

بررسی‌های کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و میانبارهای سیال در کانسار مس آق‌دره، منطقه طارم، شمال غرب ایران

سیامک صانع‌دoust^۱، صمد علیپور^۱، مهدی حسینی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۴/۱۴، نسخه نهایی: ۹۹/۶/۱)

چکیده: کانسار مس آق‌دره بخشی از پهنه طارم در ۲۵ کیلومتری شمال ابهر است. دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک و پروپلیتیک در منطقه رخداده است و آندزیت‌ها و رگه‌های سیلیسی در بردارنده کانی‌های سولفیدی می‌باشد کانه‌زایی بوده‌اند. کالکوپیریت و پیریت کانی‌های اصلی درونزد هستند که با مقادیر کمتر گالن در باطله سیلیسی طلا و نقه را همراهی کرده‌اند. مهم‌ترین کانی‌های برونزاد مالاکیت، آزوریت و گوتیت بوده‌اند. گالن عامل همبستگی سرب و روی بوده و همبستگی مس و آهن با همبرزایی کالکوپیریت و پیریت توجیه‌پذیر است. غنی‌شدنی نسبی عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) و عناصر خاکی نادر سبک (LREE) و تهی‌شدنی نسبی عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) تشکیل مagma اولیه در محیط فرورانشی، آلایش آن با پوسته قاره‌ای و ایجاد سنگ‌های آتشفسانی آهکی-قلیابی را تایید می‌کند. برپایه ریزدماسنجی میانبارهای دوفازی مایع+بخار (L+V)، کانی‌سازی در دمای ۱۴۰ تا ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد از سیالی با شوری ۷/۰ تا ۱۱ درصد وزنی معادل NaCl از طریق جوشش، آمیختگی و سردشدنی رخداده است. کانسار آق‌دره از نوع فراگرمایی رگه‌ای است و احتمال کانی‌سازی مس پورفیری در بخش‌های زیرین منطقه وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: کانه‌زایی؛ زمین‌شیمی؛ میانبار سیال؛ مس؛ آق‌دره؛ طارم.

مقدمه

ایران از نظر کانه‌زایی مس، از پتانسیل خوبی برخوردار است. کانسارهای مهم کشور بیشتر در شش منطقه ساختاری ارومیه-دختر، البرز غربی، کویر سبزوار، سبلان، لوت و مکران واقع هستند [۱]. مهم‌ترین منابع مس ایران کانسارهای سولفیدی و اکسیدی هستند [۲]. هرچند منطقه آتشفسانی ارومیه-دختر مهم‌ترین پهنه کانسارسازی مس و میزبان بزرگترین کانسارهای مس پورفیری است [۳]، ولی وضعیت ویژه زمین‌شناسی ساختاری و حضور دگرسانی‌های گستردۀ و گسترش توده‌های نفوذی اسیدی تا حد واسط در پهنه طارم سبب شده است تا این منطقه از مناطق مستعد برای کشف پتانسیل‌های معدنی و دربرگیرنده نهشته‌ها و کانسارهای فلزی، به ویژه مس باشد

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۳۴۱۰۸۱۴، نما بر: ۰۱۳۴۲۲۳۰۱۶۵، پست الکترونیکی: s_sanedoust@yahoo.com

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

Philips-Magicx Pro و ۱۷ نمونه به روش طیف‌سنجی چرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP MS) با دستگاه Agilent 7900 با توانایی اندازه‌گیری ۵۸ عنصر در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران تجزیه شدند. داده‌های زمین‌شیمی با استفاده از نرم افزار SPSS (بر پایه ماتریس همبستگی پیرسون و تجزیه خوش‌های وارد^۱ و تغییرات عناصر کمیاب توسط نرم‌افزار GCDKit بررسی گردیدند. همچنین برای بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیابی سیال کانه‌ساز، نمونه‌های کوارتزی همزیست کانی‌زایی، که بهترین معرف برای شرایط تشکیل کانی‌ها هستند [۱۹]، از رگه و رگچه‌های سیلیسی کانسار مس آقدره انتخاب شده و در آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس تهران مقاطع دوبر صیقلی آنها تهیه و سنگ‌نگاری گردید. سپس، تعداد ۷ مقطع انتخاب و در آزمایشگاه ریزدماسنجی مرکز تحقیقات مواد معدنی ایران، برای ۴۹ میانبار سیال، ریزدماسنجی شد. در این بررسی‌ها، از صفحه‌های منجمد‌کننده و گرمایشی لینکام مدل 600 THMS استفاده شد که بر میکروسکوپ زایس نصب گردیده و با استانداردهای غیرآلی مرک واسنجی شدند. این تجهیزات توانایی اندازه‌گیری دما در گستره ۱۹۶-۰+۶۰۰ درجه سانتی‌گراد را دارند و دقت اندازه‌گیری‌ها با استفاده از ان‌هگزان، سانتی‌گراد را انجام داده اند. در اینجا از نیترات برای انجام دما 2 ± 0.2 درجه سانتی‌گراد و با استفاده از سریعه، در برای گرمایش تا 60 ± 0.6 درجه سانتی‌گراد است. به دلیل احتمال تخریب میانبارهای سیال طی گرمایش، ریزدماسنجی با انجام آغاز شد. مقادیر شوری و چگالی میانبارهای سیال در سامانه $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ با استفاده از افزونه HokieFlincs- $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ در صفحه گستردۀ اکسل محاسبه شد.

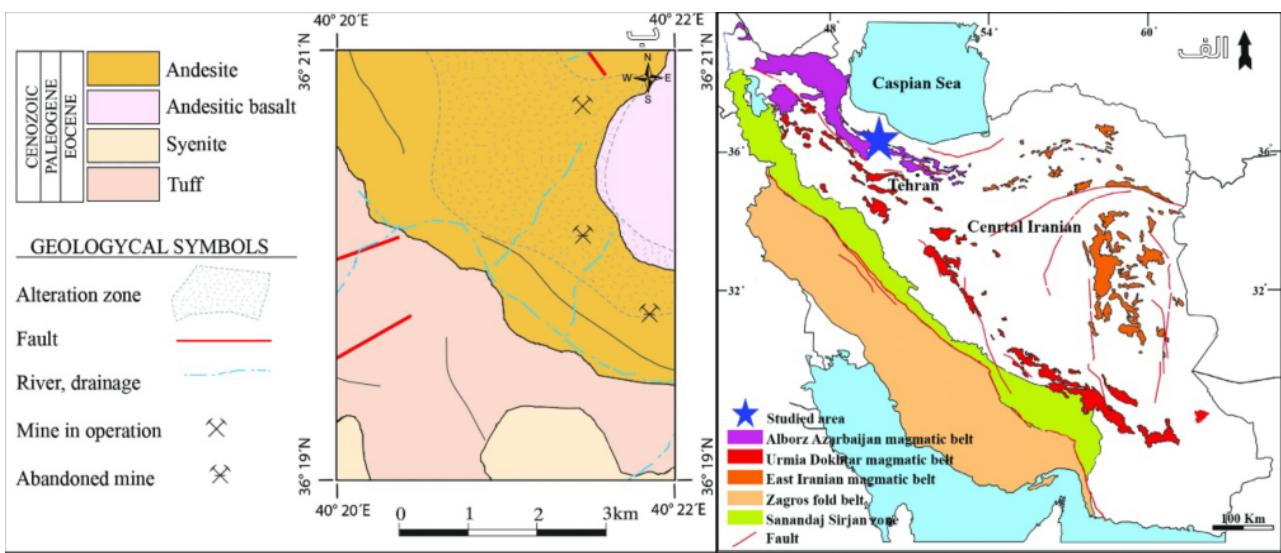
زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری

بر اساس تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران، پهنه طارم در بخش غربی و مرکزی کمربند ماقمایی البرز-آذربایجان [۲۳] و یا در بخش غربی البرز مرکزی [۲۴] جای دارد (شکل ۱-الف). پهنه طارم یک کمان ماقمایی مرکب از نهشتلهای آتششان‌های ائوسن بوده که در معرض توده‌های نفوذی الیگوسن قرار گرفته [۸، ۲۳] (شکل ۱-ب) و فعالیت گرمابی، پرسی و کانی‌زایی در آن گسترش یافته است [۲۳].

یمکان اشاره کرد [۲]. کانسار مس آقدره قسمتی از پهنه طارم واقع در گستره نقشه چارگوش ۱۰۰۰۰۰ زنجان [۱۰] و نقشه زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ ابهر است. منطقه مورد بررسی در گستره جغرافیایی ۲۰° ۴۹° ۲۲' تا ۳۶° ۲۱' ۲۱' طول شرقی، در ۸۵ کیلومتری شرق زنجان و ۲۵ کیلومتری شمال ابهر واقع است. از نخستین بررسی های انجام شده در منطقه تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ زنجان توسط هیرایاما و همکاران بوده است [۱۱]. چند گزارش در مورد نهشته ها و کانسار های منطقه طارم منتشر شده [۱۲-۱۴] و دگرسانی های منطقه توسط پیروان [۱۵، ۱۶] بررسی گردیده است. کانی سازی های سرب، روی و مس مناطق شمال غرب زنجان و خاور میانه توسط حاج علیلو [۱۷] و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار چندفلزی طارم توسط جهاندیده کاظم پور [۱۸]، بررسی شده است. در این پژوهش، ویژگی های کانه زایی، زمین‌شیمی و شرایط دما و شوری سیال کانه ساز کانسار مس آقدره بررسی و نوع و عمق تشکیل کانسار تعیین شده است. یافته های این پژوهش می تواند عوامل موثر در توزیع زمانی و مکانی را برای بررسی های بعدی در پهنه طارم معرفی کند و به عنوان نمونه های برای پی جویی های آتی در نظر گرفته شود.

روش بررسی

در این پژوهش، بررسی‌ها در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی، با پیمایش منطقه، از واحدهای سنگی، گستره‌های دگرسانی و کانی‌سازی‌ها نمونه‌برداری شد. در بخش آزمایشگاهی، نخست ۲۲ مقطع نازک از نمونه‌های سنگی دگرسان و غیردگرسان و ۱۸ مقطع صیقلی از رگه‌های کانه‌زا برای بررسی‌های سنگنگاری و کانی‌نگاری تهیه شده و در آزمایشگاه‌های دانشگاه تربیت مدرس تهران و دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(*) قزوین، با میکروسکوپ قطبشی با نور عبوری و بازتابی بررسی شدند. سپس، برای تعیین فازهای کانیایی و شناسایی دقیق ترکیب شیمیایی کانی‌ها، تعداد ۱۳ نمونه به روش پراش پرتو ایکس؛ (XRD) با دستگاه- Philips Xpert Pro و تعداد ۳ نمونه به روش ریز پردازش الکترونی (EPMA) با دستگاه Cameca SX100 همراه با میکروسکوپ الکترونی BSE بررسی شدند تعیین مقادیر کمی اکسیدهای اصلی، عناصر فرعی و کمیاب، تعداد ۱۳ نمونه به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتو ایکس (XRF) با دستگاه



شکل ۱ (الف) نقشه تقسیمات پهنه‌های ساختاری ایران برگرفته از مراجع [۲۷-۲۵] با تغییرات و جایگاه منطقه مورد بررسی بر آن، (ب) نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی برگرفته از مرجع [۸] با تغییرات.

سیلیسی شده هستند که نتایج بررسی آنها در ادامه بیان می‌شود.

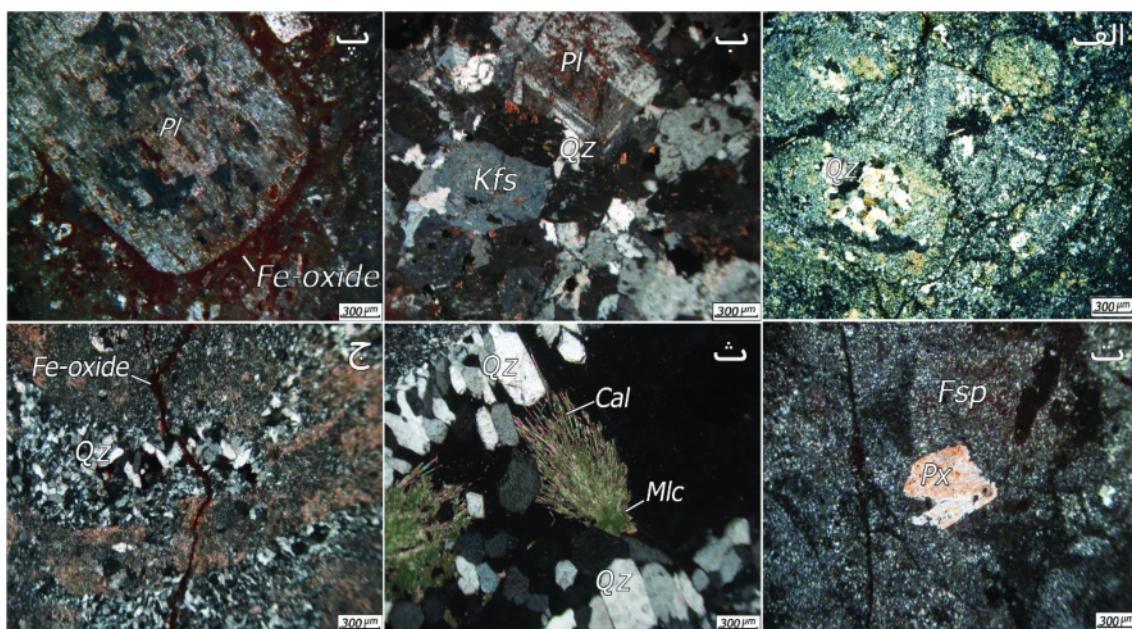
توف به طور گسترده در مرکز منطقه و بیشتر به صورت دگرسان شده و همراه با کانی‌زایی وجود دارد. بافت شیشه‌ای جریانی و جوش خورده آن گاهی با ترکهای پرلیتی همراه است (شکل ۲ الف). این واحد آذرآواری بیشتر شامل بلورهای کوارتز و پلازیوکلاز در زمینه‌ای شیشه‌ای است.

سینیت به طور محدود در جنوب منطقه، با رنگ کرم همراه لکه‌های سفید و بافت پورفیری مشخص است. کانی‌های اصلی فلدسپار پتاسیم با فراوانی تقریبی ۷۰٪، پلازیوکلاز با فراوانی حدود ۲۰٪ و هورنبلند با بافت دانه‌ای در سنگ حضور دارند (شکل ۲ ب). کوارتز با فراوانی کمتر از ۵٪ و کانی‌های مافیک با فراوانی حدود ۲٪ به صورت بلورهای ریز با بافت پراکنده‌دانه درون زمینه دیده می‌شوند.

آندزیت فراوان‌ترین سنگ آتشفسانی در شمال منطقه است و رنگ سفید مایل به خاکستری و بافت پورفیری دارد. با این سنگ کانی‌زایی مس همراه است و کانی‌های اصلی آن شامل پلازیوکلاز و هورنبلند، کانی فرعی آن اسفنن کدر و کانی‌های ثانویه شامل اکسیدهای آهن، اپیدوت و کوارتز هستند. متوسط اندازه بلورهای پلازیوکلاز ۴۰۰ میکرون است ولی گاهی درشت بلورهای آن تا چند میلی‌متر رشد کرده و بیش از ۸۰٪ درشت بلورهای سنگ را تشکیل داده‌اند (شکل ۲ ب). اکسیدهای آهن با فراوانی حدود ۸٪ به شکل رگچه‌ای، دانه‌پراکنده و گاهی انباشت‌ها پیرامون درشت بلورها جایگزین شده‌اند (شکل ۲ ب).

پهنه طارم دنباله نوار آتشفسانی و نفوذی البرز غربی است [۲۸] که از فعالیت ماقمایی پسابرخورد صفحه عربی و ایران، در کرتاسه پسین ایجاد شده است [۲۹]. نهشته‌های آتشفسانی و آتشفسانی-آواری سازند کرج در پهنه طارم نشان‌دهنده فعالیت آتشفسانی در یک حوضه رسوی کم‌عمق با فازهای متناوب انفجاری و خروج روانه‌های آندزیتی، داسیتی و بسیار کم ریولیتی است [۴]. سنگ‌های آتشفسانی و نفوذی با ترکیب غالب حدواست تا فلسیک و گرایش کلسیمی - قلیایی در کمربند ماقمایی البرز - آذربایجان گسترش بسیاری دارند [۳۰] و میزان اصلی ذخایر فلزهای پایه و گران‌بها در بسیاری از نقاط هستند [۳۱].

پی‌سنگ تشکیلات منطقه به احتمال بسیار شامل سازندهای با سن پالئوزویک پسین و کرتاسه است [۳۲]. قدیمی‌ترین واحدهای رخمنون بافت، توف‌ها و توفیت‌های معادل سازند کرج با سن احتمالی اثوسن میانی هستند. راستای عمومی این توف‌ها شمال‌غرب - جنوب‌شرق است و شب آن‌ها بسته به عملکرد ساختارهای زمین‌ساختی تغییر می‌کند. روند این ساختارها متأثر از گسل‌های اصلی روبار - منجیل در شمال و سلطانیه در جنوب [۲۳] و گسل‌های طولی به نسبت فراوان با روند شمال‌غرب - جنوب‌شرق [۳۳] است. درون توف‌های اثوسن در بیشتر محل‌ها، گدازه‌هایی با ترکیب بازالتی تا آندزیتی به صورت بین‌لایه‌ای دیده می‌شوند [۳۴]. در سنگنگاری منطقه، واحدهای سنگی از قدیم به جدید شامل توف‌ها، واحدهای سینیتی، آندزیتی، آندزی‌بازالت و رگهای



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های کانسار آق‌دره: (الف) بلورهای کوارتز در زمینه شیشه‌ای همراه با ترک‌های پرلیتی در توف، (ب) فلدسپار پاتاسیم و پلازیوکلاز با بافت دانه‌ای و کوارتز در سینیت، (پ) درشت بلور پلازیوکلاز و اکسیدهای آهن لبه آن در آندزیت، (ت) زمینه فلدسپار با قالب باقیمانده کانی‌های مافیک پیروکسن در آندزی‌بازالت، (ث) مالاکیت شعاعی و کوارتز در رگه‌های سیلیسی و (ج) رگه‌های اکسید آهن که کانی‌ها را قطع کرده‌اند. (QZ: کوارتز، Pl: پلازیوکلاز، Kfs: فلدسپار پاتاسیم، Fe-oxide: اکسیدهای آهن، Cal: کلسیت، Mlc: مالاکیت، Fsp: فلدسپار، Px: پیروکسن، 300 μm: نشانه‌های اختصاری کانی‌شناسی) برگرفته از مرجع [۳۵] است.

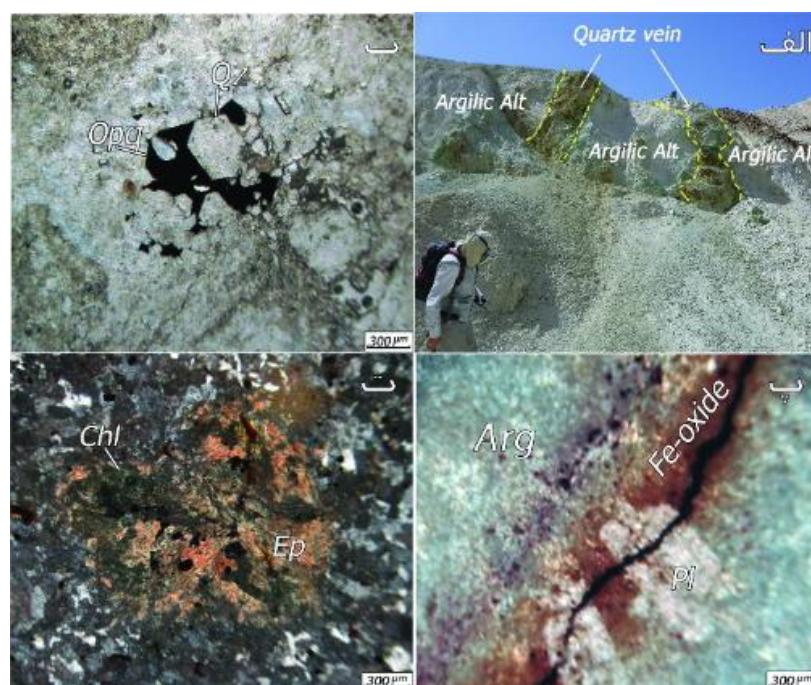
سیال‌های ماقمایی و یا گرمابی دچار دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک (شکل ۳ الف) و پروپلیتیک و با اهمیت کمتر، آلونیتی و سریسیتی شده‌اند. از ترکیب یافته‌های آزمایشگاهی مقاطع نازک و داده‌های XRD نمونه‌های برداشت شده از پهنه‌های دگرسانی، با مشاهدات صحرایی نتایج زیر برداشت شد. دگرسانی سیلیسی مهم‌ترین دگرسانی منطقه و در ارتباط با نفوذ سیال‌های گرمابی سرشار از سیلیسی، به ویژه در پیرامون رگه‌ها و پهنه‌های برشی است که اغلب به تدریج به هاله دگرسانی آرژیلیک رسیده است و طیف رنگی از خاکستری تا قهوه‌ای دارد. بر اساس نتایج XRD (جدول ۱)، کوارتز کانی اصلی این دگرسانی است و کانی‌های پیریت، ارتوکلاز، ایلیت، مسکویت، کائولینیت، مالاکیت و بیوتیت نیز در آن حضور دارند. در مقطع میکروسکوپی، بلورهای درشت کوارتز توسط بلورهای ریز آن قطع شده‌اند. کانی‌های کدر (به احتمال بسیار پیریت) با فراوانی ۲ تا ۳٪ در فضای بین بلورهای کوارتز دیده می‌شوند و با بلورهای درشت و کاملاً شکل‌دار کوارتز دارای مرز مشترک هستند. بلورهای درشت کوارتز پس از کانی کدر تشکیل شده و درون آن رشد کرده‌اند (شکل ۳ ب).

آنزی بازالت با گسترش کم و رنگ خاکستری تیره در شمال شرقی منطقه رخنمون دارد. بلورهای بسیار ریز فلدسپار، کوچکتر از ۵۰ میکرون، بیش از ۹۰٪ سنگ را تشکیل داده و بافت ریزپورفیری به آن داده‌اند (شکل ۲ ت). آثار کانی‌های مافیک مانند پیروکسن با فراوانی حدود ۲٪ زمینه در سنگ به چشم می‌خورند (شکل ۲ ت).

رگه‌های سیلیسی فراوان‌ترین رگه‌های متقاطع در منطقه بوده و دربردارنده کانی‌های مس، کدر و اکسیدهای آهن هستند. کانی‌سازی شعاعی مالاکیت اغلب به همراه بخش‌های سیلیسی دیده می‌شود (شکل ۲ ث). رگه‌هایی از اکسیدهای آهن با فراوانی ۲ تا ۳٪، کانی‌های یاد شده را قطع کرده‌اند (شکل ۲ ج) و توالي سنگ میزبان دگرسان، بلورهای کوارتز ریز، مالاکیت، رگه‌های کوارتز درشت و رگه‌های اکسیدی آهن را از قدیم به جدید به نمایش می‌گذارد.

دگرسانی و کانه‌زایی

درویش‌زاده و آسیابانها [۳۶] و حاج علیلو [۳۷] دگرسانی‌های گستردگی را در نواحی مختلف حوزه چندفلزی طارم معرفی کرده‌اند. واحدهای سنگی منطقه در معرض توده‌های نفوذی،



شکل ۳ تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از دگرسانی‌های کانسار آق دره و کانه‌زایی در آن‌ها: (الف) رگه‌های سیلی و دگرسانی آرژیلیک کنار آن، (ب) مرز مشترک کانی کدر (پیریت) با بلور درشت و ششگوشی کامل کوارتز، (پ) قالب‌های پلاژیوکلاز در دگرسانی آرژیلیکی که با رگه اکسیدهای آهن قطع شده است، (ت) دگرسانی پروپلیتیک شامل اپیدوت و کلریت در زمینه سیلیسی (Argilic Alt: دگرسانی آرژیلیک، Qz: کوارتز، Opq: پلاژیوکلاز، Pl: اکسیدهای آهن، Arg: آرژیلیک، Fe-oxide: اپیدوت، Chl: کلریت) نشانه‌های اختصاری کانی‌شناسی برگرفته از مرجع [۳۵] هستند.

جدول ۱ نتایج XRD برخی نمونه‌های کانسار آق دره.

کانی‌ها	دگرسانی	شماره نمونه
کوارتز+کالکوپیریت+آلونیت+موسکوویت+پیریت	سریسیتی - آرژیلیک	AG-۰۶
کوارتز+همانیت+اورتوکلاز+کائولینیت	آرژیلیک	AG-۱۲
کوارتز+آلونیت+ایلیت+کلسیت	پروپلیتیک	AG-۱۵
کوارتز+کلینوکلاز+آلونیت+موسکوویت+آناتاز+پیریت	آرژیلیک - آلونیتی	AG-۱۶
کوارتز+کلینوکلاز+آلونیت+موسکوویت+پیریت	آرژیلیک - آلونیتی	AG-۲۰
کوارتز+کالکوپیریت+پیریت	سریسیتی	AG-۲۴
کوارتز+موسکوویت+کائولینیت	سیلیسی	AG-۴۲
کوارتز+روتیل	سیلیسی	AG-۴۴
کوارتز+مالاکیت+بیبویت	سیلیسی	AG-۴۷
کوارتز+پیریت+اورتوکلاز+موسکوویت+ایلیت	سیلیسی	AG-۵۷
کوارتز+پیریت+موسکوویت+ایلیت	سیلیسی - آرژیلیک	AG-۵۸
کوارتز+موسکوویت+ایلیت	آرژیلیک	AG-۵۹
کوارتز+آلونیت+موسکوویت	آلونیتی	AG-۶۲

دگرسانی سیلیسی منطقه و در مرز بین آن با دگرسانی آرژیلیک بخش محدودی با دگرسانی آرژیلیک پیشرفت و وجود دارد که تفکیک آن‌ها از هم دشوار است. همچنین، رخمنوهای متعددی از کائولن در منطقه دیده شده است. بر

دگرسانی آرژیلیک به همراه دگرسانی آلونیتی در مرکز، شرق و جنوب منطقه گسترش یافته و از دگرسانی‌های گرمابی است. این دگرسانی‌ها در پهنه‌های گسلی توفهای ائوسن ایجاد شده و با عوامل ساختاری کنترل شده‌اند [۳۴]. در لبه

بررسی‌های کانی‌سازی و کانی‌شناسی
کانی‌سازی اصلی در منطقه به صورت رگه‌هایی در شکستگی به نسبت قائم با راستای شمالی-جنوبی رخ داده است. این رگه‌ها بیشتر سیلیسی هستند و فضای خالی بسیاری از آن‌ها با کانی‌های سولفیدی پُر شده است. بافت پُرکننده فضای خالی از بافت‌های معمول کانی‌سازی فراگرمایی است [۴۰]. از نظر هندسی نیز، شکل رگه‌ای از شکل‌های کانسارهای فراگرمایی است [۴۱]. کانی‌سازی در کانسار مس آق‌دره شامل کانی‌های فلزی و غیرفلزی است که در دو مرحلهٔ درونزاد (اولیه) و برونزاد (ثانویه) شکل گرفته‌اند. در توالی همبرزایی، کانی‌سازی درونزاد خود به دو زیرمرحله قابل تفکیک است. کانی‌های اصلی کالکوپیریت و پیریت در هر دو زیرمرحله کانی‌سازی اولیه حضور دارند ولی کانی اصلی گالن و کانی‌های باطله باریت و کلسیت فقط در زیرمرحله دوم ایجاد شده‌اند. در کانی‌سازی برونزاد، کانی‌های اصلی ملاکیت، آزوریت و به مقدار کمتری گوتیت تشکیل شده‌اند. کانی کوارتز به عنوان باطله در همه مراحل کانی‌سازی گستردۀ شده‌است. کانی‌های اصلی کالکوپیریت و پیریت و کانی باطله کوارتز بیشترین فراوانی نسبی را دارند و کانی‌های باطله کلسیت و باریت با کمترین فراوانی نسبی بخشی از فرایند کانی‌سازی را همراهی کرده‌اند (شکل ۴).

اساس نتایج XRD (جدول ۱)، کانی‌های کوارتز، هماتیت، ارتوکلاز، کائولینیت، آلونیت، مسکویت و ایلیت در این پهنه حضور دارند که وجود آلونیت تاییدی بر دگرسانی آرژیلیک پیشرفت‌ه است [۳۸]. در مقطع میکروسکوپی، قالب‌های بر جامانده از پلازیوکلاز دگرسان شده که از نشانه‌های دگرسانی آرژیلیک هستند، با رگه‌های اکسید آهن قطع شده است (شکل ۳ پ).

دگرسانی پروپلیتیک: در گدازه‌های آندزیتی و آندزی بازالتی منطقه با رنگ سبز روشن تا تیره رخنمون داشته است. این دگرسانی بیشتر در بخش‌های بیرونی پهنه‌های کانه‌زایی منطقه گسترش یافته و محدود‌کننده مرزهای خارجی سامانه دگرسانی است. کلریت، اپیدوت و کلسیت از کانی‌های مشخصه آن هستند [۳۹]. فراوانی کلریت در نزدیکی رگه‌های سیلیسی منطقه کمتر بوده و با دور شدن از رگه‌ها، بر فراوانی آن افزوده شده که به تدریج جانشین پلازیوکلاز شده‌است. کانی کلسیت به عنوان یکی از کانی‌های اصلی دگرسانی پروپلیتیک در نتایج XRD سنگ دگرسان (جدول ۱) تشخیص داده شده است. در بررسی مقطع میکروسکوپی، کانی اصلی کلریت و کانی‌های فرعی کدر و اپیدوت در زمینه سیلیسی دیده شده‌اند (شکل ۳ ت).

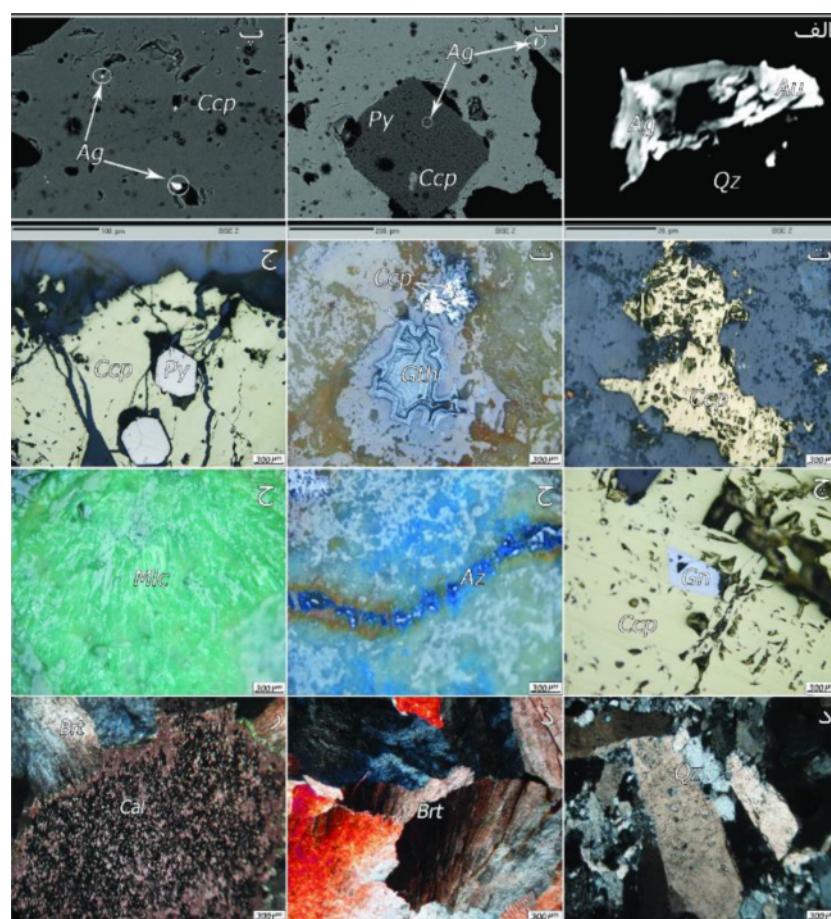
Mineralogy	Stages		Hypogene	Supergene
			Substage 1	Substage 2
Ore	Chalcopyrite			
	Pyrite			
	Galena			
	Malachite			
	Azurite			
	Goethite			
Gangue	Quartz			
	Barite			
	Calcite			

شکل ۴ توالی همبرزایی و فراوانی نسبی کانی‌های کانسار آق‌دره.

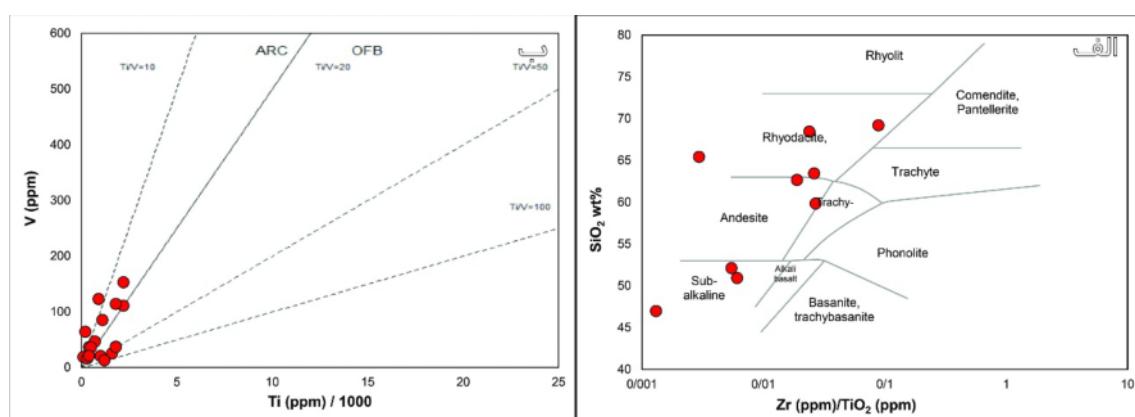
نسبت به دیگر کانی‌های مس‌دار، فراوانی کمتری داشته است (شکل ۵ج). مالاکیت به صورت پراکنده و یا رگه‌ای، به فراوانی در درون سنگ میزبان آن انباسته شده و بافت رشتی‌ای آن نشان‌دهنده تشکیل در دمای پایین است (شکل ۶خ). این کانی در اثر هوازدگی و آزاد شدن مس از ساختار کانی‌های مس‌دار اولیه تشکیل شده و دلیلی بر وجود پهنه برونزاد اکسیدی در منطقه بوده که باعث افزایش عیار مس شده است. گوتیت نیز در نتیجه اثر فرآیندهای اکسایش بر کانی‌های سولفیدی و تشکیل هیدروکسید آهن در لبه‌ها و راستای شکستگی‌های آن‌ها ایجاد شده است. اکسایش سولفیدها وابسته به بالاً‌مدگی سنگ‌ها، آب و هوا، ترکیب سنگ اولیه (به ویژه مقدار پیریت) و ساختار سنگ میزبان از نظر گسل‌خوردگی و شکستگی است. بالاً‌مدگی سنگ‌ها، به علت فرسایش یا زمین‌ساخت، سبب شده است تا پهنه‌های سولفیدی بخش زیرین در معرض واکنش با محلول‌های هوازده‌کننده اکسایشی قرار گیرند [۴۲]. در مقطع میکروسکوپی، کالکوپیریت دستخوش هوازدگی شده و در حال تجزیه‌شدن به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن بوده و گوتیت با بافت گل کلمی جانشین آن‌ها شده است (شکل ۵ث).

کانی‌های باطله منطقه شامل کوارتز، باریت و کلسیت هستند. اصلی‌ترین کانی باطله، کوارتز بوده که بر اساس اندازه بلورها، در دو دسته ریزبلور و درشت‌بلور تقسیم شده است [۴۳، ۴۴]. کوارتز به صورت نهان‌بلور تا بلورهای خودشکل و بسیار درشت روشن، سفید و یا خاکستری در رگه و رگچه‌های سیلیسی و سیمان گرمابی متبلور شده است (شکل‌های ۲ب، ۳ب و ۵د). بلورهای درشت کوارتز در مقطع میکروسکوپی بلورهای ریز آن را قطع کردند و دو نسل متفاوت سیلیسی‌شدن را نشان می‌دهند (شکل ۵ه). نسل اول کوارتز به صورت نهان‌بلور تا ریزبلور در زمینه سنگ کوچکتر از ۲۰ میکرون است (شکل ۲ب) و نسل دوم، به صورت بلورهای خودشکل و بسیار درشت در مرکز رگه‌های سیلیسی با اندازه بیش از ۳۰۰ میکرون متبلور شده‌اند (شکل‌های ۳ب و ۵د). باریت در مقطع میکروسکوپی به صورت کانی‌های ریز تا بسیار درشت و کشیده با بافت شعاعی، بادبزنی و پرمانند بلور یافته است (شکل ۵ذ). کلسیت در مقطع میکروسکوپی به دو صورت درشت‌بلور و توده های دانه‌ای، با بافت شکافه‌پُرکن، باریت را همراهی کرده است (شکل ۵ر). حضور کلسیت در سامانه‌های گرمابی به غلظت بالای CO_2 که برای انتقال طلا به صورت کمپلکس سولفیدی بسیار اهمیت دارد نسبت داده می‌شود [۵].

بر پایه نتایج بررسی‌های کانی‌شناسی شامل بررسی‌های میکروسکوپی مقاطع نازک، ریز پردازش الکترونی (EPMA) و پراش پرتو ایکس، کانه‌های سولفیدی، اکسیدی-هیدروکسیدی، کربناتی و سیلیکاتی در کانسار مس آق‌دره تشکیل شده‌اند. بر اساس تصاویر الکترونی پس پراکنده (BSE) و نتایج EPMA، طلا با اندازه ۲۰ میکرون و با ۵۹ درصد وزنی به صورت پُرکنده حفره‌ها و شکستگی‌ها در باطله سیلیسی و در کنار ذرات نقره تشکیل شده است (شکل ۵الف). نقره با ۸۶ تا ۹۱ درصد وزنی، افزون بر باطله سیلیسی، در ساختار کالکوپیریت و پیریت نیز دیده شده است (شکل‌های ۵ب و ۵پ). در مجموع، کانی‌های کالکوپیریت، پیریت و گالن، ذرات طلا و نقره را در باطله سیلیسی همراهی کرده‌اند. کالکوپیریت نخستین کانی سولفیدی تشکیل شده و مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی مس‌دار در کانسار مس آق‌دره است. این کانی اغلب با کانی‌های سولفیدی دیگر (پیریت و گالن) همراه بوده و در مقطع میکروسکوپی، با اندازه‌های مختلف از ۴۰ میکرون تا چند میلی‌متر به صورت لکه‌ای و پُرکنده فضای خالی در زمینه سیلیسی دیده شده‌است (شکل ۵ت). سیلیسی‌شدن سنگ میزبان، پیش و همزمان با تشکیل کانی‌ها، محیط مناسبی را برای فرایند جانشینی فراهم کرده و بخشی از کانی کالکوپیریت در اثر فرایندهای برونزاد، از لبه و یا مرکز، با مالاکیت، آزویریت و گوتیت جانشین شده است (شکل ۵ث). پیریت در دو نسل تشکیل شده‌است. نسل اول به صورت خودشکل و دارای لبه‌های کاملاً منظم بوده که با کالکوپیریت‌های با لبه نامنظم همراه هستند، ولی جوان‌تر از آن‌ها ارزیابی می‌شوند (شکل ۵ج). نسل دوم در تصاویر BSE میکروسکوب الکترونی و داده-های EPMA، دارای بلورهایی با اندازه ۲۰ تا ۳۰۰ میکرون، به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار هستند و کالکوپیریت را در برگرفته‌اند (شکل ۵ب). گالن به صورت پُرکنده فضای خالی و با شکستگی‌های مثلثی آشکار در سنگ میزبان آن شناسایی شده است. این کانی با فراوانی کم و اندازه ۵ تا ۱۰۰ میکرون با کالکوپیریت همراهی می‌شود ولی لبه آن از کالکوپیریت منظم‌تر بوده و پس از آن تشکیل شده است (شکل ۵چ). آزویریت و مالاکیت فراورده دگرسانی کالکوپیریت هستند که در اثر واکنش مس آزادشده با کمپلکس کربناتی موجود در محیط به صورت کربنات‌های مس آبدار نهشته شده و حفره‌ها و فضاهای خالی را پُر کرده‌اند. آزویریت با بافت شکافه‌پُرکن و رگچه‌ای و رنگ آبی لاچوردی در منطقه قابل تشخیص بوده و



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی BSE (الف تا پ) و تصاویر میکروسکوپی مقاطع نازک (ت تا ر) کانی‌سازی در کانسار آقدره: (الف) ذرات طلا و نقره در زمینه سیلیسی، (ب) ذرات نقره در بلور شکل‌دار پیریت به همراه کالکوپیریت، (پ) ذرات کوچک نقره در کالکوپیریت، (ت) کالکوپیریت لکه‌ای در فضای خالی سنگ میزبان سیلیسی، (ث) کانی گوتیت با بافت کلوفرم حاصل از تجزیه کالکوپیریت اولیه، (ج) پیریت خودشکل با حاشیه کاملاً منظم به صورت شکاف‌پرکن در کالکوپیریت، (چ) گالن شکاف‌پرکن با شکستگی مثلثی واضح همراه کالکوپیریت، (ح) آزوریت رگچه‌ای، (خ) مالاکیت رشت‌های، (د) بلورهای بسیار درشت کوارتز در رگه سیلیسی که بلورهای ریز را قطع کرده است، (ذ) بلورهای بسیار درشت باریت به شکل بادیزی، (ر) بلور درشت کلسیت در فضای بین کانی‌های باریت. (Au: طلا، Ag: نقره، QZ: کوارتز، Py: پیریت، Ccp: کالکوپیریت، Gth: گوتیت، Gn: گالن، Az: آزوریت، Mlc: مالاکیت، Brt: باریت، Cal: کلسیت) عالیم اختصاری کانی‌شناسی برگرفته از مرجع [۳۵].



شکل ۶ (الف) نمودار رده‌بندی سنگ‌های آذرین کانسار آقدره بر پایه درصد وزنی SiO_2 نسبت به مقادیر Zr/TiO_2 [۴۵]، (ب) نمودار تعیین سری ماقمایی سنگ‌های آذرین کانسار آقدره بر اساس مقادیر عنصر کمیاب V نسبت به Ti [۴۶]. (ARC: کمان‌های آتشفسانی و OFB: بازالت کف اقیانوسی).

زمین‌شیمی

تجزیه زمین‌شیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر ابزار توانمندی برای بررسی کانی‌سازی‌های با خاستگاه گرمابی است که به منظور تشخیص چگونگی شکل‌گیری و تعیین منبع سیال‌های کانسارساز در محیط‌های مختلف زمین‌شناسی انجام می‌شود [۴۷]. در بررسی‌های زمین‌شیمیایی، چگونگی پراکندگی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در واحدهای سنگی مختلف و رگه‌های کانی‌سازی و همچنین ارتباط و همبستگی این عناصر مد نظر است. با این روابط می‌توان تا حدی به محیط و فرآیندهای موثر در تشکیل کانسارها پی برد [۴۸]. برای تعیین به ویژگی‌های زمین‌شیمیایی کانسار آقدره، از رخمنون‌های سطحی و ترانشه‌ها نمونه‌برداری شده و رفتار ICP-MS و XRF و عنصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر بر پایه برای نمونه‌هایی از کانسنگ با کمترین هوازدگی بررسی شد. نتایج تجزیه‌ها در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

چنانکه در جدول ۲ دیده می‌شود، مقدار SiO_2 سنگ‌های

آتشفشاری منطقه ۴۶/۹۸ تا ۷۸/۰۲ درصد وزنی است. مقدار Al_2O_3 و K_2O این سنگ‌ها نیز در حد متوسط و به ترتیب بین ۲/۶۱ تا ۳۲/۱۲ و ۰/۱۹ تا ۵/۳۹ درصد وزنی است. CuO و Fe_2O_3 به ترتیب مقادیری کمتر از ۰/۰۱ تا ۱۲/۳۹ درصد وزنی و بین ۱/۴۴ تا ۱۶/۵۲ درصد وزنی را دارند (جدول ۲).

مقادیر مس از ۳۲/۵۱ تا ۸۴۲۷۰ گرم در تن متغیر بوده (جدول ۳) که بیشتر مربوط به حضور کانی‌های اولیه مس‌دار مانند کالکوپیریت و کمتر، کانی‌های ثانویه مس‌دار مانند مالاکیت و آزوپریت است. مقدار نقره که به صورت آزاد و در ساختار گالن، کالکوپیریت و پیریت تمرکز داشته و با درنظر گرفتن شعاع یونی، امکان جانشینی با سرب را دارد ۱ تا ۲۸/۷۴ گرم در تن اندازه گیری شده است. نتایج نشان داد که مقدار سرب و روی به ترتیب ۱۰/۶۳ تا ۳۵۸۸ گرم در تن و ۱۵/۰۲ تا ۴۷۳/۳۰ گرم در تن است (جدول ۳). مقادیر بالای سرب با کانی گالن در ارتباط بوده و مقادیر روی به انباست اکسیدهای روی و به ندرت کانی‌های اولیه آن مانند اسفالریت وابسته بوده است.

جدول ۲ نتایج تجزیه طیف‌سنجی فلئورسانس پرتو ایکس (Nd: زیر حد تشخیص دستگاه ، DL: حد تشخیص).

															شماره نمونه
۱/۶۴	۰/۵۱	Nd	Nd	۰/۴۷۲	Nd	۰/۳/۳۱	Nd	Nd	۰/۱۶	۰/۹/۲۷	۷۸/۰۲	AG-۰۶			
Nd	۱/۰۹	Nd	Nd	۰/۴۳	Nd	۱۶/۵۲	۰/۴۷	Nd	۰/۱۸	۳۲/۱۲	۴۶/۹۸	AG-۱۲			
۰/۱۷	۱/۳۷	Nd	Nd	۰/۲/۳۳	Nd	۰/۲۵۸	۰/۴۱	Nd	۰/۱۴	۲۴/۶۶	۶۵/۴۳	AG-۱۵			
۰/۶۵	۱/۹۸	Nd	Nd	۰/۱/۷۵	Nd	۰/۹/۲۱	۰/۶۱	۱/۷۵	۰/۱۰	۲۹/۱۹	۵۰/۹۳	AG-۱۶			
۰/۶۴	۱/۸۰	Nd	Nd	۰/۲/۲۳	Nd	۰/۷/۶۳	۰/۶۱	۱/۷۱	Nd	۲۹/۷۳	۵۲/۱۰	AG-۲۰			
۱۲/۳۹	۰/۱۹	Nd	Nd	۲۱/۶۳	Nd	۱۲/۸۷	Nd	Nd	۰/۲/۶۱	۴۹/۲۳	AG-۲۴				
۳/۴۲	۱/۳۶	Nd	Nd	۰/۰۵۶	Nd	۰/۴/۳۱	Nd	Nd	۰/۱۶	۱۹/۰۸	۶۹/۱۹	AG-۴۲			
۲/۰۷	۰/۴۶	Nd	Nd	۰/۰۲۲	Nd	۰/۷/۳۰	Nd	Nd	۰/۰۴۲	۰/۸/۶۶	۷۷/۰۶	AG-۴۴			
۵/۹۶	۰/۶۰	Nd	Nd	۰/۰۱۷	Nd	۰/۶/۵۲	Nd	Nd	۰/۰۵۴	۱۱/۱۳	۷۲/۶۲	AG-۴۷			
Nd	۵/۵۸	Nd	Nd	۰/۰۲/۲۷	Nd	۰/۰۲/۵۰	۰/۰۳۰	۰/۰/۷۰	Nd	۲۱/۸۴	۶۳/۴۴	AG-۵۷			
Nd	۴/۹۰	Nd	۰/۰۱۵	۰/۰۲/۶۷	Nd	۰/۰۳/۲۸	۰/۰۳۶	۰/۰/۹۲	Nd	۲۵/۸۶	۵۹/۸۳	AG-۵۸			
Nd	۳/۶۱	Nd	Nd	۰/۰۱۹	Nd	۱/۰۴	۰/۰۳۸	۰/۰/۸۴	۰/۰/۲۰	۲۲/۱۴	۶۸/۴۴	AG-۵۹			
Nd	۵/۳۹	Nd	۰/۰۱۷	۰/۰۴/۲۷	Nd	۱/۰۴۴	۰/۰۳۴	Nd	۰/۰۱۴	۲۲/۷۲	۶۲/۶۶	AG-۶۲			
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	DL%			

جدول ۳ یافته های طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (Nd : زیر حد تشخیص دستگاه ، DL : حد تشخیص)

Nb	U	Th	Ba	Rb	Cs	Cd	Fe	Bi	As	Sb	Zn	Pb	Cu	Ag	شماره نمونه
۱۴,۸	۲,۲۸	۱,۲۲	۱,۱۲	۴۹,۹۵	۱۳	Nd	۰,۱	۲,۴۸	۲,۳۳	۵,۰۶	۳۳,۸۱	۱۰۲	۱۲۶۷۰	۱۴,۸	AG-۰۶
۱,۴۵	۳,۶۶	Nd	Nd	۲۱۹,۳	۱۵,۴۷	Nd	Nd	۸,۶۸	Nd	۲۱,۴۱	۳۹,۹۵	۵۸,۳۴	۸۴۴,۲	۱,۴۵	AG-۱۲
۲,۴۵	۲,۷۳	۱,۱۳	Nd	۲۲,۹	۱۷,۲۵	۲	Nd	۱,۶	Nd	۸,۲۳	۳۶,۸۸	۱۳۳,۹	۱۴۳۰	۲,۴۵	AG-۱۵
۴,۶۱	۶,۲۸	۲,۳۶	Nd	۳۹,۸۸	۸,۲۱	۲,۱۶	۰,۱۵	۴,۵۶	Nd	۵,۲۴	۱۲۳,۱	۱۱۱	۵۷۳۷	۴,۶۱	AG-۱۶
۳,۴۵	۵,۲۴	۲,۲۱	Nd	۵۶,۱۶	۱۷,۹۱	۲,۵۷	۰,۱۶	۴,۰۷	Nd	۶,۷۳	۱۱۰	۱۱۲,۶	۴۰,۵۳	۳,۴۵	AG-۲۰
۲۵,۰۱	Nd	Nd	Nd	۱۱,۴۷	۴,۴۸	Nd	۰,۴۹	۹,۶۱	۵,۲۷	۳,۷۸	۲۶,۶۹	۲۳۹,۷	۸۴۲۷۰	۲۵,۰۱	AG-۲۴
۶,۰۳	۷,۶۶	۲,۰۸	۲,۹۳	۱۱۵,۷	۲۴,۳	۴,۰۲	۰,۱	۱,۹۵	۱	۱	۳۵	۲۱۸,۶	۱۱۵۲۸	۶,۰۳	AG-۲۶
۲۴,۱۳	۲,۹۲	۳,۸۱	۱,۳۹	۵۱,۰۲	۲۷,۹۷	۱,۶	۳,۴۱	۲,۷۲	۶,۵۳	۲۰,۸۳	۳۰,۹,۲	۵۷۲,۸	۱۷۰۸۰	۲۴,۱۳	AG-۴۲
۲۸,۷۴	۳,۴۴	۵,۲۶	۲,۷۵	۷۹,۷۵	۴,۰۴	Nd	۳,۶۲	۳,۳۴	۱۸,۲	۲۴,۵	۴۷۳,۳	۳۵۸۸	۱۰,۷۹۰	۲۸,۷۴	AG-۴۴
۳,۱۳	۱۲,۷۳	۲,۷۹	۱,۶۳	۱۳۵,۳	۱۷,۷۵	۱	۰,۳۱	۳,۱۷	۴,۷۶	۲,۲۴	۳۶۱	۲۰,۲۹	۶۷۰,۱,۵	۳,۱۳	AG-۴۶
۲۵,۴۱	۱,۷	۳,۶	Nd	۳۹,۹۷	۱۱,۸۹	Nd	۰,۹۷	۳,۷۱	۱۱,۷	۲۱,۹۲	۲۴۵۳	۳۲۷,۴	۲۸۴۹۰	۲۵,۴۱	AG-۴۷
۱,۴۹	۲۶,۹۵	۱,۴۵	۲,۲۶	۹۶,۴۹	۵,۰۳	۱	۰,۱	۰,۵۶	۱	۱	۴۳,۹	۲۹,۲۹	۱۱۰,۸۵	۱,۴۹	AG-۵۱
Nd	۱۳,۳۹	۱,۹۲	۲,۷۴	۳۱۶,۲	۱۳۱,۷	۱,۷۷	Nd	۱,۸۴	Nd	۱۲,۹	۱۹,۷۵	۱۸,۶۴	۳۵۴,۶	Nd	AG-۵۷
Nd	۱۱,۷۵	۳,۸۷	۱,۶۲	۱۴۶	۶۵,۳۳	۱,۹۴	Nd	۲,۶۷	Nd	۲۷,۵۶	۲۲,۶۵	۱۰,۶۳	۵,۰۶	Nd	AG-۵۸
۱,۰۹	۹	۱,۵۳	۲,۷۷	۶۹,۸۵	۶۳,۵۹	۲,۶۷	Nd	۰,۹۲	Nd	۱۱,۴۷	۳۱,۰,۷	۴۱,۴۳	۶۳۵,۶	۱,۰۹	AG-۵۹
Nd	۸,۹۸	۱,۰۹	۱,۹۵	۱۸۸,۹	۵۲,۹۴	Nd	Nd	۰,۵۴	Nd	۳۸,۰۳	۱۵,۰۲	۱۵,۰۷	۱۳۰,۲	Nd	AG-۶۲
۱	۴,۷	Nd	Nd	۱۶,۷۵	۱۰,۳۴	۱	۰,۱	۰,۱	۱	۱,۳۷	۱۹,۸۱	۱۶,۳۷	۳۲,۵۱	۱	AG-۶۵
۱ppm	۱ppm	۱ppm	۱ppm	۱ppm	۱ppm	۱ppm	۰,۰۱	۰,۰۱ppm	۱ppm	۱ppm	۱ppm	۱ppm	۱ppm	۱ppm	DL
Lu	Yb	Y	Dy	Ti	Eu	Sm	Zr	Nd	P	Sr	Pr	Ce	La	K	شماره نمونه
Nd	۱,۳۱	۱,۰۳	۲,۱	۰,۰۷	Nd	۱,۳۳	Nd	۶,۳۲	۰,۰۳	۲۴,۶۷	۱,۲۲	۲۲,۵۱	۸,۹۶	۰,۵۱	AG-۰۶
Nd	Nd	Nd	Nd	۰,۲۲	Nd	Nd	۶,۱۳	Nd	۰,۰۳	۲۹,۳۴	Nd	۰,۷۷	Nd	۱,۰۴	AG-۱۲
Nd	Nd	Nd	Nd	۰,۱۱	Nd	Nd	۱۲,۱	Nd	۰,۰۲	۱۸,۱۴	Nd	۱۱,۳۴	Nd	۰,۹۲	AG-۱۵
Nd	Nd	Nd	Nd	۰,۰۲	Nd	Nd	۳۷,۱	Nd	۰,۰۲	۲۷,۹۳	Nd	۰,۵۹	Nd	۱,۱۱	AG-۱۶
Nd	Nd	Nd	Nd	۰,۰۱۸	Nd	Nd	۳۳,۳	۱,۰۶	۰,۰۲	۴۷,۶۸	Nd	۱۹,۷۲	Nd	۱,۱۹	AG-۲۰
Nd	Nd	۴,۱۹	۱,۰۸	۰,۰۱	Nd	۲,۵۷	Nd	۱۲,۲	۰,۱۱	۱۰	۲,۳۹	۲۲,۸۱	۱۳,۵	۰,۱۲	AG-۲۴
Nd	Nd	۱,۱۴	۰,۰۹	Nd	۳,۴۶	۷,۱۷	۱۷,۲	۰,۰۶	۸,۹,۴۹	۳,۱۶	۲۴,۲۵	۱۰,۷	۲,۷۹	AG-۲۶	
Nd	Nd	۷,۹۶	Nd	۰,۰۴	Nd	۱,۶۱	۸,۸۷	۹	۰,۰۴	۲۵,۶۶	۱,۹۹	۵۷,۰,۵	۹,۷۷	۰,۹۵	AG-۴۲
Nd	۱,۱۶	۱,۰۴	۱,۸۷	۰,۰۳	Nd	۲,۸۸	Nd	۱۶,۴	۰,۰۴	۳۵,۸۳	۳,۹۳	۶۰,۶۹	۲۴,۸	۰,۱	AG-۴۴
Nd	Nd	۱,۰۴	۰,۰۴	Nd	۱,۵	۸,۹۸	۱۴,۷	۰,۰۲	۲۴,۶۵	۲,۵۵	۲۹,۰۸	۱۴,۸	۱,۲۵	AG-۴۶	
Nd	Nd	۷,۶۸	۱,۰۵	۰,۰۵	Nd	Nd	Nd	۴,۷۹	۰,۰۵	۱۲,۲۴	۱,۰۸	۱۲,۹۴	۷,۱۱	۰,۳	AG-۴۷
Nd	Nd	Nd	۱	۰,۱۲	Nd	۱,۰۲	۱۱,۲	۷,۲	۰,۰۱	۲۴,۶۱	۱	۹,۸۳	۶,۹۳	۰,۱	AG-۵۱
Nd	Nd	۳,۱۶	Nd	۰,۱۶	Nd	Nd	۷۸,۶	۴,۸۲	۰,۰۳	۱۹,۸,۷	۱,۰۱	۲۹,۸۶	۴,۷۱	۴,۶۴	AG-۵۷
Nd	Nd	۲,۴۲	Nd	۰,۱۸	Nd	Nd	۹۷	۳,۱۲	۰,۰۵	۵۳۴,۲	Nd	۳۸,۱۹	۲,۹۸	۲,۷۲	AG-۵۸
Nd	Nd	۲,۹۶	Nd	۰,۱	Nd	Nd	۹۱	۴,۵۲	۰,۰۳	۳۰,۸,۳	۱	۴۶,۴۸	۴,۶	۳,۱۳	AG-۵۹
Nd	Nd	۱,۰۵	Nd	۰,۱۸	Nd	Nd	۶۶,۴	۱,۲۴	۰,۰۵	۴۰,۱,۹	Nd	۱,۹۱	۱,۱۶	۳,۰۷	AG-۶۲
Nd	Nd	Nd	۱	۰,۰۲	Nd	۱,۱۷	۲,۱۲	۲,۶۳	۰,۰۳	۱۷۱,۳	۱	۱	۱,۵۱	۸,۰۵	AG-۶۵
۱ppm	۱ppm	۱ppm	۱ppm	۰,۰۰۱	۱ppm	۱ppm	۰,۰۰۰	۱ppm	۰,۰۰۱	۱ppm	۱ppm	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	DL	

ارتباط معنادار در سطح ۰/۰۵ بوده‌اند. آرسنیک همبستگی معناداری با سایر عناصر کانه‌ساز ندارد و کانسارهای فلزی منطقه وابسته به آرسنیک نیستند (جدول ۴ و شکل ۷ الف). در مرحله دوم برای شناسایی ارتباط زایشی عناصر کانه‌ساز و تعیین ملاکی برای رده‌بندی آن‌ها بر اساس تشابه درون-گروهی و اختلاف بین‌گروهی، از روش آماری ارتباط چند-متغیره‌ی تجزیه خوشه‌ای با اساس از روش خوشه‌بندی وارد استفاده شد. بر پایه نمودار درختی تجزیه خوشه‌ای (شکل ۷ ب)، عناصر مورد بررسی در ۵ خوشه قرار دارند. خوشه نخست شامل Sb، خوشه دوم Cu و Fe، خوشه سوم شامل As و Zn و خوشه چهارم شامل Ag، Bi و Cd و خوشه پنجم شامل Pb است. هم‌گروهی عناصر خوشه‌های دوم، چهارم و پنجم با همبستگی معنادار جفت عناصر در ماتریس همبستگی پیرسون همخوانی دارد. قرارگیری آرسنیک به تنها‌ی در خوشه سوم، نبود وابستگی معنادار آن با سایر عناصر کانه‌ساز منطقه را تایید می‌کند. نتایج تحلیل خوشه‌ای و انطباق آن با همبستگی عناصر، می‌تواند نشان‌دهنده هم خاستگاه بودن عناصر یک گروه باشد و به عنوان ردیاب و معرف کانی‌سازی استفاده شود، به طوری که تشابه خاستگاه و همبستگی عناصر مس و آهن با همیزایی کانی‌های کالکوپیریت و پیریت توجیه‌پذیر است. حضور سرب و همبستگی و ارتباط زایشی آن با عنصر روی را می‌توان با وجود کانی گالن در منطقه در ارتباط داشت.

در نمودار درصد وزنی SiO_2 نسبت به Zr/TiO_2 [۴۷] برای رده‌بندی ژئوشیمیایی، نمونه‌ها در گستره بازالت‌های نیمه قلیایی، آندزیت، ریوداسیت و داسیت قرار دارند (شکل ۶ الف). تمایل ترکیب بخشی از سنگ‌ها به سمت ریوداسیت و داسیت به دلیل بالا بودن مقدار سیلیس در سنگ‌ها یا اسیدی بودن شیشه‌ی موجود در زمینه‌ی آن‌هاست [۴۹]. پهنه‌ی زمین‌ساختی سنگ‌های آتش‌فشاری بر پایه نمودار Ti نسبت به V [۴۶]، شناسایی شدند. به دلیل بی‌تحرکی عناصر V و Ti از نظر زمین‌شیمیایی در سنگ‌های دگرسان، از آن‌ها برای این منظور استفاده شده است [۴۶]. بر این اساس، نمونه‌های سنگی کانسار آق‌دره در بیشتر در گستره کمان ماقمایی قرار دارند (شکل ۶ ب).

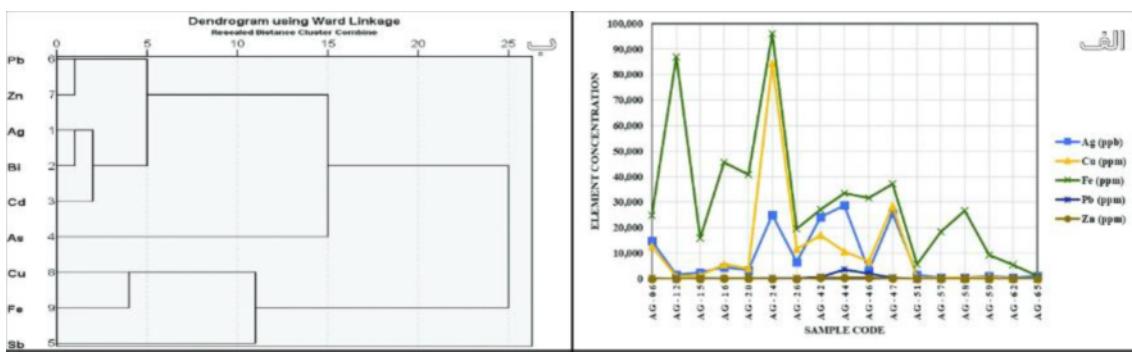
مقدادر ۹ عنصر کانه‌ساز براساس داده‌های ICP-MS (جدول ۳) با نرمافزار SPSS تجزیه و تحلیل آماری شدند. در مرحله نخست با استفاده از ماتریس همبستگی پیرسون، همبستگی آماری بین متغیرهای کانه‌ساز منطقه با هم محاسبه شد. بر این اساس، جفت عناصر سرب - روی (۰/۸۷)، نقره - بیسموت (۰/۸۵)، روی - بیسموت (۰/۸۳)، کادمیم - بیسموت (۰/۸۱)، سرب - بیسموت (۰/۸۰)، روی - کادمیم (۰/۸۰)، نقره - کادمیم (۰/۷۶)، سرب - کادمیم (۰/۶۹)، مس - نقره (۰/۶۷) و مس - آهن (۰/۶۵) دارای ارتباط معنادار در سطح ۰/۰۱ و زوج عناصر نقره - روی (۰/۰۶۱) و نقره - سرب (۰/۰۴۹) دارای

جدول ۴ ضرایب همبستگی پیرسون برای ۹ عنصر شاخص کانه‌ساز در کانسار آق‌دره.

Cd	Fe	Bi	As	Sb	Zn	Pb	Cu	Ag	
								۱	Ag
							۱	**۰/۶۷۱	Cu
						۱	۰/۰۴۴	*۰/۴۸۷	Pb
						**۰/۸۷۱	۰/۰۶۳	*۰/۶۰۵	Zn
					۱	۰/۰۱۸-	۰/۰۹۰	۰/۴۴۲	۰/۴۷۴
			۱	۰/۲۳۹-	۰/۱۷۸	۰/۱۳۶	۰/۱۵۲-	۰/۱۵۱	As
		۱	۰/۲۸۴	۰/۲۳۴	**۰/۸۳۲	**۰/۸۰۲	۰/۳۴۵	**۰/۸۴۶	Bi
۱	۰/۱۷۵	۰/۰۰۴-	۰/۱۰۵	۰/۰۷۵	۰/۰۶۲	**۰/۶۴۹	۰/۳۴۷		Fe
۱	۰/۰۶۳	**۰/۸۱۰	۰/۳۴۳	۰/۱۱۴	**۰/۸۰۱	**۰/۶۸۷	۰/۱۷۷	**۰/۷۶۱	Cd

× تطابق قابل توجه با سطح معناداری ۰/۰۵

×× تطابق قابل توجه با سطح معناداری ۰/۰۱



شکل ۷ نمودارهای زمین‌شیمی کانسار آق دره: (الف) نمودار همروندی عناصر کانه‌ساز مس، سرب، روی، نقره در رگه‌های کوارتز - سولفیدی و (ب) نمودار درختی تجزیه خوشای ۹ عنصر شاخص کانه‌ساز با استفاده از روش ورد در نرم افزار SPSS.

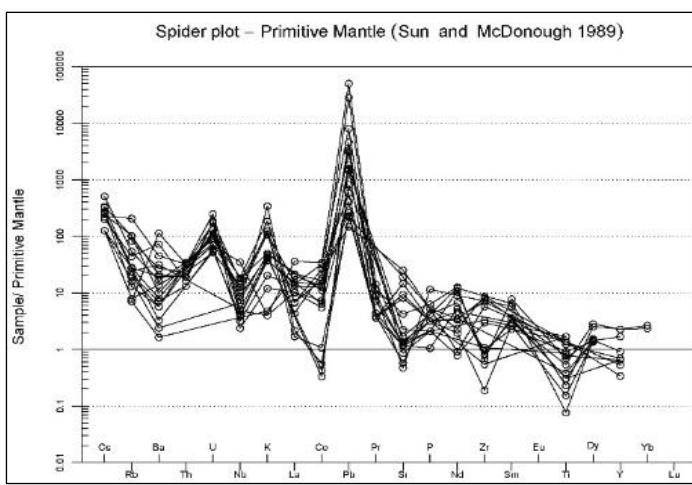
از فرایند تبلور جدایشی کانی پلاژیوکلاز [۵۴] و شسته شدن Ca در سنگ‌های دگرسان منطقه باشد. تهی‌شدگی Nb و Ti می‌تواند دلیل فعالیت ماقمایی وابسته به ناحیه فرورانش [۵۵، ۵۶]. اثر پوسته قاره‌ای در فرایندهای ماقمایی [۵۷، ۵۸]، مقادیر پایین این عناصر در خاستگاه [۵۹] و پایداری فازهای دارای این عناصر در فرایند ذوب بخشی و یا جدایش آن‌ها طی فرایند جدایش ماقمایی [۵۹] باشد. افت نسبی این عناصر در سنگ‌های آتشفسانی منطقه بیانگر اثر پوسته قاره‌ای در فرایندهای ماقمایی و تشکیل واحدهای سنگی منطقه است و ویژگی‌های کمان‌های ماقمایی کرانه قاره‌ای را نشان می‌دهد [۶۰]. تهی‌شدگی Nb با الگوی عناصر کمیاب توده‌های آذرین کمان قاره‌ای و شاخص ماقمایی آهکی- قلیایی همخوانی دارد [۴۵]. این الگوی نسبی در سنگ‌های دگرسان منطقه نیز دیده شده است (شکل ۸). تهی‌شدگی Nb به همراه غنی‌شدگی Pb نشانه‌ای از ماقمایی آتشفسانی جزایر کمانی و ماقمایی برآمده از پوسته قاره‌ای است [۵۳]. در مجموع، ماقمایی اولیه سنگ‌های منطقه به احتمال بسیار در ارتباط با یک محیط فرورانشی بوده که سپس با پوسته قاره‌ای آلایش یافته و سنگ‌های آذرین با رده‌بندی آهکی قلیایی را تشکیل داده است.

بررسی میانبارهای سیال

بررسی میانبارهای سیال از راههای شناسایی خاستگاه [۶۱] و روشی دقیق و مستقیم برای براورد دمای تشكیل کانسار بوده [۶۲] و اطلاعات مفیدی پیرامون روابط سیال‌ها با کانی‌زایی ارائه می‌دهد [۶۳، ۶۴]. میانبارهای سیال برای ریزدماسنجی، تعیین نوع نمک‌ها و مقدار شوری محلول کانه‌دار در کانسارهای مختلف بررسی می‌شوند. البته، نخست نیاز به سنگنکاری و بررسی‌های دقیق هم‌برزایی است و باید کانی‌هایی انتخاب شوند که تشکیل آن‌ها از محلول کانه‌دار تایید شده باشد [۴۲].

برای تعیین روند تغییر عناصر کمیاب، مقادیر آن‌ها در ۱۷ نمونه (جدول ۳) بر پایه ازدادهای مرجع [۵۰] با استفاده از نرم‌افزار GCDKit به مقادیر گوشه‌ای اولیه بهنجار شد. نمودار عنکبوتی چندعنصری این نمونه‌ها غنی‌شدگی نسبی عناصر سنگ‌دوست بزرگ‌یون و عناصر خاکی نادر سبک مانند K، Rb، Cs، Pb، La، Ba، Ce و تا حدی Zr، Nb، Ti و P را نشان داد (شکل ۸). شدت میدان بالا مانند HFSE و LREE و بی‌هنجری منفی بی‌هنجری مثبت LILE و LREE از ویژگی‌های بارز کمان‌های ماقمایی و فعالیت ماقمایی وابسته با منطقه فرورانش و نشان‌دهنده سیال‌هایی با خاستگاه سنگ‌کره‌ی فرورانده بر غنی‌سازی این عناصر در ماقماست [۵۱، ۵۲].

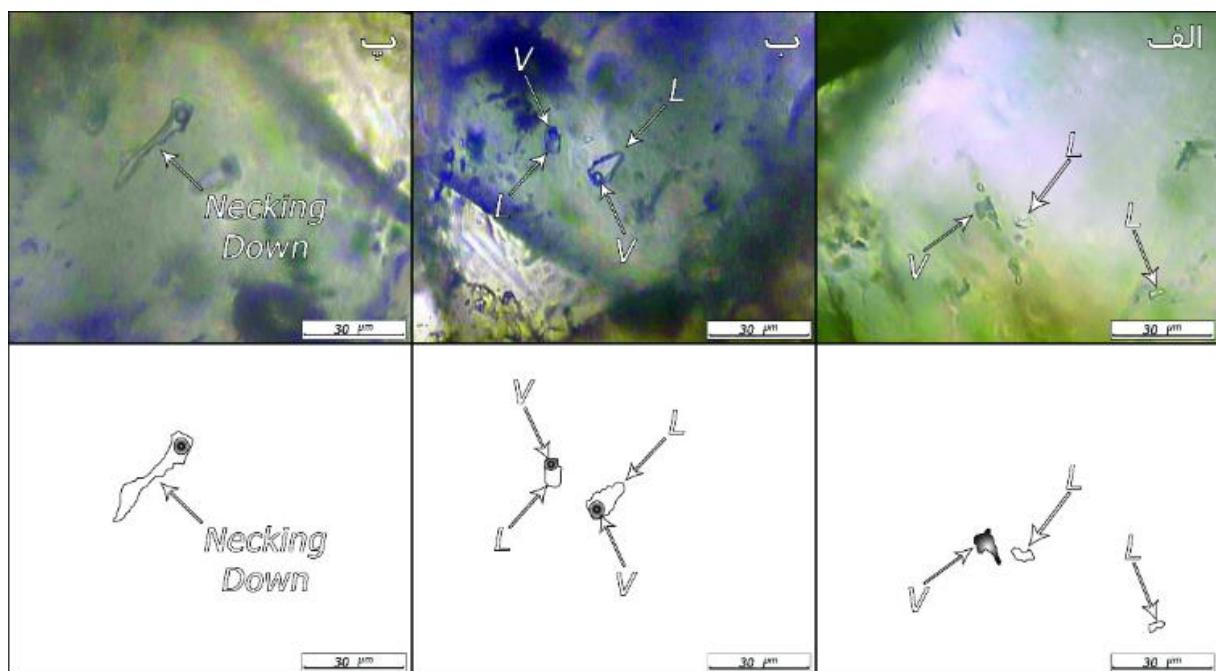
افزایش عنصر K می‌تواند به دلیل ورود آن به شبکه کانی‌هایی مانند فلدسپار قلیایی در مراحل پایانی جدایش ماقمایی در سنگ‌های اسیدی و یا وارد شدن آن در ساختار سریسیت و ایلیت در سنگ‌های دگرسان منطقه باشد (جدول ۱). افزایش عنصر Ba در بیشتر نمونه‌ها دیده می‌شود که با توجه به اندازه یونی مشابه و بار یونی بیشتر، امکان اسیر شدن آن توسط عنصر K در ساختار فلدسپار قلیایی و بیوپیت وجود دارد و می‌تواند در پلاژیوکلاز پذیرفته شود. فراوانی این دو عنصر بیانگر نقش پوسته قاره‌ای در تشکیل ماقمایی مولد است [۴۵]. این فراوانی نسبی در واحدهای سنگی منطقه حفظ شده است (شکل ۸). غنی‌شدگی بالای عنصر Pb به دلیل زایش گالن در کانی‌سازی درونزاد و حضور عنصر Pb در ساختار سولفید سرب است. بی‌هنجری مثبت Pb در سنگ‌های منطقه می‌تواند با دگرنهادی گوشه‌ای توسط سیال‌های ناشی از پوسته اقیانوسی فرورونده و یا آلایش ماقما با سنگ‌های پوسته قاره‌ای ارتباط داشته باشد [۵۳]. تهی‌شدگی Sr می‌تواند ناشی



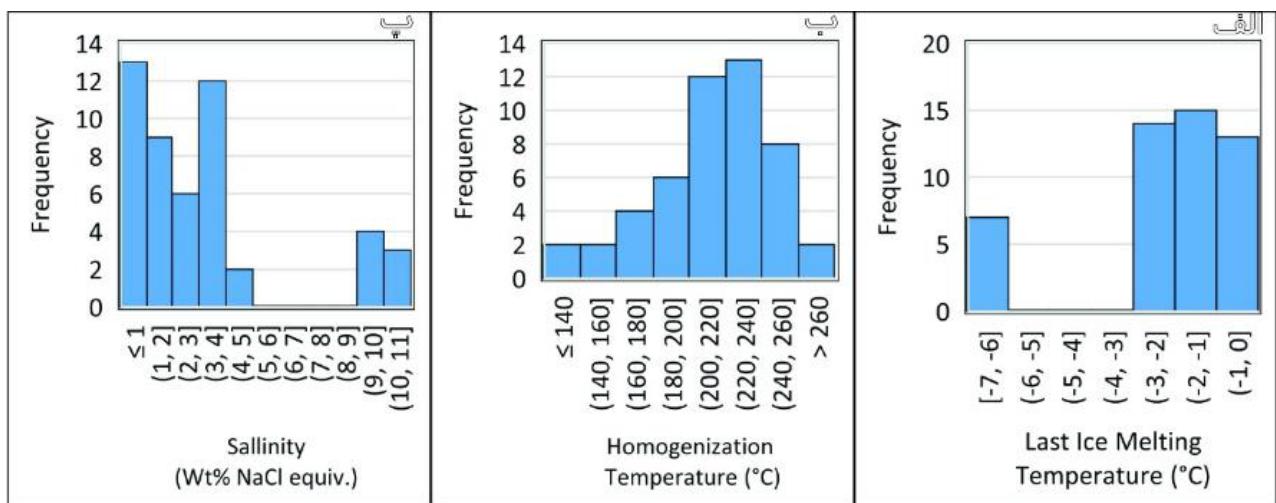
شکل ۸ نمودار عنکبوتوی مقادیر عناصر کمیاب بهنجار شده به گوشه‌های اولیه [۵۰] برای نمونه‌های کانسار مس آق دره

ریزدماسنجری: در بررسی‌های ریزدماسنجری، نخست انجام دو سپس گرمایش بر ۴۹ میانبار دوفازی غنی از مایع انجام شد. میانبارهای ثانویه کاذب هرچند، ترکیب شیمیایی و ریزدماسنجری مشابه میانبارهای اولیه از خود نشان می‌دهند [۶۸]. ولی بدلیل اندازه بسیار کوچک، بررسی نشدن. میانبارهای سیال برای انجاماد کامل تا ۱۰۵- درجه سانتی‌گراد سرد شدن و سپس با گرمایش تدریجی، به ترتیب نخستین دمای ذوب‌شدگی یا نقطه همگذاری (T_e)، دمای ذوب آخرین بلور یخ (T_m) و دمای همگن‌شدگی (T_h) در آن‌ها اندازه‌گیری شد. نقطه همگذاری، رابطه مستیمی با ترکیب نمک موجود در میانبارهای سیال دارد [۶۳] و برای سامانه H_2O -NaCl حدود ۲۰.۸- درجه سانتی‌گراد است [۶۹، ۷۰]. این دما در میانبارهای کانسار آق دره حدود ۲۱- درجه سانتی‌گراد بوده و بنابراین بسته‌شدن میانبارهای سیال در یک سامانه گرمابی- H_2O ممکن است. دمای ذوب آخرین بلور یخ بین ۷- تا ۰.۴- درجه سانتی‌گراد، با بیشترین فراوانی در گستره ۱- تا ۲- درجه سانتی‌گراد، با بیشترین فراوانی در گستره ۱۰- تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد، با بیشترین فراوانی در گستره ۲۰۰- تا ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (شکل ۱۰ ب). مقدار شوری بر اساس دمای ذوب آخرین بلور یخ و از رابطه مراجع [۷۱، ۷۲]، بین ۰.۷- تا ۱۱ درصد وزنی NaCl محاسبه شد (شکل ۱۰ پ). ناپیوستگی در نمودار فراوانی شوری می‌تواند به دلیل محدودیت در تعداد داده‌ها یا اثر دو گونه سیال در منطقه باشد.

سنگنگاری: برای انتخاب نمونه‌های مناسب ریزدماسنجری، مقاطع دوبر صیقلی از رگه‌های کوارتز کانه‌دار منطقه که مهم‌ترین هم‌بین کانی‌زایی و وابسته به سیال کانه‌ساز است، تهیه و سنگنگاری شد. بر اساس رده‌بندی مرجع [۶۳، ۶۵-۶۳]، میانبارهای سیال مقاطع مورد بررسی، از نوع تک‌فازی مایع (L؛ شکل ۹ الف)، تک‌فازی بخار (V؛ شکل ۹ ب) هستند و دوفازی غنی از حضور فاز از مایع (L+V؛ شکل ۹ ب) هستند و شواهدی از میانبارهای جامد (S) یا دی‌اکسید کربن مایع (L_{CO_2}) در میانبارها دیده نشد. فراوانی میانبارهای تک‌فازی مایع بیش از دو نوع دیگر است و بیشتر به صورت انباستی شناسایی شده‌اند. حضور میانبارهای تک‌فازی مایع، تک‌فازی بخار و دوفازی غنی از مایع در یک رخداد نشان‌دهنده جوشش و سرانجام کانی‌زایی است [۶۶]. در برخی از مقاطع، پدیده باریک‌شدگی دیده شد (شکل ۹ پ) که یک پدیده عمومی در محیط‌های گرمابی است [۶۷] به احتمال بسیار میانبارهای تک‌فازی مایع برآمده از آن بوده‌اند. تقسیم‌شدن میانبارهای بزرگ‌تر به اندازه‌های کوچک‌تر موجب تغییر در ترکیب تک‌تک آن‌ها در مقایسه با میانبار اولیه می‌شود [۳]. از این رو برای ریزدماسنجری و فشارسنجی از میانبارهای تک‌فازی مایع استفاده نشد. میانبارهای غنی از مایع بهترین نوع میانبارها برای ریزدماسنجری هستند. فراوانی این میانبارها به صورت منفرد و انباستی در مقاطع مورد بررسی مناسب بوده است. اندازه میانبارهای غنی از مایع بین ۵ تا ۳۶ میکرون متغیر است، اما اغلب کوچک‌تر از ۲۰ میکرون هستند (شکل ۹). میانبارها در مقاطع مورد بررسی به ترتیب فراوانی به شکل‌های نامنظم میله‌ای، پهن، کروی و بیضوی دیده شدند.



شکل ۹ تصاویر میکروسکوپی میانبارهای سیال در کانی کوارتز کانسار آقدره: الف) تکفازی مایع (L) و تکفازی گازی (V). ب) دو فازی غنی از مایع (L+V) و پ) پدیده باریک شدن.



شکل ۱۰ نمودارهای ستونی ریزدانستجی میانبارهای سیال کانسار آقدره الف) فراوانی دمای ذوب آخرین بلور بخ، ب) فراوانی دمای همگن شدن و پ) فراوانی شوری بر اساس مراجع [۷۱، ۷۲].

در روند تکامل سیال های گرمابی [۷۴] در کانسار آقدره، پدیده جوشش و سردشدگی رخداده است (شکل ۱۱ ب). رخداد جوشش و کاهش دما سبب تنشست فلزات از لیگاندهای بی‌سولفیدی می‌شوند [۷۵]. در سامانه‌های فراغرمایی، فلزات توسط لیگاندهای بی‌سولفیدی [۷۶] و کلروری [۷۷، ۷۸] حمل می‌شوند و جوشش و آمیختگی سیال

خاستگاه کانسار: کانه‌سازی با عواملی چون دما، فشار، pH و اثر آب‌های جوی کنترل می‌شود [۷۳]. شرایط کانه‌سازی و شبهات‌های کانسار منطقه با سایر کانسارهای معروف دنیا، با قراردادن داده‌های شوری و دمای همگن شدن در نمودار مرجع [۷۴] مقایسه شد. بر این اساس، کانسار آقدره در گروه کانسارهای فراغرمایی قرار دارد (شکل ۱۱ الف).

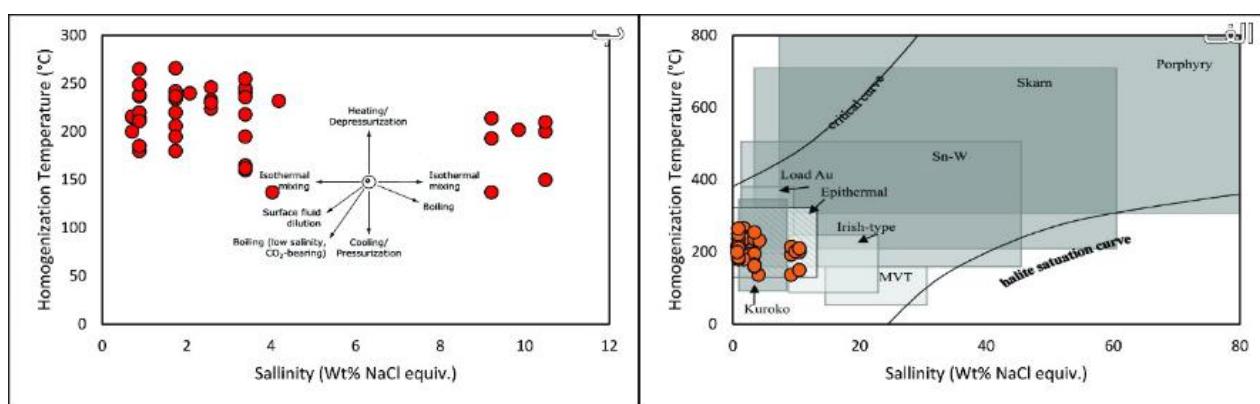
کرد [۷۴]. با استفاده از خطوط همچگال در نمودار شوری-دمای همگن‌شدگی [۸۱]، چگالی سیال میانبارهای کانسار آق دره در گستره ۰/۷ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب برآورد شد (شکل ۱۲ الف).

برای محاسبه فشار در شرایط رخداد جوشش، نیازی به تصحیح دما نیست و دمای همگن‌شدگی برابر با دمای تشکیل کانسار است [۸۲]. بر این اساس، بیشینه فشار سیال با استفاده از دمای همگن‌شدگی و نمودار مرجع [۸۳]، برابر با ۷۵ بار محاسبه شده است (شکل ۱۲ ب) و همه میانبارهای سیال زیر منحنی اشباع NaCl قرار دارند.

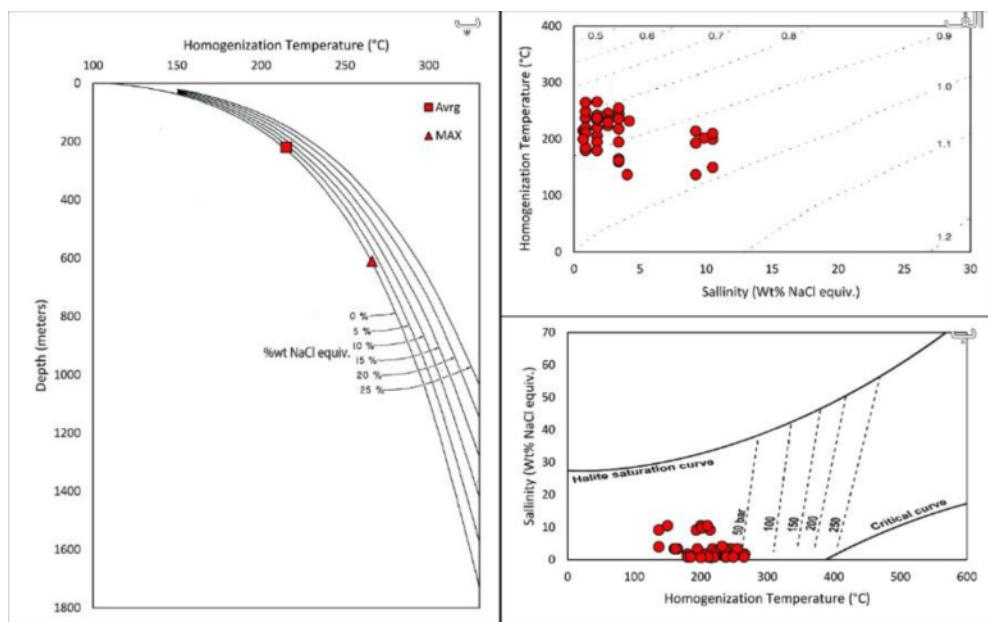
ژرفای تشکیل کانسارهای فراگرمایی براساس حضور میانبارهای همزیست غنی از مایع و غنی از بخار و با استفاده از ویژگی‌های تعادل فازی (دمای همگن‌شدگی با منحنی عمق) برآورد می‌شود. با توجه به وجود شواهد جوشش، برای تعیین ژرفای میانگین دمای همگن‌شدگی و شوری استفاده شد [۸۴]. با قرار دادن این مقادیر بر نمودار مرجع [۸۶]، متوسط بهدام افتادن سیال کانه‌ساز حدود ۲۵۰ متر و بیشینه ژرفای آن حدود ۶۵۰ متر به دست آمد (شکل ۱۲ پ). این یافته با عمق کانسارهای فراگرمایی که به طور معمول کمتر از ۱ کیلومتر است همخوانی دارد. کانسارهای نوع فراگرمایی اغلب در نزدیکی سطح زمین و در دمای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد شکل می‌گیرند [۸۷].

دو عامل مهم تهنشینی کانی‌های فلزی در این سامانه‌ها هستند [۷۹، ۵]. در اثر واکنش سیال کانه‌ساز با فلدرسپارها، pH محلول افزایش یافته و با مصرف H^+ ، فلزات قلیایی و قلیایی خاکی به درون سیال آزاد می‌شوند. همچنین، غلظت سیال در اثر ورود آبهای جوی کاهش یافته و در نتیجه‌ی واکنش Ca^{2+} اضافه‌شده به سیال با Cl^- ، سولفیدهای فلزی از لیگاند کلوروری تهنشین می‌شوند [۷۵] و این فرایند نسبت به کاهش دما نقش مهمتری در تهنشیت کانسار آق دره، به احتمال بسیار تکامل سردشدن سیال کانه‌ساز کانسار دارد. در فرایند رقیق‌شدگی و پس روندهای رخ داده که در آن، فاز اولیه دمای بالا با گذشت زمان، پیشرفت واکنش‌ها و افزایش رقیق‌شدگی بر اثر نفوذ آبهای فرورو، با کاهش دما همراه شده [۸۰] و نهشت موادمعدنی را در پی داشته است. فرایند جوشش با ویژگی‌هایی مانند همزیستی میانبارهای تک‌فازی بخار و میانبارهای غنی از مایع، همگن‌شدگی برخی از میانبارها به فاز بخار، نبود مواد فرار در میانبارها و نهشت بلورهای درشت کوارتز با بافت حفره‌ای در رگه‌های سیلیسی، در کانسار آق دره قابل تشخیص است. روند تکامل سیال کانه‌ساز و گسترش نمودار فراوانی شوری تبلور دو دسته از کانی‌های کوارتز مربوط به دو نسل از سیال کانه‌ساز را در منطقه توجیه می‌کند.

برآورد چگالی، فشار و ژرفای: با ترکیب داده‌های دمای همگن‌شدگی و مقدار شوری میانبارها بر نمودار خطوط همچگال، می‌توان چگالی سیال را بدون توجه به شرایط بهدام افتادن آن تعیین



شکل ۱۱ الف) نمودار تعیین خاستگاه ژنز کانسار آق دره بر اساس شوری و دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال [۷۴]، ب) نمودار فرایند تکامل سیال کانه‌ساز کانسار آق دره بر اساس روند معمول شوری و دمای همگن‌شدگی [۷۴].



شکل ۱۲ نمودارهای تعیین چگالی، فشار و ژرفای میانبارهای سیال کانسار آق دره: (الف) نمودار شوری- دمای همگن شدگی با خطوط هم چگال برای تعیین چگالی سیال به دامافتاده در میانبارها [۸۱]، (ب) نمودار دمای همگن شدگی-شوری به همراه منحنی‌های بحرانی و خطوط هم فشار برای تعیین فشار سیال [۸۳]، (پ) نمودار دمای هم شرط همگن شدگی- ژرفای به همراه خطوط هم شوری برای تعیین ژرفای به تله افتادن میانبارهای سیال [۸۶].

درختی با روش خوشبندی ورد نیز ارتباط زایشی جفت عناصر

مس - آهن و سرب - روی را نشان داد.

بی‌亨جاری‌های مثبت LILEها، REEها و Ba بهنجرای‌های منفی HFSEها، به ویژه افزایش عناصر K و Pb و تهی شدگی عناصر Nb و Ti نشان می‌دهد که پوسته قاره‌ای در تشکیل ماقمای مولد سنگ‌های منطقه در یک محیط فرورانشی نقش داشته و این ماقما پس از آلایش با پوسته قاره‌ای، سنگ‌های آتشفسانی با طبیعت آهکی- قلیایی را ایجاد نموده است.

ترکیب یافته‌های میانبارهای سیال، شامل شوری، دمای همگن شدگی و ژرفای تشکیل میانبارها، با شواهد صحرایی و نتایج آزمایشگاهی از جمله کانه‌سازی در سنگ میزان آتشفسانی، در برگرفته شدن کانسار توسط سنگ‌های آتشفسانی نیمه عمیق، بافت جانشینی و پُرکنده فضاهای خالی و ساخت کانه‌ها، گستره‌های دگرسانی، توالی همبری، انباست عناصر فلزی و نبود کانی‌های دمای بالا و همچنین مقایسه با سایر کانسارهای مشابه (جدول ۵) [۸۸، ۸۹]، کانسار مس آق دره را در رده کانسارهای فراگرمایی نوع رگه‌ای قرار می‌دهد. سامانه‌های فراگرمایی در مناطق فرورانش می‌توانند ارتباط زایشی نزدیکی با سامانه‌های مس پورفیری داشته باشند [۹۰-۹۲] و منطقه مورد بررسی به احتمال بسیار بر یک کانسار پورفیری پنهان قرار دارد.

برداشت

اصلی‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی در کانسار مس آق دره واحدهای سنگی آندزیتی، آندزی بازالتی، سینیتی و توفهایی با سن اوسن و معادل سازند کرج هستند که از نظر سری ماگمایی در گستره نیمه قلایی قرار دارند. آندزیت‌ها و رگه‌های سیلیسی منتشر شده در توفهای منطقه با کانه‌ای همراه بوده و فضاهای خالی اغلب رگه‌ها با کانی‌های سولفیدی پُر شده‌اند. ورود محلول‌های گرمابی به این رگه‌ها و نفوذ توده‌های آتشفسانی، دگرسانی‌های گستردۀ سیلیسی و هالهای دگرسانی آرژیلیک، آلونیتی و پروپلیتیک را در منطقه ایجاد کرده است. در این شرایط، دو مرحله کانی‌زایی درونزد و برونزد رخ داده که طی آن‌ها، کانی‌های اصلی کالکوپیریت، پیریت و گالن، کانی‌های ثانویه مالاکیت، آزوریت و گوتیت، کانی‌های باطله کواتز، باریت و کلسیت و همچنین طلا و نقره نهشته شده‌اند. کالکوپیریت و مالاکیت از فراوان ترین کانی‌های مس دار منطقه هستند. تشکیل کانی‌های کربناتی (مالاکیت و آزوریت)، وجود پهنه برونزد اکسیدی و حضور کالکوپیریت‌های هوازدهی در حال تجزیه به کانی‌های اکسید آهن آبدار، وجود پهنه برونزد سولفیدی ثانویه را تایید می‌کنند. هم‌بازایی کالکوپیریت و پیریت با نتایج تحلیل خوشهای همخوانی دارد و بر این اساس، خاستگاه عناصر مس و آهن مشابه تشخیص داده شد. بر پایه ماتریس همبستگی پیرسون، در منطقه، سرب و روی بیشترین همبستگی با سطح اطمینان ۹۹٪ را داشته‌اند. نمودار

جدول ۵ مقایسه کانسار آق دره با کانسارهای فراگرمایی نوع رگهای [۸۹، ۸۸].

ویژگی	کانسارهای فراگرمایی رگهای	کانسارهای مس آق دره
موقعیت زمین ساختی	لبه صفحه های همگرا	پهنه بروخود کرانه قاره و کمان قاره‌ای
سنگ میزبان	آندرزیت، ریولیت، توف، داسیت	آندرزیت، آندزیت بازلات، سینیت، توف
سن تشکیل	بیشتر سنوزوئیک	اوسین
عمق تشکیل	کمتر از ۴ کیلومتر	کمتر از ۱ کیلومتر
دگرسانی‌های رایج	سریسیتی، آدولاریا و آرژیلیک متوسط	سیلیسی، آرژیلیک، پروپلیتیک، سرسیتی و آلونیتی
بافت	پُرکنده فضای خالی و رگهای	اغلب پُرکنده فضای خالی
کانی‌شناسی	اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و پیریت	کالکوپیریت، پیریت، گالن، مالاکیت، آزوریت، گوتیت
فلزات اصلی	Pb-Zn-Cu (Au±Ag)	Cu-Pb-Zn-Fe-Au-Ag
خاستگاه سیال‌های کانه‌ساز	آبهای جوی و مگماهی	آبهای جوی و مگماهی

قدرتانی

این پژوهش با حمایت‌های معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه و پشتیبانی مالی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایعمعدنی ایران انجام شده است که از همکاری‌های همه‌جانبه این دو سازمان تشكر و قدردانی می‌شود. همچنین نگارندگان از نظرها و پیشنهادهای ارزنده و سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

- [7] Farid-Asl V., "Study of the genesis of Mari copper deposit (north of Zanjan) with special emphasis on enrichment and supergene oxidation processes", M.Sc. thesis, Tabriz university (2012) 121 p.
- [8] Hosseyni-Ekhtiarabady M., Babakhani A.R., Sahandi M.R., Moosavi E., "Abhar 1:100000 geological sheet", Geological Survey of Iran (2017).
- [9] Rahmani A., "Economic Geology Survey of Khalifa-Lu Deposition (North of Khorramdareh, Zanjan Province)" M.Sc. thesis, Tabriz university (2015) 182 p.
- [10] Tadayon Eslami A., "Evaluation of mineral abilities of Zanjan quadrangle map 1:250000", Geological Survey of Iran Report (1990) 76 p.
- [11] Hirayama K., Samimi M., Zahedi M., Hushmandzadeh A.M., "Geology of Tarom district western part (Zanjan area) geology Survey of Iran Rep", Geological Survey of Iran Report 8 (1966) 31 p.
- [12] Bazin D., Hubner H., "Copper deposits in Iran", Geological Survey of Iran Report 15 (1969) 232 p.
- [13] Iwao, S.H., Hushmand-zadeh A., "Stratigraphy and petrology of the low-grade regionally metamorphosed rocks of the Eocene Formation in the Alborz Range, North of Tehran, Iran", The Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists 65:6 (1971) 265-285.
- [14] Tadayon Eslami A., "Systematic mineral exploration report in Zanjan quadrangle map in Chal-Kuhian area", Geological Survey of Iran (1984) 1-45.
- [15] Peyrovan H., "Geochemical survey of alteration zones of Tarom region", PhD thesis, Islamic Azad University Science and Research Branch (2003) 50-160.
- [16] Peyrovan H., "Mineralogical and geochemical classification of alteration rocks in Tarom area", Proceedings of the 9th Iranian Geological Society Conference (2004) 427-440.

[1] Khoei N., Qorbani M., Tajbakhsh P., "Copper deposits in Iran", Geological Survey of Iran Press, (1999) 421 p.

[2] Irannejad M., Salari Rad M., and Mohammadi M.A., "Comparison of Economics of Cementation and Solvent Extraction for Recovery of Copper from Tarom Sofla Oxidized Copper Leach Solutions", Scientific Quarterly Journal Geosciences 66 (2007) 68-73.

[3] Mirzaei Raini R., Ahmadi A., Mirnejad H., "Mineralogy and fluid inclusion studies in Mahour copper deposit, east of Lut block, Central Iran", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20:2 (2012) 307-318.

[4] Feyzi F., Arian M., "The Role of Building Controllers in the Formation of Copper Ore Deposits on Saein Qaleh 1:50000 Map", Journal of Basic Sciences Islamic Azad University 81 (2012) 1-10.

[5] Zamanian H., Rahmani Sh., Jannessary M.R., Zareii Sahamieh R., Borna B., "Ore-genests study of The Cu-Au vein-type deposit in The Tarom-Granitoid (North Zanjan) based on mineralogical, geochemical and fluid inclusion evidences", Scientific Quarterly Journal Geosciences 98 (2016) 255-282.

[6] Bazargani-Guilani K., Parchakani M., "Metallogenetic Properties of Barik-Ab Pb-Zn (Cu) Ore Deposit with Acidic Tuff Host-Rock, west Central Alborz, Northwest of Iran", Scientific Quarterly Journal Geosciences 78 (2011) 97-104.

- intrusive bodies of the region", the fourth conference of the Iranian Geological Society, Tabriz (2000), 3p.*
- [30] Riou R., Dupuy C., Dostal J., "Geochemistry of coexisting alkaline and calc-alkaline volcanic rocks from northern Azerbaijan (N.W. Iran)", Volcanology and Geothermal Research 11 (1981) 253-275.
- [31] Sillitoe H.R., Hedenquist J.W., "Linkage between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits", Society of Economic Geologist, Special Publication 10 (2003) 315-343.
- [32] Clark G.C., Davis R.G., "Explanatory text of the Bandar-e-Pahlavi quadrangle map 1:250000", Geological Survey of Iran (1975) 198 p.
- [33] Eftekharnejad J., Hajiyan J., Hirayama D.K., Hoshmandzadeh A., Nabavi M.H., Samimi M., Stoklin Y., Zahedi M., Alavi Naeini M., "Khodbandeh-Soltaniyeh 1:100000 geological sheet", Geological Survey of Iran (1995).
- [34] Ganji A.R., "Mineralogical investigation of hydrothermal alterations in the middle part of Tarom Mountains – Northwest of Iran", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 13:1 (2005) 121-133.
- [35] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist 95 (2010) 85-187.
- [36] Darvishzadeh A., Asiyabahna A., "The role of pyroclastic rocks in the preferential expansion of hydrothermal alteration in the Abtrash volcanic zone", Scientific Quarterly Journal Geosciences 38 (2001) 49-59.
- [37] Hajalilo B., "Tertiary metallogeny in West Alborz-Azerbaijan (Miyaneh-Siahrood) with special attitude toward Hashtjin area", PhD thesis, Shahid Beheshti University (2001) 275 p.
- [38] White N.C., Hedenquist J.W., "Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration", SEG Newsletter 23 (1995) 8–13.
- [39] Shahabpour J., "Economic geology", Shahid Bahonar University of Kerman 315 (2011) 547 p.
- [40] Baker T., Bertelli M., Blenkinsop T., Cleverley J.S., McLellan J., Nugus M., Gillen D., "P-T-X conditions of fluids in the Sunrise Dam gold deposit, Western Australia, and implications for the interplay between deformation and fluids", Economic Geology 105 (2010) 873-894.
- [41] Pirajno F., "Hydrothermal processes associated with meteorite impacts", Springer Netherlands (2009) 759 p.
- [42] Kazempour M., Hidarian Shahri M., Malekzadeh Shafaroudi A., "Mineralization, fluid inclusion and geochemical studies and interpretation of IP/RS data in Freezi prospect area, northeast Iran", Iranian Journal of
- [17] Hajalilo B., "Investigation of Pb, Zn and Cu mineralization in Northwestern Zanjan", Third Annual Conference of the Iranian Geological Society (2006) 234-240.
- [18] Jahandideh-Kazempour K., "The study of economic geology of the Abbas Abad polymetallic ore deposit (Tarom Sofla, the NW of Qazvin province, Iran)", M.Sc. thesis, Islamic Azad University Lahijan branch (2012) 286p.
- [19] Miranvari A. S., Calagari A., Siahcheshm K., Sohrabi G., "Investigation of genesis and fluid origin in Noghduz gold bearing quartz veins, East Azarbaijan Province, northwest of Iran", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (2019) 551-564.
- [20] Lecumberri-Sanchez P., Steel-MacInnis M., Bodnar R.J., "A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance", Geochim Cosmochim Acta 92 (2012) 14-22.
- [21] Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R.J., "HOKIEFLINCS-H₂O-NaCl: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O-NaCl", Computer in Geosciences 49 (2012) 334–337.
- [22] Nabavi M.H., "An introduction to geology of Iran", Geological Survey of Iran (1355) 109 p.
- [23] Hosseinzadeh M.R., Maghfouri S., Moayyed M., Rahmani A., "Khalifehlu deposit: high-sulfidation epithermal Cu-Au mineralization in the Tarom magmatic zone, North Khorramdareh", Scientific Quarterly Journal Geosciences 99 (2017) 179-194.
- [24] Guest, B., Guest, A., Axen, G., "Late Tertiary tectonic evolution of Northern Iran: A case for simple crustal folding, Global and Planetary Change", Geosphere 58 (2007) 435–453.
- [25] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran: a review", American Association of Petroleum Geologists 52 (1968) 1229–1258.
- [26] Aghanabati A., "Magmatic Rocks of Iran. Geological Survey of Iran; Scale 1:2500000, 1 sheet" Geological Survey of Iran (1990).
- [27] Einali M., Alirezai S., Zaccarini F., "Chemistry of magmatic and alteration minerals in the Chahfiruzeh porphyry copper deposit, south Iran: implications for the evolution of the magmas and physicochemical conditions of the ore fluids", Turkish Journal of Earth Sciences 23 (2014) 147-165.
- [28] Karei M., Gharib F., "Office-field studies to identify promising ranges of REE's in Zanjan province", Applied Research Center of Geological Survey of Iran, (2016) 711 p.
- [29] Moayed M., Valizadeh M., "Petrology and Petrogenesis of the Eocene-Oligocene magmatic band of Tarom region and geobarometric of

- [55] Wilson M., "Igneous Petrogenesis: a global tectonic approach", Unwin Hyman Ltd, London, (1989) 466 p.
- [56] Hongyan G., Sun M., Yuan C., Xiao W., Zhao G., Zhang L., Wong K., Fuyuan W., "Geochemical, Sr-Nd and Zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late-Subduction", Chemical Geology 266 (2009) 364-398.
- [57] Nagudi N.O., Koberl C. H., Kurat G., "Petrography and geochemistry of the Sing granite, Uganda, and implication for its origin", Journal of African Earth Sciences 35 (2003) 51-59.
- [58] Shang G.K., Satir M., Sieble W., Nasifa E.N., Taubald H., Liegeoise J.P., Tchoua F.M., "Geochemistry, Rb-Sr and Sm-Nd systematic: case of the Sangmelima region, Ntem complex, southern Cameroon", Journal of African Earth Sciences 40 (2004) 61-79.
- [59] Wu F., Jahnb B., Wildec S. A., Lod C. H., Yuie T. F., Lina Q., Gea W., Suna D., "Highly fractionated I-type granites in NE China (II): isotopic geochemistry and implications for crustal growth in the Phanerozoic", Lithos, 67 (2003) 191-204.
- [60] Richards J. P., "High Sr/Y arc magmas and porphyry Cu±Mo±Au deposits: Just add water", Economic Geology 106 (2011) 1075-1081.
- [61] Piranjo F., "Hydrothermal mineral deposits", Springer Verlag (1992).
- [62] Bodnar R.J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada D., Steele-MacInnis M., "Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits, In: Holland H.D. and Turekian K.K. (eds.) Treatise on Geochemistry, Second Edition, vol. 13", Elsevier (2014) 119-142.
- [63] Shepherd T. J., Rankin A.H., Alderton D. H.M., "A practical guide to fluid inclusion studies", Blackie, London (1985).
- [64] Van den Kerkhof A.M., Hein U.F., "Fluid inclusion petrography", Lithos 55 (2001) 4-27.
- [65] Roedder E., "Fluid Inclusions", In: Ribbe PE(Ed) Reviews in Mineralogy, 12, Mineralogical Society of America, Washington DC (1984) 644 p.
- [66] Symons D.T.A., Symons T.B., Sangster D.F., "Paleomagnetism of the society Cliff's dolostone and the age of the Nanisivik zinc deposits, Baffin Island, Canada", Mineralum Deposita 35 (2000) 672-682.
- [67] Bodbar R.J., Reynolds T.J. Kuehn C.A., "Fluid inclusion systematics in epithermal systems", Rev. Economic Geology 2, (1985) 73-97.
- [68] Karimpour M.H., Saadat S., "Applied Economic geology", University of Ferdowsi Mashhad (2006) 536 p. (in Persian)
- [69] Hall D.I., Sterner S.M., Bodnar R.J., "Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions", Economic Geology 93 (1988) 197-202.
- Crystallography and Mineralogy 27 (2), (2019) 265-280.
- [43] Dong G., Morrison G., Jaireth S., "Quartz textures in epithermal veins, Queensland; classification, origin and implication", Economic Geology 90 (1995) 1841-1856.
- [44] Kouhestani H., Ghaderi M., Zaw K., Meffre S., Emami M.H., "Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold-silver deposit in the Tethyan belt of Iran", Mineralium Deposita 47 (2012) 425-440.
- [45] Winchester J.A., Floyd P.A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", Chemical Geology, 20 (1977) 325-343.
- [46] Shervais J.W., "Ti-V plots and the petrogenesis of modern ophiolitic lavas", Earth and Planetary Science Letters 59 (1982) 101-118.
- [47] Jurkovich I., Garasich V., Hrvatović H., "Geochemical characteristics of the barite occurrences in the Palaeozoic complex of south-eastern Bosnia and their relationship to the barite deposits of the mid-Bosnian Schist Mountain", Geologia Croatica 63 (2010) 241-258.
- [48] Noguchi T., Shinjo R., Ito M., Takada J., Oomori T., "Barite geochemistry from hydrothermal chimneys of the Okinawa Trough: insight into chimney formation and fluid/sediment interaction", Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 106 (2011) 26-35.
- [49] Salari M.A., Biyabangard H., Bomeri M., Dargahi S., "Petrology and geochemistry of andesitic dykes in the north of Rabor, Kerman province", Journal of Mineralogical and Petrological 19 (2011) 285-296.
- [50] Sun S.S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts, implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D., Norry A.M., eds., magmatism in ocean basins", Geological Society London Special Publications 42 (1989) 313-345.
- [51] Kuster D., Harms U., "Post-collisional potassic granitoids form the southern and northwestern parts of the late Neoproterozoic East African Orogen: a review", Lithos 45 (1998) 177-195.
- [52] Ulmer P., "Partial melting in the mantle wedge—the role of H₂O in the genesis of mantle-derived 'arc-related' magmas", Physics of the Earth and Planetary Interiors 127 (2001) 215-232.
- [53] Hofmann A. W., "Nb in Hawaiian magmas: constraints on source composition and evolution", Chemical Geology 7 (1986) 17-30.
- [54] Ebrahimi M., Kouhestani H., Mokhtari M. A. A., Feizi M., "Petrology and geochemistry of the Aqkand acidic volcanic rocks and perlites, North of Zanjan", Scientific Quarterly Journal Geosciences 101 (2016) 99-110.

- [82] Roedder E., Bodnar R. J., "Geologic pressure determinations from fluid inclusions studies", Annual Review of Earth and Planetary Sciences 8 (1980) 263-301.
- [83] Ahmad S.N., Rose A.W., "Fluid Inclusions in Porphyry and Skarn Ore at Santa Rita, New Mexico", Economic Geology 75(1980) 229-250.
- [84] Aghajani Marsa S., Emami M. Lotfi M., Gholizadeh k., Ghasemi Siani M., "Source of polymetal epithermal veins at Nikuyeh district (West of Qazvin) based on mineralogy, alteration and fluid inclusion studies", Scientific Quarterly Journal Geosciences 25 (2016) 157-168.
- [85] Gharesi M., Rasa I., Yazdi M., "Investigation of Mazraeh Skarn mineralization, North of Ahar, with an emphasis on fluid inclusion studies", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 26:1 (2018) 229-244.
- [86] Haas J.L., "The Effect of Salinity on the Maximum Thermal Gradient of a Hydrothermal System at Hydrostatic Pressure" Economic Geology 66 (1971) 940-946.
- [87] Hedenquist J.W., "Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin", In: Hom, M.K., Editor. Transactions of the Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, (1987) 513-524.
- [88] Hedenquist J.W., Arribas A.R., Gonzalez-Urien E., "Exploration for epithermal gold deposits. In: Hagemann, S. G., Brown, P. E., (Eds). Gold in 2000". Reviews in Economic Geology 13 (2000) 245-277.
- [89] Bartwaite R.L., Simpson M.P., Faure K, "Telescoped porphyry Cu-Mo-Au mineralization, advanced argillic alteration and quartz sulphide gold anhydrite veins in the Thames District, New Zealand" Mineralium Deposita 36 (2001) 623-640.
- [90] Kolb J., Hagemann S., "Structural control of low-sulfidation epithermal gold mineralization in the Rosario-Bunawan district, east Mindanao ridge, Philippines", Mineralium Deposits 44 (2009) 795-815.
- [91] Richards J.P., "Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere", Geology 37 (2009) 247–250.
- [92] Richards J.P., Spell T., Rameh E., Razique A., Fletcher T., "High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential: examples from the Tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan", Economic Geology 107 (2012) 295-332
- [70] Robb L., "Introduction to ore forming processes", Blackwell publishing. British Library (2005).
- [71] Bodnar R. J., "Revised equation and table for determining the freezing point depression of $H_2O-NaCl$ solution", Geochimica, et Cosmochimica Acta 57 (1993) 683-684.
- [72] Bodnary R.H., Vityk M.O., "Interpretation of microthermometric data for $H_2O-NaCl$ fluid inclusion, in De Vivo, B., and Frezotti, M.L., eds., Fluid inclusion in minerals: Methods and applications: International mineralogical association, Short course of the working group", Inclusions in minerals (1994)117-130.
- [73] Sorby H., "On the microscopic structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks", Journal of Geological Society, London (1980).
- [74] Wilkinson J. J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", Lithos 55 (2001) 229-272.
- [75] Mehrabi B., Ghasemi Siyani M., "Mineralogy and economic geology of Cheshmeh Hafez polymetal deposit, Semnan Province, Iran ", Journal of Economic Geology 2 (2010) 1-20.
- [76] Benning L.G., Seward T.M., "Hydrosulfide complexing of Au in hydrothermal solutions from 150 to 400 °C and 500 to 1500 bars", Geochimica, et Cosmochimica Acta, 60 (1996) 1849-1871.
- [77] Seward T.M., Barnes H.L., "Metal transport by hydrothermal ore fluids", in Barnes, H.L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits. New York, John Wiley and Sons (1977) 435-486.
- [78] Palyanaova G., "Physicochemistry modeling of the coupled behaviour of gold and silver in hydrothermal processes, gold fineness, AuAg ratios and their possible implication", Chemical Geology, 255 (2008) 399-413.
- [79] Giggenbach W.F., "Theorigin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems", in Barne, H.L., Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 3rd ed., New York, wiley Interscience (1997) 737-796.
- [80] Rossetti P., Colombo F., "Adularia-sericite gold deposits of Marmato (Caldas, Colombia): field and petrographic data", in: McCaffrey, K.J.W., Lonergan, I., Wilkinson, J.J., Editors. Fractures, Fluid Flow and Mineralization Geological Society of London, Special Publication 155 (1999).
- [81] Zhang Y.G., Frantz J.D., "Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system $NaCl-KCl-CaCl_2-H_2O$ using synthetic fluid inclusions", Chemical Geology 64 (1987) 335-350.