زمین‌شناسی، کانه‌زایی، زمین‌شیمی و ژنز کانسار پلی‌متال کج‌کلاه، شرق زنجان

زهرا طولابی‌فر [۱]، قاسم نباتیان [۲*]، مریم هنرمند [۳]، مریم افشاری [۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳. استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

۴. دبیر زمین‌شناسی آموزش و پرورش، زنجان، ایران

* نویسنده مسئول: E-mail: gh.nabatian@znu.ac.ir

چکیده

کانسار پلی‌متال کج‌کلاه در شرق زنجان و در زیر پهنه طارم و نوار فلززایی طارم- هشتجین واقع شده است. این کانسار در داخل توده نفوذی طارم تشکیل شده است. ترکیب توده نفوذی طارم در محدوده مورد مطالعه کوارتزمونزونیت تا کوارتزمونزودیوریت بوده و کانی‌های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپار، کوارتز و کلینوپیروکسن هستند. ماهیت زمین‌شیمیایی توده طارم کالک‌آلکالن پتاسیم بالا تا شوشونیتی و مرتبط با خاستگاه تکتونیکی فرورانش است. کانه‌زایی منگنز، مس، سرب و روی و باریت در کانسار کج‌کلاه به‌صورت رگه- رگچه‌ای و عدسی شکل در داخل توده طارم روی داده است. کانی‌های اصلی ماده معدنی در این کانسار شامل گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، آرسنوپیریت، پسیلوملان، پیرولوزیت، منگنایت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و گوتیت هستند. کانی‌های باطله نیز شامل کلسیت، باریت و کوارتز می‌باشند. بافت‌های قابل مشاهده در این کانسار شامل توده‌ای، سوزنی، رگه- رگچه‌ای، شانه‌ای و گل‌کلمی و در مقیاس میکروسکوپی شامل بافت‌های جانشینی، رگه-رگچه‌ای، گل‌کلمی، توده‌ای، بازماندی و پرکننده فضای خالی می‌باشند. فاز اول و اصلی کانه‌زایی در این منطقه، کانه‌زایی سولفیدی است که توسط 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 قبلی را قطع و برشی کرده‌اند. الگوی عناصر نادر و نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت در نمونه‌های کانه‌دار و توده نفوذی، مشابه هم است. این امر بیانگر نقش توده نفوذی در تشکیل دگرسانی‌ها و سیالات کانه‌ساز در این کانسار است. کانسار پلی‌متال کج‌کلاه با توجه به ویژگی‌های صحرایی، میکروسکوپی و زمین‌شیمیایی، بیشترین شباهت را با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط دارد.

کلید واژه ها: پلی‌متال، اپی‌ترمال، کوارتزمونزونیت، کالک‌آلکالن پتاسیم بالا، کج‌کلاه، طارم- هشتجین

۱- مقدمه

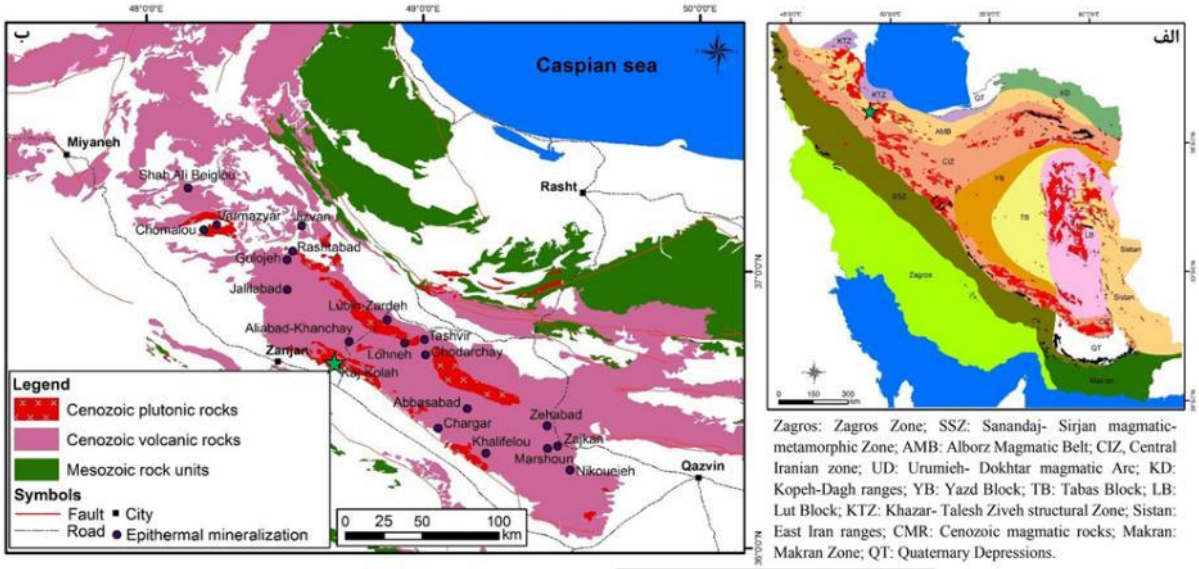
محدوده معدنی کج‌کلاه در ۲۰ کیلومتری شرقی استان زنجان قرار گرفته و بخشی از نقشه ۱:۱۰۰،۰۰۰ زمین‌شناسی طارم [۱] (شکل۱) را شامل می‌شود. از نظر تقسیمات زمین‌شناسی- ساختاری ایران، منطقه مورد مطالعه در پهنه ماگمایی البرزغربی- آذربایجان [۲] و در نوار فلززایی طارم- هشتجین قرار گرفته است. کمربند فلزایی طارم- هشتجین عمدتاً متشکل از واحدهای واحدهای مربوط به سازند کرج است که یکسری توده‌های نفوذی با سن ائوسن پایانی در داخل سازند کرج نفوذ کرده‌اند : [۳، ۴، ۵]. از دیدگاه متالوژنی، این کمربند میزبان کانه‌زایی‌های مهمی از جمله آهن، طلا، مس، سرب و روی است که کانسارهای متعددی مانند سرخه دیزج، مروارید، ذاکر، کردکند، ماری، لهنه، دهنه، گلجیک و ... در آن تشکیل شده‌اند [۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸]. علی‌رغم عملیات اکتشافی انجام شده در منطقه کج‌کلاه، مطالعات دقیق علمی و پژوهشی در این منطقه صورت نگرفته است. بر همین اساس، مطالعه کانه‌زایی سرب- روی و منگنزکج‌کلاه برای پژوهش حاضر انتخاب گردید تا به وسیله‌ی مطالعه ویژگی‌های زمین‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه این کانسار، عوامل کلیدی توزیع مکانی و زمانی اکتشاف کانه‌زایی‌های مشابه در این ناحیه

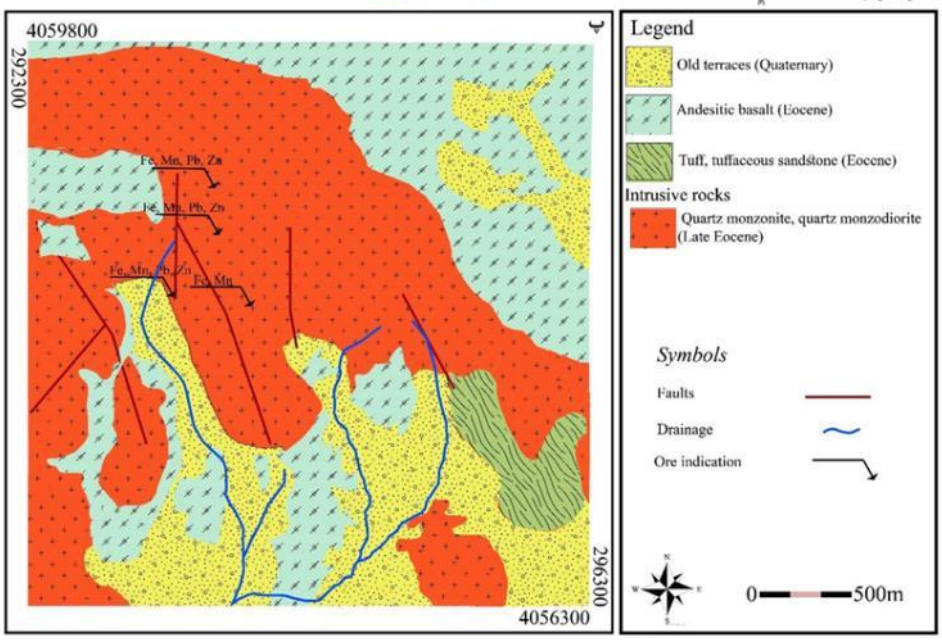
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

را مشخص کرد. این مطالعه اولین گزارش تهیه شده از کانه‌زایی سرب و روی و منگنز در این بخش از استان زنجان می‌باشد که اطلاعات حاصل از این پژوهش می‌تواند در اکتشاف کانسارهای مشابه در پهنه البرزغربی- آذربایجان مفید واقع شود.

۲ – روش مطالعه

در طی بازدیدهای صحرایی به منظور بررسی کلی محدوده معدنی و پیدا کردن شناخت کافی نسبت به سنگ‌ها، واحدهای زمین‌شناسی و ماده معدنی و ارتباط آنها با یکدیگر، همین‌طور نمونه‌برداری هدف‌دار از سنگ میزبان و توده‌های نفوذی و نمونه‌های کانه‌دار صورت گرفت. در مرحله آزمایشگاهی، ۱۲ عدد مقطع نازک و ۲۳ عدد مقطع نازک- صیقلی برای مطالعات سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانه‌نگاری و ساخت و بافت ماده معدنی تهیه گردید. سپس جهت انجام مطالعات زمین‌شیمیایی، تعداد ۵ نمونه از توده نفوذی (در شرکت زرآزما) و ۵ عدد نمونه ماده معدنی (در شرکت کانسارهای بینالود) مورد آنالیزهای XRF (اکسید عناصر اصلی) و ICP-MS (عناصر کمیاب و نادر خاکی) قرار گرفتند. در مرحله بعد، به بررسی نتایج حاصل از تجزیه‌های شیمیایی و تلفیق آنها با نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و میکروسکوپی پرداخته شد.





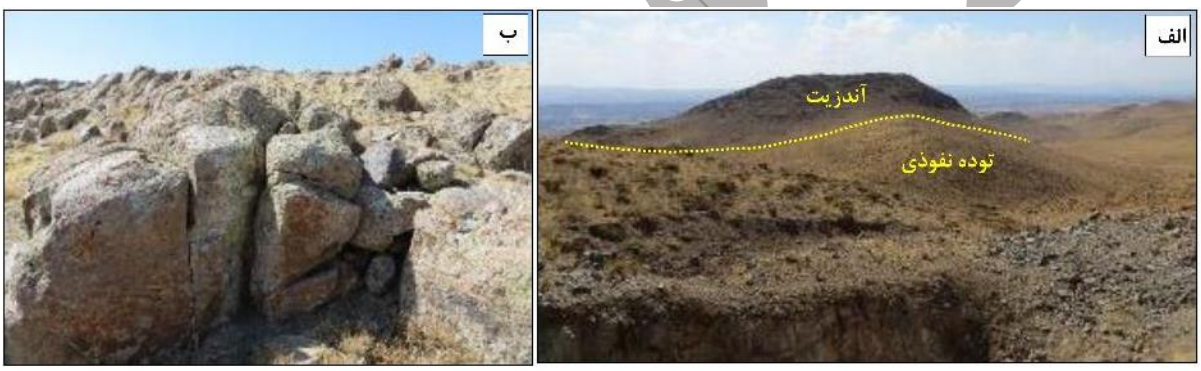
شده است. ب) نقشه زمین‌شناسی ساده شده از کمربند فلزایی طارم- هشتجین که کانسارهای مهم اپی‌ترمال همچنین کانسار کج‌کلاه

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

(علامت ستاره سبز رنگ) بر روی آن مشخص شده است با تغییرات جزئی از [۱۱]. نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۵۰۰۰.

۳- 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 $P\in^{mt}$ است که احتمالاًبه زمان پرکامبرین تعلق دارد. رسوبات کم ضخامت و پراکنده ای از پالئوزوئیک و مزوزوئیک در بخش‌های شمال‌شرقی و جنوب‌غربی ورقه رخنمون دارد. در بین آن‌ها، نهشته‌های سنوزوئیک و به ویژه ائوسن از اهمیت شایانی برخوردار هستند. در زمان ائوسن، بر اثر فازهای کششی حجم زیادی از گدازه‌های آتشفشانی و مواد آذرآواری به همراه نهشته‌های رسوبی تشکیل یافته است. ردیف ائوسن به صورت پیش رونده با کنگلومرای قاعده‌ای سازند فجن بر روی رسوبات مزوزوئیک و یا قدیمی‌تر نشسته است. ضخامت این واحدها که در این منطقه تحت عنوان 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 منطقه شامل واحدهای ائوسن (توف‌های ماسه‌سنگی، توف، بازالت-های آندزیتی) و کواترنری هستند که توده نفوذی طارم با ترکیب عمدتاً کوارتزمونزونیت تا کوارتزمونزودیوریت با سن ائوسن پایانی [۳]، به داخل توالی آتشفشانی- رسوبی سازند کرج نفوذ کرده است. قابل ذکر است که کانه‌زایی منگنز، سرب- روی و باریت در داخل واحد های کوارتزمونزونیتی تا کوارتزمونزودیوریتی رخ داده است. با توجه به بازدیدهای صحرایی صورت گرفته از منطقه مورد مطالعه، واحدهای موجود در محدوده شامل واحدهای توف، توف‌های ماسه‌سنگی و بازالت‌های آندزیتی هستند که میزبان توده نفوذی طارم می‌باشند (شکل ۲).

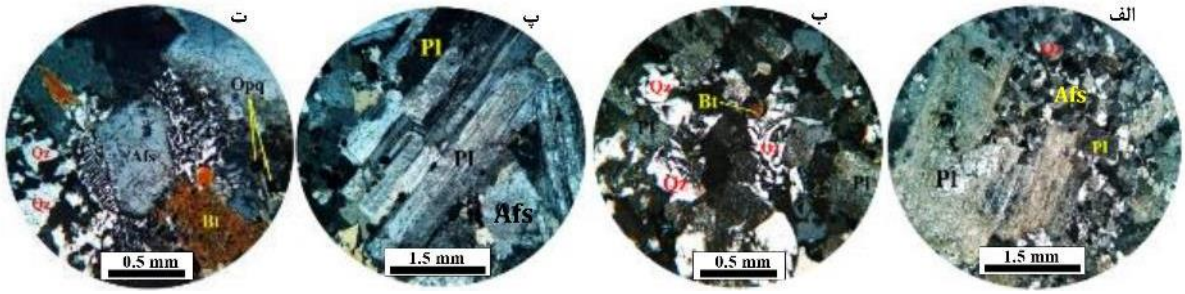


شکل ۲ الف) زخنمون صحرایی از کنتاکت بین توده نفوذی و واحدهای آندزیتی ائوسن (دید به سمت جنوب‌غرب). ب) نمایی نزدیک از رخنمون توده نفوذی کوارتزمونزونیت- کوارتزمونزودیوریتی در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال).

۴- 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 مطالعات میکروسکوپی، نمونه‌های توده (سنگ میزبان کانه‌زایی) دارای بافت گرانولار ناهمسان دانه و میکروگرافیکی بوده و متشکل از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز (۳۰-۴۰ درصد)، کوارتز (۱۰-۱۵درصد)، کلینوپیروکسن (۱۵-۱۰ درصد)، آلکالی‌فلدسپار (۲۵-۳۰ درصد) و بیوتیت (۳-۱۰ درصد) می‌باشند. کانی‌های فرعی این گروه از سنگ‌ها شامل کانی‌های اپک، آپاتیت و زیرکن هستند. همین‌طور کانی‌های اپیدوت، کلریت، آمفیبول رشته‌ای، سریسیت، کلسیت، اسفن و کانی‌های رسی به عنوان کانی‌های ثانویه در این سنگ‌ها حضور دارند. پلاژیوکلاز درشت‌بلور اصلی (حداکثر تا ۵ میلی‌متر) موجود در این سنگ‌ها است که عمدتاً متحمل دگرسانی سریسیتی شده است. کلینوپیروکسن کانی اصلی فرومنیزین موجود در این سنگ‌ها و با درجات مختلفی به کلسیت و کلریت دگرسان شده‌اند. کلینوپیروکسن در برخی موارد به صورت ادخال در داخل بلورهای پلاژیوکلاز حضور دارد. کانی‌های آلکالی فلدسپار نیز به صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار در این سنگ‌ها وجود دارند که عمدتاً به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. همین‌طور بلورهای بیوتیت در ابعاد حدود ۱میلی‌متر که به کلریت دگرسان شده‌اند، نیز در این سنگ‌ها حضور دارند. تصاویر میکروسکوپی توده‌های نفوذی منطقه کج‌کلاه در شکل ۳ ارائه شده است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌ها و بافت‌های موجود در واحدهای کوارتزمونزونیتی و کوارتزمونزودیوریتی در نور عبوری پلاریزه متقاطع (XPL) . الف) بافت گرانولار ناهم‌سان دانه، درشت بلور پلاژیوکلاز (Pl) در کنار بلورهای متوسط کوارتز (Qz) و آلکالی فلدسپار (Afs) در توده کوارتزمونزونیتی. ب) بافت میکروگرافیکی در توده کوارتزمونزونیتی. پ) درشت بلورهای پلاژیوکلاز (Pl) و آلکالی فلدسپار (Afs) در توده کوارتزمونزودیوریتی که تشکیل بافت گرانولار ناهم‌سانه داده‌اند. ت- درشت بلورهای کوارتز (Qz)، آلکالی فلدسپار (Afs) و بیوتیت (Bt) به همراه بافت میکروگرافیکی در توده کوارتزمونزدیوریتی. علائم اختصاری برگرفته‌شده از [۱۲] است.

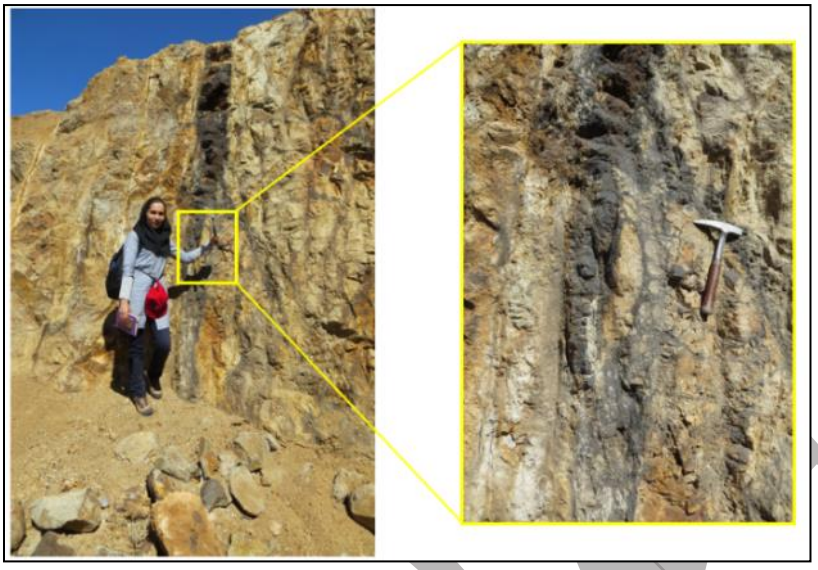
۵- کانه‌زایی

کانه‌زایی منگنز، مس، سرب، روی و باریت در کانسار کج‌کلاه به‌صورت رگه- رگچه‌ای و عدسی شکل در داخل توده نفوذی طارم روی داده است. طول رخنمون رگه‌ها ۱۰۰ متر و عرض رخنمون رگه‌ها کمتر از ۲ متر می‌باشد (شکل ۴). این رگه‌ها عمدتاً با راستای شرقی- غربی و شمال‌شرقی- جنوب‌غربی در منطقه قابل مشاهده هستند که در راستای گسل‌های کششی با امتداد NNE-WSW تشکیل شده‌اند (شکل ۴). قابل ذکر است که یکسری گسل‌های معکوس، امتدادلغز دیگری در منطقه تشکیل شده‌اند که بعد از تشکیل کانه‌زایی در منطقه بوده و رگه‌های کانه‌زایی را قطع کرده‌اند. بافت‌هایی که در مقیاس نمونه دستی در این کانسار مشاهده می‌شود عمدتاً توده‌ای، رگه- رگچه‌ای، برشی، سوزنی شکل، شانه‌ای و گل‌کلمی هستند (شکل ۵). اما در مقیاس میکروسکوپی بافت‌های جانشینی، رگه- رگچه‌ای، گل‌کلمی، 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 تحت تأثیر دگرسانی و هوازدگی قرار گرفته‌اند و سطح آنها اکسیده شده است. ابعاد بلورهای گالن در حدود ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر می‌باشد. طی مطالعات صحرایی و میکروسکوپی انجام شده مشخص شد که حجم اصلی کانه‌زایی در این منطقه شامل فازهای سولفیدی و اکسیدی است که فاز سولفیدی در طی مرحله اول کانه‌زایی در این کانسار تشکیل شده و فاز اکسیدی بعد از فاز سولفیدی روی داده است (شکل ۵). در طی فاز اکسیدی کانه‌زایی، رگه- رگچه‌های کوارتز- باریت ابتدا تشکیل شده و بعد از آن کانه‌زایی منگنز به صورت رگه- رگچه‌ای در این کانسار روی داده است (شکل ۵ ب، پ). قابل ذکر است که در مراحل پایانی کانه‌زایی، رگه- رگچه‌های کوارتزی بی‌بار و کلسیت نیز تشکیل شده و کل فازهای کانه‌زایی قبلی را قطع کرده است (شکل ۵ ت، ث).

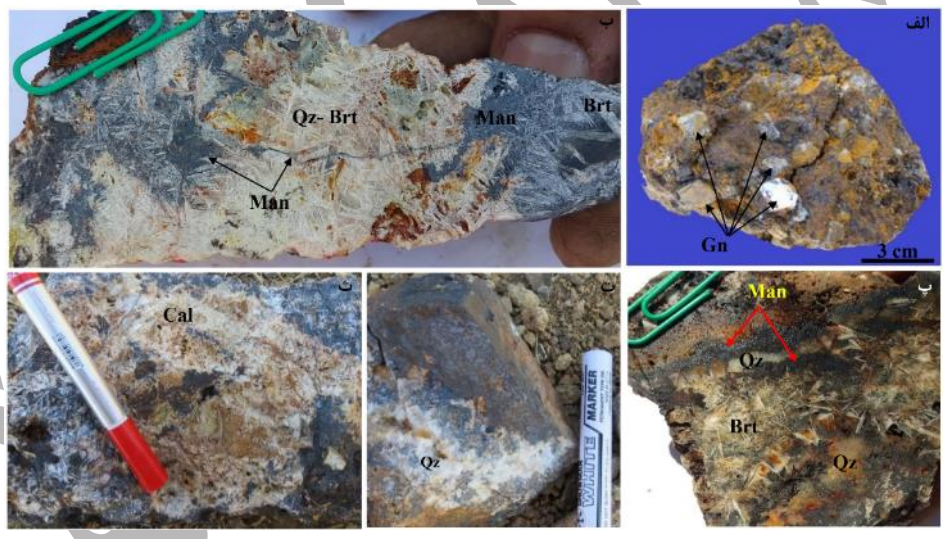
۶- کانه‌نگاری

کانه‌های اصلی موجود در این منطقه شامل گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، آرسنوپیریت، پسیلوملان، پیرولوزیت، منگنایت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و گوتیت هستند (شکل‌های ۶ و ۷). کانه‌های باطله نیز شامل کلسیت، باریت و کوارتز می‌باشند. 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 کج‌کلاه است و همراه آن نیز به مقدار کم کانی اسفالریت تشکیل شده است. کانی گالن عمدتاً دارای بافت دانه پراکنده و جانشینی است که توسط سروزیت جانشین شده است (شکل ۶ الف، ب). این کانی در قسمت‌هایی به صورت ادخال در داخل سایر کانی‌ها نظیر کانی اسفالریت وجود دارد. همانطور که در شکل (۶ پ، ت) مشاهده می‌شود، کانی اسفالریت یکی دیگر از کانی‌های سولفیدی در این کانسار است که همراه سایر کانی‌های سولفیدی از جمله پیریت، گالن، آرسنوپیریت و کالکوپیریت تشکیل شده است. قابل ذکر است که اسفالریت عمدتاً دارای بافت رگچه‌ای است و در برخی بخش‌ها بلورهای آن، ادخال‌هایی از کانی‌های گالن، پیریت و آرسنوپیریت را دارد (شکل ۶ ت).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]



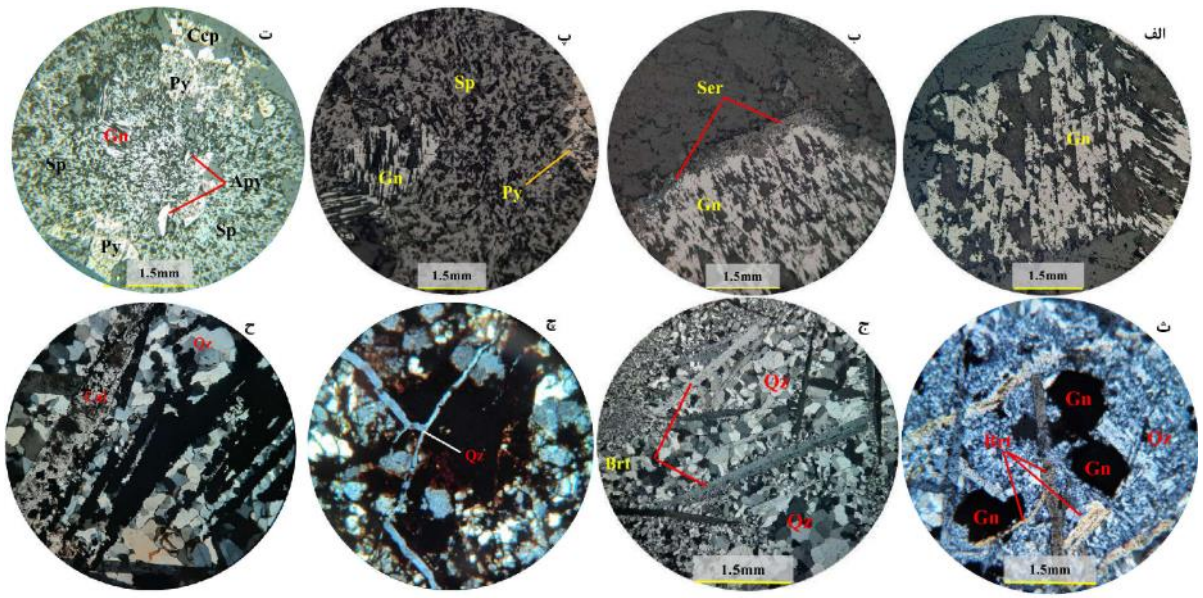
شکل ۴ تصویری از رگه‌های کانه‌زایی موجود در منطقه کج‌کلاه که در راستای شمال‌شرقی- جنوب‌غربی است.



شکل ۵ تصاویری از نمونه‌های دستی کانه‌زایی در کانسار منگنز، مس، سرب و روی و باریت کج‌کلاه. الف) بلور شکل‌دار گالن (Gn) که تحت تاثیر دگرسانی و هوازدگی سطوح آنها اکسیده شده است. ب) رگچه‌های 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 است. ت) رگه کوارتزی (Qz) بی‌بار که در مراحل پایانی کانه‌زایی، فازهای اولیه کانه‌زایی را قطع کرده است. ث) رگه کلسیتی (Cal) که فازهای قبلی کانه‌زایی را قطع کرده است. علائم اختصاری برگرفته‌شده از [۱۲] است.

پیریت به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار به صورت دانه پراکنده همراه با سایر کانی‌های سولفیدی از جمله کالکوپیریت، گالن، آرسنوپیریت و اسفالریت تشکیل شده است (شکل ۶ پ، ت). فراوانی پیریت در این کانسنگ نسبتاً کم بوده و در برخی نقاط ۱۰٪ کانسنگ را به خود اختصاص می‌دهد. قابل ذکر 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 مطالعه نسبت به کانی پیریت کمتر است. شواهد میکروسکوپی بیانگر این است که کالکوپیریت به مقدار خیلی 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 سوپرژن، توسط کانی‌های ثانویه از جمله مالاکیت و گوتیت جانشین شده است. همچنین کانی پیریت تشکیل شده در طی کانه‌زایی سولفیدی، در اثر فرایندهای سوپرژن و هوازدگی به گوتیت تبدیل شده است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های سولفیدی و باریت در منطقه مورد مطالعه. الف- تصویری از کانی گالن (Gn) که با رخ مثلثی شکل قابل مشاهده می‌باشد. ب- جانشین شدن کانی گالن (Gn) توسط کانی ثانویه سروزیت (Cer). پ- همرشدی کانی گالن (Gn) با اسفالریت (Sp) و پیریت (Py). ت- تصویری از کانی‌های سولفیدی که 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 (Qz) همرشدی دارند. چ) رگچه کوارتز (Qz) بی‌بار مرحله تاخیری که کانه‌زایی اکسیدی (بخش‌های تیره) را قطع کرده است. ح) تصویر میکروسکوپی از رگچه کلسیتی (Cal) مرحله تاخیری که کانه‌زایی اکسیدی (بخش‌های تیره) و بلورهای کوارتز (Qz) را قطع کرده است. علائم اختصاری برگرفته‌شده از [۱۲] است.

کانه‌زایی اکسیدی در کانسار کج‌کلاه، فاز دوم کانه‌زایی بوده و حجم اصلی این فاز را باریت و کانه‌های منگنزدار تشکیل داده که همراه با کوارتز تشکیل شده‌اند. کانه‌زایی اکسیدی در این کانسار شامل دو زیرمرحله باریت- کوارتز و کوارتز- منگنز است. زیرمرحله کانه‌زایی باریت- کوارتز اولین مرحله از کانه‌زایی اکسیدی را تشکیل می‌دهد که کانه‌زایی سولفیدی را قطع کرده است (شکل ۶ ث). همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، بلورهای خودشکل باریت به همراه کوارتز، کانی‌های سولفیدی از جمله گالن را قطع کرده‌اند. بلورهای کوارتز ذکر شده عمدتاً به صورت رگه- رگچه‌ای تشکیل شده و گاهاً دارای بافت شانه‌ای است که همراه بلورهای تیغه‌ای شکل باریت دیده می‌شوند (شکل ۶ ج).

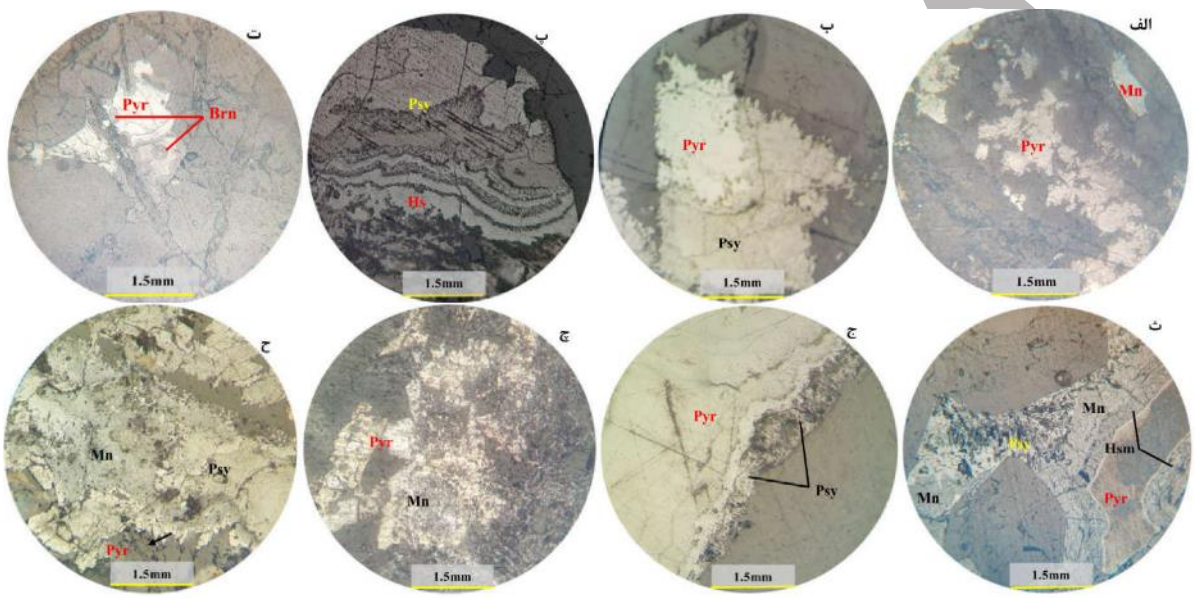
کانه‌زایی منگنز، زیرمرحله دوم از کانه‌زایی اکسیدی در کانسار کج کلاه به شمار می‌آید که شامل کانی‌هایی از جمله پیرولوزیت، پسیلوملان، منگنایت، هاسمانیت و براونیت است (شکل ۷). همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، کانه‌زایی منگنز در کانسار کج‌کلاه رگه-رگچه‌های باریت- کوارتز قطع شده است (شکل ۵ ب، پ). پیرولوزیت فراوان‌ترین کانی منگنز شناسایی شده در کانسار مورد مطالعه بوده و دارای بافت‌های رگه- رگچه‌ای، جانشینی و کلوفورمی است (شکل ۷). قابل ذکر است در این کانسار تبدیل پیرولوزیت به کانی‌های پسیلوملان در مناطقی که شدت دگرسانی و هوازدگی در آن بخش‌ها بالا است، نیز دیده می‌شود (شکل ۷ ج). کانی منگنایت از دیگر کانی‌های منگنزدار در این کانسار است که در همراهی با کانی پیرولوزیت و پسیلوملان تشکیل شده است (شکل ۷ الف، ث، چ). قابل ذکر 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. همانطور که در شکل (۷ پ، ث) مشاهده می‌شود، کانی‌های پیرولوزیت و پسیلوملان در اثر فرایندهای سوپرژن و هوازدگی به کانی هاسمانیت نیز تبدیل شده‌اند.

پسیلوملان با داشتن ۱۶/۵ درصد BaO در ترکیب شیمیایی خود به اکسیدهای سخت و توده‌ای منگنز با بافت بوتروئیدال گفته می‌شود [۱۳]. این کانی بعد از کانی پیرولوزیت، بیشترین فراوانی را در کانسار کج‌کلاه دارا می‌باشد. همانطور که ذکر شد، کانی پسیلوملان در قسمت‌هایی با کانی پیرولوزیت و منگنایت هم رشدی نشان می‌دهد و اغلب دارای بافت‌های جانشینی، سوزنی و

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

رگه- رگچه‌ای است. این کانی دارای دو نسل است. نسل اول آن همراه با کانی‌های اولیه مگنز از جمله پیرولوزیت، منگنایت و براونیت تشکیل شده است. نسل دوم این کانی در قسمت‌هایی که شدت دگرسانی و هوازدگی در آن نواحی بالا بوده، جانشین کانی‌های منگنزدار دیگر همانند منگنایت و پیرولوزیت شده است (شکل ۷ ح).

همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، بعد از کانه‌زایی منگنز در این کانسار، ابتدا رگه- رگچه‌های کوارتز بی‌بار تشکیل شده و مجموعه کانه‌زایی قبلی را قطع و برشی کرده است (شکل‌های ۵ ت و ۶ چ). در ادامه، رگه- رگچه‌های کلسیتی نیز تشکیل شده و تمامی مراحل کانه‌زایی قبلی را قطع و برشی کرده است (شکل‌های ۵ ث و ۶ ح). مجموعه کانی‌های مربوط به فاز کانه‌زایی سوپرژن و هوازدگی شامل مالاکیت، گوتیت، هاسمانیت، پسیلوملان و سروزیت است. از جمله بافت‌هایی که در طی این مرحله تشکیل شده‌اند شامل بافت جانشینی، کلوفرمی و بارماندی است.



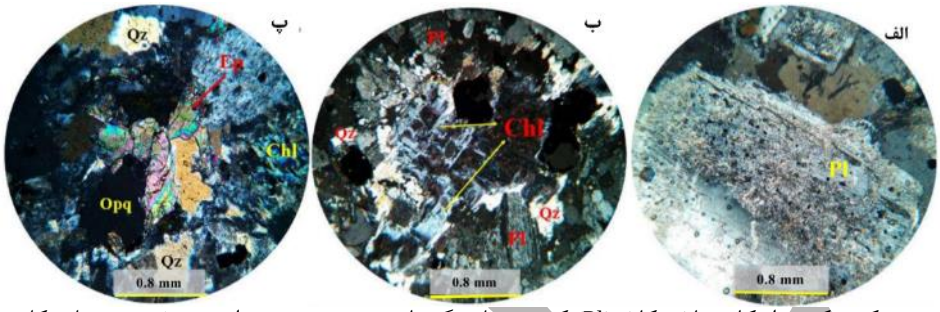
شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های منگنز در منطقه کج‌کلاه. الف) تصویری از کانی پیرولوزیت (Pyr) رگچه‌ای و منگنایت (Mn). ب) همرشدی بلورهای پیرولوزیت (Pry) و بلورهای پسیلوملان (Psy). ت- بافت کلوفرمی کانی پیرولوزیت (Pyr) و پسیلوملان (Psy) که از اطراف توسط هاسمانیت (Hsm) جانشین شده‌اند. ت) - بلورهای براونیت (Brn) در کنار بلورهای پیرولوزیت (Pyr). ث) تصویری از هم‌رشدی کانی‌های پیرولوزیت (Pyr)، پسیلوملان (Psy) و منگنایت (Mn) که از حاشیه بلوری به کانی هاسمانیت (Hsm) در حال تبدیل هستند. ج) جانشین شدن کانی پیرولوزیت (Pyr) از اطراف توسط کانی پسیلوملان (Psy). چ) کانه‌زایی رگه- رگچه‌ای منگنایت (Mn) و پیرولوزیت (Pyr) در منطقه مورد مطالعه. ح) تصویری از کانی پسیلوملان (Psy) که جانشین کانی‌های منگنایت (Mn) و پیرولوزیت (Pyr) شده است. علائم اختصاری برگرفته‌شده از [۱۲] است.

۷- دگرسانی

براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی انجام شده، دگرسانی‌های گرمابی موجود در کانه‌زایی منگنز، سرب و روی و باریت کانسار کج‌کلاه 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 کانه‌زایی سولفیدی و اکسیدی و همچنین در طی فازهای آخر کانه‌زایی به صورت بی‌بار تشکیل شده و تمامی مراحل کانه‌زایی را قطع کرده است (شکل‌های ۵ ب، پ، ت؛ ۶- ث، ج، چ و ح). دگرسانی سریسیتی بصورت جانشینی سریسیت به‌جای کانی پلاژیوکلاز در نمونه‌های مربوط به توده نفوذی (سنگ میزبان کانه‌زایی) تشکیل شده‌است (شکل (۸ الف). در بخش‌هایی نیز کانی آلکالی فلدسپار متحمل این دگرسانی شده است. قابل ذکر است که وسعت این دگرسانی در منطقه مورد مطالعه کم بوده و محدود به توده نفوذی است. دگرسانی کلریتی نوع دیگری از دگرسانی های شایع موجود در کانسار کج‌کلاه می‌باشد که اغلب به صورت جانشینی و پرکننده فضاهای خالی در این کانسار تشکیل شده است. این نوع دگرسانی با جانشین شدن کانی‌هایی نظیر کلینوپیروکسن و بیوتیت با کانی کلریت و اپیدوت مشخص می‌شود (شکل ۸ ب، پ). دگرسانی آرژیلیکی که به واسطه حضور کانی‌های رسی مشخص می‌شود، در منطقه

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

مورد مطالعه با هیدروکسیدهای آهن همراهی می‌شود که باعث تیره‌تر شدن رنگ رخنمون‌های دگرسانی آرژیلیکی به رنگ قرمز آجری تا قهوه‌ای می‌شود (شکل ۴). همانطور که در این شکل نیز دیده می‌شود، این دگرسانی بطور گسترده در اطراف ماده معدنی تشکیل شده است. دگرسانی کربناتی نیز در این منطقه عمدتاً به صورت رگچه‌های تاخیری و جانشینی تشکیل شده و مجموعه کانه‌زایی و سنگ میزبان را قطع و برشی کرده است (شکل‌های ۵ ث؛ ۶ ح). همانطور که ذکر شد، این دگرسانی آخرین فاز کانه‌زایی در منطقه کج‌کلاه به شمار می‌رود.



شکل ۸ الف) تصویر میکروسکوپی از کانی پلاژیوکلاز (Pl) که متحمل دگرسانی سریسیتی شده است. ب) درشت بلور کلینوپیروکسن که به میزان زیادی به کلریت (Chl) دگرسان شده است. پ) دگرسانی به کلریت (Chl) و اپیدوت (Ep) که در توده نفوذی تشکیل شده است. علائم اختصاری برگرفته‌شده از [۱۲] است.

با توجه به مطالعات صحرایی و میکروسکوپی در کانسار کج‌کلاه می‌توان اظهار داشت که کانه‌زایی در این کانسار در ۴ مرحله کانه‌زایی سولفیدی، اکسیدی، تاخیری و سوپرژن رخ داده است. به این صورت که در مرحله اول کانه‌زایی، فاز سیلیسی- سولفیدی روی داده است. در طی این مرحله، کانی‌های گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت تشکیل شده‌اند. در طی فاز دوم کانه‌زایی اکسیدی روی داده است. فاز اکسیدی شامل دو زیرفاز کانه‌زایی باریت و منگنز است که به همراه کوارتز تشکیل شده‌اند. در طی این فاز ابتدا رگه- رگچه‌های باریت- کوارتز تشکیل شده و در ادامه کانه‌زایی منگنز، به صورت رگه- رگچه‌ای تشکیل شده است. عمده دگرسانی‌های تشکیل شده در طی این دو مرحله شامل، دگرسانی سیلیسی، دگرسانی سریسیتی، دگرسانی کلریتی- اپیدوتی و آرژیلیکی است. بافت‌های برشی، رگه-رگچه‌ای، شانه‌ای، گل‌کلمی و پرکننده فضای خالی از بافت‌های مهم مرحله 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 کرده است. مرحله سوپرژن با تشکیل کانی‌هایی از جمله پیرولوزیت ، هاسمانیت، براونیت، گوتیت، سروزیت و مالاکیت با بافت‌های جانشینی، کلوفرمی و بازماندی در این کانسار تشکیل شده‌اند. توالی پاراژنزی کانسار کج‌کلاه در شکل ۹ ارائه شده است.

Alterations/ Minerals	Mineralization				
	Hypogene				Supergene and weathering
	Sulfide Mineralization	Oxide Mineralization		Late-stage	
		Barite	Mn		
Galena	▬				
Sphalerite	▬				
Pyrite	▬				
Chalcopyrite	▬				
Arsenopyrite	▬				
Barite		▬			
Quartz	▬	▬	▬	▬	
Pyrolusite			▬		
Psilomelane			▬		▬
Manganite			▬		
Brownite			▬		
Calcite				▬	
Hausmannite					▬
Cerussite					▬
Malachite					▬
Goethite					▬
Chlorite-epidote	▬	▬	▬		
Vein veinlet	▬	▬	▬	▬	
Brecciate	▬	▬	▬	▬	
Comb	▬	▬	▬	▬	
Vug infill	▬	▬	▬		
Colloform			▬		▬
Replacement					▬
Relict					▬

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

شکل ۹ توالی پاراژنزی کانه‌زایی پلی‌متال در کانسار کج‌کلاه.

۸- زمین‌شیمی

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

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

Element	SiO_2	Al_2O_3	BaO	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	SO_3	TiO_2	LOI
TO-1	۶۵/۵۴	۱۵/۴۳	۰/۱۳	۱/۴	۴/۷۲	۵/۵۷	۱/۵۸	۰/۱۴	۲.۷۴	۰/۲۵	۰/۱	۰/۶۴	۱/۷۷
TO-2	۵۹/۸۱	۱۵/۸۱	۰/۱	۵/۳۹	۶/۹۸	۳/۸۸	۲/۴۸	۰/۲۴	۲.۴۲	۰/۳۴	<۰/۰۵	۰/۸	۱/۷۵
TO-6-1	۶۶/۲۲	۱۵/۳۷	۰/۱۲	۱/۶۶	۳/۶۹	۶/۶۸	۰/۹۶	۰/۱۵	۱.۷۵	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۵۵	۲/۶۴
TO-8-5	۶۷/۳۷	۱۵/۲	۰/۱۳	۰/۸۴	۳/۵۴	۶/۶۳	۱/۲	۰/۱۳	۲.۱۳	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۵۷	۱/۹۳
TO-11	۶۲/۴۳	۱۷/۷	۰/۰۹	۵/۲	۵/۰۶	۳/۷۱	۱/۴۷	۰/۱۱	۲.۷۸	۰/۳۳	<۰/۰۵	۰/۶۷	۰/۵۵
Element	**Ag**	**Al**	**As**	**Ba**	**Be**	**Bi**	**Ca**	**Cd**	**Ce**	**Co**	**Cr**	**Cs**	**Cu**
TO-1	<۰/۱	۶۸۷۴۱	۱۵	۹۵۷	۱/۹۰	۰/۲۰	۹۰۹۸	۰/۴۰	۵۶	۸.۹۰	۱۰	۲.۱۰	۴۴
TO-2	<۰/۱	۸۰۰۵۸	۱۴	۷۷۶	۱/۸۰	۰/۳۰	۳۷۱۱۱	۰/۱۰	۴۵	۱۴.۴۰	۲۳	۲.۴۰	۳۳
TO-6-1	<۰/۱	۶۸۱۵۲	۸	۸۹۶	۱/۹۰	۰/۷۰	۱۰۴۸۰	۰/۱۰	۵۹	۶.۷۰	۹	۴.۹۰	۴۲
TO-8-5	۰/۲۰	۷۲۴۷۲	۱۷	۱۰۳۷	۱/۴۰	۰/۱۰	۵۷۵۰	۰/۲۰	۵۷	۶.۸۰	۱۰	۲.۷۰	۲۹
TO-11	<۰/۱	۹۲۵۳۲	۸	۸۰۴	۱/۸۰	۰/۱۰	۳۸۳۹۰	۰/۱۰	۴۶	۱۱.۱۰	۱۰	۲.۱۰	۴۵
Element	**Dy**	**Er**	**Eu**	**Fe**	**Gd**	**Hf**	**In**	**K**	**La**	**Li**	**Lu**	**Mg**	**Mn**
TO-1	۳/۷۰	۲/۱۳	۱/۱۴	۲۹۸۲۵	۴/۳۰	۱/۳۲	<۰/۵	۴۳۲۶۸	۳۴	۷	۰/۲۹	۸۲۹۱	۹۳۸
TO-2	۴/۲۸	۲/۴۱	۱/۳۶	۴۳۱۴۵	۴/۹۱	۰/۶۵	<۰/۵	۳۳۹۶۲	۲۵	۱۱	۰/۳۴	۱۲۹۱۹	۱۷۴۵
TO-6-1	۳/۹۵	۲/۲۹	۱/۱۷	۲۳۳۵۷	۵/۴۰	۲/۱۴	<۰/۵	۵۱۷۸۵	۳۵	۵	۰/۳۰	۵۰۴۰	۹۹۷
TO-8-5	۳/۱۵	۱/۷۴	۰/۹۸	۲۲۷۴۸	۳/۹۴	۲/۰۴	<۰/۵	۵۳۳۵۸	۳۴	۶	۰/۲۳	۶۴۰۶	۹۲۳
TO-11	۳/۳۷	۱/۹۳	۱/۳۱	۳۰۴۶۳	۴/۰۰	۰/۷۳	<۰/۵	۳۱۹۵۷	۲۸	۱۰	۰/۲۷	۸۳۵۵	۸۲۰
Element	**Mo**	**Na**	**Nb**	**Nd**	**Ni**	**P**	**Pb**	**Pr**	**Rb**	**S**	**Sb**	**Sc**	**Se**
TO-1	۱/۳۰	۲۴۱۱۸	۱۲/۰۰	۲۳/۲۰	۶	۷۰۳	۴۸	۶/۲۶	۱۲۴	۱۰۶	۱/۳۰	۷/۵۰	۰/۸۴
TO-2	۱/۴۰	۲۲۱۷۹	۱۱/۹۰	۲۳/۶۰	۸	۱۰۰۷	۷۳	۵/۷۹	۱۰۸	۱۰۹	۰/۸۰	۱۲/۷۰	۰/۸۰
TO-6-1	۱/۵۰	۱۵۰۶۴	۱۴/۷۰	۳۷/۶۰	۶	۴۷۲	۶۴	۱۰/۲۷	۱۹۳	۸۲	۳/۸۰	۵/۸۰	۱/۷۳
TO-8-5	۱/۴۰	۱۹۴۰۳	۱۲/۵۰	۲۲/۹۰	۹	۴۹۳	۶۰	۶/۲۱	۱۹۴	۵۲	۱/۴۰	۶/۵۰	۰/۶۴
TO-11	۱/۸۰	۲۷۳۱۶	۱۲/۴۰	۲۰/۷۰	۶	۹۵۰	۵۴	۵/۲۹	۹۵	۸۳	<۰/۵	۹/۳۰	۰/۵۹
Element	**Sm**	**Sn**	**Sr**	**Ta**	**Tb**	**Te**	**Th**	**Ti**	**Tl**	**Tm**	**U**	**V**	**W**
TO-1	۴/۳۱	۱/۲۰	۱۵۶	۰/۶۷	۰/۶۴	<۰/۱	۱۳/۷۰	۳۳۵۰	۰/۷۲	۰/۳۱	۳/۱۰	۷۶	۲/۸۰
TO-2	۴/۶۵	۱/۱۰	۲۹۵	۰/۶۴	۰/۷۰	<۰/۱	۹/۵۲	۴۴۰۷	۰/۴۴	۰/۳۴	۱/۵۰	۱۲۹	۳/۴۰
TO-6-1	۵/۸۷	۲/۵۰	۹۹	۰/۹۰	۰/۷۲	<۰/۱	۲۰/۱۳	۲۹۰۵	۱/۱۳	۰/۳۲	۳/۵۰	۵۶	۶/۱۰
TO-8-5	۴/۱۱	۱/۲۰	۸۶	۰/۶۴	۰/۵۷	۰/۱۱	۱۷/۰۹	۲۷۲۶	۱/۱۰	۰/۲۶	۲/۷۰	۶۱	۲/۶۰
TO-11	۳/۹۲	۰/۹۰	۳۳۵	۰/۷۰	۰/۵۸	۰/۱۶	۸/۵۴	۳۷۶۲	۰/۲۷	۰/۲۸	۲/۱۰	۷۷	۳/۱۰
Element	**Y**	**Yb**	**Zn**	**Zr**									
TO-1	۲۴/۹۰	۱/۹۰	۱۱۳	۳۴									
TO-2	۳۰/۴۰	۲/۱۰	۶۷	۱۶									
TO-6-1	۲۴/۵۰	۲/۰۰	۱۰۲	۵۷									
TO-8-5	۲۲/۹۰	۱/۵۰	۲۳۱	۵۷									
TO-11	۲۴/۸۰	۱/۷۰	۶۲	۲۰									

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

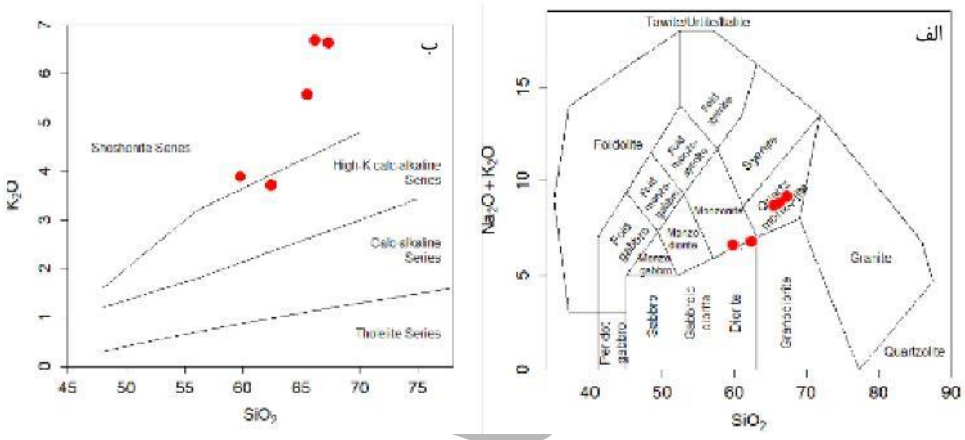
Element	Al_2O_3	BaO	CaO	Fe_2O_3	MgO	MnO	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co
To-15	۳/۵۱	۰/۰۰۴	۰/۶۸	۲/۳۵	۰/۴۱	۰/۴۸	۸۸/۵۸	۱۶۴۲۱	۱۲۵/۳۲	۷۲	۱/۱۹	۱۲/۴۰	۴۵۶۲	۵۳/۹۳	۵/۳۲	۵/۴۷
To-4-4	۱/۲۷	۳۵/۲۷۰	۰/۰۴	۰/۵۵	۰/۰۱	۱/۹۴	>۱۰۰	۶۲۰۵	۱۰۹۲/۲۰	>۱۰۰۰۰	۰/۰۴	۱/۱۵	۱۷۳	۱۶/۲۳	۳/۷۵	۰/۹۳
To-7-5	۰/۷۴	۰/۴۲۰	۰/۲۸	۶/۷۴	۰/۲۴	۱۸/۱۷	۵۳/۵۶	۳۶۸۴	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
Element	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
Element	Mo	Na	Nb	Nd	Ni	P	Pb	Pr	Rb	S	Sb	Se	Sm	Sn	Sr	Tb
To-15	۵/۶۱	۸۰۱	۱/۴۵	۴/۰۳	۱۳/۸	۱۶۱	>۱۰۰۰۰	۲/۲۹	۴۷/۹۴	۱۲۴۰۲	۳۹۶/۶۴	۱/۰۶	۱/۸۷	۲/۱۸	۱۶۲	۰/۶۱

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

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	۱۰/۵۹	۲۸۲	۱۸۶۹/۳۳	۰/۹۷	۲/۱۱	۰/۷۸	۳۹۳/۴	۰/۹۷
To-4-1	۱۶/۰۳	۳۵۸	۱/۱۴	۴/۳۹	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

Element	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

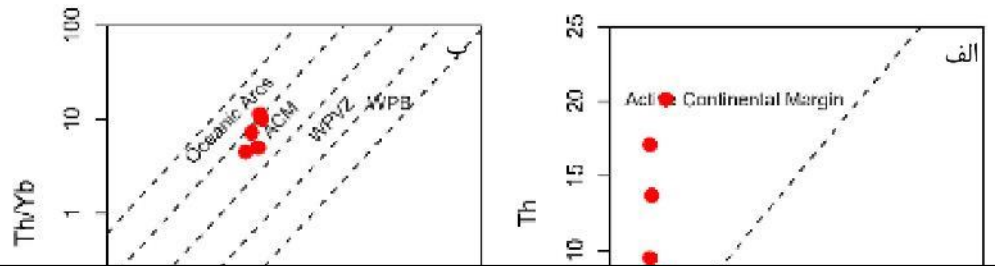
بر اساس نمودارهای رده‌بندی زمین‌شیمیایی [۱۴، ۱۵]، نمونه‌های توده نفوذی طارم در منطقه مورد مطالعه دارای ترکیب کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت و ماهیت کالک‌آلکالن پتاسیم بالا تا شوشونیتی هستند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰ الف) طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین موجود در کانسار کج کلاه بر اساس طبقه‌بندی [۱۴]، ب- براساس نمودار [۱۵]، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سری شوشونیتی و سری کالک آلکالن پتاسیم بالا قرار می‌گیرند.

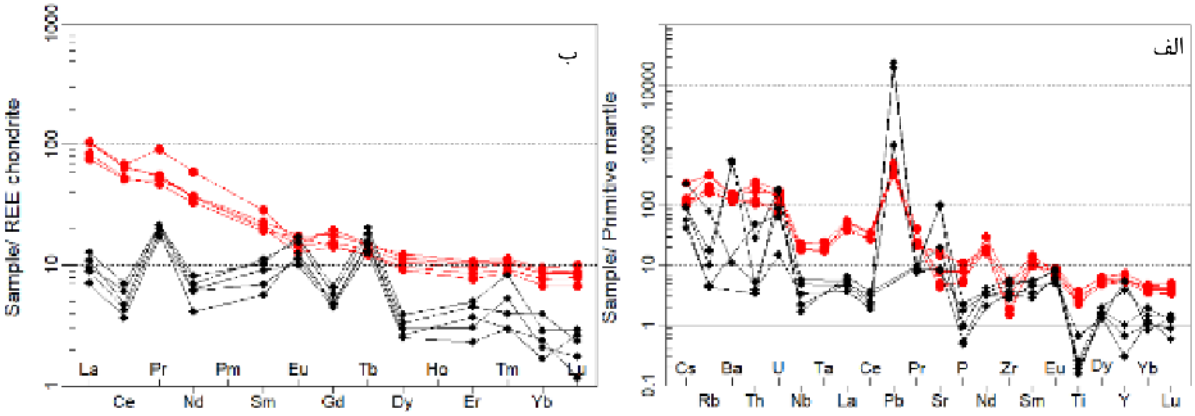
در نمودارهای [۱۶]، براساس عناصر کمیاب و برای تفکیک محیط تکتونیکی واحدهای آذرین ارائه گردیده است. بر اساس نمودار Th در مقابل Ta، Th/Yb در مقابل Ta/Yb و Th/Ta در مقابل Yb نمونه‌های توده کج کلاه در محدوده حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۱۱).

براساس نمودار عنکبوتی [۱۷]، بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه بیشتر عناصر دارای روند طبیعی هستند. فقط در عناصر Pd، Nd و Sm غنی شدگی و در عناصر Ce, Nb, P، Zr و Ti تهی شدگی دیده می‌شود (شکل ۱۲ الف). آنومالی منفی در عناصر HFSE در همراهی با غنی شدگی در عناصر LILE و LREE است. این غنی شدگی که در نمونه‌های توده کج کلاه در همراهی با تهی شدگی در عناصر HFSE مانند عناصر Ta و Nb از نشانه‌های بارز کمان‌های ماگمایی می‌باشد و ماگماتیسم مرتبط با فرورانش را نشان می‌دهد [۱۸، ۱۹]. ویژگی این نمودار غنی شدگی عنصر Pb است. همچنین عنصر Rb تهی‌شدگی نشان می‌دهد که این مسئله ناشی از دگرسان شدن نمونه می‌باشد. در الگوی عناصر کمیاب خاکی به هنجارشده به کندریت [۲۰]، الگوی مشابه در همه نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل ۱۲ ب). نمونه‌های مورد مطالعه یک الگوی غنی از عناصر LREE نسبت بهHREE را با نسبت بالای LREE / HREE نشان می‌دهند. غنی شدگی بالای عناصر کمیاب خاکی سبک می‌تواند ناشی از درجه پایین ذوب بخشی و پایین بودن عناصر کمیاب خاکی سنگین در ارتباط با حضور گارنت در ناحیه ذوب با [۲۱]. فراوانی LREE با پیشرفت روند تفریق فزایش پیدا می‌کند. این افزایش به این دلیل است که LREE نسبت به فازهای بلوری اصلی (کلینو پیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول) ناسازگارتر بوده و در نتیجه به طور فزاینده‌ای در مذاب‌های تحول یافته متمرکز می‌شوند. آنومالی منفی ضعیف Eu در نمونه‌های مورد مطالعه را می‌توان در ارتباط با تفریق پلاژیوکلاز در نظر گرفت. آنومالی منفی Y نیز می‌تواند در ارتباط با تفریق آمفیبول یا کلینوپیروکسن در نظر گرفته شود.



[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

شکل ۱۱ موقعیت نمونه‌های کانسار کج کلاه در نمودارهای [۱۶]. الف) نمودار Th در مقال Ta، ب) نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb.



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

نمودارهای چند عنصری بهنجار شده به گوشته اولیه برای نمونه‌های کانه‌دار الگوی نسبتاً مشابهی با نمونه‌های توده نفوذی نشان می‌دهند که این امر بیانگر مشتق شدن سیالات کانه‌ساز از سنگ‌های گرانیتوییدی می‌باشد. البته شایان ذکر است که نمونه‌های ماده معدنی نسبت به سرب و باریم آنومالی مثبت زیادی را نسبت به توده نفوذی نشان می‌دهند (شکل ۱۲ الف). عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده به کندریت برای سنگ‌های نفوذی و ماده معدنی که نسبت به کندریت [۲۲] بهنجار شده‌اند، در شکل (۱۲ ب) نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، در الگوی عناصر کمیاب خاکی نمونه‌های توده نفوذی و ماده معدنی یک سیر نزولی از LREE نسبت به HREE دیده می‌شود. در این شکل، الگوهای عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت برای نمونه‌های کانه‌دار تقریباً به صورت موازی با الگوهای عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت برای نمونه‌های توده نفوذی است که نشان دهنده مشتق شدن سیالات کانه‌ساز از توده نفوذی می‌باشد. آنومالی مثبت Eu, Tb و Pr در نمونه‌های ماده معدنی نسبت به سنگ میزبان، احتمالاً ناشی از دگرسانی و ویژگی‌های سیال کانه‌زایی در نمونه‌های آنالیز شده باشد که منجر به غنی‌شدگی این عناصر در ماده‌معدنی شده است.

۹- تیپ کانه‌زایی

با توجه به مقایسه تمامی ویژگی‌های مهم در مشخص کردن انواع تیپ کانه‌زایی، نظیر شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت در کانسار کج‌کلاه با انواع کانسارهای فلزات پایه و گران‌بها می‌توان اظهار داشت که کانه‌زایی در این کانسار در دسته کانسارهای اپی‌ترمال قرار دارد. مهمترین شواهد و نتایج بدست آمده طی این مقایسه عبارت‌اند از:

۱- ساختارهای گسلی و شکستگی‌های به وجود آمده تحت تاثیر این ساختارها نقش بسزایی در کانه‌زایی کانسار کج‌کلاه داشته و در واقع می‌توان اظهار داشت که کانه‌زایی در کانسار کج‌کلاه توسط ساختارهای گسلی کششی کنترل شده است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

۲- کانه‌زایی در کانسار کج‌کلاه شامل مجموعه کانیایی پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و کانی‌های منگنزدار از جمله پسیلوملان و پیرولوزیت است که با مجموعه کانی‌های باطله کوارتز، باریت، کلریت و کلسیت همراه هستند.
۳- ساخت و بافت‌های موجود در کانسارهای اپی‌ترمال شامل رگه- رگچه‌ای، بِرشی، شانه‌ای، گل کلمی و پُرکننده فضای خالی است که این بافت و ساخت‌ها در کانسارکج‌کلاه قابل مشاهده است.
۴- مجموعه کانی‌های دگرسانی موجود در این کانسار، نشان دهنده و مشخص کننده دگرسانی گرمابی در این کانسار است.
مقایسه این ویژگی‌ها با انواع کانسارهای اپی‌ترمال جدول (۳) نشان می‌دهد که این مجموعه کانیایی، ساخت و بافت و الگوی دگرسانی بیشترین شباهت را با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون حد واسط دارد [۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷]. عدم وجود دگرسانی آرژیلیک پیشرفته با مجموعه کانی‌های آلونیت، کائولینیت و پیروفیلیت به همراه کانی‌های آدولاریا، لوزونیت، انارژیت و تنانتیت در کانسار کج‌کلاه بیانگر آن است که این کانسار متفاوت از کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین و بالا است. از طرفی، وجود کانی‌های دگرسانی از جمله سیلیسی، آرژیلیکی، سریسیت، ایلیت، کلسیت و کلریت در کانسار کج‌کلاه بیانگر تشکیل این دگرسانی‌های گرمابی در دماهای پایین تا متوسط هستند که این مجموعه کانیایی، شاخص کانی‌های دگرسانی در کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط به‌شمار می‌آیند [۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸]. لذا با توجه به این ویژگی‌ها و همین‌طور ویژگی‌های ذکر شده در قسمت‌های بالاتر، می‌توان اظهار داشت که کانسار کج‌کلاه بیشترین شباهت را با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط دارد. در جدول (۴)، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار کج‌کلاه با برخی از کانسارهای مشابه در ایران مقایسه شده است.

۱۰- الگوی تشکیل کانسار کج کلاه

براساس نتایج به دست آمده از مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ‌شناسی و کانه نگاری و بررسی ویژگی‌های کانی‌ها، مراحل تکوین و تکامل کانسار کج‌کلاه را می‌توان در چهار مرحله به شرح زیر خلاصه کرد (شکل ۱۳):

مرحله نخست با تشکیل توالی‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن که 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 داخل توالی آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن همراه بوده است (شکل ۱۳ ب).
مرحله سوم با نفوذ توده گرانیتوئیدی به داخل توالی آتشفشانی ائوسن در محل تماس توده با سنگ‌های میزبان، آثار دگرسانی گرمابی به صورت آرژیلیکی و سیلیسی شدن ظاهر می‌گردد. سپس همزمان با رخ دادن دگرسانی در مرز تماس توده و سنگ‌های میزبان، کانه‌زایی منگنز، مس، سرب و روی و باریت به صورت رگه‌های نسبتا ضخیم در داخل توده نفوذی و به میزان کمتر در داخل واحدهای آتشفشانی میزبان صورت می‌گیرد. رخنمون این توده‌ها در بخش‌های جنوبی منطقه بیشتر می‌باشد. همراه با کانه‌زایی، دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیکی، کلریتی- اپیدوتی، کربناتی و سریسیتی نیز در اطراف ماده معدنی تشکیل شده است.

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژنتیکی کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه و گران‌بها [۲۳، ۲۶، ۲۷، ۲۹، ۳۰، ۳۱] با کانسار کج کلاه.

ویژگی	کانسارهای سولفیداسیون بالا	کانسارهای سولفیداسیون متوسط	کانسارهای سولفیداسیون پایین	کانسار کج کلاه

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

سنگ میزبان	گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری، ریوداسیت	گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری، ریوداسیت، آندزیت	بازالت- ریولیت	توف، آندزیت، توده کوارتزمونزونیتی- کوارتز مونزودیوریتی
فلزات همراه	طلا- نقره، مس، آرسنیک، انتیموئن (روی، سرب، بیسموت، قلع، مولیبدن، تنگستن، جیوه)	طلا- نقره، روی- سرب، مس (انتیموئن، آرسنیک، مولیبدن، تلریوم، سلنیوم، جیوه)	طلا- نقره (روی- سرب، مس (انتیموئن، آرسنیک، مولیبدن، جیوه)	نقره، روی- سرب، آرسنیک، منگنز
عوامل کنترل کننده کانه‌زایی	گسل‌های موازی، دیاترم‌ها و برش‌ها گرمابی	گسل‌های کششی و امتدادلغز	گسل‌های کششی و امتدادلغز	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، بِرشی، داربستی
کانی‌شناسی	انارژیت، لوزونیت، کوولیت، کالکوپیریت، اسفالریت، تترائدریت- تنانتیت، پیریت، بورنیت	الکتروم، آکانتیت، سولفوسالت نقره، گالن، اسفالریت (فقیر از آهن)، تترائدریت- تنانتیت، کالکوپیریت، تلورید، سلنید	الکتروم، آکانتیت، سولفوسالت نقره، گالن، اسفالریت (غنی از آهن)، تترائدریت- تنانتیت، کالکوپیریت، تلورید، سلنید، آرسنوپیریت، پیروتیت	پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پسیلوملان، پیرولوزیت
کانی‌های باطله	کوارتز، آلونیت، باریت، کائولینیت، انیدریت، دیکیت، پیروفیلیت	کوارتز، کلسدونی، کلسیت ± کانی‌های منگنزدار، باریت، آدولاریا	کوارتز، کلسدونی، کلسیت، آدولاریا، ایلیت، کلریت، به مقدار کم فلوئوریت	کوارتز، کربنات، باریت
بافت	کوارتز حفره‌دار، برشی، جانشینی، رگه- رگچه‌ای	کلوفرم، نواربندی، کوکاد، شانه‌ای، رگه- رگچه‌ای، جانشینی	کلوفرم، نواربندی، کوکاد، شانه‌ای، رگه- رگچه- ای، جانشینی	رگه- رگچه‌ای، بِرشی، شانه‌ای، گل‌کلمی، پرکننده فضای خالی
دگرسانی	سیلیسی، آلونیت، کانی‌های سولفاتی- فسفاتی- آلومینیم‌دار، پیروفیلیت، دیکیت	سیلیسی، سریسیت (ایلیت)، آدولاریا	سیلیسی، ایلیت، آدولاریا، اسمکتیت	سیلیسی، آرژیلیکی، سریسیتی، کربناتی، کلریتی- اپیدوتی
ویژگی سیالات کانه‌ساز	ماگمایی + آب‌های جوی (اکسیدان و اسیدی)	آب‌های جوی + ماگمایی (تقریباً خنثی و احیایی)	آب‌های جوی ± ماگمایی (تقریباً خنثی و احیایی)	آب‌های جوی ± ماگمایی

در واقع می‌توان اظهار داشت که نفوذ توده باعث چرخش سیالات جوی در منطقه شده و در نتیجه آن دگرسانی‌های ذکر شده به همراه رگه‌های کانه‌زایی در منطقه شده است. در واقع، چرخش سیالات گرمابی باعث تشکیل دگرسانی‌های مختلف و شسته شدن عناصر از واحدهای مسیر خود شده و در نتیجه در شکستگی‌ها و زون‌های گسلی رگه‌های سیلیسی- سولفیدی تشکیل داده است (شکل ۱۳ پ). قابل ذکر است که توده نفوذی نیز علاوه بر اینکه به عنوان موتور حرارتی نقش داشته است، احتمال دارد به عنوان منشأ سیالات و فلزات نیز در این کانه‌زایی نقش داشته باشد که اثبات این قضیه نیاز به مطالعات سیالات درگیر و ایزتوپی پایدار در این کانسار دارد.

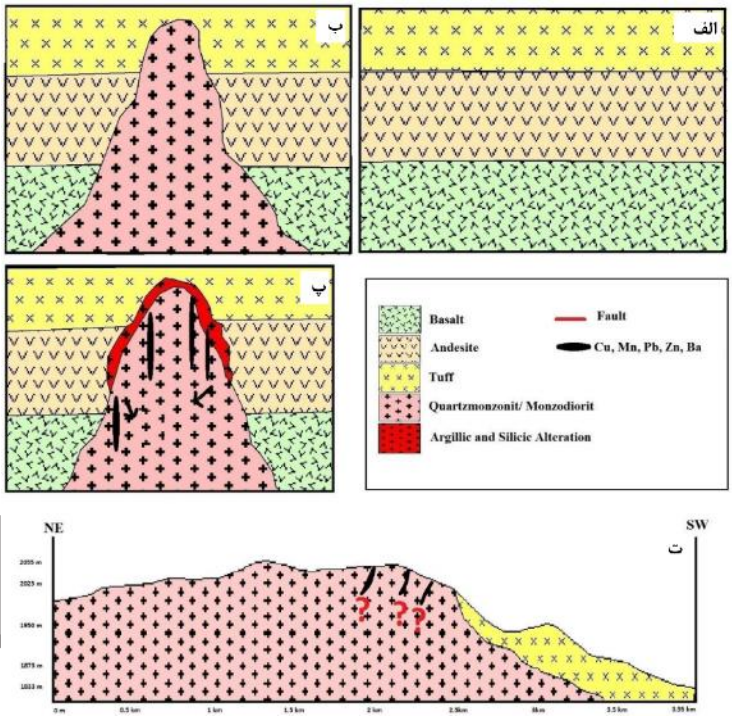
مرحله چهارم با بالاآمدگی منطقه و توسعه فرآیندهای هوازدگی و فرسایش همراه بوده و طی آن ریخت‌شناسی امروزی منطقه حاصل شده است (شکل ۱۳ ت).

جدول ۴ مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار کج‌کلاه با برخی از کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط در ایران.

ویژگی‌های اصلی/کانسار	ابولحسنی	آی قلعه سی	ورمزیار	قبچاق	کج‌کلاه
زیر گروه	فلزات پایه و نقره	فلزات پایه و نقره	فلزات پایه و نقره	فلزات پایه	فلزات پایه
موقعیت جغرافیایی	جنوب‌غرب دامغان	جنوب‌شرق تکاب	شمال زنجان	شمال‌غرب قره‌چمن	شرق زنجان
پهنه ساختاری	ترود- چاه شیرین	ارومیه- دختر	البرز غربی- آذربایجان	البرز غربی- آذربایجان	البرز غربی- آذربایجان

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

سنگ درونگیر	سنگ‌های پیروکلاستیک و گدازه-های آندزیتی	سنگ‌های رسوبی و گنبدهای نیمه عمیق	توف‌های حدواسط و اسیدی	توف، گدازه و توده دیوریتی- گابرویی	توف، آندزیت، توده کوارتزمونزونیتی- کوارتز مونزودیوریتی
سن کانه زایی	ائوسن	پلیوسن	پلیوسن	ائوسن- الیگوسن	ائوسن پایانی
کنترل کننده ساختاری	گسل‌ها و شکستگی‌ها	گسل‌های نرمال	گسل‌ها و شکستگی‌ها	گسل‌ها و شکستگی‌ها	گسل‌ها و شکستگی‌ها
کانی شناسی	اسفالریت فقیر از آهن، گالن، نقره، پیریت و کالکوپیریت	اسفالریت فقیر از آهن و گالن	گالن، اسفالریت، پیریت، سیلوملان، پیرولوزیت	پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، طلا، رآلگار، پسیلوملان، پیرولوزیت	پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پسیلوملان، پیرولوزیت
بافت و ساخت	برشی، دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی	برشی، دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی، تودهای، قشرگون، شانهای	رگه- رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، پوسته‌ای، گل‌کلمی، کاکلی، پرمانند، تیغه‌ای، پرکننده فضای خالی	رگه- رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، پوسته‌ای، گل‌کلمی، کاکلی، پرمانند، پرکننده فضای خالی	رگه- رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، گل‌کلمی، پرکننده فضای خالی
دگرسانی	آرژیلیک، سیلیسی، پروپیلیتیک	سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته، پروپیلیتیک، سرسیتیک، کربناته	سیلیسی، آرژیلیک متوسط، پروپیلیتیک	سیلیسی، سیلیسی، آرژیلیک متوسط، کربناتی، پروپیلیتیک	سیلیسی، آرژیلیکی، سریسیتی، کربناتی، کلریتی- اپیدوتی
ژنز	اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط	اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط	اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط	اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط	اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط
منبع	[۳۲]	[۳۳]	[۳۴]	[۳۵]	پژوهش حاضر



شکل ۲۰ نمایی شماتیک از مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی در کانسار کج‌کلاه. الف) تشکیل توالی‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن. ب) نفوذ توده نفوذی کوارتز مونزونیتی- کوارتز مونزودیوریتی به درون واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن. ج) نفوذ توده گرانیتوئیدی و تبلور آن سبب تشکیل دگرسانی گرمابی و کانه‌زایی منگنز، مس، سرب و روی و باریت به صورت رگه- رگچه‌ای در داخل توده نفوذی و به میزان کمتر در داخل واحدهای آتشفشانی میزبان صورت گرفته است. پ) بالاآمدگی ناحیه‌ای و توسعه فرایندهای هوازدگی و سوپرژن (وضعیت کنونی منطقه). مدل ارتفاعی براساس تصاویر گوگل ارث است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان کمال تشکر و قدردانی را دارند. 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.

References:

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

[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] Stockiln 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

[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

[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 Reveiws 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 depositon*". 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

[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 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

[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.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

[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 Reveiws 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 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.
[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).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]