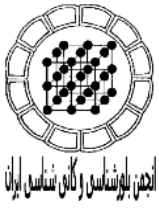
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۹۹، از صفحهٔ ۸۶۹ تا ۸۸۲



کانه‌زایی رگه‌ای آنتیموان-آرسنیک منطقه کوه شورو، جنوب فردوس: شواهدی از دگرسانی، کانه-نگاری، زمین شیمی و بررسی سیال‌های درگیر

آزاده ملکزاده شفارودی[1*]، محمد حسن کریم‌پور[1]، مریم جاویدی مقدم[2]

۱- گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۹/۱۸، نسخه نهایی: ۹۸/۱۲/۲۱)

چکیده: منطقه پی‌جویی کوه شورو در جنوب فردوس، استان خراسان جنوبی، واقع بوده و از کانه‌زایی‌های رگه‌ای وابسته به فعالیت‌های ماگمایی ترشیاری قطعه لوت است. کانی‌سازی به صورت روزادی در سنگ میزبان شیل-لای سنگ (ژوراسیک)، داسیت و دیوریت پورفیری (ترشیاری) تشکیل شده است. کانه‌سازی با بافت‌های پرکننده فضای خالی، برشی و جانشینی در پهنه‌های گسلی شکل گرفته است و می‌توان آن را به دو مرحله اصلی ۱. کوارتز-گالن-پیریت-زرنیخ قرمز همراه با دگرسانی آرژیلی-سیلیسی و ۲. کوارتز-استیبنیت-پیریت- زرنیخ قرمز همراه با دگرسانی سیلیسی تقسیم کرد. بیشترین بی‌هنجاری‌های زمین شیمی در رگه‌ها برای آنتیموان ۱۴ درصد، سرب ۲۹۳ گرم در تن، آرسنیک ۹۸ گرم در تن و روی ۱۶۸ گرم در تن است. نتایج ریزدماسنجی نشان می‌دهد که رگه‌های کوارتز-سولفید از یک سیال با دمای ۱۶۰ تا ۲۲۴ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۳٫۷ تا ۲۲٫۸ درصد وزنی NaCl تشکیل شده‌اند. مخلوط شدن محلول ماگمایی کانه‌دار گرم و شور و آب‌های جوی سرد و با شوری کم و جوشش می‌توانند باعث ته‌نشینی فلزات شده باشند. بر پایه بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و ساخت، زمین شیمی و یافته‌های سیال‌های درگیر، کانسار کوه شورو را می‌توان در رده فراگرمایی در نظر گرفت.

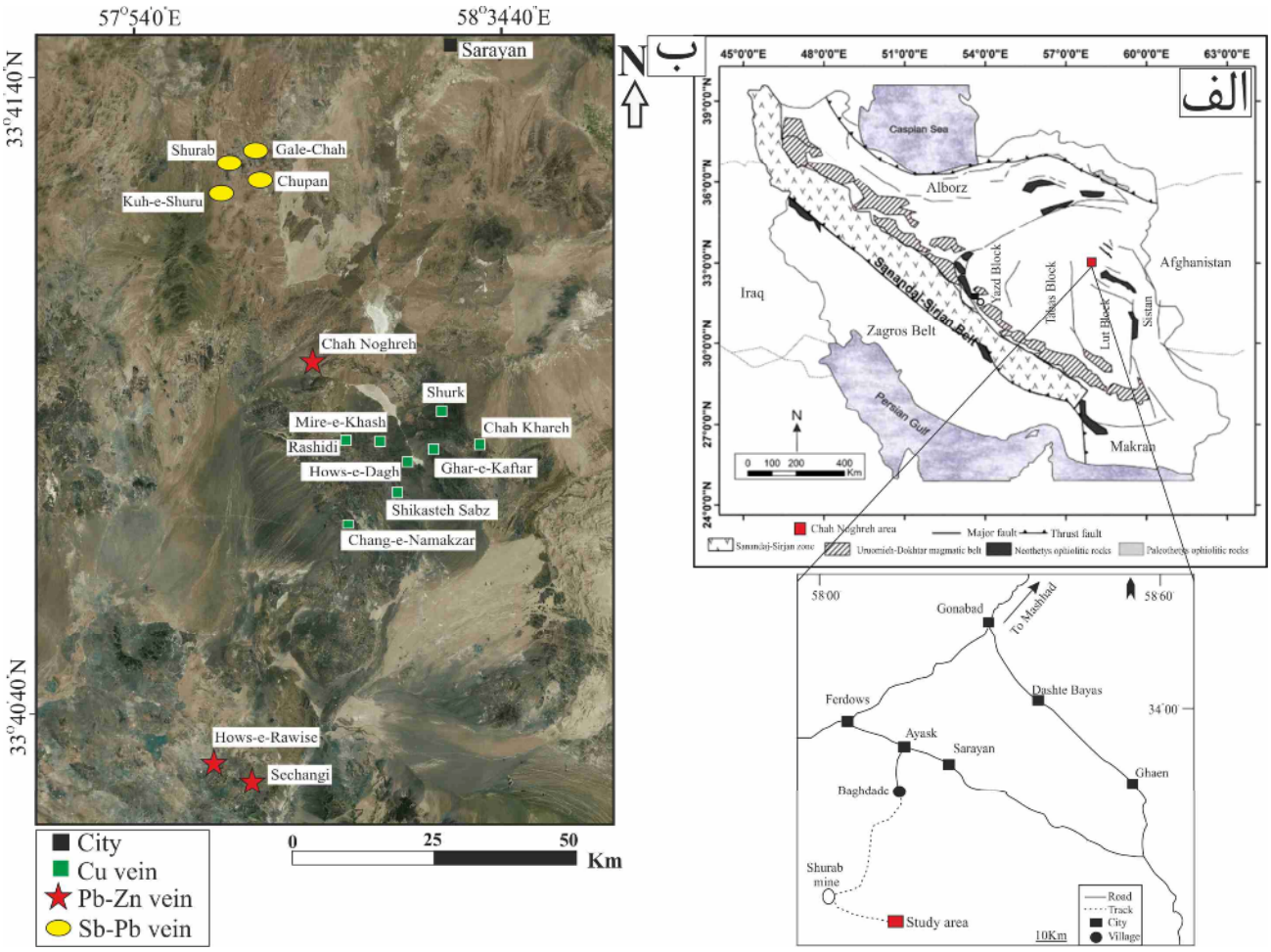
واژه‌های کلیدی: *کانی‌سازی؛ زمین شیمی؛ سیال‌های درگیر؛ کوه شورو؛ قطعه لوت.*

مقدمه

منطقه کوه شورو در ۸۷ کیلومتری جنوب فردوس و ۴۸ کیلومتری جنوب روستای بغداده در استان خراسان جنوبی و بین طول‌های جغرافیایی ″۳ ′۳ °۵۸ تا ″۵۰ ′۳ °۵۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۴۵ ′۳۲ °۳۳ تا ″۸ ′۳۳ °۳۳ شمالی واقع است (شکل ۱). بر اساس آخرین تقسیمات ساختاری-رسوبی ایران [۱]، منطقه مورد بررسی در شرق خرد قاره ایران مرکزی و در غرب قطعه لوت قرار دارد (شکل ۱). قطعه لوت به دلیل فراوانی فعالیت‌های ماگمایی دوران ترشیری میزبان کانسارهای مختلف وابسته به فعالیت ماگمایی است. گستره زمانی ۳۳ تا ۴۲ میلیون سال پیش (ائوسن میانی تا اوایل الیگوسن) مهمترین پنجره زمانی کانی‌سازی در شرق ایران و قطعه لوت، بویژه در استان خراسان جنوبی است [۲]. غرب قطعه لوت به دلیل حضور کانی‌سازی‌های رگه‌ای نوع مس (شکسته‌سبز، حوض‌دغ، مهرخش، رشیدی، شورک و غار کفتری) [۳- ۵]، سرب-روی (چاه‌نقره، سه‌چنگی، حوض‌رئیس) [۶، ۷]، سرب-روی-مس-آنتیموان (شوراب، چوپان، شند محمود، کوه شورو) [۸، ۹] و همچنین وجود حفاری‌های قدیمی و سرباره‌های فراوان در محل رگه‌ها اهمیت دارد.

پی جویی تفصیلی منطقه در سال ۲۰۰۶ توسط شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران با مشارکت شرکت توسعه علوم زمین انجام شد. البته با وجود فعالیت معدنکاری قدیمی و

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۱۱۹۲۱۳۲، پست الکترونیکی: shafaroudi@um.ac.ir



شکل ۱ الف) موقعیت منطقه مورد بررسی در نقشه ساختاری ایران و راه‌های دسترسی به آن و ب) موقعیت رگه‌های فلزات پایه (مس، سرب-روی و آنتیموان-سرب) در غرب قطعه لوت.

پی جویی در این منطقه، تا کنون پژوهشی پیرامون خاستگاه کانسار در منطقه انجام نشده است.

در این پژوهش، توده‌های نفوذی شناسایی شده و رابطه آنها با کانی‌سازی، کانی‌شناسی ماده معدنی، دگرسانی و زمین شیمی پی جویی آن تعیین گردیده و سیال‌های درگیر و سرانجام نوع کانی‌سازی بررسی شده و با کانی‌سازی‌های کنار آن در منطقه مقایسه می‌شود. رگه‌های متعدد موجود در جنوب فردوس (شوراب، چوپان، گله‌چاه، کوه شورو) در سامانه گسلی شکل گرفته‌اند. این احتمال وجود دارد که همه رگه‌ها در این منطقه مربوط به یک تک سامانه ماگمایی-گرمابی باشد و شناخت هر چه بیشتر این ذخایر از نظر چگونگی تشکیل و خاستگاه عناصر و محلول کانه‌دار و ساختارهای زمین‌شناسی، گام مثبتی در راستای پی جویی بهتر آنهاست.

روش بررسی

به منظور شناخت ماهیت کانی‌سازی در منطقه پی جویی کوه شورو، بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی، همه ویژگی‌های ساختی، بافتی و چگونگی ارتباط پدیده‌ها بررسی گردید. به‌منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی در این منطقه، ۲۵ مقطع نازک، ۵ مقطع نازک صیقلی و ۵ قطعه صیقلی از واحدهای سنگی و رگه‌های کانی‌سازی (از سطح و ترانشه‌ها) تهیه شد. سرانجام نقشه زمین‌شناسی-کانی‌سازی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ با نرم افزار ArcGIS رسم گردید. ۱۰ نمونه زمین شیمیایی به روش خرده سنگی از محل رگه‌ها (از سطح و ترانشه‌ها) برداشت شد که همه آن‌ها به روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) در آزمایشگاه زرآزما تجزیه شدند. به دلیل بیشتر بودن مقدار آنتیموان از حد بالایی تشخیص در این

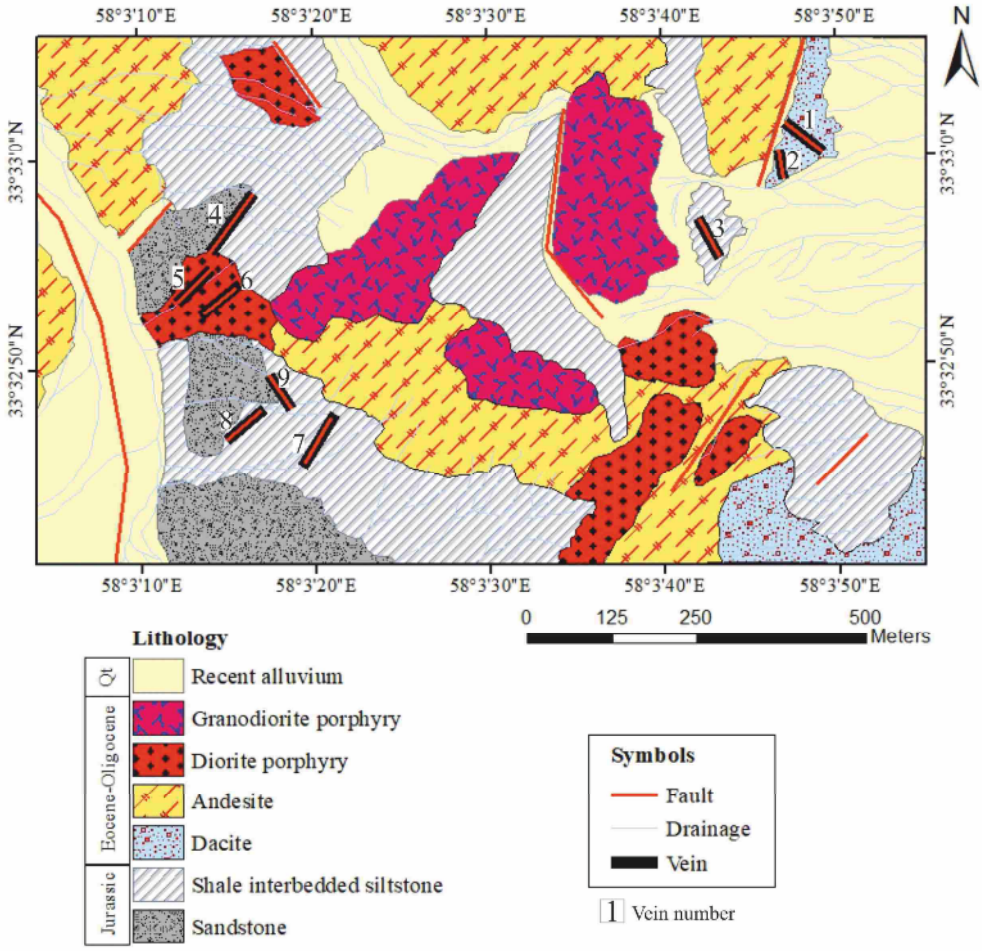
آزمایش‌ها (حد تشخیص برای بیشتر عناصر یک قسمت در میلیون است)، تجزیه این عنصر به روش طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) با حد تشخیص دو قسمت در میلیون در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

تعداد ۵ نمونه کانی کوارتز پس از بررسی‌های دقیق همبرزایی (مهمترین کانی باطله و همبرزایی با کانی‌سازی) برای تهیه مقطع دوبر صیقل انتخاب شدند. دما سنجی سیال-های درگیر با یک دستگاه سرد کننده و گرم کننده ساخت شرکت لینکام مدل THM600 در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن $\pm 1^{\circ}C$ و گستره دمایی آن ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتیگراد بود. مقدار شوری در سامانه H_2O-NaCl با استفاده از نرم افزار موجود در سیستم اکسل HOKIEFLINCS-H_2O-NACL [۱۰، ۱۱] محاسبه شد. بافت نگارها و نمودارهای مناسب در نرم‌افزارهای SPSS و اکسل رسم شدند.

منطقه کوه شورو در بخش جنوب‌غربی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آیسک [۱۲] قرار دارد. تناوبی از شیل، لای سنگ و ماسه‌سنگ‌های کرم رنگ ژوراسیک سازند شمشک قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه را تشکیل می‌دهند و بیشترین گسترش را در منطقه مورد بررسی دارند (شکل ۲). این سازند در بخش‌هایی میزبان کانی‌سازی رگه‌ای است.

براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای آذرین شناسایی شده در منطقه کوه شورو را می‌توان به دو بخش آتشفشانی (داسیت و آندزیت) و نمیه‌عمیق (گرانودیوریت پورفیری و دیوریت پورفیری) تقسیم کرد. این واحدهای نیمه‌عمیق سنگ میزبان کانی‌سازی رگه‌ای هستند. هیچ شاهدی برای کانی‌سازی پراکنده و رگچه‌ای در این واحدها شناسایی نشد. همچنین، دگرسانی عمده در آنها جز در کنار رگه‌ها، پروپلیتی است. بنابراین این توده‌ها نمی‌توانند خاستگاه کانی‌سازی باشند.

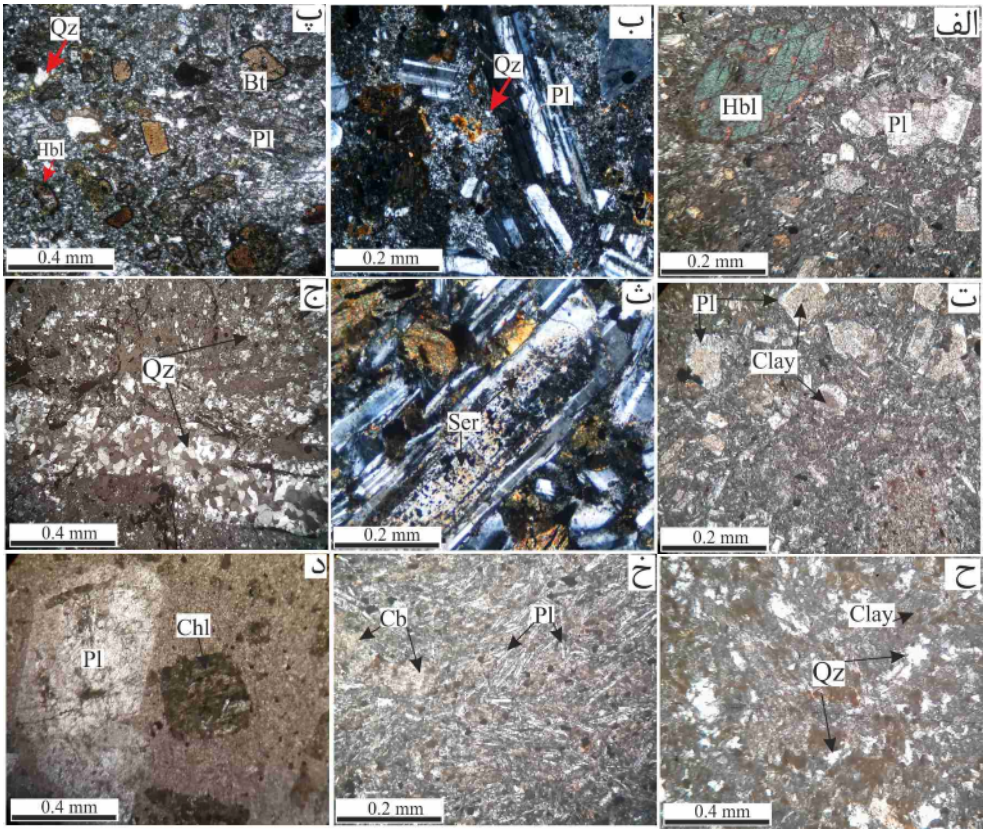
زمین‌شناسی



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی-کانی‌سازی منطقه کوه شورو.

واحد آندزیتی بیشترین گسترش را در شمال و مرکز منطقه مورد بررسی دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری با زمینه دانه ریز است. درشت بلورها (۲۰ تا ۲۵ درصد) شامل پلاژیوکلاز از نوع آندزین (۱۰ تا ۱۲ درصد)، هورنبلند (۴ تا ۵ درصد)، فلدسپارقلیایی (۳ تا ۵ درصد) و کلینو پیروکسن از نوع اوژیت (۲ تا ۳ درصد) هستند (شکل ۳ الف). زمینه بیشتر شامل پلاژیوکلاز و هورنبلند بوده و کانی فرعی نیز مگنتیت است. واحد داسیتی با گسترش کم در شمال‌شرق و جنوب شرق منطقه رخنمون دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری است و درشت بلورهای آن (۲۰ تا ۲۵ درصد) شامل کوارتز (۳ تا ۵ درصد)، پلاژیوکلاز از نوع الیگوکلاز (۱۰ تا ۱۲ درصد)، فلدسپار قلیایی (۴ تا ۵ درصد) و بیوتیت (۲ تا ۳ درصد) هستند. زمینه سنگ نیز شامل کانی‌های یاد شده به همراه هورنبلند است.

واحد دیوریت پورفیری بیشتر در جنوب و شمال غرب منطقه گسترش یافته و بیشتر در واحدهای شیلی و آندزیتی نفوذ نموده است (شکل ۲). بافت سنگ پورفیری است و درشت بلورهای تشکیل‌دهنده سنگ (۳۵ تا ۴۰ درصد) شامل پلاژیوکلاز از نوع الیگوکلاز-آندزین (۱۵ تا ۲۰ درصد)، فلدسپار قلیایی (اورتوکلاز، ۶ تا ۸ درصد)، هورنبلند (۵ تا ۷ درصد)، کلینوپیروکسن (اوژیت، ۲ تا ۳ درصد) و کوارتز (۱ تا ۲ درصد) هستند (شکل ۳ ب). زمینه سنگ نیز شامل کانی‌های یاد شده است. واحد گرانودیوریت پورفیری در مرکز منطقه رخنمون دارد و بیشتر در واحدهای آندزیتی نفوذ نموده است (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری تا گلومروپورفیری است و درشت بلورهای تشکیل‌دهنده سنگ (۴۰ تا ۴۵ درصد) شامل کوارتز (۳ تا ۵ درصد)، پلاژیوکلاز از نوع الیگوکلاز (۱۸ تا ۲۰ درصد)، فلدسپار قلیایی (اورتوکلاز، ۵ تا ۷ درصد)، بیوتیت (۸ تا ۱۰ درصد) و هورنبلند (۲تا ۳ درصد) هستند. زمینه سنگ نیز شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی و کوارتز است (شکل ۳ پ).



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از واحدهای آذرین و دگرسانی آنها، الف) آندزیت (در نور قطبیده متقاطع، XPL)، ب) دیوریت پورفیری (XPL)، پ) گرانودیوریت پورفیری (XPL)، ت) تبدیل پلاژیوکلاز به کانی رسی در واحد آندزیتی (XPL)، ث) تبدیل ارتوکلاز به سرسیت در واحد گرانودیوریت پورفیری (XPL)، ج) کوارتز به صورت رگچه‌ای (XPL) و ح) کوارتز ثانویه به شکل دندانه دار و حالت انباشتی در زمینه واحد داسیتی (XPL)، خ) کربناتی شدن در زمینه واحد آندزیتی (XPL)، د) تبدیل هورنبلند به کلریت در واحد آندزیتی (در نور قطبیده صفحه‌ای، PPL). Pl= پلاژیوکلاز،

Chl= کلریت، Qz= کوارتز، Cb= کربنات، Cpx= کلینو پیروکسن، Bt= بیوتیت، Or= ارتوکلاز، Ser= سرسیت [۱۳].

دگرسانی

ورود سیال‌های کانه‌دار به درون پهنه گسلی و محل شکستگی-ها در سنگ میزبان باعث ایجاد دگرسانی‌ها شده که در لبه رگه‌ها و گاهی تا فاصله چند متر با شدت‌های متفاوت قابل مشاهده‌اند. چهار نوع دگرسانی اصلی آرژیلی-سرسیتی، سیلیسی، کربناتی و پروپلیتی در منطقه کوه شورو شناسایی شدند. دگرسانی‌های آرژیلیک-سرسیتی، سیلیسی و کربناتی دارای یک روند تقریبا خطی با تمرکز نسبی در گستره رگه‌ها هستند. دگرسانی پروپلیتی گسترش بسیاری در منطقه مورد بررسی دارد و بدون روند خطی است. گفتنی است که دگرسانی آرژیلی-سرسیتی در مواردی که سنگ میزبان رگه‌ها واحدهای آذرین بودند، شناسایی شد.

در دگرسانی آرژیلی، فلدسپارها (پلاژیوکلاز و ارتوکلاز) به شدت دگرسان شده و اغلب (۳۵ تا ۴۰ درصد) به کانی‌های رسی (شکل ۳ ت) و کمتر (۵ تا ۷ درصد) به سریسیت (شکل ۳ ث) تبدیل شده‌اند. این دگرسانی با گسترش کم بر لبه رگه بیشتر واحدهای داسیتی و دیوریت پورفیری اثر گذاشته است. سیلیسی شدن بیشتر در قالب رگه- رگچه‌های کوارتز (شکل ۳ ج) و کوارتزهای دندانه دار با حالت انباشتی (۵ تا ۱۰ درصد) در متن سنگ میزبان (شکل ۳ ح) دیده می‌شوند. اندازه کوارتزها از چند صدم تا ۰/۴ میلیمتر تغییر می‌کند. دگرسانی کربناتی بیشتر به صورت کلسیتی شدن دیده می‌شود. کلسیتی شدن در ارتباط با فرایندهای پس از کانی‌سازی است که به صورت رگچه‌هایی از کلسیت درشت بلور و یا جانشینی در سنگ میزبان (شکل ۳ خ) دیده می‌شوند. کانی‌های کلسیت بی‌شکل تا خودشکل هستند و اندازه بلورهای آن از چند ده میکرون تا ۰/۶ میلیمتر متغیر است. دگرسانی پروپلیتی ضعیف با فاصله از رگه، اغلب بر واحدهای آندزیت و گرانودیوریت پورفیری اثر گذاشته است. این دگرسانی باعث تبدیل هورنبلند به کلریت (۸ تا ۱۰ درصد، شکل ۳ د) و مگنتیت (۳ تا ۵ درصد) و پلاژیوکلاز به اپیدوت (۵ تا ۷ درصد) شده است.

کانی‌سازی

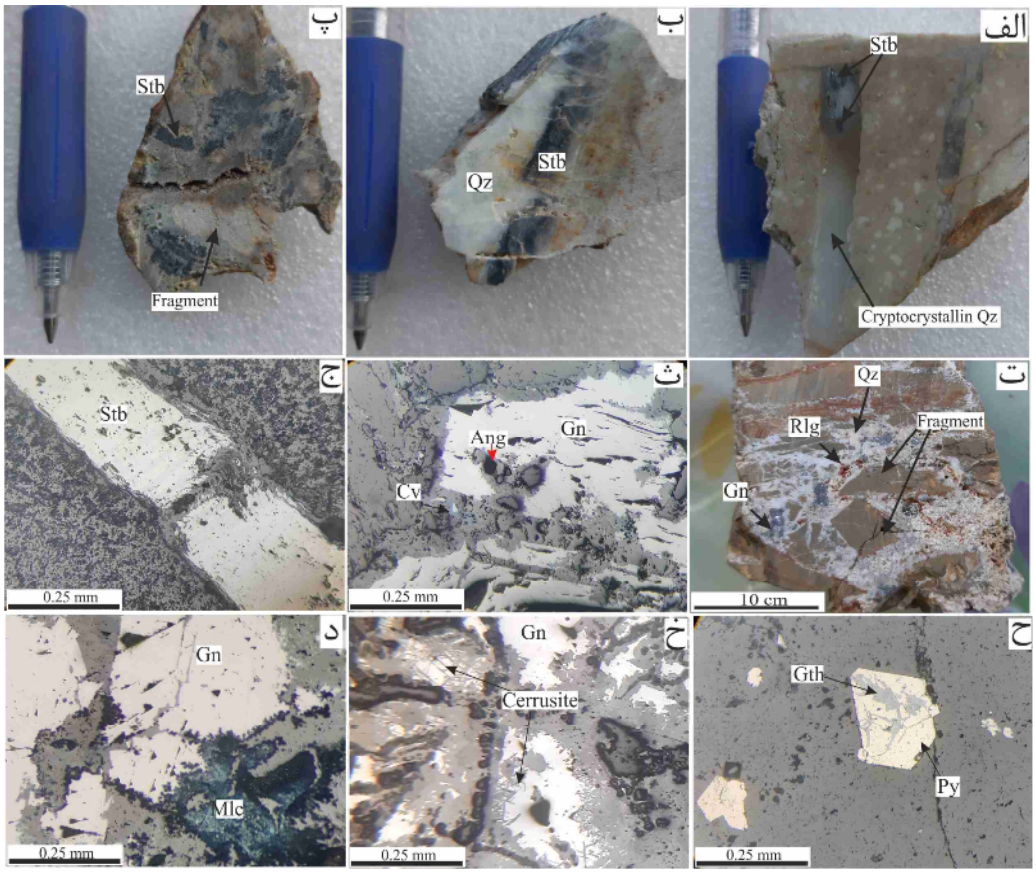
کانی‌سازی در منطقه کوه شورو بیشتر در راستای گسل‌هایی با روند شمال‌شرق-جنوب‌غرب و به مقدار کمتر در راستای گسل-هایی با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق شکل گرفته است. در مجموع، ۹ رگه در منطقه مورد بررسی شناسایی شد (شکل ۲). این رگه‌ها با شیب بسیار (۷۵ تا ۹۰ درجه به سمت شرق) در واحدهای شیل-لای سنگ و به میزان کمتر در سنگ‌های داسیت و دیوریت پورفیری شکل گرفته‌اند. عرض رگه‌ها از ۸ تا ۵۰ متر متغیر است و طول آنها به ۱۰۰ متر نیز می‌رسد. با ورود سیال‌های کانه‌دار به فضای خالی گسل‌ها و شکستگی‌ها، کانه‌سازی با بافت‌های پرکننده فضای خالی (شکل ۴ الف)، برشی (شکل‌های ۴ ب تا ت) و جانشینی در واحدهای شیل-لای سنگ، داسیت و دیوریت پورفیری شکل گرفته است. بافت عمده در کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه کوه شورو از نوع پر کننده فضای خالی یا قشری[1] است. بافت قشری درون فضای خالی و شکستگی‌های بدون برش دیده می‌شود. این بافت در توالی همبرزایی اهمیت بسیاری دارد و اغلب نسل اول ته‌نشست با ماده معدنی فلزی بوده که در ادامه با ته نشست باطله (کوارتز) همراه شده است (شکل ۴ الف). این بافت اغلب در کانسارهای دما پایین دیده می‌شود [۱۴].

بافت‌های برشی در اثر فعالیت‌های زمین ساختی ایجاد شده‌اند بطوریکه سنگ میزبان دچار شکستگی شده و پهنه‌های خرد شده با قطعه‌های چند سانتی‌متری ایجاد کرده است که توسط ماده معدنی و سیلیس سیمان شده‌اند. میزان جدایش، چرخش، فاصله بین قطعه‌ها و ساییدگی قطعه‌های برش در پهنه‌های کانه‌دار نسبتا ضعیف بوده و بر اساس تقسیم بندی لازانیکا [۱۵] اغلب از نوع برش‌های خرد شده (شکل‌های ۴ ب تا ت) هستند. عدم چرخش و ساییدگی شدید در قطعه‌های برش به احتمال بسیار به سبب پایین بودن قدرت جریان سیال کانه‌دار برای جابجایی و حرکت آنها بوده است.

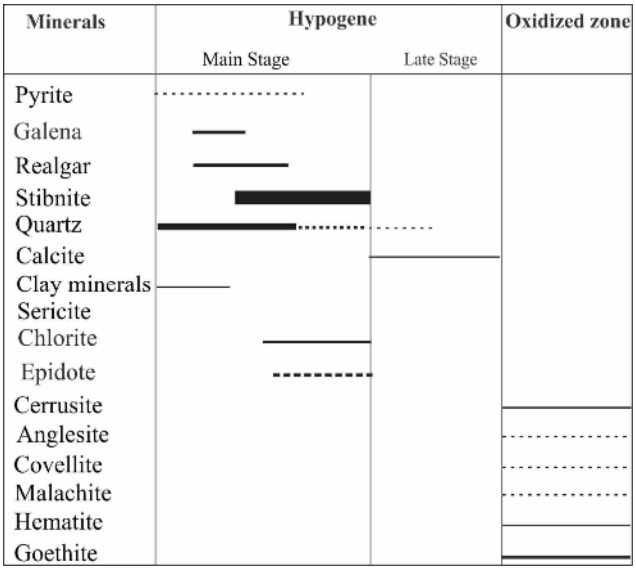
سرانجام بر اساس بررسی‌های صحرایی، کانی‌شناسی (همبرزایی کانیایی) و بافتی، کانی‌سازی در سامانه رگه‌ای در منطقه کوه شورو را می‌توان به سه مرحله تقسیم کرد. این مراحل عبارتند از ۱. کوارتز-گالن-پیریت-زرنیخ قرمز همراه با دگرسانی آرژیلی-سیلیسی (شکل‌های ۴ ت و ث)، ۲. کوارتز-استیبنیت-پیریت و به مقدار کم زرنیخ قرمز همراه با دگرسانی

1 - crustiform

سیلیسی (شکل‌های ۴ الف و ب) و ۳. رگچه‌های تاخیری کلسیت همراه با دگرسانی کربناتی (شکل ۵).



شکل ۴ نمونه دستی از کانی‌سازی در منطقه کوه شورو و تصاویر میکروسکوپی در نور بازتابی از الف) رگچه‌های کوارتز نهان بلوری-استیبنیت در واحد داسیتی، ب) رگه کوارتز-استیبنیت در واحد داسیتی، پ) استیبنیت-کوارتز نهان بلوری در برش گسلی با قطعه‌هایی از سنگ میزبان داسیتی. ت) گالن-زرنیخ قرمز-کوارتز در برش گسلی با قطعه‌هایی از واحد شیلی، ث) گالن از لبه در حال تبدیل به آنگلزیت (PPL)، ج) ستون‌های کشیده استیبنیت (PPL)، ح) پیریت بیشتر به صورت شکل‌دار تا نمیه شکل‌دار در حال تبدیل به گوتیت (PPL)، خ) تبدیل گالن به سروزیت (PPL)، د) مالاکیت (PPL). (Py= پیریت، St= استیبنیت، Ang= آنگلزیت، Gn= گالن، Cv=کوولیت، Gth=گوتیت، Rlg=زرنیخ قرمز، Qz= کوارتز و Mlc= مالاکیت [۱۳]).



شکل ۵ توالی همبرزایی رگه‌ها در منطقه کوه شورو.

کانه‌نگاری در رگه‌های کانه‌دار

استیبنیت: استیبنیت فراوان‌ترین کانی سولفیدی اولیه (بیش از ۹۰ درصد) بوده که در مرحله دوم کانی‌سازی در رگه‌ها شکل گرفته است. این کانی شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار است و اندازه بلورهای منشوری آن گاهی به ۴ سانتی‌متر می‌رسد. گاهی بلورهای منشوری استیبنیت ماکل چندریخت نشان می‌دهند و دارای خمیدگی هستند (شکل ۴ ج).

گالن: این کانه بیشتر به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار همراه با زرنیخ قرمز شکل گرفته است. اندازه این کانی چند ده میکرون تا ۷ میلی‌متر بوده و فراوانی آن در رگه حدود ۵ تا ۷ درصد است. گالن در بعضی قسمت‌ها از لبه یا محل رخ‌ها به سروزیت و انگلزیت تبدیل شده است (شکل‌های ۴ ث و خ). هیچ میانباری در گالن‌های منطقه مورد بررسی شناسایی نشد.

زرنیخ قرمز (رئال‌گار): این کانی به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و با فراوانی ۱۵ تا ۲۰ درصد در مرحله اول و ۵ تا ۷ درصد در مرحله دوم کانی‌سازی شکل گرفته است. این کانی بیشتر با بافت پراکنده و پرکننده فضای خالی در محل حفره‌ها انباشته شده است (شکل ۴ ت).

پیریت: این کانی به صورت پراکنده در مراحل اول و دوم کانی‌سازی همراه با ماده معدنی در منطقه کوه شورو شناسایی شد. پیریت بیشتر به صورت شکل‌دار تا نیه شکل‌دار است و اندازه از ۳۰ میکرون تا ۲ میلی‌متر و فراوانی کم (۳ درصد) دارد. پیریت‌ها بیشتر از محل درز و شکستگی‌ها با بافت جانشینی به گوتیت تبدیل شده‌اند (۱۵-۱۰ درصد، شکل ۴ ح).

کوارتز: مهمترین و اصلی‌ترین کانی باطله در رگه‌ها کوارتز است. کوارتزهای مربوط به مرحله اول کانی‌سازی به صورت شیری رنگ و خودشکل در اندازه چند ده میکرون تا ۱ سانتی‌متر تشکیل شده‌اند. کوارتزهای مربوط به مرحله دوم کانی‌سازی بیشتر به صورت شفاف تا شیری رنگ و خود شکل در لبه و دو طرف رگه در اندازه چند ده میکرون تا ۶ سانتی‌متر تشکیل شده‌اند. گاهی، کوارتز به صورت نهان بلور در رگچه‌ها همراه با کانی‌سازی دیده می‌شود (شکل ۴ الف). حضور کوارتز نهان بلوری نشان دهنده شکل‌گیری آن در نزدیک سطح است.

کانی‌های ثانویه تشکیل شده در پهنه اکسایشی شامل سروزیت، کوولیت، مالاکیت و کانی‌های اکسیدی-هیدروکسیدی آهن (گوتیت و هماتیت) هستند. به دلیل کم بودن مقدار پیریت و دیگر کانی‌های آهن‌دار در منطقه مورد بررسی، مقدار هماتیت و گوتیت محدود (۶-۴ درصد) است. کانی پیریت بیشتر از محل درز و شکستگی‌ها به گوتیت تبدیل شده است.

سروزیت: مهمترین کانی برون‌زاد سرب در منطقه کوه شورو سروزیت است که با بافت‌های جانشینی چون جانشینی کناره‌ای، جانشینی شبکه‌ای و جانشینی در راستای رخ‌ها دیده می‌شود. در پهنه اکسایشی، کانی گالن تا ۷۰ درصد به سروزیت و ۱۰ درصد به انگلزیت تبدیل شده است (شکل‌های ۴ ث و خ).

انگلزیت: حضور انگلزیت نسبت به سروزیت در منطقه مورد بررسی بسیار کمتر است و بیشتر با بافت جانشینی دیده می‌شود (شکل‌های ۴ ث و خ).

کوولیت: در بررسی‌های صحرایی و مقاطع میکروسکوپی کانه مس‌دار شناسایی نشد، اما حضور کوولیت (۵-۳ درصد) نشان دهنده وجود یک کانه مس‌دار در منطقه بوده که در اثر فرایندهای برونزاد، توسط کانی کوولیت جانشین شده است. کوولیت در نمونه‌هایی با تجربه فرایندهای اکسایشی حضور دارد که به شکل لامیلار در لبه و سطوح درز و شکستگی‌های کانی گالن دیده می‌شود (شکل ۴ ث).

مالاکیت: مالاکیت از کانی‌های ثانویه کربناتی مس است که بسته به مقدار کانی‌های سولفیدی مس موجود در رگه، به صورت لکه‌های پراکنده (شکل ۴ د) تا جانشینی کامل سولفیدها در حجم کم (۷-۵ درصد) در نواحی اکسایشی و برونزاد دیده می‌شود که گاه در میان آن، کوولیت به صورت باقیمانده وجود دارد. مالاکیت همچنین درون درز، شکاف و حفره‌ها تشکیل شده است.

زمین شیمی

نتایج تجزیه زمین شیمی برخی عناصر مهم از ۱۰ نمونه خرده سنگی برداشت شده از محل رگه‌ها در جدول ۱ آمده است. مقادیر کمترین، بیشترین و میانگین اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خرده سنگی برداشت شده از محل رگه‌ها برای آنتیموان ۵۵ گرم در تن تا ۱۴ درصد (با میانگین ۳٫۳ درصد)، سرب ۷ تا ۲۹۳ گرم در تن (با میانگین ۶۱٫۱ گرم در تن)، روی ۳ تا ۲۵۴ گرم در تن (با میانگین ۸۷٫۱ گرم در تن)، مس ۳ تا ۴۹ گرم در تن (با میانگین ۲۳٫۹ گرم در تن)، آرسنیک ۷ تا ۹۸ گرم در تن (با میانگین ۵۰٫۶ گرم در تن) و نقره ۰٫۳ تا ۶٫۳ گرم در تن (با میانگین ۱٫۱ گرم در تن) است. بیشترین مقدار آنتیموان در

رگه شماره ۲ و مربوط به کانی‌سازی استیبنیت است. بیشترین مقدار سرب در رگه شماره ۹ و مربوط به کانی‌سازی گالن، رئال‌گار و استیبنیت است (شکل ۲). با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون [۱۶]، ارتباط و همبستگی میان عناصر مختلف در رگه‌ها بررسی شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. هرچند مقدار بالای آرسنیک در برخی نمونه‌های مورد بررسی شده بیشتر مربوط به وجود رئال‌گار است، اما این عنصر با مس همبستگی مثبت متوسط (۰٫۶۲۲) نشان می‌دهد. نقره با مس همبستگی مثبت ضعیف (۰٫۱۲۰) و با سرب همبستگی منفی ضعیف (۰٫۱۳۵-) دارد (جدول ۲). بنابراین، عنصر نقره نمی‌تواند در ساختار کانی گالن وجود داشته باشد.

سیال‌های درگیر

چنان که اشاره شد، بر اساس بررسی‌های صحرایی، کانی‌شناسی (همبرزایی کانیایی) و بافتی، دو مرحله اصلی در شکل‌گیری کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه کوه شورو شناسایی شد. بررسی سیال‌های درگیر برای کانی کوارتز وابسته به کانی‌سازی در دو مرحله اول و دوم انجام شد. سیال‌های درگیر بر اساس پیشنهاد رودر و گلدشتاین [۱۷، ۱۸] شناسایی شدند. در نمونه‌های مورد بررسی، سه نوع سیال درگیر قابل تفکیک هستند. بیشتر سیال‌های درگیر شناسایی شده دو فازی غنی از مایع (نوع L+V با ۷۰ تا ۹۰ درصد فاز مایع و ۱۰ تا ۳۰ درصد بخار) هستند و همه بصورت اولیه تشکیل شده‌اند. همچنین، تعداد کمی از سیال‌های درگیر از نوع سیال‌های غنی از بخار (V) و تک فازی مایع (L) هستند (شکل ۶) و فاز دختر در آنها دیده نشد. اندازه‌گیری گرمایش و سرمایش برای سیال‌های درگیر اولیه دو فازی غنی از مایع انجام شد. در این بررسی، ۲ مقطع دو بر صیقلی و تعداد ۲۳ سیال درگیر (انواع LV) از مرحله اول و ۳ مقطع دو بر صیقلی و ۳۹ سیال درگیر (انواع LV) از مرحله دوم کانی‌سازی رگه‌ای اندازه‌گیری شدند که نتایج در جدول ۳ آورده شده است.

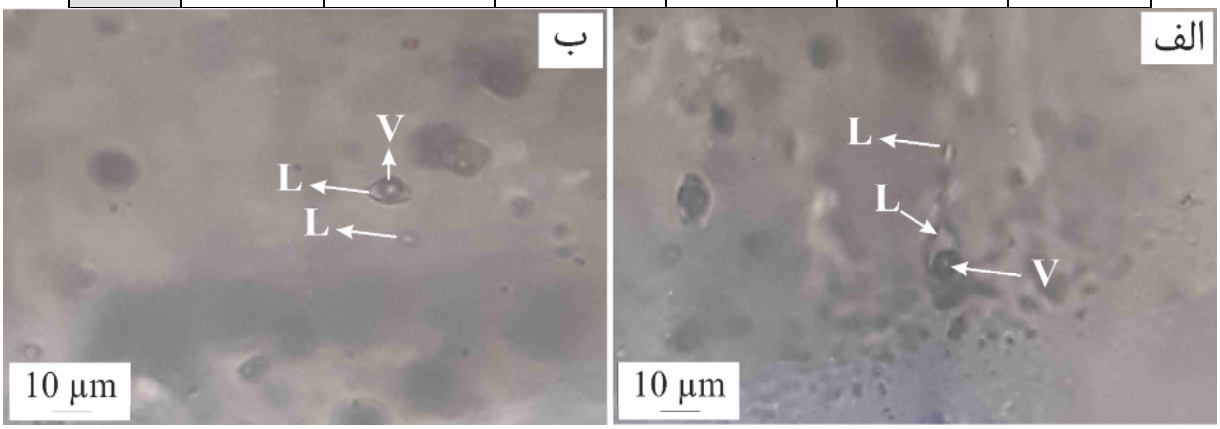
جدول ۱ نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده از رگه‌ها در منطقه کوه شورو.

Sample N	Vein Number	Ag (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Zn (ppm)
GSH-3	۱	۰٫۵۳	۱۲	۸۶	۲۷	۲۴۵	۲۴	۴۳۰۰۰	۳۳
GSH-4	۲	۶٫۳	۷	۱۳	۲۵	۳۳	۲۹	۱۴۰۰۰۰	۳
GSH-5	۳	۰٫۷۱	۹	۵۹	۵	۹۸	۷	۷۵۰۰۰	۱۶۸
GSH-6	۴	۰٫۴۳	۱۳	۴۹۱	۳	۱۸۸	۱۵	۲۶۰۰۰	۴۰
GSH-7	۴	۰٫۵۳	۵۹	۱۱۴	۱۶	۳۰۱	۴۸	۱۲۰۰۰	۱۴۶
GSH-8	۵	۰٫۳۶	۹۸	۱۵۴	۲۶	۱۳۴۹	۷۰	۳۷۱	۹۶
GSH-9	۶	۰٫۳۷	۴۸	۱۳۷	۱۶	۴۶۲	۲۵	۹۰۰۰	۵۵
GSH-10	۷	۰٫۶۶	۸۹	۱۲۲	۳۵	۵۵	۷۵	۳۵۱	۵۶
GSH-11	۸	۱٫۳	۷۲	۸۲	۴۹	۱۰۶۳	۲۵	۲۶۰۰۰	۲۰
GSH-13	۹	۰٫۶۴	۹۷	۱۶۹	۳۷	۴۴۰	۲۹۳	۵۵	۱۵۴

جدول ۲ مقادیر ضریب همبستگی مربوط به هر جفت عنصر در رگه‌های منطقه کوه شورو (+++ همبستگی مثبت بالا، ++ همبستگی مثبت متوسط، + همبستگی مثبت ضعیف، - همبستگی منفی ضعیف، -- همبستگی منفی متوسط، --- همبستگی منفی بالا).

	Ag	As	Cu	Pb	Sb	Zn
Ag	۱	--	+	-	+++	--
As	۰٫۳۷۸-	۱	++	++	---	++
Cu	۰٫۱۲۰	۰٫۶۲۲	۱	++	-	-
Pb	۰٫۱۳۵-	۰٫۶۱۷	۰٫۴۱۴	۱	--	+++
Sb	۰٫۸۵۷	۰٫۷۳۶-	۰٫۲۰۶-	۰٫۳۷۸-	۱	--

Zn	-۰٫۳۸۵	۰٫۳۷۹	-۰٫۰۸۲	۰٫۷۲۳	-۰٫۳۳۵	۱



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از الف) سیال‌های درگیر دوفازی (LV) غنی از مایع و تک فازی مایع در کوارتز، ب) سیال‌های درگیر دوفازی (LV) غنی از بخار و تک فازی مایع در کوارتز.

جدول ۳ نتایج مطالعات سیال های درگیر اولیه (P) در کانی کوارتز همراه با کانه‌زایی رگه‌ای در منطقه کوه شورو.

شماره	مرحله	ابعاد	نوع	تعداد	Th (° C)	T_{fm} (° C)	T_m (° C)	شوری
C-3	۲	۹-۱۲	LV	۱۴	۱۶۲-۱۹۲	-۴۹٫۲ تا -۵۰٫۱	-۱۲٫۸ تا -۱۴٫۳	۱۷٫۶-۱۸
C-18B	۲	۶-۱۰	LV	۱۴	۱۶۰-۱۷۸	-۴۹ تا -۴۹٫۳	-۹٫۸ تا -۱۰٫۹	۱۳٫۷-۱۴٫۸
C-7	۲	۸-۱۰	LV	۱۴	۱۶۸-۱۹۲	-۴۴٫۹ تا -۴۵٫۸	-۱۷ تا -۱۷٫۴	۲۰٫۲-۲۰٫۴
C-19	۱	۸-۱۰	LV	۱۶	۲۱۰-۲۲۴	-۴۹٫۲ تا -۵۰٫۴	-۱۸ تا -۱۹٫۲۵	۲۰٫۹-۲۱٫۸
C-199	۱	۸-۱۲	LV	۱۴	۲۰۷-۲۸۰	-۴۶ تا -۴۶٫۸	-۱۹ تا -۲۰٫۷	۲۱٫۶-۲۲٫۸

سیال‌های درگیر در نمونه‌های کوارتز مرحله اول بیشتر بی‌شکل تا میله‌ای هستند و اندازه آنها ۸ تا ۱۲ میکرون است. مقدار دمای نهایی ذوب یخ (Tm-ice) در سیال‌های این رگه متغیر و بین ۲۰٫۷- تا ۱۸°C- است (جدول ۳) که به این اساس، شوری سیال‌های درگیر این رگه از ۲۰٫۹ تا ۲۲٫۸ درصد وزنی (میانگین ۲۱٫۸ درصد وزنی) متغیر است. گستره دمای همگن شدگی در این رگه ۱۹۸ تا ۲۲۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین دما ۲۱۲٫۹ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۷). سیال‌های درگیر در نمونه‌های کوارتز در مرحله دوم، بی‌شکل تا بیضوی هستند و اندازه آنها ۲ تا۱۰ میکرون است. مقدار دمای نهایی ذوب یخ در سیال‌های این رگه بین ۱۷٫۴- تا ۹٫۸ °C- متغیر است (جدول ۳) که بر این اساس، شوری سیال‌های درگیر این رگه از ۱۳٫۷ تا ۲۱٫۳ درصد وزنی (میانگین ۱۷٫۲ درصد وزنی) تغییر می‌کند. گستره دمای همگن شدگی در این رگه ۱۶۰ تا ۱۹۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین دما ۱۷۷٫۲ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۷).

نخستین دمای ذوب شدگی (T_{fm}) در سیال‌های درگیر نیز بین ۵۰٫۴- تا ۴۴٫۹- درجه سانتی‌گراد (میانگین ۴۸٫۱- درجه سانتی‌گراد) متغیر بود. این دما رابطه مستقیمی با ترکیب نمک موجود در سیال دارد [۱۹-۲۲]. بر اساس T_{fm} به دست آمده، نمک‌های $CaCl_2$ و NaCl در سیال های درگیر اولیه وجود دارند.

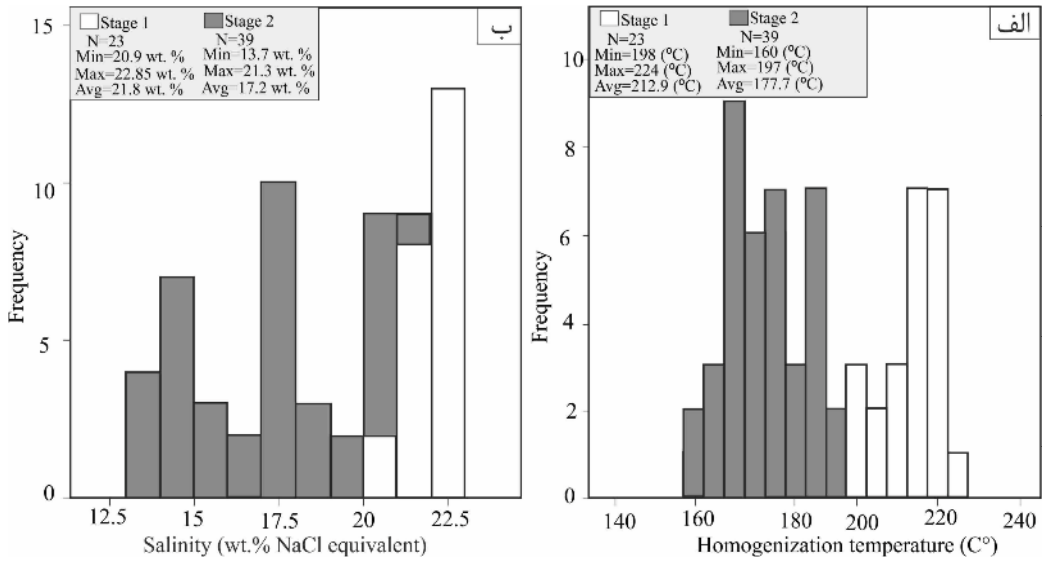
بحث و بررسی

دگرگونی سیال کانه‌ساز

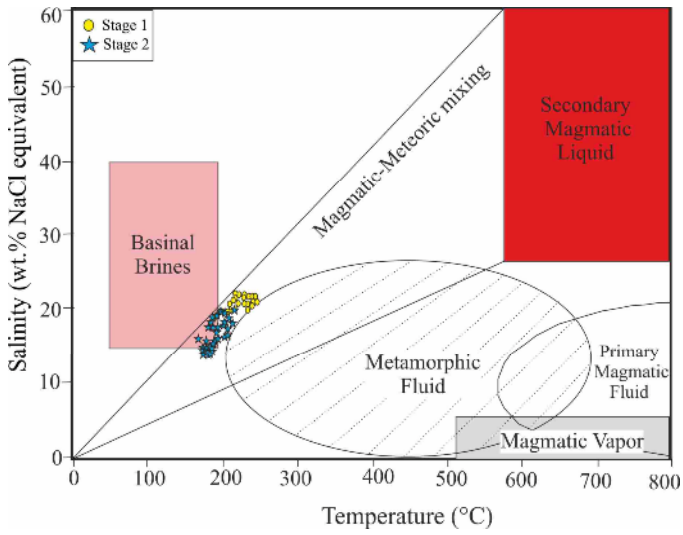
توالی کانیایی در کانی‌سازی‌های رگه‌ای در منطقه کوه شورو نشان دهنده تغییر از کانی‌های رسی-سرسیت (دگرسانی آرژیلی-سرسیت) به کانی‌سازی اصلی همراه با کوارتز (دگرسانی سیلیسی) و سرانجام رگچه‌های تاخیری کربناتی (دگرسانی کربناتی) است. تغییرات در مجموعه همبرزایی نشانگر تکامل محلول گرمابی است. تغییر شرایط پایداری کانی رسی به کلسیت نشان دهنده تکامل محلول از شرایط pH اسیدی به قلیایی است [۲۳]. نمودار شوری نسبت به دمای همگن شدگی

و محیط آب‌های مختلف برای سیال های درگیر نشان می‌دهد که سیال‌های درگیر از نوع کوارتز در منطقه کوه شورو در گستره آمیختگی آب ماگمایی و آب‌های جوی قرار دارند (شکل ۸)[۲۴].

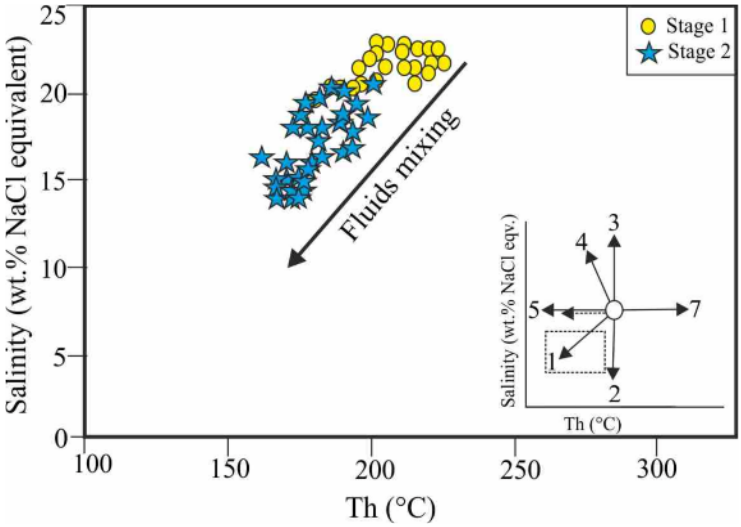
همچنین نمودار دمای همگن شدگی-شوری (شکل ۹) نشان دهنده کاهش دما و شوری محلول است، بطوریکه دمای همگن شدگی و شوری در زمان ته نشست کوارتز مرحله اول بالا بوده و در مراحل آخر ته نشست کوارتز (مرحله دوم) کاهش می‌یابند. کاهش دما و شوری در سیال های درگیر با روند مخلوط شدگی دو سیال دما بالا-شوری بالا با سیال دما پایین-شوری پایین همخوانی دارد. همچنین همزیستی سیال های غنی از بخار و غنی از مایع در برخی نمونه‌های کوارتز می‌تواند نشان دهنده فرایند جوشش باشد. اغلب در تشکیل ذخایر فراگرمایی، عناصر فلزی از ماگمای مادر توسط محلول ماگمایی با دما و شوری بالا حمل شده و به دلیل دمای بالای محلول ماگمایی، به طرف بالا حرکت می‌کند. آب‌های جوی با دما و شوری پایین از فضای درز و شکستگی‌ها و گسل‌ها به عمق راه یافته و با محلول ماگمایی مخلوط می‌شوند و فرایند همرفتی-مخلوط شدگی سیال بین توده نفوذی در عمق (به عنوان موتور گرمایی) و عمق‌های کمتر ایجاد می‌شود. سرانجام بر اثر عواملی چون کاهش دما، افزایش pH و خروج گازها در اثر جوشش، کانی‌سازی در فضای مناسب مانند پهنه‌های گسلی برجای گذاشته می‌شود [۲۵].



شکل ۷ نمودارهای الف) دمای همگن شدگی، ب) شوری سیال‌های درگیر اولیه در منطقه کوه شورو.



شکل ۸ نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری سیال‌های درگیر منطقه کوه شورو (محیط‌های تعریف شده بر گرفته از مرجع [۲۴] هستند).



شکل ۹ نمودار دمای همگن شدگی نسبت به شوری میان‌بارهای سیال در کانی‌سازی‌های رگه‌ای منطقه کوه شورو. روندهای ممکن تکامل سیال در نمودار دما-شوری [۲۰]. روند ۱=مخلوط شدگی سیال A با سیال سردتر و شوری کمتر B، روندهای ۲ و ۳=مخلوط شدگی سیال A با سیال های دیگر با شوری مختلف ولی دمای یکسان، روند ۴= افزایش شوری فاز باقیمانده در اثر جوشش، روند ۵=سرد شدگی سیال و روند ۶= باریک شدگی میان‌بارهای سیال ، روند ۷= تراوش میان‌بارهای سیال طی گرمایش.

بررسی‌های سورد [۲۶، ۲۷] نشان داده است که کمپلکس-های بی‌سولفیدی در کانسارهایی که دماهای پایین‌تر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند و یا در کانسارهایی که کانی-شناسی آنها بیانگر شرایط احیاء کننده است، غالب هستند. این در حالی است که در ذخایری که در دماهای بالاتر از حدود ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد شکل می‌گیرند و حضور کانی‌های اکسیدی یا سولفیدی در آنها بیانگر شرایط به نسبت اکسید کننده است، کمپلکس‌های کلریدی غلبه دارند. دمای تشکیل کم کانسار کوه شورو نشان دهنده حمل عناصر در قالب کمپلکس‌های بی‌سولفیدی است و کاهش دما و غلظت H_2S در اثر مخلوط شدگی بین محلول ماگمایی گرم و شور و محلول جوی سرد و با شوری کم می‌تواند باعث کاهش دما و ناپایداری کمپلکس‌ها و ته‌نشینی فلزات شود [۲۸، ۲۹].

در کانسارهای فراگرمایی، مقدار طلا به شوری سیال کانه-ساز بستگی دارد. انواع غنی از طلا با سیال با شوری کم (۱-۲ درصد وزنی نمک طعام) و نوع فلزات پایه و نقره با سیال با شوری بالاتر همراه هستند [۳۰]. سیال شور و غنی از فلزات پایه توان تشکیل دانه‌های آزاد طلا را نداشته و تنها باعث کانی-سازی فلزات پایه و نقره در این منطقه شده است. بنابراین می-توان گفت که به دلیل شوری بالای سیال کانه‌ساز در منطقه، کانی‌سازی طلا به صورت اقتصادی تشکیل نشده است.

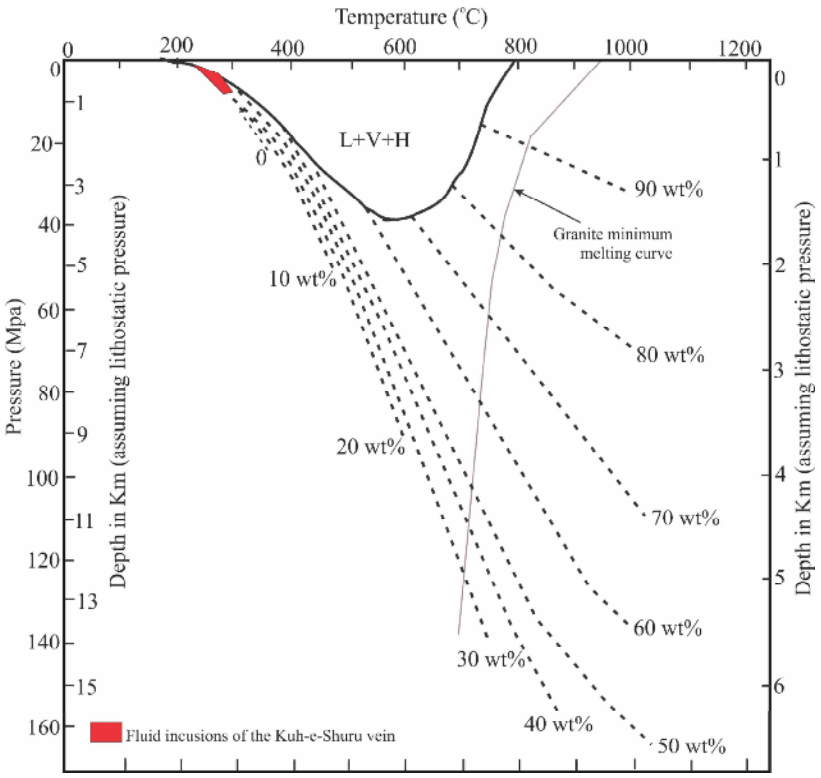
مدل کانی‌سازی

رگه‌های کوارتز-سولفید از یک سیال با دمای ۱۶۰ تا ۲۲۴ درجه سانتی‌گراد و شوری کم (۱۳٫۷ تا ۲۲٫۸ درصد وزنی NaCl) تشکیل شده‌اند. گستره‌های دما و شوری در این رگه‌ها مشابه سامانه‌های فراگرمایی است. از ویژگی‌های این سامانه‌ها نزدیکی بسیار دمای همگن‌شدگی آن‌ها به دمای به دام افتادن-شان است. از آنجا که فشار آنها طی به دام افتادن بسیار پایین است و نیازی به تصحیح ندارد [۲۵]، می‌توان عمق تشکیل آن را برآورد کرد که بر اساس نمودار مرجع [۳۰]، (شکل ۱۰) حدود ۷۰۰ متر است.

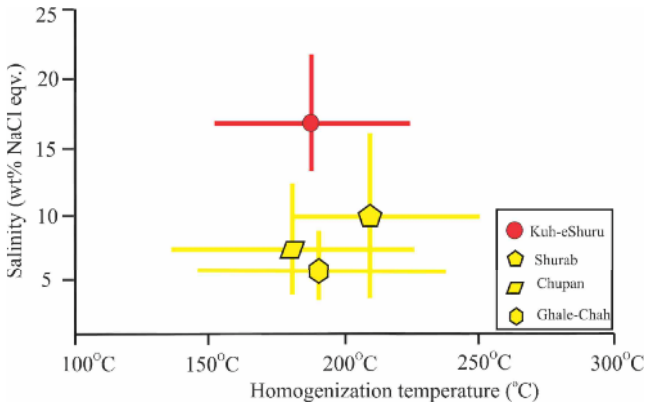
توده وابسته به کانی‌سازی شناسایی نشد، اما این احتمال وجود دارد که در عمق یا در فاصله‌ای دورتر از منطقه مورد بررسی باشد. رخداد کانی‌سازی‌های رگه‌ای مانند معدن گله چاه (سرب-روی)، شوراب (سرب-روی-مس-آنتیموان) و مناطق پی جویی چوپان (سرب-روی-آنتیموان) و شند محمود (آنتیموان-سرب) در همسایگی منطقه کوه شورو بیانگر پتانسیل بالای این منطقه از غرب قطعه لوت است. به اعتقاد مهرابی و همکاران [۸] تغییرات کانی‌شناسی، دگرسانی، دما و عمق تشکیل، به احتمال بسیار گویای وجود یک مجموعه کانه‌زایی مشترک در منطقه گله‌چاه-شوراب-چوپان است. منطقه کوه شورو از نظر

نوع کانی‌سازی‌ها (سرب-آنتیموان) و دگرسانی‌ها (سیلیسی-کربناتی) مشابه منطقه‌های گله‌چاه، شوراب و چوپان است. همچنین، مقایسه دمای همگن شدگی و شوری سیال های درگیر در کانی‌سازی آنتیموان منطقه کوه شورو با مناطق نام برده نشان می‌دهد که این رگه‌ها در یک گستره دمایی مشابه ایجاد شده‌اند، ولی تعدادی از سیال های درگیر در منطقه کوه شورو شوری تقریبا بیشتری را نشان می‌دهند (شکل ۱۱).

مهرابی و همکاران [۹] بر پایه‌ی بررسی ایزوتوپ‌های پایدار، خاستگاه ماگمایی-جوی را برای کانی‌سازی در معدن شوراب پیشنهاد کردند. بنابراین، این احتمال وجود دارد که همه رگه‌ها در این منطقه از غرب قطعه لوت مربوط به یک تک سامانه ماگمایی-گرمابی باشد و ماگما در عمق کانی‌سازی‌ها را کنترل کند.



شکل ۱۰ نمودار فشار-درجه حرارت (برای نمونه‌های منطقه کوه شورو) نشان دهنده رابطه فازها در سامانه $NaCl-H_2O$ در فشارهای هیدرو استاتیک و لیتو استاتیک [۳۰]. L = liquid, V = vapor, H = halite. خط چین‌ها کانتورهای ثابت درصد وزنی NaCl محلول در شورابه هستند. خط باریک خاکستری منحنی کمترین ذوب گرانیت را مشخص می‌کند. خط ضخیم مشکی مرز سه فاز، L+V+H را برای سامانه $NaCl-KCl-H_2O$ با Na/K در محلول ثابت شده بوسیله آلبیت و K-فلدسپار در درجه حرارت‌های مشخص نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ مقایسه دمای همگن شدن و شوری سیال‌های درگیر در مناطق شوراب، گله‌چاه، چوپان (داده‌ها از [۸]) با منطقه کوه شورو.

قدردانی

این کار با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۲ به شماره ۴۸۴۳۸ مورخ ۱۳۹۷/۹/۲۷ انجام شده است. از آقای مهندس حجت غلامی که در عملیات صحرایی ما را یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاریم.

مراجع

[1] Aghanabati S.A., *"Geology of Iran"*, Geological Survey of Iran, Tehran (2004) 586p.

[2] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Stern C.R., Farmer L., *"Petrogenesis of Granitoids, U-Pb zircon geochronology, Sr-Nd isotopic characteristic, and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut Block, eastern Iran (in Persian)"*, Journal of Economic Geology 4 (2012) 1-27.

[3] Javidi Moghaddam M., Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., Heidariane Shahri M. R., *"Satellite data processing, alteration, mineralization and geochemistry of Mehrkhash area prospect, North West of Birjand (in Persian)"*, Journal of Earth Science Researches 4 (2013) 56-69.

[4] Javidi Moghaddam M., Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., Heidariane Shahri M. R., *"Geology, alteration, mineralization and geochemistry of Shekaste Sabz area prospect, North West of Birjand (in Persian)"*, Journal of Crystallography and Mineralogy 22 (2014) 507-520.

[5] 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 ± Ag Veins of the Khur Area, Lut Block, Eastern Iran"*, Acta Geologica Sinica 92 (2018) 1139-1156.

[6] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., *"Geology, Mineralization and fluid inclusion studies in Howz-e-Raise lead–zinc-copper deposite, Eastern Iran (in Persian)"*, Journal of Advanced Applied Geology 91 (2013) 1-14.

[7] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., *"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.

[8] Mehrabi B., Tale Fazel E., Nokhbatolfoghahaie A., *"The role of magmatic and meteoric water mixing in mineralization of Shurab polymetal ore deposit South of Ferdows: isotope geochemistry and microthermometry evidences (in Persian)"*, Iranian journal of mineralogy and crystalography 19 (2011) 121-130.

[9] Mehrabi B., Tale Fazel E., Yardley B., *"Ore geology, fluid inclusions and O-S stable isotope characteristics of Shurab Sb-polymetallic vein deposit, eastern Iran"*, Chemie der Erde 79 (2019) 307-322.

[10] 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.

[11] Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R.J., *"HOKIEFLINCS-H_2O-NACL: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H_2O–NaCl"*, Computer in Geosciences 49 (2012) 334-337.

[12] Naderi Mighat N., Akrami M.A., *"Geological map of Ayask"*, Scale 1:100,000, Geological Survey of Iran (1385).

[13] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[14] Ineson P.R.,. *"Introduction to Practical Ore Microscopy"*, Longman publishers, England (1989) 181p.

[15] Laznicka P., *"Breccias and coarse fragmentites. Petrology, environments, associations, ores"*, Elsevier, Developments in Economic Geology 25 (1988) 832p.

[16] Rollinson H., *"Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation"*, Longman Scientific & Technical, Essex, UK (1993) 352p.

[17] Roedder E., *"Fluid inclusions"*, Reviews in Mineralogy 12 (1984) 644p.

[18] Goldstein R.H., *"Petrographic Analysis of Fluid Inclusions"*, In: I. Samson, A. Anderson, D. Marshall (Editors), Fluid inclusions: Analysis and interpretation, Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook 32 (2003) 9-53.

[19] Davis D.W., Lowenstein T.K., Spencer R.J., *"Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in systems NaCl–H_2O, NaCl–KCl–H_2O, NaCl–$MgCl_2$–H_2O and*

[26] Seward T.M., *"Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal solutions"*, Geochimica et cosmochimica Acta 37 (1973) 379-399.

[27] Seward T.M., *"The hydrothermal geochemistry of gold"*, In: Foster, R. P. (Editors), gold metallogeny and exploration. Blakie and Sons Ltd., (1991) 37-62.

[28] Henley R.W., "*Primary controls on epithermal mineralization in the Taupo volcanic zone: International volcanological congress*", proceeding of symposium 5: volcanism, hydrothermal systems and related mineralization (1986) 99 pp.

[29] Seward T.M., Barnes H.L., "*Metal transport by hydrothermal ore fluids*", Geochemistry of hydrothermal ore deposits 3 (1997) 435-486.

[30] 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.

NaCl–CaCl$_2$–H$_2$O", Geochimica et Cosmochimica Acta 54 (1990) 591-601.

[20] Shepherd T., Rankin A.H., Alderton D.H.M., *"A prac- tical guide to fluid inclusion studies"*, Blackie, Glasgow (1985) 239.

[21] Prokofiev V.Y., Garofalo P.S., Bortnikov N.S., Kovalenker V.A., Zorina L.D., Grichuk D.V., Selektor S.L., *"Fluid inclusion constraints on the genesis of gold in the Darasun district (eastern Transbaikalia), Russia"*, Economic Geology 105 (2010) 395-416.

[22] Gokce A., *"Ore deposits"*, Cumhuriyet University Publication, Sivas (2000) 336p.

[23] Simmons S.F., Christenson B.W., *"Origins of calcite in a boiling geothermal system"*, American Journal of Science 294 (1994) 361-400.

[24] Beane R.E., *"The Magmatic–Meteoric Transition"*, Geothermal Resources Council, Special Report 13 (1983) 245-253.

[25] Wilkinson J.J., *"Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits"*, Elsevier, Lithos 55 (2001) 229-272.