



## مطالعه ژنز رگه‌های کانه‌دار محدوده ریحال (شرق اهر- استان آذربایجان شرقی)، بر پایه مطالعات کانی‌زایی، بافت و سیالات درگیر

سید غفور علوی<sup>۱</sup>، حسین ناصری<sup>۲</sup>، حامد علیخان نژاد<sup>۳</sup>

استادیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران Ghafour-alavi@tabrizu.ac.ir

دانشجوی دکترا، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران Hossein.naseri@tabrizu.ac.ir

کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران Hamed-Alikhanneghdi@tabrizu.ac.ir

### چکیده

کانی‌زایی ریحال به عنوان بخشی از زون فلز‌زایی ارسباران در حدود ۲۲ کیلومتری شرق شهرستان اهر، استان آذربایجان شرقی واقع شده است. واحدهای سنگی رخنمون یافته در مناطق مورد مطالعه شامل سنگ‌های آذرین بیرونی آندزیت و آندزیت بازالت، دایک‌های حدواسط و آبرفت‌های کواترنری است. واحدهای سنگی این مناطق از نظر سنی از اتوسن بالایی تا کواترنری می‌باشند. زون‌های دگرسانی رخنمون یافته در این مناطق به‌طور عمده شامل سیلیسی، آرژیلیک و فیلیک همراه با زون سیلیسی-برشی می‌باشند. کانه‌زایی در این مناطق به‌صورت رگه-رگچه‌ای در داخل شکستگی‌ها و زون‌های گسلی صورت گرفته است. بر طبق مطالعات نسل‌های رگچه‌های سیلیسی، کانی‌سازی درون‌زاد در سه مرحله (I, II, III) رخ داده است. پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، تتراهدریت، کولیت، کالکوسیت کانه‌های سولفیدی را تشکیل می‌دهند. مطالعه سیالات درگیر بلورهای کوارتز نشان می‌دهد که سه نوع سیال درگیر (دوفازی مایع-بخار و تک‌فاز گاز و تک‌فاز مایع) به‌طور عمده در این مناطق حضور دارند. تغییرات مقادیر شوری، دمای همگن‌شدن و چگالی سیالات گرمابی کانه‌دار در این سه منطقه به‌ترتیب در بازه ۰.۶۶ تا ۱.۵۷ درصد وزنی معادل نمک طعام، ۲۱۱-۱۴۶ درجه سانتی‌گراد و  $0.84-0.92 \text{ g/cm}^3$  می‌باشند. یافته‌های حاصل از ریزدماسنجی حکایت از آن دارند که محلول‌های گرمابی منشأ جوی داشته‌اند. به نظر می‌رسد پدیده جوشش توأم با سرد شدن از دلایل اصلی تهنشینی فلزات بوده است. یافته‌های حاصل حاکی از آن است که کانی‌سازی فلزات پایه در مناطق مورد مطالعه از نوع اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین می‌باشد. کلیدواژه‌ها: اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین، دگرسانی، سیالات درگیر، محدوده ریحال.

### Abstract

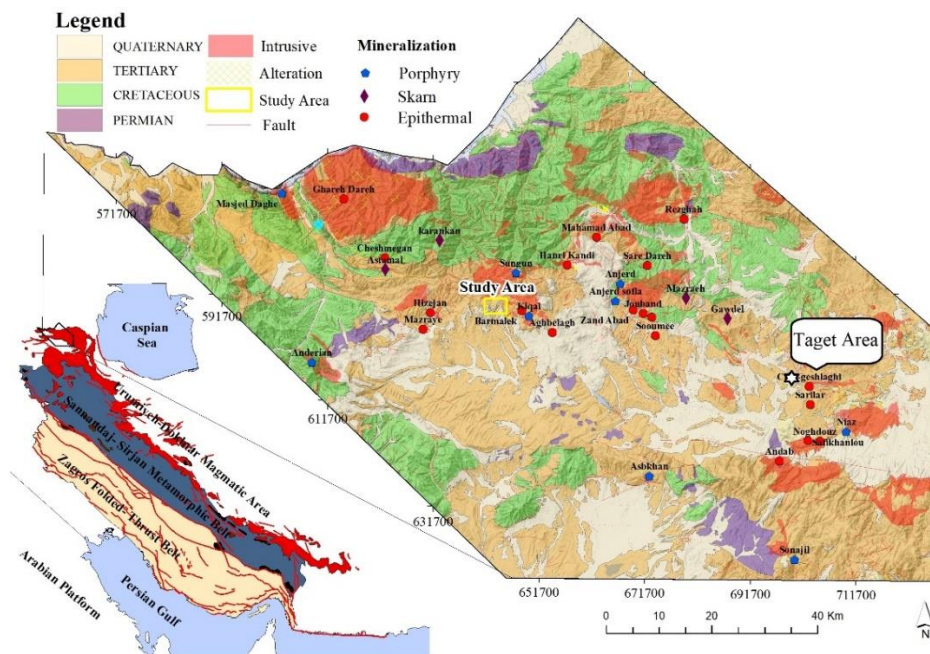
Rihal mineralization is located in the Arasbaran metallurgical zone, approximately 22 km east of Ahar city, in East Azerbaijan province. The exposed rock units in this area consist of andesite and andesite basalt igneous rocks, intermediate dykes, and Quaternary alluviums. These rock units range in age from the Upper Eocene to the Quaternary. The exposed alteration zones primarily comprise siliceous, argillic, and phyllic alterations, along with a siliceous-shear zone. The mineralization in these areas occurs in the form of veins within fractures and fault zones. The study of silica veins suggests that there have been three stages (I, II, III) of endogenous mineralization. Sulphide minerals such as pyrite, chalcopyrite, bornite, tetrahedrite, cavolite, and chalcocite are formed as a result. Further analysis of fluids associated with quartz crystals reveals the presence of three main types of fluids: double-phase liquid-steam, single-phase gas, and single-phase liquid. The salinity values, homogenization temperature, and density of the mineralized hydrothermal fluids vary in these regions, ranging from 0.66 to 1.57 weight percent equivalent to sodium salt, 211-146 degrees Celsius, and 0.84-0.92 g/cm<sup>3</sup>, respectively. Microthermometry findings indicate that the hydrothermal solutions originated from atmospheric sources. It is apparent that the combination of boiling and cooling played a significant role in the precipitation of metals. The results indicate that the base metal mineralization in these areas is classified as low epithermal sulphidation-type.

Keywords: low sulfidation epithermal, alteration, fluid inclusion, Reihal area.



### مقدمه

مطالعاتی که در چند سال اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین پژوهشگران دانشگاهی در زون فلززایی ارسباران صورت گرفته است، سبب شناسایی رخدادهای گوناگونی از کانه‌زایی در این ناحیه شده است. از جمله این کانه‌زایی‌ها می‌توان به کانسار اپی‌ترمال طلای زایلیک-ساریلار، محدوده کانی‌زایی یوسفلو-صفاخانلو-نوقدوز، کانسارهای اسکارن و پورفیری مزرعه، انجرود و گودال اشاره کرد. مطالعات نسبتاً جامعی بر روی کانی‌سازی‌های متنوع موجود در این زون از جمله کانسار مس-مولیبدن پورفیری سونگون و اسکارن‌های همراه آن [1]، کانسار مس-طلای مسجدداغی [2]، مس پورفیری سوناجیل [3]، مس-مولیبدن پورفیری هفت‌چشمه [4] [5] و مس مولیبدن کیکال-بارملک [6] انجام داده‌اند، هم‌چنین چندین کانسار مهم طلای اپی‌ترمال نظیر زایلیک-صفاخانلو [7]، شرف‌آباد-هیزه‌جان [1] [8] و نیز پژوهش پیش رو بر روی همین زون در ناحیه شرق اهر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. کانی‌زایی محدوده ریحال در ۲۲ کیلومتری شرق اهر با مختصات جغرافیایی UTM ۷۰۱۴۵۰ تا ۷۰۲۳۰۰ خاوری و ۴۲۵۹۷۵ تا ۴۲۶۰۳۵ شمالی در زون فلززایی ارسباران واقع شده است (شکل ۱). واحدهای آتشفشانی ائوسن به عنوان سنگ میزبان این کانه‌زایی محسوب می‌شوند. این پژوهش به معرفی کانی‌زایی ریحال با استفاده از نوع کانی‌زایی، بافت و سیالات گرمایی می‌پردازد.



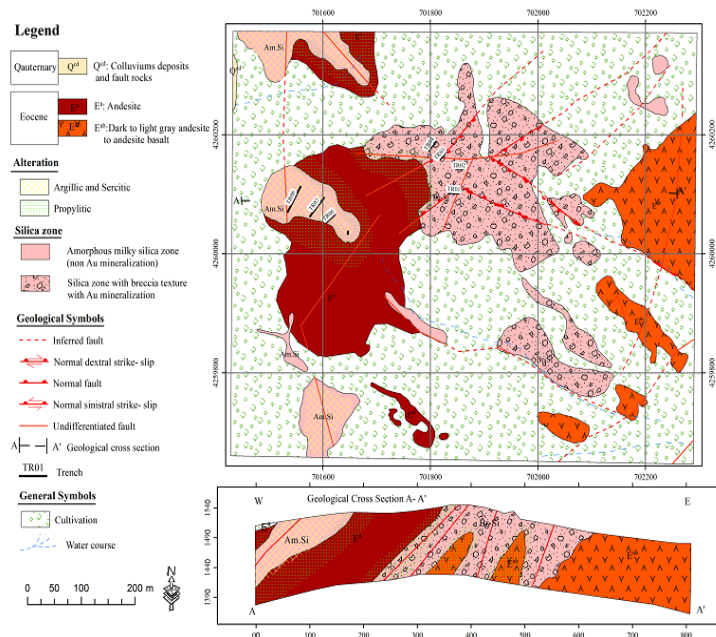
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه ریحال

### زمین‌شناسی

کمر بند فلززایی ارسباران، شامل مناطق شمال و غرب مشکین‌شهر، اهر، کلپیر، ورزقان، سیه‌رود، بلندی‌های ارسباران و قره‌داغ می‌باشد. مناطق شرق و جنوب‌شرق اهر از نظر زمین‌شناسی دارای واحدهای سنگ شناختی نسبتاً یکسانی می‌باشند. براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر [5]. گدازه‌های آندزیتی و آندزیت-بازالتی ائوسن بخش وسیعی از منطقه را پوشانده‌اند. در منطقه مورد مطالعه ریحال گدازه‌های آتشفشانی



اٲوسن دارای بیشترین گسترش بوده و مهم‌ترین واحدهای سنگی منطقه را تشکیل می‌دهد و میزبان کانی‌زایی طلا نیز همین واحد می‌باشد. زمین‌ریخت‌شناسی خشن این منطقه توسط سه عامل سنگ‌شناختی، حرکات زمین‌ساختی و فرسایش کنترل می‌شود که از بین این سه مورد، عامل سنگ‌شناختی منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی اسیدی و حدواسط و سنگ پوش‌های سیلیسی شده نقش بسزایی در تعیین مورفولوژی منطقه ایفا می‌کند. از نظر زمین‌ریخت‌شناسی، این منطقه بخشی از رشته‌کوه‌های قره‌داغ بشمار می‌آید که این رشته‌کوه‌ها شمالی‌ترین و بزرگ‌ترین واحد از هفت واحد کوهستانی تشکیل‌دهنده آذربایجان هستند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ریحال، مجموعه واحدهای سنگی به شرح زیر است (شکل ۲): **واحد آندزیت بازالتی**: این واحد شامل گدازه‌های آتشفشانی با ترکیب غالب و آندزیت تا بازالتی می‌باشند که بخش بزرگی از منطقه را شامل می‌شوند. در بعضی نقاط منطقه دایک‌هایی با ترکیب کانیایی مشابه (آندزیت تا بازالت) با ضخامت حدود ۵ متر با امتداد شمالی- جنوبی سنگ میزبان را قطع نموده‌اند. گدازه‌های آتشفشانی واحد  $E^{ab}$  دربرگیرنده‌ی رگه‌های سیلیسی کانه‌دار می‌باشند که در این واحد آتشفشانی نفوذ کرده‌اند. این واحد دگرسانی هیدروترمالی شدید و گسترده‌ای مخصوصاً در محدوده بلافضل رگه‌های سیلیسی متحمل شده است. **واحد آندزیتی**: این واحد به شکل تپه‌های کم ارتفاع با سطوح فرسایش یافته به رنگ خاکستری در منطقه رخمون یافته است. واحد آندزیتی در قسمت‌هایی از منطقه به صورت مگاپورفیر با پلاژیوکلازهایی بزرگتر از ۵ میلی‌متر دیده می‌شود. واحد آندزیتی میزبان رگه- رگچه‌ی سیلیسی- برشی کانه‌دار می‌باشد در نزدیکی رگه سیلیسی بر اثر دگرسانی سیلیسی و تغییرات بعدی، بافت و مجموعه کانیایی اولیه خود را از دست داده است و تنها بر اساس شبیح کانی‌ها و آثار بافتی مربوطه می‌توان سنگ اولیه را تشخیص داد که از نوع ولکانیک با بافت پورفیری و میکروپورفیری و به احتمال، در محدوده ترکیبی آندزیت قرار دارد.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی محدوده کانی‌زایی ریحال.



## روش پژوهش

مطالعات صحرایی شامل کنترل واحدهای سنگی موجود در نقشه زمین‌شناسی، نمونه‌برداری از سنگ‌های آذرین میزبان کانی‌زایی، رگه-رگچه‌های کانه‌زایی شده و بخش‌های دگرسان به صورت منظم و تصادفی و شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌باشد انجام شد و سپس از نمونه‌های برداشت شده، نمونه‌های مناسب برای مطالعات بعدی انتخاب شد و سپس ۲۰ مقطع نازک و ۱۰ مقطع صیقلی و ۵ عدد مقطع دوبرصیقل جهت مطالعات سیالات درگیر در کارگاه سنگ‌بری دانشگاه تبریز تهیه شد. مقاطع دوبرصیقل تهیه شده، در آزمایشگاه پتروگرافی دانشگاه لرستان توسط میکروسکوپ Nikon مدل Ep200 و استیج گرم‌کننده و سردکننده مدل MDS600 ساخت شرکت Linkam با تغییرات دمایی ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتیگراد و با استفاده از نرم‌افزار مدلینگ (PVTX (Software Modelling for Fluid Inclusion V2.6) مورد مطالعه قرار گرفت.

## نتایج و بحث

### دگرسانی

گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان در این مناطق مجاری مناسبی جهت عبور محلول‌های گرمایی فراهم نموده، در نتیجه در گسترش زون‌های دگرسانی نقش قابل ملاحظه‌ای ایفا نموده‌اند. عبور فلوییدهای گرمایی در امتداد این گسل‌ها و شکستگی‌ها علاوه بر دگرسانی سنگ‌های مسیر، باعث ته نشینی کانی‌ها و تشکیل رگه‌های سیلیسی نیز شده است. مطالعات نشان می‌دهد که دگرسانی در این مناطق شامل انواع: سیلیسی، فیلیک و آرژیلیک می‌باشد. **دگرسانی سیلیسی** کانی‌های کوارتز و کلسدونی به همراه مقدار کمی کانی‌های رسی تشکیل‌دهنده این دگرسانی می‌باشد. کوارتز به صورت رگچه‌ای در زمینه سنگ، پرکننده فضاهای خالی، جاننشینی یا تبلور مجدد رخ داده است. کلسدونی به شکل ذرات ریزدانه و یا بصورت رگچه‌ای با بافت کلوفرم و شعاعی دیده می‌شود. سرسیت و کانی‌های رسی نیز به شکل پراکنده و ریزدانه در زمینه سنگ میزبان و فضای بین ذرات کوارتز و یا به شکل جاننشینی به جای کانی‌های اولیه مثل فلدسپار و بیوتیت تشکیل شده‌اند. گاهاً در کلاهک‌های سیلیسی آثار حفره‌ای و تیغه‌های سیلیسی نیز دیده می‌شود که نشان‌گر جوشش سیال گرمایی هنگام رسیدن به زون‌های سطحی است. **دگرسانی فیلیک**: زون فیلیک در این منطقه گسترش محدودی دارد و فقط در مجاورت زون سیلیسی در سنگ‌های میزبان آندزیتی مشاهده می‌شود و به تدریج به زون آرژیلیک تبدیل می‌گردد. مهم‌ترین کانی‌های این زون شامل کوارتز، سرسیت و مقدار کمی کانی‌های اوپک بویژه پیریت می‌باشد. در برخی نقاط شدت دگرسانی به حدی بالا بوده که فقط شبحی از پلاژیوکلازها قابل تشخیص است. سرسیت به شکل پولک‌های ریز و پیریت بصورت بلورهای نیمه شکل‌دار و پراکنده در متن سنگ بوده و گاهاً در رگچه‌ها دیده می‌شوند. **دگرسانی آرژیلیکی**: این دگرسانی گسترش زیادی در اطراف رگه‌های سیلیسی دارد. وجود اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در این زون باعث ایجاد رنگ‌های قرمز، زرد و نارنجی شده است. **دگرسانی پروپیلیتیکی**: این دگرسانی خارجی‌ترین دگرسانی موجود در منطقه می‌باشد که به صورت ضعیف در حاشیه خارجی دایک‌ها و سنگ میزبان رگه‌های کانه‌دار قابل مشاهده است. این دگرسانی در ظاهر به رنگ خاکستری مایل به سبز و در مقاطع میکروسکوپی به شکل تبدیل پلاژیوکلازها و کانی‌های فرومنیزین به کلریت و کلسیت قابل مشاهده می‌باشد.





## کانی‌سازی

با توجه به نمونه‌برداری‌های صورت گرفته از زون‌های سیلیسی-برشی و در محدوده مورد مطالعه، کانی‌زایی محدود به ۲ رگه سیلیسی-سولفیدی (شکل ۳- الف) و رگه‌های سیلیسی-برشی (شکل ۳- ب) است. طول متوسط رگه‌های کانه‌دار حدود ۸۰ متر و پهنای آن‌ها در حدود ۴ متر است. این رگه‌ها در زون گسلی با میزبانی سنگ‌های آندزیتی تا آندزیت بازالتی با امتداد جنوب شرقی-شمال غربی تشکیل شده‌اند. کانی‌زایی در رگه‌های کانه‌دار غالباً به صورت رگچه‌های سولفیدی برشی و پرکننده فضای خالی اتفاق افتاده است. مطالعات میکروسکوپی و بافت شناسی نشان دهنده انطباق بسیار سازنده کانی‌زایی سولفیدی و دگرسانی سیلیسی-برشی است. کانی پیریت فراوانترین کانی سولفیدی در این زون می‌باشد که به شکل بلورهای یوهدرال مکعبی و سابهدرال و غالباً به صورت درشت و پراکنده (شکل ۴- الف، ب، پ و ت) در رگه-رگچه‌های سیلیسی، دگرسانی فلیک و آرژلیک مشاهده می‌شود. این کانی بعضاً از حواشی و شکستگی‌ها توسط کالکوپیریت جانشین شده است (شکل ۴- ت). پیریت در نمونه‌های سطحی و سوپرژن به اکسیدهای آهن دگرسان شده است. کانی کالکوپیریت از شاخصترین کانی‌های سولفیدی مس در منطقه می‌باشد و همراه با پیریت و بورنیت در زون سیلیسی-برشی حضور دارد. کالکوپیریت بعضاً از نواحی متخلخل جانشین پیریت شده است و در برخی نمونه‌ها ادخال‌هایی از پیریت درون کالکوپیریت قابل مشاهده است. در بعضی موارد نیز، بورنیت یا تتراهدریت را از شکستگی‌ها جانشین کالکوپیریت شده است. در اثر فرایندهای سوپرژن از سمت حواشی به کوولیت، کالکوسیت و آزوریت و مالاکیت دگرسان شده است (اشکال ۴- الف، ب، پ و ت). بورنیت از جمله کانی‌های سولفیدی هیپوژن در این زون می‌باشد که در نسل اول با کالکوپیریت هم‌رشدی نشان می‌دهد ولی در مرحله سوپرژن جانشین کالکوپیریت شده است (شکل ۴- پ). تتراهدریت یکی از کانی‌های سولفوسالتی است که بطور جزئی در رگچه‌های سولفیدی تیره رنگ مشاهده می‌شود و ارتباط نزدیکی با کالکوپیریت دارد و ممکن است از حواشی جایگزین کالکوپیریت شده باشد (شکل ۴- الف و ت). این کانی توسط فرایندهای سوپرژن به کوولیت، کالکوسیت و مالاکیت دگرسان شده است.



شکل ۳- الف) تصویر ماهواره ای از موقعیت رگه‌ها و ترانشه‌های اکتشافی بر روی آن‌ها و ب) نمای نزدیک از زون سیلیسی-برشی



مطالعات نشان می‌دهند این رگه‌های کانه‌دار در سه مرحله، به شرح زیر به وجود آمده‌اند:

### مرحله اول

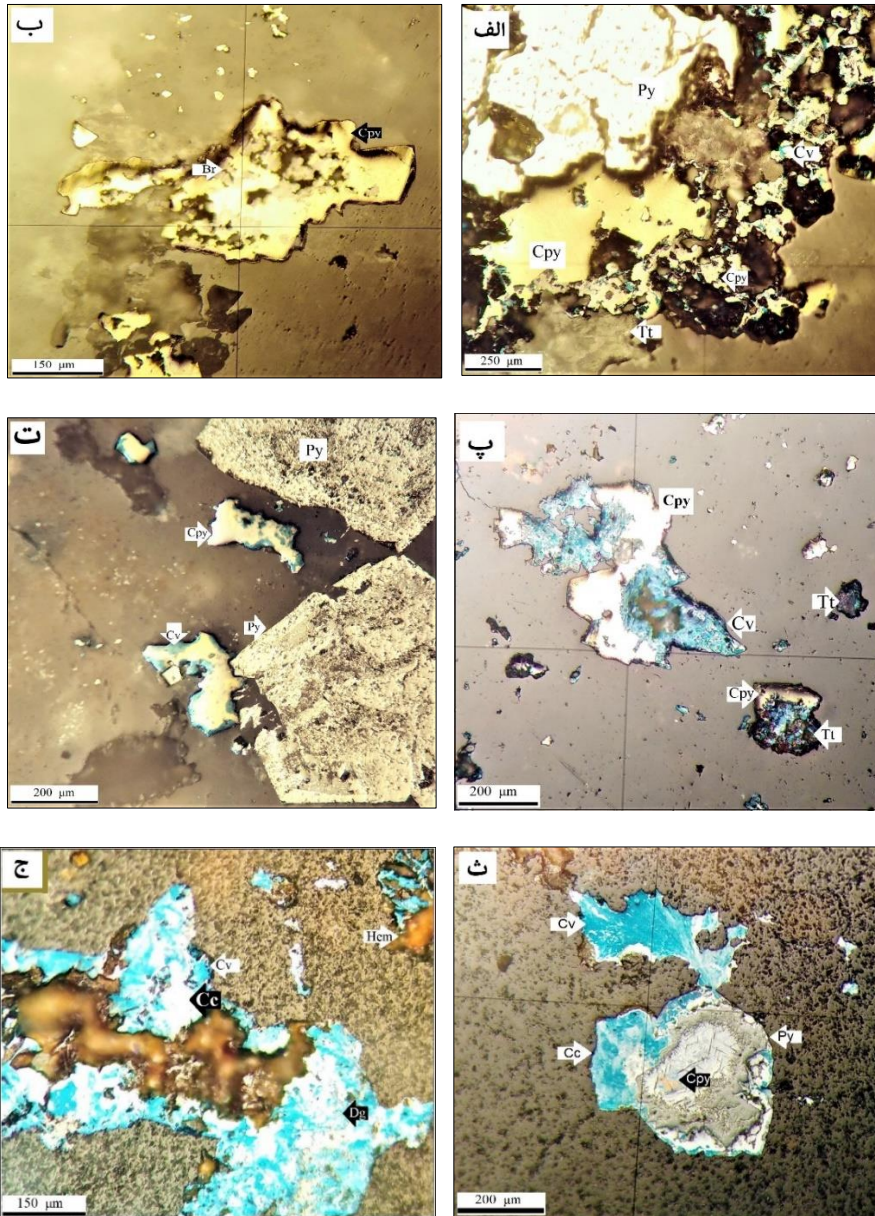
این مرحله با تشکیل رگه- رگچه‌های نسل اول درون زون گسله و شکستگی‌ها و عملکرد سیال گرمایی بر روی سنگ میزبان به شکل برشی کردن سنگ‌های گسل خورده و شکسته شده مشخص می‌گردد (شکل ۵، الف). سیال گرمایی در این مرحله سبب شست‌وشوی کانی‌های سنگ میزبان و سیلیسی شدن کامل آن شده است. کوارتز کانی اصلی این مرحله می‌باشد و به صورت شیری و خاکستری رنگ، ریزدانه، توده‌ای و رگچه‌ای دیده می‌شود. پیریت تنها کانی سولفیدی مرحله اول می‌باشد که غالباً مکعبی، شکل‌دار و پراکنده می‌باشد و به نظر می‌رسد در قالب تهی شده کانی‌های سنگ میزبان رشد نموده‌اند. ضخامت رگچه‌های سیلیسی این مرحله تا ده‌ها سانتی‌متر و اندازه قطعات برشی این مرحله تا ۱۰ سانتی‌متر نیز می‌رسد.

### مرحله دوم

رگچه‌ها و ریزرگچه‌های سیلیسی- سولفیدی این مرحله، رگچه‌های سیلیسی و برش‌های مرحله اول را قطع کرده‌اند. رویدادهایی مانند برشی شدن سنگ میزبان، شست‌وشوی کانی‌های آلکان در طول این مرحله موجب تشکیل رگچه‌های متنوع همراه با کانی‌سازی سولفیدی و طلا و ایجاد دگرسانی شدید سیلیسی و فلیک شده است. مهم‌ترین کانه‌های رگچه‌های مرحله دوم شامل: پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، تتراهدريت، کولیت و کالکوسیت می‌باشند (شکل ۴، الف و ب). کانی پیریت در این رگچه‌ها نیز به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار درون فضاهای خالی قطعات سنگ میزبان دگرسان و همچنین در رگچه‌های سولفیدی در ارتباط با سولفیدهای مس تشکیل شده است. کانی‌های سولفیدی و سولفوسالتی و سیلیس ریزدانه نیز به صورت بی‌شکل، ریز تا درشت، رگچه‌های سولفیدی تیره رنگ را تشکیل می‌دهند. ضخامت این رگچه‌ها اکثراً کمتر از ۱۰ سانتی‌متر است و قطعات برشی موجود در رگچه‌های این مرحله غالباً اندازه ریزتری نسبت به مرحله قبلی دارند و بیشتر از نوع سیلیس ریزدانه یا آمورف شیری رنگ هستند (شکل ۵، ب).

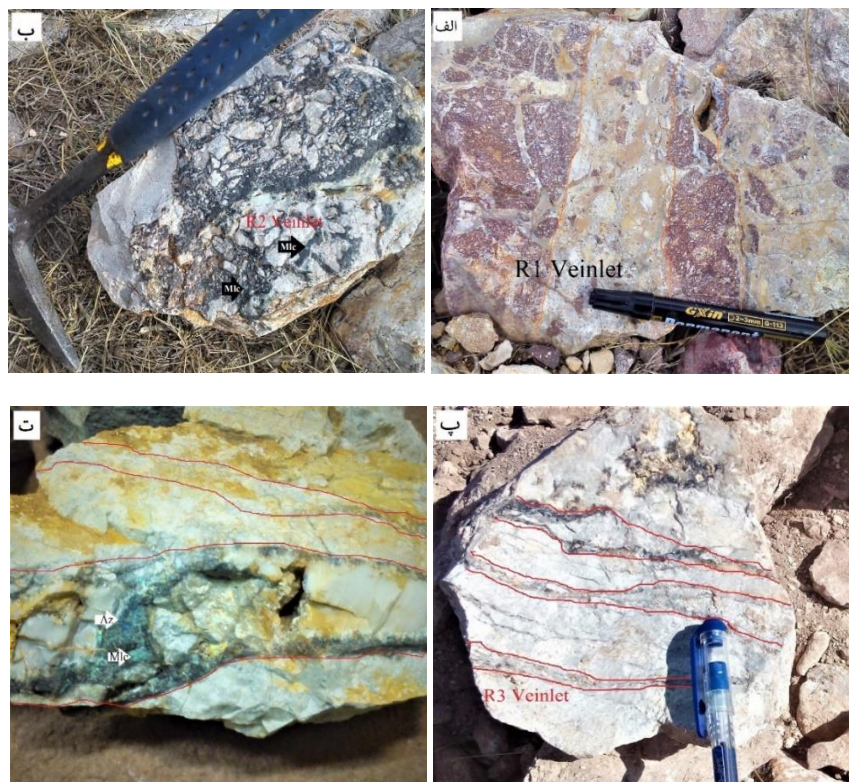
### مرحله سوم

در مرحله سوم رگچه‌های سیلیسی تشکیل شده، رگچه‌های دو مرحله پیشین را قطع نموده‌اند (شکل ۵، پ و ت) این به دنبال کاهش فعالیت سیال هیدروترمال و ایجاد کوارتز با بلورهای درشت و شفاف و تشکیل بافت‌های اسپیکیولاریتی، پرکننده فضاهای خالی و کلوفرم شروع می‌شود. تشکیل بافت‌های حفره‌دار، اسپیکیولاریتی و پرکننده فضای خالی نشان‌گر تکوین سیالات گرمایی از حالت اسیدی به خنثی و اکسیدی و کاهش فشار و دمای سیال می‌باشد و احتمالاً در ارتباط با تأثیر سنگ دیواره و آب‌های جوی در تشکیل اپی‌ترمال‌ها می‌باشد [24]. در این مرحله نیز ذرات ریز و بی‌شکل پیریت و کالکوپیریت در درز و شکستگی‌ها و فضاهای خالی جای گرفته‌اند. در رگچه‌های این مرحله قطعات برشی به ندرت یافت می‌شوند و در صورت وجود، اندازه آن‌ها بسیار ریز می‌باشد. سیلیس با اندازه بلوری متوسط به همراه مقدار اندکی کانی پیریت و کالکوپیریت کانی‌های تشکیل‌دهنده این نوع رگچه‌ها هستند که سبب ایجاد رنگ شفاف تا خاکستری رگچه‌ها شده‌اند و کانه غالب آن‌ها به سبب وجود درز و شکاف و سطحی بودن رگچه‌ها، کانه‌های کربناته مس (مالاکیت و آزوریت) و اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌باشند (شکل ۴، پ، ت و ج).



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی کانه‌ها. الف) کانه‌های پیریت، کالکوپیریت، کوولیت و تتراهدريت. ب) کانه‌های بورنیت و کالکوپیریت در دگرسانی هیپوزن. پ) کانه‌های کالکوپیریت و تتراهدريت در حال تبدیل به کوولیت. ت و ث) تبدیل کانه‌های هیپوزن پیریت و کالکوپیریت به کانه‌های سوپرژن. ج) تشکیل کانه‌های سوپرژن کوولیت، کالکوسیت، دیزنیت و اکسیدهای آهن. Py: پیریت Cpy: کالکوپیریت Cv: کوولیت Cc: کالکوسیت Tt: تتراهدريت Da: دیزنیت Br: بورنیت Hem: هماتیت.





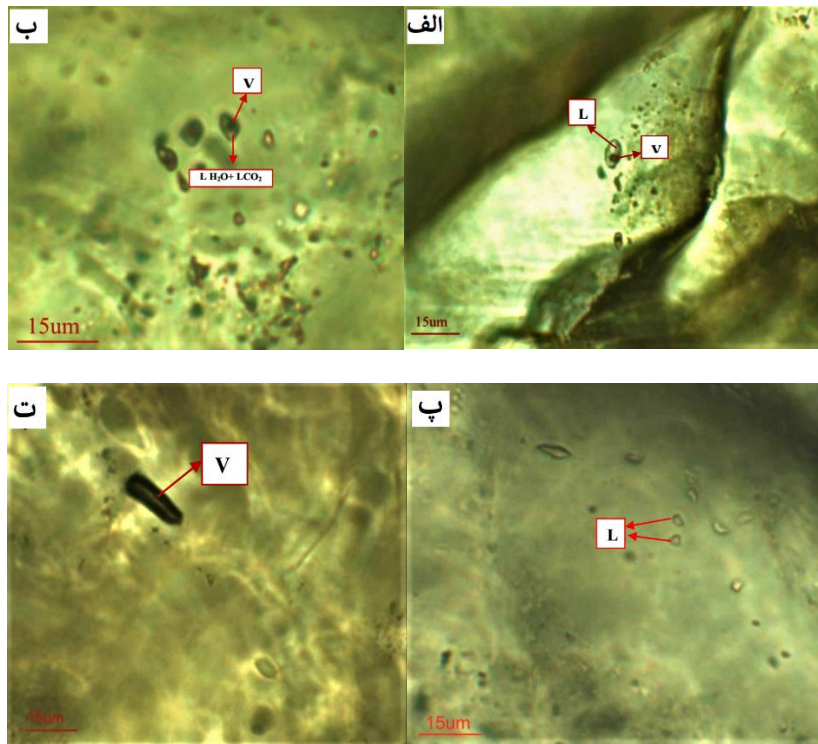
شکل ۵: انواع رگه- رگچه‌های سیلیسی- سولفیدی دارای کانه‌سازی. الف) رگه- رگچه‌های سیلیسی دارای قطعات برشی و سیلیسی بی‌شکل شیری رنگ همراه با مقدار کمی پیریت. ب) رگچه‌های سولفیدی مرحله دوم دارای قطعات برشی و مقدار زیادی کانه‌های سولفیدی. پ و ت) رگچه‌های سولفیدی مرحله سوم همراه با مقدار اندکی کانه‌های سولفیدی و بلورهای متوسط تا درشت کوارتز.

### سیالات درگیر

سیالات درگیر در مقاطع مطالعه شده منطقه ریحال اندازه‌های بین ۴ تا ۱۰.۵ میکرون دارند. سیالات درگیر اولیه بزرگتر و سیالات درگیر ثانویه و ثانویه کاذب کوچکتر می‌باشند.

بر اساس مطالعات پتروگرافی و ترموبارومتری سیالات درگیر بر روی کانی‌های کوارتز، محتوای میانبارها را می‌توان به ۴ تیپ زیر تفکیک نمود:  
 تیپ A- سیال درگیر دوفازه مایع- گاز (L+V)، تیپ B- سیال درگیر دو فازه گاز+ مایع حاوی CO<sub>2</sub> (V+Laq+LCO<sub>2</sub>)، تیپ C- سیالات درگیر تک فازه مایع L و تیپ D- سیالات درگیر تک فازه گاز V (شکل ۷- الف، ب، پ و ت).





شکل ۷: انواع میانبارهای سیال در رگه-رگچه‌های سیلیسی منطقه ریحال. الف) میانبار (L-V) ب) میانبارهای (V-L) پ) میانبارهای L (ت) میانبار نوع V.

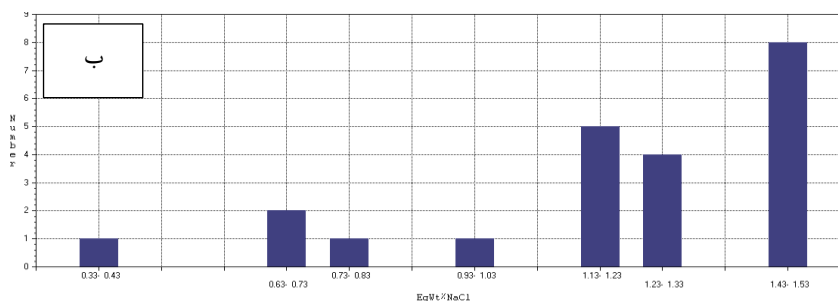
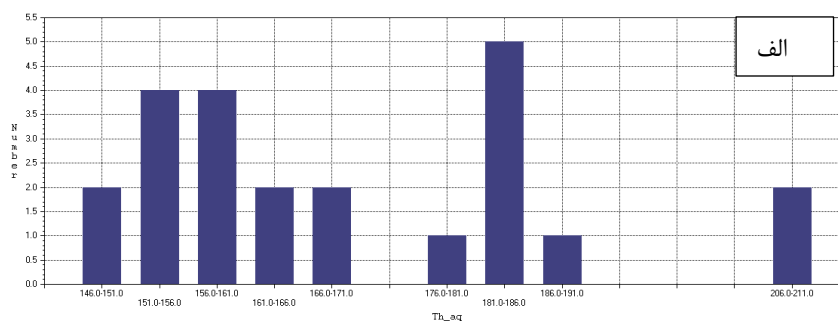
### دما و شوری سیالات درگیر

در نمونه‌های مطالعه شده درجه حرارت همگن شدن سیالات درگیر دوفازی با تبدیل بخار به مایع صورت گرفته است. هیستوگرام دمای همگن شدگی دمایی از ۱۴۶ تا ۲۱۱ درجه سانتیگراد متغییر می‌باشند (شکل ۸). بیشترین فراوانی همگن شدگی دمایی مربوط به رنج دمایی ۱۸۱ تا ۱۸۶ درجه سانتیگراد می‌باشد. درجه شوری سیالات ۰/۳۳ تا حدود ۱/۵۳ % Wt NaCl متغییر است (شکل ۹). در نمونه‌های مطالعه شده بیشترین فراوانی درصد شوری در محدوده ۱/۴۳ تا ۱/۵۳ % Wt NaCl می‌باشد (جدول ۱).



جدول ۱: نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال در رگه- رگچه‌های سیلیسی منطقه ریحال

Sample	inc.type	class	size	Fill	Tmice	Th	salinity
1	V+L	Primary	7	0.88	-0.8	189.2	1.32
2	V+L	Primary	4	0.9	-0.8	183.2	1.32
3	V+L	Primary	5	0.66	-0.7	184.6	1.15
4	V+L	Primary	7	0.74	-0.2	155.9	0.33
5	V+L	Primary	9	0.9	-0.7	185.7	1.15
6	V+L	Primary	5	0.7	-0.9	179.5	1.48
7	V+L	Primary	5	0.81	-0.9	185	1.48
8	V+L	Primary	10.5	0.88	-0.6	210.8	0.99
9	V+L	Primary	6	0.75	-0.4	159	1.02
10	V+L	Primary	6	0.71	-0.9	207.9	1.48
11	V+L	Primary	5	0.78	-0.7	146.5	1.57
12	V+L	Primary	5	0.72	-0.9	160.9	1.48
13	V+L	Primary+Sec	6	0.66	-0.7	154.5	1.57
14	V+L	Primary+Sec	4	0.7	-0.9	163.8	1.47
15	V+L	Primary+Sec	4	0.8	-0.7	154.5	1.57
16	V+L	Primary+Sec	4	0.77	-0.8	163.8	1.32
17	V+L	Primary	6	0.9	-0.8	182.8	1.32
18	V+L	Primary	5	0.9	-0.5	156	0.82
19	V+L	Primary	5	0.9	-0.9	166	1.48
20	V+L	Primary	5	0.9	-0.9	154	1.48
21	V+L	Primary	5	0.9	-0.9	146	1.48
22	V+L	Primary	6	0.9	-0.4	166	0.66
23	V+L	Primary	7	0.9	-0.4	160	0.66

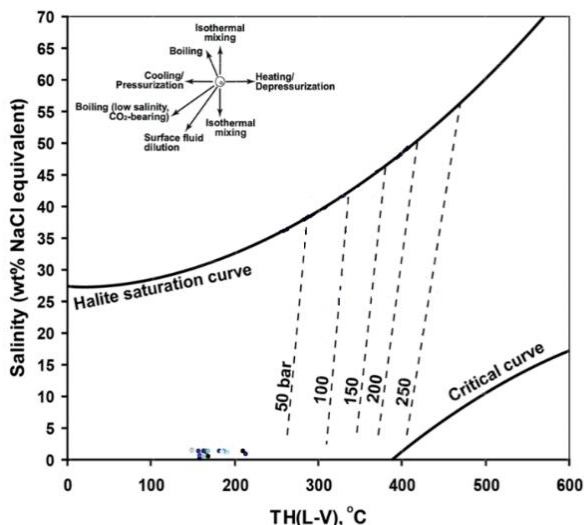


شکل ۸: الف) هیستوگرام دمای همگن شدن میانبارهای سیال دو فاز در مقابل فراوانی آن‌ها. ماکزیمم فراوانی مربوط به محدوده دمایی ۱۸۱ تا ۱۸۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ب) هیستوگرام میزان شوری میانبارهای سیال دو فاز در مقابل فراوانی آن‌ها. بیشترین فراوانی مربوط به محدوده شوری ۱/۴۳-۱/۵۳ درصد وزنی NaCl می‌باشد.



### تعیین چگالی و فشار به دام افتادن سیال

پلات نتایج حاصل از میکروترمومتری منطقه ریحال بر روی نمودار دو متغیره دمای همگن شدن [9] و شواهدی مانند وجود ساخت و بافت برشی در منطقه، حضور توأم میانبارهای دو فاز مایع و گاز و تک فازی گازی نشانگر رخداد فرآیند جوشش در طی زمان کانی سازی می باشد و همچنین وجود بافت های متنوع کوارتز نشانگر مرحله سرد شدن سیالات کانه ساز می باشند. به منظور دستیابی به حداقل فشار محتمل سیال در  $T_H$  به دام افتادن میانبارهای سیال از نمودار شکل ۹ استفاده گردید. فشار هیدرواستاتیک سیال در دمای  $T_H$  در تمام نمونه های مربوط به رگه ی مورد مطالعه کمتر از ۵۰ bar می باشد. لذا نیازی به تصحیح فشار نیست، زیرا در این حالت، دما و فشار به دام افتادن را می توان مستقیماً از دمای همگن شدن محاسبه نمود [10].

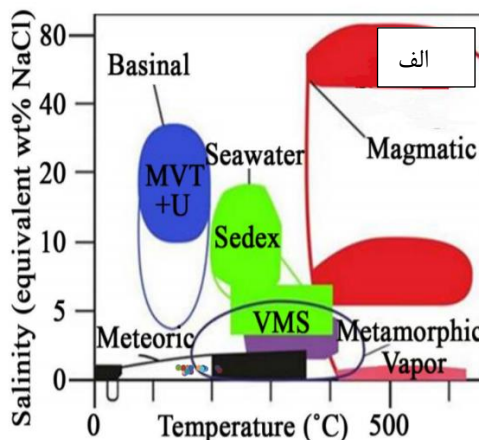
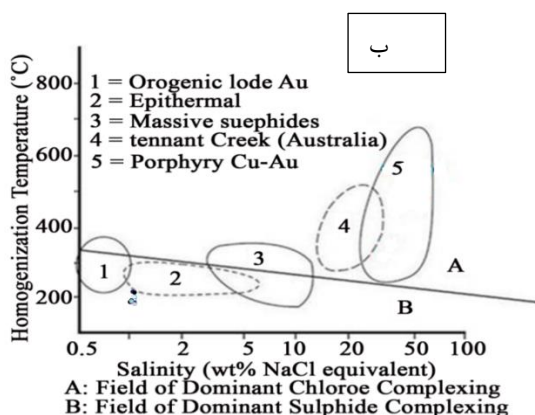


شکل ۹- الگوی توزیع مقدار شوری نسبت دمای همگنی اندازه گیری شده برای میانبارهای سیال منطقه ریحال (11).

### تعیین منشأ سیال و ژنز کانه زایی

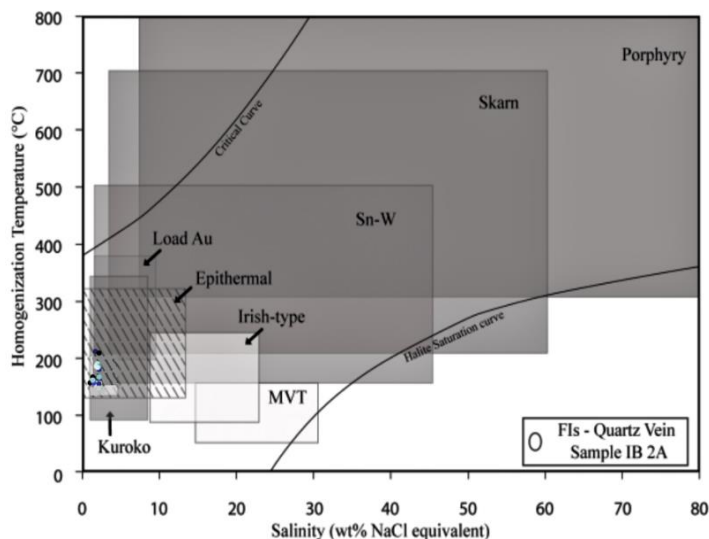
pH سیال های گرمابی در این مناطق خنثی تا کمی اسیدی و مقدار شوری آن ها در حدود ۱.۵٪ است. با پلات کردن داده های حاصل از مطالعات سیالات درگیر در نمودار شماتیک شکل ۱۰- الف منشأ سیالات مسبب کانه زایی، آب های جوی شناخته شد و همچنین با استفاده از نمودار شکل ۱۰- ب، نوع کمپلکس های حمل کننده فلزات از نوع سولفیدی تشخیص داده می شود. آب های جوی دارای دمای پایین بوده و می توانند از طریق گسل ها و درزه ها به اعماق زمین نفوذ کرده و در صورت قرارگیری در نزدیکی توده های نفوذی فعال یا در حال سرد شدن، دما و قابلیت انحلال آن ها افزایش می یابد و با تشکیل کمپلکس های سولفیدی، فلزات را از سنگ های مسیر شسته و حمل می کند و در شرایط مناسب آن ها را رسوب می دهد (شکل ۱۳).





شکل ۱۰- الف) منشأ اپی ترمال منطقه مورد مطالعه نسبت به منشأ سیالات تشکیل دهنده کانسارهای هیدروترمالی جهانی. ب) نمودار تعیین نوع کمپلکس بر اساس درصد شوری در مقابل دمای همگن شدن میانبارهای سیال [12]، مطابق نمودار، کمپلکس‌های سولفیدی نقش موثرتری در حمل فلزات در رگه‌های سیلیسی منطقه داشته‌اند.

مهم‌ترین عامل نهشت فلزات در این مناطق در درجه اول جوشش و در درجه دوم سرد شدن سیال می‌باشد. با استفاده از نتایج حاصل از دمای همگن شدن و شوری میانبارهای سیال که تماماً زیر ۵ می‌باشند می‌توان به ژنز احتمالی کانه‌زایی موجود در رگه- رگچه‌های منطقه پی برد. با پلات کردن داده‌های حاصل از میکروترموتری بر روی نمودار (شکل ۱۱) به نظر می‌رسد که ژنز احتمالی کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه از نوع اپی ترمال باشد. با توجه به مطالعات انجام گرفته توسط جمالی و همکاران [13] و [14] و شواهد به دست آمده در طی مطالعات این پژوهش مانند: عدم وجود کانه‌هایی مانند انارژیت و لوزونیت، عدم وجود آلتراسیون آرژیلیک پیشرفته، حضور فلزات پایه، شوری پایین سیال و منشأ جوی آن و وجود شواهد جوشش به عنوان مهم‌ترین عامل ته نشینی فلزات در منطقه و شواهد بافتی، کانی‌سازی سولفیدی منطقه مورد مطالعه از نوع اپی ترمال سولفید پایین معرفی می‌شود (شکل ۱۴).



شکل ۱۱: نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری سیالات و مدل شماتیک جهت تعیین ژنز احتمالی موجود در منطقه ریحال [15].

#### برداشت

مطالعات کانی‌شناسی نشان‌دهنده سیستم کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای در این منطقه می‌باشد. کانه‌زایی در منطقه به‌صورت رگه-رگچه‌ای در داخل شکستگی‌ها و زون‌های گسلی و به میزبانی سنگ‌هایی با ترکیب حدواسط و با سن ائوسن صورت گرفته است. کانی‌سازی سولفیدی در دو مرحله هیپوژن و سوپرژن رخ داده است و پیریت مهمترین کانی سولفیدی هیپوژن در این مناطق است که به‌صورت شکل‌دار و رگچه‌ای مشاهده می‌شود علاوه بر پیریت کانی‌هایی مانند کالکوپیریت، بونیت و تتراهدريت از سایر کانی‌های سولفیدی هیپوژن در منطقه مورد مطالعه می‌باشند و از مهم‌ترین کانی‌های سوپرژن این منطقه می‌توان کولیت، کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن را نام برد. بر طبق مطالعات نسل‌های رگچه‌های سیلیسی، کانی‌سازی هیپوژن در سه مرحله رخ داده است که کانی‌زایی در مرحله (II) و اصلی در داخل رگه-رگچه‌های کوارتز-سولفیدی به‌صورت ذرات ریز و در کنتاکت با پیریت و کالکوپیریت رخ داده است. مقادیر دمای همگن شدن (دمای کمتر از ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد) و مقدار شوری نشان می‌دهد که احتمالاً کمپلکس مهم در انتقال فلزات در این منطقه کمپلکس‌های سولفیدی بوده‌اند. شواهد بافتی مانند برش هیدروترمالی و کلسیت تیغه‌ای و بافت کلوفرم در این منطقه تایید کننده جوشش سیال می‌باشد. جوشش سیال مهم‌ترین عامل ته‌نشینی فلزات در این منطقه می‌باشد و سرد شدن سیال نیز در ته‌نشینی فلزات موثر بوده است. در مجموع شواهد بافتی، کانی‌شناسی، آلتراسیون، سیالات درگیر (شوری پایین سیالات درگیر و رخداد جوشش به‌عنوان مهم‌ترین عامل ته‌نشینی فلزات) و منشأ متئوریک همگی دال بر کانی‌سازی اپی‌ترمال سولفید پایین در این منطقه می‌باشند.



## منابع

- [1] Calagari, A. A., 2004a. Geology and fracture-related hypogene hydrothermal alteration and mineralization of porphyry copper deposit at Sungun, Iran. *Journal of Geological Society of India* 64, 595-618.
- [2] Alirezaei, S., Ebrahimi, S., Pan, Y., 2008. Fluid Inclusion Characteristics of Epithermal Precious Metal Deposits in the Arasbaran Metallogenic Zone, Northwestern Iran [extended abs.], ACROFI-II, India 1-4.
- [3] Hosseinzadeh, M. R., Maghfouri, S., Ghorbani, M. and Moayyed, M. (2016) Vein- Veinlets related with Mineralization and Fluid Inclusion Studies in the Sonajil Porphyry Cu- Mo Deposit, Arasbaran Magmatic Zone. *Scientific Quarterly Journal of Geoscience* 26(101): 219- 231.
- [4] Zarnab Company., 2007. Geology and Alteration Studies of the Haftcheshmeh Area (National Iranian Copper Industries Company (NICICO)).
- [5] Mohammadi. M., and Borna. B., 2006. Report of Geology and drilling in the masjed daghi Area (National Iranian Copper Industries Company (NICICO)).
- [6] Simmonds, V., Calagari, A. A. and Kyser, K. (2015) Fluid inclusion and stable isotope studies of the Kighal porphyry Cu-Mo prospect, East- Azarbaijan, NW Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 8: 437-453.
- [7] Ebrahimi, S., Alirezaei, S., Pan, Y., 2011. Geological sitting, alteration and fluid inclusion characteristics of Zaglic and Safikhanloo epithermal gold prospects, NW Iran. *Geological Society, London, Special publications* 350(1), 133-147.
- [8] Nakhjavani, B. and Alavi, S. G. (2018) Type of mineralization, Geochemistry of Alteretion and Relation of Gold and associated elements in the Hizeh-jan area (NW Iran). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 26(3): 673- 688.
- [9] Bodnar, R. J., 1983. A method of Calculating Fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluid. *Econ. Geol.* 78,535-542.
- [10] Roedder, E., and Bodnar, R. J., 1980. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. *Ann. Rev. earth Planet. Sci.* 8, 263-301.
- [11] Shepherd, T. J., Rankin. A. H., and Alderton, D. H., 1985. A practical guide ti fluid inclusion studies Glasgow: Blackie; New York: Distributed in USA, 239p.
- [12] Pirajno, F., 2009. Hydrothermal processes and mineral system. Springer Science, New York, 123p.
- [13] Jamali, H., & Mehrabi, B., 2015. Relationships between arc maturity and Cu-Mo-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt. *Ore Geology reviews* 65, 487-501.
- [14] Ebrahimi, S., Alirezaei, S., Pan, Y., 2011. Geological sitting, alteration and fluid inclusion characteristics of Zaglic and Safikhanloo epithermal gold prospects, NW Iran. *Geological Society, London, Special publications* 350(1), 133-147.
- [15] Wilkinson, J, J., 201. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55(1). 229-272.