

مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران
سال سی و سوم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۴، از صفحه ۵۳۵ تا ۵۴۶

زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و بررسی سیال‌های درگیر در رگه‌های چندفلزی گستره اکتشافی کلاته کلوخ گناباد، شرق ایران (قطعه لوت)

روح اله میری بیدختی^{۱*}، صدیقه زیرجانی‌زاده^۱، امیرمهدوی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۹/۲۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱)

چکیده: گستره اکتشافی کلاته کلوخ در ۲۵ کیلومتری شمال غرب گناباد، در شمال قطعه لوت و شرق ایران، قرار دارد. واحدهای سنگی اصلی این منطقه شامل سنگ‌های آذرین خروجی با ترکیب آندزیت و تراکی آندزیت، واحدهای نفوذی نیمه عمیق با ترکیب مونزونیت تا مونزودیوریت و واحدهای آذرآواری هستند. دگرسانی‌های منطقه شامل سیلیسی، پروپیلیتی و آرژیلیک هستند. کانی‌سازی به صورت رگه‌ای درون واحدهای آذرآواری رخ داده است. کانی‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن و کانی‌های ثانویه دربردارنده کالکوزیت، سروزیت، کولیت، کریزوکلا، مالاکیت، آزوریت و گوتیت هستند که بیشتر درون واحدهای آذرآواری و در راستای گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه تشکیل شده‌اند. دماسنجی برای میانبرهای سیال اولیه همزاد با کانی‌سازی بر کانی کوارتز نشان داد که دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر در این منطقه بین ۲۱۰ تا ۳۹۴°C و بطور میانگین ۳۰۶ درجه سانتی‌گراد است. برپایه دمای ذوب آخرین یخ در میانبرهای سیال، شوری بین ۴/۸ تا ۱۳/۵ درصد و بطور میانگین ۹/۵ درصد وزنی معادل NaCl است. بررسی سیال‌های درگیر نشان می‌دهد که سیال‌های گرمایی از منابع عمیق‌تر و ماگمایی شکل گرفته و پس از آمیختگی با آب‌های جوی و جوشش، باعث نهشت موادمعدنی و تشکیل کانسار به شکل رگه‌های گرمایی شده‌اند. براساس ویژگی‌ها و الگوی دگرسانی، کانه‌زایی و میانبرهای سیال، گستره معدنی کلاته کلوخ شباهت نزدیکی به ذخایر مس رگه‌ای وابسته به مس پورفیری دارد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌شناسی؛ کانی‌شناسی؛ سیال‌های درگیر؛ رگه‌های چندفلزی؛ کلاته کلوخ؛ قطعه لوت.

مقدمه

شمال غرب گناباد، ۲ کیلومتری شرق روستای کلاته کلوخ، در استان خراسان رضوی و بین طول‌های ۵۸° ۳۱' ۳۰" تا ۵۸° ۳۲' ۳۰" شرقی و عرض‌های ۳۴° ۲۸' ۳۰" تا ۲۹° ۳۰' ۳۰" شمالی قرار دارد. این گستره اکتشافی از لحاظ تقسیم‌بندی ایالت‌های زمین‌ساختاری ایران، در بخش‌های شمالی ایالت زمین‌شناسی قطعه لوت واقع است [۳] (شکل ۱). از ویژگی‌های زمین‌شناسی قطعه لوت وجود گسترده واحدهای آتشفشانی و نفوذی، ساختارهای پیچیده زمین‌ساختی و سامانه‌های گرمایی هستند که شرایط مناسبی را برای تشکیل

کانسارهای ماگمایی-گرمایی منبع اصلی عناصر مس، تنگستن، قلع، مولیبدن و طلا هستند [۱]. این کانسارها از یک رشته فرآیندهای پیچیده زمین‌شناسی به وجود می‌آیند که با تولید ماگماهای سیلیکاتی آبدار آغاز می‌شود، سپس تبلور آن‌ها، جداسازی سیال‌های ماگمایی غنی از مواد فرار و سرانجام، ته‌نشینی کانه در رگه‌ها یا کانسارهای جانیشینی را در پی دارد [۲].

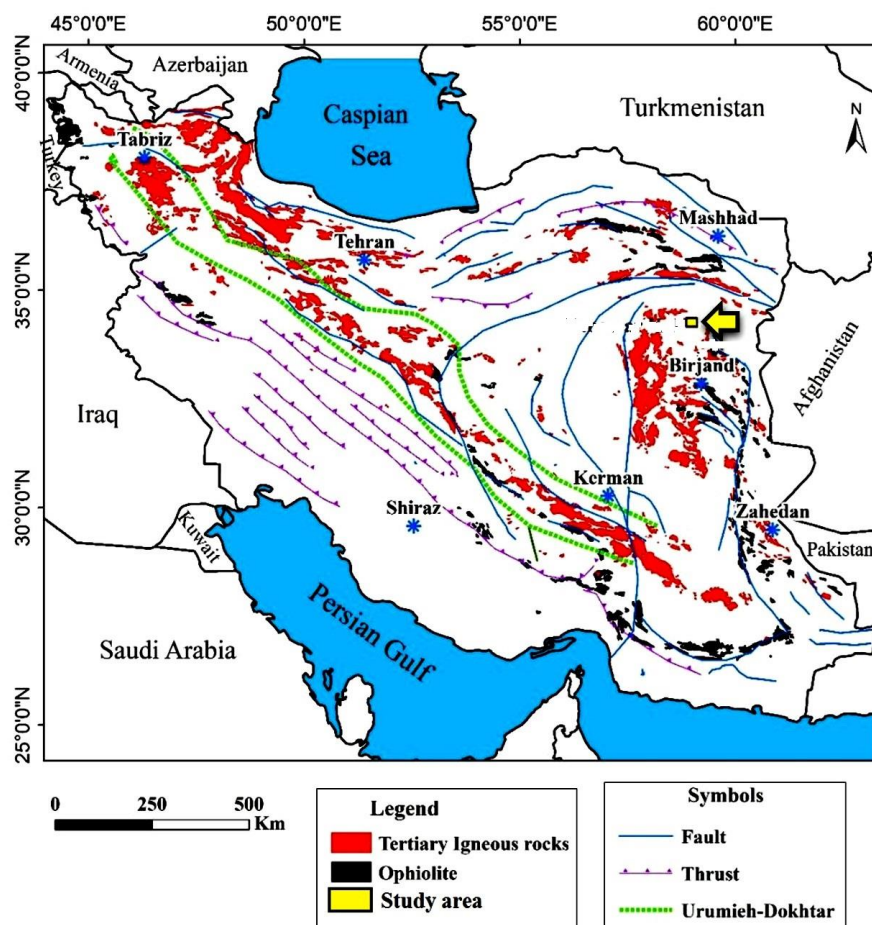
گستره اکتشافی کلاته کلوخ در شرق ایران و ۲۵ کیلومتری

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۶۲۴۹۸۴، پست الکترونیکی: roholamiri@gonabad.ac.ir

کلوخ نیز در گستره مورد بررسی واقع است [۱۷]. فعالیت معدنی صورت گرفته در این منطقه با مجموعه‌ای از پی‌جویی-های سطحی چون حفر ترانشه و احداث پیشکار قابل مشاهده است. آخرین پژوهش انجام شده در این گستره اکتشافی، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و بررسی‌های زمین‌شیمی بوده است. براین اساس، کانی‌سازی عناصر مس، سرب و روی در گستره اکتشافی کلاته کلوخ از نوع رگه‌ای معرفی شده که درون واحدهای آتشفشانی با روند غالب شمال‌غرب-جنوب‌شرق رخ داده است [۱۸]. با توجه به اهمیت اقتصادی و علمی این منطقه، در این پژوهش زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و سیال‌های درگیر در کانی‌کوارتز بررسی شده‌اند. این پژوهش می‌تواند به شناسایی بهتر فرآیندهای تشکیل ذخیره معدنی و ارزیابی پتانسیل اقتصادی منطقه منجر شود و دانش ما را درباره فرآیندهای زمین‌شناسی و کانه‌زایی در این منطقه افزایش دهد.

ذخایر معدنی فراگرمایی و پورفیری فراهم کرده‌اند و پژوهشگران بسیاری انواع کانی‌سازی‌ها در سرتاسر این قطعه را معرفی کرده‌اند [۴-۱۰]. بخش شمالی قطعه لوت که این گستره اکتشافی در آن جای دارد، میزبان تعداد زیادی از رگه‌های چندفلزی Pb-Zn-Cu-Au-Ag است که بیشتر پیرامون توده‌های نفوذی انوسن و در پهنه‌های گسلی تشکیل شده‌اند. از مهمترین این کنسارها می‌توان به رگه‌های چندفلزی نیان بجستان [۱۱]، رگه‌های روی و سرب کجه فردوس [۱۲]، رگه‌های چندفلزی شوراب فردوس [۱۳] و رگه‌های چندفلزی Cu-Sn-Pb-Zn-Au رودگز گناباد [۱۴] اشاره کرد.

از بررسی‌های انجام شده پیشین در منطقه می‌توان به تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ گناباد [۱۵]، پایان نامه دوره دکتری زیرجانی‌زاده اشاره کرد که در آن به سنگ‌شناسی، زمین‌شیمی، کانی‌سازی و خاستگاه سنگ‌های منطقه شمال‌غرب گناباد بررسی شده و منطقه اکتشافی کلاته



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی گستره اکتشافی کلاته کلوخ در نقشه زمین‌ساختی ایران.

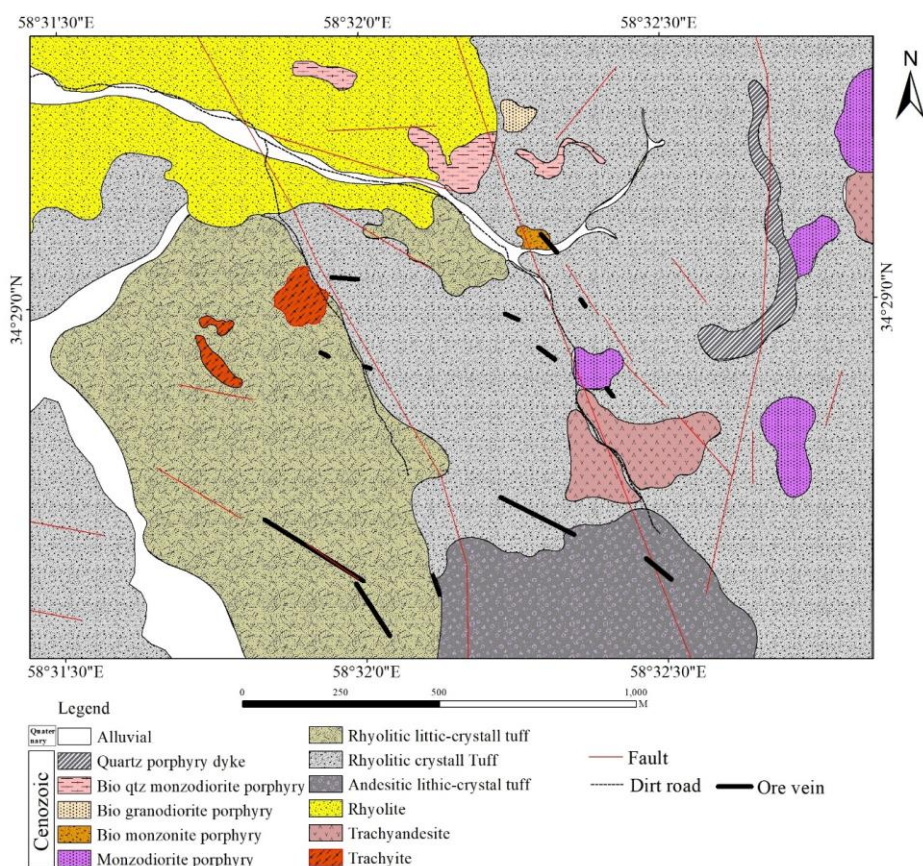
زمین‌شناسی

گستره اکتشافی کلاته کلوخ در بخش شمالی قطعه لوت و در شرق ایران قرار دارد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد بررسی شامل سنگ‌های آذرین خروجی، سنگ‌های آذرین نیمه عمیق و واحدهای سنگی آذرآواری هستند و بطور کلی می‌توان آنها را به دو بخش واحدهای آتشفشانی و آذرآواری و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق تقسیم کرد [۱۸] (شکل ۲). همه این واحدها دستخوش دگرسانی شده‌اند و دگرسانی در این منطقه، گستره‌ای بیش از ۴ کیلومترمربع را می‌پوشاند بیشتر پهنه‌های دگرسانی پروپلیتیک، سیلیسی و آرژیلیک هستند.

واحدهای آتشفشانی و آذرآواری گسترش و رخنمون سطحی زیادی در منطقه دارند و شامل واحدهای آذرآواری (توف و آگلومرا)، ریولیت، تراکی‌اندزیت و تراکیت هستند (شکل ۲). رخنمون ریولیت‌ها در شمال غرب منطقه مورد بررسی دیده می‌شود (شکل ۲). ریولیت‌های شمال غرب حالت جریان، لایه‌ای و در بعضی بخش‌ها حالت قلوهای شکل دارند. تراکی‌اندزیت‌ها در مرکز منطقه و به شکل تپه‌ماهور رخنمون

دارند. رخنمون‌های کوچکی از واحد تراکیت در غرب منطقه وجود دارند که در صحرا به رنگ بنفش دیده می‌شوند، مشخصه این واحد وجود بافت تراکیتی آن است.

توده‌های نفوذی و نیمه‌عمیق رخنمون یافته در منطقه بصورت استوک در بخش‌های مختلف رخنمون دارند و شامل واحدهای بیوتیت گرانودیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری، بیوتیت مونزونیت پورفیری و بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری هستند. رخنمون واحد بیوتیت گرانودیوریت پورفیری با راستای شمالی- جنوبی در شمال گستره اکتشافی کلاته کلوخ دیده می‌شود (شکل ۲). این واحد به شدت دگرسان‌شده است و رگچه‌های اپیدوت در نمونه دستی دیده می‌شوند. بیوتیت مونزونیت پورفیری تقریباً در مرکز منطقه کانی‌سازی مس کلاته کلوخ رخنمون دارد (شکل ۲). رخنمون‌های کوچکی از بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری در شمال منطقه و به شکل استوک وجود دارد (شکل ۲).



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی گستره اکتشافی کلاته کلوخ [۱۸].

بلورهای کوارتز براساس مشاهده تغییرات فازی درون میانبار طی سرد کردن و گرم کردن در دانشگاه تربیت مدرس تهران، انجام شد. پارامترهای دمایی با ریزدماسنج لینکام مدل THMS600 نصب بر میکروسکوپ زایس Axioplan2 اندازه گیری شدند. شوری میانبارهای دوفازی در سامانه $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ (HOKIEFLINCS- $\text{H}_2\text{O-NaCl}$) با نرم افزار به روش مرجع [۱۹] برآورد زده شد. مشخصه‌های میانبارهای سیال در دمای اتاق برپایه معیارهای مراجع [۲۰، ۲۱] ثبت شد. همچنین نسبت‌های فاز بخار به سیال (V/L) با استفاده از جدول استاندارد پیشنهادی شفرد و همکاران [۲۱] ارزیابی شد.

بحث و بررسی

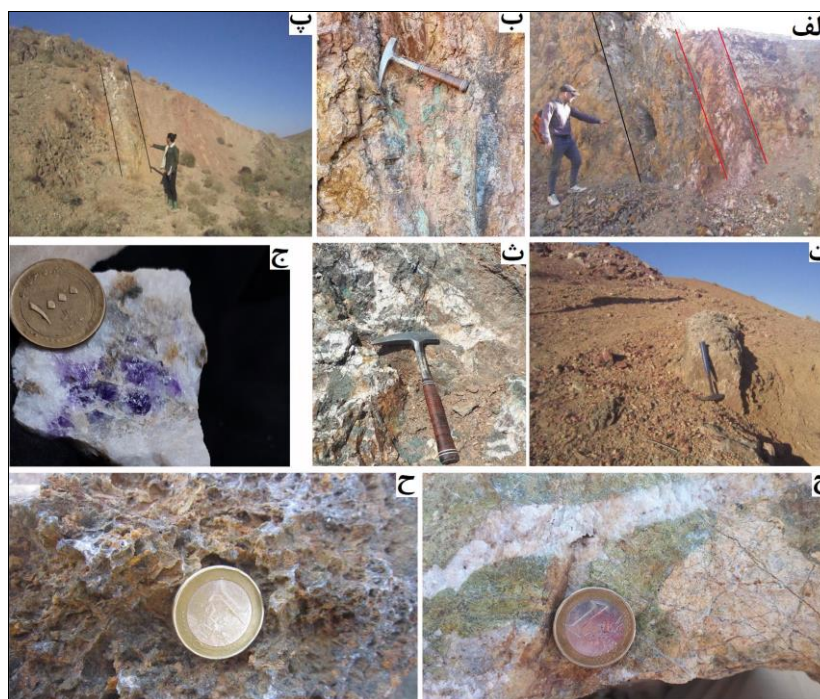
کانی‌شناسی

کانه‌زایی در گستره اکتشافی کلاته‌کلوخ در طول گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها و به میزبانی واحدهای سنگی آذرآواری به صورت رگه-رگچه‌ای و با ضخامت کمتر از ۱۰ سانتی‌متر تا بیش از ۱ متر با روند شمال غرب-جنوب شرق و با شیب ۷۵ تا نزدیک به ۹۰ درجه به سمت شمال شرق رخ داده است (شکل-های ۳ الف و ب).

براساس بررسی های زیرجانی‌زاده و میری [۱۸]، دگرسانی در گستره اکتشافی کلاته‌کلوخ منطبق بر سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی نیمه عمیق دیده می‌شود. این پهنه‌های دگرسانی شامل سیلیسی شدن و پروپیلیتیک است. کانی‌سازی در این محدوده به صورت رگه‌ای و برش هیدروترمال مشاهده می‌شود. مهمترین بخش کانی‌سازی در منطقه کلاته‌کلوخ کانی‌سازی رگه‌ای است که در سنگ میزبان آذرآواری رخ داده است، این رگه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

روش بررسی

برای کانه‌نگاری، تعداد ۲۰ مقطع صیقلی و نازک صیقلی از کانسنگ و باطله همراه با آن تهیه گردید و برای بررسی سیال-های درگیر، از میان آنها ۱۰ نمونه از همزمانی تشکیل کوارتز با کانی‌سازی (کانی‌های سولفیدی) انتخاب شد. از نمونه‌های انتخابی، ۱۰ مقطع نازک دوبر صیقل با ضخامت حدود ۲۵۰ میکرون تهیه گردید. سنگ‌نگاری سیال‌های درگیر با میکروسکوپ قطبشی مدل المیوس دارای نور عبوری و بازتابی و قابلیت بررسی همزمان سیال‌های درگیر و کانی‌های تیره درون آنها در مجتمع آموزش عالی گناباد، صورت گرفت. پس از آن، اندازه‌گیری‌های ریز دماسنجی میانبارهای سیال درون



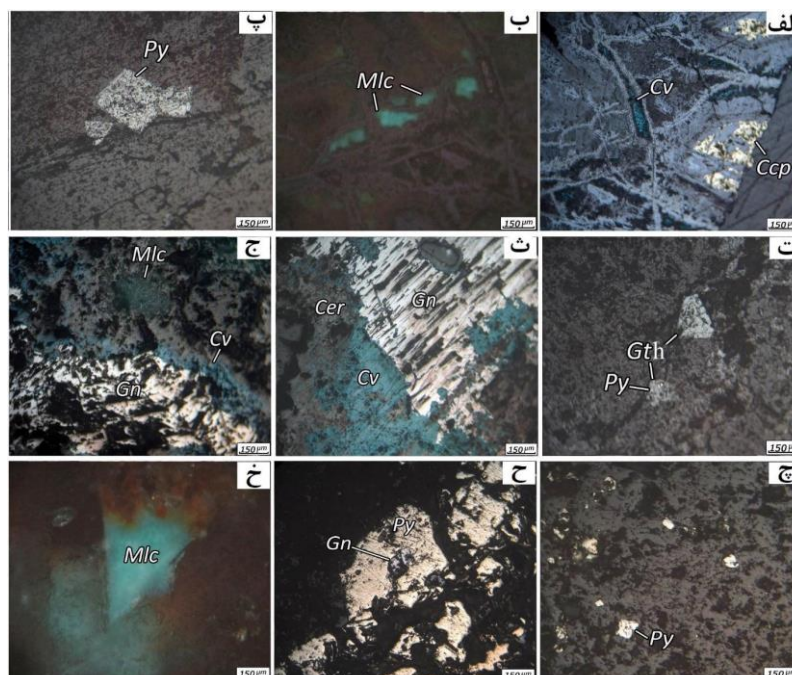
شکل ۳ الف-نمایی از رگه کانه‌دار که در پهنه گسلی شکل گرفته است (دید عکس به سمت جنوب شرق)؛ ب-نمایی از رگچه‌های کانه‌دار که در آن کانی‌های مالاکیت و آزوریت دیده می‌شوند، پ-نمایی از رگه سیلیسی بدون کانی‌سازی (دید عکس به سمت شمال غرب)؛ ت-نمایی از رگه کلسیت بدون کانی‌سازی؛ ث-کوارتزهای شیری رنگ با کانی‌سازی محدود؛ ج-کوارتز بنفش بدون کانی‌سازی؛ چ-بافت‌های شانه‌ای و شکافه پرکن کوارتز؛ ح-کوارتز حفره‌ای در نمونه دستی.

سایر اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن هستند که در ادامه معرفی می‌شوند.

کالکوپیریت (CuFeS_2): یکی از کانه‌های فلزی اصلی در منطقه کلاته کلوخ است. کالکوپیریت در بخش‌های سطحی که در حال حاضر در دسترس قرار دارد به فراوانی از لبه به کانی‌های ثانویه چون کوولیت، مالاکیت و گوتیت تبدیل شده است و تنها آثاری از کالکوپیریت در بخش‌های مرکزی گوتیت باقی مانده است (شکل ۴ الف). کوولیت به شکل رگچه‌های کوچک درون توده‌های گوتیت دیده می‌شود. قطعه‌های مالاکیت نیز به صورت پراکنده درون گوتیت حضور دارند (شکل ۴ ب). گوتیت با بافت گل‌کلمی بیشتر در لبه کالکوپیریت دیده می‌شود. گوتیت به شکل بلورهای پراکنده وجه‌دار نیز در سنگ حضور دارد که آثار پیریت درون برخی از بلورهای گوتیت نشانگر خاستگاه اولیه پیریت برای بلورهای وجه‌دار گوتیت است. گوتیت در این گستره اکتشافی دارای دو خاستگاه، کانی‌های پیریت و کالکوپیریت است (شکل‌های ۴ الف-ت).

افزون بر رگه‌های دربردارنده کانی‌سازی، رگه‌های سیلیسی و رگه‌های کلسیت بدون کانی‌سازی نیز در منطقه دیده می‌شوند (شکل‌های ۳ پ و ت). کانی‌های اصلی باطله همراه با کانی‌سازی کوارتز و کلسیت هستند. کوارتزهای همراه با کانی‌سازی نسل‌های مختلفی دارند. نخستین نسل کوارتزهای منطقه کوارتزهای همزاد با کانی‌سازی هستند که برای بررسی سیال‌های درگیر استفاده شدند و کوارتزهای شیری رنگ نسل بعدی کانی‌سازی محدودی دارند (شکل ۳ ث). آخرین کوارتزهای منطقه نیز کوارتزهای بنفش (آمیتیست) هستند که فضای خالی مرکز رگه‌ها را پر نموده‌اند و بدون کانی‌سازی هستند (شکل ۳ ج). از بافت‌های مهم کوارتزهای منطقه بافت‌ها شانه-ای و کوارتز حفره‌ای هستند (شکل‌های ۳ چ و ح).

در منطقه کلاته کلوخ، کانه‌زایی به دو صورت اولیه و ثانویه دیده می‌شود. کانه‌های اولیه تشکیل دهنده کانسنگ براساس بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های کانه‌نگاری مقاطع صیقلی، شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن و کانه‌های ثانویه شامل مالاکیت، آزوریت، کریزوکلا، کوولیت، سروزیت، گوتیت و



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی (نور بازتابی) کانه‌ها و کانی‌های موجود در منطقه معدنی الف- کانی کالکوپیریت و تبدیل آن به کوولیت و اکسیدهای آهن (در نور قطبیده متقاطع xpl)، ب- قطعه‌های مالاکیت، پ- گوتیت وجه‌دار که خاستگاه اولیه آن پیریت است (xpl)، ت- کانی پیریت که از لبه به اکسیدهای آهن تبدیل شده است (در نور قطبیده صفحه ای، ppl)، ث- گالن و در لبه آن کوولیت و سروسیت. کوولیت در لبه گالن وجود دارد و همچنین به شکل رگچه‌ای به درون گالن نفوذ کرده است (xpl)، ج- مالاکیت به صورت پراکنده و در کنار آن رگچه گالن- کوولیت (xpl)، چ- بلورهای پیریت بصورت پراکنده (xpl)، ح- میانبار به نسبت ریز گالن درون پیریت (xpl)، خ- قطعه به نسبت درشت مالاکیت (xpl). نشانه‌های اختصاری: Gth: گوتیت، Mlc: مالاکیت، Cv: کوولیت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Gn: گالن، Cer: سروزیت برگرفته از مرجع [۲۲] هستند.

براساس بررسی‌های سنگ‌نگاری سیال‌های درگیر در کانی کوارتز در ارتباط با کانی سازی، سیال‌های درگیر در سه گروه دوفازی مایع-گاز (LV) (غنی از فاز مایع)، چندفازی مایع-گاز-جامد (LVS) و تک‌فازی گاز (V) دیده شدند (شکل ۵). این سیال‌ها با اندازه ۵ تا ۱۵ میکرون و در شکل‌های کشیده، بیضی و بی‌نظم دیده می‌شوند.

ریزدماسنجی سیال‌های درگیر

اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی برای ۷۳ میانبار سیال دو فازی مایع-گاز (LV) غنی از فاز مایع و ۵ سیال چندفازی مایع-گاز-جامد (LVS)، انجام شد (جدول ۱).

دماسنجی برای همه سیال‌های درگیر به روش گرم کردن و تعیین دقیق دمای همگن‌شدگی (Th) انجام شد. از این رو کمترین دمای تشکیل کانی کوارتز همراه با کانی‌های سولفیدی در رگه و رگچه‌ها بدست می‌آید. بدست آوردن دمای واقعی تشکیل نیازمند فشار ستون چینه‌ای است که در آن زمان بر کانی‌سازی قرار داشته است و باید بر دمای همگن‌شدگی بدست آمده، تصحیح فشار صورت گیرد. باتوجه به جایگیری سامانه‌های فراگرمایی در اعماق کم که بیشتر همراه با فشار ایستایی هستند، اثر فشار بر سیال‌های درگیر واقع در این محیط‌های کانی‌سازی نیز بسیار ناچیز است [۲۶]. انباشت انواع مختلف سیال‌های درگیر با نسبت‌های مختلف فاز بخار به مایع نشانگر پدیده جوشش است [۲۷]. دماهای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر گستره اکتشافی کلاته کلوخ ۲۱۰ تا ۳۹۴ °C و بطور میانگین ۳۰۶ درجه سانتی‌گراد برای سیال‌های درگیر دوفازی و ۳۵۳ درجه سانتی‌گراد برای سیال‌های درگیر سه فازی محاسبه شده است (جدول ۱ و شکل ۶). پس از انجماد کامل سیال درگیر و گرم کردن دوباره آن با بدست آوردن دمای شروع ذوب و تشکیل نخستین قطره مایع (T_{fm}) نوع نمک‌های موجود در سیال و با تعیین دمایی که آخرین قطعه یخ ذوب می‌شود (T_m)، مقدار شوری سیال محاسبه می‌شود. مقدار شوری استفاده از نمودارها و جدول‌های مرجع [۲۵] اندازه‌گیری گردید. نتایج ریزدماسنجی در جدول ۱ ارائه شده است. چنان که دیده می‌شود، دمای اولیه (T_{fm}) و نهایی ذوب یخ (T_m) در سیال‌های درگیر دوفازی و سه فازی به ترتیب ۵۱/۴- و ۶/۵- و ۵۵/۳- و ۸/۹۲- هستند. بر این اساس، مقدار شوری در سیال‌های درگیر دوفازی ۴/۸ تا ۱۳/۵ درصد و بطور میانگین ۹/۵ درصد وزنی معادل NaCl و مقدار شوری در سیال‌های درگیر

گالن (PbS) در برخی رگه‌های گستره اکتشافی کلاته کلوخ کانی فلزی اصلی مقطع را تشکیل می‌دهد و به شکل قطعه‌های درشت توده‌ای در سنگ جایگزین شده است. اندازه قطعه‌های گالن به ۷-۸ میلی‌متر می‌رسد. گالن گاهی به شکل رگچه‌های کوچک با اندازه ۱ میلی‌متر نیز دیده می‌شود. گالن از لبه به سروریت تبدیل شده است (شکل ۴ ث). افزون بر سروریت، در لبه گالن کانی کوولیت به رنگ آبی جایگزین شده است. کوولیت در مرز بین گالن و سروریت قرار دارد. این کانی همچنین به شکل رگچه‌ای به درون گالن نفوذ کرده است. کوولیت کانی ثانویه بوده که پیرامون گالن، در اثر جانیشینی مس به جای سرب تشکیل شده است [۲۳]. در بخش‌هایی از کانسنگ، رگچه و قطعه‌هایی از سروریت-کوولیت دیده می‌شود و آثار کانی اولیه گالن از بین رفته است. کانی‌های ثانویه مس چون مالاکیت نیز به شکل قطعه‌های با اندازه حدود ۱ میلی‌متر در کانسنگ دیده می‌شوند (شکل ۴ ج).

پیریت (FeS_2) فراوانترین کانی فلزی در رگه‌های کانه‌دار است و به صورت قطعه‌های درشت توده‌ای، پراکنده و رگچه‌ای دیده می‌شود (شکل ۴ چ). در برخی مقاطع، به مقدار جزئی گالن بصورت میانبار (با اندازه حدود ۱۰۰ میکرون) درون پیریت دیده شد (شکل ۴ ح).

مالاکیت ($Cu_2CO_3(OH)_2$) به شکل قطعه‌های پرکننده حفره‌ها و همچنین به شکل رگچه‌ای در مقاطع صیقلی و در نمونه‌های سطحی به طور گسترده دیده می‌شود (شکل ۴ خ).

سیال‌های درگیر

سنگ‌نگاری سیال‌های درگیر

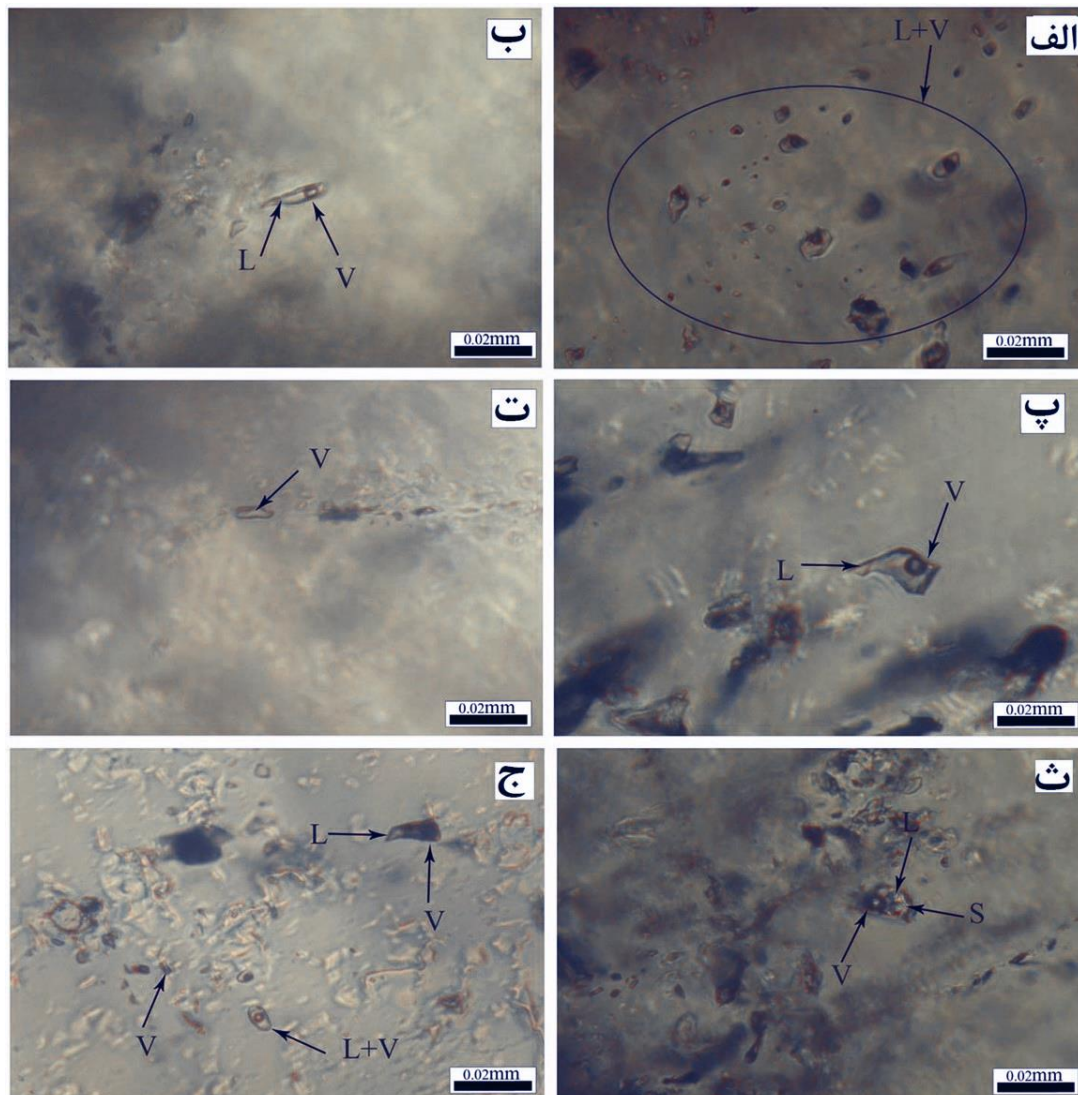
سیال‌های درگیر را با پارامترهای ظاهری چون اندازه، شکل، رنگ، شاخص شکست و به ویژه با تنوع و تعداد فازهای موجود در دمای اتاق توصیف می‌کنند [۲۴].

رده‌بندی‌های مختلفی براساس تعداد فازهای تشکیل شده در سیال‌های درگیر یا نسبت‌های مختلف جامدها، مایع‌ها و بخار موجود در آنها توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است که اغلب آنها براساس تعداد فازها در دمای اتاق انجام می‌شود. برای پذیرفتن این رده‌بندی‌ها باید در نظر داشت که یک تداوم و تسلسل ترکیبی برای سیال‌های زمین‌شناسی وجود دارد و به علت وجود تقسیم‌بندی‌های به نسبت دلخواه، درنیمی از آنها، همپوشی‌هایی بین انواع سیال‌های درگیر مختلف وجود دارد [۲۵].

[۲۸] محاسبه شده‌اند. شکل‌های ۶ الف و ب، به ترتیب نمودارهای ستونی فراوانی شوری سیال‌های درگیر و دمای همگن‌شدگی با نرم افزار SPSS18 را نشان می‌دهند.

سه فازی بطور میانگین ۲۶/۲ درصد وزنی، معادل NaCl محاسبه شد.

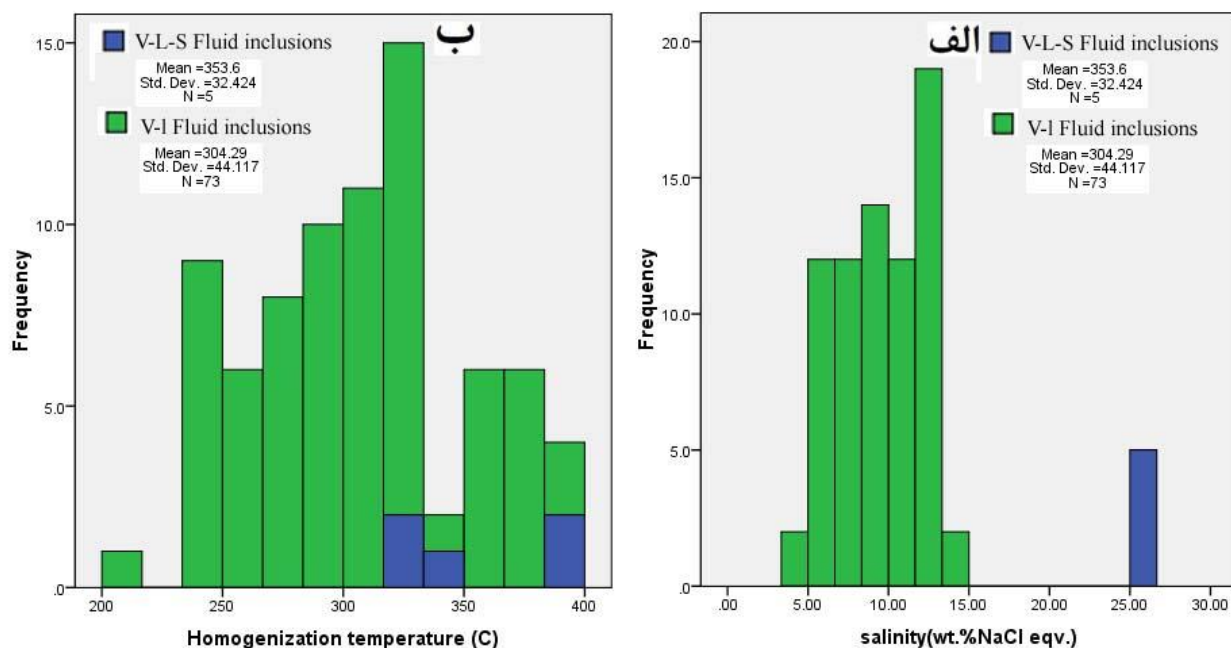
گفتنی است که شوری و چگالی بر پایه داده‌های بدست آمده از نرم‌افزار HOKIEFLINCS و بر اساس رابطه مرجع



شکل ۵ سیال‌های درگیر در گستره اکتشافی کلاته کلوخ در کانی کوارتز (در دمای اتاق و PPL): الف- فراوانی سیال‌های درگیر با دو فاز مایع و گاز و با شکل‌های مختلف، ب- سیال‌درگیر با دو فاز مایع و گاز به شکل میله‌ای، پ- سیال‌درگیر با دو فاز مایع و گاز به شکل نامنظم، ت- سیال-درگیر تک فازی گاز، ث- سیال‌درگیر با سه فاز مایع، گاز و جامد و ج- انواع سیال‌های درگیر در یک نمونه شامل سیال گاز، گاز مایع و مایع گاز

جدول ۱ نتایج بررسی سیال‌های درگیر در منطقه کلاته کلوخ.

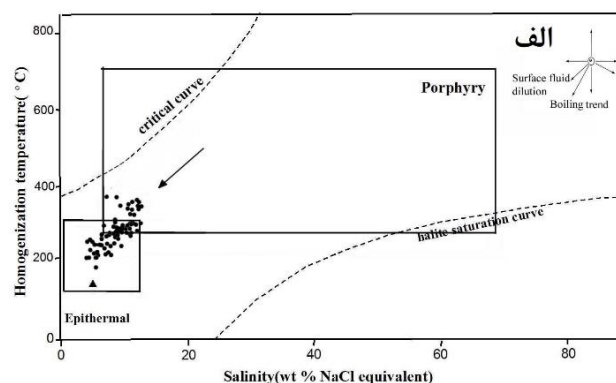
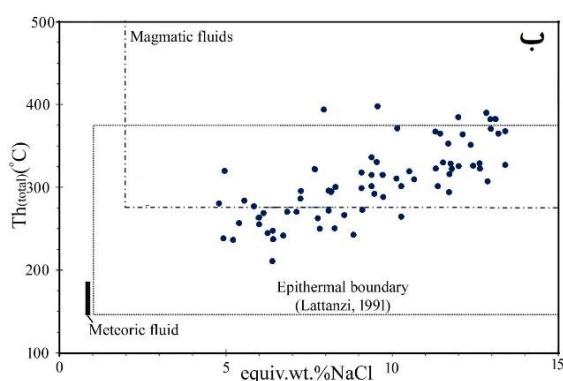
چگالی gr/cm^3	شوری (wt.%NaCl)	میانگین دمای همگن شدگی $\text{Th } ^\circ\text{C}$	دمای ذوب یخ $\text{mT } ^\circ\text{C}$	دمای همگدازی $\text{fmT } ^\circ\text{C}$	نوع میانبار	تعداد سیال- های درگیر	کانی میزبان
۰/۸۱	۹/۴۵	۳۰۶	-۶/۵	-۵۱/۴	L-V	۳۲	کوارتز
۰/۹۲	۲۶/۲	۳۵۳	-۸/۹۲	-۵۵/۳	-L-SV	۵	کوارتز



شکل ۶ الف- نمودار ستونی درصد شوری و ب- نمودار ستونی دمای همگن‌شدگی برای سیال‌های درگیر.

در گستره با خاستگاه سیال‌های ماگمایی قرار دارند (شکل ۷ ب). داده‌های ریزدماسنجی نمونه‌های منطقه کلاته‌کلوخ با روندی مشخص در گستره‌ای با شوری و دمای متوسط قرار گرفته‌اند. که این امر بیانگر کاهش شوری و دمای سیال‌های-درگیر در اثر آمیختگی یک سیال با شوری کم/دمای کم با یک سیال با شوری بالا دمای بالا و یا ناشی از جوشش سیال است.

بر پایه درصد شوری و دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر، نمونه‌ها در نمودار شوری-دمای همگن‌شدگی جایابی شده‌اند (شکل ۷ الف). در این نمودار، محل قرارگیری سیال‌های مربوط به کانسارهای گرمایی چون پورفیری و فراگرمایی مشخص شده است [۲۹]. نمونه‌های کلاته‌کلوخ بیشتر در گستره فراگرمایی و محدوده مشترک سامانه‌های فراگرمایی-پورفیری قرار می‌گیرند (شکل ۷ الف). براساس نتایج به دست آمده، میان بارهای سیال



شکل ۷ الف- موقعیت داده‌های ریزدماسنجی منطقه کلاته‌کلوخ در نمودار شوری-دمای همگن‌شدگی برگرفته از مرجع [۲۹] با کمی تغییر؛ ب- نمودار دمای همگن‌شدگی کل نسبت به نمودار شوری معادل که نشان دهنده روند آمیختگی سیال‌های درگیر در فراگرمایی کلاته‌کلوخ است [۳۰-۳۲].

برداشت

کانی‌سازی در گستره اکتشافی کلاته کلوخ، در جایگاه زمین ساختی پهنه فرورانش کرانه فعال قاره در ارتباط با واحدهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و دگرسانی‌های وابسته به آنها رخ داده است [۳۳]. واحدهای آتشفشانی منطقه دارای ترکیب اسیدی (ریولیت) و حدواسط (تراکیت و تراکی‌آندزیت) هستند که توده‌های نفوذی بیشتر حدواسط با ترکیب مونزونیت، مونزودیوریت و گرانودیوریت پورفیری در آن نفوذ کرده، و موجب دگرسانی و کانی‌سازی شده‌اند. کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدهای آهن بصورت رگه‌ای دیده می‌شوند. بررسی‌های کانی‌شناسی حضور کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت را نشان می‌دهد که به شکل اولیه از سیال‌های کانه‌ساز تشکیل شده‌اند، از دیگر کانی‌های موجود می‌توان به کانی‌های ثانویه از جمله کولیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، سروزیت و اکسیدهای آهن که در اثر فرایند برونزایی تشکیل شده‌اند، اشاره کرد. حضور، گسترش و مقدار اکسیدهای آهن پراکنده (تا ۱۵ درصد) بیانگر قرارگیری پهنه‌های سولفیدی با عیار بالا در معرض هوازدگی و اسیدشویی است. دگرسانی از نظر نوع، گسترش و شکل، همچنین ویژگی‌های کانی‌سازی در این منطقه شبیه سامانه‌های رگه‌ای فراگرمایی است [۳۴].

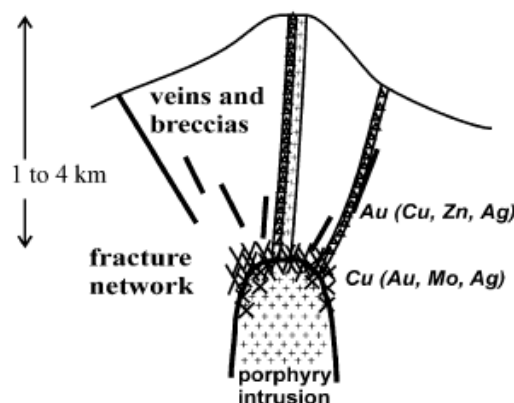
برپایه به دمای تشکیل رگه‌های کوارتزی در منطقه کلاته کلوخ که از بررسی سیال‌های درگیر بطور میانگین ۳۰۶ درجه سانتی‌گراد بدست آمده است، بنظر می‌رسد که کمپلکس حمل کننده مس در این گستره بدلیل کاهش دما در اثر امیختگی با آب‌های جوی فرورو (شکل ۷ الف) و کاهش فشار بدلیل ورود سیال گرمایی به پهنه‌های گسلی و رخداد فرآیند جوشش نهشته شده است.

کانی‌سازی در این رگه‌ها به دلایلی که در ادامه بیان می‌شود، از نوع رگه‌ای چندفلزی فراگرمایی و به احتمال بسیار در ارتباط با یک سامانه مس پورفیری است:

۱- توده‌های نیمه‌عمیق حدواسط پورفیری و توده‌های آتشفشانی در ارتباط با کانی‌سازی در منطقه دیده می‌شوند.
۲- کانی‌سازی به صورت رگه‌ای در سنگ‌های میزبان وجود دارد. رگه‌ها اغلب به شکل خطوط یا شکاف‌هایی در سنگ‌ها هستند که از مواد معدنی پر شده‌اند.
۳- مجموعه‌های کانی درونزاد شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن و بافت‌های پرکننده فضای خالی و جانیشینی دیده می‌شود.

۴- دما و شوری به نسبت بالای سیال‌های درگیر کلاته کلوخ (دماهای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر کلاته کلوخ ۲۱۰ تا ۳۹۴ °C و بطور میانگین ۳۰۶ درجه سانتی‌گراد و مقدار شوری ۴/۸ تا ۱۳/۵ درصد و بطور میانگین ۹/۵ درصد وزنی معادل NaCl محاسبه شده است) در گستره ذخایر فراگرمایی ترمال قرار می‌گیرد (شکل ۷).

ذخایر رگه‌ای فراگرمایی و ذخایر پورفیری از یک سامانه گرمایی مشترک شکل می‌گیرند و به دلیل تفاوت در شرایط فشار و دما، در عمق‌های مختلفی از زمین تشکیل می‌شوند [۳۵]. کانی‌سازی رگه‌ای همراه با پهنه‌های گسترده دگرسانی که با نوع رگه‌ای همخوانی ندارد، نمایانگر فعالیت گسترده سیال‌های گرمایی در منطقه بوده و شرایط را برای کانی‌سازی از نوع پورفیری مناسب ساخته است. از این رو، کانی‌سازی رگه‌ای می‌تواند نشانگر کانی‌سازی گسترده پورفیری در ارتباط با توده‌های نفوذی در منطقه باشد، زیرا در حال حاضر ارتباط مکانی و زمانی بین ذخایر رگه‌ای فراگرمایی و ذخایر مس-طلای پورفیری در مناطق مختلف جهان به اثبات رسیده است [۳۵]. پهنه‌های گستره دگرسانی‌های آرژیلیک، پروپلیتی و سیلیسی و کانی‌سازی رگه‌ای مشخص می‌سازد که سطح فرسایش فعلی در واقع بخشی از سامانه رگه‌ای فراگرمایی و به احتمال بسیار بخش بالایی یک سامانه پورفیری است که ادامه بررسی‌های اکتشافی ضروری است (شکل ۸).



شکل ۸ طرحواره‌ای از سامانه مس پورفیری و ارتباط آن با رگه‌های چندفلزی، برگرفته از مرجع [۳۶]

مراجع

- Crystallography and Mineralogy, 22(3), (2014), 459-470. <http://ijcm.ir/article-1-227-fa.html>
- [9] Almasi A., Miri Beydokhti R., Karimpour M.H., Mazaheri S.A., "An approach to the genesis of Mahoor copper deposit, southwest of Nehbandan, based on mineralogy, fluid inclusions and sulfur isotopes studies (in Persian)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 29 (3), (2021), 619-636. <http://ijcm.ir/article-1-1652-fa.html>
- [10] Javidi Moghaddam M., Karimpour M. H., Ebrahimi Nasrabadi K., Haidarian Shahri M. R., Malekzadeh Shafaroudi A., "Mineralogy, Geochemistry, Fluid Inclusion and Oxygen Isotope Investigations of Epithermal Cu $\pm$ Ag Veins of the Khur Area, Lut Block, Eastern Iran", Acta Geologica Sinica 92(3), (2018), 1139-1156. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.13596>
- [11] Hadizadeh H., Calagari A., Nezafati N., Mollaei H., "Geology, Petrography, Alteration, and Mineralization in Neian Polymetallic (Pb-Zn-Cu-Au-Ag) Deposit, Bejestan, Northwest of Lut Block, East of Iran", Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 24(94), (2015), 315-329. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42950>
- [12] Zirjanizadeh S., Miri bedokhti R., "Geology, mineralogy and fluid inclusion studies of the Kajah deposit, northwest of Ferdows, South Khorasan", 32 (2), (2024), 275-286. <http://ijcm.ir/article-1-1861-fa.html>
- [13] Mehrabi B., Tale Fazel E., "The role of magmatic and meteoric water mixing in mineralization of Shurab polymetal ore deposit South of Ferdows: isotope geochemistry and microthermometry evidences", 19 (1), 2011, 121-130. <http://ijcm.ir/article-1-472-fa.html>
- [14] Hajimirzajan H., Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., Haidarian Shahri M. R., Hamooni S. J., "Compilation of geology, mineralization, geochemistry and geophysical study of IP/RS and ground magnetic survey at Roudgaz area, southeast of Gonabad, Khorasan Razavi province", Journal of Economic Geology, 5(1), (2013), 117-136. doi: 10.22067/econg.v5i1.22916
- [15] Alavi Naini M., "Geological map of Gonabad, scale 1:250000", Geological survey of Iran (1963).
- [1] Kesler S. E., "Mineral Resources", Economics and the Environment (Macmillan, New York (1994).
- [2] Kesler S.E., "Mineral supply and demand into the 21st century. In proceedings for a workshop on deposit modeling, mineral resource assessment, and their role in sustainable development", US Geological Survey circular 1294 (2007) 55-62.
- [3] Aghanabati S. A., "Geology of Iran (in Persian)", Geological Survey of Iran, Tehran, (2004), 586pp.
- [4] Malekzadeh Shafaroudi A., "Geology, mineralization, alteration, geochemistry, microthermometry, radiogenic isotopes, petrogenesis of intrusive rocks and determination of source of mineralization in Maherabad and Khopik prospect area, South Khorasan Province (in Persian)", Unpublished PhD Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, (2009), 536 pp.
- [5] Abdi M., Karimpour M. H., "Geology, alteration, mineralization, petrogenesis, geochronology, geochemistry and airborne geophysics of Kuh Shah prospecting area, SW Birjand (in Persian)", Journal of Economic Geology, 4(1), (2012), 77-107. <https://doi.org/10.22067/econg.v4i1.13394>
- [6] Arjmandzadeh R., Karimpour M.H., Mazaheri S.A., Santos J.F., Medina J., Homam S.M., "Sr-Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut Block, Eastern Iran)", Journal of Asian Earth Sciences 41(3), (2011), 283-296. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.02.014>
- [7] Arjmandzadeh R., Santos J. F., "Sr-Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu-Mo porphyry mineralizing intrusive from Lut Block, eastern Iran", Int. Journal of Earth Sciences 103, (2014), 123-140. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00531-013-0959-4>
- [8] Miri Beydokhti R., Karimpour M.H., Mazaheri S.A., "Studies of remote sensing, geology, alteration, mineralization and geochemistry of Balazard copper-gold prospecting area, west of Nehbandan (in Persian)", Iranian Journal of

- [25] Sheppherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.M., "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies", Blackie and Son, (1985), 239.
- [26] Ruggieri G., Lattoazi P., Luxoro S., Dessi R., Benvenuti M., Tunelli G., "Geology, mineralogy, and fluid inclusion data of the Furtei high-sulfidation gold deposit, Sardinia, Italy", *Economic Geology*, 92 (1997) 1–19.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.92.1.1>
- [27] Kouhestani H., Mokhtari M. A. A., Qin K., Xianan Zhang, "Genesis of the Abbasabad epithermal base metal deposit, NW Iran: Evidences from ore geology, fluid inclusion and O–S isotopes", *Ore Geology Reviews*, 126, (2020), 103752.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103752>
- [28] Brown P. E., Lamb W. M., "P–V–T properties of fluids in the system H₂O–CO₂–NaCl: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies", *Geochemical Acta*, 53 (1989) 1209–1221.
[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90057-4)
- [29] Wilkinson J. J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", *Lithos* 55 (2001) 229–272.
[https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00047-5)
- [30] Hedenquist J.W., Arribas A., "Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far southeast Lepanto porphyry and epithermal Cu–Au deposits, Philippines", *Econ. Geol.* 93, (1998) 373–404.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.93.4.373>
- [31] Lattanzi P., "Applications of fluid inclusions in the study and exploration of mineral deposits", *Eur. J. Mineral.* 3, (1991) 689–697.
[https://doi.org/10.1016/0375-6742\(91\)90068-6](https://doi.org/10.1016/0375-6742(91)90068-6)
- [32] Naden J., Killias S.P., Darbyshire D.P.F., "Active geothermal system with entrained seawater as modern analogs for transitional volcanic-hosted massive sulfide and continental magmato-hydrothermal mineralization: the example of Milos Island, Greece", *Geology* 33, (2005) 541–544.
<https://doi.org/10.1130/G21307.1>
- [33] Zirjanizadeh S., Karimpour M. H., Ebrahimi Nasrabadi K., Santos J. F., "Petrography, Geochemistry and Petrogenesis of Volcanic Rocks,
- [16] Ghaemi F., Shahrivar H., "Geological Map of Gonabad, scale 1:100000", geological survey of Iran, (2004).
- [17] Zirjanizadeh S., "Mineralogy, geochemistry and petrogenesis igneous rocks in the northwest of Gonabad (in Persian)", Unpublished PhD Thesis, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran, (2015), 259pp.
- [18] Zirjanizadeh S., Miri Beydokhti R., "Geological, alteration, mineralogy and geochemical studies of the Copper deposit in the Kalatehno prospect area, northwest of Gonabad (Khorasan Razavi province)", *Journal of Economic Geology*, 16(3), (2024), 1–22.
doi: 10.22067/econg.2024.1118
- [19] Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R.J., "HOKIEFLINCS-H₂O–NaCl: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O–NaCl", *Computer in Geosciences*, 49, (2012), 334–337.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2012.01.022>
- [20] Lecumberri-Sanchez P., Steel-MacInnis M., Bodnar R.J., "A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 92, (2012), 14–22.
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.05.044>
- [21] Shepherd T. J., Rankin A. H., M Alderton D. H., "A practical guide to fluid inclusion studies", New York, Blackie, (1985), p.p. 239.
- [22] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", *American Mineralogist*, 95(1), (2010), 277–279.
<https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- [23] Bao Z., Tom Al., Couillard M., Poirier G., Bain G., Shrimpton H. K., Finfrock Y.Z., Lanzirotti A., Paktunc D., Saurette E., Hu Y., Ptacek C.G, Blowes D.W, "A cross scale investigation of galena oxidation and controls on mobilization of lead in mine waste rock", *Journal of Hazardous Materials* 412(15) (2021) 125130.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125130>
- [24] Alfons M., Ulrich F., "Fluid inclusion petrography", *Lithos*, 55 (2001), 27–47.
[https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00037-2)

- [35] Sillitoe R. H., “*Porphyry copper systems*”, *Economic geology*, 105(1), (2010) 3-41.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>
- [36] Cooke D.R., Hollings P., Walshe J.L., “*Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls*”, *Economic Geology* 100 (2005) 801–818.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.100.5.801>
- NW Ghonabad, Iran”, *Journal of Economic Geology*, 8(1), (2016), 265-282.
doi: 10.22067/econg.v8i1.48865
- [34] Sillitoe R. H, Hedenquist J. W., “*Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposit*”, *Society of Economic Geologists* 13 (2005) 1-29.
<https://doi.org/10.5382/SP.10.16>