

## بررسی کانه زائی طلا در محدوده قلقله - جنوب غرب سقز

سید وحید شاهرخی\*

گروه زمین شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

احمد خاکزاد، دکتر ایرج رسا

گروه زمین شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۸۷/۴/۳۱

## چکیده

مقدمه: ناحیه قلقله در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان سقز و در شمال غرب استان کردستان واقع است. محدوده اکتشافی قلقله در ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز قرار دارد. این کانسار در قسمت شمال غرب ایران قرار داشته و سن آن کرتاسه پسین است. این ناحیه از دیدگاه زمین شناسی عمومی بخشی از زون دگرگونه سنندج-سیرجان است. قدیمی ترین رخنمون های سنگی، مربوط به گنیس های پرکامبرین در شمال ناحیه مورد مطالعه است. نهشته های وابسته به پرمین نیز در شمال، شمال شرق و شمال غرب ناحیه مطالعه بیشترین گسترش را دارند.

هدف: بررسی کانه زائی طلا و عناصر همراه در محدوده قلقله است. این امر به شناسایی نحوه کانه زائی در ناحیه مطالعه کمک نموده و در مطالعه کانه زائی در سایر مناطق می تواند مؤثر باشد.

روش بررسی: به کمک مطالعات صحرائی، کانه نگاری، آنالیز های ژئوشیمیایی، SEM، مقاطع نازک و صیقلی و نیز سیالات درگیر می توان نحوه و مدل کانه زائی را مورد بررسی قرار داد.

نتایج: آلتراسیون های سیلیسی، سولفیدی، سرسیتی، کربناتی و کلریتی آلتراسیون های اصلی موجود در این ناحیه می باشند. در این میان آلتراسیون های سرسیتی و کلریتی فراگیر هستند، در حالی که آلتراسیون های سیلیسی

سولفیدی و کربناتی معمولاً محدود به زون های داخلی برشی بوده و وابسته به شدت دگرشکلی می باشند. مطالعات کانه نگاری و SEM در محدوده مورد مطالعه نشان دهنده وجود کانه زائی از نوع سولفیدی بخصوص پیریت های طلا دار است که در دو نسل ظاهر شده اند. بر اساس این مطالعات مقدار کمی Ag و As قابل مشاهده است. طلا در کلسیت مشاهده نگردید. کانه های اولیه شامل پیریت مارکاسیت و کالکوپیریت و کانه های ثانویه شامل پیریت، کولیت و رآلگار هستند. از طرفی مطالعات میان بار های سیال در این ناحیه نشان دهنده دمای  $350^{\circ}\text{C}$  هنگام کانه زائی طلاست. مقدار شوری کم سیالات می تواند نشان دهنده احتمالی عدم حمل طلا توسط کمپلکس های کلریدی در این کانه زائی باشد. عدم وجود بلور های جامد در سیالات درگیر این ناحیه نشان دهنده میزان کم کلر است.

**واژه های کلیدی:** طلا، کانه زائی، کانه نگاری، سیالات درگیر، آلتراسیون، قلقله، سقز، ایران

#### مقدمه

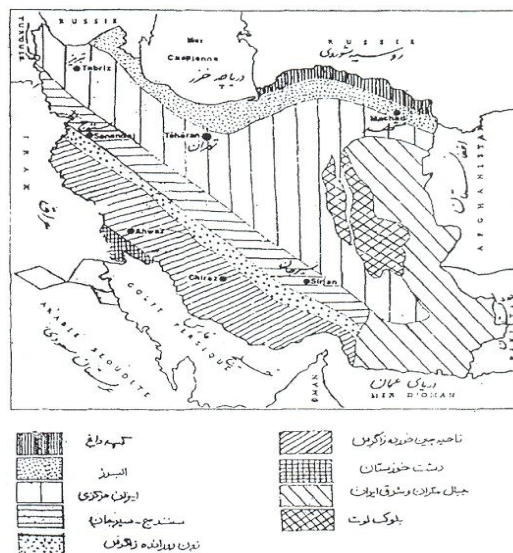
زون دگرگونه سنندج - سیرجان از سالیان دور مورد توجه زمین شناسان بسیاری قرار گرفته است. حضور انواع کانی سازی های فلزی و غیر فلزی در این بخش از کشور و فراوانی قابل ملاحظه آنها علت این توجه بوده است. ناحیه شمال غرب این زون به علل مختلف کمتر مورد اکتشاف و پی جوئی جهت مطالعات زمین شناسی اقتصادی قرار گرفته است. لیکن سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور در سالیان اخیر، مطالعات سیستماتیک پایه (ژئوشیمی، دورسنجی، GIS، ژئوفیزیک و زمین شناسی اقتصادی) را در مناطق امیدبخش به انجام رسانده است. در این میان حضور مناطق امیدبخش در محدوده غرب شهرستان سقز و به خصوص قلقله برای اکتشاف طلا سبب شده تا برنامه ریزی مدونی برای انجام عملیات اکتشافی در این محدوده صورت پذیرد. در این مقاله، ناحیه مورد مطالعه از نظر کانه زائی طلا مورد بررسی قرار گرفته است

موقعیت جغرافیائی محدوده مورد مطالعه

مختصات جغرافیائی محدوده اکتشافی قلقله در این تحقیق بین عرض های شمالی  $33^{\circ}34'22''$  و  $33^{\circ}30'10''$  و طول های شرقی  $49^{\circ}36'51''$  و  $49^{\circ}45'00''$  است که وسعت آن در حدود ۱۰ کیلومتر مربع می باشد. ناحیه مورد مطالعه در بخش باختری نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز قرار گرفته است.

کانسار طلای قلقله در ۳۰ کیلومتری جنوب باختر شهرستان سقز واقع در استان کردستان قرار دارد. این ناحیه از دیدگاه تقسیمات زمین ساختی ایران بخشی از زون دگرگونه سنندج-سیرجان به حساب می آید (شکل ۱).<sup>(۱)</sup> این کانسار را از نظر تشکیل مرتبط با پهنه های برشی می دانند.<sup>(۲-۹)</sup> امروزه کانسار های طلای تیپ برشی را در رده کانسار های طلای تیپ کوهزائی قرار می دهند.<sup>(۱۰)</sup> طلا در این نوع کانسارها به صورت آزاد یافت می شود.<sup>(۱۱)</sup> تاکنون چندین کانسار غول آسا با ذخیره ۱۰۰ تا ۵۰۰ تن طلا در دنیا شناخته شده اند.<sup>(۱۲)</sup> مطالعات مربوط به این نوع کانسارها در ایران جدید بوده و به جز مواردی معدود، اطلاعات علمی چندانی در رابطه با این نوع کانه زائی طلا گزارش نشده است. برخی از مطالعات انجام شده در ناحیه سقز شامل اکتشافات ژئوشیمیائی

سیستماتیک ناحیه آلتو-باینجوب و تیژ تیژ (۱۳-۱۵) و کرویان (۱۶) می باشد. زون سنندج - سیرجان قسمتی داخلی دگرگون شده کوهزاد زاگرس در باختر ایران است که به هنگام بسته شدن اقیانوس تتیس جوان در کرتاسه پسین در اثر برخورد سکوی قاره عربی با ایران ایجاد شده است. (۱۷)



شکل ۱: نقشه شماتیک تقسیمات ساختمانی ایران از نظر اشتوکلین و روتنر<sup>(۱)</sup> و موقعیت ناحیه مورد مطالعه (X) (۱)

محدوده مورد مطالعه از نظر تقسیم بندی ساختاری، در بخش شمال باختری پهنه سنندج - سیرجان و در زیر پهنه با دگرشکلی پیچیده قرار گرفته است. (۱۸) این زیر پهنه با داشتن چندین مرحله دگرشکلی که بعضی از آنها با دگرگونی و نفوذ توده های بی شماری از سنگ های نفوذی همراه بوده است، از دیگر زون ها متمایز می شود.

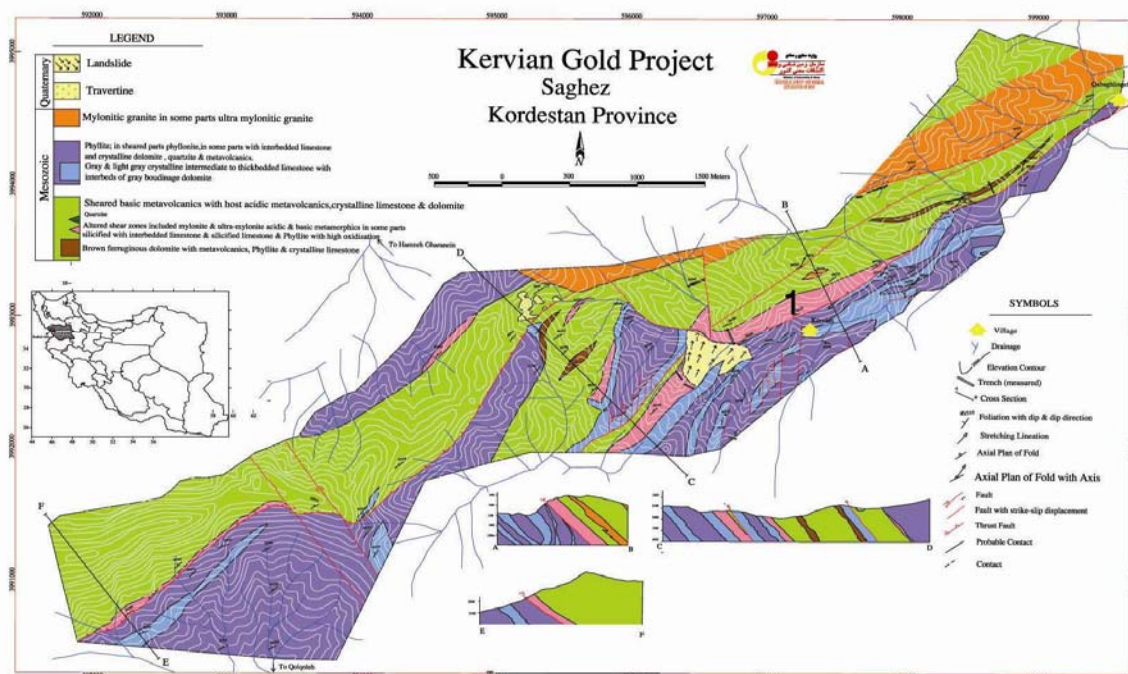
## مواد و روش ها

### زمین شناسی و سنگ نگاری رخنمون های سنگی در محدوده مورد مطالعه

به منظور تهیه اطلاعات دقیق، اقدام به تهیه نقشه زمین شناسی معدنی به مساحت ۱۰ کیلومتر مربع و به مقیاس ۱:۵۰۰۰ از ناحیه مورد مطالعه شده است (شکل ۲). توده های سنگی موجود در ناحیه مورد مطالعه دارای امتداد شمال خاور-جنوب باختر بوده و مشتمل بر یک سری واحدهای سنگی رسوبی و آتشفشانی دگرگون شده به صورت گنیس، گرانیت گنیس، شیست، میکاشیست، متاریولیت، متاولکانیک، اسلیت و فیلیت متعلق به پرکامبرین است. (۱۹) نهشته های پرمین در منطقه سقز گسترش وسیعی دارند و شامل دو بخش ماسه سنگی قرمز در زیر (هم ارز سازند درود) و سنگ آهک ضخیم لایه خاکستری در بالا (هم ارز سازند های روته و نسن) هستند. بخش ماسه سنگی قرمز رنگ گسترشی چندان ندارد و در بعضی نقاط با ضخامت نزدیک به ۵۰ تا ۱۰۰ متر در قاعده بخش آهکی دیده می شود. بخش کربناته در برگرنده یک افق ضخیم سنگ آهک دولومیتی و دولومیت به رنگ های خاکستری تیره تا روشن و به ندرت کرم تا نخودی است که دارای ضخامتی بیش از ۳۵۰ متر و فرسایش خشن و چهره ساز است و ارتفاعات بلند منطقه را پدید می آورد. گاه در بردارنده گرهک های چرت سیاه نیز هست و در

بخش های زیرین عدسی های بوکسیت-لاتریتی تیره رنگ نیز در آن ها دیده می شود. چین خوردگی هایی شدید را متحمل شده و به شدت بلورین هستند. عدسی های بوکسیت-لاتریتی در درون این واحد کربناته بسیار زیاد، ولی دارای ضخامت چند سانتی متر تا حداکثر ۵ متر و طول چند متر تا حداکثر ۱۰۰ متر هستند. عدسی های بوکسیت-لاتریتی دارای ترکیب دیاسپوری و به شدت سیلیسی آهن دار همراه با کانی های رسی هستند. نهشته های وابسته به ژوراسیک<sup>(۲۰)</sup> در محدوده ورقه سقز بطور عمده شامل یک توالی از شیل و ماسه سنگ نازک لایه سبز-خاکستری است که به گونه ای ناهمساز بر روی واحد دولومیت تریاس یا سنگ های قدیمی تر جای گرفته اند. نهشته های کرتاسه نیز گسترش وسیعی داشته و شامل یک توالی از شیل سیلتی و آهکی مدادی خاکستری رنگ، تناوب شیل و آهک، لایه های ضخیم سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی خاکستری رنگ هستند که دگرگونی واضحی را تحمل نموده و به افق های مرمر تبدیل شده اند.<sup>(۱۶)</sup> انباشته های جوان دوره کواترنزی نیز شامل پادگانه های قدیمی رودخانه ای، مخروط افکنه ها و پادگانه های جوان رودخانه ای دشت آبرفت و انباشته های کنونی بستر رودخانه هاست.<sup>(۲۰)</sup>

حضور توده های گرانیتوئیدی در محدوده کانسار (شکل ۲) یکی از مشخصات اصلی و بارز در این ناحیه، است که می تواند دال بر درجه زمین گرمایی بالای این ناحیه در زمان تشکیل این گرانیت ها باشد.<sup>(۲۱)</sup> این توده های گرانیتی به گرانیت های میلونیتی جهت یافته (عکس ۱) و گرانیت های تورمالین دار (عکس ۲) قابل تقسیم بندی هستند.



شکل ۲ - نقشه ۱:۵۰۰۰ از ناحیه مورد مطالعه

در این ناحیه دو روند در مقیاس میکروسکوپی تا مزوسکوپی قابل تشخیص است. روند شمال خاور-جنوب باختر که روند اصلی بوده و روند سنگ های رخنمون یافته، راندگی های منطقه، امتداد صفحه های محوری تاقدیس ها و ناودیس ها و زون های دگرسان می باشد (شکل ۲). روند شمالی-جنوبی که روند قبلی را قطع کرده و باعث جابه جایی واحد های رخنمون یافته شده است (شکل ۲).<sup>(۴)</sup>

دگرشکلی و دگرسانی

سه مرحله دگرشکلی در این ناحیه قابل تشخیص است. اولین مرحله دگرشکلی (D1) است که به صورت یک فاز ترمودینامیکی باعث دگرگونی و دگرشکلی شده است. عوامل ساختاری نشان دهنده این دگرشکلی تحت تأثیر مراحل بعدی حذف گردیده اند، لیکن گاهی قابل مشاهده می باشند. این دگرشکلی باعث گسترش برگواره (S1) گردیده (عکس ۳) که موجب به وجود آمدن شیستوزیته در شیست ها گردیده و نوارهای تیره (بیوتیت) و روشن (کوارتز و فلدسپار) را به وجود آورده است.<sup>(۲۲)</sup>

دومین مرحله دگرشکلی (D2) به عنوان مهم ترین دگرشکلی رخ داده باعث شدیدترین تغییرات ساختاری در منطقه گردیده و موجب گسترش برگواره (S2) شده است (عکس ۴) به گونه ای که باعث ایجاد روند عمومی واحد های رخنمون یافته، چین ها، ساختار های میلونیتی و برگوارگی غالب منطقه شده و پهنه های برشی شکل پذیر را به وجود آورده است (محجل و شمسا، ۱۳۸۰). این وضعیت بیانگر یک دگرشکلی شدید و پیشرونده است.<sup>(۲۳)</sup>

دگرشکلی مرحله سوم جوان ترین دگرشکلی بوده و باعث ایجاد دگرشکلی شکننده گردیده که شکل کنونی منطقه را به وجود آورده است. این ساختارها اکثراً به صورت گسل بوده و دارای روند شمال خاور-جنوب باختر و به صورت معکوس بوده و تکرار لایه ها را سبب شده است (شکل ۲).

از مهم ترین دگرسانی های موجود در این ناحیه می توان به دگرسانی سیلیسی، سولفیدی، کربناتی، سریسیتی و کلریتی را نام برد که کاملاً وابسته به نوع سنگ میزبان است.<sup>(۴)</sup> بر این اساس بیشتر شدت دگرسانی سیلیسی، سولفیدی و کربناتی به بخش های درونی پهنه برشی محدود می شود که در آن محلول های گرمابی در بیشترین حجم خود بر سنگ های دیواره تأثیر گذاشته و باعث حداکثر فعالیت گرمابی در زون دگرسان منطقه شده است.<sup>(۴)</sup>

#### زمین شناسی ساختمانی در محدوده اکتشافی قلقله

در محدوده قلقله، روند شکستگی ها شبیه روند غالب ورقه سقز می باشد. گسل ها عمدتاً حالت راست لغز دارند. گسل های با روند NW-SE (روند عمومی گسل ها در ناحیه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز که ناحیه مورد مطالعه نیز در آن واقع شده است) حرکت راست بر (Dextral) و گسل های با روند NNW-SSW حرکت چپ بر (Sinistral) دارند. در ناحیه قلقله، روند اصلی گسل ها NNW-SSE می باشد و روند برش آن ها چپ گرد است (بر اساس جابه جایی رخنمون واحدها)، ضمناً مدل ارائه شده فقط یک احتمال است و بررسی سیستم گسلی منطقه به طور خاص خود یک پروژه علمی است که در این مطالعات نمی گنجد. البته طول شکستگی ها در حد ۱ تا ۲ کیلومتر برآورد شده و با توجه به روند اصلی ساختارها در پهنه سندنج-سیرجان که به صورت NW-SE است، در یک پهنه برشی با این روند، شکستگی های برشی ریدل در جهت NW-SE و NNW-SSW می توانند تشکیل گردند.<sup>(۲۴)</sup> (شکستگی های R و R') (شکل ۳) روند گسل های موجود در این ناحیه در تصویر ۲ آمده است.<sup>(۲۵)</sup>

بررسی کانه زائی در محدوده مورد مطالعه

به منظور دستیابی به نمونه های تازه، تعداد ۱۷ ترانشه در جهت عرض رگه جمعاً به متر ۲۳۵۰ متر و تعداد ۱۶ حلقه گمانه جمعاً به متر ۲۰۲۴ متر توسط سازمان زمین شناسی در پهنه کانه دار قلقله حفر گردید. نمونه برداری از ترانشه ها و گمانه های حفر شده با فواصل یک متر یا بیشتر تا حداکثر ۵ متر، به منظور بررسی میزان حضور عنصر طلا و سایر عناصر در آزمایشگاه های نان چان کشور چین و ALS Cemex کشور کانادا به روش ICP (fire Assay) با صحت در حد 50ppb تا 100 بوده است. بر اساس این مطالعات عیار متوسط طلا ۱/۷ گرم در تن بوده و از ۰/۵ تا ۲۰ گرم در تن متغیر است. این امر گویای غنی شدگی عیار طلا در این ناحیه است.

همچنین از قسمت های مختلف ترانشه ها و نیز مغزه های به دست آمده تعداد ۱۲۰ عدد نمونه جهت تهیه مقاطع صیقلی برداشت گردید. تعداد ۱۱۰ عدد نمونه نیز جهت تهیه مقاطع نازک برداشت گردید. این مقاطع پس از تهیه مورد مطالعات میکروسکوپی قرار گرفتند. این نمونه ها اکثراً بر یکدیگر منطبق بوده و مکمل یکدیگر محسوب می شوند. لیکن بعضی از نمونه ها صرفاً جهت تهیه مقاطع نازک و بعضی نیز صرفاً جهت تهیه مقاطع صیقلی برداشت شدند.

مطالعه کانه نگاری رگه کانه دار کانسار طلای قلقله نشان دهنده وجود کانه های مختلفی است که مشتمل بر چهار گروه می باشند:

۱- سولفیدها شامل پیریت، پیریت های آرسنیک دار، آرسنو پیریت، کالکوپیریت، مارکاسیت، رآلگار، کولیت

۲- اکسیدها شامل: مگنتیت، تیتانومگنتیت، ایلمنیت

۳- هیدروکسیدها

۴- عناصر طبیعی : طلا

در ناحیه مورد مطالعه کانی های سولفیدی فراوان ترین کانه ها می باشند. این کانه ها اغلب در متن سنگ به صورت ذرات پراکنده و لامینه هایی از پیریت، همراه با بلورهای کوارتز و کربنات می باشند. این سولفیدها به دو صورت اصلی قابل تفکیک از یکدیگرند:

الف) سولفیدهای اتومورف (عکس ۵)، درشت بلور و جهت یافته همراه با بلورهای درشت کوارتز و کربنات که عمدتاً شامل پیریت (عکس ۵) بوده و به مقدار کم با مارکاسیت همراهی می شوند.

ب) سولفیدهای ریز بلور و بی شکل شامل پیریت (عکس ۶) و به ندرت پیریت های آرسنیک دار، آرسنو پیریت (عکس ۷)، کالکوپیریت و اندکی رآلگار (عکس ۸).

در این میان پیریت کانی اصلی سولفیدی بوده و فراوان ترین کانه در پهنه کانه دار قلقله را به خود اختصاص می دهد. به طوری که می توان میزان آن را تا ۹۵٪ از مجموعه کانی های سولفیدی تخمین زد. این کانی در بهترین حالت در مناطق دگرسان و به شدت آتره شده و دگرشکل، تا ۴ درصد حجم سنگ پهنه کانه دار را به خود اختصاص می دهد.

در واحدهای دگرسان شده پهنه های کانه دار دو نسل از پیریت قابل تشخیص است :

الف) پیریت های نسل اول شامل پیریت های خود شکل و دانه درشت که به اندازه ای در حد چند میکرون تا میلی متر به موازات برگواره میلونیتی و صفحات C گسترش یافته و جهت یافته شده اند. این پیریت ها به صورت

دانه های مجزا در سطوح ضعیف و در طول شکستگی ها، برگواره میلونیتی و مرز دانه ها همراه با کوارتزهای نسل اول و کوارتزهای قبل از دگرشکلی سنگ اولیه تشکیل شده اند. در واقع اولین فاز کانه زائی طلا پیریت های درشت و خود شکل نسل اول است.

ب) پیریت های نسل دوم پیریت های ریز بلور و بی شکل هستند که ابعاد آنها کمتر از ۱۰۰ میکرون بوده و به صورت افشان در واحدهای دگرسان شده قابل مشاهده اند. این پیریت ها هم روند با فابریک C و S بوده ولی بعضا در ریز شکستگی های حاصل از نقاط ضعف کانی های هم روند با فابریک E همراه با سیلیس و کربنات ریز بلور و کانی های میکائی دیده می شوند.

کالکوپیریت در مقادیر ناچیز همراه با پیریت های نسل اول و دوم قابل مشاهده است (عکس ۹). همچنین کالکوپیریت به صورت ادخال در پیریت های درشت به اندازه ۵۰ تا ۱۵۰ میکرون به صورت محلول جامد قابل مشاهده است (عکس ۱۰). این کالکوپیریت ها گاهی در حواشی خود به کوولیت دگرسان شده اند. حضور این کانه به صورت هم روند و هم اندازه با پیریت های ریزدانه نسل دوم نشان دهنده تشکیل آنها در یک فاز است. مقدار بسیار کمی رآلگار ریز بلور همراه با تیتانومگنتیت و پیریت های درشت بلور در ابعاد کمتر از ۱۰ میکرون قابل مشاهده است. به غیر از سولفیدهای ذکر شده سولفید های دیگری وجود ندارد و این موضوع به وسیله نتایج آزمایشات ژئوشیمیائی انجام شده تأیید گردیده است.

اکسیدهای آهن شامل مگنتیت، تیتانومگنتیت و ایلمنیت اکثراً به صورت اولیه قابل مشاهده اند (عکس ۱۱). در مطالعات انجام شده بوسیله SEM به منظور شناسائی و تشخیص ترکیب شیمیائی، شاهدهی از همراهی طلا در حواشی و یا در داخل این نوع کانه های اکسیدی مشاهده نگردیده است.

هیدروکسید های موجود در این ناحیه از نوع هیدروکسیدهای آهن شامل هماتیت، گوتیت و لیمونیت بوده و محصول هوازدگی می باشند. این هیدروکسید های آهن دارای بافت کلوفرم بوده و بقایای پیریت های اولیه را به صورت بافت جزیره ای و باقی مانده در خود جای می دهند (عکس ۱۲). عنصر طلا به عنوان هدف اصلی اکتشاف در این ناحیه به حساب می آید.

طلا در این ناحیه به دو صورت حضور دارد:

۱- در داخل گانگ کوارتزی به صورت آزاد: بخش عمده طلای آزاد در کوارتزهای نسل دوم قابل مشاهده بوده و دارای ابعادی در حد ۲۵ تا ۳۰ میکرون می باشد. این نوع طلا گاه همراه با پیریت های ریز و هم روند با آنها قابل مشاهده است (عکس ۱۳). در مواردی نیز دانه های طلا در جهت کشیدگی کانی های فیلوسیلیکاته دگرسان همانند کلریت های حاصل از دگرسانی بیوتیت به صورت جهت یافته هم روند با برگوارگی و همراه با پیریت های ریزدانه قابل مشاهده است (عکس ۱۴). این امر نشان از همزمانی تشکیل طلای آزاد با دگرسانی سولفیدی در حین دگرشکلی دارد.

۲- در فاز سولفیدی: طلا همین طور در فاز سولفیدی به اندازه کمتر از ۵ میکرون در هر دو فاز پیریت علی الخصوص در پیریت های فاز دوم حضور داشته و در حواشی آنها نیز به صورت ریز و درشت قابل مشاهده است.

پیریت های طلا دار و طلای آزاد در طیفی از سنگ ها شامل گرانتیت، سربیسیت شیبست، متاولکانیک های فلسیک و مافیک و نیز کوارتز پراکنده اند. حضور پیریت های درشت اولیه در گرانتیت ها می تواند نشانگر نقش این سنگ در کانه زائی باشد.

### مطالعات SEM

به منظور انجام آزمایشات SEM از دستگاه موجود در واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی استفاده شد. بررسی مقاطع نشان دهنده حضور طلا همراه در کانه سولفیدی پیریت و همچنین به حالت آزاد است. آنالیز نقطه ای کانه های پیریت با استفاده از روش SEM نشان دهنده وجود مقادیر ناچیزی نقره (Ag) و آرسنیک (As) در این کانه است. همچنین مقادیر ناچیز As-Ag قابل مشاهده است. بر اساس این مطالعات دانه های بسیار ریز طلا با اندازه کمتر از ۵ میکرون در پیریت های اکسید شده که از آن ها آزاد گردیده وجود دارد (تصاویر ۴ و ۵). اولین فاز کانه زائی طلا در پیریت های درشت و شکل دار به وجود آمده است که همزمان با دگرشکلی خمیری بوده و از برگوارگی تبعیت می کند. پیریت های این فاز تحت تأثیر دگرشکلی های بعدی که منجر به چین خوردگی برگواره میلونیتی شده است، تحت تأثیر قرار گرفته و چین خورده است. با مطالعه و بررسی های انجام شده نشانه ای از همراهی طلا در حواشی و یا داخل کانه های اکسیدی موجود از قبیل تیتانومگنتیت، ایلمنیت، مگنتیت (همانند کانه های سولفیدی اکسید شده) به دست نیامد. با استفاده از مطالعات SEM، طلا در کلسیت مشاهده نگردید، اما در مقاطع دارای کلسیت فراوان که عیار بالائی از طلا را در خود نشان می دهند، طلا به صورت آزاد در سیلیس مشاهده می شود. نقره نیز به صورت الکتروم در طلای آزاد وجود دارد، لیکن به صورت آزاد در مقاطع مشاهده نگردید.

### نتایج و بحث

#### مطالعات کانه نگاری و SEM

- بیشترین کانی های شناخته شده اولیه در این کانی سازی شامل پیریت، مارکاسیت و کالکوپیریت است.
- کانه های ثانویه شناخته شده شامل پیریت، کولیت و رآلگار است.
- سولفید های دیگر قابل مشاهده نیستند و این امر با آزمایشات ژئوشیمیائی تأیید شده است.
- پیریت به صورت پیریت آرسنیک دار، آرسنوپیریت و پیریت قابل مشاهده است، طلا در شبکه این پیریت ها وجود دارد.
- کانی سازی گالن و اسفالریت در رگه اصلی طلا دار و در محدوده دگرسان شده دیده نمی شود.
- مطالعات SEM بر روی مقاطع نشان دهنده وجود و تمرکز طلا در کانه های سولفیدی و همچنین به صورت آزاد و ریز دانه همراه با پیریت های ریز دانه و همراه با سیلیس است. مقدار کمی نقره همراه با طلا به صورت الکتروم قابل مشاهده است (تصاویر ۴ و ۵).

مطالعات مربوط به سیالات درگیر



در طی این مطالعات تعداد ۵ مقطع نازک دو بر صیقل از کانی کوارتز موجود در محل رگه مینرالیزه و و از نواحی که طلا عیار بالا نشان می دهد، تهیه و پس از انجام مطالعات میکروسکوپی بر روی آنها نهایتاً تعداد ۴ مقطع به وسیله میکروسکوپ مطالعاتی سیالات درگیر (Linkam 91HFS) مستقر در دانشگاه تربیت مدرس، مورد آزمایش دماسنجی قرار گرفت. در مجموع تعداد ۶۰ میانبار سیال انتخاب شده و مورد آزمایش دماسنجی قرار گرفتند. درجه پرشدگی سیالات درگیر در رگه های سیلیسی طلا دار در حدود ۷۵ درصد است. از نظر شکل ظاهری سیالات درگیر قابل تقسیم به بی شکل، کروی و کشیده و سوزنی هستند (۲۶، ۲۷). سیالات درگیر مورد مطالعه، به صورت بی شکل (Lath shape) است، لیکن شکل ها منفی بلور (در Negative shape) و سوزنی شکل (Needle shape) نیز قابل مشاهده اند. در مطالعات مربوط به سیالات درگیر از سیالات اولیه دارای شکل نامنظم استفاده گردید و از سیالات باریک و کشیده و نیز انواع کروی که از انواع ثانویه و ثانویه کاذب هستند، صرف نظر شد (عکس ۱۵).

کریستال دختر در سیالات درگیر این رگه مینرالیزه مشاهده نمی شود. عدم وجود کریستال های دختر در سیالات درگیر این ناحیه می تواند نشان دهنده کمی مقدار کلر در محدوده مورد مطالعه باشد. (۲۸)

عدم وجود حباب های درشت در سیالات درگیر این ناحیه نشان دهنده جوشش میان بارهای سیال است. (۲۹)

سیالات درگیر در مشاهدات میکروسکوپی مشتمل بر هر سه نوع سیال درگیر اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب بودند که در این میان سیالات درگیر ثانویه، ثانویه کاذب و اولیه به ترتیب فراوانی قرار دارند.

سه نوع سیال درگیر در ناحیه مطالعه قابل تشخیص بوده و بر این اساس دمای هموژنیزاسیون در میانبار های سیال مشتمل بر سه محدوده دمائی است (تصویر ۶):

۱- گروهی از سیالات درگیر اندازه بسیار کوچک داشته و از نظر فراوانی در رده دوم قرار دارند دمای همگن شدن این گروه در محدوده حرارتی  $210^{\circ}\text{C}$  تا  $250^{\circ}\text{C}$  و درجه سرمایش آنها بین  $7^{\circ}\text{C}$  تا  $10^{\circ}\text{C}$  قرار دارد. تکان خوردن فاز گازی در دمای معمولی در زیر میکروسکوپ تأیید کننده دمای پائین به دام افتادگی این سیالات است.

۲- گروه دیگر سیالات درگیر، اندازه کوچک تا متوسط داشته و از نظر فراوانی در رده سوم قرار دارند دمای همگن شدن این گروه در محدوده حرارتی  $250^{\circ}\text{C}$  تا  $350^{\circ}\text{C}$  و درجه سرمایش این گروه بین  $8^{\circ}\text{C}$  تا  $12^{\circ}\text{C}$  قرار دارد.

۳- گروه سوم سیالات درگیر، اندازه کوچک تا متوسط داشته و از نظر فراوانی در رده اول قرار گرفته و در واقع بیشترین فراوانی را دارند. دمای همگن شدن این گروه در محدوده حرارتی  $350^{\circ}\text{C}$  تا  $390^{\circ}\text{C}$  و درجه سرمایش این گروه بین  $11^{\circ}\text{C}$  تا  $15^{\circ}\text{C}$  قرار دارد.

محدوده دمائی از  $220^{\circ}\text{C}$  تا  $390^{\circ}\text{C}$  می تواند نشان دهنده سه نوع سیال عمل کننده در منطقه مورد مطالعه باشد:

(۱) سیال جوی در محدوده حرارتی  $250^{\circ}\text{C} <$

(۲) سیال دگرگونی یا ماگمائی و یا ماگمائی-دگرگونی در محدوده حرارتی  $350^{\circ}\text{C} >$

(۳) سیال مختلط که حاصل اختلاط دو نوع سیال جوی و ماگمائی-دگرگونی است.

در کانسار های طلای مزوترمال، فرآیند های اصلی که شرایط لازم جهت ته نشینی مؤثر کانه از سیال طلا دار را فراهم می کند، شامل پدیده اختلاط دو سیال (Fluid mixing) و جدایش فازی (Phase separation) هستند. (۳۰)

لازم به ذکر است که فرآیند های فیزیکی از جمله جدایش فازی و اختلاط دو سیال مهم ترین ساز و کارهایی هستند که در نهایت موجب تشکیل ذخایر اقتصادی می شوند. <sup>(۳۱)</sup> نمودار دمای هموژنیزاسیون سیالات درگیر در کانسارهای مختلف در تصویر ۷ نشان داده شده است. فرار گیری موقعیت بعضی نمونه های اندازه گیری شده در ناحیه قلقله بر روی این نمودار نشان از قرارگیری این نمونه ها در محدوده کانسار های طلای تیپ مزوترمال دارد. <sup>(۳۲)</sup>

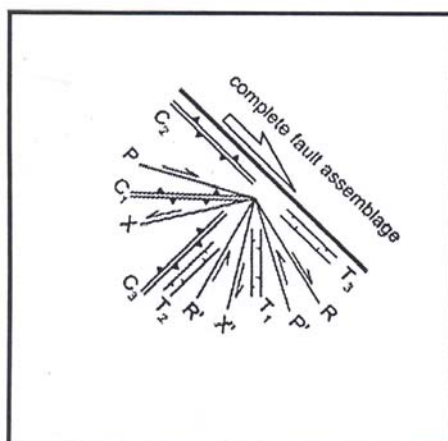
با توجه به این که بیشتر کانه سازی انجام شده به همراه سیالات درگیر سیالات مختلط مشاهده می گردد، لذا می توان گفت که احتمالاً اختلاط سیالات ماگمایی-دگرگونی با دمای بالاتر ( $> 350^{\circ}C$ ) و شوری بیشتر با سیالات جوی دارای حرارت کمتر ( $< 250^{\circ}C$ ) و شوری پائینتر منجر به ناپایداری کمپلکس های حاوی طلا گشته و باعث کانه سازی طلا در این ناحیه شده است. به این ترتیب دمای کانه سازی را می توان در حدود  $350^{\circ}$  درجه سانتی گراد برآورد کرد.

چگالی سیال کانه دار در دو محدوده مشخص ( $0.71-0.65 g/cm^3$ ) و ( $0.86-0.80 g/cm^3$ ) می باشد. این مقدار می تواند در محدوده مرتبط با کانسار های طلای تیپ کوهزائی قرار داده شود. این مقدار برای کانسار های طلای تیپ کوهزائی ( $0.8-1.5 g/cm^3$ ) می باشد. <sup>(۳۳)</sup>

به این ترتیب می توان گفت که شکل گیری طلا در ناحیه مورد مطالعه حاصل عملکرد دگرگونی ناحیه ای بوده و زون برشی در ناحیه مورد مطالعه باعث کانی سازی طلا شده است.

فاز کانه زائی شامل کوارتز- کربنات + پیریت های درشت (+ طلا) + کلریت + موسکوویت + اکسیدهای آهن این فاز در واقع پیش درآمدی بر فاز کانه زائی بعدی می باشد.

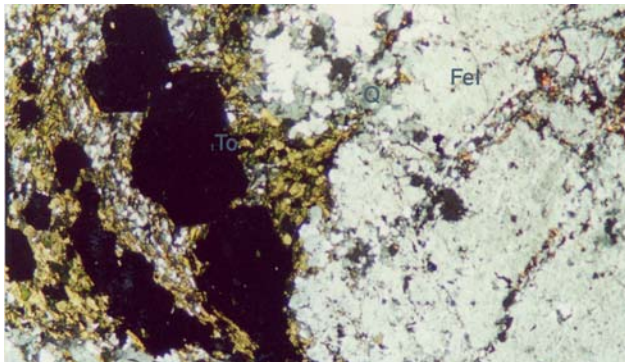
فاز کانه زائی دوم شامل طلای آزاد + پیریت های ریز (+ طلا) + کالکوپیریت + کربنات های آهن دار + کلریت و موسکوویت است. این فاز در واقع فاز اصلی کانه زائی در ناحیه مورد مطالعه را شامل می شود.



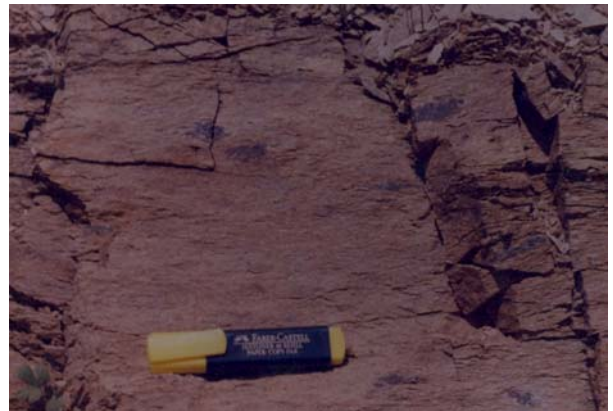
Angle to PDZ ( measured clockwise)

| right- lateral   | left- lateral     | contractional                  | extensional                   |
|------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| R= $150^{\circ}$ | p' = $30^{\circ}$ | C <sub>1</sub> = $135^{\circ}$ | T <sub>1</sub> = $45^{\circ}$ |
| X'= $60^{\circ}$ | R' = $75^{\circ}$ | C <sub>2</sub> = 0             | T <sub>2</sub> = $90^{\circ}$ |
| P= $150^{\circ}$ | X= $120^{\circ}$  | C <sub>3</sub> = $90^{\circ}$  | T <sub>3</sub> = 0            |

شکل ۳: نوع و روند شکستگی ها در پهنه برشی راستا لغز راست بر <sup>(۳۴)</sup>



عکس ۲- گرانیت تورمالین دار در ناحیه قلقله ( بزرگنمایی ۴۰ برابر در نور پلاریزه)



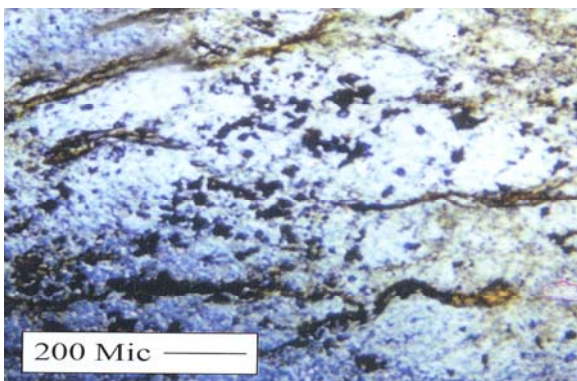
عکس ۱- گرانیت میلونیتی در ناحیه قلقله



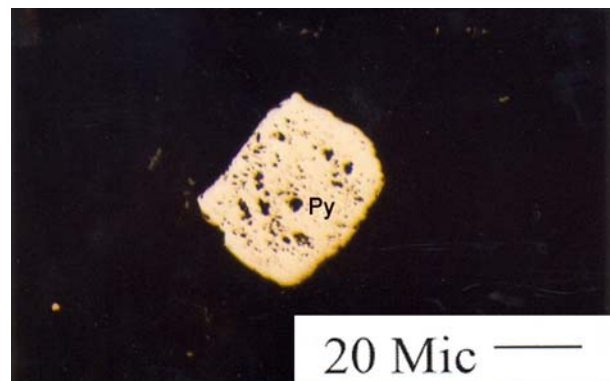
عکس ۴- گسترش برگوارگی در اثرکنگره ای شدن برگوارگی غالب در آهک



عکس ۳- گسترش برگواره های S و C در پهنه برشی-برش حرکت بلوک سمت راست (شمال) روی بلوک سمت چپ (جنوب) را مشخص می کند. متر نواری در بالای عکس در جهت برگوارگی C و در سمت چپ چکش برگوارگی S به خوبی پیداست.

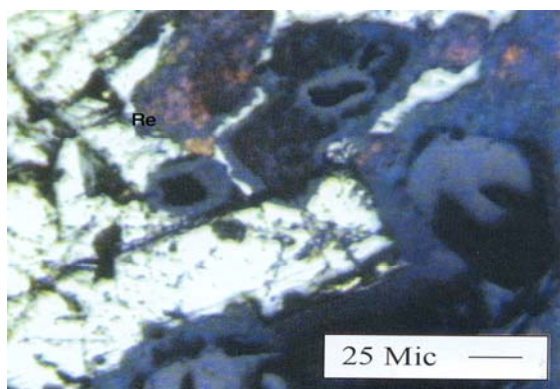


عکس ۶- نمائی از سولفیدهای ریز و بی شکل نسل دوم که به صورت افشان در واحد های دگرسان و دگر شکل پهنه دگرسان دیده می شود ( بدون آنالیزور).

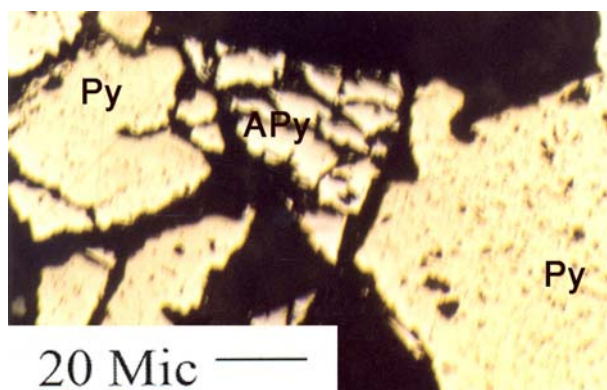


عکس ۵- نمائی از پیریت شکل دار چهارگوش که طی مرحله اول فاز سولفیدی شکل گرفته است.

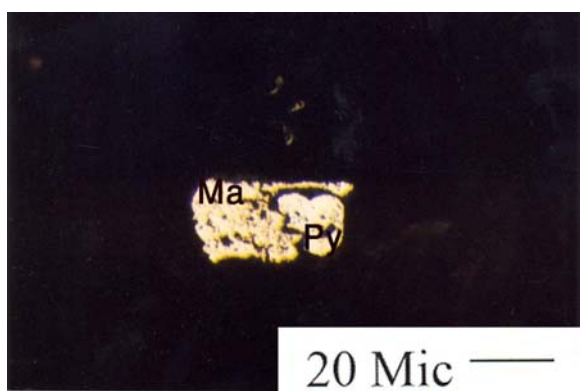




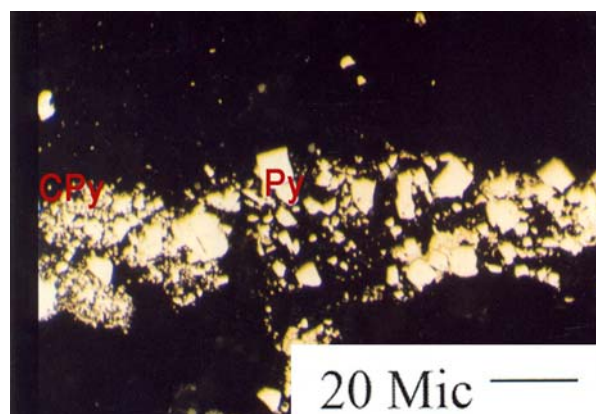
عکس ۸- کانی سولفیدی آرسنیک دار ( رآلگار) در شکستگی های کانی اکسیدی ( تیتانو مگنتیت) قابل تشخیص با رنگ تداخلی سرخ که نشانگر تقدم فاز اکسیدی نسبت به سولفیدی است.



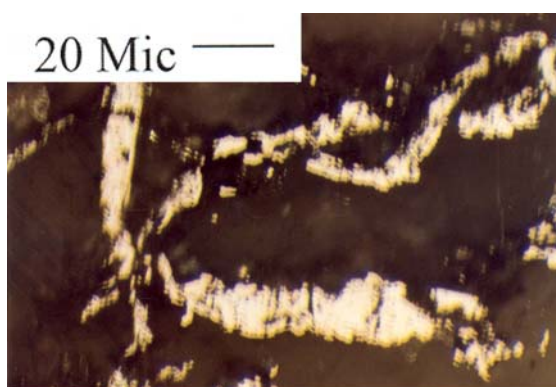
عکس ۷- نمائی از بلورهای نیمه شکل دار تا بی شکل پیریت با گرایش آرسنوپیریت که با بلور هائی شاخص ( از نظر قدرت بازتابش روشن تر است ) از آرسنوپیریت همراهی می شوند.



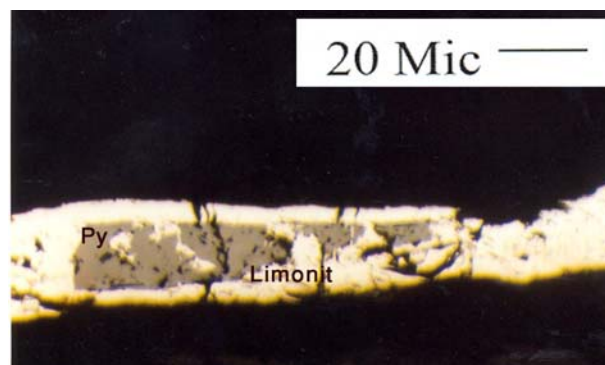
عکس ۱۰- نمائی از بلور پیریت در کنار بلور مارکاسیت



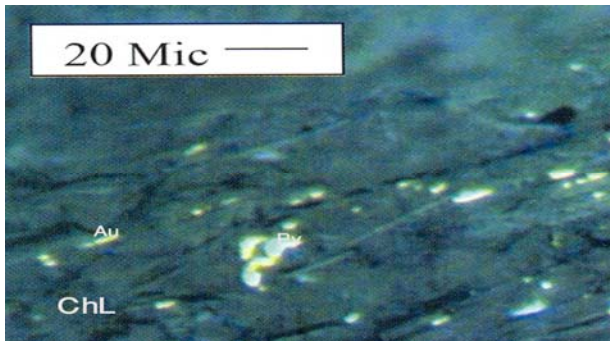
عکس ۹- نمائی از تزریق کالکوپیریت به داخل پیریت های خرد شده مرحله اول که مبین بافت تزریقی (Injection)



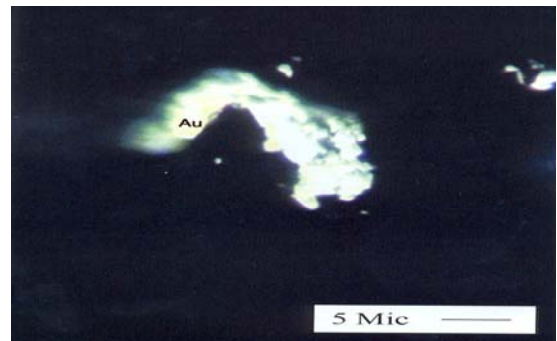
عکس ۱۲- نمائی از واپاشی بلورهای تیغه ای پیریت و تبدیل به هیدروکسید از نوع لیمونیت + سیدریت و موقعیت آنها در راستای سطوح تورق



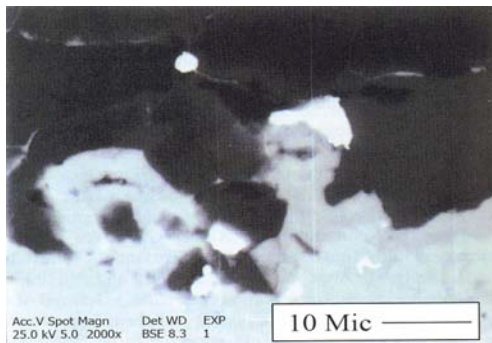
عکس ۱۱- نمائی از بلور های تیغه ای مگنتیت به عنوان فاز اکسیدی غالب



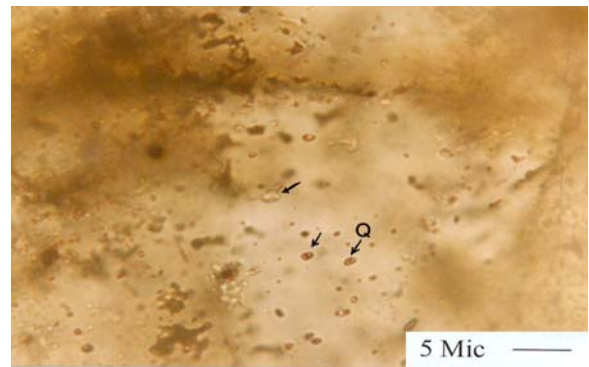
عکس ۱۴- طلا های آزاد جهت یافته در کنار سولفید های ریز دانه و در جهت برگوارگی در امتداد کانی های فیلو سیلیکاتی حاصل از دگرسانی کلریتی و نیز در داخل سیلیس قابل

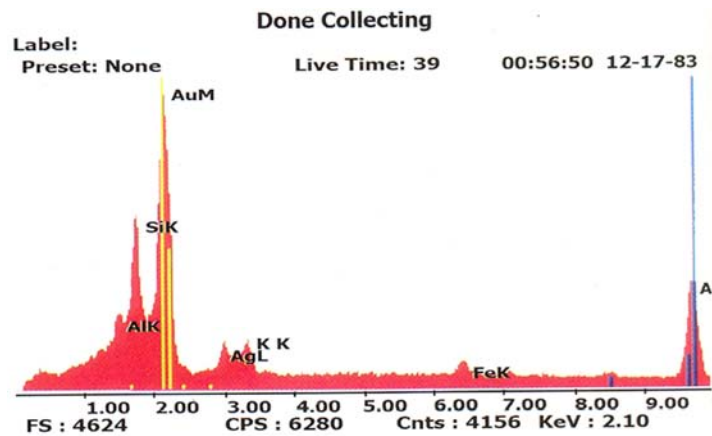


عکس ۱۳- طلای آزاد شده در نمونه های به شدت دگرسان شده سیلیسی

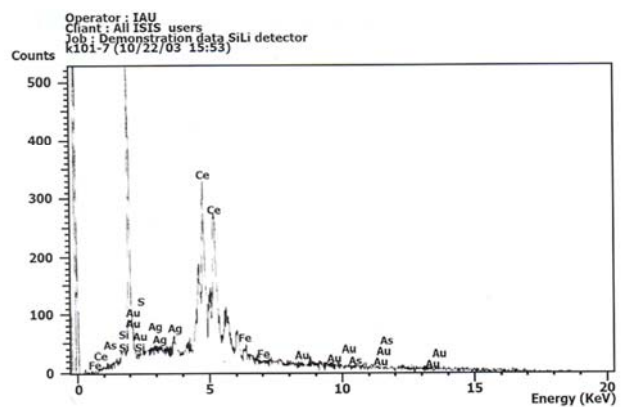
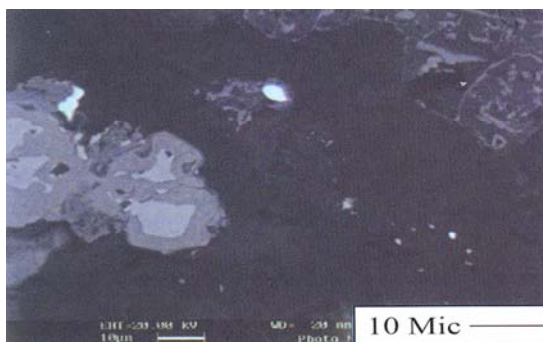


عکس ۱۵- سیالات درگیر موجود در کانی کوارتز و سیال درگیر قابل اندازه گیری موجود در آن

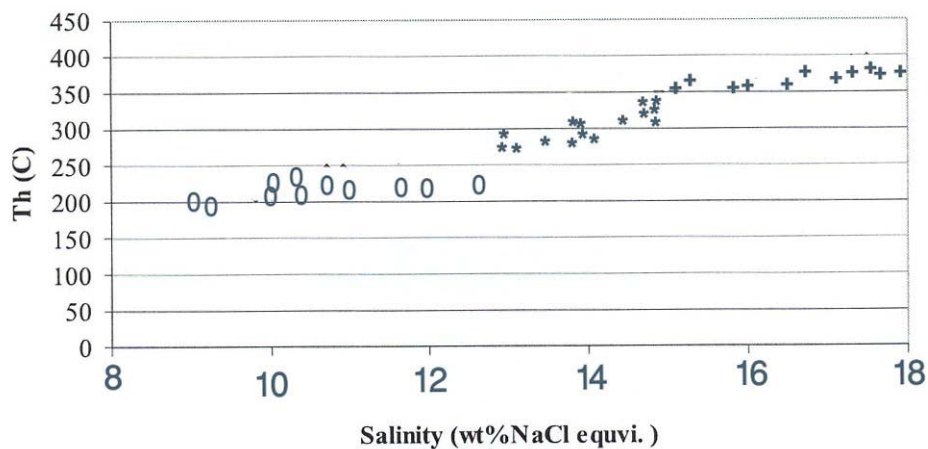




شکل ۴: طلای آزاد شده از پیریت های درشت اکسیده همراه با نتایج میکروسکوپ الکترونی آن

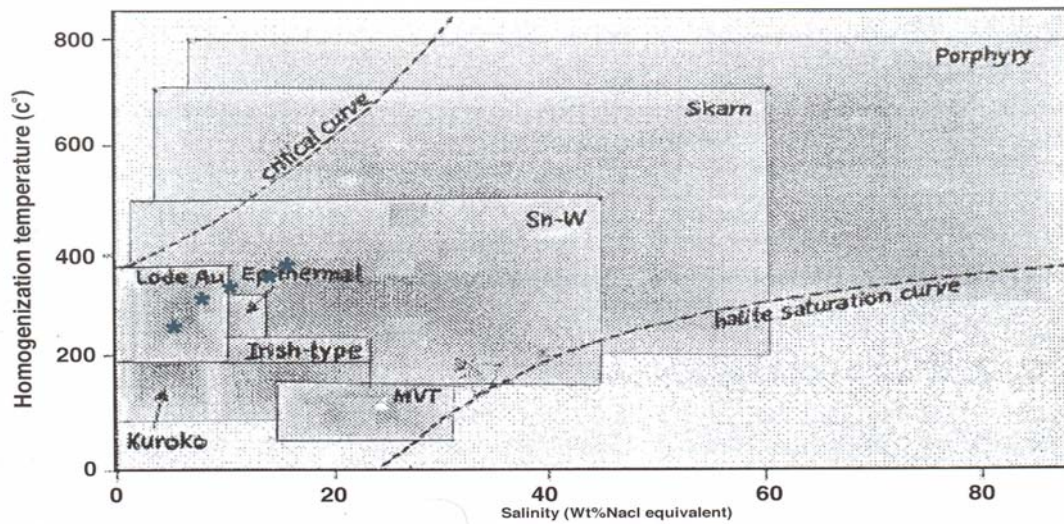


شکل ۵- دانه های طلای آزاد شده از پیریت های ریز اکسیده همراه با نتایج میکروسکوپ الکترونی آن



شکل ۶- دیاگرام دما- شوری برای نمونه های اندازه گیری شده در نواحی قلقله و کرویان





شکل ۷- موقعیت تپ های مختلف ذخایر معدنی در ارتباط با شوری (درصد وزنی معادل نمک طعام) (۳۲) و داده های مربوط به کانسار قفله

جدول ۱- سیر تسلسل کانی سازی در رگه مینرالیزه در ناحیه قفله

| Mineral         | Pre ore | Hydrothermal |          | Weathering |          |
|-----------------|---------|--------------|----------|------------|----------|
|                 |         | Stage I      | Stage II |            |          |
|                 |         |              | Phase I  |            | Phase II |
| Pyrite          | I       | .....        | —————    |            |          |
|                 | II      |              |          |            |          |
| Marcasite       |         |              | —————    |            |          |
| Arsenopyrite    |         |              | —————    |            |          |
| Arsenian pyrite |         |              | —————    |            |          |
| Chalcopyrite    |         |              | -----    |            |          |
| Malachite       |         |              | -----    |            |          |
| Azurite         |         |              | -----    |            |          |
| Realgar         |         |              |          | .....      |          |
| Hessite         |         |              |          | —          |          |
| Gold            |         |              | .....    |            |          |
| Silver          |         |              | .....    |            |          |
| Ilmanite        | —————   |              |          |            |          |
| Magnetite       | —————   |              |          |            |          |
| Titanomagnetite | —————   |              |          |            |          |
| Hematite        |         |              |          | —————      |          |
| Goethite        |         |              |          | —————      |          |
| Iron hydroxide  |         |              |          | —————      |          |
| Quartz          |         |              |          |            |          |

## نتیجه گیری

- سن کانه زائی در این را به کرتاسه پسین نسبت داده اند. (۲۰)
- آلتراسیون های سیلیسی، سولفیدی، سریسیتی، کربناتی و کلریتی آلتراسیون های اصلی موجود در این ناحیه می باشند. در این میان آلتراسیون های سریسیتی و کلریتی فراگیر هستند در حالی که آلتراسیون های سیلیسی سولفیدی و کربناتی معمولاً محدود به زون های داخلی برشی بوده و وابسته به شدت دگرشکلی می باشند.
- با توجه به این که کانی های اصلی طلا دار در ارتباط با دگرسانی سولفیدی، سیلیسی و کربناتی به وجود آمده و در واحد های پرعیار و سنگ های به شدت دگرسان شده تمرکز فراوانی از طلا صورت گرفته لذا جاننشینی و ته نشینی طلا بخشی از سامانه دگرسانی به شمار می آید.
- ویژگی های ساختاری و عملکرد تکتونیک و نیز نوع سنگ میزبان در کانه زائی طلا مؤثر بوده است.
- طلا به صورت آزاد در داخل باطله های سیلیسی و نیز به صورت درگیر در داخل شبکه سولفید های ( پیریت) نسل های اول و دوم قابل مشاهده است.
- کانی های کانسار ساز شامل پیریت، همراه با باطله سیلیسی است.
- سولفید های موجود در این ناحیه شامل: پیریت، آرسنوپیریت، پیریت آرسنیک دار، رآلگار، کالکوپیریت، کولیت است.
- نقره به مقدار کم در داخل طلا وجود دارد، لیکن به صورت آزاد مشاهده نمی شود. دمای تشکیل کانسار در محدوده حرارتی ۲۲۰ تا ۳۹۰ درجه سانتی گراد است، لیکن دمای کانه سازی را می توان در حدود ۳۵۰ درجه سانتی گراد برآورد کرد. (جدول ۱)



## References:

1. Stocklin, J., Ruttner, A., and Nabavi, M.H., *G.S. Iran*, **1**, 29 (1964).
2. Nabavi, M. H., *Geological of Iran*, Geological Survey, Iran (1986).
3. Tajedin, H., Shamsa, M. J., Abedian, N., and Ghazanfari, M., *25<sup>th</sup> symposium of earth science*, Geological Survey, Iran (2006).
4. Heidari, S. M., Rastad, E., Mohajjel, and M., Shamsa, M. J., *Geological Survey of Iran*, **58**, 20 (2004).
5. Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel, M., and Shamsa, M.J., *24<sup>nd</sup> symposium of geoscience A*, Geological Survey of Iran (2005).
6. Aliyari, F., Rastad, E., and Shamsa, M.J., *24<sup>nd</sup> symposium of geoscience B*, Geological Survey, Iran (2005)
7. Aliyari, F., Rastad, E., *25<sup>nd</sup> symposium of geoscience A*, Geological Survey, Iran (2006).
8. Aliyari, F., *Ms thesis: Deformation, alteration and its relation in gold mineralization in Ductile shear zone of Gholgholeh- southwest of Saghez B*, Tarbiat modares university, Iran (2006).
9. Aliyari, F., Rastad, E., and Shamsa, M.J., *10<sup>nd</sup> symposium of geological society of Iran C*, geological society, Iran (2006).
10. Dube, B., and Gosselin, P., *Geological Survey of Canada*, open file (2006).
11. Bierline, F.P., Crowe, D.E., Phanerozoic orogenic lode gold deposits, in Hagemann, S.G. and Brown, P.E., eds., *gold in 2000 : Review in Economic Geology*, **13** , 103 (2000).
12. Goldfarb, R.J., Groves, D.I., Robert, F., and Hart, C.J., *economic geology*, **98**, 1 (2003).
13. Hasanipak, A.A., *Geochemical exploration systematic in Alout 1:100000 sheet*, Geological Survey , Iran (1998).
14. Hasanipak, A.A., *Geochemical exploration systematic in Tijtj 1:100000 sheet*, Geological Survey , Iran (1998).
15. Hasanipak, A.A., *Geochemical exploration systematic in Bayanjub 1:100000 sheet*, Geological Survey , Iran (1998).
16. Mohajjel, M., and Shamsa, M. J., *19<sup>nd</sup> symposium of geoscience*, Geological Survey , Iran (2001).
17. Aghanabati, A., *geology of Iran*, Geological Survey , Iran (2004).
18. Mohajjel, M., and Sahandi, M. R., *Geological Survey of Iran*, **31**, 22 (1998)
19. Eftekharneshad, G., *Geological map of Saghez, Scale: 1/250000*, Geological Survey , Iran (1973).
20. Mohajjel, M., *Report of 1:5000 map of Kervian geology, structure and alteration*, Geological Survey , Iran (2002).
21. Deng, J., Yang, L., Zhai, Y., Wang, and J., Fang, Y., *Journal of Geoscience of China*, **1**, 1 (1999).
22. Heidari, S. M., *Ms thesis: mineralogy, geochemistry and fabric of gold mineralization in Ductile shear zone of Kervian(southwest of Saghez)*, Tarbiat modares university, Iran (2004).
23. Passchier, C.W., and Trouw, R.A. J., *Microtectonic springer*, Berlin Heidelberg, Newyork (1998).
24. Rodder, E., *mineral society of America*, **12**, 644(1984).
25. Shahrokhi, S.V., *Ph.D. Thesis: Study of genetic & mineralization of Gholgholeh , Kervian gold deposit in Saghez area -Kordestan Province* , Tehran Science and Research branch, Islamic Azad University, Iran (2008).

26. Fabrizio, S., Federico, R., Andreas, L.L., and Francesco, S., *Journal of structural geology*, **28**, 50 (2006).
27. Shepherd, T.J., Rankin, A.H., and Alderton, D.H., *J.Glasgow.*, Blachie and son, Glasgow (1985).
28. Hezarkhani, A., and Williams-jones, A.E., *G. Fluid inclusion and stable isotope Econ-geol*, **93**, 651(1998).
29. Muller, D., and Gross, D. A., *Might Potassium rocks with Gold copper mineralization*, *geol*, **93**, 651(1996) .
30. Chi, G., Dube, B., Williiamson, K., and Williams-jones, A. E., *Min. Dep.*, **40**, 726 (2006) .
31. Skinner, B.J., And Barnes, H. L.,( *ed.*) *geochemistry of hydrothermal ore deposit*, *3<sup>rd</sup> edn.*, Wiley, Newyork (1997).
32. Wilkinson, J.J., *Lithos*, **55**, 229 (2001)
33. Foster, R.P., (ed.), *Gold metalogeny and exploration*, Blachie and son, Glasgow (1993).