



## کانه‌زایی اپی‌ترمال فلزات پایه (نقره) نوع سولفیداسیون حدواسط در کانسار گویجه‌ییلاق، جنوب‌باختر زنجان

حسین باقرپور<sup>۱</sup>، میرعلی اصغر مختاری<sup>۱</sup>، حسین کوهستانی<sup>۱\*</sup>، قاسم نباتیان<sup>۱</sup> و بهنام مهدی‌خانی<sup>۲</sup>

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(۲) گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵

### چکیده

کانسار سرب-روی (نقره) گویجه‌ییلاق در فاصله ۱۲۰ کیلومتری جنوب‌خاور زنجان واقع شده است و بخشی از کمان ماگمایی ارومیه-دختر محسوب می‌شود. در این کانسار، کانه‌زایی سرب-روی (نقره) به صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی در میزبان گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی الیگومیوسن رخ داده است. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، کانه‌های فلزی در کانسار گویجه‌ییلاق شامل کانی‌های درون‌زاد گالن، اسفالریت و کالکوپیریت، کانی‌های مرحله برون‌زاد (کولیت، سروزیت و گوتیت) و کانی‌های باطله کوارتز و کلسیت است. مهم‌ترین بافت‌های کانسنگ شامل رگه-رگچه‌ای، پرشی، دانه‌پراکنده، پُرکننده فضای خالی، بازماندی و جانشینی است. سه مرحله کانه‌زایی در کانسار گویجه‌ییلاق قابل تشخیص است. این مراحل با تهنشست کوارتز و سولفیدها (گالن، اسفالریت و کالکوپیریت) در رگه‌ها و سیمان گرمابی برش‌ها (مرحله اول) آغاز شده و با تشکیل رگچه‌های منفرد و یا دسته‌رگچه‌های نیمه‌موازی تا متقاطع تأخیری کلسیت (مرحله دوم) و کانی‌های برون‌زاد کولیت، سروزیت و گوتیت با بافت جانشینی و پرکننده فضاهای خالی (مرحله سوم) ادامه یافته است. دگرسانی گرمابی به بخش‌های سیلیسی و کربناتی پهنه‌های کانه‌دار محدود می‌شود. دگرسانی پروپلیتیک (سریسیت، اپیدوت، کلسیت و کلریت) در خارج از بخش‌های کانه‌دار رخ داده است. شباهت الگوهای بهنجار شده عناصر کمیاب خاکی در رگه‌های کانه‌دار و سنگ‌های میزبان آندزیت‌بازالتی و آندزیتی سالم و دگرسان شده بیانگر ارتباط زایشی کانه‌زایی و توالی آتشفشانی منطقه است؛ به‌طوری‌که دگرسانی واحدهای آتشفشانی و شسته شدن عناصر از آنها در تشکیل کانی‌سازی منطقه مؤثر بوده است. ویژگی‌های کانسار گویجه‌ییلاق با کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه (نقره) نوع سولفیداسیون حدواسط قابل مقایسه است.

**واژه‌های کلیدی:** کانه‌زایی اپی‌ترمال، سولفیداسیون حدواسط، گویجه‌ییلاق، زنجان

### مقدمه

قرار دارد. این کانسار در بخش شمال‌خاوری ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰

زمین‌شناسی مرزبان (Majidifard and Shafei, 2006) و در

فاصله حدود ۱۵ کیلومتری خاور کانسار سرب-روی (نقره)

کانسار سرب-روی (نقره) گویجه‌ییلاق در فاصله ۱۲۰

کیلومتری جنوب‌خاور زنجان و ۲۰ کیلومتری جنوب قیدار

گمیش تپه واقع شده است. در تقسیم‌بندی پهنه‌های زمین‌ساختی - رسوبی ایران (Aghanabati, 2004)، منطقه مورد بررسی بخشی از کمان ماگمایی ارومیه-دختر است. در این بخش از کمان ماگمایی ارومیه-دختر، سنگ‌های آتشفشانی و نیمه آتشفشانی ارتباط فضایی و مکانی نزدیکی با کانه‌زایی‌های منطقه مانند سرب-روی-نقره گمیش تپه (Salehi et al., 2011; Salehi et al., 2015) و گویجه‌یلاق و آهن مسگر (Ebrahimi et al., 2015) دارند. کانسار گمیش تپه به تفصیل توسط صالحی (Salehi, 2009) و صالحی و همکاران (Salehi et al., 2011; Salehi et al., 2015) مورد بررسی قرار گرفته و اطلاعات ارزشمندی در رابطه با زمین‌شناسی و کانی‌سازی آن موجود است. با این وجود، بررسی علمی دقیقی بر روی کانسار گویجه‌یلاق انجام نشده است.

بررسی‌های قبلی انجام شده در منطقه گویجه‌یلاق شامل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش کبود آهنک (Bolourchi and Hajian, 1979) و ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه مرزبان (Majidifard and Shafei, 2006) و همچنین فعالیت‌های اکتشافی موضوعی در رابطه با اکتشاف سرب و روی (Mehdikhani, 2014) بوده است. در این پژوهش‌ها، به نوع کانه‌زایی و سازوکار تشکیل آن چندان توجهی نشده است. در این پژوهش، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی و زمین‌شیمیایی کانسار گویجه‌یلاق مورد بررسی قرار گرفته و نوع کانه‌زایی و خاستگاه آن تعیین شده است. بررسی دقیق این نوع کانه‌زایی‌ها می‌تواند عوامل کلیدی توزیع زمانی و مکانی برای اکتشاف کانه‌زایی‌های مشابه در این بخش از کمان ماگمایی ارومیه-دختر را معرفی کند و به عنوان الگوی اکتشافی مورد استفاده قرار گیرد.

## روش مطالعه

این پژوهش شامل دو بخش بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی است. در بررسی‌های صحرایی، نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ منطقه تهیه و چگونگی ارتباط رگه‌های کانه‌دار

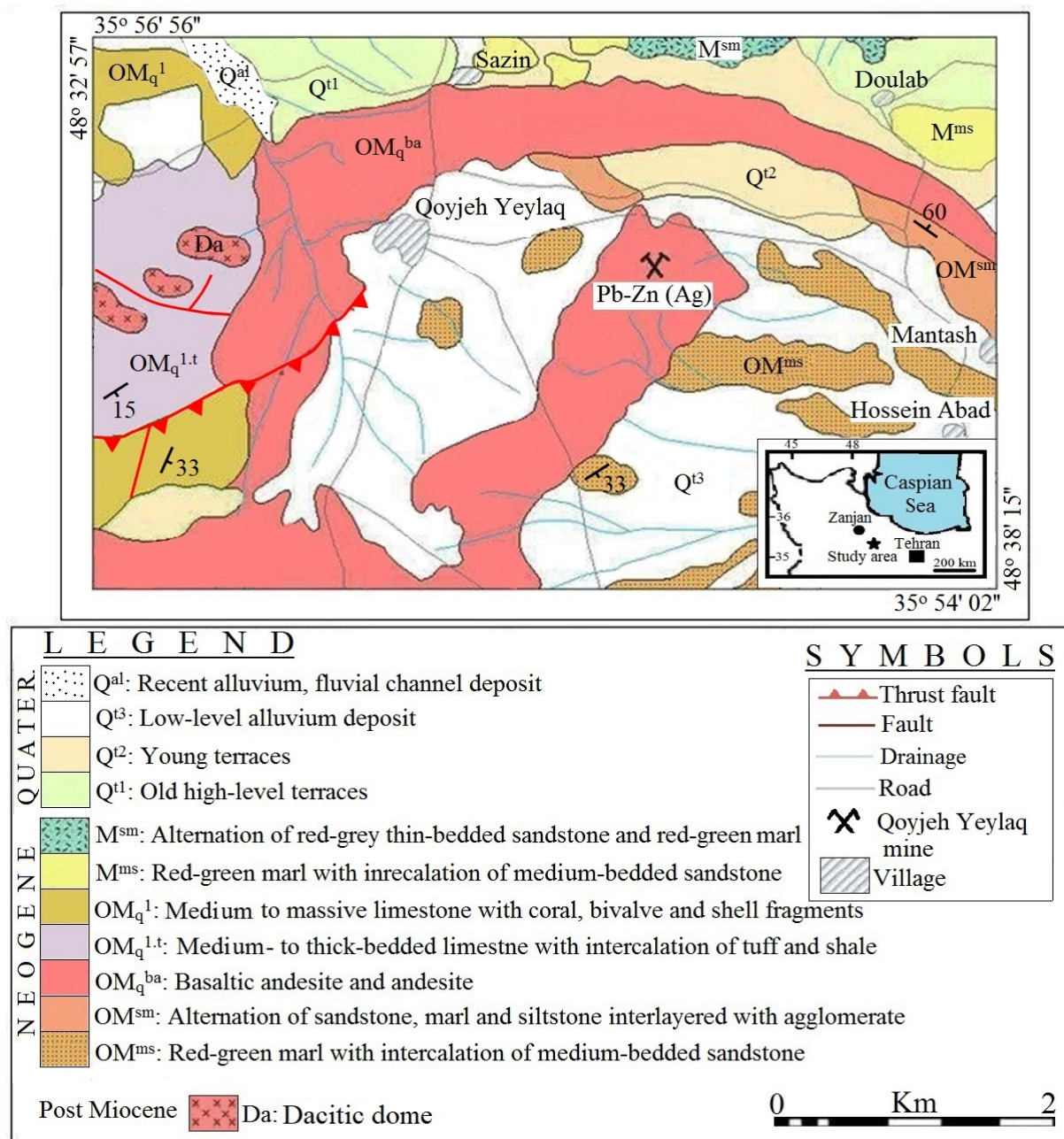
با سنگ‌های میزبان مشخص شد. در این راستا، ۶۰ نمونه از واحدهای سنگی و رخنمون‌های کانه‌زایی برداشت شد. سپس، تعداد ۱۶ مقطع نازک و ۱۰ مقطع نازک-صیقلی برای بررسی‌های سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و ساخت و بافت، تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای انجام بررسی‌های زمین‌شیمیایی، تعداد ۶ نمونه از سنگ میزبان سالم، ۲ نمونه از سنگ میزبان دگرسان شده و ۳ نمونه از بخش‌های کانه‌دار انتخاب شد. بدین منظور، ابتدا نمونه‌ها توسط خردکننده فولادی تا اندازه حدود ۵ مش (۴ میلی‌متر) خرد شده و سپس با استفاده از آگات به مدت ۲ دقیقه تا اندازه حدود ۲۰۰ مش (۷۴ میکرون) پودر شدند. پس از آماده‌سازی، میزان ۲۰ گرم از پودر نمونه‌ها برای تعیین میزان عناصر کمیاب و کمیاب خاکی به روش ICP-MS به آزمایشگاه شرکت زر آزما در تهران، ارسال شد و مورد تجزیه قرار گرفت. برای تعیین میزان عناصر کمیاب خاکی، حدود ۰/۲ گرم از هر نمونه در لیتیم متابورات/ترابورات ذوب و سپس در اسید نیتریک حل شد. برای تعیین میزان فلزات پایه، حدود ۰/۵ گرم از هر نمونه به صورت جداگانه در تیزاب سلطانی داغ (۹۵ درجه سانتی‌گراد) حل شد. حد پایین دقت اندازه‌گیری برای عناصر مختلف در جدول ۱ آمده است.

## زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه گویجه‌یلاق

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه مرزبان (Majidifard and Shafei, 2006) و بر اساس بررسی‌های صحرایی انجام شده در قالب تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه گویجه‌یلاق (شکل ۱)، واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه گویجه‌یلاق متعلق به سنوزوئیک بوده و شامل واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی الیگومیوسن و میوسن و واحدهای آبرفتی کواترنری است. یک گروه گنبدی داسیتی به سن پس از میوسن نیز در بخش‌های باختری منطقه وجود دارد که به داخل توالی سنگی الیگومیوسن نفوذ کرده‌اند. گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی (OM<sup>ba</sup>) مهم‌ترین واحد سنگی و میزبان کانه‌زایی در منطقه مورد بررسی هستند (شکل ۲-A). در محدوده کانسار گویجه‌یلاق، این گدازه‌ها به صورت تپه‌های کم ارتفاع دیده می‌شوند؛ اما در بخش‌های شمالی منطقه، مورفولوژی

برشی و لیتیک توف در تناوب با گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی قرار دارند (شکل ۲-۷).

صخره‌ساز داشته و به صورت نواری با راستای تقریبی خاوری - باختری گسترش دارند (شکل ۲-۵). واحدهای آگلومرای، توف



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی کانسار گویجه‌ییلاق

**Fig. 1.** Geological map of Qoyjeh Yeylaq deposit

کلینوپیروکسن (فراوانی حدود ۲۵ درصد) و به مقدار بسیار محدود آمفیبول (فراوانی کمتر از ۵ درصد) در زمینه‌ای دانه‌ریز تشکیل

بر اساس بررسی های میکروسکوپی، گدازه های آندزیت بازالتی از درشت بلورهای پلاژیوکلاز (فراوانی حدود ۷۰ درصد) و

شده‌اند (شکل ۳-۱). بافت این سنگ‌ها پورفیری تا پورفیری میکرولیتی، اینترگرانولار، آمیگدالوئیدی، غربالی، افیتیک و ساب‌افیتیک و به مقدار محدود پوئی کلیتیک و حفره‌ای است (شکل ۳-۲). زمینه این سنگ‌ها اغلب متشکل از بلورهای تیغه‌ای ریز پلاژیوکلاز به همراه مقداری بلورهای کوچک دگرسان‌شده پیروکسن و کانی‌های کدر به همراه اکسیدهای آهن است. کلریت، کلسیت و کوارتزهای ثانویه، حفره‌ها و شکستگی‌های سنگ را پر کرده است. اندازه‌های آندزیتی از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز (فراوانی حدود ۷۵ درصد)، هورنبلند (فراوانی حدود ۱۵ درصد) و کلینوپیروکسن (فراوانی حدود ۱۰ درصد) تشکیل شده و دارای بافت‌های پورفیری، پورفیری میکرولیتی، آمیگدالوئیدی و غربالی هستند (شکل ۳-۳ و ۳-۴). زمینه این سنگ اغلب متشکل از بلورهای ریز پلاژیوکلاز به همراه مقداری کانی‌های مافیک کلریتی شده بوده و دارای تمرکز بالایی از کانی‌های کدر و هیدروکسیدهای آهن است. کانی‌های کدر به صورت اولیه در متن سنگ و به صورت ثانویه در نتیجه دگرسانی کانی‌های مافیک تشکیل شده‌اند. کوارتزهای ثانویه و کلسیت ریزبلور در محل حفره‌ها و شکستگی‌ها تشکیل شده‌اند.

تناوب مارن قرمز با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ قرمز ( $OM^{ms}$ ) و تناوب ماسه‌سنگ‌های قرمز-خاکستری با میان‌لایه‌های سیلت‌سنگ، مارن و گاهی آگلومرا ( $OM^{sm}$ ) در بخش‌های خاوری و شمالی کانسار گویچه‌یلاق و در سمت شمال و خاور جاده روستاهای گویچه‌یلاق-حسین‌آباد رخنمون دارند (شکل ۲-۱ و ۲-۲). لایه‌های سنگ آهک متوسط تا ضخیم لایه خاکستری رنگ با میان‌لایه‌های توف سبز-خاکستری و شیل خاکستری تیره ( $OM_q^{1,t}$ ) در بخش‌های باختری کانسار گویچه‌یلاق و در اطراف کانسار گمیش‌تپه رخنمون دارند؛ درحالی‌که رخنمون سنگ آهک‌های کرم تا قهوه‌ای روشن ضخیم‌لایه تا توده‌ای حاوی پوسته‌های فسیلی و مرجان ( $OM_q^1$ ) در بخش‌های شمال‌باختری و جنوب‌باختری منطقه دیده می‌شود. واحدهای رسوبی میوسن شامل تناوب مارن قرمز رنگ با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ قرمز ( $M^{ms}$ ) و تناوب ماسه‌سنگ‌های قرمز-خاکستری با میان‌لایه‌های مارن سبز-خاکستری ( $M^{sm}$ ) در بخش‌های شمالی منطقه رخنمون دارند. توالی  $M^{ms}$  در مجاورت روستای سازین

به عنوان ماده اولیه کوره‌های آجرپزی در حال استخراج است. در اطراف کانسار گویچه‌یلاق در داخل گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی، دایک‌هایی با ترکیب میکرودیوریتی و راستای عمومی شمال‌باختری-جنوب‌خاوری وجود دارد. ضخامت این دایک‌ها تا ۲ متر رسیده و رگه‌های سیلیسی کانه‌دار آنها را قطع می‌کنند که این موضوع نشان‌دهنده جوان بودن سن کانی‌سازی نسبت به این دایک‌هاست. این دایک‌ها از بلورهای درشت پلاژیوکلاز (فراوانی بیش از ۸۰ درصد) همراه با مقادیر کمی کلینوپیروکسن (فراوانی حدود ۲۰ درصد) تشکیل شده و دارای بافت‌های سری‌ایتی، پورفیری و غربالی هستند (شکل ۳-۳ و ۳-۴). تعداد کمی بلور آمفیبول اوپاسیده شده با ابعاد کمتر از ۱ میلی‌متر نیز در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود.

واحدهای کواترنری شامل تراس‌های آبرفتی قدیمی موجود در ترازهای ارتفاعی بالاتر ( $Q^{11}$ )، تراس‌های آبرفتی جوان ( $Q^{12}$ ) و خاک‌های در جازاد مربوط به ترازهای ارتفاعی پایین ( $Q^{13}$ ) هستند. رسوبات در جازاد اغلب به عنوان زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۲-۳).

گنبد‌های داسیتی به سن پس از میوسن در بخش‌های باختری منطقه و در اطراف کانسار گمیش‌تپه رخنمون دارند (شکل ۲-۳). کانه‌زایی سرب-روی (نقره) گمیش‌تپه توسط این گنبد‌های داسیتی میزبانی شده است. این گنبد‌های داسیتی واحدهای سنگی الیگومیوسن را قطع می‌کنند (شکل ۱).

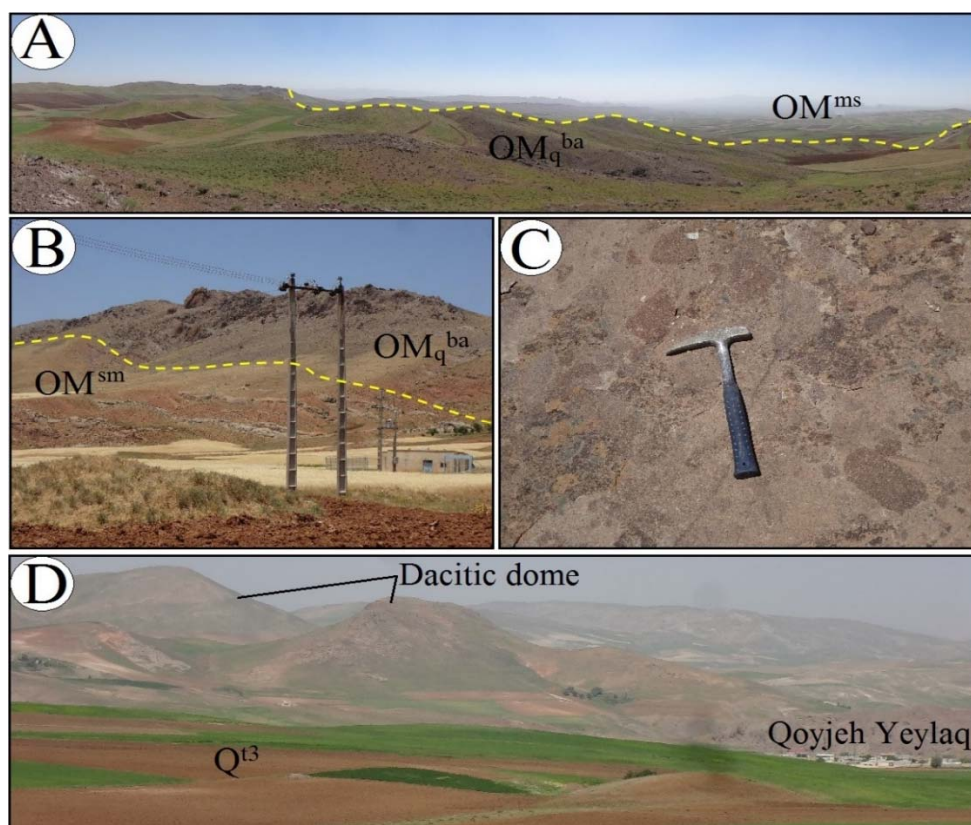
ساختارهای اصلی در منطقه گویچه‌یلاق شامل گروهی از سیستم‌های گسلی با روندهای تقریباً خاوری-باختری، شمال‌باختری-جنوب‌خاوری و شمال‌خاوری-جنوب‌باختری است. گسل‌های موجود در محدوده کانسار گویچه‌یلاق اغلب از نوع گسل‌های عادی با روند شمال‌باختری-جنوب‌خاوری هستند. این گسل‌ها، کنترل‌کننده رگه‌های سیلیسی کانه‌دار منطقه هستند.

### کانه‌زایی و دگرسانی

کانه‌زایی در کانسار گویچه‌یلاق به صورت رگه-رگچه‌های

در نتیجه عملکرد سیالات گرمایی، ساخت برشی نیز در برخی از بخش‌های کانسار تشکیل شده است که اغلب توسط سولفیدها و کوارتز، سیمانی شده است (شکل ۴-۲). رگه-رگچه‌های کلسیتی تأخیری، کانه‌زایی سولفیدی را قطع کرده‌اند (شکل ۴-۳). ذخیره این کانسار ۱۱۰ هزار تن با عیار متوسط سرب، روی و نقره به ترتیب ۶ و ۱/۵ درصد و ۸۵ گرم در تن (حداکثر تا ۲۴۰ گرم در تن) برآورد شده است (Mehdikhani, 2014).

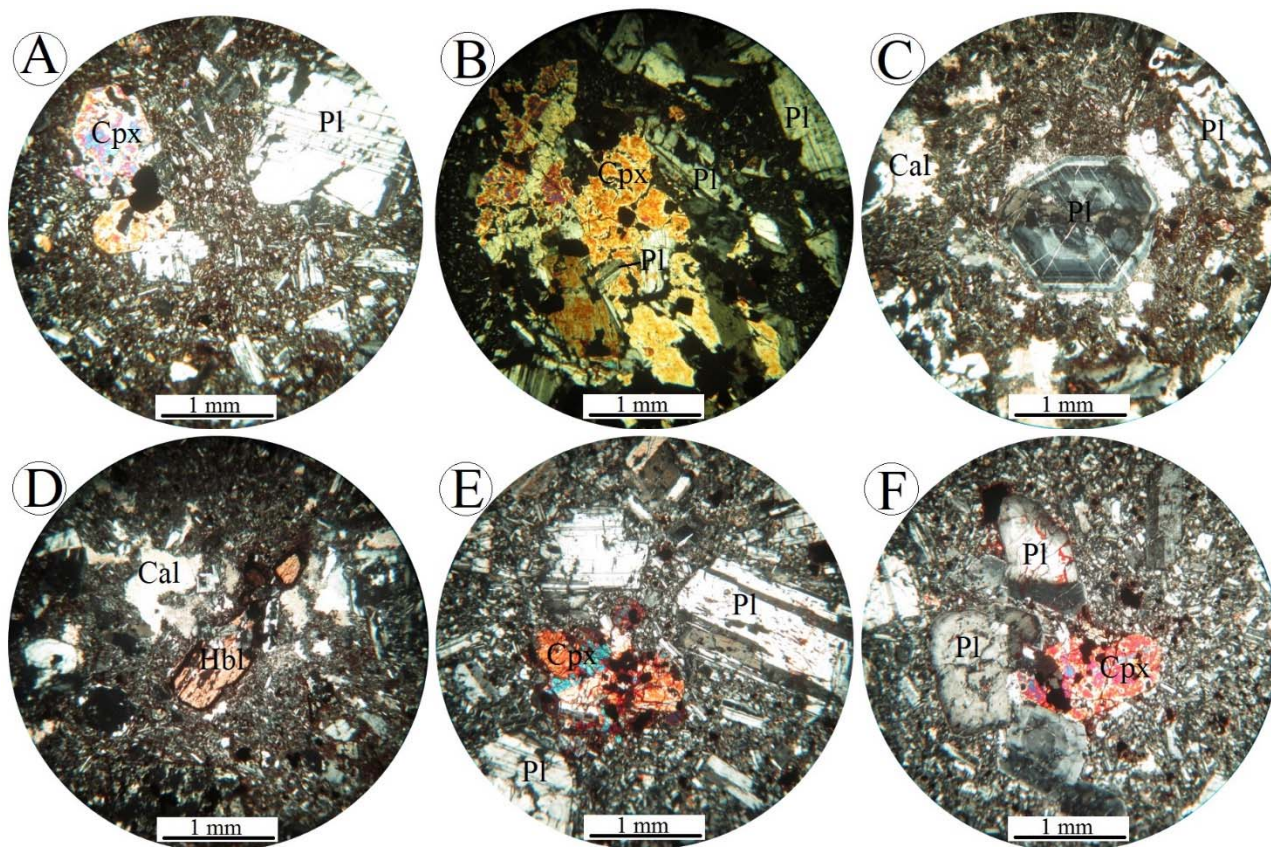
سیلیسی-سولفیدی با راستای عمومی شمال‌باختر-جنوب‌خاور (N30-40W) و شیب ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت جنوب‌باختر با میزبان گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی واحد  $OM_q^{ba}$  رخ داده است (شکل ۴-۲ و ۴-۳). کانه غالب رگه‌های سولفیدی یادشده، گالن است که با اندکی اسفالریت و کالکوپریت همراهی می‌شود. ضخامت رگه‌ها بین ۱ تا ۵ سانتی‌متر متغیر است (شکل ۴-۳). ضخامت پهنه کانه‌دار در ترانشه‌های حفار شده حدود ۱۰ متر بوده و بیش از ۱۵۰ متر درازا دارد (شکل ۴-۲).



شکل ۲. A: نمایی از گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی ( $OM_q^{ba}$ ) منطقه در محل کانسار گویجه‌یلاق (دید به سمت خاور). تناوب لایه‌های مارنی و ماسه‌سنگی واحد  $OM^{ms}$  در گوشه بالا و سمت راست تصویر دیده می‌شود. B: نمایی از گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی و تناوب لایه‌های مارنی و ماسه‌سنگی واحد  $OM^{sm}$  در شمال منطقه مورد بررسی (دید به سمت شمال‌باختر). C: نمایی نزدیک از واحد آگلومرای و D: نمایی از رسوبات کواترنری (واحد  $Q^{t3}$ ) که به عنوان زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (دید به سمت شمال‌باختر). گنبد‌های داسیتی اطراف کانسار همیشه تپه در گوشه بالا و سمت چپ تصویر دیده می‌شود.

**Fig. 2.** A: View of basaltic andesite and andesitic lavas ( $OM_q^{ba}$ ) in the Qoyjeh Yeylaq deposit (looking to the east). Alternation of marl and sandstone layers of  $OM^{ms}$  unit can be seen at the upper right corner of the photo, B: View of basaltic andesite and andesite lavas and alternation of marl and sandstone layers of  $OM^{sm}$  unit in the north of the study area (looking northwest), C: A close view of agglomerate unit, and D: View of Quaternary deposits ( $Q^{t3}$  unit) which is used as farm lands (looking northwest). Dacitic domes of Qomish Tappeh deposit can be seen at the upper left corner of the photo.





شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از کانی‌های تشکیل‌دهنده و بافت در گدازه‌ها و دایک‌ها در منطقه گویجه‌ییلاق. A: بافت پورفیری متشکل از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن در زمینه دانه‌ریز سنگ در گدازه آندزیت‌بازالتی، B: بافت افیتیک در گدازه آندزیت‌بازالتی، C: درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز دارای منطقه‌بندی و بافت غربالی در گدازه‌های آندزیتی، D: درشت‌بلور هورنبلند با حاشیه‌های نازک اکسید آهنی همراه با کلسیت پرکننده حفره‌ها در گدازه‌های آندزیتی، E و F: بافت پورفیری متشکل از بلورهای درشت پلاژیوکلاز با بافت غربالی (E) و دارای منطقه‌بندی (F) همراه با درشت‌بلورهای کلینوپیروکسن در زمینه دانه‌ریز سنگ در دایک‌های میکرودیوریتی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است: Cal: کلسیت، Cpx: پیروکسن، Hbl: آمفیبول، Pl: پلاژیوکلاز.

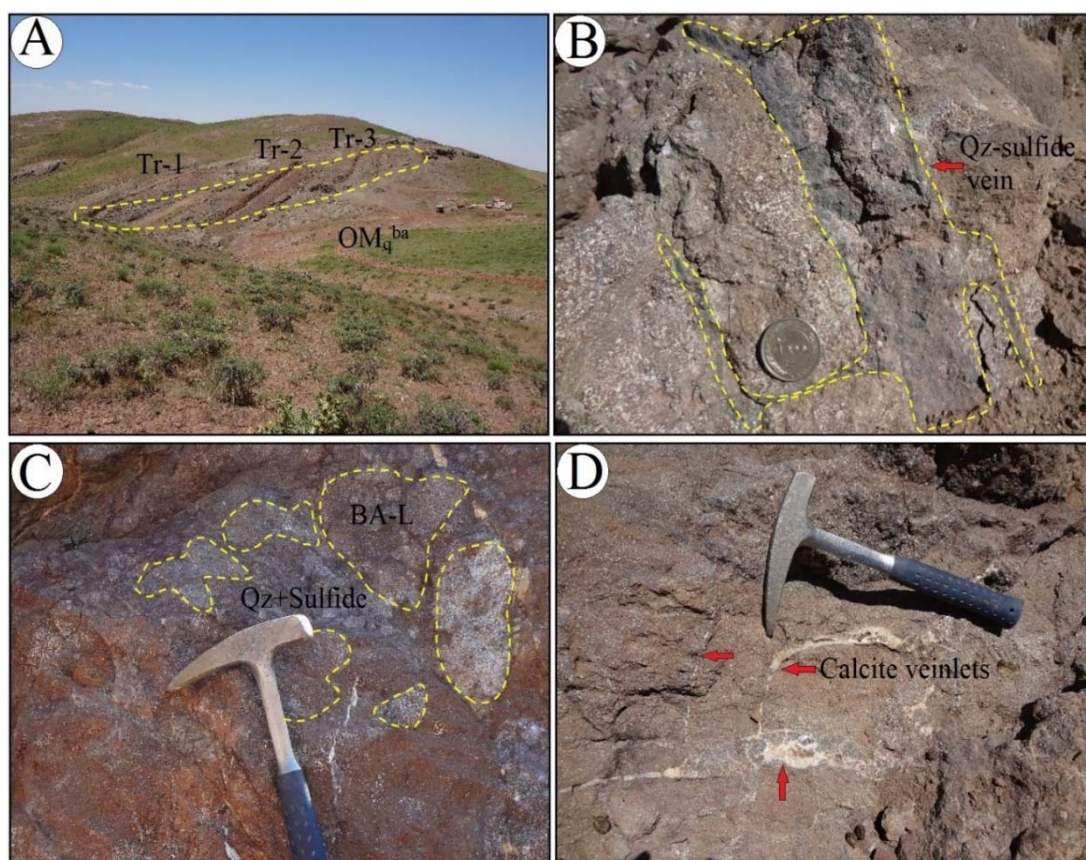
**Fig. 3.** Photomicrographs (transmitted cross polarized-light, XPL) of minerals and textures of lavas and dykes in the Qoyjeh Yeylaq area. A: Porphyritic texture consist of plagioclase and clinopyroxene phenocrysts set in fine-grained groundmass in basaltic andesite lava, B: Ophitic texture in basaltic andesite lava, C: Plagioclase phenocrysts with zoning and sieve texture in andesite lava, D: Hornblende phenocrysts with thin oxidation rims along with vug infill calcite in andesite lava, E and F: Porphyritic texture consist of plagioclase phenocrysts with sieve (E) and zoning (F) textures along with clinopyroxene phenocrysts set in fine-grained groundmass in microdioritic dykes. All mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010) (Cal: calcite, Cpx: clinopyroxene, Hbl: hornblende, Pl: plagioclase).

و B). کوارتزها معمولاً به‌صورت بلورهای ریز تا درشت (تا ۲ سانتی‌متر) شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار حضور داشته و گاه دارای مناطق رشدی است. کانی‌های سولفیدی اغلب به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بدون شکل و گاه شکل‌دار در رگه‌ها و سیمان گرمابی برش‌ها قابل مشاهده هستند. مرحله اول کانه‌زایی اغلب توسط مرحله دوم کانه‌زایی قطع شده است. مرحله دوم

با توجه به مجموعه کانی‌شناسی، روابط بافتی و ارتباط قطع‌کنندگی رگه‌های کانه‌دار، فرایند کانه‌زایی در کانسار گویجه‌ییلاق به سه مرحله قابل تفکیک است. مرحله اول کانه‌زایی که مرحله اصلی کانه‌زایی در این کانسار است، با ته‌نشست کوارتز و سولفیدها (گالن، اسفالریت و کالکوپیریت) در رگه‌ها و سیمان گرمابی برش‌ها مشخص می‌شود (شکل ۵-A).

ریزبلور بی‌شکل تا بلورهای شکل‌دار با اندازه متوسط در این رگه-رگچه‌ها دیده می‌شود. کان‌زایی مرحله سوم مربوط به فرایندهای برون‌زاد بوده و سبب تشکیل کولیت، سروزیت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن به‌صورت جانشینی و پرکننده فضاهای خالی شده است.

کانه‌زایی با حضور کلسیت به‌صورت رگچه‌های منفرد و یا دسته‌رگچه‌های نیمه‌موازی تا متقاطع تأخیری مشخص می‌شود که رگه‌ها و برش‌های گرمابی مرحله اول را قطع کرده است (شکل ۵-C و D). هیچ‌گونه کانی سولفیدی در این مرحله تشکیل نشده است. بیشینه ضخامت رگه-رگچه‌های کلسیتی تأخیری به ۳ سانتی‌متر می‌رسد. کلسیت اغلب به‌صورت بلورهای



شکل ۴. A: تصویر صحرایی نشان‌دهنده موقعیت پهنه کان‌زایی در کانسار گویجه‌ییلاق درون گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی میزبان (دید به سمت جنوب‌باختر)، B: نمایی نزدیک از رگه کوارتزی-سولفیدی، C: نمایی نزدیک از ساخت برشی با سیمان سولفیدی و کوارتز و D: نمایی نزدیک از رگچه‌های کلسیتی تأخیری (BA-L: قطعات آندزیت بازالتی)

**Fig. 4.** A: Field photograph showing the location of mineralized zone at the Qoyjeh Yeylaq deposit within host basaltic andesite and andesite lavas (looking southwest), B: A close view of quartz-sulfide, C: A close view of breccia structure with sulfide and quartz cement, and D: A close view of late calcite veinlets (BA-L: basaltic andesite fragments)

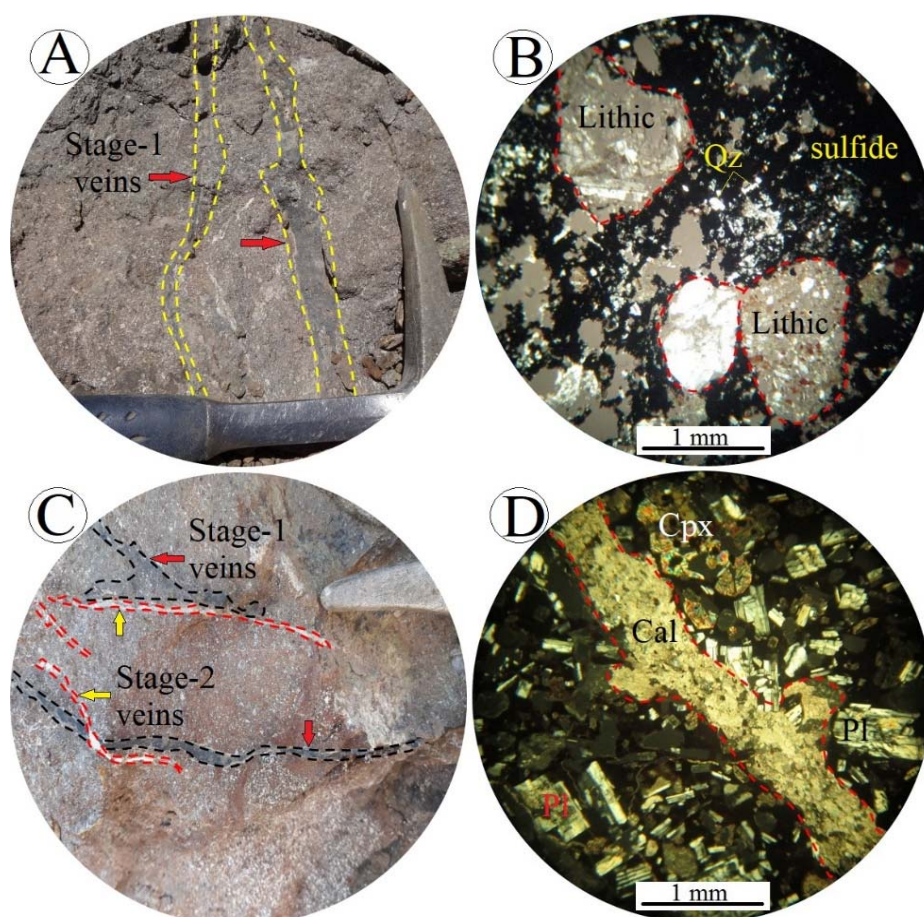
گرمابی برش‌ها رخ‌داده و منطبق بر بخش‌های کان‌دار است. ضخامت رگه و رگچه‌های کوارتزی در این دگرسانی بیشینه به ۵ میلی‌متر می‌رسد. در مقاطع میکروسکوپی، بلورهای کوارتز

دگرسانی گرمابی در کانسار گویجه‌ییلاق دارای وسعت چندانی نبوده و شامل دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی و پروپلیتیک است. دگرسانی سیلیسی اغلب به‌صورت رگه-رگچه‌ای و سیمان



به‌طوری‌که بافت سنگ در این نوع دگرسانی معمولاً حفظ شده و به‌راحتی قابل‌شناسایی است. پلاژیوکلازها به‌طور بخشی به‌وسیله کانی‌های سریست، کلریت و کلسیت و کانی‌های مافیک نیز به‌طور بخشی توسط کانی‌های اپیدوت، کلسیت و کلریت جانشین شده‌اند. کوارتز حاصل از این دگرسانی به‌میزان کم در زمینه سنگ دیده می‌شود. این دگرسانی، محدود‌کننده بخش‌های بیرونی سیستم دگرسانی گرمایی در منطقه است.

موجود در این رگچه‌ها به‌صورت نیمه‌شکل‌دار تا بدون شکل با اندازه‌های مختلف (کمتر از چند میکرومتر تا ۰/۲ میلی‌متر) دیده می‌شوند. دگرسانی کربناتی شامل کلسیت‌های رگچه‌ای و شکافه پرکن درون پهنه کانه‌دار هستند. ضخامت رگچه‌های کلسیتی تا ۳ سانتی‌متر می‌رسد. دگرسانی پروپلیتیک در خارج از بخش‌های کانه‌دار و در گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی میزبان رخ داده است. این دگرسانی معمولاً از شدت زیادی برخوردار نیست؛



شکل ۵. مراحل کانه‌زایی در کانسار گویجه‌ییلاق. A: مرحله اول کانه‌زایی به‌صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی، B: برش مرحله اول کانه‌زایی با سیمان کوارتز و سولفید، C: دسته‌رگچه‌های متقاطع کلسیتی مرحله دوم که رگه‌های سیلیسی-سولفیدی مرحله اول را قطع کرده‌اند و D: رگچه کلسیتی مرحله دوم که گدازه آندزیت‌بازالتی میزبان را قطع کرده است. تصاویر میکروسکوپی در نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL، گرفته شده‌اند. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cal: کلسیت، Cpx: پیروکسن، Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز).

**Fig. 5.** Mineralization stages at Qoyjeh Yeylaq deposit. A: Stage-1 quartz-sulfide veins. B: Stage-1 breccia with quartz and sulfide cement. C: Subparallel sheeted stage-2 calcite veins crosscutting stage-1 quartz-sulfide veins. D: Stage-2 calcite veinlet crosscutting host basaltic andesitic lava. Photomicrographs are taken in transmitted polarized-light, XPL. All mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010) (Cal: calcite, Cpx: clinopyroxene, Pl: plagioclase, Qz: quartz).



## بحث و بررسی

### کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانستگ

بررسی‌های کانه‌نگاری نمونه‌های برداشت‌شده از پهنه‌های کانه‌دار در کانسار گویجه‌یلاق نشان‌دهنده حضور گالن، اسفالریت و کالکوپریت است. گوتیت، کوولیت و سروزیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند.

کوارتز و کلسیت، کانی‌شناسی اصلی مواد باطله را در این کانسار تشکیل می‌دهند. بر اساس این بررسی‌ها، بافت کانه‌ها و مواد باطله شامل رگه-رگچه‌ای، برشی، دانه‌پراکنده، پرکننده فضای خالی، بازماندی و جانشینی است.

گالن فراوان‌ترین کانه معدنی در کانسار گویجه‌یلاق است. این کانی اغلب به صورت بلورهای درشت نیمه‌خودشکل و بی‌شکل تا اندازه ۳ میلی‌متر دیده شده و معمولاً دارای رخ‌های مثلثی است (شکل ۶-A، B و C). در برخی از نمونه‌ها، ادخال‌هایی از اسفالریت و کالکوپریت در داخل گالن دیده می‌شود (شکل ۶-B). گالن معمولاً از حاشیه‌ها به سروزیت دگرسان‌شده است (شکل ۶-C و D). اسفالریت معمولاً به صورت ادخال‌های ریز بی‌شکل تا نیمه‌خودشکل درون گالن (شکل ۶-B) و یا بلورهای بی‌شکل در همراهی با گالن (شکل ۶-C) مشاهده می‌شود. این موارد به ترتیب بیانگر تبلور زودتر اسفالریت نسبت به گالن و تبلور هم‌زمان اسفالریت و گالن است. کالکوپریت اغلب به صورت ادخال‌های نیمه‌خودشکل تا بی‌شکل درون گالن مشاهده می‌شود (شکل ۶-B) که بیانگر تبلور زودتر این کانی نسبت به گالن در توالی همیافتی است. کالکوپریت‌ها در بیشتر موارد از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها به کوولیت، کالکوسیت و گوتیت دگرسان شده‌اند (شکل ۶-D). کالکوسیت، کوولیت و گوتیت محصول دگرسانی برون‌زاد کالکوپریت از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها هستند (شکل ۶-D و E). گاه شدت دگرسانی‌های برون‌زاد به حدی است که تنها بقایایی از کالکوپریت و گالن باقی‌مانده و بافت بازماندی یا جزیره‌ای تشکیل شده است.

کوارتز باطله اصلی در کانسار گویجه‌یلاق است که هم‌زمان با

مرحله اصلی کانه‌زایی تشکیل شده است. کوارتزها به صورت بلورهای ریز و یا درشت به رنگ روشن، شیری سفید و یا خاکستری تا اندازه ۲ سانتی‌متر در رگه‌ها و سیمان گرمایی برش‌ها حضور دارند (شکل ۶-F). کلسیت معمولاً در رگچه‌ها و یا فضای خالی سیمان کوارتزی-سولفیدی برش‌ها دیده می‌شوند (شکل ۶-F). کلسیت‌ها به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در اندازه‌هایی تا یک میلی‌متر قابل مشاهده هستند. توالی پاراژنیتیک کانی‌ها در کانسار گویجه‌یلاق به سه مرحله تقسیم می‌شود (شکل ۷). مرحله اول با تشکیل بخش‌های کوارتزی-سولفیدی (گالن، اسفالریت و کالکوپریت) به صورت رگه-رگچه‌ای و سیمان گرمایی برش‌های حاوی خرده‌سنگ‌های سنگ میزبان همراه است. بافت‌های رگه-رگچه‌ای، برشی و دانه‌پراکنده از بافت‌های مهم این مرحله به شمار می‌روند. مرحله دوم شامل رگه-رگچه‌های منفرد و یا دسته‌رگچه‌های نیمه‌موازی تا متقاطع کلسیتی است. تشکیل کالکوسیت، کوولیت، سروزیت و گوتیت با بافت‌های جانشینی و بازماندی مربوط به مرحله سوم (فرایندهای برون‌زاد) است.

### داده‌های زمین‌شیمیایی بخش‌های کانه‌دار و

#### گدازه‌های میزبان

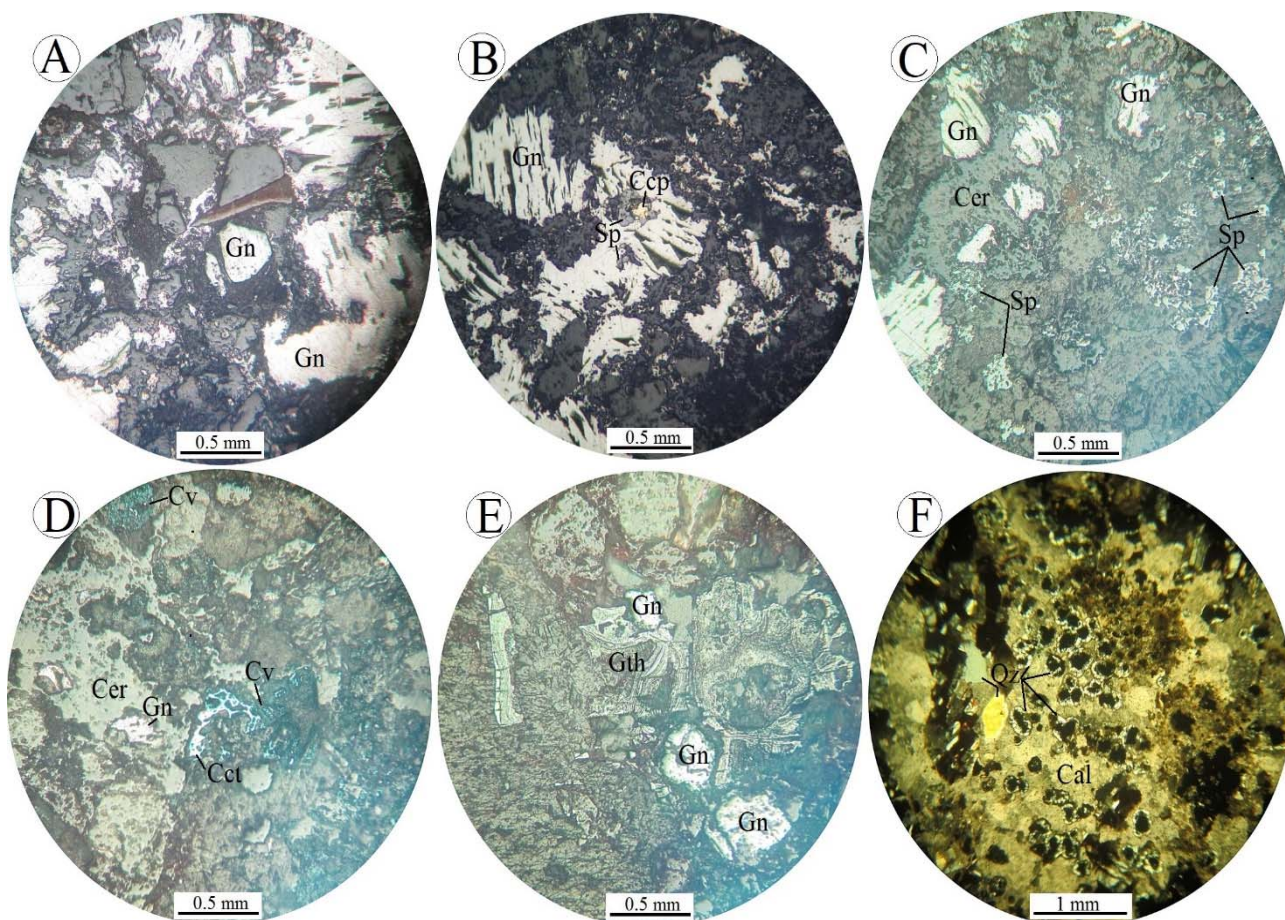
هدف از این بررسی‌ها، تعیین غنی‌شدگی و تهی‌شدگی‌های عنصری مرتبط با دگرسانی‌های گرمایی و کانه‌زایی در گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی میزبان و بخش‌های کانه‌دار است. نتایج تجزیه‌های شیمیایی به‌دست آمده از نمونه‌های کانسار گویجه‌یلاق در جدول ۱ آمده است.

#### الگوی توزیع عناصر کمیاب خاکی

الگوی عناصر کمیاب خاکی برای بخش‌های کانه‌دار و گدازه‌های میزبان سالم و دگرسان‌شده در کانسار گویجه‌یلاق که نسبت به کندریت (Nakamura, 1974) بهنجار شده‌اند، در شکل ۸ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، گدازه‌های میزبان سالم و بدون کانه‌زایی، گدازه‌های دگرسان‌شده و گدازه‌های حاوی رگه و

گدازه‌های حاوی رگه‌های سولفیدی نیز تهی‌شدگی بیشتر LREE را در مقایسه با گدازه‌های سالم و دگرسان‌شده نشان می‌دهند (شکل ۸). تهی‌شدگی این عناصر می‌تواند مرتبط با عملکرد سیالات گرمایی و خروج آنها از محیط سنگ باشد.

رگچه‌های سولفیددار (گالن-اسفالریت-کالکوپیریت) دارای روندی مشابه بوده و الگوی غنی از LREE با نسبت LREE/HREE پایین و الگوی مسطح HREE را نشان می‌دهند (شکل ۸). در گدازه‌های دگرسان‌شده، تهی‌شدگی نسبی از LREE در مقایسه با گدازه‌های سالم مشاهده می‌شود (شکل ۸).



شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های معدنی و باطله در کانسار گویجه‌ییلاق. A: گالن با رخ‌های مثلثی، B: گالن با ادخال‌های کالکوپیریت و اسفالریت، C: اسفالریت هم‌رشد با گالن، D: دگرسانی کالکوپیریت به کالکوسیت و کوولیت همراه با دگرسانی گالن به سروزیت، E: گوتیت با بافت گل‌کلمی و F: بلورهای ریز کوارتز در سیمان کلسیتی. تصاویر A تا E در نور بازتابی و تصویر F در نور عبوری پلاریزه متقاطع گرفته شده‌اند. علایم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cal: کلسیت، Ccp: کالکوپیریت، Cct: کالکوسیت، Cer: سروزیت، Cv: کوولیت، Gn: گالن، Gth: گوتیت، Qz: کوارتز، Sp: اسفالریت).

**Fig. 6.** Photomicrographs of ore and gangue minerals at the Qoyjeh Yeylaq deposit. A: Galena with triangle cleavage, B: Galena with chalcopyrite and sphalerite inclusions, C: Sphalerite intergrown with galena, D: Alteration of chalcopyrite to chalcocite and covellite along with alteration of galena to cerussite, E: Goethite with colloform texture, and F: Fine-grained quartz cemented by calcite. Photomicrographs are taken in reflected light (A–E) and transmitted XPL (F). All mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010) (Cal: calcite, Ccp: chalcopyrite, Cct: chalcocite, Cer: cerussite, Cv: covellite, Gn: galena, Gth: goethite, Qz: quartz, Sp: sphalerite)

|               | Stage-1 | Stage-2 | Supergene |
|---------------|---------|---------|-----------|
| Chalcopyrite  | ■       |         |           |
| Galena        | ■       |         |           |
| Sphalerite    | ■       |         |           |
| Chalcocite    |         |         | ■         |
| Covellite     |         |         | ■         |
| Goethite      |         |         | ■         |
| Cerussite     |         |         | ■         |
| Quartz        | ■       |         |           |
| Calcite       |         | ■       |           |
| Vein-Veinlets | ■       | ■       |           |
| Disseminated  | ■       | ■       |           |
| Brecciated    | ■       | ■       |           |
| Vug Infill    |         | ■       |           |
| Replacement   |         |         | ■         |
| Relict        |         |         | ■         |

شکل ۷. توالی همیافتی، فراوانی نسبی، ساخت و بافت مواد معدنی و باطله در کانسار گویجه‌ییلاق

**Fig. 7.** Paragenetic sequences showing the relative abundance, structure and texture of gangues and ore minerals at the Qoyjeh Yeylaq deposit

گرمایی با ماهیت احیایی (وجود آنومالی مثبت Eu) (Alderton et al., 1980; Kikawada et al., 2001) توانسته‌اند به جابه‌جایی و تحرک عناصر کمیاب خاکی منجر شوند.

### تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر در بخش‌های کانهدار

برای بررسی تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر طی کان‌زایی در کانسار گویجه‌ییلاق، میانگین داده‌های مربوط به نمونه‌های کان‌دار و گدازه‌های میزبان دگرسان‌شده بر میانگین داده‌های مربوط به گدازه‌های میزبان سالم و دگرسان‌نشده بهنجار شد (شکل ۹-۱ و ۹-۲) تا عناصر کم یا اضافه‌شده به سنگ طی کان‌زایی مشخص شود. این روش کیفی بوده و برای تعیین میزان کمی تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر نیاز به محاسبات موازنه جرم است که در این پژوهش انجام نشده است.

رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کان‌دار در مقایسه با گدازه‌های سالم و دگرسان‌شده، تهی‌شدگی مشخصی از عناصر LREE و HREE را نشان می‌دهند (شکل ۸). دو عنصر Sm و Eu تغییرات مشخصی را در مقایسه با گدازه‌های سالم و دگرسان‌شده نشان نمی‌دهند. عناصر LREE تهی‌شدگی بیشتری نسبت به HREE دارد و عناصر HREE الگوی مسطح را به نمایش می‌گذارند.

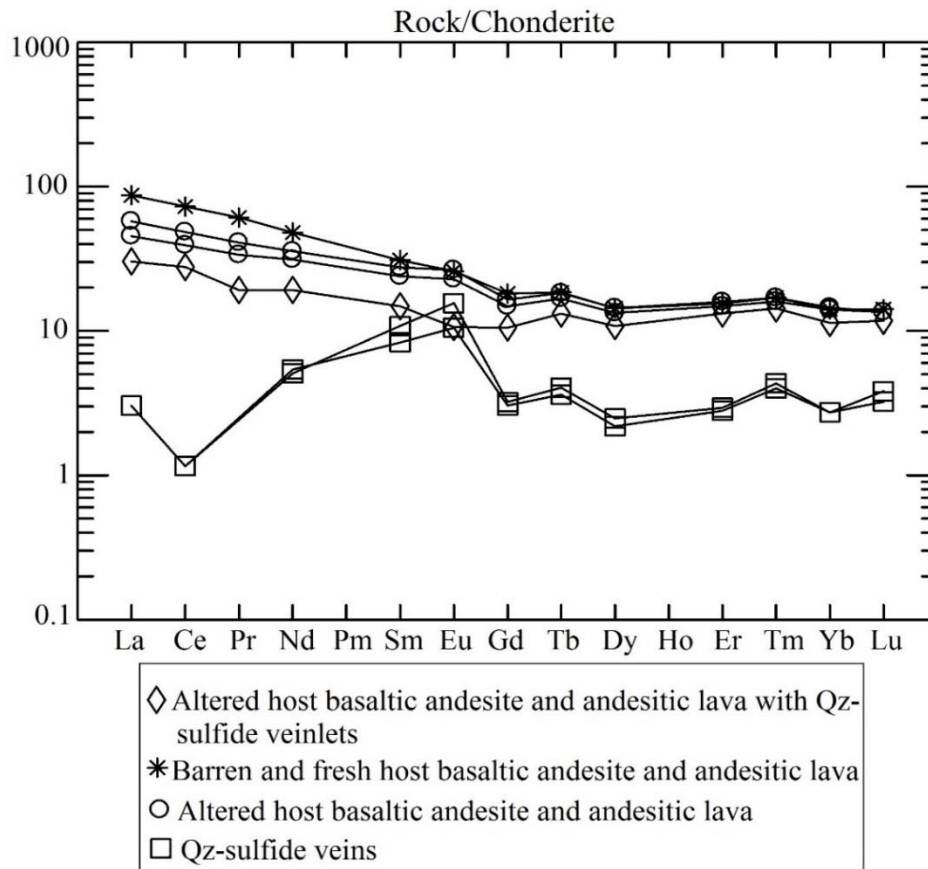
به اعتقاد آلدرتون و همکاران (Alderton et al., 1980)، به‌دست آمدن یا از دست‌رفتن عناصر کمیاب خاکی طی دگرسانی توسط چند عامل کنترل می‌شود: ۱- تمرکز عناصر کمیاب خاکی در کانی‌های واکنش‌دهنده، ۲- پایداری نسبی کانی‌ها در برابر سیال، ۳- جذب عناصر کمیاب خاکی آزادشده طی دگرسانی توسط کانی‌های ثانویه، ۴- غلظت عناصر کمیاب خاکی در سیالات و ۵- توانایی سیال برای به حرکت در آوردن عناصر کمیاب خاکی. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد در منطقه گویجه‌ییلاق، سیالات



جدول ۱. نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی برای رگه‌های کانه‌دار (نمونه‌های G-22, G-24 و G-26)، گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی دگرسان (نمونه‌های G-31 و G-34) و سالم (نمونه G-40) در کانسار گویجه‌یلاق. تمامی داده‌ها بر حسب گرم در تن هستند. نمونه G-40، میانگین آنالیز ۶ نمونه است.

**Table 1.** Geochemical data of trace and rare earth elements for mineralized veins (samples G-22, G-24 and G-26), fresh and altered basaltic andesite and andesite lavas (samples G-31 and G-34, and G-40, respectively) from the Qoyjeh Yeylaq deposit. All data in ppm. Sample G-40 is the average of 6 analysis.

|      | Ag    | As   | Ba   | Cd    | Co    | Cr   | Cs    | Cu    | Hf    | Nb    | Pb     | Rb    | Sc    |
|------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| D.L. | 0.1   | 0.5  | 1    | 0.1   | 0.2   | 0.1  | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.1    | 0.1   | 0.2   |
| G-22 | 41.9  | 0.1  | 589  | 227.9 | 2.3   | 6    | 2.3   | 329   | <0.5  | 1.5   | >3%    | 10    | 3.7   |
| G-24 | 47.4  | 0.6  | 503  | 323.6 | 2     | 8    | 1.3   | 344   | <0.5  | 1.4   | >3%    | 6     | 3.7   |
| G-26 | 28.9  | 0.8  | 198  | 447.6 | 1.1   | 6    | 1.7   | 225   | <0.5  | 1.6   | >3%    | 7     | 5     |
| G-31 | 0.4   | 9.2  | 1168 | 24.8  | 12.3  | 10   | 3     | 63    | 3.61  | 9     | 1456   | 22    | 27.75 |
| G-34 | 0.6   | 6.9  | 459  | 125.2 | 13.2  | 9    | 7.5   | 154   | 3.42  | 8.3   | 6341   | 21    | 25    |
| G-40 | 0.6   | 11.7 | 654  | 13.2  | 15.9  | 13   | 2.3   | 21.6  | 5.49  | 15.86 | 206.25 | 44.62 | 19.48 |
|      | Sr    | Ta   | Th   | U     | V     | Y    | Zn    | Zr    | La    | Ce    | Pr     | Nd    | Sm    |
| D.L. | 0.5   | 0.1  | 0.2  | 0.1   | 7     | 0.1  | 1     | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.02   | 0.3   | 0.05  |
| G-22 | 0.5   | 0.19 | 0.62 | 0.2   | 20    | 5.1  | 8717  | 18    | 1     | 1     | <0.05  | 3.2   | 2.2   |
| G-24 | 0.7   | 0.19 | 0.68 | 0.2   | 20    | 4.4  | 12902 | 18    | 1     | 1     | <0.05  | 3.4   | 1.69  |
| G-26 | 1.4   | 0.21 | 1.07 | 0.3   | 19    | 25.2 | 12348 | 22    | 10    | 24    | 2.15   | 12.1  | 3.01  |
| G-31 | 6.8   | 1.01 | 5.24 | 1.1   | 170   | 28.9 | 4025  | 116   | 19    | 42    | 4.59   | 22.5  | 5.6   |
| G-34 | 30    | 0.95 | 5.18 | 1.2   | 175   | 26.8 | 3387  | 109   | 15    | 34    | 3.78   | 19.7  | 4.86  |
| G-40 | 331.6 | 1.76 | 8.94 | 2.34  | 138.7 | 28.0 | 523.2 | 191.2 | 28.75 | 63    | 6.84   | 30.28 | 6.28  |
|      | Eu    | Gd   | Tb   | Dy    | Er    | Tm   | Yb    | Lu    |       |       |        |       |       |
| D.L. | 0.1   | 0.05 | 0.01 | 0.05  | 0.03  | 0.01 | 0.05  | 0.01  |       |       |        |       |       |
| G-22 | 1.2   | 0.89 | 0.19 | 0.85  | 0.66  | 0.13 | 0.6   | 0.13  |       |       |        |       |       |
| G-24 | 0.81  | 0.84 | 0.17 | 0.75  | 0.63  | 0.12 | 0.6   | 0.11  |       |       |        |       |       |
| G-26 | 0.82  | 2.91 | 0.62 | 3.71  | 2.97  | 0.43 | 2.5   | 0.4   |       |       |        |       |       |
| G-31 | 2.04  | 4.56 | 0.86 | 4.95  | 3.58  | 0.51 | 3.2   | 0.46  |       |       |        |       |       |
| G-34 | 1.76  | 4.1  | 0.79 | 4.58  | 3.34  | 0.48 | 3.1   | 0.46  |       |       |        |       |       |
| G-40 | 2.00  | 5.01 | 0.87 | 4.92  | 3.49  | 0.51 | 3.1   | 0.48  |       |       |        |       |       |

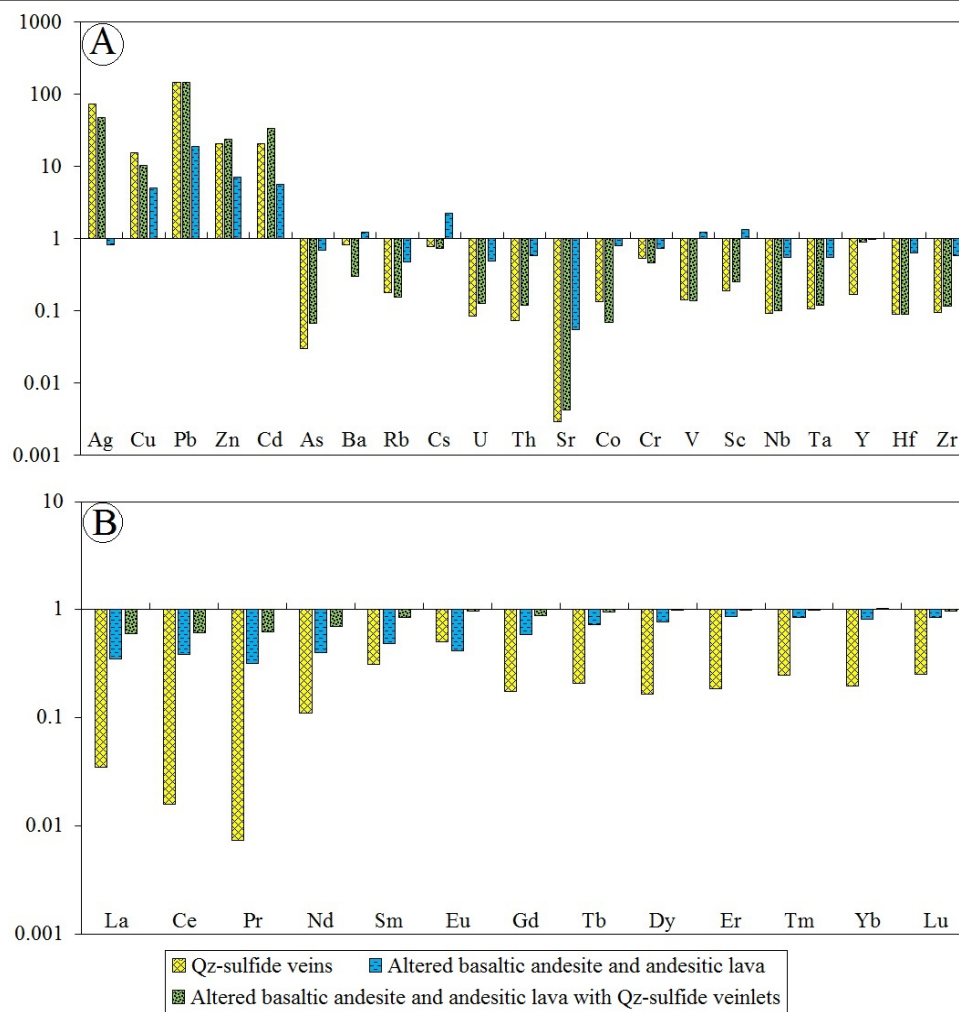


شکل ۸. الگوهای عناصر کمیاب خاکی بهنجارشده نسبت به کندریت (Nakamura, 1974) برای رگه‌های کوارتز-سولفیدی و گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی سالم و دگرسان‌شده میزبان در کانسار گویجه‌ییلاق

**Fig. 8.** Chondrite-normalized REE patterns (Nakamura, 1974) for the quartz-sulfide veins and fresh and altered host basaltic andesite and andesite lavas at Qoyjeh Yeylaq deposit

غلظت تمام عناصر کمیاب خاکی در رگه و رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی، گدازه‌های دگرسان‌شده و گدازه‌های دگرسان حاوی رگه‌های کانه‌دار در مقایسه با گدازه‌های سالم و بدون کانه‌زایی کاهش یافته است (شکل ۹-B). تهی‌شدگی در عناصر کمیاب خاکی سبک بسیار شاخص‌تر از عناصر کمیاب خاکی سنگین است. همچنین، تهی‌شدگی عناصر مزبور با شدت دگرسانی سنگ میزبان ارتباطی مستقیم دارد؛ به‌طوری‌که از گدازه‌های دگرسان‌شده به سمت گدازه‌های دگرسان حاوی رگه‌های کانه‌دار، بر شدت تهی‌شدگی افزوده شده و در رگه و رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی به بیشترین مقدار می‌رسد. این موضوع نشان می‌دهد که در نتیجه عملکرد سیالات گرمایی کانه‌ساز، عناصر مزبور از سنگ میزبان آندزیت‌بازالتی و آندزیتی شسته‌شده و از محیط خارج شده‌اند.

در شکل ۹-A، غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر کمیاب در رگه و رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی، گدازه‌های دگرسان‌شده و گدازه‌های دگرسان حاوی رگه‌های کانه‌دار در مقایسه با گدازه‌های سالم و بدون کانه‌زایی نشان داده شده است؛ به‌طوری‌که در این شکل دیده می‌شود عناصر  $\text{Ag}$ ،  $\text{Cu}$ ،  $\text{Pb}$ ،  $\text{Zn}$  و  $\text{Cd}$  در همه نمونه‌های مزبور غنی‌شدگی مشخصی دارند و بقیه عناصر اغلب تهی‌شده هستند. شدت غنی‌شدگی و تهی‌شدگی از گدازه‌های دگرسان‌شده به گدازه‌های دگرسان حاوی رگه‌های کانه‌دار و در نهایت رگه و رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی افزایش می‌یابد. عنصر  $\text{Ag}$  در گدازه‌های دگرسان‌شده، تهی‌شدگی ضعیفی نشان می‌دهد. همچنین، نمونه‌های مربوط به گدازه‌های دگرسان‌شده در عناصر  $\text{Ba}$ ،  $\text{Cs}$ ،  $\text{V}$  و  $\text{Sc}$  غنی‌شدگی ضعیفی را نشان می‌دهند.



شکل ۹. A: نمودار عناصر کمیاب برای رگه‌های کوارتز-سولفیدی و گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی دگرسان‌شده و حاوی رگه‌های کانه‌دار در کانسار گویجه‌یلاق که نسبت به میانگین داده‌های گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی سالم و بدون کانه‌زایی (نمونه G-40، جدول ۱) بهنجار شده‌اند و B: نمودار عناصر کمیاب خاکی برای رگه‌های کوارتز-سولفیدی و گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی دگرسان‌شده و حاوی رگه‌های کانه‌دار در کانسار گویجه‌یلاق که نسبت به میانگین داده‌های گدازه‌های آندزیت‌بازالتی و آندزیتی سالم و بدون کانه‌زایی (نمونه G-40، جدول ۱) بهنجار شده‌اند.

**Fig. 9.** A: Histogram of trace elements in quartz-sulfide veins and altered basaltic andesite and andesite lavas with quartz-sulfide veinlets at Qoyjeh Yeylaq deposit, normalized against average data of fresh and barren basaltic andesite and andesite lavas (sample G-40, Table 1), and B: Histogram of rare earth elements in quartz-sulfide veins and altered basaltic andesite and andesite lavas with quartz-sulfide veinlets at Qoyjeh Yeylaq deposit, normalized against average data of fresh and barren basaltic andesite and andesite lavas (sample G-40, Table 1).

دگرسانی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محلول کانه‌ساز، نسبت سیال به سنگ و الگوی عناصر کمیاب خاکی، همبستگی وجود دارد (Alderton et al., 1980). ترکیب سیال و شرایط دما و فشار، پایداری و فراوانی نسبی فازهای دربر دارنده عناصر کمیاب خاکی را کنترل می‌کنند. اگر دگرسانی و کانی‌سازی در شرایط یکسانی از

به‌طور معمول، رفتار زمین‌شیمی عناصر کمیاب خاکی در محیط‌های دگرسانی و کانه‌زایی تحت تأثیر فرایندهایی از قبیل واکنش سیال با سنگ، نهشت سیال، جذب، تجزیه به اجزاء، تغییرات دما، فشار، pH، Eh، آلکالینیتی و تمرکز سیال وابسته است (Humphris, 1984; Lottermoser, 1992). لذا بین مجموعه



et al., 2001). علاقه‌بر این، کاهش این عناصر در بخش‌های کانهدار می‌تواند ناشی از تأثیر سیالات ماگمایی-گرمابی غنی از کلر و فلوئوردار باشد که سبب شست‌وشو و حمل آنها از بخش‌های کانهدار شده‌اند (Gramaccioli et al., 1999; Kikawada et al., 2001).

### نوع کانه‌زایی و مدل تشکیل کانسار گویجه‌یلاق

ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، دگرسانی گرمابی، ترکیب کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ در کانسار گویجه‌یلاق نشان می‌دهد که این کانسار را می‌توان در دسته کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه (نقره) نوع سولفیداسیون حدواسط (Sillitoe, 1993; John et al., 1999; Hedenquist et al., 2000; Albinson et al., 2001; Sillitoe and Hedenquist, 2003; Gemmell, 2004; Camprubi and Albinson, 2007) رده‌بندی کرد (جدول ۲). ویژگی‌های کانه‌زایی در این کانسار شباهت زیادی با کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال فلزات پایه (نقره) موجود در پهنه‌های کانهدار طرود-چاه‌شیرین، تکاب و جنوب خاور زنجان دارد (جدول ۳).

دما و فشار رخ‌دهد، تمرکز عناصر کمیاب خاکی توسط ترکیب سیال، فوگاسیته اکسیژن و تمرکزهایی از لیگاند‌های مناسب مانند  $\text{SO}_4$ ،  $\text{CO}_3$ ،  $\text{OH}$ ،  $\text{Cl}$  و  $\text{F}$  (Wood, 1990a; Wood, 1990b; Giere and Williams, 1992) کنترل می‌شود. این لیگاند‌ها پاسخی به تغییرات ترکیب سیال، بسته به فرایندهای واکنش سیال-سنگ و یا اختلاط سیالات هستند (Brunsmann et al., 2001; Rolland et al., 2003). همچنین، طی فرایندهای کانه‌زایی، سیالات غنی از  $\text{F}$ ،  $\text{Cl}$  و  $\text{CO}_2$  قادر به تحرک عناصر کمیاب خاکی هستند؛ به‌طوری‌که کمپلکس‌های هالوژنی و کربنیک، عامل اصلی انتقال و تحرک عناصر مزبور محسوب می‌شوند (Murphy and Hynes, 1986; Whitford et al., 1988; Bienvenu, 1990). حجم پایین دگرسانی‌های موجود در کانسار گویجه‌یلاق بیانگر میزان پایین واکنش بین سیالات کانها و سنگ میزبان است. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد در منطقه گویجه‌یلاق، ترکیب اسیدی سیالات گرمابی و ماهیت احیایی آنها (وجود آنومالی مثبت Eu) در تمرکز و تحرک عناصر کمیاب خاکی نقش داشته است (Alderton et al., 1980; Kikawada et al., 1980).

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار گویجه‌یلاق با نمونه‌های شاخص کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه (نقره) نوع حدواسط در مکزیک

**Table 2.** Comparison of main characteristics of Qoyjeh Yeylaq deposit with typical examples of intermediate-sulfidation type of epithermal base metal (Ag) deposits from Mexico

|                                   | Palomositas- Los Acros            | Cobre-Babilonia                               | Qoyjeh Yeylaq                     |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Location</b>                   | Sinaloa state, Mexico             | Taxcoe area, Mexico                           | SE Zanjan, Iran                   |
| <b>Host rock</b>                  | Rhyolite, ignimbrite              | Rhyolite, dacite, andesite                    | Basaltic andesite, andesite       |
| <b>Timing of mineralization</b>   | Oligocene                         | Oligocene                                     | Miocene (?)                       |
| <b>Ore-controlling structures</b> | Normal faults                     | Normal faults                                 | Normal faults                     |
| <b>Ore Minerals</b>               | Gn, Sp, Ttr-Tnt, Ccp, Py          | Py, Po, Apy, Sp, Gn, Ccp, Ttr-Tnt, Mrc        | Gn, Sp, Ccp                       |
| <b>Ore texture</b>                | Vein-veinlet, breccia, vug infill | Vein-veinlet, breccia, crustiform, vug infill | Vein-veinlet, breccia, vug infill |
| <b>Alteration</b>                 | Silica, sericitic, argillic       | Silica, sericitic, argillic, propylitic       | Silica, carbonatic, propylitic    |
| <b>References</b>                 | Gonzalez-Partida et al., 2006     | Camprubi et al., 2006                         | This study                        |

Abbreviations: Apy: arsenopyrite, Ccp: chalcopyrite, Gn: galena, Mrc: marcasite, Po: pyrrhotite, Py: pyrite, Sp: sphalerite, Tnt: tetrahedrite, Ttr: tetrahedrite. All mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010).

جدول ۳. مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار گویجه‌ییلاق با برخی از کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه (نقره) نوع حدواسط در ایران

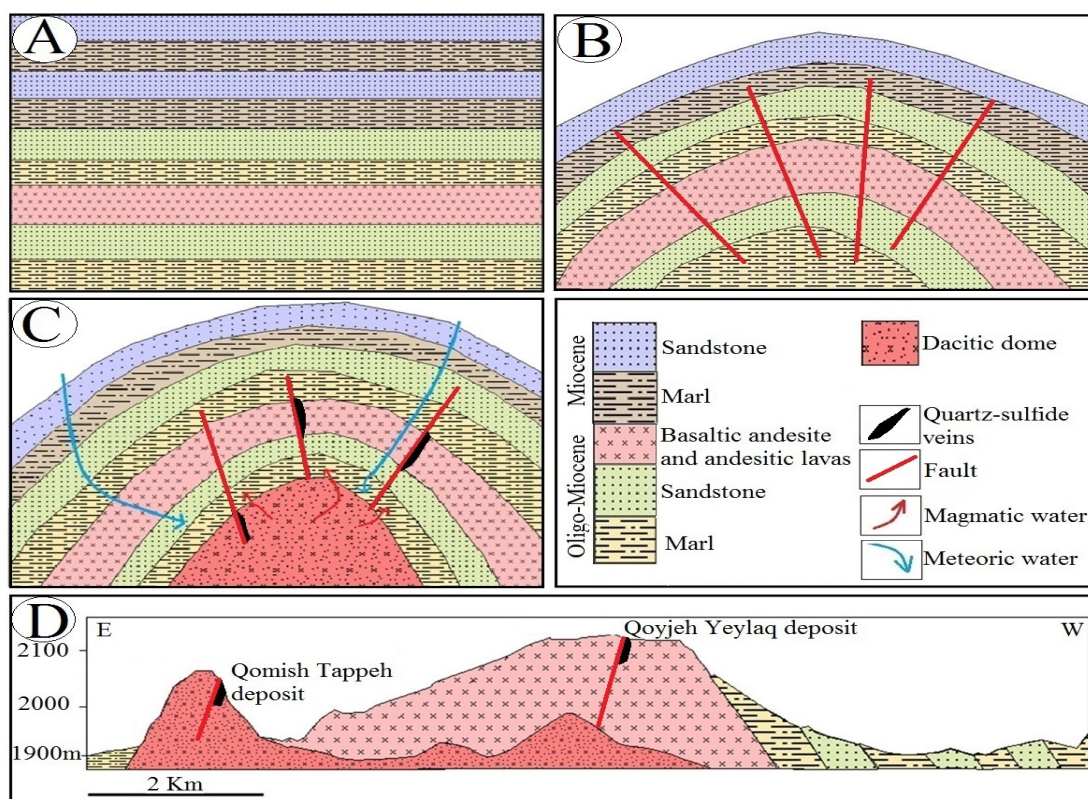
**Table 3.** Comparison of main characteristics of Qoyjeh Yeylaq deposit with some intermediate-sulfidation type of epithermal base metal (Ag) deposits in Iran.

|                                   | Qoyjeh Yeylaq                     | Qomish Tappeh                                          | Arpachay                                                    | Ay Qalasi                                                            | Cheshmeh Hafez                                        | Gandi and Abolhassani                                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>Location</b>                   | SE Zanjan                         | SE Zanjan                                              | Takab                                                       | Takab                                                                | Torud-Chah Shirin                                     | Torud-Chah Shirin                                        |
| <b>Host rock</b>                  | Basaltic andesite, andesite       | Acidic tuff, crystal-vitric dacitic tuff               | Gabbro                                                      | Siltstone, sandstone, feldspar porphyry dyke                         | Tuff, andesite, dacite                                | Andesite, pyroclastic rocks                              |
| <b>Timing of mineralization</b>   | Miocene (?)                       | Pliocene (?)                                           | Oligo-Miocene (?)                                           | Mid-late Miocene (?)                                                 | Miocene (?)                                           | Eocene (?)                                               |
| <b>Ore-controlling structures</b> | Normal faults                     | Normal faults                                          | Normal faults                                               | Normal faults                                                        | Normal faults                                         | Normal faults                                            |
| <b>Ore Minerals</b>               | Gn, Sp, Ttr-Tnt, Ccp, Py          | Py, Ccp, Apy, Bn, Gn, Sp, Ttr-Tnt                      | Gn, Sp, Ccp, Py                                             | Py, Ccp, Sp, Gn, Ttr-Tnt                                             | Gn, Sp, Py, Ccp, Bn, Ttr-Tnt                          | Sp, Gn, Ag, Py, Ttr, Ccp                                 |
| <b>Ore texture</b>                | Vein-veinlet, breccia, vug infill | Vein-veinlet, breccia, vug infill, crustiform          | Vein-veinlet, breccia, colloform, plumose, comb, vug infill | Vein-veinlet, breccia, comb, crustiform, vug infill, colloform       | Vein-veinlet, breccia, comb, vug infill               | Vein-veinlet, breccia, vug infill, crustiform, colloform |
| <b>Alteration</b>                 | Silica, carbonatic, propylitic    | Silica, sericitic, carbonatic, argillic, propylitic    | Silica, sericitic, carbonatic, argillic, propylitic         | Silica, sericitic, argillic, propylitic                              | Silica, sericitic, argillic, propylitic               | Silica, argillic, propylitic                             |
| <b>References</b>                 | This study                        | Salehi, 2009; Salehi et al., 2011; Salehi et al., 2015 | Talebi, 2015; Talebi et al., 2017                           | Shirkhani, 2007; Mohammadi Niaei, 2014; Mohammadi Niaei et al., 2015 | Mehrabi and Ghasemi Siani, 2012; Mehrabi et al., 2014 | Shamanian et al., 2003; Shamanian et al., 2004           |

Abbreviations: Ag: silver, Apy: arsenopyrite, Bn: bornite, Ccp: chalcopyrite, Gn: galena, Py: pyrite, Sp: sphalerite, Tnt: tetrahedrite, Ttr: tetrahedrite. All mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010).

میوسن مشخص می‌شود (شکل ۱۰-۱). رخنمون این توده‌ها در بخش‌های باختری منطقه و در اطراف کانسار گمیش تپه قابل مشاهده است. این توده‌های نیمه‌آتشفشانی به‌عنوان موتور حرارتی عمل کرده و سبب چرخش آب‌های جوی در منطقه شده‌اند. این آب‌ها علاوه بر توسعه پهنه‌های دگرسانی در منطقه، سبب شسته شدن عناصر فلزی از سنگ‌های مسیر و تمرکز مجدد آنها به‌صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار شده است. احتمال اینکه بخشی از ماده معدنی و سیالات گرمایی از توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی منشأ گرفته باشد نیز وجود دارد. مرحله چهارم با بالاآمدگی ناحیه‌ای و توسعه فرایندهای هوازدگی و فرسایش همراه است (شکل ۱۰-۲).

بر اساس نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، ساخت و بافت، مجموعه کانی‌شناسی و آنالیزهای زمین‌شیمیایی در کانسار گویجه‌یلاق، مراحل تکوین و تکامل این کانسار را می‌توان به‌صورت توالی چهار مرحله‌ای خلاصه کرد (شکل ۱۰): مرحله نخست با تشکیل توالی‌های آتشفشانی و رسوبی الیگومیوسن و توالی رسوبی میوسن در منطقه همراه است (شکل ۱۰-۱). در مرحله دوم، مجموعه سنگ‌های الیگومیوسن و میوسن منطقه در اثر نیروهای فشارشی، چین‌خورده و شکستگی‌هایی در آنها ایجاد شده است (شکل ۱۰-۲). مرحله سوم با نفوذ توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی به‌داخل توالی‌های سنگی الیگومیوسن و



شکل ۱۰. تصویر شماتیک از مراحل تکامل کانه‌زایی در کانسار گویجه‌یلاق. A: تشکیل توالی آتشفشانی-رسوبی الیگومیوسن و رسوبی میوسن، B: چین‌خوردگی و تشکیل درز و شکاف در واحدهای سنگی الیگومیوسن و میوسن، C: نفوذ توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی به‌داخل واحدهای سنگی الیگومیوسن و میوسن. نفوذ این توده‌ها سبب چرخش آب‌های جوی و شکل‌گیری کانه‌زایی به‌صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار درون واحدهای آتشفشانی منطقه شده است و D: بالاآمدگی ناحیه‌ای و توسعه فرایندهای هوازدگی و فرسایش

**Fig. 10.** Schematic representation of mineralization evolution stages at Qoyjeh Yeylaq deposit. A: Formation of Oligo-Miocene volcano-sedimentary and Miocene sedimentary units, B: Folding and development of fissures and cracks in Oligo-Miocene and Miocene rock units, C: Dacitic subvolcanic plutons intruded into the Oligo-Miocene and Miocene rock units. Intrusion of these plutons caused circulation of meteoric waters and formation of mineralized quartz-sulfide veins within volcanic units in the area, and D: Regional exhumation and development of weathering and erosion processes

## نتیجه‌گیری

(۱) شواهدی از قبیل مشاهدات صحرایی، ساخت و بافت، سنگ میزبان، همیافت، زمین‌شیمی و الگوی دگرسانی‌ها در کانسار سرب-روی (نقره) گویچه‌یلاق نشان می‌دهد که این کانسار را می‌توان در ردیف کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه (نقره) نوع سولفیداسیون حدواسط تقسیم‌بندی کرد. ویژگی‌های کانه‌زایی و دگرسانی در این کانسار شباهت زیادی با کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال فلزات پایه (نقره) موجود در پهنه‌های کانه‌دار طرود-چاه‌شیرین (مانند چشمه‌حافظ، گندی و ابوالحسنی)، تکاب (مانند آی‌قلعه‌سی و آرپاچای) و جنوب‌خاور زنجان (مانند گمیش‌تپه) دارد. در هر حال، این مقایسه نیازمند اطلاعات دقیق ایزوتوپی (پایدار و سن‌سنجی) برای بسپاری از این کانه‌زایی‌هاست.

(۲) شباهت روند الگوی بهنجار شده عناصر کمیاب خاکی در رگه‌های کانه‌دار و سنگ‌های میزبان آندزیت‌بازالتی و آندزیتی سالم و دگرسان شده نشان‌دهنده ارتباط زایشی کانه‌زایی و توالی آتشفشانی منطقه است. از این‌رو، دگرسانی واحدهای آتشفشانی و شسته شدن عناصر از آنها می‌تواند در تشکیل کانی‌سازی منطقه مؤثر بوده باشد.

(۳) بررسی نمودارهای تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر در کانسار گویچه‌یلاق نشان‌دهنده تمرکز عناصر کانه‌ساز (مانند Ag, Zn, Cu, Pb) در رگه‌های سیلیسی کانه‌دار است.

تهی‌شدگی عناصر کمیاب خاکی در این نمودارها بیانگر ترکیب اسیدی سیالات گرمابی غنی از کلر و فلوئورداری است که مانع از تمرکز آنها در بخش‌های کانه‌دار شده‌اند.

(۴) ژئومتری رگه‌ای بخش‌های کانه‌دار در کانسار گویچه‌یلاق نشان می‌دهد که ساختارهای گسلی معبر اصلی برای عبور جریان سیالات کانه‌ساز بوده‌اند. علاوه بر این، کانسار گمیش‌تپه (در مجاورت منطقه مورد بررسی) درون واحدهای آتشفشانی الیگومیوسن و در ارتباط فضایی نزدیک با توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی تشکیل شده است. از این‌رو، بررسی زون‌های گسلی موجود در توالی آتشفشانی الیگومیوسن به‌ویژه در مناطقی که مورد هجوم توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی قرار گرفته‌اند، از نظر اکتشاف کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه (نقره) می‌تواند حائز اهمیت باشد. تعمیم شواهد به‌دست آمده از این بررسی‌ها به مناطق مشابه در کمان ماگمایی ارومیه-دختر می‌تواند به شناسایی این نوع از کانی‌زایی‌ها منجر شود.

## قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش و از سردبیر و داوران محترم نشریه زمین‌شناسی اقتصادی به‌خاطر راهنمایی‌های علمی که به غنای بیشتر مقاله حاضر منجر شده است، تشکر می‌نمایند.

## References

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 606 pp. (in Persian)
- Albinson, T., Norman, D.I., Cole, D. and Chomiak, B., 2001. Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data. Society of Economic Geology Special Publication, 8: 1–32.
- Alderton, D.H.M., Pearce, J.A. and Potts, P.J., 1980. Rare earth element mobility during granite alteration: evidence from south-east England. Earth and Planetary Science Letters, 49(1): 149–165.
- Bienvenu, P., 1990. MORB alteration: Rare earth element/non-rare hydromagmaphile element fractionation. Chemical Geology, 82: 1–14.
- Bolourchi, M.H. and Hajian, G., 1979. Geological map of Kabudar Ahang, scale 1:250,000. Geological Survey of Iran.
- Brunsmann, A., Franz, G. and Erzinger, J., 2001. REE mobilization during small-scale high-pressure fluid-rock interaction and zoisite/fluid partitioning of La to Eu. Geochimica et Cosmochimica Acta, 65(4): 559–570.
- Camprubi, A. and Albinson, T., 2007. Epithermal



- deposits in Mexico, update of current knowledge, and an empirical re-classification. The Geological Society of America, Special Paper, 422: 14–39.
- Camprubi, A., Chomiak, B.A., Villanueva-Estrada, R.E., Canals, À., Norman, D.I., Cardellach, E. and Stute, M., 2006. Fluid sources for the La Guitarra epithermal deposit (Temascaltepec district, México): Volatile and helium isotope analyses in fluid inclusions. *Chemical Geology*, 231(3): 252–284.
- Ebrahimi, M., Kouhestani, H. and Shahidi, E., 2015. Investigation of type and origin of iron in the Mesgar occurrence, south of Zanjan, using by petrology, mineralogy and geochemistry data. *Journal of Economic Geology*, 7(1): 111–127. (in Persian with English abstract)
- Gemmell, J. B., 2004. Low- and intermediate-sulfidation epithermal deposits. In: D.R. Cooke, C.L. Deyel and J. Pongratz (Editors): 24 Ct Gold Workshop. University of Tasmania, Hobart, Australia, pp. 57–63.
- Giere, R. and Williams, C.T., 1992. REE-bearing minerals in a Ti-rich vein from the Adamello contact aureole (Italy). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 112(1): 83–100.
- Gonzalez-Partida, E., Camprubi, A., Gonzalez-Sanchez, F. and Sanchez-Torres, J., 2006. Fluid inclusion study of the Plomositas-Los Arcos polymetallic epithermal vein tract, Plomositas district, Sinaloa, Mexico. *Journal of Geochemical Exploration*, 89(1–3): 143–148.
- Gramaccioli, C.M., Diella, V. and Demartin, F., 1999. The role of fluoride complexes in REE geochemistry and the importance of 4f electrons: some complexes in minerals. *European Journal of Mineralogy*, 11(6): 983–992.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. and Gonzalez-Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. In: S.G. Hagemann and P.E. Brown (Editors), *Gold in 2000. Reviews in Economic Geology* 13, Society of Economic Geologists, Littleton, pp. 245–277.
- Humphris, S.E., 1984. The mobility of the rare earth elements in the crust. In: P. Henderson (Editor), *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 317–342.
- John, D.A., Garside, L.J. and Wallace, A.R., 1999. Magmatic and tectonic setting of late Cenozoic epithermal gold-silver deposits in northern Nevada, with an emphasis on the Pah Rah and Virginia Ranges and the northern Nevada rift. In: J.A. Jr. Kizis (Editor), *Low-sulfidation gold deposits in northern Nevada*. Geological Society of Nevada, Reno, pp. 64–158.
- Kikawada, Y., Ossaka, T., Oi, T. and Honda, T., 2001. Experimental studies on the mobility of lanthanides accompanying alteration of andesite by acidic hot spring water. *Chemical Geology*, 176(1–4): 137–149.
- Lottermoser, B.G., 1992. Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geology Reviews*, 7(1): 25–41.
- Majidifard, M.R. and Shafei, A., 2006. Geological map of Marzban, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Mehdikhani, B., 2014. Final Exploration Report of Pb-Zn in Qoyjeh Yeylaq Area. Industry, Mine and Trade Organization of Zanjan, Zanjan, 120 pp. (in Persian)
- Mehrabi, B. and Ghasemi Siani, M., 2012. Intermediate sulfidation epithermal Pb-Zn-Cu ( $\pm$ Ag-Au) mineralization at Cheshmeh Hafez deposit, Semnan Province, Iran. *Journal of the Geological Society of India*, 80(4): 563–578.
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M. and Tale Fazel, E., 2014. Base and precious metal ore-formation system in the Cheshmeh Hafez and Challu mining area, Torud-Chah Shirin magmatic arc. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 24(93): 105–118.
- Mohammadi Niaei, R., 2014. Genesis and economic geology of Ay Qalasi Pb-Zn deposit with special view on mineralization of precious metals. Unpublished Ph.D. Thesis, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, 210 pp. (in Persian with English abstract)
- Mohammadi Niaei, R., Daliran, F., Nezafati, N., Ghorbani, M., Sheikh Zakariaei, J. and Kouhestani, H., 2015. The Ay Qalasi deposit: An epithermal Pb–Zn (Ag) mineralization in the Urumieh–Dokhtar volcanic belt of northwestern Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry)*, 192(3): 263–274.
- Murphy, J.B. and Hynes, A.J., 1986. Contrasting secondary mobility of Ti, P, Zr, Nb and Y in two meta-basaltic suites in the Appalachians. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 23(8): 1138–1144.

- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary Chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38(5): 755–773.
- Rolland, Y., Cox, S., Boullier, A.M., Pennacchioni, G. and Mancktelow, N., 2003. Rare earth and trace element mobility in mid-crustal shear zones: insights from the Mont Blanc Massif (Western Alps). *Earth and Planetary Science Letters*, 214(1–2): 203–219.
- Salehi, T., 2009. Mineralogy, geochemistry and genesis of Qomish Tappeh Zn-Pb (Ag) deposit, SW Zanjan. Unpublished M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares, Tehran, Iran, 221 pp. (in Persian with English abstract)
- Salehi, T., Ghaderi, M. and Rashidnejad-Omran, N., 2011. Mineralogy and geochemistry of rare earth elements in Qomish Tappeh Zn-Pb-Cu (Ag) deposit, southwest of Zanjan. *Journal of Economic Geology*, 3(2): 235–254. (in Persian with English abstract)
- Salehi, T., Ghaderi, M. and Rashidnejad-Omran, N., 2015. Epithermal base metal-silver mineralization at Qomish Tappeh deposit, southwest of Zanjan. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 25(90): 329–346.
- Shamanian, G.H., Hedenquist, J.W., Hattori, K.H. and Hassanzadeh, J., 2003. Epithermal precious and base-metal mineralization in the Eocene arc of Torud-Chah Shirin mountain range: Gandy and Abolhassani districts, Semnan, northern Iran. In: C.J. Eliopoulos, P. Spry, H. Stein and G. Beaudoin (Editors), *Mineral Exploration and Sustainable Development*. Mill press, Rotterdam, pp. 519–522.
- Shamanian, G.H., Hedenquist, J.W., Hattori, K.H. and Hassanzadeh, J., 2004. The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, northern Iran. *Economic Geology*, 99(4): 691–712.
- Shirkhani, M., 2007. Mineralogy, geochemistry and genesis of Ay Qalasi Pb-Zn deposit, SE Takab. Unpublished M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares, Tehran, Iran, 143 pp. (in Persian with English abstract)
- Sillitoe, R.H., 1993. Epithermal models: genetic types, geometrical control and shallow features. *Geological Association of Canada Special Paper*, 40: 403–417.
- Sillitoe, R.H. and Hedenquist, J.W., 2003. Linkages between volcano-tectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 10: 315–343.
- Talebi, L., 2015. Petrology of igneous rocks in the Arpachay area (N Takab) with considering the mineralization. Unpublished M.Sc. Thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran, 122 pp. (in Persian with English abstract)
- Talebi, L., Mokhtari, M.A.A., Ebrahimi, M. and Kouhestani, H., 2017. The Arpachay mineralization occurrence, north of Takab: an epithermal base metal mineralization in the Takab-Angouran-Takht-e-Soleyman metallogenic zone. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 16(104): 281–296.
- Whitford, D.J., Korsch, M.J., Porritt, P.M. and Craven, S.J., 1988. Rare earth element mobility around the volcanogenic polymetallic massive sulfide deposit at Que River, Tasmania, Australia. *Chemical Geology*, 68(1–2): 105–119.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.
- Wood, S.A., 1990a. The aqueous geochemistry of the rare earth elements and Yttrium: 1. Review of available low-temperature data for inorganic complexes and the inorganic REE speciation of natural waters. *Chemical Geology*, 82: 159–186.
- Wood, S.A., 1990b. The aqueous geochemistry of the rare earth elements and Yttrium: 2. Theoretical predictions of speciation in hydrothermal solutions to 350 °C, at station water vapor pressure. *Chemical Geology*, 88(1–2): 99–125.



## Intermediate-sulfidation Style of Epithermal Base Metal (Ag) Mineralization at the Qoyjeh Yeylaq Deposit, SW Zanzan – IRAN

Hossein Bagherpour<sup>1</sup>, Mir Ali Asghar Mokhtari<sup>1</sup>, Hossein Kouhestani<sup>1\*</sup>, Ghasem Nabatian<sup>1</sup> and Behnam Mehdikhani<sup>2</sup>

1) Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanzan, Zanzan, Iran

2) Mining department, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

Submitted: Mar. 12, 2018

Accepted: Oct. 07, 2018

**Keywords:** *Epithermal mineralization, Intermediate-sulfidation, Qoyjeh Yeylaq, Zanzan*

### Introduction

The Qoyjeh Yeylaq Pb-Zn (Ag) deposit located 120 km southeast of Zanzan, is situated in the Urumieh-Dokhtar magmatic arc.

apart from Prior to this research no work has been published on Pb-Zn (Ag) mineralization at the Qoyjeh Yeylaq except for small scale geological maps of the area, i.e. 1:250,000 geological maps of Kabudar Ahang (Bolourchi and Hajian, 1979), 1:100,000 geological maps of Marzban (Majidifard and Shafei, 2006) and a number of unpublished Pb-Zn exploration reports.

The present paper provides an overview of the geological framework, mineralization characteristics, and results of geochemistry study of the Qoyjeh Yeylaq deposit with application to ore genesis. Identification of these characteristics can be used as a model for exploration of this type of Pb-Zn (Ag) mineralization in this area and elsewhere.

### Materials and methods

Detailed field work has been carried out at different scales in the Qoyjeh Yeylaq area. About 26 polished- thin and thin sections from host rocks, mineralized and altered zones were studied by conventional petrographic and mineralogic methods at the University of Zanzan. In addition, a total of 11 samples from fresh and altered host rocks and ore zones at the Qoyjeh Yeylaq deposit were analyzed by ICP-MS for trace elements and REE compositions at Zarazma Co., Tehran, Iran.

### Results and Discussion

The host rocks at the Qoyjeh Yeylaq deposit consist of Oligo-Miocene volcano-sedimentary rocks which are overlain conformably by Oligo-Miocene sedimentary rocks. Volcanic rocks are mostly basaltic andesite and andesite lava flows. Basaltic andesites with porphyritic texture consist of predominantly plagioclase (70 vol%) and clinopyroxene (25 vol%) phenocrysts with accessory Hornblende (<5 vol%) crystals. Andesites consists of plagioclase (75 vol%), hornblende (15 vol%), and clinopyroxene (10 vol%) phenocrysts set in fine-grained groundmass. The Oligo-Miocene sedimentary units consist of alternation of sandstone, red marl, and siltstone as well as medium-bedded to massive limestone with interlayers of tuff and shale. The Miocene sedimentary units consist mostly of alternations of red and green marl and red to grey sandstone.

Mineralization at Qoyjeh Yeylaq occurs as quartz-sulfide veins in Oligo-Miocene basaltic andesite and andesite lavas. The ore zone reaches up to 150 m in length and 10 m in width. It has NNW-trending and mostly dips 70-80° to SW. Three stages of mineralization can be distinguished at the Qoyjeh Yeylaq deposit. Stage-1 is the most abundant, widespread, and economically important ore forming stage at Qoyjeh Yeylaq and is represented by quartz and sulfide (galena, sphalerite, and chalcopyrite) veins (up to 5 mm wide) plus breccias cement. Stage-2 is represented

\*Corresponding authors Email: kouhestani@znu.ac.ir

by 2 mm wide individual or sets of late calcite veins and veinlets that usually cut stage-1 mineralization. No sulfide minerals are recognized with stage-2. Covellite, cerussite, Fe-oxides and hydroxides are formed during the supergene stage (stage-3). They usually show replacement and vug infill textures.

The hydrothermal alteration assemblages at Qoyjeh Yeylaq grade from proximal quartz and calcite to distal sericite, epidote, calcite and chlorite (propylitic alteration). The quartz and calcite alteration types are spatially and temporally closely associated with Pb-Zn (Ag) mineralization. The propylitic alteration marks the outer limit of the hydrothermal system.

The ore minerals at Qoyjeh Yeylaq are formed as vein-veinlet and hydrothermal breccia cements, and show vein-veinlet, vug infill, and disseminated textures. Galena, sphalerite, and chalcopryrite are the main ore minerals; covellite, cerussite, and goethite are supergene minerals. Quartz, and calcite are present in the gangue minerals that represent vein-veinlet, breccia, vug--infill, and replacement textures.

Comparison of Chondrite normalized (Nakamura, 1974) REE patterns of Oligo-Miocene fresh and altered basaltic andesite, andesite lavas, and the mineralized samples at Qoyjeh Yeylaq indicate that mineralization is probably genetically related with basaltic andesite and andesite lavas. In this

case, leaching of some elements from the host basaltic andesite and andesite lavas may have been involved in mineralization.

The geological, mineralogical, geochemical, textural and structural characteristics of the Qoyjeh Yeylaq deposit reveals that mineralization at the Qoyjeh Yeylaq deposit is an example of intermediate-sulfidation type of epithermal base metal (Ag) mineralization.

### Acknowledgements

The authors are grateful to the University of Zanjan Grant Commission for research funding. The Journal of Economic Geology reviewers and editor are also thanked for their constructive suggestions on modifications of the manuscript.

### References

- Bolourchi, M.H. and Hajian, G., 1979. Geological map of Kabudar Ahang, scale 1:250,000. Geological Survey of Iran.
- Majidifard, M.R. and Shafei, A., 2006. Geological map of Marzban, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary Chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38(5): 755–773.