

بررسی‌های کانه‌زایی و شاره‌های درگیر بر روی رگه‌های کانی‌زایی کوارتز در کانسار وراگرمایی کالجویه، جنوب غربی نایین

رضوان مهوری*، موسی نقره‌ئیان، محمدعلی مکی‌زاده

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۹/۸/۹، نسخه نهایی: ۹۰/۲/۱۳)

چکیده: نهشته‌ی مس کالجویه در ۱۱۰ کیلومتری شرق اصفهان، در پهنه‌ی ایران مرکزی و در کمربند ولکانوپلوتونیک ارومیه- بزمان واقع شده است. سنگ میزبان این نهشته سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب پیروکسن آندزیت و توف‌های ائوسن با سنگ‌شناسی توف ماسه‌ای و توف سنگی است. توف‌های ماسه‌ای سنگ میزبان اصلی این نهشته هستند. کانه‌زایی به شکل رگه‌ای و رگچه‌ای بوده و کوارتز گانگ اصلی کانه‌زایی است. کانه‌های اولیه (هیپوژن) شامل دوفاز سولفیدی کالکوپیریت، گالن و فاز اکسیدی مگنتیت و کانه‌زایی سوپرژن سولفیدی شامل کوولیت و کالکوسیت است. بررسی‌های ریزدماسنجی شاره‌های درگیر در کانی کوارتز نشان می‌دهد که دمای همگن شدن بین ۱۰۱ تا ۳۱۲ درجه سانتی‌گراد و درجه شوری از ۰/۷ تا ۷/۳ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر است. فرایند جوشش در شاره‌های کانه‌ساز در ۴۰۰ متر زیر سطح قدیمی آب رخ داده است. این مطالعات بیانگر وجود محلول کانه‌ساز با دمای کم تا متوسط، شوری پایین و قدرت کانه‌سازی کم می‌باشد. همچنین بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است که کانه‌زایی فلزی کالجویه از نوع کانسارهای وراگرما با سولفیدی شدن پایین است.

واژه‌های کلیدی: شاره‌های درگیر؛ وراگرما؛ کوارتز؛ کالجویه؛ نایین.

مقدمه

پورفیری میدوک و سرچشمه است. نهشته‌ی مس کالجویه نیز در همین کمربند ولکانوپلوتونیک و در طول جغرافیایی ۵۵° ۵۲° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳° ۳۲° شمالی واقع شده است. دسترسی به منطقه از طریق راه آسفالتی مظفر آباد- کبر آباد- خرم کوهپایه- ملاحمد و راه آسفالتی مظفر آباد- کبر آباد- خرم دشت- طمینان- مهرآباد و مسیر خاکی مهرآباد- کالجویه امکان‌پذیر است و در فاصله‌ی ۱۴ کیلومتری جنوب شرقی مهر آباد قرار دارد (شکل ۲) [۲].

بر اساس رده‌بندی [۳]، کانسارهای گرمابی ناهمزاد به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که یکی از آن‌ها کانسارهای وراگرمایی است. از ویژگی‌های این کانسارها عمق و دمای کم، دگرسانی

امروزه سولفیدهای مس منابع اصلی تولید مس را تشکیل می‌دهند. مس در صنایع مختلف از جمله صنایع الکتریکی و به ویژه ساخت سیم‌های برق و نیز در تهیه‌ی انواع آلیاژها به کار می‌رود. این موارد باعث شده است تا مس به‌عنوان یک فلز با اهمیت در زندگی شناخته شده باشد. به عقیده‌ی [۱] کانسارهای مس ایران در شش منطقه‌ی جغرافیایی واقع شده‌اند که عبارتند از: کمربند آتشفشانی ارومیه- بزمان، منطقه‌ی البرز باختری، منطقه‌ی کویر- سبزوار، سیلان، لوت، مکران (شکل ۱). مهمترین منطقه‌ی کانه‌زایی مس در ایران، کمربند ارومیه- بزمان است که میزبان کانسارهای مهمی همچون مس

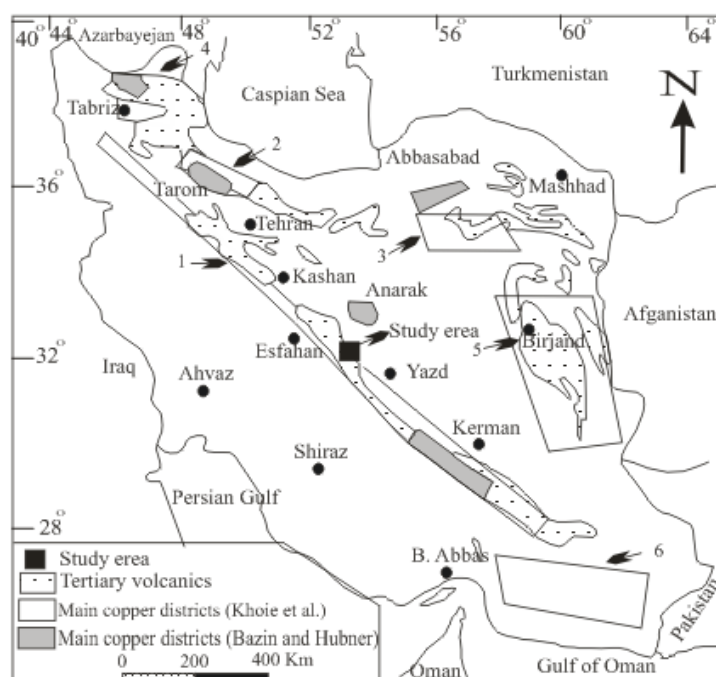
* نویسنده مسئول، تلفن: ۷۹۳۲۱۵۲ (۰۳۱۱)، نمابر: ۷۹۳۲۱۵۳ (۰۳۱۱)، پست الکترونیکی: r.mehvary@gmail.com

پروپلیتیک در سنگ‌های مافیک تا حدواسط است و نیز به صورت رگه‌های سیلیسی شکاف پرکن، رگه‌های نامنظم، داربستی، دودکش‌های برشی، فضاها پر شده با شاره‌های انتشاری یافت می‌شوند [۴].

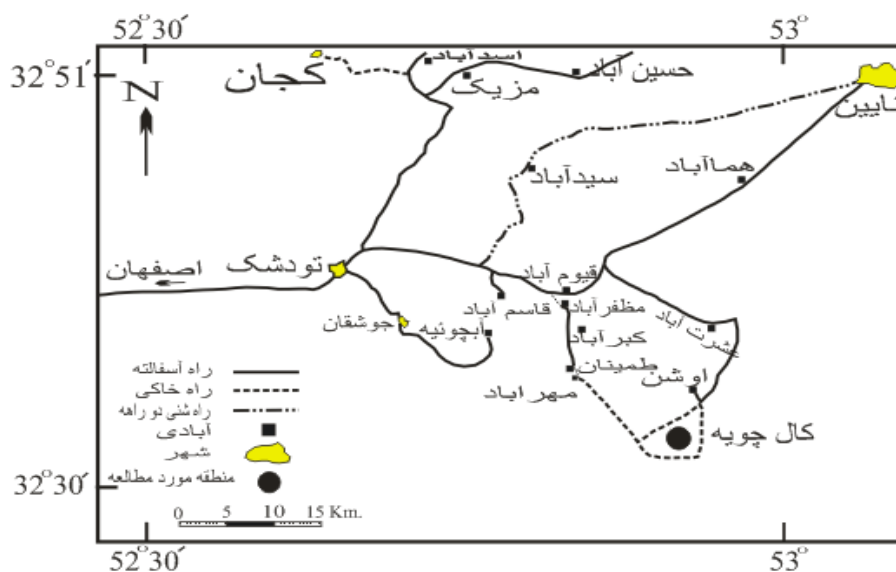
زمین‌شناسی و بررسی‌های صحرایی منطقه

کهن‌ترین واحدهای سنگی در گستره‌ی نهشته‌ی کالچوبه واحدهای کرتاسه هستند که از نظر سنگ‌شناسی دارای ترکیبی

از سنگ‌های آذرین دگرگون شده، جریان‌های گدازه‌ی زیر دریایی و لایه‌هایی از سنگ آهک را نیز در بر دارند. این واحدها تحت تاثیر دگرسانی پروپلیتیک قرار گرفته‌اند به گونه‌ای که اپیدوت‌زایی شدیدی در این سنگ‌ها رخ داده است. بخش‌های آهکی (کوه تاج آباد) به سن کرتاسه پیشین‌اند و در کنار آنها کنگلومرای ائوسن در اثر عملکرد گسل رحیم آباد قرار گرفته است. طول و عرض توده‌های نفوذی با ترکیب میکرو گرانو



شکل ۱ مناطق اصلی کانسار سازی مس در ایران: (۱) کمربند ارومیه- دختر (۲) ناحیه‌ی البرز غربی (۳) ناحیه‌ی کویر- سبزواری (۴) ناحیه‌ی سبلان (۵) ناحیه‌ی لوت (۶) ناحیه‌ی مکران، برگرفته از [۱۷].

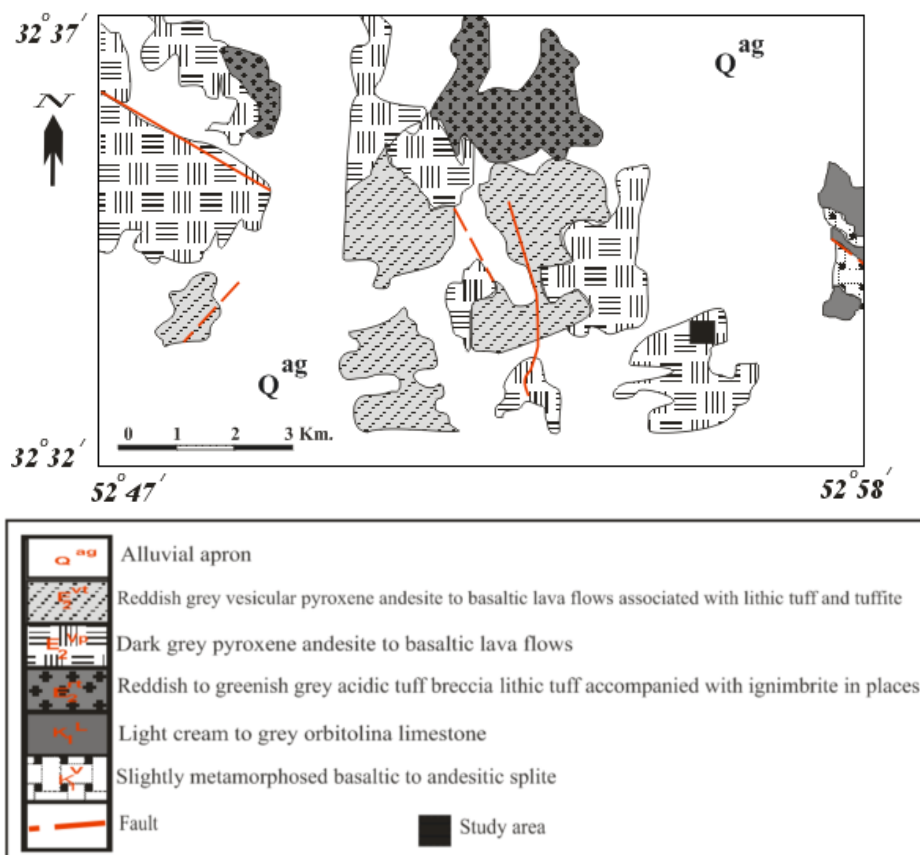


شکل ۲ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد بررسی برگرفته از [۲] با تغییرات.

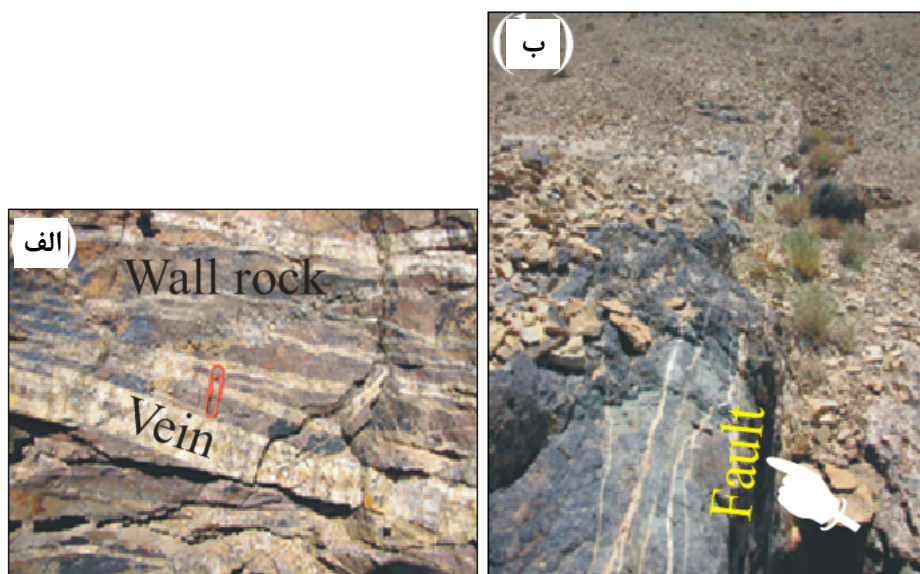
ضخامت کم در حد میلی‌متر و سانتی‌متر به وجود آمده‌اند که به‌وسیله‌ی سیلیس پر شده‌اند (شکل ۴ الف). رگه‌های سیلیسی در راستای گسل‌های منطقه هستند (شکل ۴ ب) و سیلیس در این درزها به‌صورت شکافه پراکن (شکل ۵ الف) بیشتر با ساخت‌های شانه‌ای (شکل ۵ ب) فضاهای خالی را پر کرده است. البته ساخت‌های توده‌ای و برشی نیز به مقدار کمتر قابل مشاهده‌اند. در بعضی از این رگه‌ها، ساخت‌های انحلالی نیز ایجاد شده که احتمالاً در این قسمت‌ها قبلاً کانی‌هایی با ساختار بلوری راست‌گوشه (کلسیت) نشست کرده و سپس در اثر انحلال از بین رفته و ساخت‌های جعبه‌ای را ایجاد کرده است (شکل ۵ پ). نیز در بررسی‌های صحرایی کوارتز بنفش یا آمیتیست نیز به همراه ژاسپروئید به وفور قابل مشاهده‌اند و بنابر بررسی‌های انجام شده همراه با این رگه‌های سیلیسی، کانه‌زایی فلزی نیز صورت گرفته است. این کانه‌زایی احتمالاً در اثر نفوذ گرمایی حاصل از توده‌های نفوذی با ترکیب گرانودیوریت در راستای شکستگی‌های موجود در واحدهای ولکانیک و ولکانوکلاستیک در منطقه تشکیل شده است.

دیوریت پورفیروئید با روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی و سن احتمالی الیگوسن [۵] به‌ترتیب به ۲۰ کیلومتر و ۳ کیلومتر می‌رسد. این توده‌های نفوذی در واحدهای کرتاسه نفوذ کرده و باعث دگرگونی مجاورتی شده‌اند. در گستره‌ی مورد بررسی بیشترین رخمون واحدهای سنگی وابسته به واحدهای ائوسن است و این واحدها، سنگ در بر گیرنده‌ی نهشته‌ی مس کالچوپه را تشکیل می‌دهند (شکل ۳) [۵].

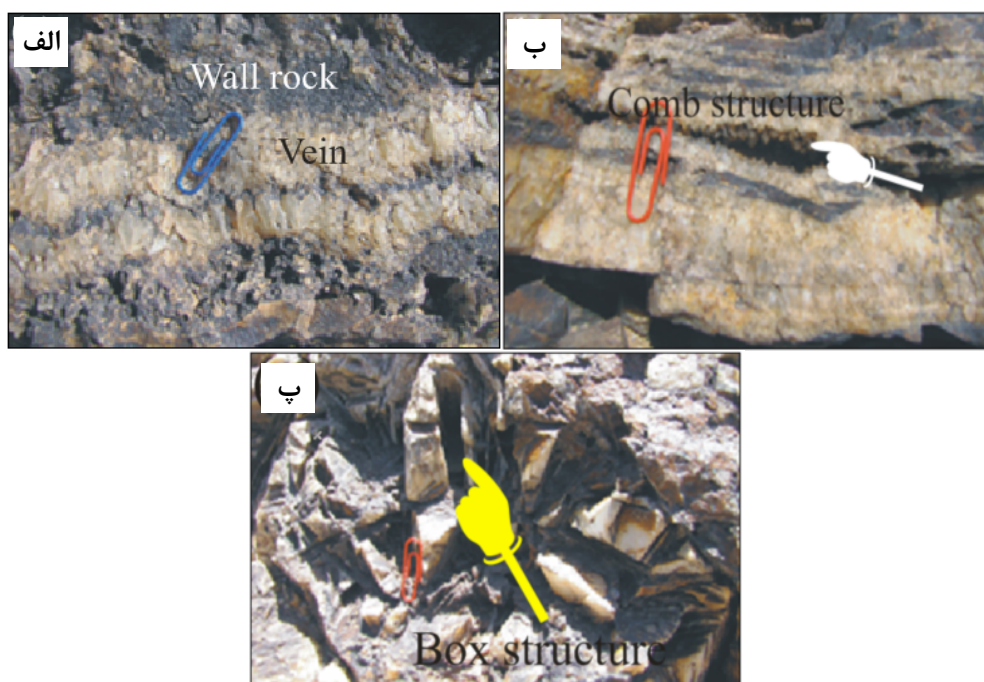
در بررسی‌های صحرایی و مشاهدات میکروسکوپی این پژوهش، لیتولوژی این واحدها بیشتر توف ماسه‌ای، توف سنگی و گدازه‌های پیروکسن آندزیت تشخیص داده شد. این واحدهای سنگی به طور فراگیر تحت تاثیر دگرسانی پروپلیتیک قرار گرفته و کانی‌های شاخص این دگرسانی بیشتر شامل اپیدوت، کلریت و کلسیت است به گونه‌ای که رگه‌ها و پرشدگی‌های فراوان اپیدوت و کلریت رنگ مایل به سبز در توف‌ها و گدازه‌های ائوسن ایجاد کرده است. واحدهای سنگی یاد شده تحت تاثیر فاز زمین‌ساختی پیرنه (ائوسن - اولیگوسن) قرار گرفته و درز و شکستگی و در بخش‌هایی حتی زون گسلی ایجاد شده است. این گسل‌ها حرکات‌های نبضی داشته و درزه‌هایی به



شکل ۳ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده‌ی منطقه، برگرفته از برگه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کجان [۵] با اندکی تغییرات.



شکل ۴ الف) رگه‌ها و رگچه‌های کوارتز که نشان دهنده‌ی حالت نبضی و ضربانی گسل‌هاست (دید به سمت شمال) ب) رگه‌های کوارتز در راستای گسل‌های منطقه (دید به سمت خاور).



شکل ۵ الف) نمایی از ساخت شکاف پرکن ب) نمایی از ساخت شانهای به‌عنوان سیمایی از بافت شکاف پرکن پ) نمایی از ساخت‌های جعبه‌ای در اثر انحلال.

روش بررسی

به منظور شناخت مقدماتی منطقه، نخست از نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ کجان [۵] و ۱:۲۵۰۰۰۰ نایین [۶] استفاده شد و سپس برای شناخت بیشتر، پس از چند بازدید صحرایی و نمونه‌برداری‌های سیستماتیک با استفاده از

GPS از تعدادی از نمونه‌ها مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شد و با استفاده از میکروسکوپ قطبشی Olympus با نور عبوری مدل BH-2 بررسی‌های سنگ شناسی و دگرسانی صورت گرفت. به منظور شناسایی کانه‌های فلزی، تعداد ۱۲ مقطع صیقلی از زون سیلیسی

تهیه شدند. این مقاطع با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان الیمپوس مدل BX60 با نور عبوری مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله‌ی بعد و برای شناخت بیشتر شاره‌های درگیر، تعداد ۹ چیپس یا ویفر در کارگاه گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان تهیه شدند. برای سنگ‌نگاری شاره‌های درگیر از یک میکروسکوپ قطبشی الیمپوس (مدل BH-2) و برای تعیین دمای شاره‌های

درگیر از Linkam مدل Hf-S90 (کنترل‌کننده‌ی دمایی TMS92) و سردکننده‌ی نوع LNP استفاده شد. به منظور بررسی‌های دما و تعیین شوری شاره‌های کانه-ساز حدود ۹۰ نمونه از شاره‌های درگیر مورد آزمون گرمایشی (جدول ۱) و ۲۸ نمونه نیز مورد آزمون سرمایشی (جدول ۲) قرار گرفتند.

جدول ۱ دمای همگن شدن برای مجموعه شاره‌های درگیر نهشته‌ی کالجویه.

Sample No.	T _h range (°C)
30G	۲۳۴ (۷)
30G	۲۹۴ (۵)
30G	۳۰۰ (۳)
30G	۳۰۵ (۵)
41G	۲۰۳ (۸)
41G	۲۱۲ (۴)
56 F	۱۸۹ (۱۰)
56 F	۲۳۵ (۱)
12G	۱۴۰ (۱)
12G	۱۷۰ (۲)
12G	۲۹۴ (۳)
12G	۳۱۲ (۴)
24G	۲۱۵ (۵)
24G	۲۳۸ (۳)
49G	۲۲۴ (۴)
49G	۲۴۱ (۳)
49G	۲۴۷ (۲)
36G	۱۰۱ (۱)
36G	۱۹۳ (۳)
36G	۲۸۷ (۴)
22G	۲۴۲ (۴)
22G	۲۵۰ (۱)
18G	۲۲۹ (۱)
18G	۲۳۵ (۱)
18G	۲۴۲ (۲)
18G	۲۴۵ (۴)

جدول ۲ نتایج بررسی‌های شاره‌های درگیر در نمونه‌های کوارتز نهشته‌ی کالجویه.

Sample No.	Size (Micron)	L (%)	V (%)	T _{m(ice)}	T _h	Salinity (wt% NaCl equivalent)
۱	۱۵	۸۰	۲۰	-۰٫۵	۲۹۴	۰٫۸۵
۲	۱۵	۷۵	۲۵	-۰٫۵	۳۰۰	۰٫۸۵
۳	۶۰	۷۰	۳۰	-۰٫۵	۳۰۵	۰٫۸۵
۴	۲۵	۸۰	۲۰	-۰٫۵	۲۳۴	۰٫۸۵
۵	۴۰	۵۵	۴۵	-۰٫۵	۲۹۴	۰٫۸۵
۶	۳۰	۸۵	۱۵	-۰٫۵	۳۰۵	۰٫۸۵
۷	۵۰	۷۰	۳۰	-۰٫۴	۲۰۷	۰٫۷
۸	۳۰	۶۵	۳۵	-۰٫۴	۲۰۳	۰٫۷
۹	۲۰	۷۰	۳۰	-۰٫۴	۲۱۲	۰٫۷
۱۰	۲۰	۸۵	۱۵	-۰٫۴	۲۰۳	۰٫۷
۱۱	۱۵	۸۰	۲۰	-۰٫۴	۲۰۳	۰٫۷
۱۲	۷۵	۸۰	۲۰	-۰٫۴	۲۱۲	۰٫۷
۱۳	۲۵	۶۵	۳۵	-۰٫۴	۲۱۲	۰٫۷
۱۴	۱۰	۷۰	۳۰	-۰٫۴	۲۰۷	۰٫۷
۱۵	۱۴	۶۰	۴۰	-۴٫۲	۲۱۲	۷٫۳
۱۶	۵	۸۰	۲۰	-۴٫۲	۲۱۲	۷٫۳
۱۷	۴۷	۷۵	۲۵	-۴٫۲	۲۱۲	۷٫۳
۱۸	۳۱	۸۵	۱۵	-۰٫۹	۱۸۹	۱٫۵۳
۱۹	۴۲	۵۵	۴۵	-۰٫۹	۱۸۹	۱٫۵۳
۲۰	۲۵	۸۰	۲۰	-۰٫۹	۲۳۵	۱٫۵۳
۲۱	۱۵	۷۵	۲۵	-۰٫۹	۲۳۵	۱٫۵۳
۲۲	۶	۱۰	۹۰	-۲٫۳	۲۲۹	۳٫۹
۲۳	۱۰	۷۵	۲۵	-۲٫۳	۲۳۵	۳٫۹
۲۴	۵۰	۸۰	۲۰	-۱٫۴	۲۴۲	۳
۲۵	۲۰	۷۰	۳۰	-۱٫۴	۲۴۲	۳
۲۶	۲۵	۸۰	۲۰	-۱٫۴	۲۴۵	۳
۲۷	۳۵	۶۵	۳۵	-۱٫۴	۲۴۵	۳
۲۸	۲۵	۸۵	۱۵	-۱٫۴	۲۴۵	۳

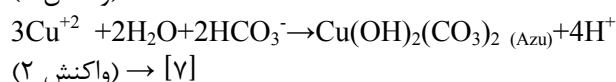
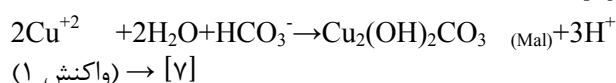
کانه نگاری

کانه‌زایی گرمابی به صورت پرکننده‌ی فضاهای خالی در سنگ‌های میزبان در راستای صفحه‌های گسلی رخ داده که ضخامت آنها از حد چندسانتی‌متر تجاوز نمی‌کند. ساخت‌های شانه‌ای، توده‌ای و برشی از سیماهای رایج کوارتز به‌عنوان پرکننده‌ی فضاهای خالی هستند. شواهد صحرایی نشان می‌دهند که کانه‌زایی بیشتر توسط عوامل زمین‌ساختی کنترل شده‌اند. کانه‌زایی هیپوژن به‌صورت کانی‌های سولفیدی کالکوپیریت و گالن و اکسیدی مگنتیت و در نوع سوپرژن کانی‌های سولفیدی از نوع کوولیت و کالکوسیت، کربناتی شامل مالاکیت و آزوریت و اکسیدی و هیدروکسیدی شامل هماتیت و گوئیتیت دیده شدند.

کالکوپیریت بیشتر به صورت بلورهای ریز و پراکنده با بافت افشان و نیز رگه‌ای دیده می‌شود و در مراحل بعدی به‌طور بخشی به‌وسیله‌ی گالن جانشین شده، به‌گونه‌ای که این کانی به شکل جزایری در داخل گالن مشاهده می‌شود. این کانه معمولاً به وسیله‌ی کوولیت (شکل ۶ الف)، کالکوسیت و گاهی در نتیجه‌ی اکسایش سطحی به گوئیتیت تبدیل شده است به گونه‌ای که مس آن آزاد شده و به صورت کربنات‌های آبدار مس در شکستگی‌ها و اطراف آنها قابل مشاهده است (شکل ۶ پ). کربنات‌های آبدار مس بیشتر به‌صورت مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت قابل مشاهده‌اند و با استفاده از محلول‌های مس

گازهای به دام افتاده در انواع کانسارها با یکدیگر تفاوت دارند. به دلیل همین تفاوت‌ها تصور بر آن است که از شاره‌های درگیر می‌توان به عنوان ابزاری مفید برای پی‌جویی کانسارها استفاده کرد [۸]. در این پژوهش از کانی کوارتز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کانی‌های شفاف برای بررسی رفتار شاره‌های درگیر استفاده شده است. خصوصیات ریخت‌شناسی و سنگ‌شناسی شاره‌های درگیر به‌وسیله‌ی [۹، ۱۰] در دمای اتاق ثبت شدند. شاره‌های درگیر از نظر شکل ظاهری بیشتر میله‌ای، کروی، نامنظم، پهن و انواعی با شکل بلور منفی (Negative Crystals) هستند و اندازه‌ی این شاره‌ها از ۵ تا ۷۵ میکرون است. شاره‌های درگیر مورد بررسی براساس ارتباط با کانی میزبان به انواع اولیه، ثانویه (شکل ۷ الف) و ثانویه کاذب و بر اساس ارتباط با یکدیگر به انواع منفرد و دنباله‌دار (شکل ۷ پ و ت) رده‌بندی می‌شوند. بر اساس بررسی‌های سنگ‌شناسی بعضی از شاره‌های درگیر پدیده‌ی گردن یافتگی (شکل ۷ ب) از خود نشان می‌دهند و این پدیده به کم‌شدن سطح

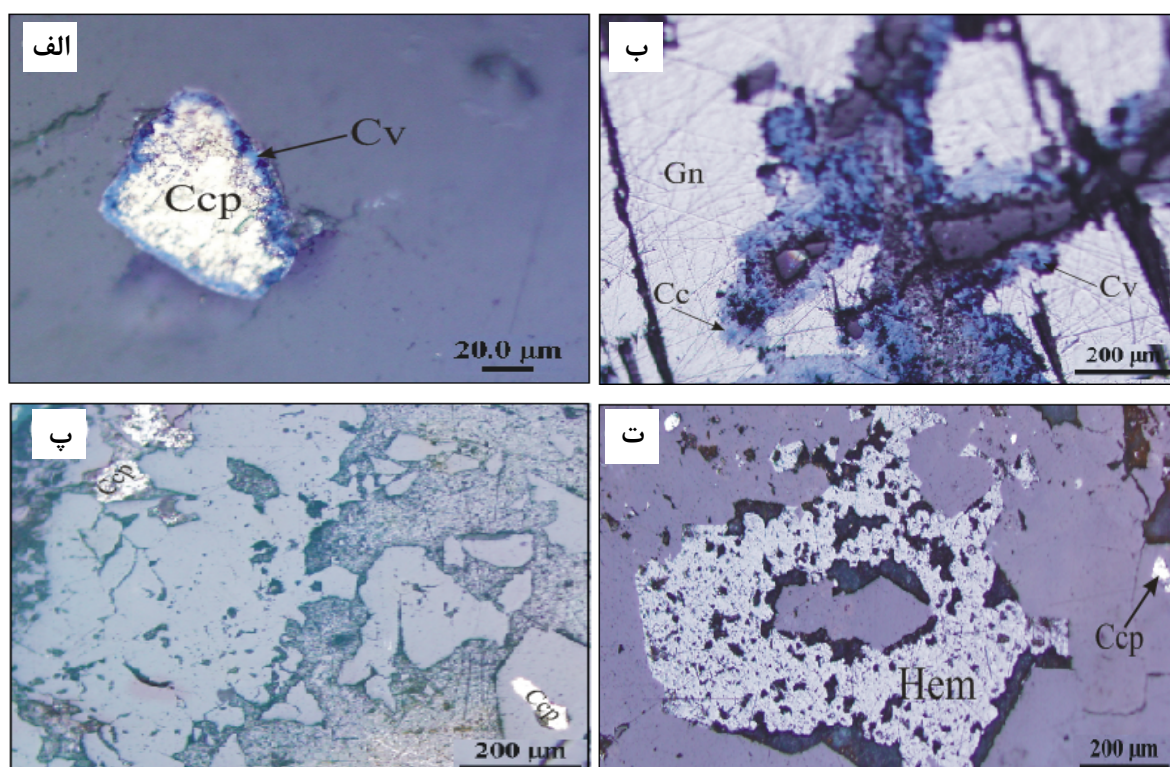
موجود در محیط برپایه‌ی واکنش‌های ۱ و ۲ تشکیل می‌شوند [۷].



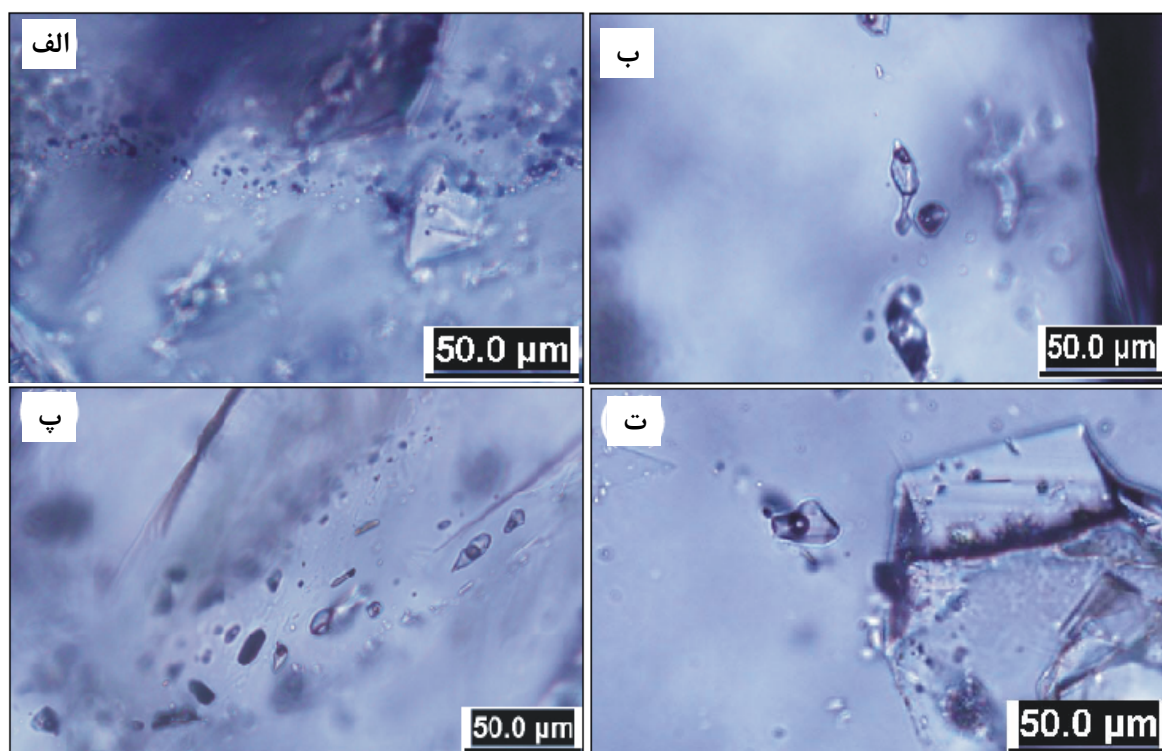
گالن به‌عنوان یک کانه سولفیدی به صورت رگه ای حضور داشته و بیشتر جانشین کالکوپریت شده است. با توجه به بررسی‌های میکروسکوپی، رخ‌های مثلثی گالن در یک جهت کشیدگی بیشتری داشته و این دلالت بر فشارهای زمین‌ساختی وارد بر منطقه دارد (شکل ۶ ب). مگنتیت از کانه‌های اکسیدی درون‌زاد است و به صورت چشمگیری به وسیله هماتیت جانشین شده است (شکل ۶ ت).

بررسی شاره‌های درگیر

امروزه بررسی شاره‌های درگیر یکی از راه‌های اساسی برای شناخت گونه‌های کانسارها و پی‌جویی آنهاست. خصوصیات شاره‌های درگیر نظیر ترکیب شاره، دما، چگالی و ماهیت



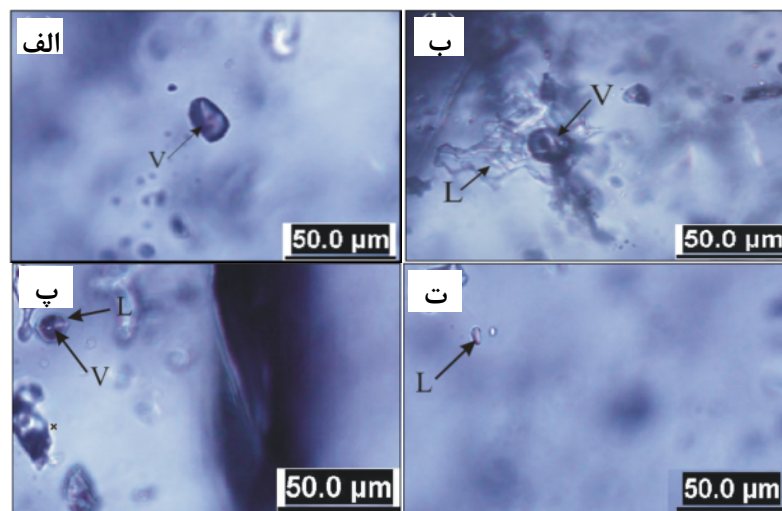
شکل ۶ الف) بافت گرانولار و جانشینی، تبدیل شدگی کالکوپریت به کوولیت در حاشیه (RPPL) (ب) پاراژنز کانه‌های گالن، کالکوسیت و کوولیت همراه با کشیدگی رخ‌های مثلثی گالن (RPPL) (پ) بافت افشان کالکوپریت و همراهی آن با کربنات‌های آبدار مس (RPPL) (ت) بافت اسکلتی و جانشینی، هماتیت به‌طور کامل جانشین مگنتیت اولیه شده است (RPPL). Cc: کالکوسیت، Cv: کوولیت، Gn: گالن، Hem: هماتیت، Mgt: مگنتیت و Ccp: کالکوپریت، علائم اختصاری از [۲۳] اقتباس شده است.



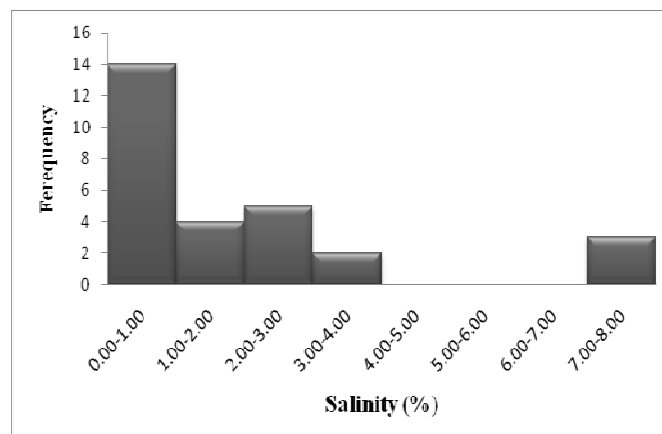
شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی نشان دهنده‌ی الگوی توزیع شاره‌های درگیر در کوارتزهای شاخص کالچوپه: الف) شاره‌های درگیر ثانویه ب) گردن یافتگی در شاره درگیر پ) شاره‌های درگیر دنباله‌دار ت) شاره درگیر منفرد.

وزنی معادل نمک طعام (شکل ۹) و ۲۲۵ تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد (شکل ۱۰) است. شوری پایین نمونه‌ها بیانگر آن است که کانه‌سازی در منطقه‌ی با شرایط اپی ترمال رخ داده است [۱۱، ۸]. شاره‌های کانه‌زا در مرحله‌ی بعد از ماگمایی در دمای کم حدود ۳۰۰ درجه‌ی سانتیگراد شکل گرفته‌اند. با توجه به بررسی مقاطع صیقلی، حضور کانه‌های درون‌زاد نظیر کالکوپیریت، گالن و مگنتیت در رگه‌ها در نتیجه‌ی ته‌نشینی از این شاره‌ها در اثر پدیده‌ی جوشش است. وجود کوولیت و کالکوسیت به‌صورت ثانویه که بیشتر در اثر جان‌نشینی حاشیه‌ای کالکوپیریت ایجاد شده‌اند بیانگر شرایط برون‌زایی و در نتیجه عمل شاره‌های با دمای ۱۵۰ تا ۲۵۰ درجه‌ی سانتیگراد روی کانه‌های تشکیل شده در مرحله‌ی قبل است. کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی از قبیل همتایت و گوتیت از دگرسانی کانه‌های سولفیدی و اکسیدی در شرایط سطحی تشکیل شده‌اند.

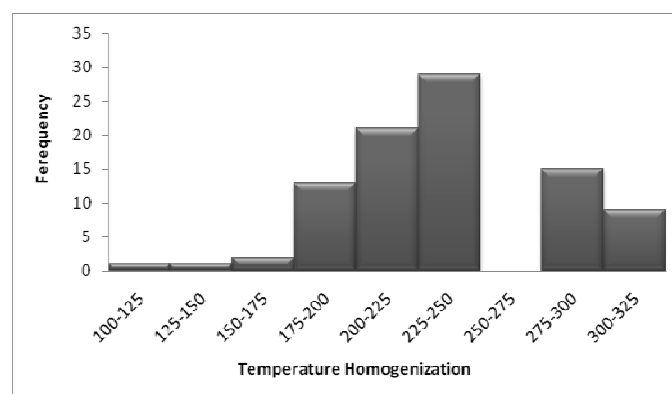
انرژی بالای این شاره‌های درگیر وابسته است. با توجه به بررسی‌های انجام شده روی ۸ نمونه تراشه‌ی (Chips) کوارتزی، چهارگروه از شاره‌های درگیر در دمای اتاق تشخیص داده شدند که عبارتند از: ۱- تک فاز گاز (V) ۲- تک فاز آبگون (L) ۳- دو فاز آبگون-گاز (L + V) ۴- دو فاز گاز-آبگون (V + L) (شکل ۸ الف تا ت). بیشتر شاره‌های درگیر مورد بررسی دو فاز (L + V) غنی از آبگونند و میزان فاز آبگون این شاره‌ها از ۱۰ تا ۸۵ درصد تغییر می‌کند. بررسی ریزدماسنجی نمونه‌های کوارتز وابسته به کانه‌زایی، نشان می‌دهد که درجه‌ی شوری محاسبه شده بر اساس دمای نهایی انحلال آخرین قطعه یخ [۹] و دمای همگن شدن شاره‌ها در این نوع کانه‌زایی به‌ترتیب بین ۰/۷ تا ۷/۳ درصد وزنی معادل نمک طعام و ۱۰۱ تا ۳۱۲ درجه‌ی سانتی‌گراد متغیرند (جدول‌های ۱ و ۲). بر اساس این بررسی‌ها بیشترین فراوانی درجه‌ی شوری و دمای همگن شدن شاره‌های درگیر در این نوع کانه‌زایی کمتر از ۱ درصد



شکل ۸ الف) شاره‌ی درگیر تک‌فازی گاز (V)، ب) شاره‌ی درگیر دو‌فازی (L) فاز مایع و (V) فاز گاز، پ) شاره‌ی درگیر تک‌فازی آب‌گون (L)، ت) شاره‌ی درگیر دو‌فازی (V) فاز گاز و (L) فاز آب‌گون.



شکل ۹ شوری شاره‌های درگیر نسبت به فراوانی آنها در نهشته‌ی کالجویه.



شکل ۱۰ دمای همگن شدن شاره‌های درگیر نسبت به فراوانی آنها در نهشته‌ی کالجویه.

نهشت و ژرفای کانه‌سازی

جوشش یکی از فرایندهای فیزیکی مهم در سامانه‌های زمین گرمایی است [۱۲]. در رخداد فرایند جوشش، حضور برش‌های

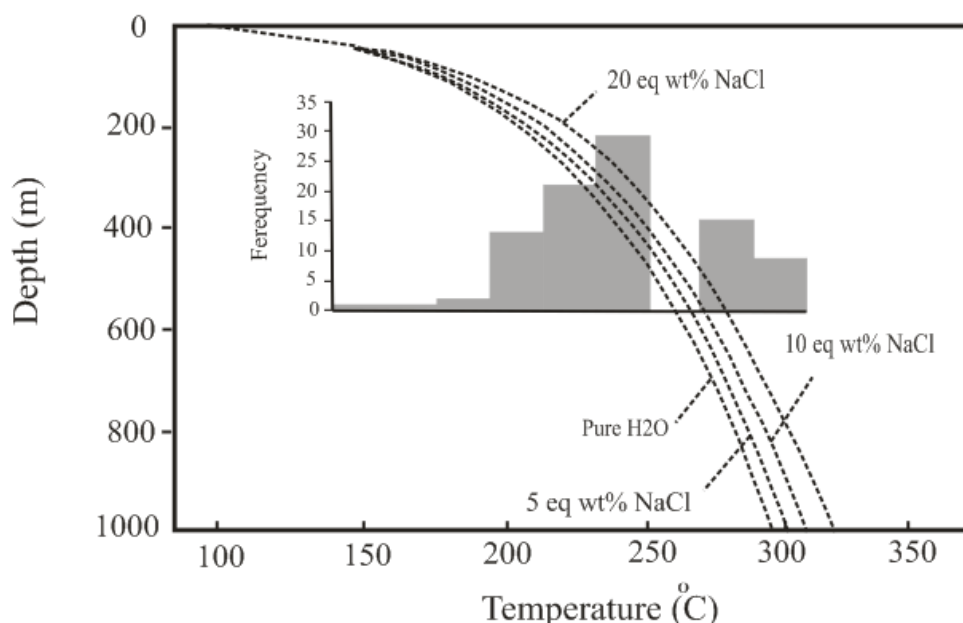
گرمایی در بررسی‌های صحرایی و نیز همزیستی شاره‌های درگیر غنی از بخار و غنی از مایع در بررسی‌های میکروسکوپی لازم است [۱۳-۱۷]. در بررسی‌های آزمایشگاهی نشانه‌هایی

بیشتر دارد.

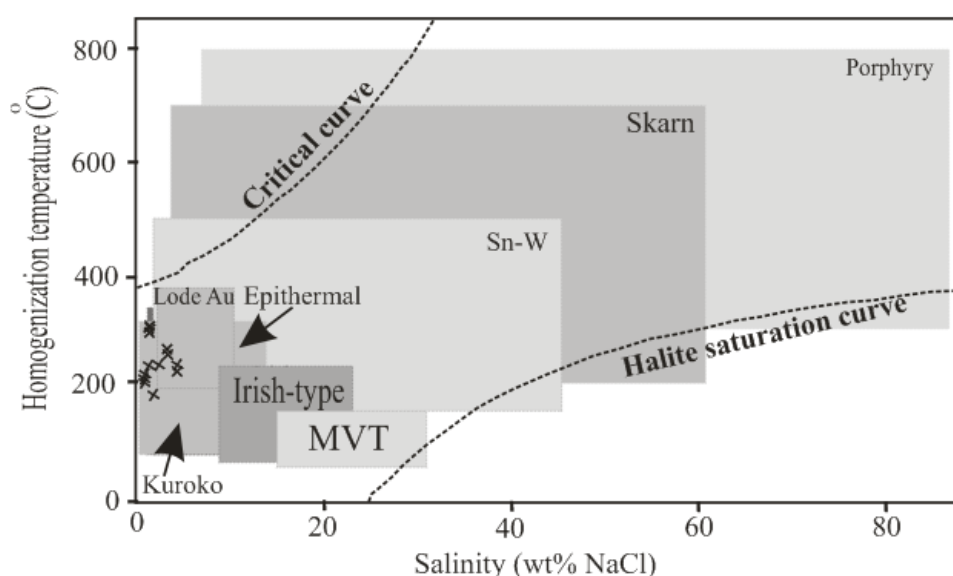
برداشت

در منطقه‌ی کالچویه کانه‌های فلزی ایجاد شده شامل کانه‌سازی اولیه (درون‌زاد) دارای دو فاز سولفیدی کالکوپیریت، گالن و فاز اکسیدی مگنتیت، و کانه‌زایی برونزاد سولفیدی بیشتر شامل کوولیت و کالکوسیت، کانی‌های کربناتی شامل مالاکیت و آزوریت و اکسیدی و هیدروکسیدی شامل هماتیت و گوئیتیت هستند. کانه‌زایی در کالچویه بر اساس شواهد صحرایی، ریز دماسنجی شاره‌های درگیر، دگرسانی فراگیر پروپلیتیک در سنگ‌های در برگیرنده نهشته، حجم پایین کانه‌های سولفیدی، سیمای شکاف پرکن (شانه‌ای) کوارتز، آمیتیست به عنوان یک کانی باطله در کانسارهای اپی ترمال و نوع کانه‌های سولفیدی از نوع اپی ترمال با سولفیدی شدن پایین است [۲۲]. همچنین موقعیت داده‌های شاره‌های درگیر نهشته‌ی کالچویه در نمودار ویلکینسون (شکل ۱۲) [۸] بیانگر آن است که نمونه‌های وابسته به منطقه‌ی جزء کانسارهای اپی ترمال و احتمالاً طلادار رده‌بندی می‌شود که حضور ژاسپروئید در شواهد صحرایی می‌تواند تاییدی بر پتانسیل حضور طلا در نهشته کالچویه باشد. عمق کانسارسازی با توجه به بررسی‌های صحرایی و شرایط جوشش در منطقه‌ی کالچویه بسیار کم است و کانسارسازی تقریباً در عمق ۴۰۰ متری رخ می‌دهد.

دال بر فرایند جوشش در کالچویه وجود دارد زیرا در بررسی‌های سنگ‌شناسی شاره‌های درگیر انواع غنی از فاز مایع در همزیستی انواع غنی از فاز بخار مشاهده می‌شوند. در بررسی‌های صحرایی، حضور کلسیت را به‌خصوص در حفره‌ها و شکستگی‌ها به صورت تیغه‌های کوچک تا بزرگ با سیلیس جانشین شده و در سیستم‌های اپی ترمال به‌عنوان معرف نه‌نشست از یک شاره‌ی در حال جوش [۱۸] در نظر گرفته می‌شود، می‌توان به‌عنوان یکی از فرایندهای جوشش نام برد. به منظور تعیین عمق و ژرفای کانی‌سازی در زیر سطح قدیمی آب زیرزمینی می‌توان از منحنی جوشش ایستابی (هیدروستاتیک) نسبت به ژرفا استفاده کرد [۱۷]. بدین منظور منحنی‌های جوشش نسبت به ژرفا با استفاده از شوری‌های مناسب باز سازی شدند (شکل ۱۱) [۱۹]. در مورد نهشته مورد بررسی ژرفای کانی‌سازی، حدود ۴۰۰ متر برآورد می‌شود. شاره‌های درگیر در محیط‌های اپی ترمال غنی از طلا، دو فاز آب‌گون و بخار [۲۰، ۹] نقطه‌ی ذوب پایینی دارند [۱۱]. شوری کم شاره کانه‌ساز، امکان حضور همبافت‌های طلادار را فراهم می‌کند هر چند طلا به صورت دانه‌های آزاد مشاهده نشد. با توجه به دگرسانی زون ژاسپروئید و تاکید بر این که اصولاً ژاسپروئیدها با فلزات گران قیمت همراهند و عضو انتهایی نهشته‌های طلای اپی ترمال در نظر گرفته می‌شوند [۲۱]، می‌توان بر پتانسیل حضور طلا تاکید کرد، ولی ادعای قاطع نیاز به بررسی‌های



شکل ۱۱ نمودار فراوانی داده‌های شاره‌های درگیر نهشته‌ی کالچویه با منحنی‌های جوشش H_2O -NaCl نسبت به ژرفا، منحنی‌های جوشش به عنوان مرجع نشان داده شده است [۱۹].



شکل ۱۲ تعیین نوع کانسار بر پایه درجه شوری و دمای همگن شدن شاره‌های درگیر نهشته‌ی کالچویه روی نمودار [۸].

مراجع

Blackie", USA Chapman and Hall, New York, (1985) 239p.

[11] Hedenquist J.W., Henly R.W., "Effect of CO₂ on freezing point depression measurements of fluid inclusions: Evidence from active systems and application to epithermal to studies", Economic Geology, 80 (1985) 1379-1406.

[12] Giggenbach W.F., Stewart M.K., "Processes controlling the isotopic composition of steam and water discharges from steam vents and steam-heated pools in geothermal areas", Geothermics, 11 (1982) 71-80.

[13] Drummond S.E., Ohmoto H., "Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems", Economic Geology, 80 (1985) 126-147.

[14] Plumlee G.S., "Fluid chemistry evolution and mineral deposition in the Main- Stage Creede epithermal system", Economic Geology, 89 (1994) 1860-1882.

[15] Simeone R., Simmons S.F., "Mineralogical and fluid inclusion studies of low- sulfidation epithermal veins at Osilo (Sardinia, Italy)", Mineralium Deposita, 34 (1999) 705-717.

[16] Ronacher E., Richards J.P., Reed M.H., Bray C.J., Spooner E.T.C., Adams P.D., "Characteristics and evolution of the hydrothermal fluid in the North Zone high- grade area", Porgera

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

[۲] سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، "نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰۰، اصفهان"، (۱۳۷۰) برگه ۳۹.

[3] Lindgren W., "Mineral deposits", 4th ed. New York, McGraw Hill, (1933) 930p.

[۴] شهاب پور ج.، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید با هنر کرمان، (۱۳۸۲) ۵۴۴ ص.

[۵] امینی ب.، امینی چهرق م.، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کجان"، سازمان زمین شناسی کشور، (۱۳۸۲) برگه شماره ۶۵۵۵ ی.

[۶] عمیدی س.، نبوی م. ح.، "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ نایین"، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۵۶).

[7] Vink B.W., "Stability relations of malachite and azurite", Mineralogy Magazine, 50, (1986) 41-47.

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

[9] Rodder E., "Fluid inclusions: Reviews in Mineralogy", 12 (1984) 644p.

[10] Shepherd T., Rankin A.H., Alderton D. H.M., "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies

- [20] Bodnar R.J., Reynolds T.J., Kuehn C.A., "Fluid inclusion systematics in epithermal systems", *Reviews in Economic Geology*, 2 (1985) 73-97.
- [21] Pirajno F., "Hydrothermal mineral deposits", John Wiley and Sons, Berlin, (1995) 709p.
- [22] Sillitoe R.H., "Epithermal models: Genetic types", geometrical controls and shallow features, p. 403- 417, in Kirkham, R. V., Sinclair, W. D., Thorpe, R. I. and Duke, J. M., (eds.) *Mineral deposit modeling*, GAC Special Paper 40 (1993) 798p.
- [23] Kretz R., "Symbols for rock-forming minerals", *American Mineralogist*, 68 (1983) 277-279.
- Gold Deposit, Papua New Guinea, *Economic Geology*, 99 (2004) 843-867.
- [17] Hassan- Nezhad A., Moore F., "A stable isotope and fluid inclusions study of the Qaleh-Zari Cu- Au- Ag deposit, Khorasan Province", *Iran. Journal of Asian Earth Sciences*, 27 (2006) 805- 818.
- [۱۸] حسنی پاک ع.ا.، "اکتشافات ذخایر طلا، انتشارات دانشگاه تهران"، (۱۳۸۱) ۷۴۲ ص.
- [19] Hass J.L., "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure, *Economic Geology*", 66 (1971) 940-946.