتزمونزونیت تا کوارتزمونزودیوریت با سن ائوسن پایانی [۳]، به درون توالی آتشفشانی-رسوبی سازند کرج نفوذ کرده است. گفتنی است که کانه‌زایی منگنز، سرب-روی و باریت درون واحدهای کوارتزمونزونیتی تا کوارتزمونزودیوریتی رخ داده است. بر پایه بازدیدهای صحرایی انجام شده، واحدهای موجود در منطقه مورد بررسی شامل واحدهای توف، توف‌های ماسه‌سنگی و بازالت

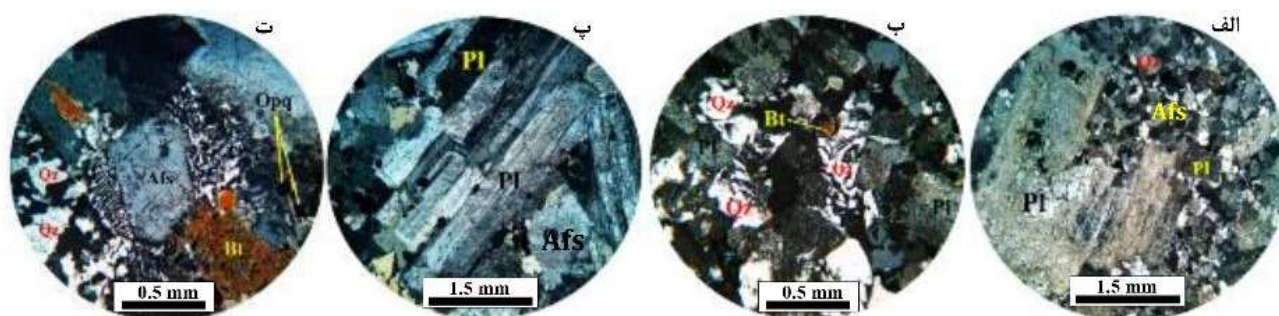
های آندزیتی هستند که میزبان توده نفوذی طارم هستند (شکل ۲).

سنگ‌نگاری

در مقیاس نمونه دستی، نمونه‌های توده نفوذی طارم به صورت متوسط بلور تا درشت بلور و به رنگ خاکستری مایل به صورتی هستند. براساس بررسی‌های میکروسکوپی، نمونه‌های توده (سنگ میزبان کانه‌زایی) دارای بافت دانه‌ای ناهمسان دانه و ریزنگشتاری و شامل کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز (۳۰-۴۰ درصد)، کوارتز (۱۰-۱۵ درصد)، کلینوپیروکسن (۳-۱۰ درصد)، فلدسپار قلیایی (۲۵-۳۰ درصد) و بیوتیت (۳-۱۰ درصد) هستند. کانی‌های فرعی این گروه از سنگ‌ها شامل کانی‌های کدر، آپاتیت و زیرکن هستند. کانی‌های اپیدوت، کلریت، آمفیبول رشته‌ای، سریسیت، کلسیت، اسفن و کانی‌های رسی نیز به عنوان کانی‌های ثانویه در این سنگ‌ها حضور دارند. پلاژیوکلاز درشت‌بلور اصلی (تا ۵ میلی‌متر) موجود در این سنگ‌ها بوده که اغلب دچار دگرسانی سریسیتی شده است. کلینوپیروکسن کانی اصلی فرومنیزین موجود در این سنگ‌ها بوده و با درجه‌های مختلفی به کلسیت و کلریت دگرسان شده است. کلینوپیروکسن گاهی به صورت میانبار در بلورهای پلاژیوکلاز حضور دارد. کانی‌های فلدسپار قلیایی نیز به صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار در این سنگ‌ها وجود دارند که بیشتر به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. بلورهای بیوتیت در اندازه حدود ۱ میلی‌متر که به کلریت دگرسان شده‌اند، نیز در این سنگ‌ها حضور دارند. تصاویر میکروسکوپی توده‌های نفوذی منطقه کج‌کلاه در شکل ۳ ارائه شده است



شکل ۲ الف) زخمون صحرایی از برخوردگاه بین توده نفوذی و واحدهای آندزیتی ائوسن (دید به سمت جنوب‌غرب). ب) نمایی نزدیک از رخنمون توده نفوذی کوارتزمونزونیت-کوارتزمونزودیوریتی در منطقه مورد بررسی (دید به سمت شمال).



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌ها و بافت‌های موجود در واحدهای کوارتزومونزونیتی و کوارتزومونزودیوریتی در نور عبوری قطبیده متقاطع (XPL). الف) بافت دانه‌ای ناهم‌سان دانه، درشت بلور پلاژیوکلاز (Pl) در کنار بلورهای متوسط کوارتز (Qz) و فلدسپار قلیایی (Afs) در توده کوارتزومونزونیتی. ب) بافت ریزنوشتاری در توده کوارتزومونزونیتی. پ) درشت بلورهای پلاژیوکلاز (Pl) و فلدسپار قلیایی (Afs) در توده کوارتزومونزودیوریتی که تشکیل بافت دانه ای ناهم‌سانه داده‌اند. ت- درشت بلورهای کوارتز (Qz)، فلدسپار قلیایی (Afs) و بیوتیت (Bt) به همراه بافت ریزنوشتاری در توده کوارتزومونزودیوریتی. نشانه‌های اختصاری برگرفته از مرجع [۱۲] هستند.

کانه‌زایی

کانه‌زایی منگنز به صورت رگه-رگچه‌ای در این کانسار روی داده است (شکل‌های ۵ ب، پ). گفتنی است که در مراحل پایانی کانه‌زایی، رگه- رگچه‌های کوارتزی بی‌بار و کلسیت نیز تشکیل شده و کل فازهای کانه‌زایی پیشین را قطع کرده‌اند (شکل‌های ۵ ت، ث).

کانه‌نگاری

کانه‌های اصلی موجود در این منطقه شامل گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، آرسنوپیریت، پسیلوملان، پیرولوزیت، منگنیت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و گوتیت (شکل‌های ۶ و ۷) و کان‌های باطله نیز کلسیت، باریت و کوارتز هستند. گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت کانی‌های سولفیدی تشکیل شده در این کانسار هستند که در میان آنها، گالن مهمترین کانی سولفیدی موجود در کانسار کج کلاه بوده و همراه آن نیز به مقدار کم کانی اسفالریت تشکیل شده است. کانی گالن بیشتر دارای بافت دانه پراکنده و جانشینی بوده که با سروزیت جانشین شده است (شکل‌های ۶ الف، ب). این کانی در بخش‌هایی به صورت میان‌بار درون سایر کانی‌ها چون کانی اسفالریت وجود دارد. چنان که در شکل‌های ۶ پ، ت دیده می‌شود، کانی اسفالریت یکی دیگر از کانی‌های سولفیدی در این کانسار بوده که همراه سایر کانی‌های سولفیدی از جمله پیریت، گالن، آرسنوپیریت و کالکوپیریت تشکیل شده است. گفتنی است که اسفالریت بیشتر دارای بافت رگچه‌ای است و در برخی بخش‌ها، بلورهای آن میان‌بارهایی از کانی‌های گالن، پیریت و آرسنوپیریت را دارند (شکل ۶ ت).

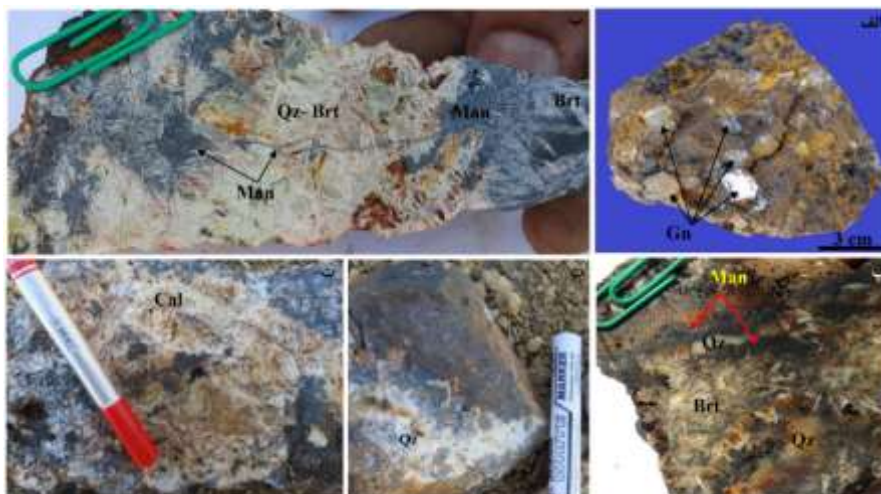
کانه‌زایی منگنز، مس، سرب، روی و باریت در کانسار کج کلاه به صورت رگه- رگچه‌ای و عدسی شکل در توده نفوذی طارم روی داده است. طول رخنمون رگه‌ها ۱۰۰ متر و عرض آن کمتر از ۲ متر است (شکل ۴). این رگه‌ها بیشتر با راستای شرقی- غربی و شمال شرقی- جنوب غربی در منطقه دیده می‌شوند که در راستای گسل‌های کششی با راستا NNE-WSW تشکیل شده‌اند (شکل ۴). گفتنی است که مجموعه‌ای از گسل- های معکوس راستالغز دیگری در منطقه تشکیل شده‌اند که پس از رخداد کان‌زایی در منطقه شکل گرفته و رگه‌های کان- زایی را قطع کرده‌اند. بافت‌هایی که در مقیاس نمونه دستی در این کانسار دیده می‌شوند بیشتر توده‌ای، رگه- رگچه‌ای، برشی، سوزنی شکل، شانه‌ای و گل کلمی هستند (شکل ۵). البته در مقیاس میکروسکوپی، بافت‌های جانشینی، رگه- رگچه‌ای، گل- کلمی، توده‌ای، بازماندی و پرکننده فضای خالی مهمترین بافت‌های تشکیل شده در این کانسار به‌شمار می‌آیند. در این کانسار، بلورهای درشت و شکل‌دار گالن را می‌توان دید که در معرض دگرسانی و هوازدگی قرار گرفته‌اند و سطح آنها اکسیده شده است. اندازه بلورهای گالن حدود ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر است. با بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی مشخص شد که حجم اصلی کان‌زایی در این منطقه شامل فازهای سولفیدی و اکسیدی است که فاز سولفیدی طی مرحله اول کان‌زایی در این کانسار تشکیل شده و فاز اکسیدی بعد از فاز سولفیدی روی داده است (شکل ۵). طی فاز اکسیدی کان‌زایی، نخست رگه- رگچه‌های کوارتز- باریت تشکیل شده‌اند و پس از آن،

کمتر است. بر پایه شواهد میکروسکوپی، کالکوپیریت به مقدار بسیار کم و به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی شکل با بافت رگچه‌ای در این بلورهای کانسنگ حضور دارد. این کانی در برخی بخش‌ها و در اثر فرایندهای هوازدگی و برونزایی با کانی‌های ثانویه از جمله مالاکیت و گوتیت جانشین شده است. همچنین کانی پیریت تشکیل شده طی کانه‌زایی سولفیدی، در اثر فرایندهای برونزایی و هوازدگی به گوتیت تبدیل شده است

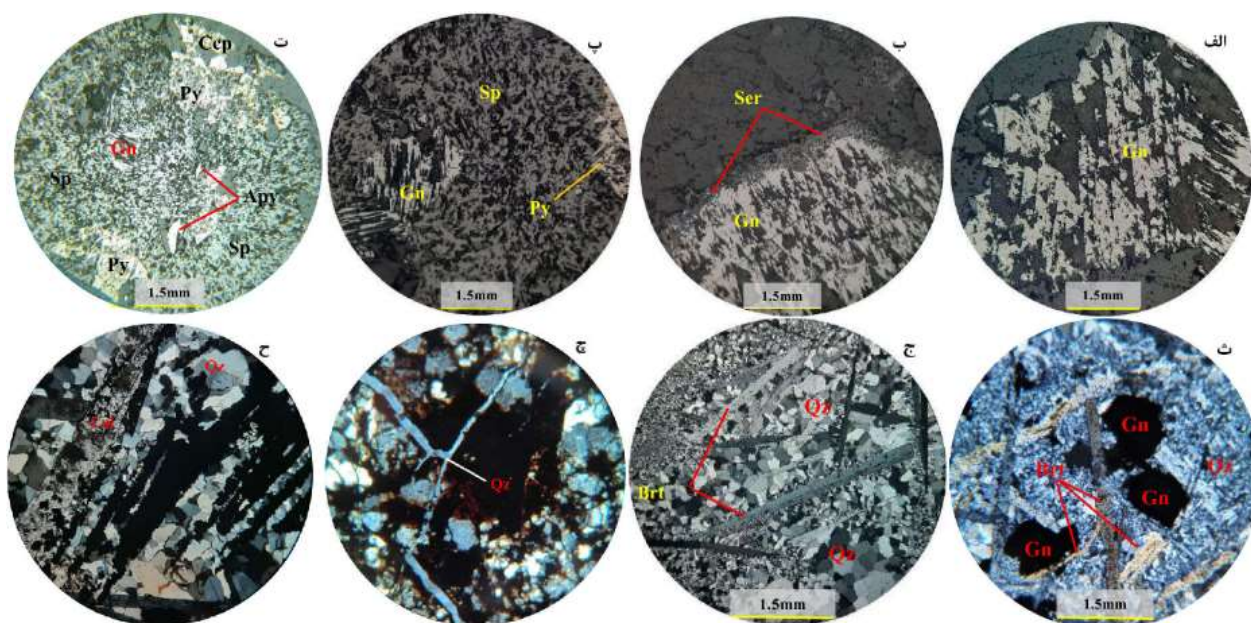
پیریت به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار دانه پراکنده همراه با سایر کانی‌های سولفیدی از جمله کالکوپیریت، گالن، آرسنوپیریت و اسفالریت تشکیل شده است (شکل‌های ۶ پ، ت). فراوانی پیریت در این کانسنگ به نسبت کم است و در برخی نقاط ۱۰٪ کانسنگ را شامل می‌شود. گفتنی است که کانی آرسنوپیریت نیز به صورت بلورهای خودشکل در این کانسار همراه با سایر کانی‌های سولفیدی تشکیل شده است. مقادیر این کانی در منطقه مورد بررسی نسبت به کانی پیریت



شکل ۴ تصویری از رگه‌های کانه‌زایی موجود در منطقه کچ کلاه در راستای شمال شرقی - جنوب غربی.



شکل ۵ تصاویری از نمونه‌های دستی کانه‌زایی در کانسار منگنز، مس، سرب، روی و باریت کچ کلاه: الف) بلور شکل‌دار گالن (Gn) که در اثر دگرسانی و هوازدگی سطوح آن اکسیده شده است. ب) رگچه منگنز (Man) که رگچه کوارتزی (Qz) و باریتی (Brt) را قطع کرده است، پ) بلورهای سوزنی شکل باریت (Brt) در همراهی با بلورهای کوارتز (Qz) که رگچه‌های منگنز آنها را قطع کرده اند، ت) رگه کوارتزی (Qz) بی‌بار که در مراحل پایانی کانه‌زایی، فازهای اولیه کانه‌زایی را قطع کرده است. ث) رگه کلسیتی (Cal) که فازهای پیشین کانه‌زایی را قطع کرده است. نشانه‌های اختصاری برگرفته از مرجع [۱۲] هستند.



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های سولفیدی و باریت در منطقه مورد بررسی: الف- کانی گالن (Gn) که با رخ مثلثی شکل دیده می‌شود، ب- جانشین شدن کانی گالن (Gn) توسط کانی ثانویه سروزیت (Cer)، پ- هم‌رشدی کانی گالن (Gn) با اسفالریت (Sp) و پیریت (Py)، ت- کانی‌های سولفیدی شامل کانی گالن (Gn)، اسفالریت (Sp)، کالکوپیریت (Ccp)، پیریت (Py) و آرسنوپیریت (Apy) است، ث- بلورهای تیغه‌ای شکل باریت (Brt) که کانی‌های گالن (Gn) را قطع کرده‌اند، ج- بلورهای تیغه‌ای شکل باریت (Brt) که با بلورهای متوسط دانه و ریزدانه کوارتز (Qtz) هم‌رشدی دارند، چ- رگچه کوارتز (Qtz) بی‌بار مرحله تاخیری که کانه‌زایی اکسیدی (بخش‌های تیره) را قطع کرده است، ح- رگچه کلسیتی (Cal) مرحله تاخیری که کانه‌زایی اکسیدی (بخش‌های تیره) و بلورهای کوارتز (Qtz) را قطع کرده است. نشانه‌های اختصاری برگرفته از مرجع [۱۲] هستند.

(شکل‌های ۵ ب، پ). پیرولولزیت فراوان‌ترین کانی منگنز شناسایی شده در کانسار مورد بررسی بوده و دارای بافت‌های رگه- رگچه‌ای، جانشینی و گل کلمی است (شکل ۷). گفتنی است که در این کانسار تبدیل پیرولولزیت به کانی‌های پسیلوملان نیز در مناطق با شدت دگرسانی و هوازدگی بالا دیده می‌شود (شکل ۷ ج). کانی منگنات از دیگر کانی‌های منگن‌دار در این کانسار بوده که در همراهی با کانی پیرولولزیت و پسیلوملان تشکیل شده است (شکل‌های ۷ الف، ث، چ). گفتنی است که در همراهی با این کانی در بخش‌هایی، کانی براونیت نیز تشکیل شده است (شکل ۷ ت)، با این تفاوت که مقدار کانی براونیت در این کانسار نسبت به سایر کانی‌های منگنز پایین است. چنان که در شکل‌های ۷ پ، ث دیده می‌شود، کانی‌های پیرولولزیت و پسیلوملان در اثر فرایندهای برونزایی و هوازدگی به کانی هاسمانیت نیز تبدیل شده‌اند.

پسیلوملان به اکسیدهای سخت و توده‌ای منگنز با بافت خوشه انگوری با داشتن ۱۶/۵ درصد BaO در ترکیب شیمیایی خود گفته می‌شود [۱۳]. این کانی پس از کانی پیرولولزیت،

کانه‌زایی اکسیدی در کانسار کچ کلاه، فاز دوم کانه‌زایی بوده است و حجم اصلی این فاز را باریت و کانه‌های منگن‌دار تشکیل داده که همراه با کوارتز شکل گرفته‌اند. کانه‌زایی اکسیدی در این کانسار شامل دو زیرمرحله باریت- کوارتز و کوارتز- منگنز است. زیرمرحله کانه‌زایی باریت- کوارتز نخستین مرحله از کانه‌زایی اکسیدی را تشکیل می‌دهد که کانه‌زایی سولفیدی را قطع کرده است (شکل ۶ ث). چنان که در شکل ۶ ث دیده می‌شود، بلورهای خودشکل باریت به همراه کوارتز، کانی‌های سولفیدی از جمله گالن را قطع کرده‌اند. بلورهای کوارتز بیان شده بیشتر به صورت رگه- رگچه‌ای تشکیل شده‌اند و گاهی دارای بافت شانه‌ای هستند که همراه بلورهای تیغه- ای شکل باریت دیده می‌شوند (شکل ۶ ج).

کانه‌زایی منگنز زیرمرحله دوم از کانه‌زایی اکسیدی در کانسار کچ کلاه به شمار می‌آید که شامل کانی‌هایی از جمله پیرولولزیت، پسیلوملان، منگنات، هاسمانیت و براونیت است (شکل ۷). چنان که پیشتر نیز بیان شد، کانه‌زایی منگنز در کانسار کچ کلاه رگه- رگچه‌ای باریت- کوارتز قطع شده است

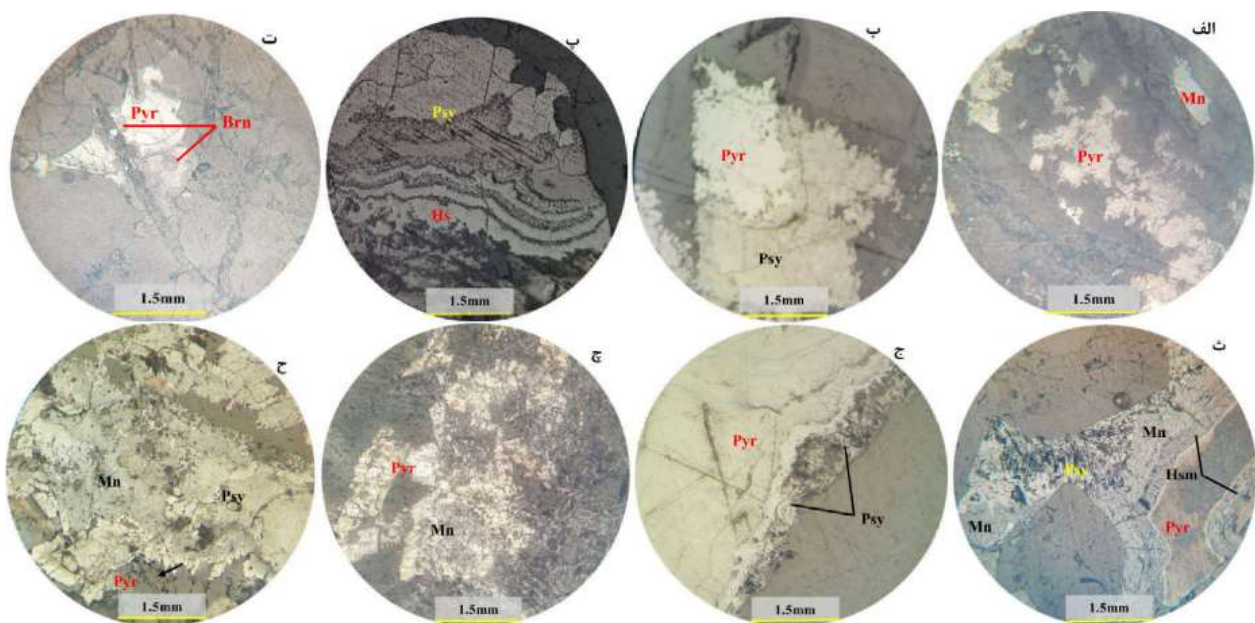
زایی برونزادی و هوازدگی شامل مالاکیت، گوتیت، هاسمانیت، پسیلوملان و سروزیت است. از جمله بافت‌هایی که طی این مرحله تشکیل شده‌اند جانشینی، گل کلمی و بارماندی هستند.

دگرسانی

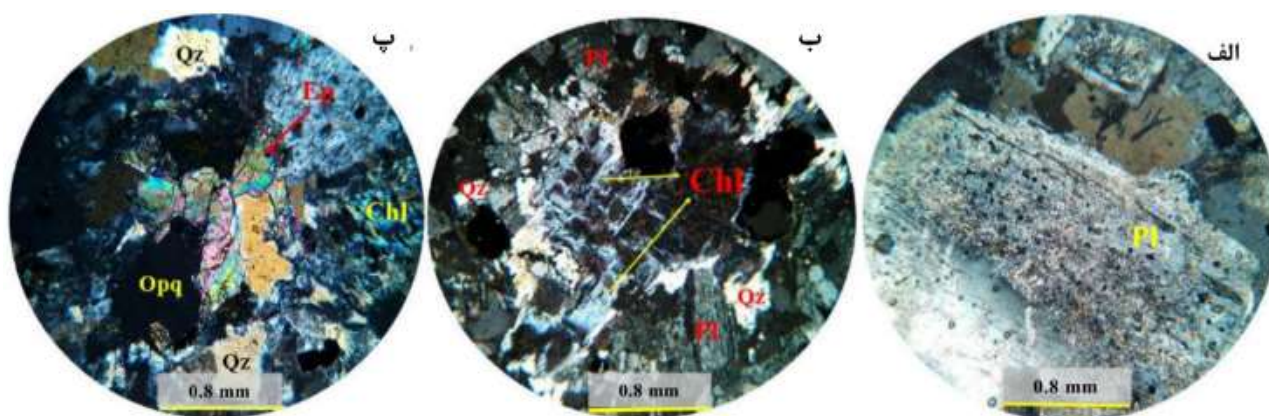
براساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، دگرسانی‌های گرمابی موجود در کانه‌زایی منگنز، سرب و روی و باریت کانسار کچ کلاه شامل دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیکی و کلریتی است که در میان آنها، دگرسانی سیلیسی متداول‌ترین و مهمترین نوع دگرسانی گرمابی در این منطقه است. این دگرسانی در همراهی با کانه‌زایی‌های سولفیدی و اکسیدی و همچنین طی فازهای آخر کانه‌زایی به صورت بی‌بار تشکیل شده و همه مراحل کانه‌زایی را قطع کرده است (شکل‌های ۵ ب، پ، ت؛ ۶- ج، چ و ح). دگرسانی سریسیتی بصورت جانشینی سریسیت به جای کانی پلاژیوکلاز در نمونه‌های توده - نفوذی (سنگ میزبان کانه‌زایی) رخ داده است (شکل ۸ الف).

بیشترین فراوانی را در کانسار کچ کلاه دارد. چنان که بیان شد، کانی پسیلوملان در بخش‌هایی با کانی‌های پیرولولزیت و منگنات هم رشدی نشان می‌دهد و اغلب دارای بافت‌های جانشینی، سوزنی و رگه- رگچه‌ای است. این کانی دارای دو نسل است. نسل اول آن همراه با کانی‌های اولیه منگنز از جمله پیرولولزیت، منگنات و براونیت تشکیل شده است. نسل دوم این کانی در بخش‌هایی با شدت دگرسانی و هوازدگی بالا، جانشین کانی‌های منگنزار دیگر چون منگنات و پیرولولزیت شده است (شکل ۷ ح).

چنان که پیشتر نیز بیان شد، پس از کانه‌زایی منگنز در این کانسار، نخست رگه- رگچه‌های کوارتز بی‌بار تشکیل شده و مجموعه کانه‌زایی پیشین را قطع و برشی کرده اند (شکل‌های ۵ ت و ۶ چ). در ادامه، رگه- رگچه‌های کلسیتی نیز تشکیل شده و همه مراحل کانه‌زایی پیشین را قطع و برشی کرده‌اند (شکل‌های ۵ ت و ۶ ح). مجموعه کانی‌های مربوط به فاز کانه



شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های منگنز در منطقه کچ کلاه: الف) کانی پیرولولزیت (Pyr) رگچه‌ای و منگنات (Mn). ب) هم‌رشدی بلورهای پیرولولزیت (Pyr) و پسیلوملان (Psy). پ- بافت گل کلمی کانی پیرولولزیت (Pyr) و پسیلوملان (Psy) که از هاسمانیت (Hsm) جانشین شده‌اند. ت) - بلورهای براونیت (Brn) در کنار بلورهای پیرولولزیت (Pyr). ث) هم‌رشدی کانی‌های پیرولولزیت (Pyr)، پسیلوملان (Psy) و منگنات (Mn) که از لیه بلوری به کانی هاسمانیت (Hsm) در حال تبدیل هستند. ج) جانشین شدن کانی پیرولولزیت (Pyr) از لیه‌ها با کانی پسیلوملان (Psy). چ) کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای منگنات (Mn) و پیرولولزیت (Pyr) در منطقه مورد بررسی و ح) کانی پسیلوملان (Psy) که جانشین کانی‌های منگنات (Mn) و پیرولولزیت (Pyr) شده است. نشانه‌های اختصاری برگرفته از مرجع [۱۲] هستند.



شکل ۸ تصاویر میکروسکوپی از الف) کانی پلاژیوکلاز (Pl) که دچار دگرسانی سریسیتی شده است، ب) درشت بلور کلینوپیروکسن که تا حد زیادی به کلریت (Chl) دگرسان شده است و پ) دگرسانی به کلریت (Chl) و اپیدوت (Ep) که در توده نفوذی رخ داده است. نشانه‌های اختصاری برگرفته از مرجع [۱۲] هستند.

طی این مرحله، کانی‌های گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت تشکیل شده‌اند. طی فاز دوم، کانه‌زایی اکسیدی روی داده است. فاز اکسیدی شامل دو زیرفاز کانه‌زایی باریت و منگنز است که به همراه کوارتز تشکیل شده‌اند. طی این فاز، نخست رگه- رگچه‌های باریت- کوارتز تشکیل شده‌اند و در ادامه کانه‌زایی منگنز، به صورت رگه- رگچه‌ای تشکیل شده است. بیشتر دگرسانی‌های روی داده طی این دو مرحله شامل دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، کلریتی- اپیدوتی و آرژیلیکی هستند. بافت‌های برشی، رگه- رگچه‌ای، شانه‌ای، گل- کلمی و پرکننده فضای خالی از بافت‌های مهم مرحله‌های اول و دوم به شمار می‌روند. در مرحله سوم، رگه- رگچه‌های کوارتز بی‌بار و کلسیتی در این کانسار تشکیل شده و کل مراحل اولیه را قطع و برشی کرده‌اند. مرحله برونزایی با تشکیل کانی‌هایی از جمله پیرولوزیت، هاسمانیت، براونیت، گوتیت، سروزیت و مالاکیت با بافت‌های جانشینی، گل کلمی و بازماندی در این کانسار همراه بوده است. توالی همبرزادی کانسار کچ‌کلاه در شکل ۹ ارائه شده است.

زمین‌شیمی

نتایج تجزیه نمونه‌های سنگ میزبان و ماده معدنی در جدول- های ۱ و ۲ ارائه شده است. در این پژوهش، برای رده‌بندی سنگ‌های منطقه، از نتایج داده‌های تجزیه سنگ کل استفاده شده است.

در بخش‌هایی نیز کانی فلدسپار قلیایی دچار این دگرسانی شده است. گفتنی است که گسترش این دگرسانی در منطقه مورد بررسی کم بوده و محدود به توده نفوذی است. دگرسانی کلریتی نوع دیگری از دگرسانی‌های شایع در کانسار کچ‌کلاه بوده که اغلب به صورت جانشینی و پرکننده فضاهای خالی در این کانسار رخ داده است. این نوع دگرسانی با جانشین شدن کانی‌هایی چون کلینوپیروکسن و بیوتیت با کانی‌های کلریت و اپیدوت مشخص می‌شود (شکل‌های ۸ ب، پ). دگرسانی آرژیلیکی که با حضور کانی‌های رسی مشخص می‌شود، در منطقه مورد بررسی با هیدروکسیدهای آهن همراهی می‌شود که باعث تیره‌تر شدن رنگ رخنمون‌های دگرسانی آرژیلیکی به رنگ قرمز آجری تا قهوه‌ای می‌گردد (شکل ۴). چنان که در شکل ۴ نیز دیده می‌شود، این دگرسانی بطور گسترده پیرامون ماده معدنی رخداده است. دگرسانی کربناتی نیز در این منطقه بیشتر به صورت رگچه‌های تاخیری و جانشینی رخ داده و مجموعه کانه‌زایی و سنگ میزبان را قطع و برشی کرده است (شکل‌های ۵ ث؛ ۶ ج). چنان که بیان شد، این دگرسانی آخرین فاز کانه‌زایی در منطقه کچ‌کلاه به شمار می‌رود.

براساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی می‌توان گفت که کانه‌زایی در کانسار کچ‌کلاه در ۴ مرحله کانه‌زایی سولفیدی، اکسیدی، تاخیری و برونزادی رخ داده است. در مرحله اول کانه‌زایی، فاز سیلیسی- سولفیدی شکل گرفته است.

دگرسانی / بافت و ساخت / کانی ها	کانه زایی				سوپرژن و عوارذگی
	کانی سازی سولفیدی	کانی سازی اکسیدی		کانی سازی تاخیری	
		بازیت	مگنیز		
کالن					
اسفالریت					
زیریت					
کالکوپیریت					
آرستوپیریت					
باریت					
کوارتز					
پیرولوزیت					
پسیلومالان					
منگنایت					
براونیت					
کلیت					
هاسمایت					
سروزیت					
مالاکیت					
گوتیت					
کلریت- اپیدوت					
رگه- رگجداي					
برشی					
شانه اي					
خفنه پرکن					
کلوفرم					
جاشیني					
بازماندی					

شکل ۹ توالی همبیرزادی کانه‌زایی چندفلزی در کانسار کج کلاه.

جدول ۱ نتایج تجزیه نمونه‌های سنگ میزبان در کانسار کج کلاه (مقادیر اکسید عناصر اصلی به درصد و مقادیر عنصر کمیاب و خاکی نادر به ppm است).

أكسيد	SiO ₂	Al ₂ O ₃	BaO	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	TiO ₂	LOI
TO-1	٤٥.٥٤	١٥.٤٣	٠.١٣	١.٤	٤.٧٢	٥.٥٧	١.٥٨	٠.١٤	٢.٧٤	٠.٢٥	٠.١	٠.٤٤	١.٧٧
TO-2	٥٩.٨١	١٥.٨١	٠.١	٥.٣٩	٩.٩٨	٣.٨٨	٢.٤٨	٠.١٤	٢.٢٢	٠.٣٤	<٠.٠٥	٠.٨	١.٧٥
TO-6-1	٤٤.٢٢	١٥.٣٧	٠.١٢	١.٤٤	٣.٤٩	٤.٤٨	٠.٩٤	٠.١٥	١.٧٥	٠.١٧	٠.٠٥	٠.٥٥	٢.٤٤
TO-8-5	٤٧.٣٧	١٥.٢	٠.١٣	٠.٨٤	٣.٥٤	٤.٤٣	١.٢	٠.١٣	٢.١٣	٠.١٣	٠.٢٢	٠.٥٧	١.٩٣
TO-11	٤٢.٤٣	١٧.٧	٠.٠٩	٥.٢	٥.٠٤	٣.٧١	١.٤٧	٠.١١	٢.٧٨	٠.٢٣	<٠.٠٥	٠.٤٧	٠.٥٥
عنصر	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu
TO-1	<٠.١	٤٨٧٤١	١٥	٩٥٧	١.٩٠	٠.٢٠	٩٠.٩٨	٠.٢٠	٥٤	٨.٩٠	١٠	٢.١٠	٤٤
TO-2	<٠.١	٨٠٠.٥٨	١٤	٧٧٤	١.٨٠	٠.٣٠	٣٧١١١	٠.١٠	٤٥	١٤.٤٠	٢٣	٢.٤٠	٣٣
TO-6-1	<٠.١	٤٨١٥٢	٨	٨٩٤	١.٩٠	٠.٧٠	١٠.٤٨٠	٠.١٠	٥٩	٤.٧٠	٩	٤.٩٠	٤٢
TO-8-5	٠.٢٠	٧٢٤٧٢	١٧	١٠.٣٧	١.٤٠	٠.١٠	٥٧٥٠	٠.٢٠	٥٧	٤.٨٠	١٠	٢.٧٠	٢٩
TO-11	<٠.١	٩٢٥٣٢	٨	٨٠.٤	١.٨٠	٠.١٠	٣٨٣٩٠	٠.١٠	٤٤	١١.١٠	١٠	٢.١٠	٤٥
عنصر	Dy	Er	Eu	Fe	Gd	Hf	In	K	La	Li	Lu	Mg	Mn
TO-1	٣.٧٠	٢.١٣	١.١٤	٢٩٨٢٥	٤.٣٠	١.٣٢	<٠.٥	٤٣٢٤٨	٣٤	٧	٠.٢٩	٨٢٩١	٩٣٨
TO-2	٤.٢٨	٢.٤١	١.٣٤	٤٣١٤٥	٤.٩١	٠.٤٥	<٠.٥	٣٣٩٤٢	٢٥	١١	٠.٣٤	١٢٩١٩	١٧٤٥
TO-6-1	٣.٩٥	٢.٢٩	١.١٧	٢٣٣٥٧	٥.٤٠	٢.١٤	<٠.٥	٥١٧٨٥	٣٥	٥	٠.٣٠	٥٠.٤٠	٩٩٧
TO-8-5	٣.١٥	١.٧٤	٠.٩٨	٢٣٣٤٨	٣.٩٤	٢.٩٤	<٠.٥	٥٣٣٥٨	٣٤	٤	٠.٢٣	٤٤٠.٤	٩٣٣
TO-11	٣.٣٧	١.٨٣	١.٣١	٣٠.٤٤٣	٤.٠٠	٠.٧٣	<٠.٥	٣١٩٥٧	٢٨	١٠	٠.٢٧	٨٣٥٥	٨٢٠
عنصر	Mo	Na	Nb	Nd	Ni	P	Pb	Pr	Rb	S	Sb	Sc	Se
TO-1	١.٣٠	٢٤١١٨	١٢.٠٠	٢٢.٢٠	٤	٧٠.٣	٤٨	٤.٢٤	١٢٤	١.٠٤	١.٣٠	٧.٥٠	٠.٨٤
TO-2	١.٤٠	٢٢١٧٩	١١.٩٠	٢٢.٤٠	٨	١٠٠.٧	٧٣	٥.٧٩	١٠.٨	١.٠٩	٠.٨٠	١٢.٧٠	٠.٨٠
TO-6-1	١.٥٠	١٥٠.٤٤	١٤.٧٠	٣٧.٤٠	٤	٤٧٢	٤٤	١٠.٢٧	١٩٣	٨٢	٢.٨٠	٥٨.٠	١.٧٣
TO-8-5	١.٤٠	١٩٤٠.٣	١٢.٥٠	٢٢.٩٠	٩	٤٩٣	٤٠	٤.٢١	١٩٤	٥٢	١.٤٠	٤.٥٠	٠.٤٤
TO-11	١.٨٠	٢٧٣١٤	١٢.٤٠	٢٠.٧٠	٤	٩٥٠	٥٤	٥.٢٧	٩٥	٨٣	<٠.٥	٩.٣٠	٠.٥٩
عنصر	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W
TO-1	٤.٣١	١.٢٠	١.٥٤	٠.٤٧	٠.٤٤	<٠.١	١٢.٧٠	٣٢.٥٠	٠.٧٢	٠.٣١	٣.١٠	٧٤	٢.٨٠
TO-2	٤.٤٥	١.١٠	٢.٩٥	٠.٤٤	٠.٧٠	<٠.١	٩.٥٢	٤٤.٧	٠.٤٤	٠.٣٤	١.٥٠	١.٢٩	٣.٤٠
TO-6-1	٥.٨٧	٢.٥٠	٩.٩	٠.٩٠	٠.٧٢	<٠.١	٢٠.١٣	٢٩.٠٥	١.١٣	٠.٣٢	٣.٥٠	٥.٤	٤.١٠
TO-8-5	٤.١١	١.٢٠	٨.٤	٠.٤٤	٠.٥٧	٠.١١	١٧.٠.٩	٢٧.٢٤	١.١٠	٠.٢٤	٢.٧٠	٤.١	٢.٤٠
TO-11	٣.٩٢	٠.٨٠	٣.٢٥	٠.٧٠	٠.٥٨	٠.١٤	٨.٥٤	٣٧.٤٢	٠.٢٧	٠.٢٨	٢.١٠	٧.٧	٣.١٠
عنصر	Y	Yb	Zn	Zr									
TO-1	٢٤.٩٠	١.٩٠	١١.٣	٣.٤									
TO-2	٣٠.٤٠	٢.١٠	٤.٧	١.٤									
TO-6-1	٢٤.٥٠	٢.٠٠	١٠.٢	٥.٧									
TO-8-5	٢٢.٩٠	١.٥٠	٢.٣١	٥.٧									
TO-11	٢٤.٨٠	١.٧٠	٤.٢	٢.٠									

جدول ۲ نتایج تجزیه نمونه‌های ماده معدنی در کانسار کج کلاه (مقادیر اکسید عناصر اصلی به درصد و مقادیر عنصر کمیاب و خاکی نادر به ppm است).

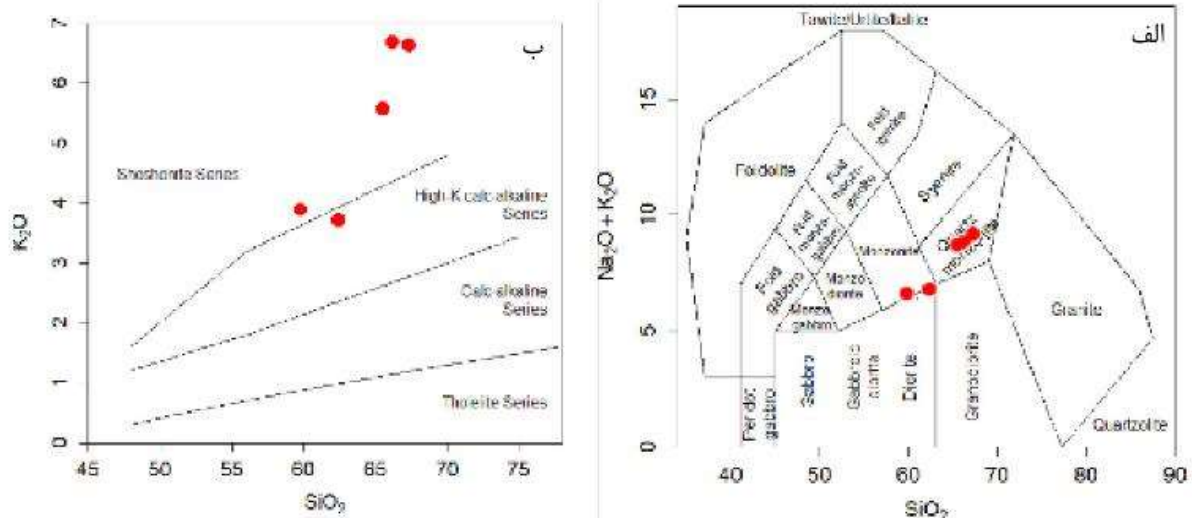
اکسید	Al ₂ O ₃	BaO	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co
To-15	۳/۵۱	۰/۰۰۴	۰/۶۸	۲/۳۵	۰/۴۱	۰/۴۸	۸۸/۵۸	۱۶۴۲۱	۱۲۵/۳۲	۷۲	۱/۱۹	۱۲/۴۰	۴۵۶۲	۵۳/۹۳	۵/۳۲	۵/۴۷
To-4-4	۱/۲۷	۳۵/۲۷۰	۰/۰۴	۰/۵۵	۰/۰۱	۱/۹۴	>۱۰۰	۶۲۰۵	۱۰۹۲/۲۰	>۱۰۰۰۰	۰/۰۴	۱/۱۵	۱۷۳	۱۶/۲۳	۳/۷۵	۰/۹۳
To-7-5	۰/۷۴	۰/۴۲۰	۰/۲۸	۶/۷۴	۰/۲۴	۱۸/۱۷	۵۳/۵۶	۳۶۸۴	۲۱۸۱/۴۹	۳۳۳۵	۰/۲۹	۱/۱۷	۲۰۵۱	۱۰/۱۹	۴/۱۲	۱/۵۱
To-4-1	۱/۹۵	۱۲/۰۳۰	۰/۰۵	۲/۸۸	۰/۴۴	۲/۸۰	>۱۰۰	۱۰۶۱۳	۲۸۹۶/۵۰	>۱۰۰۰۰	۰/۱۲	۱/۱۱	۲۲۳	۲۱/۱۳	۶/۱۰	۱/۱۱
To-8-1	۰/۵۰	۰/۴۹۰	۰/۱۰	۱/۲۲	۰/۰۱	۵/۲۱	۳۲/۵۷	۲۷۴۸	۵۶۵/۵۱	۳۷۱۹	۰/۲۸	۰/۸۷	۶۹۸	۱۴/۱۱	۳/۱۹	۰/۸۴
عنصر	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Fe	Gd	Hf	In	K	La	Li	Lu	Mg	Mn
To-15	۱۹/۲۳	۴/۸۶	۱۰۱۲/۱	۰/۸۶	۰/۵۲	۰/۷۸	۱۴۳۳۰	۱/۲۵	۰/۲۷	۲/۴۱	۴۵۲۴	۳/۱۶	۵۴/۷۸	۰/۰۹	۲۳۷۴	۴۳۰۴
To-4-4	۲۴/۲۸	۰/۸۹	/	۱/۰۳	۰/۶۹	۰/۹۷	۳۵۲۶	۱/۳۴	۰/۳۲	۰/۱۴	۱۹۳	۲/۹۷	۱۲/۷۲	۰/۰۶	۱۰۴	>۱۰۰۰۰
To-7-5	۹۱/۳۵	۱/۹۹	۴۳/۹	۱/۳۴	۱/۱۳	۱/۳۳	۴۴۱۶۳	۱/۸۴	۰/۱۸	۰/۱۲	۱۲۳۹	۳/۶۴	۲۶/۵۱	۰/۱	۱۱۳۰	>۱۰۰۰۰
To-4-1	۲۴/۰۷	۱/۱۸	۸۰۱/۰	۱/۱۴	۱/۰۳	۱/۲۱	۲۱۳۳۵	۱/۵۹	۰/۲۷	۰/۱۶	۲۳۵	۴/۲۵	۲۴/۲۱	۰/۰۸	۲۳۶۰	>۱۰۰۰۰
To-8-1	۳۲/۸۳	۱/۹۲	۹۵/۱	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۸۷	۹۱۶۱	۱/۳۲	۰/۴۳	۰/۱۲	۳۱۵	۲/۳۵	۴۹/۷۳	۰/۰۴	۹۷	>۱۰۰۰۰
عنصر	Mo	Na	Nb	Nd	Ni	P	Pb	Pr	Rb	S	Sb	Se	Sm	Sn	Sr	Tb
To-15	۵/۶۱	۸۰۱	۱/۴۵	۴۰۳	۱۳/۸	۱۶۱	>۱۰۰۰۰	۲/۲۹	۴۷/۹۴	۱۲۴۰۲	۳۹۶/۶۴	۱/۰۶	۱/۸۷	۲/۱۸	۱۶۲	۰/۶۱
To-4-4	۳/۵۵	۳۸۷	۳/۲۳	۲/۶۲	۴	۴۳	۲۹۷۷/۰۴	۲/۱۳	۲/۷۷	۳۳۷۲	۵۵۴/۷۱	۱/۲۸	۱/۱۶	۱/۰۶	۲۰۳۹/۴	۰/۷۴
To-7-5	۱۱/۷۲	۶۸۳	۳/۸۳	۵/۲	۲/۳	۸۸	۳۶۱۳/۶۸	۲/۴۴	۱۰۰۵۹	۲۸۲	۱۸۶۹/۳۳	۰/۹۷	۲/۱۱	۰/۷۸	۳۹۳/۴	۰/۹۷
To-4-1	۱۶/۰۳	۳۵۸	۱/۱۴	۴/۲۹	۴/۹	۲۰۵	>۱۰۰۰۰	۲/۴	۲/۵۸	۵۹۱۵	۱۱۴۹/۰۵	۱/۰۶	۲/۲۸	۰/۶۹	۱۹۶۸/۸	۰/۸۶
To-8-1	۰/۸۹	۴۹۱	۲/۱۷	۳/۸۶	۴/۳	۴۸	۱۵۳/۶	۱/۹۵	۵/۹۵	۱۰۸۵	۳۸۷/۰۶	۱/۱۱	۱/۴۱	۰/۷۲	۱۷۲/۲	۰/۷۱
س	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	Ga	Ge	Ho	
To-15	۰/۰۶	۰/۴۲	۸۱۲	۵۳/۷	۰/۰۹	۱/۷۸	۴۰/۶	۲/۰۷	۲۳/۶	۰/۳۷	>۱۰۰۰۰	۲۹	۵/۱۸	۰/۰۸	۰/۳۵	
To-4-4	۰/۶۲	۳/۹	۲۵۸	۳/۷۰	۰/۱۶	۱/۳۱	۰/۳	۰/۴۱	۲/۹	۰/۴۶	۱۰۱۷	۳۴	۱۲۴/۵۴	۰/۰۴	۰/۴۱	
To-7-5	۰/۱۴	۲/۲۸	۳۱۲	۵/۶۶	۰/۲۵	۳/۶۶	۱۸/۷	۱/۴۸	۱۶/۵	۰/۶۴	۳۶۳۳	۶۱	۳۷/۴۳	۱/۳۷	۰/۶۳	
To-4-1	۰/۴۲	۰/۲۷	۱۸۷	۴۴/۳۳	۰/۱۲	۳/۴۸	۶/۳	۱/۲۱	۴/۳	۰/۸۷	۳۹۱۷	۴۹	۱۱۵/۹۱	۰/۲۳	۰/۵۴	
To-8-1	۰/۶۳	۰/۳۱	۲۲۶	۲/۸۲	۰/۰۹	۰/۳۰	۲/۵	۰/۹۸	۱/۳	۰/۵۳	۴۸۲۷	۳۸	۴۳/۹۱	۰/۳۰	۰/۵۴	

نشان می‌دهد [۱۸، ۱۹]. ویژگی این نمودار غنی شدگی عنصر Pb است. همچنین عنصر Rb تهی‌شدگی نشان می‌دهد که این امر ناشی از دگرسان شدن نمونه است. الگوی عناصر خاکی نادر بهنجار شده به کندریت [۲۰] برای همه نمونه‌های مورد بررسی مشابه دیده می‌شود (شکل ۱۲ ب). نمونه‌های مورد بررسی یک الگوی غنی از LREE نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) را با نسبت بالای LREE / HREE نشان می‌دهند. غنی شدگی بالای عناصر خاکی نادر سبک می‌تواند ناشی از درجه پایین ذوب بخشی و پایین بودن مقدار عناصر خاکی نادر سنگین در ارتباط با حضور گارنت در ناحیه ذوب باشد [۲۱]. فراوانی LREE با پیشرفت روند جدایش افزایش می‌یابد. این افزایش به این دلیل است که LREE نسبت به فازهای بلوری اصلی (کلینو پیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول) ناسازگارتر است و در نتیجه به طور فزاینده‌ای در مذاب‌های دگرگون شده متمرکز می‌شوند. ناهنجاری منفی ضعیف Eu در نمونه‌های مورد بررسی را می‌توان در ارتباط با جدایش پلاژیوکلاز در نظر گرفت. ناهنجاری منفی Y نیز می‌تواند در ارتباط با جدایش آمفیبول یا کلینوپيروکسن باشد.

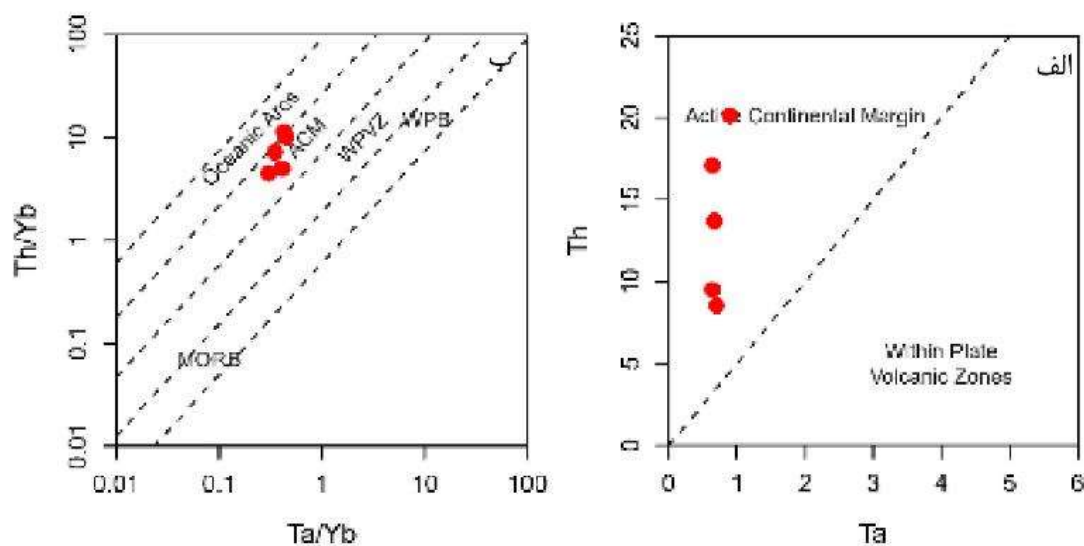
بر اساس نمودارهای رده‌بندی زمین‌شیمیایی [۱۴، ۱۵]، نمونه‌های توده نفوذی طارم در منطقه مورد بررسی دارای ترکیب کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت و ماهیت آهکی قلیایی پتاسیم بالا تا شوشونیتی هستند (شکل ۱۰).

شکل ۱۱، براساس عناصر کمیاب و برای تفکیک محیط زمین ساختی واحدهای آذرین ارائه گردیده است. بر اساس نمودارهای Th نسبت به Ta، Th/Yb نسبت به Ta/Yb و Th/Ta نسبت به Yb [۱۶]، نمونه‌های توده کج کلاه در گستره کرانه فعال قاره‌ای قرار دارند (شکل ۱۱).

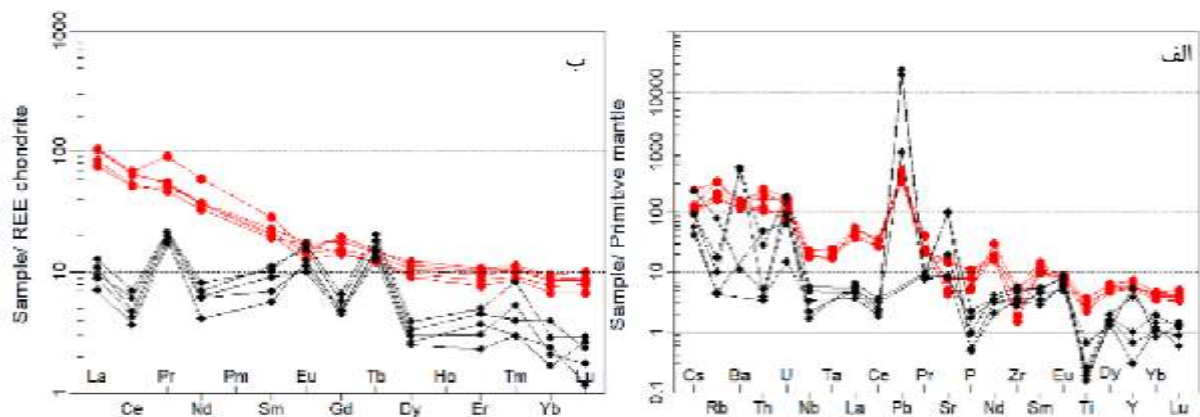
براساس نمودار عنکبوتی، بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۱۷] بیشتر عناصر دارای روند طبیعی هستند. فقط از عناصر Pd، Nd و Sm، غنی شدگی و از عناصر Ce، Nb، P، Ti و Zr تهی شدگی دیده می‌شود (شکل ۱۲ الف). ناهنجاری منفی در عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) در همراهی با غنی شدگی از عناصر سنگ دوست درشت یون (LILE) و عناصر خاکی نادر سبک (LREE) است. این غنی شدگی که در نمونه‌های توده کج کلاه در همراهی با تهی شدگی از HFSE چون عناصر Ta و Nb بوده از نشانه‌های بارز کمان-های ماگمایی است و فعالیت ماگمایی در ارتباط با فروانش را



شکل ۱۰ الف) رده‌بندی سنگ‌های آذرین موجود در کانسار کچ کلاه بر اساس مرجع [۱۴]، ب- براساس نمودار مرجع [۱۵]، نمونه‌های مورد بررسی در گستره سری‌های شوشونیتی و سری کالک آلکالن پتاسیم بالا قرار می‌گیرند.



شکل ۱۱ موقعیت نمونه‌های کانسار کچ کلاه در نمودارهای مرجع [۱۶]. الف) نمودار Th نسبت به Ta، ب) نمودار Th/Yb نسبت به Ta/Yb.



شکل ۱۲ الف) الگوی فراوانی عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به ترکیب گوشته اولیه [۱۷] و ب) نمودار عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کاندیت [۲۰]. دایره‌های قرمز رنگ مربوط به توده نفوذی و لوزی‌های سیاه رنگ مربوط به نمونه‌های ماده معدنی هستند.

مقایسه این ویژگی‌ها با انواع کانسارهای فراگرمایی در جدول ۳ نشان می‌دهد که این مجموعه کانیایی، ساخت و بافت و الگوی دگرسانی بیشترین شباهت را با کانسارهای فراگرمایی سولفیدشدگی حد واسط دارد [۲۲-۲۷]. نبود دگرسانی آرتزلیک پیشرفته با مجموعه کانی‌های آلونیت، کائولینیت و پیروفلیت به همراه کانی‌های آدولاریا، لوزونیت، انارژیت و تنانتیت در کانسار کچ کلاه نشان می‌دهد که این کانسار متفاوت از کانسارهای فراگرمایی سولفیدشدگی پایین و بالاست. از سویی، وجود کانی‌های دگرسانی سیلیسی و آرتزلیکی، از جمله سریسیت، ایلیت، کلسیت و کلریت در کانسار کچ کلاه بیانگر تشکیل این دگرسانی‌های گرمایی در دماهای پایین تا متوسط هستند که این مجموعه کانیایی شاخص کانی‌های دگرسانی در کانسارهای فراگرمایی نوع سولفیدشدگی حدواسط به‌شمار می‌آیند [۲۵-۲۸]. از این رو، بر پایه این ویژگی‌ها و همچنین ویژگی‌های پیشتر بیان شده، می‌توان گفت که کانسار کچ کلاه بیشترین شباهت را به کانسارهای فراگرمایی سولفیدشدگی حدواسط دارد. در جدول ۴، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار کچ کلاه با برخی از کانسارهای مشابه در ایران مقایسه شده است.

الگوی تشکیل کانسار کچ کلاه

براساس نتایج به دست آمده از بازدیدهای صحرایی، بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانه نگاری و ویژگی‌های کانی‌ها، تشکیل و تکامل کانسار کچ کلاه را می‌توان در چهار مرحله خلاصه کرد (شکل ۱۳)؛ مرحله نخست با تشکیل توالی‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن شامل واحدهای توف و واحدهای آتشفشانی از جمله بازالت، بازالت‌های آندزیتی و آندزیت در منطقه همراه است (شکل ۱۳ الف). مرحله دوم با نفوذ توده نفوذی با ترکیب کوارتز مونزونیتی-کوارتز مونزودیوریتی در زمان ائوسن پایانی به درون توالی آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن همراه بوده است (شکل ۱۳ ب). مرحله سوم با نفوذ توده گرانیتوئیدی به درون توالی آتشفشانی ائوسن در محل تماس توده با سنگ-های میزبان، آثار دگرسانی گرمایی به صورت آرتزلیکی و سیلیسی شدن ظاهر می‌گردد. سپس همزمان با دگرسانی در مرز تماس توده و سنگ‌های میزبان، کانه‌زایی منگنز، مس، سرب و روی و باریت به صورت رگه‌های به نسبت ضخیم درون توده نفوذی و به مقدار کمتر درون واحدهای آتشفشانی میزبان رخ می‌دهد. رخنمون این توده‌ها در بخش‌های جنوبی منطقه بیشتر است. همراه با کانه‌زایی، دگرسانی‌های سیلیسی، آرتزلیکی، کلریتی-اپیدوتی، کربناتی و سریسیتی نیز پیرامون ماده معدنی رخ داده است.

نمودارهای چندعنصری بهنجار شده به گوشته اولیه برای نمونه‌های کانه‌دار الگوی به نسبت مشابهی با نمونه‌های توده نفوذی نشان می‌دهند که این امر بیانگر شکل گرفتن سیال‌های کانه‌ساز از سنگ‌های گرانیتوئیدی است. البته گفتنی است که نمونه‌های ماده معدنی در مقایسه با سرب و باریم ناهنجاری مثبت زیادی را نسبت به توده نفوذی نشان می‌دهند (شکل ۱۲ الف). الگوی عناصر خاکی نادر سنگ‌های نفوذی و ماده معدنی بهنجار شده نسبت به کندریت [۲۲]، در شکل ۱۲ ب نشان داده شده‌اند. چنان که دیده می‌شود، در الگوی عناصر خاکی نادر نمونه‌های توده نفوذی و ماده معدنی یک سیر نزولی از LREE به HREE وجود دارد. الگوهای عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت برای نمونه‌های کانه‌دار تقریباً موازی با الگوهای عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت برای نمونه‌های توده نفوذی بوده که نشان دهنده شکل گرفتن سیال‌های کانه‌ساز از توده نفوذی است. ناهنجاری مثبت Eu، Tb و Pr در نمونه‌های ماده معدنی نسبت به سنگ میزبان به احتمال بسیار ناشی از دگرسانی و ویژگی‌های سیال کانه‌زایی در نمونه‌های بررسی شده بوده که منجر به غنی‌شدگی این عناصر در ماده معدنی شده است.

نوع کانه‌زایی

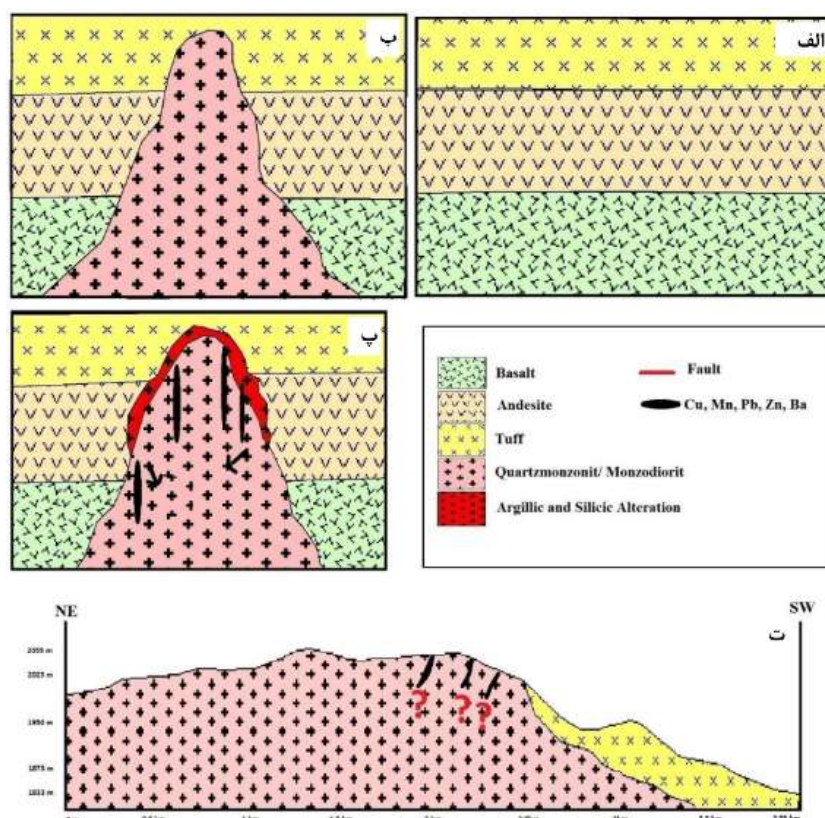
با مقایسه همه ویژگی‌های مهم در شناسایی انواع کانه‌زایی، چون شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت در کانسار کچ کلاه با انواع کانسارهای فلزهای پایه و گران‌بها می‌توان گفت که کانه‌زایی در این کانسار در دسته کانسارهای فراگرمایی قرار دارد. مهمترین شواهد و نتایج بدست آمده از این مقایسه عبارت‌اند از: ۱) ساختارهای گسلی و شکستگی‌های به وجود آمده در اثر این ساختارها نقش بسزایی در کانه‌زایی کانسار کچ کلاه داشته‌اند و در واقع می‌توان گفت که کانه‌زایی در کانسار کچ کلاه با ساختارهای گسلی کششی کنترل شده است؛ ۲) کانه‌زایی در کانسار کچ کلاه شامل مجموعه کانیایی پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و کانی‌های منگنزدار از جمله پسیلوملان و پیرولولزیت است که با مجموعه کانی‌های باطله کوارتز، باریت، کلریت و کلسیت همراه هستند؛ ۳) ساخت و بافت‌های موجود در کانسارهای فراگرمایی شامل رگه-رگچه‌ای، پرشی، شانه‌ای، گل کلمی و پُرکننده فضای خالی هستند که این بافت و ساختارها در کانسار کچ کلاه دیده می‌شوند؛ ۴) مجموعه کانی-های دگرسانی موجود در این کانسار نشان دهنده و مشخص کننده دگرسانی گرمایی در این کانسار است.

جدول ۳ مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و زایشی کانسارهای فراگرمایی فلزهای پایه و گران‌بها [۲۳، ۲۶-۳۱] با کانسار کچ کلاه.

ویژگی	کانسارهای سولفیدشدگی بالا	کانسارهای سولفیدشدگی متوسط	کانسارهای سولفیدشدگی پایین	کانسار کچ کلاه
سنگ میزبان	گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری، ریوداسیت	گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری، ریوداسیت، آندزیت	بازالت-ریولیت	توف، آندزیت، توده کوارتز-مونزونیتی-کوارتز-مونزودیوریتی
فلزهای همراه	طلا-نقره، مس، آرسنیک، انتیمون (روی، سرب، بیسموت، قلع، مولیبدن، تنگستن، جیوه)	طلا-نقره، روی-سرب، مس (انتیمون، آرسنیک، مولیبدن، تلیوم، سلنیوم، جیوه)	طلا-نقره (روی-سرب، مس (انتیمون، آرسنیک، مولیبدن، جیوه)	نقره، روی-سرب، آرسنیک، منگنز
عوامل کنترل کننده کانه‌زایی	گسل‌های موازی، گرمابرها و برش‌ها گرمایی	گسل‌های کششی و راستالغز	گسل‌های کششی و راستالغز	گسل‌ها و شکستگی‌ها
ساخت و بافت	رگه‌ای، دانه پراکنده، جانشینی، برشی	رگه‌ای، داربستی، پرکننده فضای خالی، برشی	رگه‌ای، داربستی، دانه پراکنده، جانشینی، برشی، پرکننده فضای خالی	رگه-رگچه‌ای، برشی، داربستی
کانی‌شناسی	انارژیت، لوزونیت، کوولیت، کالکوپیریت، اسفالریت، تترائدریت-تنانتیت، پیریت، بورنیت	الکتروم، آکانتیت، سولفوسالت نقره، گالن، اسفالریت (فقر از آهن)، تترائدریت-تنانتیت، کالکوپیریت، تلورید، سلنید	الکتروم، آکانتیت، سولفوسالت نقره، اسفالریت (غنی از آهن)، تترائدریت-تنانتیت، کالکوپیریت، تلورید، سلنید، پیروتنیت	پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پسیلوملان، پیرولولوزیت
کانی‌های باطله	کوارتز، آلونیت، باریت، کانولینیت، انیدریت، دیکیت، پیروفلیت	کوارتز، کلسدون، کلسیت ± کانی‌های منگن‌دار، باریت، آدولاریا	کوارتز، کلسدون، کلسیت، آدولاریا، ایلیت، کلریت، به مقدار کم فلونوئیت	کوارتز، کربنات، باریت
بافت	کوارتز حفره‌دار، برشی، جانشینی، رگه-رگچه‌ای	گل کلمی، نواربندی، کوکاد، شانه-ای، رگه-رگچه‌ای، جانشینی	گل کلمی، نواربندی، کوکاد، شانه‌ای، رگه-رگچه‌ای، جانشینی	رگه-رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، گل کلمی، پرکننده فضای خالی
دگرسانی	سیلیسی، آلونیت، کانی‌های سولفاتی-فسفاتی-آلومینیم‌دار، پیروفلیت، دیکیت	سیلیسی، سرسیت (ایلیت)، آدولاریا	سیلیسی، ایلیت، آدولاریا، اسمکتیت	سیلیسی، آرژیلیکی، سرسیتی، کربناتی، کلریتی-اپیدوتی
ویژگی سیال‌های کانه‌ساز	ماگمایی + آب‌های جوی (اکسایش و اسیدی)	آب‌های جوی + ماگمایی (تقریباً خنثی و احیایی)	آب‌های جوی ± ماگمایی (تقریباً خنثی و احیایی)	آب‌های جوی ± ماگمایی

جدول ۴ مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار کچ کلاه با برخی از کانسارهای فراگرمایی سولفیدشدگی حدواسط در ایران

ویژگی‌های اصلی/کانسار	ابولحسنی	آی قلعه سی	ورمزیار	قبقاق	کچ کلاه
زیر گروه	فلزهای پایه و نقره	فلزهای پایه و نقره	فلزهای پایه و نقره	فلزهای پایه	فلزهای پایه
موقعیت جغرافیایی	جنوب غرب دامغان	جنوب شرق تکاب	شمال زنجان	شمال غرب قره‌چمن	شرق زنجان
پهنه ساختاری	تروود-چاه شیرین	ارومیه-دختر	البرز غربی-آذربایجان	البرز غربی-آذربایجان	البرز غربی-آذربایجان
سنگ درونگیر	سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌های آندزیتی	سنگ‌های رسوبی و گنبد‌های نیمه عمیق	توف‌های حدواسط و اسیدی	توف، گدازه و توده دیوریتی-گابرویی	توف، آندزیت، توده کوارتز-مونزونیتی-کوارتز-مونزودیوریتی
سن کانه زایی	ائوسن	پلیوسن	پلیوسن	ائوسن-لیگوسن	ائوسن پایانی
کنترل کننده ساختاری	گسل‌ها و شکستگی‌ها	گسل‌های عادی	گسل‌ها و شکستگی‌ها	گسل‌ها و شکستگی‌ها	گسل‌ها و شکستگی‌ها
کانی‌شناسی	اسفالریت فقیر از آهن، گالن، نقره، پیریت و کالکوپیریت	اسفالریت فقیر از آهن و گالن	گالن، اسفالریت، پیریت، سیلوملان، پیرولولوزیت	پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، طلا، آلگار، پسیلوملان، پیرولولوزیت	پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پسیلوملان، پیرولولوزیت
بافت و ساخت	برشی، دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی	برشی، دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی، توده-پوسته‌ای، گل کلمی، کاکلی، پرمانند، تیغه‌ای، پرکننده فضای خالی	رگه-رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، پرمانند، کاکلی، پرمانند، تیغه‌ای، پرکننده فضای خالی	رگه-رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، پوسته‌ای، گل کلمی، کاکلی، پرمانند، پرکننده فضای خالی	رگه-رگچه‌ای، برشی، شانه-ای، گل کلمی، پرکننده فضای خالی
دگرسانی	آرژیلیک، سیلیسی، پروپیلیتیک	سیلیسی، آرژیلیک، پیشرفته، پروپیلیتیک، سرسیتیک، کربناتی	سیلیسی، آرژیلیک متوسط، پروپیلیتیک	سیلیسی، سیلیسی، آرژیلیک متوسط، کربناتی، پروپیلیتیک	سیلیسی، آرژیلیکی، سرسیتی، کربناتی، کلریتی-اپیدوتی
خاستگاه	فراگرمایی سولفیدشدگی حدواسط	فراگرمایی سولفیدشدگی حدواسط	فراگرمایی سولفیدشدگی حدواسط	فراگرمایی سولفیدشدگی حدواسط	فراگرمایی سولفیدشدگی حدواسط
مرجع	[۳۲]	[۳۳]	[۳۴]	[۳۵]	این پژوهش



شکل ۱۳ طرحواره‌ای از مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی در کانسار کچ‌کلاه: الف) تشکیل توالی‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن. ب) نفوذ توده نفوذی کوارتز مونزونیتی- کوارتز مونزودیوریتی به درون واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن. پ) نفوذ توده گرانیتوئیدی و تبلور آن سبب تشکیل دگرسانی گرمابی و کانه‌زایی منگنز، مس، سرب و روی و باریت به صورت رگه- رگچه‌ای در توده نفوذی و به مقدار کمتر درون واحدهای آتشفشانی میزبان شده است، ت) بالآمدگی ناحیه‌ای و گسترش فرایندهای هوازدگی و برونزایی (وضعیت کنونی منطقه). مدل ارتفاعی براساس تصاویر گوگل ارث است.

قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان کمال تشکر و قدردانی را دارند. آنها همچنین از سردبیر محترم و داوران محترم مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، به‌خاطر راهنمایی‌های علمی که منجر به غنای بیشتر مقاله حاضر گردیده است، تشکر می‌نمایند.

مراجع

[3] Nabatian Gh., "Geology, geochemistry and evolution of iron oxide- apatite deposits in the Tarom volcano- plutonic belt, western Alborz". PhD. thesis Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (230 pp. in Persian with English abstract) (2012).

[4] Nabatian Gh., Ghaderi M., Neubauer F., Honarmand M., Lui X., Dong Y., Jiang S.-Y., Bernroider M., "Petrogenesis of Tarom high-potassic granitoids in the Alborz- Azarbaijan belt, Iran: geochemical, U-Pb zircon and Sr-Nd-Pb isotopic constraints". *Lithos* 184-187 (2014) 324-345. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.11.002>

[5] Nabatian Gh., Jiang S.Y., Honarmand M., Neubauer F., "Zircon U-Pb ages, geochemical and Sr-Nd-Pb-Hf isotopic constraints on petrogenesis of the Tarom-Olya pluton, Alborz magmatic belt, NW Iran", *Lithos* 244 (2016), 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.11.020>

[1] Amini B., Amini M.R., Stocklin J., Hirayama K., "Geological map of Tarom, sheet no.5763, 1:100,000 scale". Geological Survey of Iran (2001).

[2] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran: a review". *American Association of Petrological Geology B.* 52 (1968) 1229-1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>

- geology, 97(3) (2002), 629-642. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.97.3.629>
- [17] McDonough W.F., Sun S.S., "Composition of the Earth". Chemical Geology 120 (1995) 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- [18] Wilson M., "Igneous petrology". Chapman and Hall, London, 466 p (1989).
- [19] Rollinson H.R., "Using geochemical data: evolution, presentation, and interpretation". London, UK, 652 p (1993).
- [20] Nakamura N., "Determination of REE, Ba, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites". Geochimica et Cosmochimica Acta 38 (1974) 757–775.
- [21] Wilson M., "Igneous petrology". Chapman and Hall, London, 466 p (1989).
- [22] Boynton W.V., "Cosmochemistry of the earth element: meteorite studies". In: Henderson, R. (Ed), Rare Earth Element geochemistry. Developments in geochemistry, Vol. 2. Elsevier, Amsterdam (1984).
- [23] Gemmell J.B.; "Exploration implications of hydrothermal alteration associated with epithermal Au-Ag deposits", AESC 2006, Melbourne, Australia (2002).
- [24] Wang L, Qin K-Z, Song G-X, Li G-M, "A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification". Ore Geology Reviews 107 (2019) 434–456. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.023>
- [25] Einaudi M.T., Hedenquist J.W., Inan E.E., "Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: transitions from porphyry to epithermal environments". In: Simmons, S.F., Graham, I. (Eds.), Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth. Society of Economic Geologists, Special Publication 10 (2003) 285–313.
- [26] Sillitoe R.H., Hedenquist J.W., "Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits". In: Simmons, S.F., Graham, I., (eds.) Volcanic, geothermal, and ore forming fluids: rulers and witnesses of processes within the earth. Society of Economic Geologists, Special Publication, 10 (2003) 315-343.
- [27] Hedenquist J.W., Arribas A., Urien-Gonzalez E., "Exploration for epithermal gold deposits". In: Hagemann, S.G., Brown, P.E. (Eds.), Gold in
- [6] Mohammadi M., "Geology, geochemistry and genesis of Dohneh Cu deposit, Northeast of Zanjan". M.Sc. thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran (230 pp. in Persian with English abstract) (2018).
- [7] Ahmadi M., "Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Kordkand Cu-Fe deposit, Northeast of Zanjan". M.Sc. thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran (230 pp. in Persian with English abstract) (2018).
- [8] Mehrabi B., Ghasemi Siani M., Goldfarb R., Azizi H., Ganerod M., Marsh E.E., "Mineral assemblages, fluid evolution and genesis of polymetallic epithermal veins, Gulojeh district, NW Iran". Ore Geology Reviews 78 (2016), 41–57. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.03.016>
- [9] Aghanabati A., "Major sedimentary and structural units of Iran". Geosciences 7 (1998), 29-30.
- [10] Alavi, M., "Tectonic Map of the Middle East". Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, 60pp (1991).
- [11] Afshari M., Nabatian Gh., Honarmand M., Ebrahimi M., Li X-H., "Shoshonitic pluton and an associated base-metal deposit in the Tarom-Hashtjin metallogenic zone, NW Iran: implication for tectono-magmatic evolution and metallogenic considerations". Australian Journal of Earth Sciences 71(2) (2023), 251-276. <https://doi.org/10.1080/08120099.2023.2273974>
- [12] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals". American mineralogist, 95(1) (2010) 185-187. DOI: 10.2138/am.2010.3371
- [13] Roy S., "Environments and processes of manganese deposition". Economic Geology, 87 (5) (1992) 1218-1236. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1218>
- [14] Middlemost E.A.K., "Naming materials in the magma/igneous rock system". Earth Science Reviews 37 (1994), 215–224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- [15] Peccerillo A., Taylor S.R., "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonu area, northern Turkey". Contributions to Mineralogy and Petrology 58 (1976) 63–81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>
- [16] Schandl E.S., Gorton M.P., "Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments". Economic

- [32] Shamanian G.H., Hedenquist J.W., Hattori K.H., Hassanzadeh J., "The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, northern Iran". *Economic Geology*, 99(4) (2004) 691–712. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.99.4.691>
- [33] Shirkhani M., "Mineralogy, geochemistry and genesis of Ay Qalasi Pb-Zn deposit, SE Takab". Unpublished M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares, Tehran, Iran, 143 pp. (in Persian with English abstract) (2007).
- [34] Ghorbani A., "Geology, geochemistry and genesis of Varmazyar Pb-Zn (Ag) mineralization, north of Zanjan". M.Sc. thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran (230 pp. in Persian with English abstract) (2020).
- [35] Sohbatloo M., "Geology, geochemistry and genesis of Qebchaq base and precious metals mineralization, NW Qarehchaman". M.Sc. thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran (230 pp. in Persian with English abstract) (2021).
2000. Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology*, (2000) pp. 245–277.
- [28] Albinson T., Norman D.I., Cole D., Chomiak B.A., "Controls on formation of low sulfidation epithermal deposits in Mexico: constraints from fluid inclusion and stable isotope data". In: Albinson, T., Nelson, C.E. (Eds.), *New Mines and Discoveries in Mexico and Central America*. Society of Economic Geologists, Special Publication 8, (2001) pp. 1–32.
- [29] Hedenquist J.W., Sillitoe R.H., Arribas A., "Characteristics of and exploration for high-sulfidation epithermal Au-Cu deposits". Cooke D R., Deyell CL, Pongratz J., (eds.), 24 (2004) 99–110.
- [30] Simmons S.F., White N.C., John D.A., "Geological characteristics of epithermal precious and base-metal deposits", *Economic Geology* 100th Anniversary (2005) 485–522.
- [31] Cooke D.R., Simmons S.F., "Characteristics and genesis of epithermal gold deposits". In: Hagemann S.G., Brown P.E. (Eds.), *Gold in 2000*. Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology*, (2000) pp. 221–244.