

## مراحل تشکیل و تکوین کانسار طلای اپی‌ترمال زواریان بر پایه مطالعات سیالات درگیر، جنوب غرب قم، مرکز ایران

سحر صادقی<sup>۱</sup>، محمد یزدی<sup>۲\*</sup>، ایرج رسا<sup>۳</sup> و محمدرضا جانثاری<sup>۴</sup>

۱ و ۴- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲ و ۳- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

نویسنده مسئول: m-yazdi@sbu.ac.ir \*

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۰/۷/۶ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵

### چکیده

کانسار زواریان در ۶۰ کیلومتری جنوب‌غربی استان قم و در زون زمین‌شناسی ایران مرکزی قرار دارد. بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌زایی طلا در سنگ‌های میزبان آندزیت و آندزیت‌بازالتی همراه با دگرسانی آرژیلیکی پیشرفته و آلونیتی شدن و به صورت رگچه‌های سیلیسی-اکسید آهنی صورت گرفته است. داده‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های سنگی نشان می‌دهد که عیار متوسط طلا حدود ۱/۹۸ ppm است. کانه‌سازی در منطقه به دو شکل هیپوژن شامل کالکوپیریت، مگنتیت، پیریت، گالن، هماتیت و کالکوسیت و کانه‌سازی سوپرژن شامل کالکوسیت، کوولیت، گوتیت، لیمونیت، مالاکیت، کلریت، سریسیت و کائولینیت و سوپرژن صورت گرفته است. مهم‌ترین باطله‌های پرکننده فضای خالی شامل سیلیس و فلدسپار است. همراه با کانه‌سازی طلا دگرسانی‌های سیلیسی، پروپلیتیکی، سریسیتی، کربناتی، آرژیلیکی و آلونیتی شدن صورت گرفته است. سیالات درگیر کانی‌سازی طلای اپی‌ترمال زواریان شامل فازهای مایع، گاز و جامد هستند. مطالعه سیالات درگیر نشان داد که دمای همگنی آن‌ها بین ۱۳۸ تا ۳۸۳ درجه سانتی‌گراد و میزان شوری آن‌ها بین ۰/۸۷ تا ۴۴/۰۶ درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند. چگالی سیالات درگیر در دامنه ۰/۷۲ تا ۱/۱۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار دارند و حداقل عمق به دام افتادن میانبارهای سیال در محدوده مورد مطالعه حدوداً ۹۰۰ متر برآورد شده است. نتایج تجزیه سیالات درگیر یک گستره دمایی و شوری متوسط با منشاء ماگمایی اختلاط یافته با سیالات دگرگونی و جوی را برای این سیالات گرمایی را نشان می‌دهد. با توجه به ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و ساختی کانسنگ، دگرسانی کمرسنگ و داده‌های سیالات درگیر و مقایسه آن با انواع کانسارهای اپی‌ترمال، محدوده زواریان در گروه ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: سیالات درگیر، کانسار اپی‌ترمال، کانی‌سازی طلا، زواریان، ایران مرکزی

### پیشگفتار

انواع سولفید پایین، سولفید متوسط و سولفید بالا می‌باشند (لیندگرن، ۱۹۳۳). یکی از مناطق امیدبخش برای کانی‌سازی طلای نوع اپی‌ترمال در زون ایران مرکزی، در محدوده زواریان قم قرار دارد که در این مقاله به بخشی از نتایج مطالعات بدست آمده از این پژوهش می‌باشد. محدوده زواریان در ۶۰ کیلومتری جنوب‌باختر قم، و در زون زمین‌شناسی ایران مرکزی قرار دارد (شکل ۱). محدوده مورد بررسی در باختر و جنوب توسط دو دشت سلفچگان و راهبرد محدود شده و در بخش جنوب‌باختری آن کوه‌های زنبوره جای‌گرفته است. در باختر، رشته‌کوه‌هایی تقریباً با روند شمالی-جنوبی قرار می‌گیرند. در شمال محدوده تپه ماهورهای کم ارتفاع قرار دارند. رودخانه زواریان از بلافاصل غربی محدوده می‌گذرد.

کانسارهای اپی‌ترمال معمولاً در ارتباط با محیط‌های ماگمایی-گرمایی نزدیک به سطح زمین همراه با سنگ‌های ولکانیک مشاهده می‌شوند (جمل و سایمون، ۲۰۰۷). با توجه بررسی‌های صورت گرفته، عمق تشکیل آن‌ها کمتر از ۱/۵ کیلومتر و دمای تشکیل آن‌ها کمتر از ۳۰۰ °C است (جمل و سایمون، ۲۰۰۷). برخی بررسی‌های دیگر تغییرات دمایی °C ۱۵۰-۵۰ را برای تشکیل این تپه کانسارها در نظر گرفته‌اند (لیندگرن، ۱۹۰۷). کانسارهای اپی‌ترمال معمولاً از نوع کانسارهای غنی از طلا تا طلا-نقره و غنی از نقره هستند (هلد و همکاران، ۱۹۸۷؛ وایت و هدنکوئیست، ۱۹۹۰) و شامل



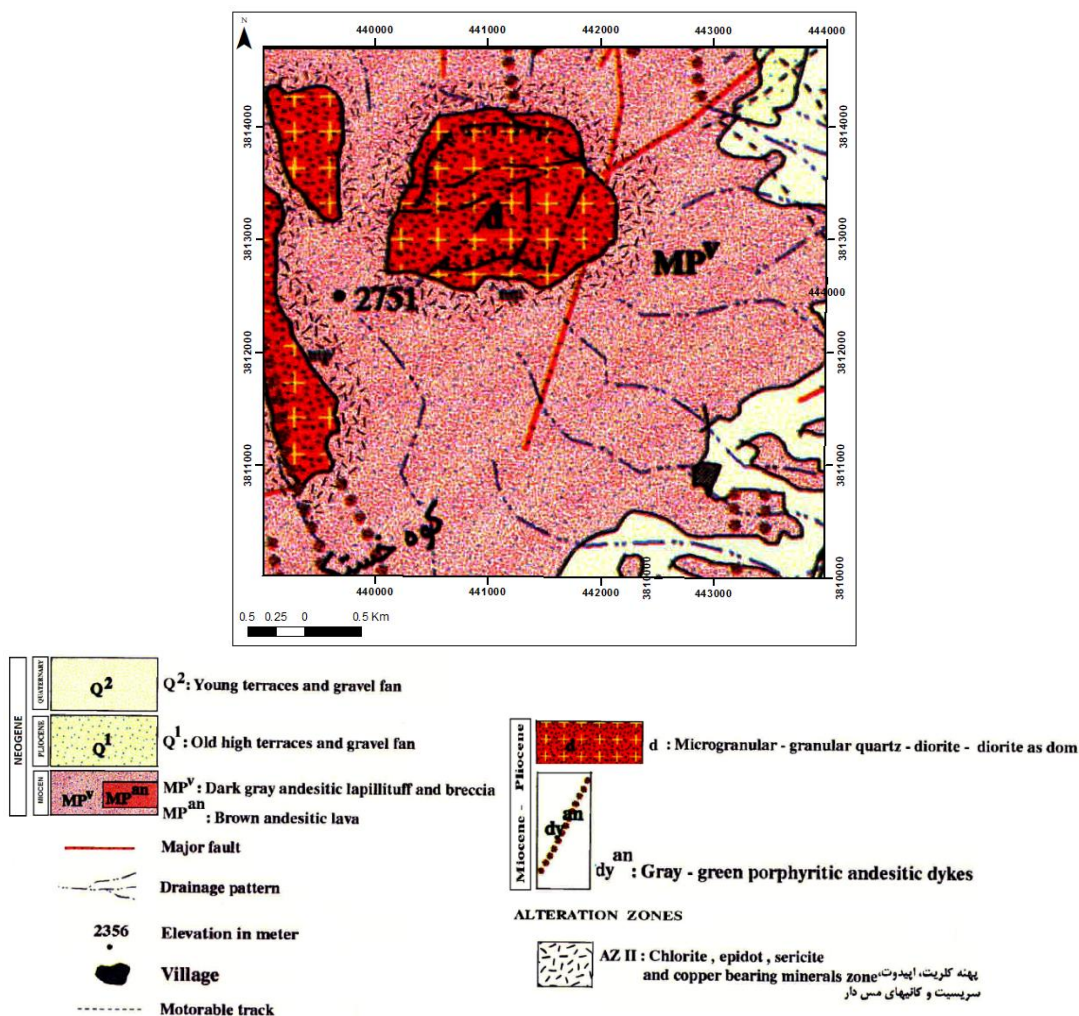
شکل ۱. موقعیت قرارگیری محدوده زواریان در استان قم روی نقشه راه‌های استان قم

#### زمین‌شناسی کانسار محدوده زواریان

ورقه سلفچگان که محدوده مورد بررسی بخشی از آن است، در پهنه ساختاری ایران مرکزی جای گرفته است (آقنابتی، ۱۳۸۳) (شکل ۲). با توجه به بررسی‌های صحرائی و مطالعات سنگ‌شناسی، بیشتر سنگ‌های محدوده را واحدهای آتشفشانی، آتشفشانی-رسوبی و توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی تشکیل می‌دهند (شکل ۱۰). واحدهای زمین‌شناسی اصلی محدوده مورد بررسی شامل واحدهای زیر است. واحد برشی میوسن-پلیوسن ( $MP^b$ ) در بخش میانی و جنوبی محدوده، بر روی واحد ولکانیکی-پیروکلاستیکی و برش ولکانیکی میوسن-پلیوسن ( $MP^{VPB}$ ) قرار گرفته است و توسط واحد ولکانیکی میوسن-پلیوسن پوشیده شده است (شکل ۳). این واحد متشکل از آندزیت، آندزیت بازالتی، داسیت، توف و سنگ‌های آذرآواری می‌باشد. این واحد برشی در بخش جنوبی محدوده توسط دایک‌های تیره‌رنگ با ترکیب آندزیت بازالتی قطع می‌گردد.

واحد ولکانیکی آندزیتی میوسن-پلیوسن ( $MP^{an}$ ) بیشتر در اطراف کالدرای خستک برونزد دارد (شکل ۲) و بر روی واحد برش ولکانیکی قرار می‌گیرد و خود توسط واحد ولکانیکی-پیروکلاستیکی ائوسن پوشیده می‌شود. این واحد معمولاً صخره‌ساز و ارتفاع‌ساز بوده و بیشتر

کانی‌سازی‌های محدوده در این واحد رخ داده است (شکل ۴). آبراهه‌های نسبتاً طویل و ۷ شکل در این واحدها وجود آمده است. در این بخش واحدهای پیروکلاستیکی رخنمون‌های کمی دارند. واحد ولکانیکی-پیروکلاستیکی میوسن-پلیوسن ( $MP^{VP}$ ) در خاور محدوده مورد بررسی برونزد دارد (شکل ۵). این واحد متشکل از آندزیت، آندزیت‌بازالت، توف و پیروکلاستیک می‌باشد. در بخش‌هایی از این واحد برش‌های آندزیتی مشاهده می‌گردند (بخش جنوب خاوری محدوده). این واحد دارای دگرسانی پیروپلیتی و بعضاً آرژیلیکی می‌باشد و در شکستگی‌ها اکسید آهن قابل تشخیص می‌باشد. این واحد بر روی واحدهای ولکانیکی-پیروکلاستیکی-برشی ائوسن قرار گرفته است. واحد آذرآواری میوسن-پلیوسن ( $MP^{PY}$ ) در شرق محدوده رخنمون دارد و بیشتر در کوهپایه‌های ارتفاعات سنگ‌های ولکانیکی ائوسن دیده می‌شود. این واحد بر روی واحد سنگی ولکانیکی میوسن-پلیوسن ( $MP^{an}$ ) قرار گرفته است و توسط واحد ولکانیکی-پیروکلاستیکی میوسن-پلیوسن ( $MP^{VP}$ ) پوشیده می‌شود و دارای دورنمای سبز تا خاکستری می‌باشد (شکل ۶). این واحد متشکل از پیروکلاستیک با قطعات آندزیت و آندزیت‌بازالت، توف و پیروکلاستیک در زمینه‌ای کاملاً دگرسان شده به کلریت و اپیدوت می‌باشد.



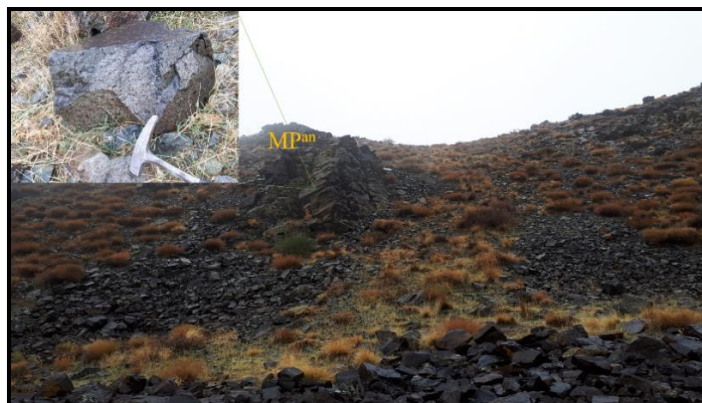
شکل ۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سلفچگان-خوره (علایی مهابادی، ۱۳۷۹)



شکل ۳. نمایی از رخنمون واحد برشی میوسن-پلیوسن ( $MP^b$ ) (دید به سمت شمال)

برش‌های ولکانیکی میوسن-پلیوسن ( $MP^b$ ) و ولکانیک‌های میوسن-پلیوسن ( $MP^{an}$ ) را قطع می‌نمایند (شکل ۸). این دایک‌ها توده‌های نفوذی را قطع نکرده‌اند، در نتیجه از توده‌های نفوذی قدیمی‌تر و از سری‌های آتشفشانی رسوبی میوسن-پلیوسن جوان‌تر می‌باشند. روند آن‌ها غالباً شمال خاوری-جنوب‌باختری می‌باشد.

سنگ‌های گرانودیوریتی-تونالیتی (gd-to) در محدوده مورد بررسی داخل سری‌های آذرآواری و آتشفشانی میوسن-پلیوسن نفوذ کرده‌اند. مهم‌ترین بروزند این توده‌های آذرین نفوذی در مرکز کالدرای خستک و در آتدره دیده می‌شود (شکل ۷). دایک‌های آندزیتی واحدهای آذرآواری و آتشفشانی میوسن-پلیوسن و



شکل ۴. نمایی از رخنمون واحد ولکانیکی آندزیتی میوسن- پلیوسن (MPan) (دید به سمت شمال)



شکل ۵. نمایی از واحد ولکانیکی پیروکلاستیکی میوسن- پلیوسن (MPVP) (دید به سمت شمال)



شکل ۶. نمایی از واحد پیروکلاستیکی میوسن- پلیوسن (MPPY) (دید به سمت شمال)



شکل ۷. نمایی از سنگ‌های گرانودیوریتی-تونالیتی (gd-to) (دید به سمت شمال)

معدنی ایران به کمک دستگاه Stage:THMS600 گرم‌کننده و منجمدکننده با مدل Linkam که بر روی میکروسکوپ ZEISS, Axioplan2, imaging نصب شده است صورت گرفت. دامنه حرارتی دستگاه 196- تا 600+ درجه سانتی‌گراد است. همچنین این دستگاه مجهز به دو کنترل گر، گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP)؛ مخزن ازت (برای پمپ نیتروژن برای انجماد) و مخزن آب (برای خنک کردن دستگاه در دمای بالا) است. برای کالیبراسیون دستگاه از استانداردهای زیر استفاده گردید. کالیبراسیون دستگاه با محدوده:

Heating:  $\pm 0.6$ , Freezing:  $\pm 0.2$

Heating: Cesium nitrate, melting point:  $+414^{\circ}\text{C}$

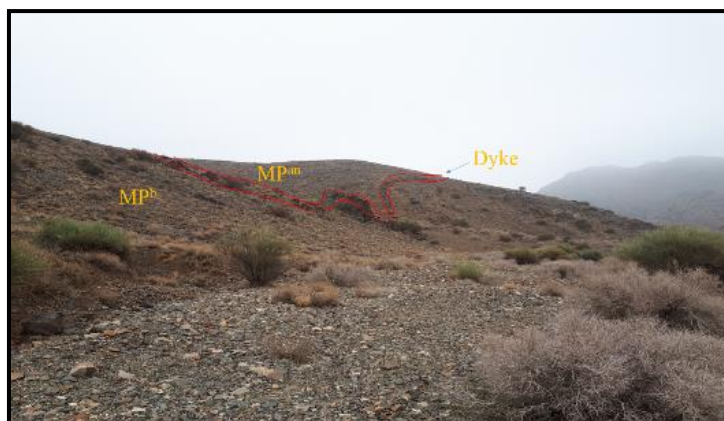
Freezing: n-Hexane, melting point:  $-94.3^{\circ}\text{C}$

کالیبراسیون Stage در گرمایش با دقت  $\pm 0.6$  درجه بوده که با نیترات سزیم (Cesium nitrate) و با نقطه ذوب 414 درجه سانتی‌گراد صورت پذیرفت و در انجماد با دقت  $\pm 0.2$  درجه و با ماده استاندارد آن - هگزان (n-Hexane) با نقطه ذوب  $-94.3$  درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.

دایک‌های داسیتی در بخش‌های میانی محدوده مورد بررسی گسترش دارند (شکل ۹). این دایک‌ها واحد ولکانیکی میوسن- پلیوسن و توده‌های نفوذی را قطع می‌نمایند. روند آن‌ها تقریباً شمالی- جنوبی می‌باشد و زون‌های کانه‌دار را همراهی می‌نمایند.

### مواد و روش‌ها

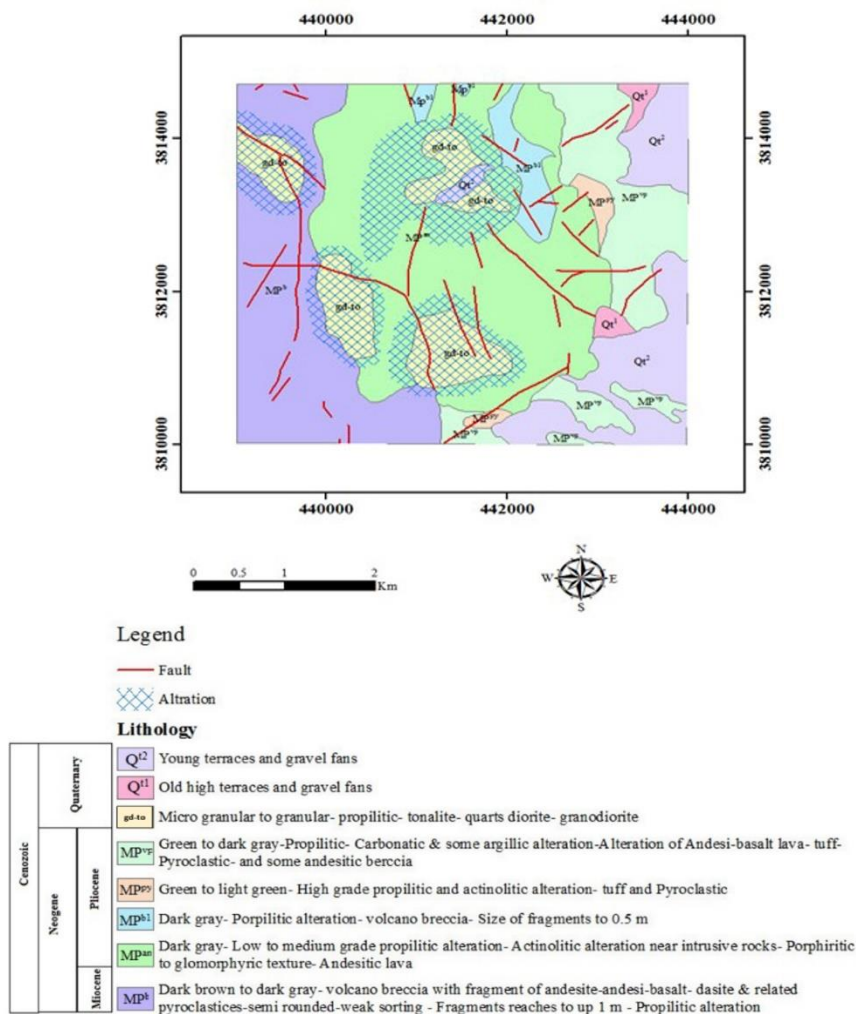
برای بررسی پتروگرافی سنگ‌های آذرین در محدوده، ۶۰ نمونه از رخنمون‌های سنگی، برای تهیه مقاطع نازک برداشت شد و در آزمایشگاه مقطع‌گیری دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، مقاطع تهیه گردید. برای مطالعات سیالات درگیر ۳ نمونه از کوارتزهای همراه کانی‌سازی برداشت گردید. نمونه‌های نهایی بعد از مطالعات پتروگرافی اولیه انتخاب شدند. سپس از آن‌ها مقاطع دوبر صیقل تهیه گردید. اندازه‌گیری‌های سیالات درگیر بر روی ۴۷ سیال‌درگیر اولیه در کانی‌کوارتز صورت پذیرفت. اندازه‌گیری پارامترهای دمایی سیالات درگیر در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد



شکل ۸. نمایی از دایک‌های آندزیتی، واحدهای آذر آواری و آتشفشانی میوسن- پلیوسن محدوده و برش‌های ولکانیکی میوسن- پلیوسن ( $\text{MP}^b$ ) و ولکانیک‌های میوسن- پلیوسن ( $\text{MP}^{\text{an}}$ ) را قطع می‌نمایند (دید به سمت شمال).



شکل ۹. نمایی از دایک‌های داسیتی (دید به سمت شمال).



شکل ۱۰. نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (عابدیان، ۱۳۸۹)

## بحث

### کانه‌زایی

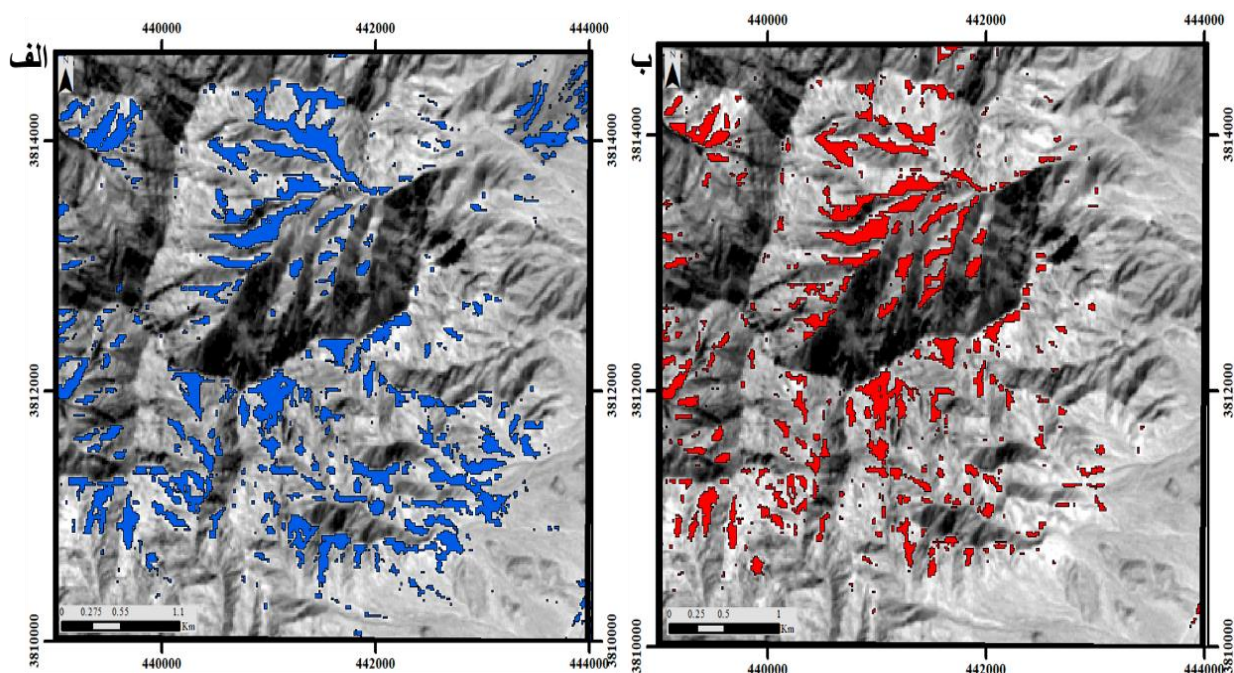
کانه‌زایی طلا در محدوده زواریان عمدتاً با پهنه‌های اکسید آهنی و سیلیسی با میزبان آندزیت و بازالتی آندزیت، همراه با رگه‌های کوارتز حفره‌دار و دگرسانی آرژیلیکی و آلونیتی شدن در ارتباط می‌باشد. دگرسانی‌های موجود در محدوده توسط مطالعات صحرایی، پتروگرافی و دورسنجی و روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های انتخابی در نرم‌افزار ENVI، مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۱). ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا معمولاً حاصل فعالیت سیستم‌های آتشفشانی-گرماپی هستند. سیالات کانه‌ساز مسئول تشکیل این ذخایر به شدت اسیدی بوده که این امر موجب دگرسانی گسترده در سنگ میزبان می‌شود. درجه نفوذپذیری سنگ میزبان، حرکت سریع‌تر سیال کانه‌ساز و در نتیجه نسبت بالای سیال به سنگ را سبب می‌شود و باعث نهشت ماده معدنی می‌شود. در محدوده

زواریان هر چند سنگ‌های آندزیتی و آندزیت‌بازالتی نفوذپذیری کمی داشته‌اند ولی افزایش نفوذپذیری ثانویه به علت رخداد گسلش و شکستگی‌های همراه آن‌ها با تشکیل رگه-رگچه‌های سیلیسی و برش‌ها نمود یافته‌اند که سطح تماس سنگ با سیال را بیشتر کرده و نسبت سیال به سنگ را افزایش داده است. همچنین نفوذپذیری بخش‌های برشی سنگ میزبان نفوذپذیری جریان سیالات تا فواصل دور از گسل تغذیه‌کننده را امکان‌پذیر ساخته و در نتیجه تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی و نهشت سیال گرمابی کانه‌دار را منجر شده است. واکنش سیالات سیلیسی با سنگ میزبان موجب جاننشینی سیال کانه‌دار در سنگ‌های میزبان و تشکیل زون سیلیسی می‌شود که این امر با افزایش عیار و تناژ طلا همراه است (تدور و جونز، ۲۰۰۹). گسل‌هایی با راستای شمال‌باختری- جنوب‌خاوری (شکل ۱۲) مانند گسل مهرآباد و اناربنه و شکستگی‌های همراه آن‌ها جایگیری توده‌های نفوذی

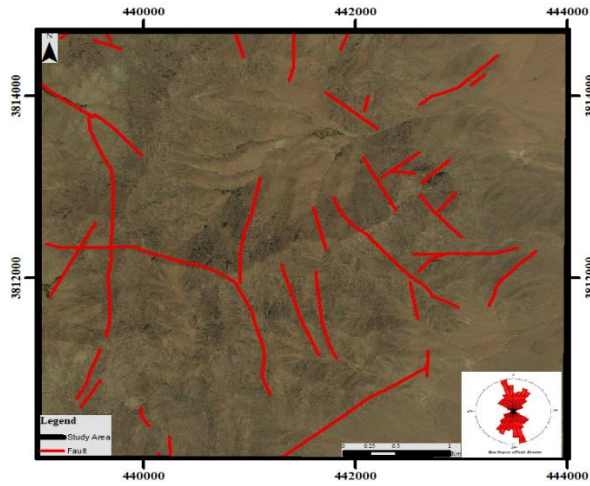
سریسیت و کانی رسی می‌باشند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۹). کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن نسبتاً فراوان هستند و اغلب در اثر اکسیداسیون پیریت تشکیل شده‌اند. هماتیت فراوان‌ترین کانی اکسیدی آهن می‌باشد. همراهی اکسید-هیدروکسیدهای آهن از نوع گوتیت و هماتیت با کانه‌زایی طلا از ویژگی‌های مهم محدوده می‌باشد. کلنه‌نگاری و پاراژنز محدوده زواریان از طریق رخنمون‌های سطحی، نقشه‌برداری صحرایی و مطالعات میکروسکوپی تعریف گردید. خلاصه‌ای از توالی پاراژنتیکی در شکل ۱۵ ارائه شده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته میانگین عیار عنصر طلا در محدوده مورد مطالعه  $1/36 \text{ ppm}$  می‌باشد که نسبت به میانگین پوسته زمین ( $0/07 \text{ ppm}$ )، ۱۹۴ برابر غنی‌تر شده است. بیشترین عیار طلا در زون کانی‌سازی  $10/76 \text{ ppm}$  می‌باشد. میانگین عیار عنصر نقره  $2/69 \text{ ppm}$  می‌باشد که نسبت به میانگین پوسته زمین ( $0/06 \text{ ppm}$ )، ۴۴/۸ برابر غنی‌تر شده است. میانگین عیار عنصر مس  $1236 \text{ ppm}$  می‌باشد و نسبت به میانگین پوسته زمین ( $30 \text{ ppm}$ )، ۴۰/۱۹ برابر غنی‌تر شده است. میانگین عیار عنصر آهن  $175707/9 \text{ ppm}$  می‌باشد و نسبت به میانگین پوسته زمین ۳/۵۱ برابر غنی‌تر شده است.

نیمه‌عمیق و دایک‌ها در محدوده زواریان را کنترل کرده‌اند. این گسل‌ها و شکستگی‌های همراه آن‌ها به عنوان معابری برای عبور و انتقال سیالات کانه‌ساز می‌باشد. شواهد صحرایی و رخداد ساخت و بافت‌های برشی و رگه-رگچه‌ای که در کانسنگ‌های سیلیسی مس-طلا دار مشاهده شده است، نشان از فشار هیدروستاتیک بیشتر سیال کانه‌دار نسبت به فشار لیتواستاتیک در زمان کانه‌زایی می‌باشد. همچنین آن‌ها با افزایش سطح واکنش سیال با سنگ میزبان بر سرعت نهشت کانه‌های فلزی از سیال تأثیرگذار می‌باشند. توده‌های گرانیتوئیدی از انواع گرانودیوریت، گرانیت و ربوداسیتی بوده که به صورت توده یا استوک در سنگ‌های آتش فشانی - رسوبی ائوسن نفوذ کرده‌اند.

کانه‌زایی در محدوده زواریان به صورت توده‌ای، دانه پراکنده و جان‌شینی در دایک‌های آندزیتی و داسیتی صورت گرفته است (شکل ۱۴). رگه‌های کوارتز حفره‌دار و دارای بافت استوکورکی همراه با این دایک‌های داسیتی مشاهده می‌شوند (شکل ۱۳-الف و ب). کانه‌های اصلی (به ترتیب فراوانی) شامل هماتیت، ماگنتیت، گوتیت، لیمونیت، پیریت، گالن، کالکوپیریت، کالکوسیت، ملاکیت و بورنیت و کانه‌های باطله شامل کوارتز، فلدسپار، کلریت،



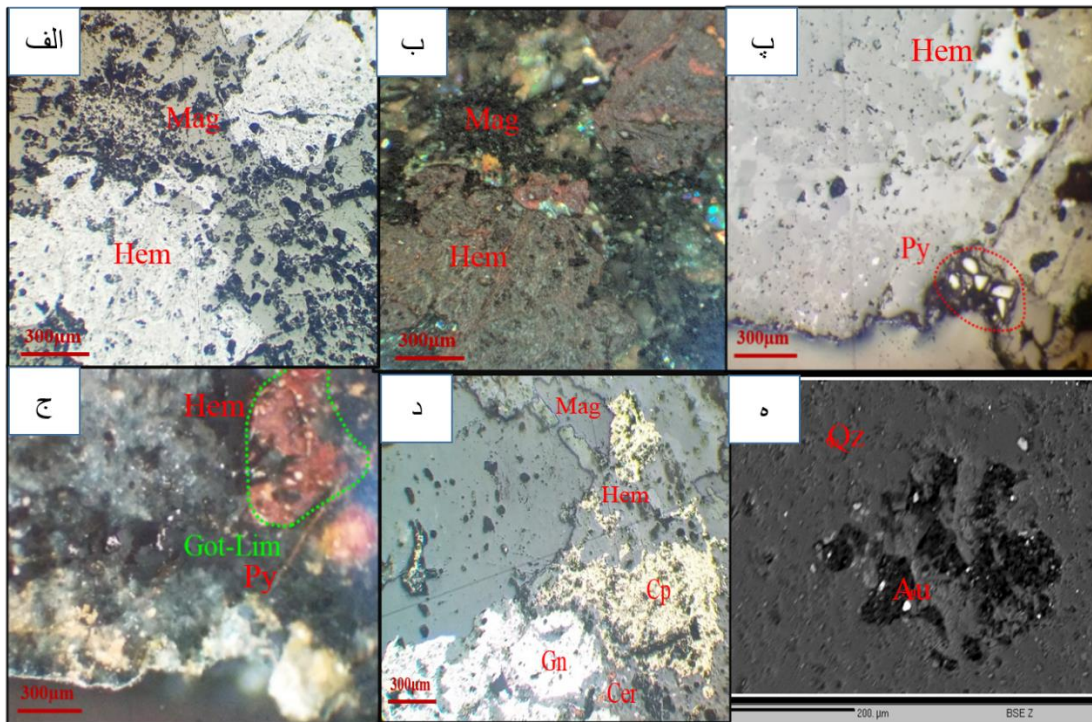
شکل ۱۱. الف) نقشه دگرسانی آرژبلیکی پیشرفته در محدوده زواریان با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های انتخابی در نرم‌افزار ENVI. و ب) نقشه بخش‌های آلونیتی شده در محدوده زواریان با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های انتخابی در نرم‌افزار ENVI.



شکل ۱۲. موقعیت و روند کلی گسل‌های محدوده مورد مطالعه (عابدیان، ۱۳۹۰)



شکل ۱۳. الف) کوارتز حفره‌دار و ب) رگه کوارتز حفره‌دار و همراهی آن با دایک‌های آندزیتی



شکل ۱۴. انواع ساخت و بافت ماده معدنی در محدوده مورد مطالعه، الف-ب) کانی هماتیت به صورت توده‌ای در دایک داسیتی (مقطع za-21)، پ-ج) کانی پیریت به صورت دانه پراکنده و گوتیت و لیمونیت به صورت بافت جانشینی در دایک آندزیتی (مقطع za-54)، د) کانی‌های گالن، سروزیت و کالکوپیریت در دایک آندزیتی (مقطع za-36)، ه) کانی طلا در مطالعات SEM. تصاویر الف، ب و د در نور XPL و تصاویر ب و ج در نور PPL مطالعه شده است. پیریت (Py)، هماتیت (Hem)، گوتیت (Got)، لیمونیت (Lim)، گالن (Gn)، کالکوپیریت (Cp)، سروزیت (Cer)، کوارتز (Qz)، طلا (Au).



Minerals	Hypogene Stage		Supergene Stage
	First Stage	Secend Stage	
Galena		████████	
Pyrite		████████	
Chalcopyrite	████████		
Bornite			████████
Magnetite	████████		
Hematite		████████	
Malachite			████████
Chalcocite			████████
Quartz	████████	████████	
Feldspar	████████	████████	
Chlorite			████████
Sericite			████████
Kaolinite			████████
Fe-hydroxides			████████

شکل ۱۵. نمودار توالی پاراژنزی کانی‌سازی در محدوده زواریان

## ریزدماسنجی سیالات درگیر

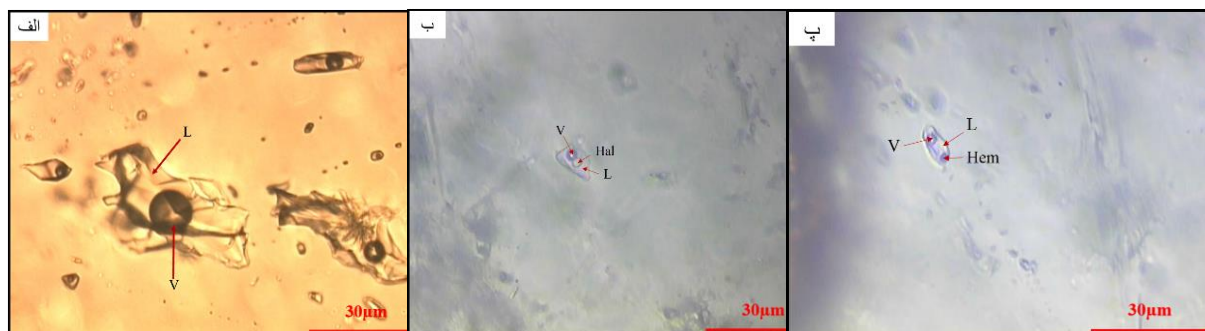
هر مجموعه سیال درگیر، گروهی از سیالات درگیر را نشان می‌دهد که همگی در زمان مشابهی به تله افتاده‌اند و بنابراین شرایط فیزیکی و شیمیایی سامانه در زمان به تله افتادن را مشخص می‌نمایند، البته با فرض اینکه سیالات دچار تعادل مجدد نشده‌اند (معانی‌جو، ۱۳۹۵؛ بدینار، ۲۰۰۳؛ گلدستین و رینولدز، ۱۹۹۴). براساس ماهیت روابط فازی در دمای اتاق و تغییر حالت در طول

گرم و سردشدن، سه نوع سیال درگیر در نمونه‌های منتخب برای کوارتز مطالعه شده تشخیص داده شد. این سیالات شامل تیپ دوفازی غنی از مایع (L+V)، تیپ سه‌فازی (L+V+Ha) و تیپ سه‌فازی (L+V+S(Hem?)) است (جدول ۱، شکل ۱۶). سیالات درگیر مختلف در کانی‌های کوارتز براساس ویژگی‌های پتروگرافی آن‌ها برای ریزدماسنجی انتخاب شدند. ریزدماسنجی سیالات درگیر براساس مشاهده و تشخیص تغییرات فازی سیال درگیر طی مراحل سرمایش و گرمایش صورت پذیرفته است.

جدول ۱. ویژگی‌های نمونه‌های انتخاب شده کوارتز محدوده زواریان برای مطالعات سیالات درگیر

شماره نمونه	کانی میزبان	نوع سیال درگیر	شکل	اندازه (μm)	چگالی
ZV-1-38	کوارتز	L+V	نامنظم	۱۵-۶	۰/۹۴ - ۰/۷۸
ZV-1-38	کوارتز	L+V+Ha	نامنظم	۱۷-۸	۱/۱۶ - ۰/۹۷
ZV-1-38	کوارتز	L+V+S(Hem?)	نامنظم	۱۵	۰/۸۱
ZV-72	کوارتز	L+V	نامنظم	۳۸-۵	۰/۹۶ - ۰/۷۲

علائم اختصاری: μm: میکرومتر، L+V: دوفازی غنی از مایع، L+V+Ha: سه‌فازی دارای فاز جامد نمک، L+V+S(Hem?): سه‌فازی دارای فاز جامد (احتمالاً هماتیت).



شکل ۱۶. تصاویر میکروسکوپی (دمای اتاق و نور عبوری صفحه‌ای) از میانبرهای سیال اولیه، الف) تیپ دوفازی غنی از مایع (L+V)، ب) تیپ سه‌فازی (L+V+Ha) و پ) تیپ سه‌فازی (L+V+S(Hem?))، L=Liquid, V=Vapor, Hal=Halite, Hem=Hematite.

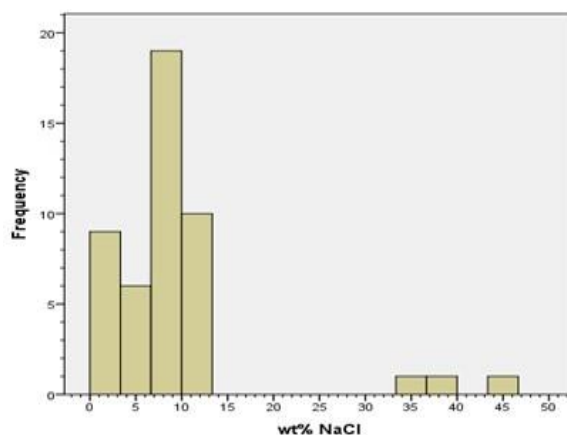
## سرمایش

برای به‌دست آوردن درجه شوری سیالات درگیر، سیالات سرد و منجمد شدند. پس از انجماد کامل، دما با یک روند یکنواخت افزایش داده شد تا یخ شروع به ذوب نمود. دمای ظهور اولین قطره مایع یا اولین دمای ذوب یخ را دمای یوتکتیک<sup>۱</sup> ( $T_e$ ) می‌نامند که ارتباط مستقیمی با نوع نمک‌ها و کاتیون‌های موجود در سیال دارد. با ادامه گرمایش و ذوب بلورهای یخ، دمای ذوب آخرین بلور یخ را دمای ذوب نهایی یخ ( $T_{mice}$ ) می‌نامند که نشان‌دهنده میزان شوری سیال است (معانی‌جو، ۱۳۹۵). مطالعات سرمایش سیالات درگیر در کانی‌کوارتز نشان می‌دهد که به‌طور کلی دمای یوتکتیک سیالات درگیر در کوارتز بین ۲۱- تا ۳۰- درجه سانتی‌گراد تغییر می‌نماید. درجه شوری سیالات درگیر در کوارتز بین ۰/۸۷ تا بیش از ۴۴/۰۶ درصد وزنی معادل کلرید سدیم (wt% NaCl) تغییر می‌نماید

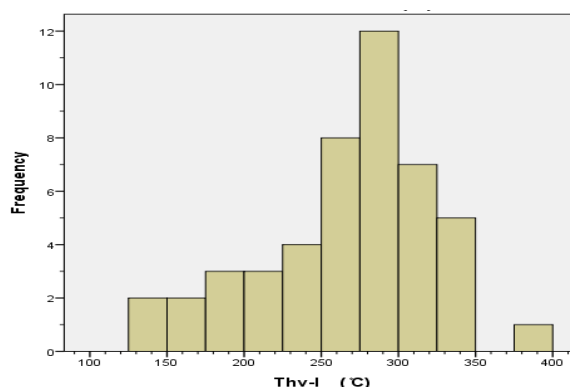
(جدول ۲). سیالات درگیر با درجه شوری بین ۷ تا ۱۰ بیش‌ترین فراوانی را در کانی‌کوارتز دارند (شکل ۱۸).

## گرمایش

با گرمایش سیالات درگیر، دمای همگنی ( $T_h$ ) سیالات درگیر به‌دست می‌آید که به‌عنوان کمینه دمای به‌دام افتادن سیال درگیر یا تشکیل بلور میزبان در نظر گرفته می‌شود (ویلکینسون، ۱۹۹۶). طی گرمایش سیال، فازهای مختلف تشکیل‌دهنده سیالات درگیر بر حسب نسبت فاز بخار به فاز مایع، به یکی از دو فاز بخار یا مایع همگن می‌شوند. نتایج مطالعات گرمایش سیالات درگیر در کوارتز نشان‌دهنده دمای همگنی به فاز مایع بین ۱۳۸ و ۲۶۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشند (جدول ۲). در نمودار توزیع فراوانی سیالات درگیر مطالعه شده در نمونه‌های محدوده زواریان، سیالات درگیر با درجه همگنی ۲۷۵-۳۰۰، بیش‌ترین فراوانی در بین سیالات درگیر موجود در کوارتز را دارند (شکل ۱۹).



شکل ۱۸. فراوانی درجه شوری سیالات درگیر اولیه در کانی‌های کوارتز در محدوده زواریان



شکل ۱۹. فراوانی درجه همگنی در سیالات درگیر کوارتزهای محدوده زواریان

<sup>1</sup> Eutectic

جدول ۲. نتایج مطالعات ریزدماسنجی بر روی سیالات درگیر اولیه در کانی‌های کوارتز محدود زواریان

n	Size (µm)	نوع	Te	Tmice (°C)	wt% NaCl	Density gr/cm <sup>3</sup>	Thv-l (°C)	TmHalite
1	15	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-3	4.96	0.825	260	
2	7	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-3.5	5.71	0.823	267	
3	8	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-1.1	1.91	0.792	262	
4	11	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-1.5	2.57	0.800	261	
5	6	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-1	1.74	0.785	265	
6	10	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-1.5	2.57	0.949	138	
7	15	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-2	3.39	0.867	220	
8	10	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-2.8	4.65	0.847	243	
9	15	L+V+S(Hem)	-۳۰ تا -۲۱	-2.5	4.18	0.810	265	
10	17	L+V+Ha	-۳۰ تا -۲۱	....	34.89	0.973	383	254
11	8	L+V+Ha	-۳۰ تا -۲۱		44.07	1.161	286	360
12	15	L+V+Ha	-۳۰ تا -۲۱		37.01	1.043	335	285
1	12	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-0.6	1.05	0.938	140	
2	11	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-1	1.74	0.871	207	
3	5	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-7	10.49	0.920	224	
4	6	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-7.2	10.73	0.921	225	
5	37	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-6	9.21	0.898	234	
6	9	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-0.6	1.05	0.905	174	
7	12	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-0.5	0.88	0.889	187	
8	17	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-0.5	0.88	0.899	178	
9	27	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-5.5	8.55	0.969	162	
10	26	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-5.5	8.55	0.945	186	
11	7	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-5	7.86	0.869	248	
12	17	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-5.8	8.95	0.828	286	
13	12	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-4.5	7.17	0.723	339	
14	13	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-3.5	5.71	0.781	294	
15	8	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-5	7.86	0.790	304	
16	15	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-5	7.86	0.774	314	
17	7	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-5.5	8.55	0.773	320	
18	11	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-9	12.85	0.833	312	
19	9	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-9	12.85	0.836	310	
20	11	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-6.5	9.86	0.839	285	
21	12	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-9	12.85	0.865	288	
22	12	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-9	12.85	0.868	285	
23	11	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-6.5	9.86	0.822	297	
24	6	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-6	9.21	0.822	292	
25	9	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-6.2	9.47	0.828	290	
26	10	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-9	12.85	0.895	263	
27	10	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-8.5	12.28	0.809	325	
28	10	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-6.5	9.86	0.863	267	
29	12	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-5.6	8.68	0.834	280	
30	11	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-5.5	8.55	0.800	302	
31	18	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-6	9.21	0.805	304	
32	17	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-7	10.49	0.837	291	
33	10	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-7.5	11.10	0.792	327	
34	10	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-5.5	8.55	0.760	328	
35	9	L+V	-۳۰ تا -۲۱	-6	9.21	0.829	287	

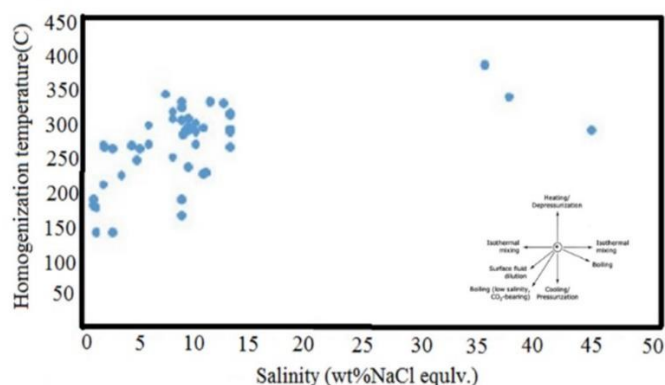
Te دمای یونکتیک، Tmice دمای ذوب نهایی یخ، wt% NaCl درصد وزنی معادل نمک، Thv-l: دمای همگنی سیالات درگیر به فاز مایع، µm: میکرومتر، °C: درجه سانتی‌گراد، g/cm<sup>3</sup>: گرم بر سانتی‌متر مکعب، L+V: دو فاز غنی از مایع، nv: نامشخص

فرایندهای رقیق‌شدگی، اختلاط و احتمالاً جوشش سازگار است. در این نمودار روندها نشان‌دهنده فرایند آمیختگی و رقیق‌شدگی و جوشش حین تحول سیال گرمایی هستند (هدنکوپست، ۱۹۹۶؛ نش، ۱۹۷۶) (شکل ۲۰). چگالی سیالات درگیر مطالعه شده در محدوده زواریان، برای

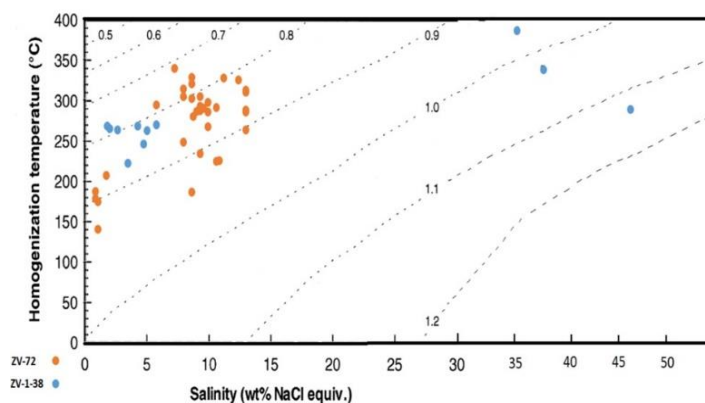
روند تحول سیال کانه‌ساز در محدوده زواریان بر اساس نمودار تغییرات دمای همگن‌شدگی در برابر شوری در شکل ۱۳ ارائه شده است. این نمودار روندی از اختلاط یک سیال گرمایی با شوری و دمای بالاتر را با سیالی با دما و شوری پایین‌تر نشان می‌دهد که با ترکیبی از

۲۶۶/۳۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین درجه شوری سیالات درگیر در کوارتز ۱۰/۴ درصد وزنی معادل کلرید سدیم (wt% NaCl) می‌باشد. طبق نمودار (هس، ۱۹۷۱) برای محاسبه حداقل عمق به دام افتادن میانبرهای سیال در محدوده مورد مطالعه حدوداً ۹۰۰ متر برآورد شده است (شکل ۲۲).

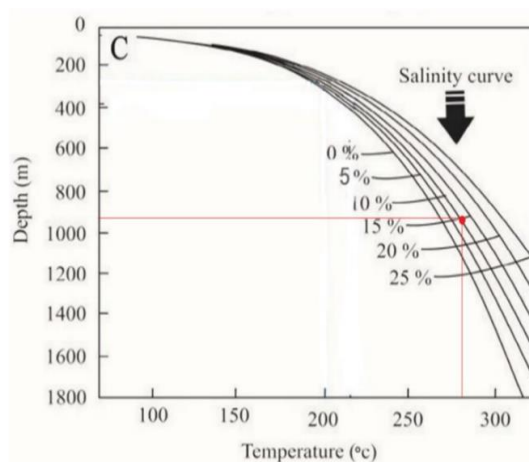
میانبرهای سیال در کوارتز، در دامنه ۰/۷۲ تا ۱/۱۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) قرار دارند (جدول ۲). دما عامل اصلی تعیین‌کننده چگالی سیال‌ها است، (شفرده، ۱۹۸۵؛ نش، ۱۹۷۶) در نمودار تغییرات چگالی در برابر دمای همگنی، در بیشتر نمونه‌ها روند کاهش تقریبی چگالی با کاهش دما مشاهده می‌شود (شکل ۲۱). میانگین دمای یوتکتیک سیالات درگیر در کوارتز



شکل ۲۰. نمودار شماتیک برای نمایش تحولات اعمال شده بر محلول‌های گرمایی با استفاده از دمای همگن‌شدگی در مقابل شوری (هدنکوئیست، ۱۹۹۶).



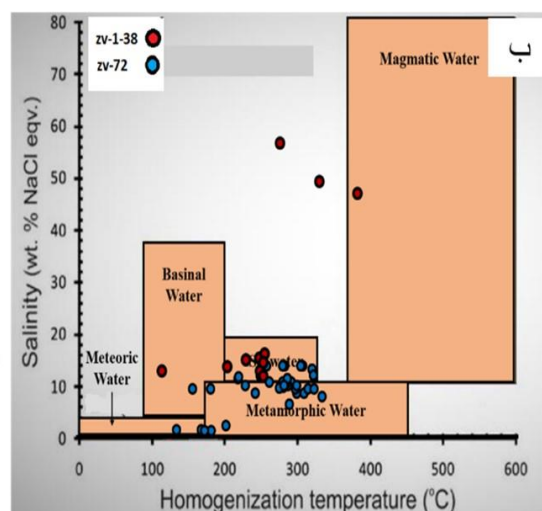
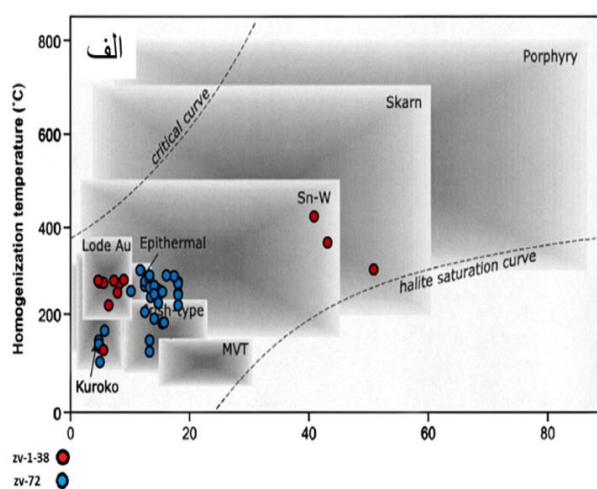
شکل ۲۱. نمودار تغییرات چگالی در برابر دما و شوری برای سیالات درگیر دوفازی غنی از مایع در کانی‌های کوارتز محدوده زواریان. چگالی محلول‌های NaCl اشباع از بخار برحسب  $\text{gr}/\text{cm}^3$  می‌باشد (هدنکوئیست، ۱۹۹۶).



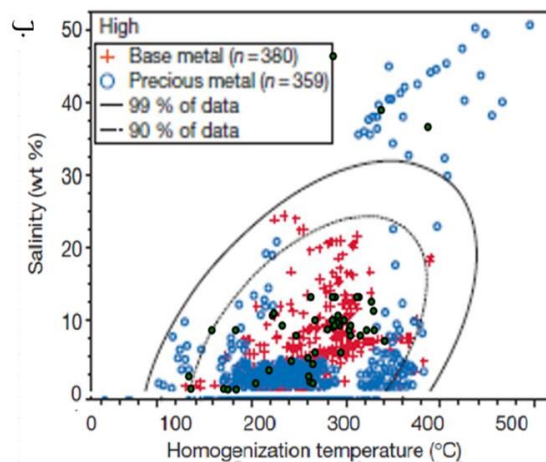
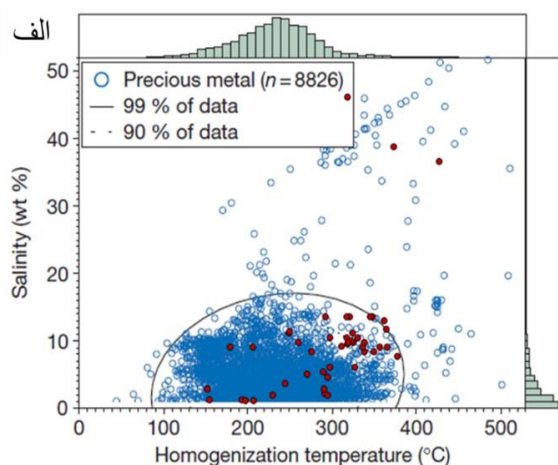
شکل ۲۲. نمودار (هس، ۱۹۷۱) برای محاسبه حداقل عمق به دام افتادن میانبرهای سیال بر اساس دما

گرمایی اولیه با منشأ ماگمایی با سیالات دگرگونی و جوی برای سیال تحول یافته می‌باشد. معمولاً کانسارهای اپی‌ترمال در عمق کمتر از ۱/۵ کیلومتری و دمای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند (لیندگرن، ۱۹۳۳). بر اساس مطالعات (ون و همکاران، ۲۰۱۵؛ منکادا و همکاران، ۲۰۱۲) و مطالعات صورت گرفته بر روی ۱۴۵ کانسارهای طلای اپی‌ترمال، نتایج حاصل از بررسی محدوده زواریان، بر روی نمودارهای شکل ۱۸ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲۴ داده‌های سیالات درگیر در محدوده زواریان در بخش طلای اپی‌ترمال نوع سولفید زیاد قرار می‌گیرد.

بر مبنای مدل‌های ارائه شده توسط (هدنکوئیست، ۱۹۹۶؛ کسلر و همکاران، ۱۹۹۷) که بر مبنای شوری و دمای همگن‌شدگی سیالات است، می‌توان محیط‌های مختلف کانی‌سازی و زمین‌شناختی را از یکدیگر تفکیک کرد. بر این اساس شوری و دمای همگن‌شدگی سیالات درگیر از کوارتزهای محدوده زواریان در نمودار ویلکینسون (هدنکوئیست، ۱۹۹۶) (شکل ۲۳-الف) و نمودار کسلر (کسلر و همکاران، ۱۹۹۷) ترسیم شد (شکل ۲۳-ب). بر مبنای نمودار ویلکینسون داده‌های محدوده در محدوده کم‌دما و طلای رگه‌ای ترسیم شده‌اند. همچنین ترسیم این داده‌ها در نمودار کسلر نشان‌دهنده اختلاط سیال



شکل ۲۳. الف) محدوده دمای همگن‌شدگی - شوری میانبارهای سیال در کانسارهای گوناگون (هدنکوئیست، ۱۹۹۶)، میانبارهای سیال محدوده زواریان در بخش اپی‌ترمال قرار می‌گیرند. و ب) محدوده دمای همگن‌شدگی - شوری میانبارهای سیال برای منشأهای مختلف سیال در تشکیل کانسارها (کسلر و همکاران، ۱۹۹۷)، میانبارهای سیال محدوده زواریان در بخش آب جوی، دگرگونی و ماگمایی قرار می‌گیرند.



شکل ۲۴. الف) محدوده دمای همگن‌شدگی - شوری میانبارهای سیال در ۱۴۵ کانسار طلای اپی‌ترمال (منکادا و همکاران، ۲۰۱۲)، میانبارهای سیال محدوده زواریان با ۹۹٪ داده‌های حاصل هم‌خوانی دارد (نقاط نارنجی)، و ب) محدوده دمای همگن‌شدگی - شوری میانبارهای سیال در ۱۴۵ کانسار طلای اپی‌ترمال (منکادا و همکاران، ۲۰۱۲)، میانبارهای سیال محدوده زواریان با ۹۹٪ داده‌های حاصل که نشان‌دهنده طلای سولفید بالا هستند هم‌خوانی دارد (نقاط سبز).

## ویژگی‌های کانی‌سازی طلا در محدوده زواریان

به منظور بررسی و مقایسه دقیق ویژگی‌های کانی‌سازی طلا در محدوده زواریان، مشخصاتی نظیر سنگ و کانی میزبان، دگرسانی، داده‌های آنکلوژیون سیال این محدوده با سایر کانسارهای اپی‌ترمال سولفید زیاد مقایسه گردید (جدول ۳). همان‌طور که ویژگی‌های کانی‌سازی طلا در محدوده زواریان نشان می‌دهد، این کانی‌سازی بیش‌ترین شباهت را با ویژگی‌های کانسارهای اپی‌ترمال سولفید زیاد از نظر سیالات میان‌بار، کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمیایی و پدیده‌هایی مثل همراهی با رگه‌های کوارتز حفره‌دار نشان می‌دهد. مهم‌ترین ویژگی‌هایی که می‌توان برای تایید این نوع کانی‌سازی بر شمرده شامل موارد زیر است. همان‌طور که در منابع علمی متعدد برای ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا شاخصه‌های زیر معرفی شده‌اند (هدنکوپیست، ۲۰۰۳؛ سایمونز و همکاران، ۲۰۰۵). چنین شواهدی در نمونه‌های مورد بررسی محدوده زواریان از جمله موارد زیر نیز مشاهده شد.

- وجود کانی‌های مس دما بالا مانند کالکوپیریت، بورنیت و انارژیت

- پاراژنز عنصری مس-طلا-آرسنیک (نقره-سرب)  
- وجود دگرسانی آرژیلیکی پیشرفته و آلونیتی همراه با کانی‌زایی  
- نبود باطله کربناتی همراه کانی‌سازی فلزی  
- وجود سیلیس بازمانده<sup>۱</sup> به صورت کوارتز حفره‌ای<sup>۲</sup>  
- دارای شکل ماده معدنی به صورت جان‌شینی، برشی و رگه-رگچه‌ای  
- ترکیب سیال‌های گرمابی از نوع اکسیدی و اسیدی (بیشتر ماگمایی).  
همچنین نتایج تجزیه سیالات درگیر یک گستره دمایی و شوری متوسط تا کم با منشاء ماگمایی اختلاط یافته با سیالات دگرگونی و جوی را برای این سیالات گرمابی نشان می‌دهد. همچنین این تیپ کانسارها معمولاً در عمق کمتر از ۱/۵ کیلومتری و دمای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند. چنین ویژگی‌هایی در سیالات درگیر مطالعه شده از سایر کانسارهای مشابه مثل گلوچه (شمال زنجان)، خلیفه‌لو (شمال خرمدره)، توزلار (شمال باختر ماه‌فشان) نیز مشاهده می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه ویژگی‌های کانی‌سازی طلا در محدوده زواریان، با سایر کانسارهای اپی‌ترمال سولفید زیاد

ویژگی‌های شاخص	گلوچه (شمال زنجان)	خلیفه‌لو (شمال خرمدره)	توزلار (شمال باختر ماه‌فشان)	زواریان (جنوب باختر قم)
سنگ میزبان و همراه	آندزیت، داسیت، ریوداسیت، تراکی آندزیت	آندزیت، کوارتز مونزونیت	آندزیت	آندزیت، آندزیت بازالت
سن سنگ میزبان	ائوسن-الیگوسن	ائوسن	میوسن زیرین	میوسن-پلیوسن
کانی‌شناسی کانسنگ	ماگنتیت، هماتیت، کالکوپیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت، پیریت، هیدرواکسیدهای آهن	کالکوپیریت، بورنیت، طلای آزاد، پیریت، کوولیت	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کوولیت، کالکوسیت، گالن، اسفالریت	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، هماتیت، ماگنتیت، گالن، مالاکیت، کالکوسیت، هیدرواکسیدهای آهن، طلای آزاد
کانی‌های باطله	کوارتز، کلسیت	کوارتز، آلونیت به مقدار کم	کوارتز، کلسیت، اکسید آهن	کوارتز، کلسیت
دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی	پروپلیتیک، آرژلیک حدواسط، سریسیتی، سیلیسی، آلونیتی، کلریتی	سیلیسی، کلریتی، آرژیلیکی	پروپلیتیک، آرژیلیک، فیلیک، سریسیتی، سیلیسی	آرژیلیکی پیشرفته، سیلیسی، آلونیتی، کلریتی، اپیدوتی (پروپلیتیک)
دما و شوری عمق کانی‌سازی	Th=180-250°C Salinity=17 (Wt%NaCl) 400-600m	Th=159-293°C Salinity=14-19.3 (Wt%NaCl)	Th=149-253°C Salinity=1-19.3 (Wt%NaCl)	Th=138-383°C Salinity=0.87-44.06 (Wt%NaCl) 900m
منبع	طالع فاضل (۱۳۸۹)	مغفوری (۱۳۹۴) و اسماعیلی (۱۳۹۶)	حیدری (۱۳۹۲)	پژوهش حاضر

## نتیجه‌گیری

بخش اصلی کانی‌سازی طلا در محدوده زواریان در دایک‌های آندزیتی و آندزیت‌بازالتی تشکیل شده است. کانه‌زایی طلا عمدتاً به صورت رگه-رگچه‌ای، برشی و

پراکنده همراه با دگرسانی‌های آرژیلیکی پیشرفته، آلونیتی‌شدن، پروپلیتیک، سریسیتی، سیلیسی و اکسید آهن رخ داده است. رگه‌های کوارتز حفره‌ای همراه با دایک‌های کانه‌دار مشاهده می‌شوند. ماگنتیت، هماتیت و

<sup>1</sup> residual<sup>2</sup> Vuggy quartz

## منابع

ابراهیمی، س (۱۳۸۸) مطالعات کانی‌شناسی و میان‌باره‌ای سیال ذخیره طلای اپی‌ترمال شرف‌آباد، شمال باختر ایران. فصلنامه علوم‌زمین، شماره ۷۱، ص ۱۵۴-۱۴۹.

اشرف‌پور، ا (۱۳۸۶) ویژگی‌های ژئوشیمیایی، کانی‌شناسی و دگرسانی محدوده طلای ارغش، جنوب غرب نیشابور، شمال شرق ایران. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم‌زمین.

راستاد، ا، تاج‌الدین، ح، رشیدنژاد عمران، ن، باباخانی، ع (۱۳۷۹) خاستگاه و پتانسیل طلا-مس در محدوده معدنی دارستان-باغو (جنوب دامغان). فصلنامه علوم‌زمین، شماره ۳۵-۳۶، ص ۷۹-۶۰.

صادقی، س، یزدی، م (۱۳۹۹) ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی کانی‌سازی طلا در محدوده زواریان، جنوب غرب قم، مرکز ایران. دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران.

صادقی، س، یزدی، م (۱۳۹۹) شناسایی و تفکیک زون‌های آلتراسیون مرتبط با کانی‌زایی طلا با استفاده از سنجش از دور در محدوده زواریان، جنوب غرب قم، مرکز ایران. سی و نهمین کنگره ملی و چهارمین کنگره بین‌المللی علوم زمین. عابدیان، ی (۱۳۹۰) گزارش اکتشاف طلا در ورقه یکصد هزارم سلفچگان استان قم، محدوده زواریان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۴۵ ص.

عابدیان، ی (۱۳۸۹) پی‌جویی و پتانسیل‌یابی مواد معدنی به همراه تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰ سلفچگان-محدوده زواریان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۵ ص.

علی‌محمدی، م (۱۳۸۹) شناسایی کانی‌های دگرسانی گرمایی (هیدروترمال) و بخش‌های سیلیسی همراه با کانه‌زایی در ناحیه طلادار هیراد (جنوب بیرجند) با استفاده از داده‌های سنجنده استر. فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۷، ۷۰ ص.

مهابادی، ر (۱۳۹۹) جنبه‌های کانی‌شناختی، زمین‌شیمیایی و زایشی کانی‌سازی کانسار مس آبگاره؛ نمونه‌ای از کانسارهای مس رگه. فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۶۶، ص ۹۹-۱۱۰.

معانی‌جو، م (۱۳۹۵) سیستماتیک‌های سیالات درگیر در کانی‌های دیاژنتیک (ترجمه گلداستاین و رینولدز). انتشارات دانشگاه بوعلی‌سینا، ۲۹۲ ص.

هیدروکسیدهای آهن مهم‌ترین کانه‌های میزبان طلا هستند. همچنین در مطالعه مقاطع صیقلی کانی‌های کالکوپریت و بورنیت مشاهده گردید. تجزیه نمونه‌های کانسنگ نشان می‌دهد که عیار میانگین طلا ۱/۳۶ پی‌پی‌ام می‌باشد. کانه‌زایی در این محدوده عمدتاً در ارتباط با گسلش عادی به‌عنوان معبر سیالات کانه‌زا بوده است. بنابراین ارتباط ژنتیکی بین سیالات با ماگماتیسم و زمین‌ساخت در محدوده وجود دارد. به منظور تعیین ویژگی‌های سیالات کانه‌ساز، میان‌باره‌های کانی‌های کوارتز همراه با کانی‌سازی طلا مورد تجزیه قرار گرفتند. ضمن مطالعه سه تیپ سیالات درگیر تشخیص داده شد. این سیالات درگیر از تیپ دوفازی غنی از مایع (L+V)، تیپ سه‌فازی (L+V+Ha) و تیپ سه‌فازی (L+V+S(Hem?)) تشکیل شده‌اند. نتایج این تجزیه‌ها نشان داد که شوری سیالات درگیر در کانی‌های کوارتز بین ۰/۸۷ تا ۴۴/۰۶ درصد وزنی معادل نمک‌طعام تغییر می‌نماید. همچنین نتایج اندازه‌گیری گرمایش سیالات درگیر نشان داد که دمای همگنی در کانی‌های کوارتز بین ۱۳۸ تا ۳۸۳ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند. بر مبنای نمودار ویلکینسون داده‌های محدوده در محدوده کم دما و طلای رگه‌ای ترسیم شده‌اند. همچنین ترسیم این داده‌ها در نمودار کسلر نشان‌دهنده اختلاط سیال گرمایی اولیه با منشأ ماگمایی با سیالات دگرگونی و جوی برای سیال تحول یافته می‌باشد. داده‌های ژئوشیمیایی، کانی‌شناسی، دگرسانی، انکلوزیون سیال نظیر وجود کانی‌های مس دما بالا مانند کالکوپریت، بورنیت، پاراژنز عنصری مس-طلا-آرسنیک (نقره-سرب)، وجود دگرسانی آرژیلیکی پیشرفته و آلونیتی همراه با کانی‌زایی، نبود کانی باطله کربناتی، کوارتز حفره‌ای، کانی‌سازی بصورت صورت جانشینی، برشی و رگه-رگچه‌ای نشان می‌دهد که کانی‌سازی طلا در محدوده زواریان از نوع کانسارهای اپی‌ترمال سولفید زیاد می‌باشد.

## تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شده است. نویسندگان مقاله از حمایت‌های بی‌دریغ مدیران و کارشناسان آن سازمان تشکر قدردانی می‌نمایند. همچنین از مدیران و کارشناسان مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به‌خاطر حمایت‌های اداری، مالی و فنی از این پژوهش قدردانی می‌گردد.

Bodnar, R. J (2003) Re-equilibration of fluid inclusions: In I. Samson, A. Anderson, & D. Marshall, eds. Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation: Mineralogical Association of Canada. Short Course Series, 32: 213-230.

Bodnar, R. J (2003) Introduction to fluid inclusions, In: Fluid inclusion-analysis and interpretation. I. Samson A. Anderson D. Marshall.

- Schneider, H. J., Lehmann, B (1977) Contribution to a new genetical concept on the Bolivian tin province. *Time and Strata-bound Ore Depositst*, Springer, Berlin, 153-168.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H., Alderton, D. H. M (1985) *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*, lasgow and London (Blackie), 239p.
- Sillitoe, R. H., Steele, G. B., Thompson, J. F. H., Lang, J. R (1998) Advanced argillic lithocaps in the Bolivian tin-silver belt. *Mineralium Deposita*, 33-539.
- Simmons, G., Gosalia, D. N., Rennekamp, A. J., Reeves, J. D., Diamond, S. L., Bates, P (2005) Inhibitors of cathepsin L prevent severe acute respiratory syndrome coronavirus entry *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102: 11876-11881.
- Theodore, T. G., Jones, G. M (2009) *Geochemistry and Geology of Gold in Jasperoid, Elephant Head Area, Lander County, Nevada*, U. S. Geological Survey Bulletin, 62p.
- Wen, B. J., Fan, H. R., Santosh, M (2015) Genesis of two different types of gold mineralization in the Linglong gold field, China: Constrains from geology, fluid inclusions and stable isotope. *Ore geology Reviews*, 65: 643-658.
- White, N. C. and Hedenquist, J. W (1990) Epithermal environments and styles of mineralization; variations and their causes, and guidelines for exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 36: 445-474.
- Wilkinson, J. J (1996) Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: *Lithos*, 55: 229-272.
- Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, 32: 1-9.
- Gemmell, J. B and Simmons, S. F (2007) A group of papers devoted to epithermal Au–Ag deposits. *Economic Geology*, 102: 783–1009.
- Giggenbach, W. F (1997) The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems. In: *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3d Edition (H. L. Barnes, Ed.), Wiley: 737-796.
- Goldstein, R. H. and Reynolds, T. J (1994) *Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals*. Society for Sedimentary Geology Short Course, 31: 199p.
- Hass, J (1971) The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Econ Geol*, 66: 940-946.
- Heald, P. Foley, N. K. and Hayba, D. O (1987) Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types. *Economic Geology*, 82: 1–26.
- Hedenquist, J. W., Izawa, E., Arribas, A., Jr., and White, N. C (1996) *Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics, and Exploration*. *Resource Geol: Special Publ*, 1: 16.
- Hedenquist, J. W., Sillitoe, R. H (2033) Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits, society of economic geologists. special publication 10.
- Kesler, S. E., Vennemann, T. W., Frederickson, C., Breithaupt, A., Vazquez, R., and Furman, F (1997) Hydrogen and oxygen isotope evidence for origin of MVT-forming brines, southern Appalachians. *Geochimicaet Cosmochimica Acta*, 6: 1513–1523.
- Lindgren, W (1907) The relation of ore deposition to physical conditions. *Economic Geology*, 2: 105–127.
- Lindgren, W (1933) *Mineral deposits*: 4th edn. New York: McGraw-Hill, 930p.
- Lindgren, W (1907) The relation of ore deposition to physical conditions: *Economic Geology*, 2: 105–127.
- Mehrabi, B., Ghasemi, S. M (2015) Structural control on epithermal mineralization in the Troude-Chah Shirin belt using point pattern and Fry analyses north of Iran. *Geotectonics*, 49: 320-331.
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T. J., Rimstidt, J. D., and Bodnar, R. J (2012) Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag–Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 114: 20–35.
- Nash, J. T (1976) Fluid inclusion petrology data from porphyry copper deposits and applications to exploration. *U.S. Geol. Survey Prof*, 16p.



## The stages of formation and development of epithermal gold deposit in Zavarian area based on fluid inclusions study, SW of Qom, Central Iran

S. Sadeghi<sup>1</sup>, M. Yazdi<sup>\*2</sup>, I. Rasa<sup>3</sup> and M. R Janesari<sup>4</sup>

1, 4- Ph. D. student. Dept., of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti Univeristy of Tehran, Tehran, Iran

2, 3- Prof., Dept., of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti Univeristy of Tehran, Tehran, Iran

\* m-yazdi@sbu.ac.ir

Recieved: 2021/9/28 Accepted: 2022/1/5

### Abstract

Zavarian gold deposit is located 60 km southwest of Qom and in Central Iran tectonic zone. The basement rocks of the area include volcanic units of Miocene- Pliocene (MPb), andesite units of Miocene- Pliocene (MPan), volcanic- pyroclastic units of Miocene- Pliocene (MPVP), pyroclastic units of Miocene- Pliocene and recent alluvium. The plutonic rocks of the area are granodiorite-tonalite. The intruded dykes are subdivided to andesite dikes (DY1) and dacite dike (DY2). The main alterations are advanced argillic, alunization, propylitic, sericitic and silicification. Gold mineralization has been occurred in andesite and dacite dykes. Au-mineralization is mostly vein, breccia and replacement type. Ore minerals include magnetite, hematite, Fe-hydro-oxides, chalcopyrite, pyrite and bornite which are host of Au. Geochemical data show that the average content of Au is 1.98ppm. Fluid inclusions were investigated in quartz which are associated by ore minerals. These fluid inclusions are generally two-phase of fluid-rich (L + V). The results of analyzes showed that the salinity contents vary between 0.87 to 44.06% NaCl. The homogenization temperature varies between 138 and 383 ° C. The data suggest that the hydrothermal fluids which are responsible for mineralization have low to medium temperature and salinity. It is compatible to primary magmatic hydrothermal fluids which have been mixed probably to metamorphic and meteoric fluids. Mineralogical, geochemical and fluid inclusions data show that gold mineralization in the area is epithermal high sulfide type.

**Keywords:** Au-mineralization, Fluid inclusions, Epithermal type, Zavarian, Central Iran