

بررسی زمین شیمیایی و میانبار سیال مس-طلای فراگرمایی کالچویه در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر

منا صامتی^۱، حسن زمانیان^{*}، هوشنگ اسدی هارونی^۲

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان

۲- گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

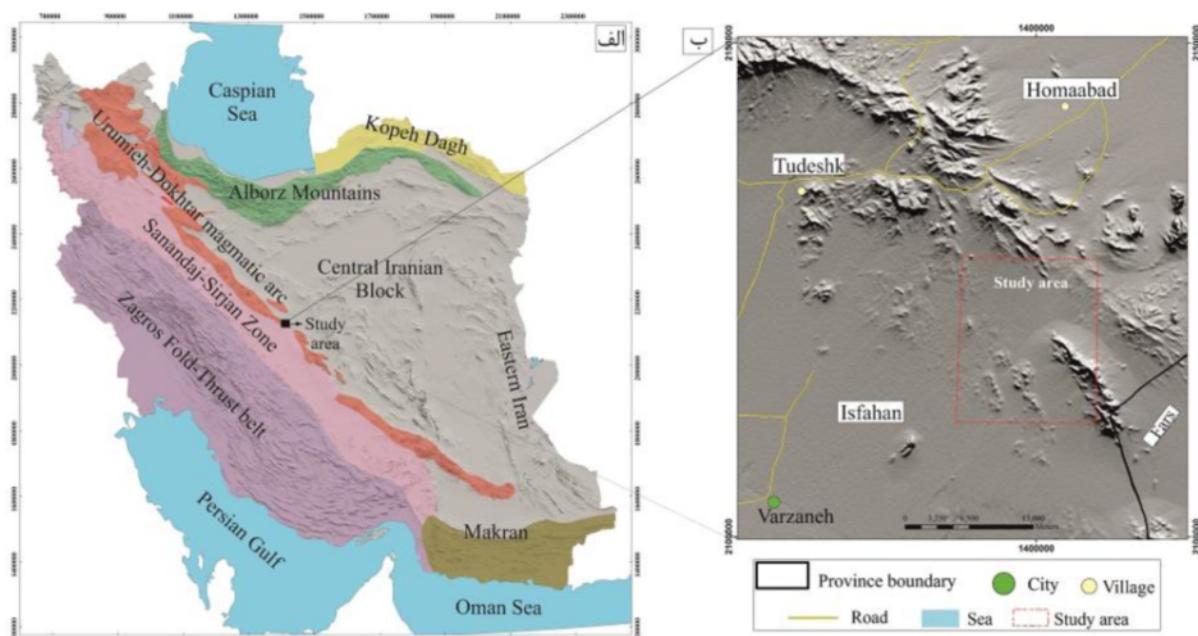
(دریافت مقاله: ۹۸/۵/۱۲، نسخه نهایی: ۹۸/۲/۸)

چکیده: کانسار مس-طلای کالچویه در بخش مرکزی کمان ماگمایی ارومیه-دختر قرار دارد. میزان این کانه‌زایی بیشتر سنگ‌های دیوریتی، کوارتز دیوریتی و آندزیتی هستند. کانه‌زایی در مرحله درونزادی با کالکوپیریت، پیریت، گالن و مگنتیت مشخص می‌شود که در مرحله برونزاد با ایجاد کالکوسیت، کولولیت، ملاکیت، و گوئتیت ادامه می‌یابد. بر اساس بررسی‌های زمین شیمیایی، مقدار La_n/Yb_n بین ۰/۲ تا ۶/۳ و Eu/Eu^* از ۰/۷ تا ۱/۱ متغیر است. توده‌های درونی میزان کانه‌زایی در منطقه کالچویه ویژگی ماگماهای پهنه‌های فرورانش، یعنی غنی‌شدگی از عناظر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) و تهی شدگی از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) با بی-هنجاری منفی در Ti را نشان می‌دهند. داده‌های میانبارهای سیال، دمای $150-310^\circ\text{C}$ ، شوری ۰-۴، (درصد وزنی نمک طعام) و ژرفای حدود ۴۰۰ متر را برای کانه‌زایی در کانسار کالچویه نشان می‌دهند. روند تکاملی سیال در کانسار کالچویه سردشدنی، رقیق-شدگی سطحی و جوشش را نشان می‌دهد. شواهدی از جمله بافت‌های نواری و شانه‌ای در کوارتز، کلسیت تیغه‌ای، برش گرمایی، دگرسانی پروپلیتی و شواهد میانبارهای سیال چون دما و شوری ماهیت فراگرمایی سولفیدشدنی پایین برای کانسار کالچویه را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: میانبار سیال؛ سولفیدشدنی پایین؛ فراگرمایی؛ کالچویه؛ ارومیه - دختر.

دارد [۹-۷]. کمان ماگمایی ارومیه دختر به عنوان بخشی از کوهزاد زاگرس، توسط فرورانش صفحه عربی به زیر صفحه ایران مرکزی طی فاز کوهزادی آپی ایجاد شده است [۷-۱۰، ۱۲-۱۲]. کانسار مس-طلای کالچویه در استان اصفهان و در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان کوهپایه قرار دارد. ذخیره اصلی این کانسار ۳۹۰ هزار تن با عیار ۰/۹% مس و ۱/۱ ppm طلا برآورد شده است. منطقه مورد بررسی پیش‌تر توسط حسینی دینانی و همکاران [۵] به منظور ارزیابی کنترل کننده‌های ساختاری دخیل در کانه‌زایی و محوری و همکاران [۱۳] از نظر کانی‌شناسی و میانبارهای سیال برای دستیابی به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیالی که کانه‌زایی را ایجاد کرده،

مقدمه طیف گسترده‌ای از کانسارهای مس-طلای پورفیری و فراگرمایی در نزدیکی توده‌های درونی و آتشفسانی در کمان-های ماگمایی قاره‌ای وجود دارند که بازتابی از برهمکنش‌های بین ماگماهای وابسته، سنگ میزان و سیال‌های کانه‌دار هستند [۱، ۲]. در ایران، چنین کانه‌زایی‌ها بیشتر در کمان ماگمایی ارومیه-دختر به چشم می‌خورند [۳-۵]. بخش نوزا-پلیستوسن کمربند آتشفسانی ایران مرکزی با نام کمان ماگمایی ارومیه-دختر (UDMA) (شکل ۱ الف) [۶] از زنجیره‌های آتشفسان چینه‌ای و نفوذی‌های گرانیت‌ویدی تشکیل شده است که مهم‌ترین ذخایر مس ایران را در خود



شکل ۱ الف: واحدهای زمین ساختی اصلی ایران نشان دهنده مکان قرارگیری کمان ماگمایی ارومیه دختر (UDMA) [۶] و ب: جایگاه جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد بررسی.

در UDMA مربوط به فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس به زیر ایران مرکزی در طول گسل رورانده زاگرس هستند [۱۸، ۱۹]. فعالیت‌های آتشفشاری در UDMA در پالئوسن آغاز شده و در ائوسن به اوج خود رسیده‌اند [۶، ۹، ۲۰] به طوریکه بخش مهمی از سنگ‌های آتشفشاری UDMA (از قم تا بافت) در زمان ائوسن شکل گرفته‌اند، اما پس از یک دوره خاموشی و سکون، در زمان میوسن پسین- پلیو-کواترنری، تشکیل آن‌ها دوباره از سر گرفته شد [۲۱].

کانسار کالچویه

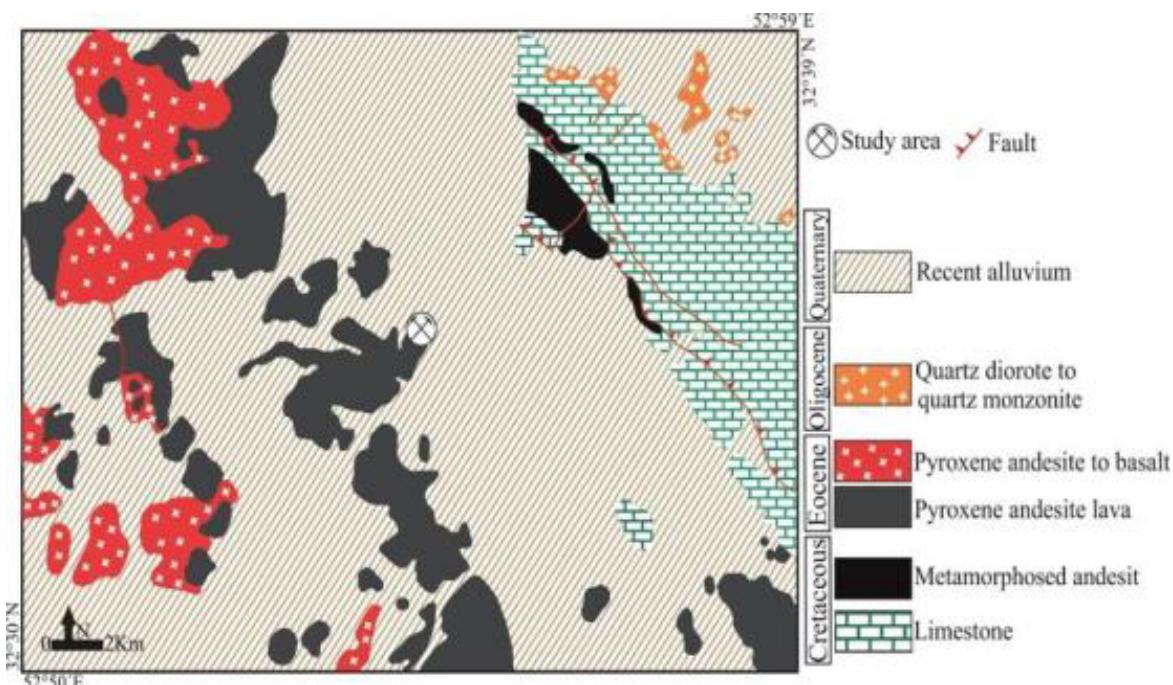
کانسار مس - طلای کالچویه با عرض جغرافیایی $32^{\circ}5'11''$ تا $32^{\circ}58'40''$ شمالی و طول جغرافیایی $52^{\circ}91'7''$ تا $52^{\circ}98'59''$ شرقی در ۳۰ کیلومتری جنوب شهرستان کوهپایه در استان اصفهان، قرار دارد (شکل ۱). چنان که در شکل ۲ دیده می‌شود، واحدهای سنگی این منطقه مربوط به دوران مژوزوئیک، سنوزوئیک و کواترنری است. قدیمی‌ترین سنگ‌های برونزد یافته در منطقه مورد بررسی، رسوب‌های کرتاسه و سنگ‌های آذرین هستند که معادل چینه شناسی آن‌ها سارند تفت است. کرتاسه پیشین شامل سنگ‌های آذرین بیرونی متوسط تا اسیدی مانند آندزیت و داسیت است که به صورت بین چینه‌ای با آهک‌های کرتاسه قرار گرفته‌اند [۶].

بررسی شده است. در پژوهش حاضر، بر پایه تکامل زمین شیمیایی توده‌های نفوذی میزبان کانه‌زایی، همچنین ویژگی‌ها و تکامل سیال کانه‌ساز با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های زمین شیمیایی و ریز دما‌سنجی میانبارهای سیال، فرایندهای زایش کانه‌زایی مس به ویژه شرایط دما و فشار طی کانه‌زایی در منطقه کالچویه بررسی شده است.

زمین‌شناسی

کمان ماگمایی ارومیه - دختر (UDMA)

کانسار کالچویه در بخش مرکزی کمان ماگمایی ارومیه - دختر (UDMA) قرار دارد. UDMA یک واحد زمین‌ساختی ماگمایی در کوهزاد زاگرس است که در بخش غربی قلمرو تیس جای دارد [۱۴، ۱۵]. این کمان ماگمایی از کمان‌های آتشفشاری نوع آندی است و با گسترش طولی ۲۰۰۰ کیلومتر با روند شمال غرب - جنوب شرق بین قطعه ایران مرکزی (CIB) و پهنه سنتنچ - سیرجان (SSZ) قرار دارد [۱۶] و در نتیجه فرورانش صفحه عربی به زیر ایران مرکزی طی فاز کوه‌زایی آپی تشکیل شده است [۱۰، ۱۱]. این فرورانش با روند شمال شرقی در کرتاسه پسین رخ داده و تا زمان بسته شدن نئوتیس در ترشیری پایینی همچنان ادامه داشته است [۱۷]. بنابراین، فعالیت آتشفشاری، توده‌های درونی و کانه‌زایی



شکل ۲ نقشه زمین شناسی منطقه کالچویه (اصلاح برگرفته از مرجع [۱۷] با تغییرات)

روش بررسی

پس از بازدیدهای صحرایی و سنگنگاری، ۲۶ مقطع نازک به منظور بررسی‌های کانی‌شناسی و ۴۰ مقطع نازک‌صیقلی برای بررسی‌های کانه‌نگاری تهیه شد که در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان با استفاده از میکروسکوپ Lika بررسی شدند. به منظور بررسی‌های ریزدماسنجی تعداد ۱۰ مقطع دوبر صیقلی به ضخامت یک میلی‌متر از کانی کوارتز جمع آوری شده در منطقه تهیه شد. پس از بررسی‌های سنگنگاری، نمونه‌ها برای ریزدماسنجی توسط دستگاه Linkam مدل THMSG600 با کنترل کننده گرمایی LNP95 که امکان کنترل سریع گرمایش سیستم خنک کننده Linkampad-LCDScreen و T95-Linkampad-LCDScreen داشتند دما را فراهم می‌نماید و بر و سرمایش و ثابت نگه داشتن دما را فراهم می‌نماید و بر میکروسکوپ المپوس نصب شده در بخش میانبار سیال آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان مورد بررسی شدند (جدول ۱). تعداد ۱۵ نمونه از توده‌های درونی و آتشفشنانی منطقه به ویژه در نزدیکی افق‌های کانه‌زایی به روش طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) با حد تشخیص ۰/۰۲ تا ۰/۰۱ درصد وزنی برای اکسیدهای اصلی و عنصر کمیاب و ppm برای عناصر خاکی نادر (REE)، در آزمایشگاه دانشگاه علم و صنعت چین، پکن، تجزیه شدند (جدول ۲ و ۳).

واحدهای سنگی کرتاسه پسین در برگیرنده ریولیت، داسیت و آندزیت هستند. توده‌های درونی در کانسار کالچویه، در شمال شرقی این منطقه واقع شده و شامل کوارتز دیوریت، دیوریت و گرانوپوریت به سن الیگومیوسن هستند که در واحدهای آتشفشنانی و سنگ‌های کرتاسه نفوذ کرده‌اند [۵، ۲۲]. فاز آتشفشنانی دوره پلیو-پلیستوسن از نوع خشکی‌زایی در شمال غرب منطقه مورد بررسی است که سنگ‌های آندزیتی، تراکی آندزیتی و آندزیت بازالت به چشم می‌خورند. واحد آتشفشنانی وابسته به ائوسن با جنس آندزیت میزبان اصلی کانه‌زایی مس در کانسار مس - طلای کالچویه است. گفتنی است که آندزیت‌های ائوسن در کانسار کالچویه دستخوش دگرسانی‌های گرمایی متوسط تا شدید شده‌اند. تشکیلات سنوزوئیک بر اثر حرکت‌های مهم زمین‌ساختی و فازهای مهم کوه‌زایی چین خورده‌اند؛ برای مثال، فاز کوه‌زایی لارامید چین خورده‌گی و گسلش سنگ‌های پیش از ائوسن را ایجاد کرده است. گسل‌های راستا لغز با روند شمال غرب - جنوب شرق از جمله ویژگی‌های ساختاری عمده در منطقه مورد بررسی به شمار می‌روند. آخرین فعالیت‌های دیده شده در منطقه مربوط به ایجاد تراویرنی‌های کواترنری برآمده از چشمه‌های آب گرم در اطراف منطقه مورد بررسی است و در پایان رسوب‌های آبرفتی عهد حاضر دیده می‌شوند.

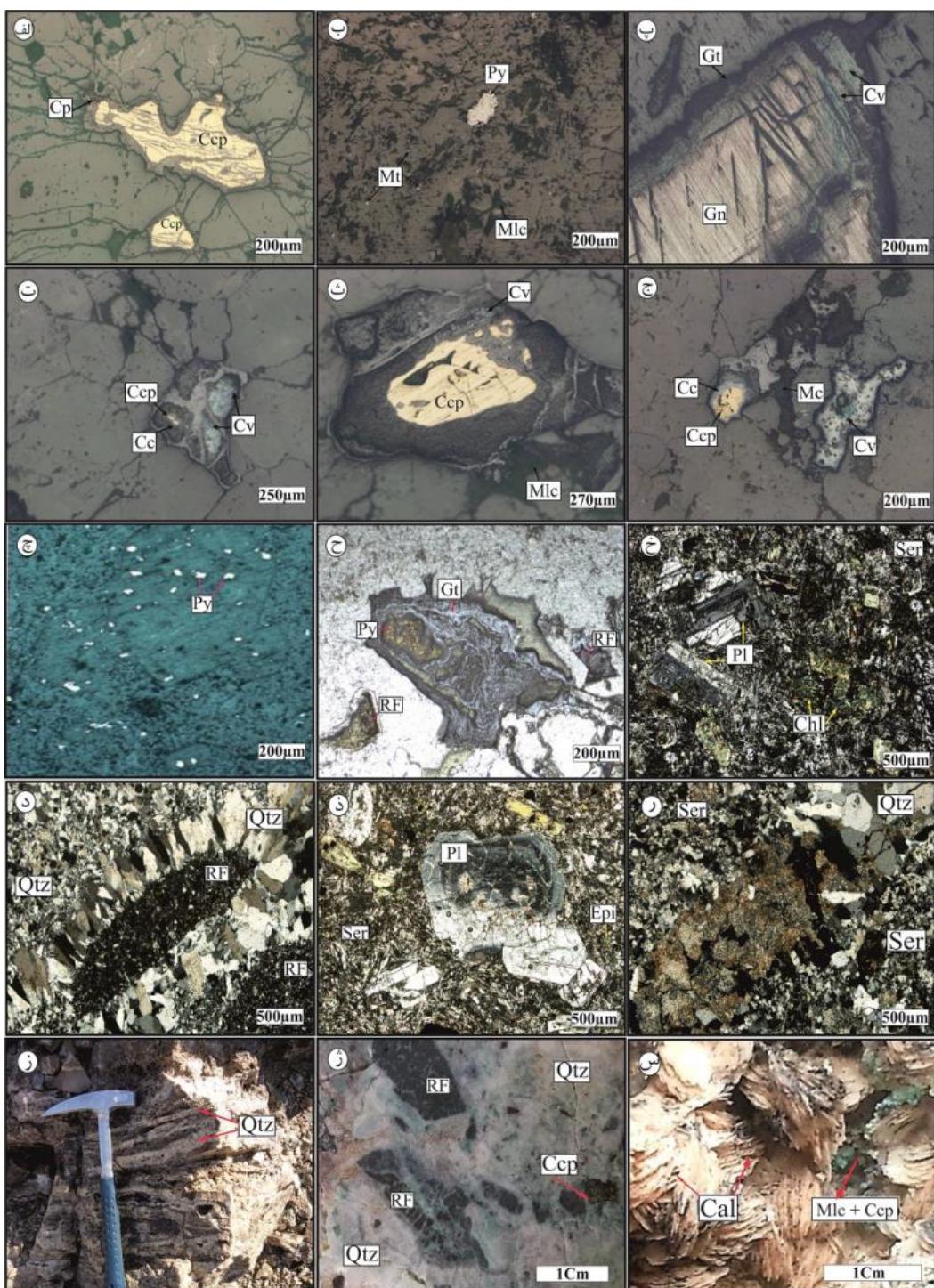
جدول ۳ مقادیر عناصر خاکی نادر (ppm) در کانسار کالچویه

Sample No.	M-A-1	M-A-2	M-A-3	M-A-4	M-A-5	M-A-6	M-A-7	M-A-8	M-A-9	M-A-10	M-A-11	K-S-5	K-S-7	K-TN-2	K-TN-5
Lithology	Di	An	An	Qz-Di	Qz-Di										
ppm															
La	۸۰/۱۱	۴۰/۱۲	۴۰/۱۲	۲۰/۱۲	۸۰/۱۱	۴۰/۱۲	۱۰/۱۲	۶۰/۷	۳۰/۷	۱۰/۷	۷۰/۷	۵۰/۷	۸۰/۵	۳۰/۸	۷۰/۹
Ce	۷۰/۲۶	۶۰/۲۷	۱۰/۲۸	۶۰/۲۷	۸۰/۲۶	۰۰/۲۷	۰۰/۲۷	۵۰/۱۶	۱۰/۱۶	۸۰/۱۵	۱۰/۱۷	۶۰/۱۶	۸۰/۱۳	۴۰/۲۱	۳۰/۲۳
Pr	۵۹/۳	۶۱/۳	۷۲/۳	۶۳/۳	۶۱/۳	۶۸/۳	۵۴/۳	۲/۲	۰/۹/۲	۲۰/۲	۱۹/۲	۵۹/۱	۵۷/۱	۹۱/۲	۴۲/۳
Nd	۲۲/۱۵	۴۴/۱۵	۹۱/۱۵	۱۰/۱۵	۳۵/۱۵	۵۰/۱۵	۸۷/۱۴	۴۱/۹	۰/۰/۹	۹۱/۸	۰/۰/۱۰	۴۰/۹	۰/۰/۶	۱۱/۱۰	۵۰/۱۰
Sm	۹۱/۳	۱۴/۴	۹۶/۳	۸۴/۳	۹۱/۳	۹۳/۳	۶۵/۳	۷۶/۲	۵۶/۲	۵۶/۲	۷۴/۲	۷۵/۲	۵۶/۱	۵۰/۲	۰/۰/۲
Eu	۱۱/۱	۱۷/۱	۰/۲/۱	۰/۸/۱	۱۱/۱	۱۲/۱	۰/۵/۱	۹۱/۰	۸۸/۰	۹/۰	۸۹/۰	۹۶/۰	۷۹/۰	۱۵/۱	۰/۰/۱
Gd	۲۸/۴	۱۸/۴	۲۰/۴	۲۶/۴	۰/۳/۴	۳/۰/۴	۱۸/۴	۹۵/۲	۰/۱/۳	۸۸/۲	۹۱/۲	۲۰/۲	۲۵/۲	۰/۸/۳	۳۴/۳
Tb	۷۲/۰	۷۱/۰	۶۹/۰	۶۸/۰	۶۷/۰	۶۹/۰	۶۵/۰	۵۱/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۳۲/۰	۳۵/۰	۴۵/۰	۴۸/۰
Dy	۱۳/۴	۲۸/۴	۵۹/۴	۳۱/۴	۳۲/۴	۳۸/۴	۱۷/۴	۴۶/۳	۱۶/۳	۳۹/۳	۳۹/۳	۹۵/۱	۲۶/۲	۶۵/۲	۲۹/۳
Ho	۹۱/۰	۹۶/۰	۹۸/۰	۹۴/۰	۹۵/۰	۹۴/۰	۹۶/۰	۷۵/۰	۷۵/۰	۷۷/۰	۷۵/۰	۴۰/۰	۴۲/۰	۵۵/۰	۵۹/۰
Er	۶۲/۲	۷۴/۲	۸۱/۲	۷۵/۲	۷۵/۲	۷۸/۲	۸۵/۲	۱۸/۲	۰/۹/۲	۱۸/۲	۱۲/۲	۰/۰/۱	۳۵/۱	۴۶/۱	۵۴/۱
Tm	۹۵/۰	۴۱/۰	۴۰/۰	۴۰/۰	۴۲/۰	۴۳/۰	۴۱/۰	۳۵/۰	۳۴/۰	۳۳/۰	۳۲/۰	۱۳/۰	۱۶/۰	۴۵/۰	۲۲/۰
Yb	۵۰/۲	۷۴/۲	۷۶/۲	۶۶/۲	۶۹/۲	۷۰/۲	۶۲/۲	۱۶/۲	۱۰/۲	۱۷/۲	۱۳/۲	۸۲/۰	۲۱/۱	۲۲/۱	۶۸/۲
Lu	۴۱/۰	۴۲/۰	۴۶/۰	۴۴/۰	۴۵/۰	۴۳/۰	۴۲/۰	۳۶/۰	۳۷/۰	۳۳/۰	۳۵/۰	۱۲/۰	۱۵/۰	۵۲/۰	۳۶/۰
Eu/Eu*	۸۲/۰	۸۵/۰	۷۷/۰	۸۱/۰	۸۵/۰	۸۸/۰	۸۲/۰	۹۷/۰	۹۶/۰	۹۰/۰	۹۶/۰	۱/۱	۲۹/۱	۹۴/۰	۱۲/۱
Ce/Ce*	۹۲/۰	۹۹/۰	۶۶/۱	۰/۴/۱	۹۹/۰	۹۶/۰	۹۹/۰	۹۷/۰	۹۹/۰	۹۶/۰	۱۰/۱	۵۴/۱	۱۲/۱	۵۰/۱	۹۷/۰
La/Yb	۲۰/۳	۰/۷/۳	۰/۷/۳	۱۱/۳	۹۷/۳	۱۲/۳	۱۴/۳	۲۸/۲	۳۶/۲	۲۹/۲	۴۵/۲	۳۵/۲	۸۷/۳	۶۱/۴	۴۵/۴
(La/Sm)n	۸۸/۱	۸۷/۱	۸۷/۱	۹۸/۱	۸۸/۱	۹۷/۱	۰/۷/۲	۷۲/۱	۷۹/۱	۷۳/۱	۷۵/۱	۸۰/۱	۳۳/۲	۰/۸/۲	۰/۳/۳
(Dy/Yb)n	۶۶/۱	۷۲/۱	۸۳/۱	۷۴/۱	۷۲/۱	۷۵/۱	۶۷/۱	۳۵/۱	۲۷/۱	۳۵/۱	۳۶/۱	۷۰/۰	۹۰/۰	۰/۶/۱	۵۰/۰

مالاکیت (شکل ۳ ث)، آزوریت، گوئتیت (شکل ۳ ح) و هماتیت است که کانه‌های ثانویه پهنه اکسیدی محسوب می‌شوند. کالکوپیریت فراوانترین کانه سولفیدی است و اغلب به صورت باقی مانده در رگه‌های کوارتزی دیده می‌شود که دستخوش فرایندهای برونزاد چون دگرسانی و هوازدگی به ملاکیت و آزوریت‌های موجود در پهنه اکسیدی در منطقه شده یا از حاشیه به کالکوسیت و کولیت تبدیل شده است. کوپریت (شکل ۳ الف) در برخی از نمونه‌ها به صورت بسیار دانه‌ریز و گاهی چون کالکوپیریت از اطراف به کوپریت تبدیل شده است، همراه با کالکوپیریت به چشم می‌خورد. ملاکیت و آزوریت همراه با اکسیدهای آهن پیرامون کالکوپیریت‌ها قرار گرفته و در شکستگی‌های موجود ایجاد شده‌اند. بافت شکافه پرکن بسیار رایج است. اسفالریت و گالن نیز در نمونه‌های منطقه مورد بررسی دیده شده‌اند که با هم مرز مشترک آشکار دارند و این نشان دهنده تشکیل همزمان آنها در مرحله گرمابی است. کانه‌های باطله و غیرفلزی اصلی در منطقه مورد بررسی کوارتز، کلسیت و باریت هستند و به صورت رگه‌ای درون سنگ‌های کانه‌زایی شده حضور دارند. آنها همه سنگ‌های میزبان را قطع کردند و نسبت به سنگ‌های میزبان کانه‌زایی جوانتر محسوب می‌شوند و این امر بهدلیل تهنشست از محلول‌های گرمابی است. ستبرای رگه‌ها از ۱ میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر متغیر است.

کانه نگاری، کانی شناسی و روابط بافتی

کانه‌زایی در منطقه کانسار کالچویه به صورت رگه‌ای و پراکنده قابل مشاهده است. کانه‌زایی در کانسار کالچویه به دو مرحله اولیه (درونزادی) و ثانویه (برونزادی) تقسیم می‌شود که هر دو در برگیرنده کانه‌زایی به صورت فلزی (سولفیدی و اکسیدی) و غیرفلزی (سیلیکاتی و کربناتی) هستند. کانه‌زایی درونزادی در بردارنده کانی‌های سولفیدی چون کالکوپیریت (شکل‌های ۳ الف و ۳ ث)، پیریت (شکل‌های ۳ ج و ۳ ح) و گالن (شکل ۳ پ) و اکسیدهای آهن به صورت کانی مگنتیت (شکل ۳ ب) است که اغلب با رگه‌های کوارتزی موجود در منطقه همراه هستند. گفتنی است که بر اساس رده‌بندی بافت جانشینی (شکل ۳ ر)، رگه – است و بافت‌هایی چون بافت شکافه پرکن [۲۳]، بافت کانی‌ای اصلی موجود در منطقه بافت شکافه پرکن است و بافت‌هایی چون بافت جانشینی (شکل ۳ ز)، رگه – رگچه‌ای (شکل ۳ ز)، و هم چنین برش‌های گرمابی (شکل ۳ ز) که با کوارتز و کلسیت سیمانی شده‌اند نیز در منطقه مورد بررسی دیده شده است. بر این اساس، در مرحله کانه‌زایی درونزادی در کانسار کالچویه، کانه‌های فلزی بیشتر با بافت‌های رگه‌ای، رگچه‌ای و پراکنده در سنگ میزبان آتش‌شکنی حضور دارند. کانه‌زایی درونزادی در ادامه با مرحله غنی‌شدگی برونزادی دنبال می‌شود که شامل ایجاد کانی‌هایی چون کالکوپیریت (شکل‌های ۳ ت)، کوولیت (شکل ۳ ت و ۳ ج)،



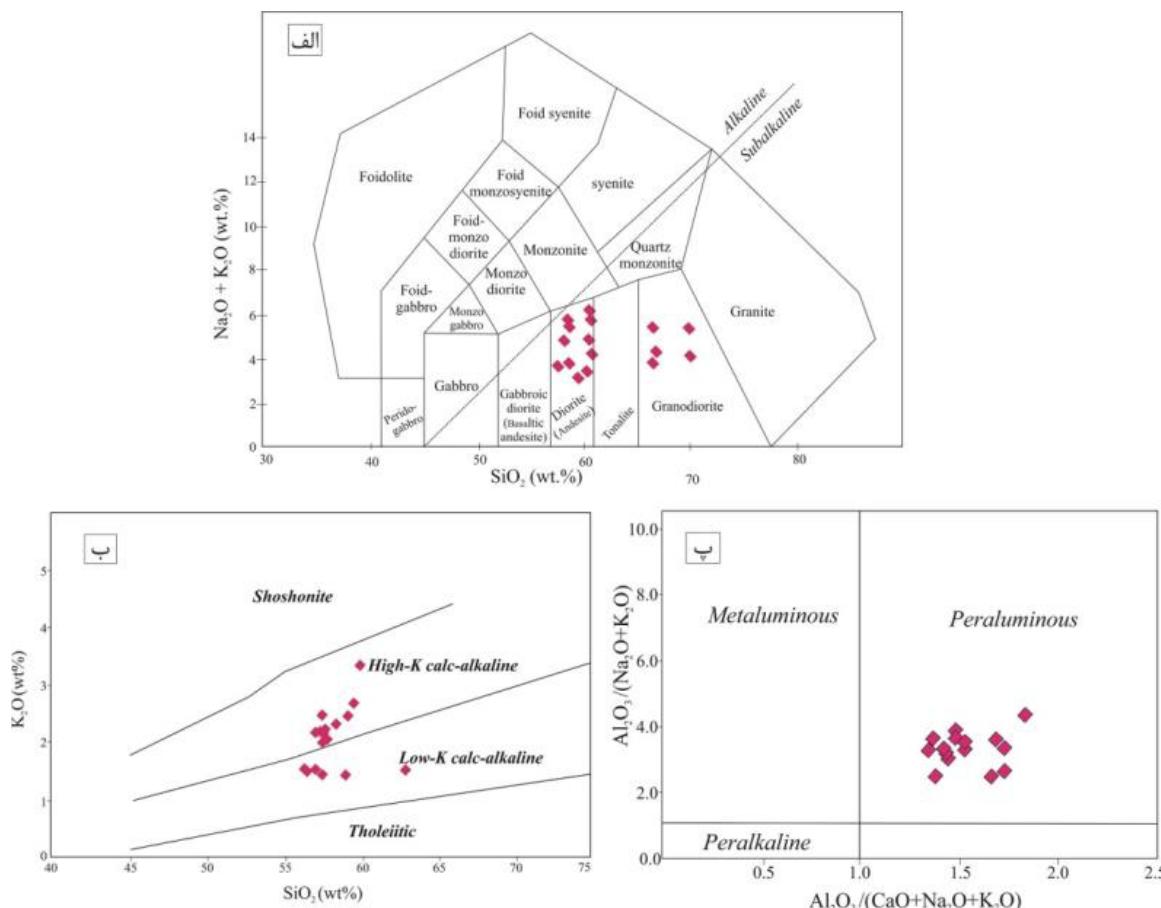
شکل ۳ الف: کالکوپیریت که در اطراف به کوپریت تبدیل شده است، ب: پیریت و مگنتیت به صورت دانه پراکنده به همراه مالاکیت در رگه کوارتزی، پ: گالن با رخ مثلثی کشیده در رگه کوارتزی، ت: کالکوپیریت که در اطراف در حال تبدیل به کولیت و کالکوسیت است. ث: کالکوپیریت به همراه کانی‌های ثانویه کولیت و مالاکیت، ج: کالکوپیریت که در اطراف در حال تبدیل به کالکوسیت است، خ: پیریت با بافت دانه پراکنده، ح: پیریت به صورت رگچه‌ای، خ: پیریت که در اطراف در حال تبدیل به گوتیت است به همراه خردکهای سنگی در رگه کوارتزی، د: حضور سرسیت و کلریت در سنگ میزبان که نشان دهنده سرسیتی شدن است. ذ: پلاژیوکلاز، سرسیت، اپیدوت که نشان دهنده دگرسانی پروپلیتی در منطقه است. ر: بافت شکافه پرکن، ز: بافت کوکاد، ژ: بافت برش گرمابی (حضور خردکهای سنگی در رگه کوارتزی) و س: کلسیت تیغه‌ای. (Ccp: کالکوپیریت، Cp: کوپریت، Py: پیریت، Mt: مگنتیت، Mlc: مالاکیت، Gt: گوتیت، Cv: گالن، Gn: کولیت، Pl: کالکوسیت، Qtz: پلاژیوکلاز، Ser: سرسیت، Epi: اپیدوت، Cal: کلریت، Chl: خردکه سنگ).

کالچویه ترکیبی از ماگماهای مافیک تا حد وسط (مقدار SiO_2 برابر با ۵۶٪ تا ۶۳٪ درصد) هستند که طیفی از سنگ‌های دیوریتی تا گرانودیوریتی را نشان می‌دهند. در نمودار TAS، این نمونه‌ها در سری نیمه قلیایی قرار دارند. نمودار K_2O نسبت به SiO_2 بیانگر آهکی قلیایی بودن توده درونی منطقه با مقادیر متغیر پتابسیم از کم تا زیاد است (شکل ۴ ب). ترکیب $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ نمونه‌های مورد بررسی از نظر نسبت‌های مولی A/CNK + $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ و A/NK در توده‌های درونی منطقه در شکل ۴ پ نشان داده شده است که بر این اساس، توده‌های درونی میزبان کانه‌زایی و سنگ‌های آتشفسانی پیرامون آن‌ها در مجموع در رده پرآلومین قرار دارند. پرآلومین بودن نمونه‌های مورد بررسی به جدایش هورنبلند نسبت داده می‌شود.

از آنجا که بافت کوارتز می‌تواند یکی از عوامل تعیین کننده نوع کانه‌زایی باشد، لذا بر اساس [۲۴] اشاره می‌گردد که کوارتزهای منطقه مورد بررسی دارای بافت نواری قشرگون، شانه‌ای و کوکاد (شکل ۳ ز) هستند. سرسیت (شکل ۳ د) و کانی‌های رسی جانشین بلورهای پلاژیوکلаз و فلدسپار شده‌اند. کلسیت نیز به صورت تیغه‌ای (شکل ۳ س) در منطقه کانسار مورد بررسی به‌چشم می‌خورد که یکی از شواهد گرمایی بودن کانه‌زایی منطقه است. با توجه به بررسی‌های انجام شده، دگرسانی پروپلیتی، گستردگرترین و شاخک‌ترین نوع دگرسانی در منطقه محسوب می‌شود که حضور کانی‌های چون کلریت و اپیدوت تایید کننده این امر است.

زمین شیمی

مقادیر SiO_2 برای توده‌های درونی منطقه از ۵۶ تا ۶۴٪ درصد متغیر است. با توجه به نمودار $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ نسبت به SiO_2 [۲۵] (شکل ۴ الف)، توده‌های درونی بروزد یافته در منطقه



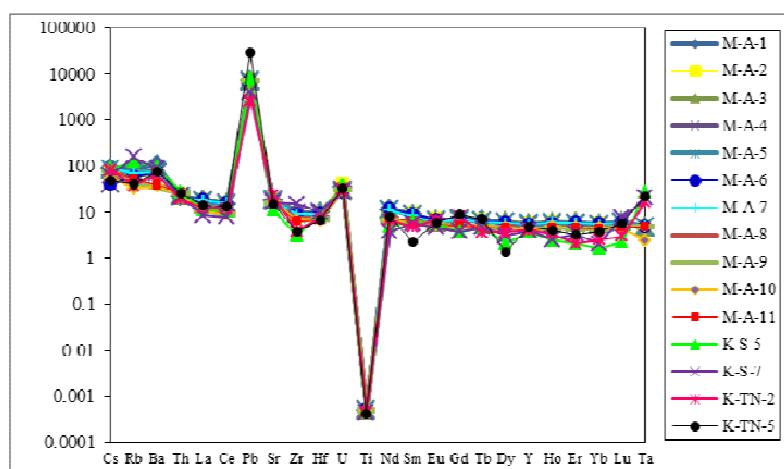
شکل ۴ الف: نمودار مقدار عناصر قلیایی SiO_2 (نمودار TAS)؛ ب: نمودار K_2O نسبت به SiO_2 برای سنگ‌های درونی در منطقه مورد بررسی و پ: نمودار A/NK ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) نسبت مولی A/CNK ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) برای توده درونی میزبان و سنگ‌های اطراف در منطقه مورد بررسی.

عناصر خاکی نادر سبک (LREE) هستند و مقادیر La_n/Yb_n بین ۰.۶ تا ۲.۲ است. الگوی کلی عناصر خاکی نادر در توده‌های درونی پیرامون منطقه کانه‌زایی کالچویه همپوشی کامل دارند (شکل ۶). تهی شدگی از عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) در سنگ‌های آتشفسانی آندزیتی منطقه بیشتر است. مقادیر بی‌هنجری Eu از $\text{Eu}^{*} \sim 0.77$ تا 1.1 متغیر است (میانگین $\text{Eu}/\text{Eu}^{*} \sim 0.9$). نبود بی‌هنجری‌های منفی چشم‌گیر در $\text{Eu}^{*} \sim 0.8$ (Eu/Eu^{*}) نشان دهنده حالت اکسایش بالا در مagma و رخ ندادن جدایش پلاژیوکلاز است [۲۹، ۲۸]. افزون بر این، افزایش بسیار آرام Eu/Eu^{*} نسبت به SiO_2 نشان دهنده تغییر این بی‌هنجری به سمت بی‌هنجری‌های مثبت یا کمتر منفی است. به طور کلی، وجود همزمان بی‌هنجری‌های مثبت و منفی در Eu و Ce نشان دهنده رخداد همزمان دو سیال گرمابی و آب‌جویی [۲۶] با حالت‌های اکسیدی و احیایی است.

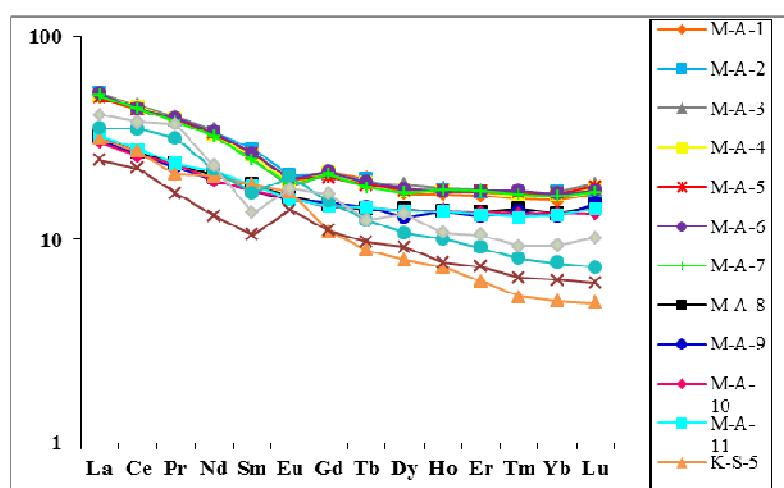
[۷]

با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول ۲، با افزایش SiO_2 مقدار اکسیدهای $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{TiO}_2, \text{MnO}, \text{MgO}, \text{Fe}_2\text{O}_3$ و P_2O_5 کاهش می‌باید که نشان‌دهنده همبستگی منفی این اکسیدها با مقدار SiO_2 است. کاهش اکسیدهای $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{MnO}, \text{MgO}$ و TiO_2 به علت جایگیری آن‌ها در ساختار کانی‌های فرومیزین در مراحل اولیه تبلور جدایشی مagma است و کاهش اکسیدهای $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO}$ و P_2O_5 را می‌توان مربوط به تغییر ترکیب پلاژیو کلاز از آنورتیت به آلبیت و هم چنین کاهش مقدار آپاتیت در مراحل پایانی تبلور دانست. این در حالی است که اکسیدهای NaO و KO نسبت به تغییرات SiO_2 روند افزایشی را نشان می‌دهند که این بیانگر ورود آنها در ساختار فلدسپارها تا پایان تبلور است [۲۶]. مقادیر بهنجر شده عناصر کمیاب در منطقه مورد بررسی در شکل ۵ دیده می‌شود [۲۷].

توده‌های درونی برونزد یافته در منطقه کالچویه غنی از



شکل ۵ نمودار عنکبوتی مقادیر بهنجر شده عناصر کمیاب با جبه اولیه [۲۷].



شکل ۶ نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر بهنجر شده با کندریت [۲۷].

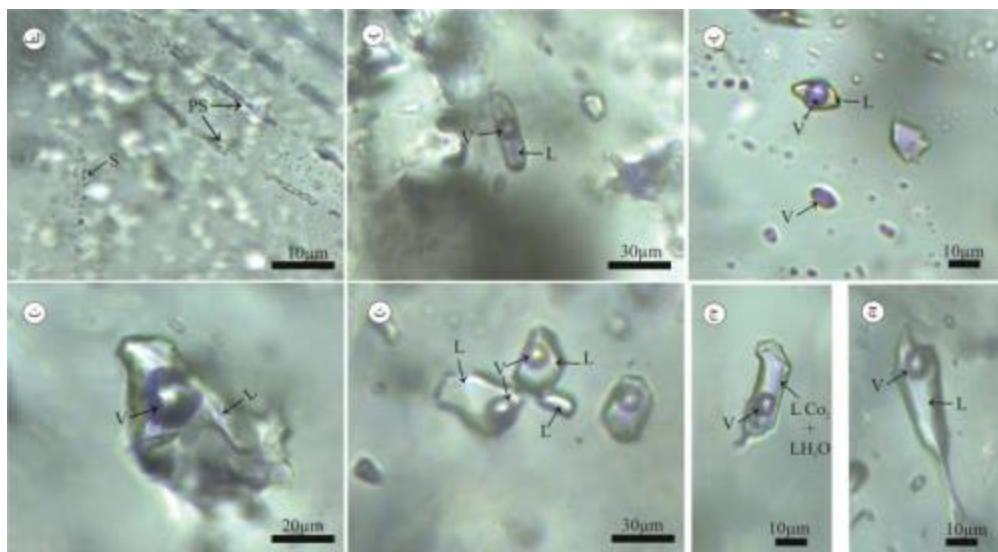
سیال (که در برخی موارد دمای تنهشت کانی میزبان گرمابی است)، تعیین شوری و تشخیص برخی مواد فرار و گازها همچون دی اکسید کربن را ممکن می‌سازد [۳۳]. مقادیر دمای همگن شدگی (T_h) از ۱۵۱ تا ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد (با مقدار متوسط 251°C برای تعداد ۱۳۰) در کانی کوارتز متغیر است (شکل ۸ الف). مقادیر به دست آمده بیانگر کمینه دمای به دام افتادن سیال گرمابی در میانبار سیال است [۳۴]. فشار دقیق طی کانه‌زایی در منطقه مورد بررسی مشخص نیست و از طرفی، هیچ پدیده‌ای نشانگر جوشش در میانبارهای مورد بررسی دیده نشده است. این امر نشان می‌دهد که دمای کانه‌زایی در یک سامانه هیدرواستاتیکی مفروض نمی‌تواند بیش از 310°C باشد. در نتیجه، مقادیر T_h موجود احتمالاً بسیار نزدیک به دمای حقیقی (به دام افتادن) است [۳۵]. شوری سیال‌ها معادل با 15°C تا 4°C درصد وزنی نمک طعام است چگالی‌های به دست آمده در منطقه مورد بررسی از 75°C تا 98 g/cm^3 (به طور متوسط 90°C) متغیر بوده‌اند (جدول ۱). دمای همگن شدگی در منطقه کانه‌زایی کالچویه بین ۱۵۰ تا ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد برآورده شده است (جدول ۱). بر این اساس، فشار به دام افتادن سیال‌های درگیر نزدیک به 50 بار برآورده شده (شکل ۹). بر پایه این مقدار فشار برای کالچویه، به احتمال بسیار کانی‌سازی در عمق حدود 400 متری از سطح زمین رخداده است (شکل ۹).

میانبارهای سیال

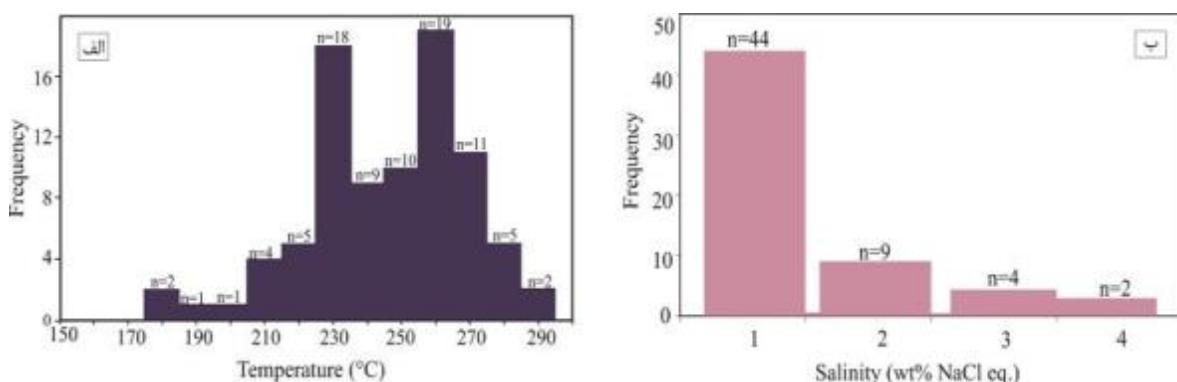
بر اساس تقسیم‌بندی مرجع [۳۰]، توزیع میانبارهای سیال در کانسار کالچویه به صورت میانبارهای اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب (شکل ۷ الف) در طول سطوح رشد بلورهای کوارتز است. اندازه‌ی میانبارهای سیال کانسار کالچویه از 5 تا 49 میکرون متغیر است (جدول ۱). به طور کلی، شکل ظاهری میانبارهای سیال به صورت بی‌نظم، کروی، بیضوی و مستطیلی است. نبود شکل مشخصی در میانبارهای سیال بی‌نظم نشان می‌دهد که فضاهای میان سطوح بلوری که سبب به تله افتادن میانبارها شده‌اند شکل مشخصی نداشته‌اند [۲۶]. میانبارهای سیال با شکل‌های منظم و بی‌قاعده با گذشت زمان بسیار مایل به تغییر به شکل‌های منظم‌تری هستند. این باز تعادل موجب تقسیم میانبار سیال به تعدادی میانبار منظم‌تر می‌شود که این پدیده را دمبریدگی گویند (شکل ۷ ج) [۳۱، ۹]. بر پایه نوع و درصد فازهای موجود در میانبارهای سیال [۳۲] و بررسی ریزدماسنجی، در منطقه کانسار کالچویه 4 نوع سیال درگیر تشخیص داده شده است که عبارتند از نوع A: دوفازی غنی از مایع (L+V، شکل ۷ ب و ت)، نوع B: دوفازی غنی از بخار، V+L، شکل ۷ پ، نوع C: دوفازی بخار مایع دارای $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$ (شکل ۷ ج) و نوع: تک فازی مایع (L شکل ۷ ث).

ریزدماسنجی

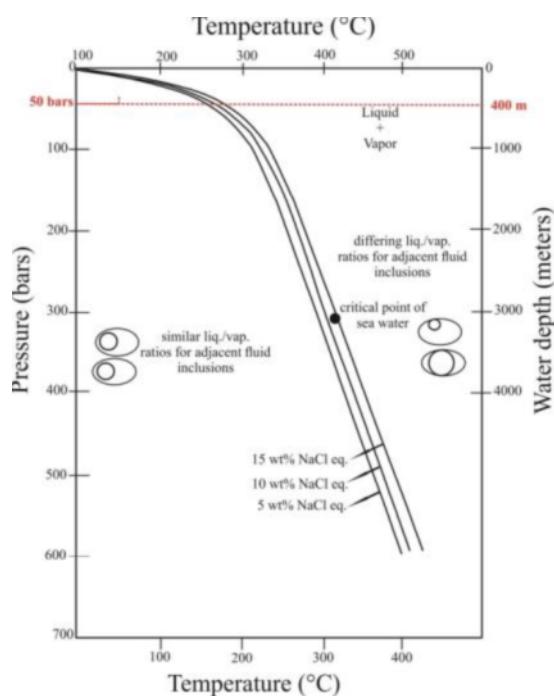
ریزدماسنجی تعیین کمی دما هنگام به دام افتادن یک میانبار



شکل ۷ الف: میانبارهای سیال ثانویه و ثانویه کاذب، ب: میانبار سیال بی شکل غنی از بخار، ت: میانبار سیال بی شکل غنی از مایع، پ: میانبار سیال غنی از بخار، س: میانبار سیال غنی از مایع و تک فازی مایع (شکل ۷ ج)، ج: میانبار سیال دوفازی دارای $\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ در فاز مایع و پ: میانبار سیال غنی از مایع دارای دمبریدگی. (L: مایع، V: بخار، S: ثانویه و PS: ثانویه کاذب).



شکل ۸ نمودارهای (الف) دمای همگن شدگی و (ب) شوری برای میانبارهای سیال مورد بررسی در کانسار کالچویه.



شکل ۹ الف: برآورد فشار کانه‌زایی (بر حسب bar) و عمق کانه‌زایی نسبت به سطح آب (بر حسب متر) [۳۴].

اصلی در کانسار کالچویه مطرح هستند، رخ داده است. این رگه و رگچه‌ها که مجراهایی برای عبور محلول‌های گرمابی بوده‌اند، به احتمال بسیار وابسته به فاز کششی کوه‌زایی پیرنه هستند [۵]. این محیط کششی حرکت‌های زمین‌ساختی، شکستگی‌ها و فضاهای خالی را ایجاد کرده که اغلب معبری مناسب برای جایگیری ماقماها و سیال‌های کانه‌دار وابسته به آنهاست [۳۶]. در چنین شرایطی، سیال‌های کانه‌دار از طریق شکستگی‌های به وجود آمده به سرعت از بخش‌های با فشار بالا به بخش‌های با فشار پایین مهاجرت می‌کنند و با رخداد فرآیند جوشش و یا آمیختگی با سیال‌های مختلف دیگر سبب کانه‌زایی نوع فراگرمایی و تهنشست فلزات در منطقه می‌شوند [۳۷]. از طرف

بحث

کانه‌زایی در کانسار کالچویه از نظر زمانی و مکانی همراه با فعالیت آتش‌شانی آهکی قلیایی کمان ماقمایی ارومیه- دختر که ناشی از فروزانش اقیانوس نوتیس در دروه اؤسن بوده، رخداده است [۶] بنابراین، کانه‌زایی در نظمی کششی در راستای لبه جنوبی یک حوضه راستا لغز جداکننده ایجاد شده است. گسترش این حوضه، تمرکز ماقما و سیال‌های کانه‌دار وابسته و نیز توسعه کانسار کالچویه در رگه‌های کششی را تسهیل نموده است. بر اساس شواهد صحرایی و کانی‌شناسی، کانه‌زایی به صورت رگه‌ای و شکافه پرکن و همچنین پراکنده در راستای رگه‌های کوارتزی پرکننده فضاهای خالی که به عنوان باطله

در کانسار مورد بررسی به چشم می‌خورند [۴۰]. دگرسانی پروپلیتی گسترهای در سنگ میزبان نیز به چشم می‌خورد و نوع دگرسانی در کانسارهای فرآگرمایی نیز سولفیدشگی پایین پروپلیتی تا آرژیلیتی است [۴۱، ۴۲]. جدول ۴ مقایسه بین کانسار مورد بررسی و سایر کانسارهای فرآگرمایی در UDMA را بر اساس پارامترهای مختلف نشان می‌دهد [۴۳-۴۵].

توده‌های درونی میزبان کانه‌زایی و سنگ‌های آتشفشنای پیرامون آن‌ها در کانسار کالچویه ویژگی‌های زمین شیمیایی ماگماهای وابسته به فرورانش را نشان می‌دهند که شامل غنی شدگی نسبت به عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE)، تهی‌شدگی نسبت به عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) و تهی‌شدگی بسیار مشخص Nb و Ti با وابستگی به آهکی قلیایی‌هاست (شکل ۵). با توجه به شکل ۵ که الگوی بهنجار شده عناصر کمیاب را نسبت به گوشه‌های اولیه به نمایش می‌گذارد، به نظر می‌رسد که بی هنجاری منفی Ti مربوط به جدایش فازهای تیتانیم دار مانند ایلمنیت و تیتانیت در ماغمات است [۴۶]. بی هنجاری مثبت دیده شده در U نسبت به Nb نشان دهنده حضور اورانیوم از طرف مولفه‌های فرورانش و نشانگر ماهیت اکسایشی و اسیدی برای سیال گرمایی است [۴۷]. بی هنجاری منفی در Nb نیز تایید کننده ویژگی مناطق فرورانش و کوه‌زایی بوده و تهی‌شدگی Th نیز با میزان اسیدیته محلول گرمایی درونزد در ارتباط است، به طوری که در پهنه دگرسانی، تهی‌شدگی شدت یافته است که می‌تواند به دلیل شرایط اسیدی سیال گرمایی در مرکز سامانه دگرسانی باشد [۲۶].

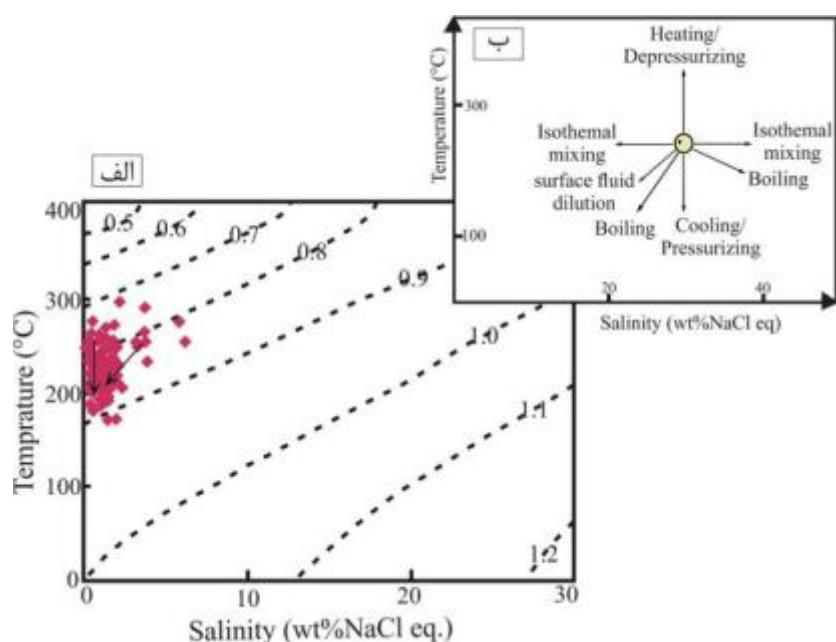
دیگر، گسل‌های راستا لغز موجود در منطقه را می‌توان عامل ساخت حوضه‌ای کششی دانست، به طوری که کشش پوسه در راستای آن‌ها رخ داده و منجر به ایجاد حوضه کششی زفره شده است [۵]. از آن‌جا که منطقه کالچویه در بخش جنوبی این حوضه کششی واقع است، بنابراین می‌توان گفت که فازهای کششی رخ داده در منطقه منجر به نفوذپذیری و ایجاد معابر لازم جهت جایگیری ماگما و سیال‌های گرمایی و در پی آن برشی شدن شده است. از آن‌چه گفته شد این چنین برمی‌آید که این حوضه کششی در منطقه مورد بررسی نه تنها صعود و جایگیری ماگما و مرکز زمانی و مکانی سامانه‌های گرمایی وابسته را تسهیل نموده است بلکه به منظور ایجاد یک حوضه کانه‌زایی نیز مهم تلقی می‌شود [۳۷]. از نظر همیزایی کانی‌ای، حضور کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت در سنگ میزبان آندیزیتی از جمله شواهد مهم برای فرآگرمایی بودن یک کانسار محسوب می‌شوند [۳۸، ۳۷، ۷]. به عقیده برخی پژوهشگران [۳۸]، این کانه‌زایی‌ها به صورت رگه‌هایی کوچک به همراه برش‌های گرمایی رخ می‌دهند و بنابراین حضور بافت‌های برشی در بررسی‌های انجام شده از جمله شواهد اولیه برای تعیین کانه‌زایی به صورت فرآگرمایی است. از آن‌جا که بخش عمده کانه‌زایی در منطقه کالچویه در راستای رگه‌های کوارتزی رخ داده است، بنابراین بافت و ساخت این رگه‌ها تاثیر بهسزایی در تعیین نوع کانه‌زایی دارد. در منطقه مورد بررسی، کوارتز اغلب دارای بافت قشرگون، نواری و شانه‌ای است که از شواهد مهم کانه‌زایی از نوع فرآگرمایی هستند [۳۹، ۴۲]. افزون بر این، کلسیت‌های تیغه‌ای نیز که از دیگر شواهد کانی‌شناسی در جهت فرآگرمایی بودن کانه‌زایی هستند

جدول ۴ مقایسه کانسار فرآگرمایی کالچویه با کانسارهای فرآگرمایی مورد بررسی در کمان ماگماهی ارومیه-دختر

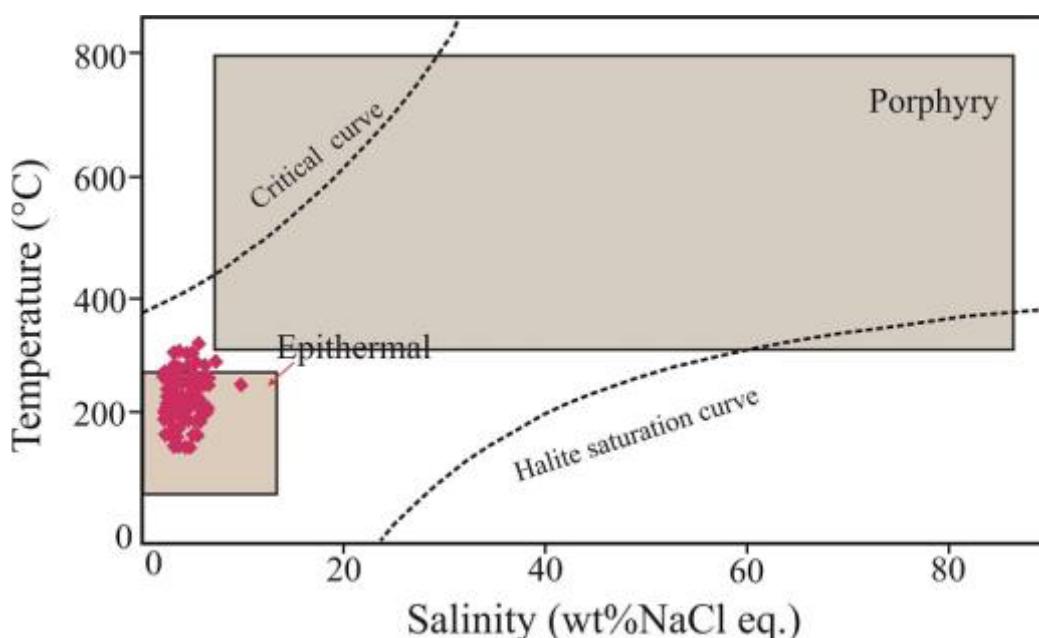
نام کانسار	نام ویژگی	محیط زمین ساختی	سنگ میزبان	نوع کانه زایی	دما	دگرسانی
کانسار نقره - طلا فرآگرمایی با میزبان برشی	چاه زرد [۴۳]	زمین ساخت کششی	آندزیت- ریولیت	کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و و تیتانیت- تتراهریت و پیریت	۳۴۵ تا ۱۹۷ °C	کلریتی- کلسیتی، سریسیتی و پاتاسیک
کانسار نقره - مس فرآگرمایی	ناریگانی [۴۴]	در ارتباط با پهنه فرورانش در طول پهنه تراستی زاگرس	آندزیت	تیتانیت، تترادریت، کالکوپیریت و پیریت، مالاکیت و آزوریت	۳۸۵ تا ۱۸۴ °C	پروپلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی، کربناتی و فیلیک
کانسار طلا- نقره (مس) (فرآگرمایی (سولفیدشگی بالا)	توزلار [۴۵]	مرتبه بازتاب نفوذی نیمه عمیق م حیط کششی درون کمانی	آندزیت با ویژگی آهکی قیلایی پتابسیم بالا	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، دیژنیت، تتراهریت، گالن و اسفالریت		سیلیسی، آرژیلیک ، فیلیک و پروپلیتیک
کانسار مس- طلا فرآگرمایی	کالچویه	محیط زمین ساختی کششی در ارتباط با گسل های راستای لغز	آندزیت	کالکوپیریت، پیریت، گالن ، اسفالریت، مالاکیت و آزوریت	۳۱۰ تا ۱۵۰ °C	پروپلیتیک، سیلیسی، کلریتی

انواع مختلف سیال‌ها بیانگر این است که به احتمال بسیار آمیختگی سیال ماقمایی – جوی مسؤول کانه‌زایی در کانسار مورد بررسی بوده است. در این میانبارهای سیال، نبود بلورهای دختر هالیت یا سیلیوت بیانگر وجود محلول‌های گرمابی فقیر از کمپلکس‌های کلریدی است و شوری پایین را نشان می‌دهد. شکل ۱۱ به روشنی نشان می‌دهد که اغلب داده‌های شوری و دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر مورد بررسی در گستره کانسارهای فراگرمایی قرار دارند. در این حوضه کانه‌زایی، سرد شدن و رقیق‌شدگی سطحی سیال (آمیختگی سیال کانه‌زایی، سرد آبهای مناطق کم عمق جوی منجر به تهنشست مقادیر بسیاری از فلزات کانیایی مانند مس، سرب، روی و طلا و جایگیری نهشته مس کالچویه شده است. این‌ها عوامل اصلی کنترل کننده زایش کانسار مس کالچویه هستند. می‌توان گفت که نخست با ورود توده‌های درونی در منطقه و انباشت محلول‌های گرمابی با انواع کمپلکس‌های دارای عناصر گوگرد دوست در سطوح بالایی این توده‌های درونی، فشار بخار سیال‌های منجر به مهاجرت این محلول‌های اسیدی می‌شود. طی برخورد این سیال‌ها با توالی‌های سنگی منطقه و همچنین ترکیب‌شدن آن‌ها با آبهای سطحی، دمای این محلول‌ها به شدت کاهش یافته و ماهیت آن‌ها از اسیدی به قلیایی تغییر می‌کند. در نتیجه، عناصر اولیه دما بالا که در محیط اسیدی محلول هستند، در این شرایط ته نشین می‌شوند. با ادامه عبور محلول‌های گرمابی، از آنجا که توالی‌های سنگ‌های منطقه دیگر توان تغییر pH محلول گرمابی را ندارند (به دلیل شست و شو توسط محلول‌های پیشین) و دمای سنگ‌های مسیر عبور محلول‌های گرمابی نیز افزایش یافته است، در این مرحله محلول‌های اسیدی و با دمای بالاتری حضور داشته‌اند. در این زمان، محلول‌های اسیدی و دمابالا افزون بر حمل عناصر از توده pH درونی، شروع به شستن عناصری که پیشتر در پی افزایش H و کاهش دما نهشته شده بودند می‌کنند. بنابراین در این مرحله، غلظت بالایی از عناصر در محلول‌های اسیدی تا متواتر و دما بالا وجود دارد که با نزدیک شدن به سطح و کاهش فشار، این عناصر مانند مس در قالب کانی‌های سولفیدی تهنشست می‌یابند.

الگوی توزیع و ویژگی‌های زمین شیمیایی عناصر خاکی نادر در منطقه مورد بررسی (شکل ۶) نشان دهنده شرایط خنثی تا قلیایی در سیال کانه‌دار است. سنگ‌های میزبان و رگه‌های کانه‌زایی به طور متوسط بی هنجاری مثبت Eu را به نمایش می‌گذارند. از آن‌جا که تهی شدگی نسبت به Eu در سنگ میزبان بیانگر جدایش پلازیوکلاز ماقمای سازنده و نیز حالت اکسایشی به نسبت بالا در ماقمای سازنده است، غنی‌شدگی نسبت به Eu در سیال گرمابی نتیجه رفتار احیایی ویژه در این عناصر و واکنش مداوم آب-سنگ است [۲۸]. بر اساس دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال، بی‌هنجاری‌های مثبت Eu در نمونه‌های مورد بررسی و دگرسانی پروپلیتی گستردۀ سیال-های اکسیدی خنثی – قلیایی مسؤول غنی‌شدگی Eu و LREE‌ها در رگه‌های کانه‌زایی کانسار کالچویه هستند. دو فرآیند مهم برای بی‌هنجاری مثبت Eu در سیال کانه‌دار پیشنهاد می‌شود: ۱) آمیختگی سیال‌های ماقمایی عمیق با آبهای جوی اکسیدی و ۲) فرآیند پروپلیتی شدن که می‌تواند Eu را طی درهم شکستن پلازیوکلاز آزاد کند [۵]. از آن‌جا که شوری و دمای همگن‌شدگی در کانسار کالچویه گستره وسیعی را در بر نمی‌گیرند، بنابراین این امر که فاز بخار در سیال‌های ماده معدنی مسؤول تشکیل کانسار بوده باشد پذیرفته نیست [۲۶]. ترکیب متغیر میانبارهای سیال در همه نمونه‌ها و همزیستی سیال‌ها با مقادیر متفاوت بخار، شاهدی بر گستره وسیع عوامل فیزیکی و شیمیایی است که طی سردشدن سیال تشکیل‌دهنده کانسار عمل کرده‌اند [۹]. چنان که گفته شد، فشار محاسبه شده برای کانسار کالچویه کمتر از ۵۰ بار بوده که معادل با عمق کمتر از یک کیلومتری است (شکل ۹). بر اساس شواهد ارائه شده توسط ژنگ و همکاران [۴۸، ۴۹] در مورد آمیختگی سیال، ویژگی‌های تکامل سیال کانسار کالچویه با آمیختگی سیال همخوانی دارد، به ویژه اینکه نمودار دمای همگن شدگی – شوری یک روند تکاملی سیال که از دمای به نسبت بالا به دما و شوری به نسبت پایین متغیر است را نشان می‌دهد. بر اساس آن‌چه که گفته شد، پدیده آمیختگی سیال به صورت رقیق‌شدگی سطحی و سرد شدن در روند تکاملی سیال کانه‌دار در منطقه مورد بررسی تاثیر به سزاگی داشته است (شکل ۱۰). هم چنین رابطه بین دمای همگن شدگی، شوری و



شکل ۱۰ روند تکاملی سیال کانه‌دار در کانسار کالچویه [۴۶] که (الف) چگالی کانسار بین ۰/۷ تا ۰/۹ را نشان می‌دهد و (ب) روند کانه را به صورت رقیق‌شدگی سطحی و سرد شدگی مشخص می‌کند.



شکل ۱۱ تعیین نوع کانه‌زایی در کانسار کالچویه و میانبارهای مورد بررسی که بین خط منحنی اشباع هالیت و خط بحرانی فقیر از نمک طعام، قرار داردند [۴۶].

کلسیت، اپیدوت و کلریت است نشان داده می‌شود. کانه‌زایی به صورت رگه‌ای و پراکنده از نوع کالکوپیریت، پیریت، گالن به عنوان کانی‌های درونزادی و کولیت، کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت به عنوان فاز برونزادی است. کانی‌های باطله اصلی در

برداشت

- ۱- کانسار مس فراگرمایی کالچویه در سنگ میزبان آندزیتی واقع بوده و توزیع کانه‌زایی به طور اولیه توسط گسل‌ها کنترل شده است. دگرسانی گسترده در منطقه که اغلب دگرسانی پروپلیتی با انباسته‌های کانیابی کوارتز، کانی‌های رسی،

- [9] Zaravandi A., Asadi F., Pourkaseb H., Ahmadnejad F., Zamanian H., “*Hydrothermal Fluid evolution in the Dalli porphyry Cu-Au Deposit: Fluid Inclusion microthermometry studies (in Persian)*”, Journal of Economic Geology 7 (2016) 11-12.
- [10] Berberian M., King G.C.P., “*Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran*”, Canadian Journal of Earth Science 18 (1981) 210–265.
- [11] Hezarkhani A., “*Petrology of the intrusive rocks within the Sungun porphyry copper deposit, Azerbaijan, Iran*”, Journal of Asian Earth Sciences 27 (2006) 326–340.
- [12] Mollai H., Sharma R., Pe-Pirer G., “*Copper mineralization around the Ahar batholith, north of Ahar (NW Iran): evidence for fluid evolution and the origin of the skarn ore deposit*”, Ore Geology Reviews 35 (2009) 401–414.
- [13] Mehvari R., Shamsi pour R., Bagheri H., Noghreian M., Maki zade M., “*mineralogy and fluid inclusion studies in the Kalchuyeh Cu-Au deposit, eastern Isfahan (in Persian)*”, Journal of Economic Geology 1 (2008) 47-55.
- [14] Ghasemi A., Talbot C.J., “*A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran)*”, Journal of Asian Earth Sciences 26 (2006) 683–693.
- [15] Zamanian H., Sameti M., Pazoki A., Barani N., Ahmadnejad F., “*Thermobarometry in the Sarvian Fe-skarn deposit (Central Iran) based on garnet–pyroxene chemistry and fluid inclusion studies*”, Arabian Journal of Geosciences 10 (2017) 54, DOI 10.1007/s12517-016-2785-z.
- [16] Zaravandi A., Rezaei M., Sadeghi M., Lentz D., Adelpour M., Pourkaseb H., “*Rare earth element signatures of economic and sub-economic porphyry copper systems in Urumieh–Dokhtar magmatic arc (UDMA), Iran*”, Ore Geology Reviews70 (2015) 407-423.
- [17] Ramezani J., Tucker R., “*The Saghand region, Central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics*”, Am J Sci 303 (2003) 622–665.
- [18] Bagheri H., Moore F., Alderton D.H.M., “*Cu–Ni–Co–As (U) mineralization in the Anarak area of Central Iran*”, Journal of Asian Earth Sci 29 (2007) 651–665.
- [19] Foster R.P., “*Gold Metallogeny and Exploration*”, Department of Geology University of Southampton (1996) 432.
- [20] Agard P., Omrani J., Jolivet L., Moutheau F., “*Convergence history across Zagros (Iran)*:

منطقه کوارتز و کلسیت هستند که کوارترها به صورت رگهای و دارای بافت نواری، قشرگون و شانهای دیده می شوند.
 ۲- بررسی سیال‌های درگیر نشان می‌دهد که ویژگی‌های کلی سیال کانه‌ساز در منطقه شامل دمای کم تا متوسط (۱۵۰ تا ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد) و شوری پایین (۴-۱۰ درصد وزنی نمک طعام) در کوارترهاست و بیانگر روند تکاملی سیال به صورت رقیق شدگی سطحی و سرد شدگی هستند.
 ۳- دگرسانی گسترده پروپلیتی، نوع کانه‌های فلزی، نسبت گوگرد به فلز پایین و حضور کوارتز با بافت‌های شاخص شانهای، نواری و قشرگون و هم چنین کلسیت‌های تیغه‌ای از جمله ویژگی‌های کانه‌زایی از نوع فراگرمایی سولفید پایین هستند.

مراجع

- [1] Hedenquist J.W., Izawa E., Arribas A., White N.C., “*Epithermal gold deposits: styles, characteristics, exploration*”, Soc Resour Geology Tokyo Resource Geology Special Publication (1996) 1:18p.
- [2] Singer B., Marchev P., “*Temporal evolution of arc magmatism and hydrothermal activity, including epithermal gold veins, Borovitsa caldera, southern Bulgaria*”, Economic Geology 95 (2000) 1155–1164.
- [3] Hezarkhani A., William-Jones A.E., “*Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposit: evidence from fluid inclusions and stable isotopes*”, Economic Geology 93 (1998) 651–670.
- [4] Shafiei B., Haschke M., Shahabpour J., “*Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran*”, Mineralium Deposita 44 (2009) 265–283.
- [5] Hosseini-Dinani H., Bagheri H., Esmaeili-Vardanjani M., “*Mineralization and structural features of Kalchouyeh copper-gold deposit (west-central Iran)*”, Arabian Journal of Geosciences 8 (2015) 3007–3018.
- [6] Stocklin J., “*Structural history and tectonics of Iran; a review*”, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, (1968) p. 52.
- [7] Zaravandi A., Rezaei M., Raith J., Lentz D., Azimzadeh A., Pourkaseb H., “*Geochemistry and fluid characteristics of the Dalli porphyry Cu–Au deposit, Central Iran*”, Journal of Asian Earth Sciences 10 (2016) 1-17.
- [8] Shahabpour J., “*economic geology*”, Kerman, Bahonar university publication, (2006) 500.

- Montana*", Economic Geology, 103 (2008) 307-334.
- [32] Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H., "A practical guide to fluid inclusion studies", Glasgow, Blackie and son, (1985) p. 239.
- [33] John D.A., Ayuso R.A., Barton M.D., Blakely R.J., Bodnar R.J., Dilles J.H., Gray F., Graybeal F.T., Mars J.C., McPhee D.K., Seal R.R., Taylor R.D., Vikre P.G., "Porphyry Copper Deposit Model", Scientific Investigations Report, USGS (2010) 169 p.
- [34] Peter J. M., Scott S. D., "Windy Craggy, Northwestern British Columbia: the world's largest Besshi-type deposit. In: Barrie CT, Hannington MD (eds) Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings", Reviews in Economic Geology, 8 (1999) 261-295.
- [35] Fournier R.O., "Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment", Economic Geology 94 (1999) 1193-1212.
- [36] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M., "Mineralogic, fluid inclusion, and sulfur isotope evidence for the genesis of Sechangi lead-zinc (-copper) deposit, Eastern Iran", Journal of African Earth Sciences, 107 (2015) 1-14
- [37] Tosdal R.M., Richards J.P., "Magmatic and structural controls on the development of 942 porphyry Cu±Mo±Au deposits, in Richards, J.P., and Tosdal, R.M., eds., Structural controls on 943 ore genesis", Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology 14 (2001) 157-181.
- [38] 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.
- [39] Corbett G.J., "Structural controls to, and exploration for, epithermal Au-Ag deposits", Australian Institute of Geoscientists Bulletin 56 (2012) 43-47.
- [40] Dong G., Morrison G., Jaireth S., "Quartz textures in epithermal veins, Queensland – Classification, origin and implication", Economic Geology, 90 (1995) 1841-1656.
- [41] Moncada D., Mutchler S., Nieto A., Reynolds T.J., Rimstidt Bodnar R.J., "Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to constraints from collisional and earlier deformation", International Journal of Earth Sciences 94 (2005) 401-19.
- [21] Kazemi K., Kananian A., Xiao Y., Sarjoughian F., "Petrogenesis of Middle-Eocene granitoids and their Mafic microgranular enclaves in central Urmia-Dokhtar Magmatic Arc (Iran): Evidence for interaction between felsic and mafic magmas", Geoscience Frontiers 10 (2019) 705-723.
- [22] Amini B., Amini M., "Geological quadrangle map of Kajan 1:100, 000", Geological Survey of Iran, (2003).
- [23] Craig J. R., Vaughan D. J., "Ore microscopy and ore petrography", Canada (1994) 434 pp.
- [24] Shimizu T., "Reinterpretation of quartz textures in terms of hydrothermal fluid evolution at the Koryu Au-Ag deposit, Japan", Economic Geology 109 (2014) 2051-2065.
- [25] Middlemost E.A.K., "Naming materials in the magma/igneous rock system", Earth Sciences Reviews 37 (1994) 215-224.
- [26] Zamanian H., Rahmani Sh., Jannessary M., Zareii Sahamieh R., Borna B., "Ore-genesis study of the Cu-Au vein deposit in the Tarom-granitoid (North Zanjan) based on mineralogical, geochemical and fluid inclusion evidences (in Persian)", 98:25 (2016) 255-282.
- [27] Sun S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.)", Magmatism in the Ocean Basins", 42. (1989) Geological Society (London), Special Publication, pp. 313-345.
- [28] Wang R., Richards J.P., Hou Z., Yang Z., Dufrane A., "Increased magmatic water content—the key to Oligo-Miocene porphyry Cu-Mo ± Au formation in the Eastern Gangdese Belt, Tibet", Economic Geology. 109 (2014) 1315-1339.
- [29] 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.
- [30] Yermakov N.P., "Research on the Nature of Mineral forming Solutions", Pergamon Press, Oxford, (1965) pp. 3—348.
- [31] Rusk B., Reed M., "Fluid Inclusion Evidence for Magmatic-Hydrothermal Fluid Evolution in the Porphyry Copper Molybdenum Deposit at Butte,

- Deposit, Subvolcanic Intrusion-related of Intra-arc Extensional Setting, Northwest Mahneshan, Iran”, Earth sciences, 24 (2014) 329-348.*
- [46] Robb L.J., “*Introduction to ore-forming processes*”, Blackwell science, Victoria, (2005) 373 pp.
- [47] Yang Z., Hou Z., Xu J., Bian X., Wang G., Yang Z., Tianf S., Liu Y., Wang Z., “*Geology and origin of the post-collisional Narigongma porphyry Cu-Mo deposit, southern Qinghai, Tibet*”, *Gondwana Research*. 26 (2014) 536–556.
- [48] Zheng Y., Sun X., Gao S., Zhao Z., Zhang G., Wu S., You Z., Li J., “*Multiple mineralization events at the Jiru porphyry copper deposit, southern Tibet: implications for Eocene and Miocene magma sources and resource potential*”, *Journal of Asian Earth Sci.* 79 (2014) 842–857.
- [49] Wilkinson J.J., “*Fluid inclusions in hydrothermal ore deposit*”, *Lithos* 55 (2001) 229-272.

exploration”, Journal of Geochemical Exploration 114 (2012) 20–35.

[42] Carrillo Rosúa F.J., Morales Ruano S., Boyce A.J., Fallick A.E., “*High and intermediate sulphidation environment in the same hydrothermal deposit: the example of Au-Cu Palai-Islica deposit, Carboneras (Almería)*”. Millpress, Rotterdam (2003) 445-448.

[43] Kuhestani H., Ghaderi M., Emami MH., Zao Kh., “*The Chah zard deposit: Ag-Au epithermal mineralization with bereciation host rock in the central part of the Urumieh- Dokhtar belt*”, *earth sciences*, 22 (2013) 9-24.

[44] Fazli N., Ghaderi M., “*Petrogenesis, alteration and mineralization of the Narbaghi Cu-Ag deposit, NE Saveh, central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc*”, 18th Iranian Geological Society Conference, 2014.

[45] Heydari M., Ghaderi M., Kuhestani H., Hosseni M., “*Touzlar Epithermal Au-Ag (Cu)*