

کانه‌زایی طلا در پهنه‌برشی شکل‌پذیر کرویان

(جنوب باختر سقز- کردستان)

نویسنده: سید مهران حیدری*، دکتر ابراهیم راستاد*، دکتر محمد محجل* و سید محمد جواد شمسا**

Gold Mineralization in Ductile Shear Zone of Kervian (Southwest of Saez- Kordestan Province)

By: S. M. Heidari*, Dr. E. Rastad*, Dr. M. Mohajjel* & S. M.J. Shamsa**

چکیده

کانسار طلای کرویان، در بخش شمال‌باختری پهنه سندج سیرجان و در جنوب باختر سقز قرار دارد. واحدهای سنگی رخنمون شده در منطقه، با امتداد شمال‌خاور- جنوب باختر، شامل یک توالی از سنگهای دگرگون شده در رخساره شیست‌سبز، متشکل از واحدهای آذرین و رسوبی می‌باشند که زمان تشکیل آن را به مزوزویک نسبت می‌دهند. تمرکز کانه‌زایی طلا در منطقه کرویان در پهنه‌ای به طول بیش از ۲/۵ کیلومتر، پهنای متوسط ۶۰ متر و با ژئومتری عدسی شکل در راستای پهنه برشی شکل‌پذیر رخ داده است که در اینجا، برای اولین بار در ایران معرفی می‌گردد. مجموع واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه، تحت تأثیر پهنه‌های برشی شکل‌پذیر با امتداد شمال‌خاور جنوب‌باختر با شییبی متوسط به سمت شمال‌خاور، دگرشکل شده و ساختارها و فابریکهای متفاوت به خود گرفته‌اند. تمامی واحدهای سنگی رخنمون شده در منطقه، شدت دگرشکلی یکسانی ندارند و از واحدهای کمتر دگرشکل شده (پروتومیونیت) تا واحدهای با شدت دگرشکل (میلونیت و اولترامیلونیت) در منطقه مشاهده می‌شود. فابریکهای برشی C و S و درزه‌های حاصل از کشیدگی، محصول دگرشکلی است که در واحدهای سنگی رخنمون شده در پهنه برشی شکل‌پذیر کرویان، قابل تشخیص هستند. سنگهای در برگیرنده این پهنه، به‌طور عمده از سنگهای آتشفشانی اسیدی و بازی دگرگون شده کاملاً دگرشکل همراه با برگواریگی میلونیتی تشکیل شده است که در پهنه برشی شکل‌پذیر کرویان تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند. شدت و نوع دگرسانی در واحدهای سنگی مختلف، متفاوت است. از مهم‌ترین دگرسانی‌ها می‌توان دگرسانی‌های سرسیتی، کلریتی، سیلیسی، سولفیدی و کربناتی شدن را نام برد. کانی‌شناسی ماده معدنی بسیار ساده و به‌طور عمده از پیریت، پیریت‌های آرسنیک‌دار، طلای آزاد و به‌ندرت از کالکوپیریت تشکیل شده است که کانی‌هایی مانند کوارتز، فلدسپار، انواع میکاها و کربنات‌ها آنها را همراهی می‌کنند. طلا در ابعاد چند میکرون تا ۳۰ میکرون، به‌صورت آزاد همراه با کوارتز و همچنین همراه با پیریت به‌صورت میانبار و یا هم‌رشد با آن (به ابعاد >۵ میکرون) مشاهده می‌شود که به‌طور هم‌زمان با دگرشکلی، در فابریکهای C و S و درزه‌ها در واحدهای میلونیتی به شدت دگرسان شده (سیلیسی، سولفیدی و کربناتی) تمرکز یافته است. شواهد صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی، تشکیل و کانه‌زایی طلا در منطقه مورد مطالعه را در کنترل عواملی همچون پهنه‌های برشی شکل‌پذیر، شدت دگرشکلی (فابریکهای اولترامیلونیت و میلونیت) و شدت دگرسانی گرمایی (سیلیسی و سولفیدی) نشان می‌دهد. بر اساس شواهد موجود و مقایسه ویژگی‌های کانسار طلای کرویان با کانسارهای طلای پهنه‌های برشی، کانسار طلای کرویان بیشترین شباهت را با این تیپ از خود نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: طلای کرویان، پهنه‌برشی شکل‌پذیر، میلونیت، دگرشکلی، دگرسانی، سقز

Abstract

Gold bearing metamorphosed and deformed rocks (of green schist facies) are exposed in NE-SW trending shear zone, about 25 km southwest of Saez in Kordestan province. The protolith ore, supposed to be mafic and mostly acidic volcanic and sedimentary rocks (phyllite, re-crystallized limestone, metaferrodolomite), was intruded by several granitic plutons. Shallow to moderately dipping mylonite foliation towards NW

and stretching lineation plunging to the N20°E on the foliations imply that mylonites and ultra-mylonites were produced during oblique reverse left lateral tectonic regime. Hydrothermal alteration is both spatially and temporally associated with development of ductile shear zone.

The major types of alteration include sericitization, chloritization, silicification, sulfidation and carbonatization. Among them, sericitization and chloritization are pervasive; whereas, silicification, sulfidation and carbonatization are usually limited to the inner zone of altered shear zone and in close relation with the intensity of deformation. Two planar fabrics (S and C) of different morphology are recognized in the shear zone of Kervian gold field. These fabrics appear contemporary with deformation in Kervian's ductile shear zone.

The main mineralization zone, with lensoidal geometry, is about 2500 m long and 60 m wide, on average. The ores, predominantly auriferous hydrothermally altered mylonites, have been over printed by intense hydrothermal alteration. Gold, existing along the shear fabrics either in the native form or in composition with sulfide such as pyrite and arseno- pyrite, was deposited due to ductile shearing and strong alteration.

Final emplacement of gold is an integral part of hydrothermal alteration system, i.e., the major auriferous minerals were deposited in association with hydrothermal alteration. Formation and occurrence of gold field are controlled by ductile shear zone, intensity of deformation and associated hydrothermal alteration. Based on present evidences and comparison with other gold types in the World, the characteristics of Kervian gold deposit are similar to ductile shear zone type gold mineralization.

Key words: Kervian Gold deposit, Ductile Shear zone, Mylonite, Deformation, Alteration, Sagez

مقدمه

شایان ذکر است که کانسار طلای کرویان در بخش شمال‌باختری پهنه سنندج- سیرجان، معدن طلای موه در بخش مرکزی و کانسار طلای زرتشت در بخش جنوب‌خاوری آن واقع شده‌اند و کانسار کرویان اولین نمونه از کانه‌زایی طلای نوع برشی در ایران است که معرفی می‌گردد. لذا مطالعه آن می‌تواند به عنوان الگویی برای اکتشاف رخدادهای مشابه در پهنه‌های برشی واقع در پهنه سنندج سیرجان و حتی در سایر زونهای ساختاری ایران، مورد استفاده قرار گیرد.

زمین‌شناسی

توالی چینه‌ای منطقه با امتداد شمال خاور - جنوب باختر (تصویر ۲) شامل مجموعه‌ای از سنگهای رسوبی و آتشفشانی دگرگون شده می‌باشند که تحت تأثیر پهنه‌های برشی با امتداد شمال‌خاور- جنوب‌باختر با شیبی متوسط به سمت شمال‌باختر تغییر شکل یافته‌اند (تصویر ۳) و شامل فیلیتها و آهکهای بلورین (رسوبات پلیتی و آهکی دگرگون‌شده)، دولومیت‌های آهن‌دار، کوارتزیت و مجموعه آتشفشانی شامل آتشفشانیهای فلسیک و بازیک دگرگون شده می‌باشند (تصویر ۳) که زمان تشکیل آنها به مزوزویک، بویژه کرتاسه نسبت داده شده است (محجل، ۱۳۸۱).

حضور توده‌های گرانیتوئیدی در محدوده کانسار (تصویر ۲) از مشخصات بارز منطقه مورد مطالعه و ناحیه‌ای است که در آن واقع شده است که خود نشان از گرادیان زمین گرمایی بالای این ناحیه در زمان تشکیل گرانیتها دارد (دنگ و دیگران، ۱۹۹۹) این توده‌های گرانیتی براساس تقدم و تأخر نفوذ نسبت به عملکرد پهنه‌های برشی، به گرانیت‌های میلونیتی (تصویر ۴)

کانسار طلای کرویان در ۲۵ کیلومتری جنوب باختر سقر در استان کردستان قرار دارد (تصویر ۱).

تاریخچه مطالعه و بررسی کانسارهای طلای مرتبط با پهنه‌های برشی در ایران جز در مناطق معدنی طلای موه رشیدنژادعمران (۱۳۸۱) و در کردستان، در ناحیه آلتوت، باینجوب و تیژتیز (اکتشافات سیستماتیک ژئوشیمیایی - حسنی پاک، ۱۳۷۷-۱۳۷۸) و کرویان محجل و شمس (۱۳۸۰) اطلاعات علمی چندانی در رابطه با این نوع از کانه زایی طلا گزارش نشده است.

محدوده مورد مطالعه از نظر تقسیم بندی ساختاری، در بخش شمال باختری پهنه سنندج- سیرجان و در زیر پهنه با دگرشکلی پیچیده (محجل و سهدی، ۱۳۷۸) واقع شده است. این منطقه از نظر رخدادهای زمین ساختی- ماگمایی، دستخوش رویدادهای حاصل از باز و بسته شدن اقیانوس نوتتیس (فاز کششی و تراکمی) شده که از اواخر پالئوزویک تا دوران سوم ادامه داشته است به گونه‌ای که تأثیر آن موجب دگرگونی ناحیه‌ای، فرورانش، ماگماتیسیم کلسیمی- قلیایی و برخورد صفحه عربی و ایران در اوایل تریتری شده است پیامد این امر، به صورت ایجاد پهنه‌های برشی (شکل پذیر و شکننده) همراه با بالا آمدگی ناحیه‌ای نمود یافته (محجل، ۲۰۰۳) و محیط مناسبی برای تشکیل کانسارهای طلای تیپ کوهزایی فراهم آورده است (ساوکینز، ۱۹۹۰؛ فوستر، ۱۹۹۳؛ چاو و یانگ، ۱۹۹۵؛ کنتونومی، ۱۹۹۷؛ گرووز و دیگران، ۱۹۹۸؛ گلدفارب و دیگران، ۱۹۹۸؛ کرت استیو، ۱۹۹۸؛ ویلکسون و دیگران، ۱۹۹۹؛ بیرلین و ماهر، ۲۰۰۱).

کانیهای روشن (کوارتز و فلدسپار) و کانیهای تیره (بیوتیت و کلریت) در بخشهایی که به شدت دگرشکل و دگرسان نشده‌اند، قابل تشخیص است.

• دگرشکلی مرحله دوم

دومین مرحله دگرشکلی (D_2)، در واقع مهم‌ترین مرحله در منطقه مورد مطالعه است. بر اثر توسعه و گسترش این دگرشکلی، شدیدترین تغییرات ساختاری در منطقه رخ داده است، به گونه‌ای که روند عمومی واحدهای رخنمون یافته، چینها، ساختارهای میلوئیتی و برگوارگی غالب منطقه که بیانگر یک دگرشکلی شدید و پیشرونده است (پشیر و ترو، ۱۹۹۸) را باعث شده است.

در این مرحله دگرشکلی، پهنه‌های برشی شکل‌پذیر بوجود آمده‌اند (محجل و شمس، ۱۳۸۰). این پهنه‌ها حرکتی مایل لغز داشته و در آنها قطعه شمالی به صورت مایل لغز معکوس بر روی قطعه جنوبی حرکت کرده است.

• دگرشکلی مرحله سوم

دگرشکلی مرحله سوم، جوان‌ترین دگرشکلی است و ساختارهای حاصل از آن در شرایط دگرشکلی شکننده به وجود آمده‌اند. این دگرشکلی باعث شکل‌گیری ریخت‌شناسی کنونی منطقه شده است. ساختارهای این دگرشکلی، بیشتر به صورت گسل دیده می‌شود (تصویر ۲) که مهم‌ترین آنها گسلهای معکوس و راندگی با روند شمال خاور - جنوب باختر بوده و باعث بالا آمدن و رخنمون شدن واحدهای سنگی منطقه و گاه تکرار آنها شده است. این روندها در مقیاس ناحیه‌ای نیز قابل پیگیری است.

پهنه‌برشی کرویان

مجموع واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه، تحت تأثیر پهنه‌های برشی شکل‌پذیر با امتداد شمال خاور - جنوب باختر (N60-70E) با شیبی متوسط به سمت شمال‌باختر، دگرشکل شده، فابریک میلوئیتی به خود گرفته، توالی و نظام اولیه خود را از دست داده و واحدهای سنگی مختلف با ساختارها و فابریکهای متفاوت از آن حاصل شده‌اند. لذا تمامی واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه، شدت دگرشکلی یکسانی ندارند و از واحدهای کمتر دگرشکل شده تا واحدهای به شدت دگرشکل (میلوئیت و اولترامیلونیت) در منطقه مشاهده می‌شود.

در مطالعه مقاطع میکروسکوپی نمونه‌های سنگهای در برگیرنده کانسار کرویان، وجود دو نوع دانه‌بندی پورفیرو کلاست و زمینه از مشخصه‌های واحدهای دگرشکل شده منطقه است (تصویر ۵) که خود بیان‌کننده درجه دگرشکلی متفاوت در سراسر پهنه‌برشی می‌باشد (پشیر و ترو، ۱۹۹۸). در واقع

جهت یافته همروند با پهنه‌های برشی و گرانتیت تورمالین‌دار (تصویر ۲) تقسیم می‌شوند.

در منطقه معدنی کرویان دو روند عمده از مقیاس رخنمون تا میکروسکوپ قابل تشخیص و قابل مقایسه با روندهای ناحیه‌ای در منطقه می‌باشد.

روند شمال خاور - جنوب باختر روند اصلی منطقه، و همان روند واحدهای سنگی رخنمون یافته، راندگیهای منطقه، امتداد صفحه‌های محوری تاقدیسیها و ناودیسها و زون دگرسان می‌باشد (تصویر ۲).

روند شمالی - جنوبی که روند قبلی را قطع می‌کند، باعث جابجایی واحدهای رخنمون یافته در منطقه شده است (تصویر ۲).

دگرگونی و دگرشکلی

بررسیها و مطالعات صورت گرفته (بویژه میکروسکوپی) حاکی از آن است که واحدهای سنگی منطقه، ابتدا تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای پیشرونده در حد رخساره شیست‌سبز بالایی قرار گرفته و ضمن دگرشکلی، کانیهای بیوتیت و هورنبلند نیز در این شرایط به تعادل رسیده‌اند، سپس تحت تأثیر عملکرد پهنه‌های برشی و دگرسانیهایی وابسته، کانیهای بیوتیت و هورنبلند (کانیهای آهن‌دار) به کلریت، سربیسیت و مسکویت دگرسان (تبدیل) شده و در نتیجه پارائز کانیهای دگرگونی از رخساره شیست‌سبز بالایی به رخساره شیست‌سبز متوسط و پایین تنزل یافته و یک نوع دگرگونی پسرونده در واحدهای سنگی دگرشکل شده منطقه ایجاد شده است. بنابراین کانسار طلای کرویان می‌تواند از این جهت در دسته کانسارهای با سنگ‌میزبان دگرگونی ناحیه‌ای و رخساره شیست‌سبز قرار گیرد (هاچینسون، ۱۹۸۷؛ گروز و دیگران، ۱۹۹۸؛ بیرلین و ماهر، ۲۰۰۱).

مراحل دگرشکلی منطقه معدنی کرویان

• در بررسیهای ساختاری صورت گرفته از منطقه معدنی کرویان، وقوع سه مرحله دگرشکلی تشخیص داده شده و از یکدیگر تفکیک شده‌اند که در میان آنها، دومین مرحله دگرشکلی با توسعه برگواره غالب میلوئیتی از مهم‌ترین مراحل این توالی دگرشکلی به شمار می‌آید.

• دگرشکلی مرحله اول

اولین مرحله دگرشکلی (D_1) در منطقه، یک فاز ترمودینامیک بوده که باعث دگرگون و دگرشکل شدن واحدهای سنگی منطقه شده است. عوامل ساختاری که نشان از تشکیل و گسترش این دگرشکلی در منطقه دارد، تحت تأثیر مراحل بعدی دگرشکلی حذف شده اما اثرات این مرحله، گاه دیده می‌شود.

این مرحله از دگرشکلی همزمان با دگرگونی، باعث گسترش برگواره نسل اول (S_1) به صورت شیستوزیته در شیستها شده است که با تشکیل نوارهای

پلاستیکی بلورها نیز به صورت چرخش بلورها، کشیدگی و جهت یافتگی آنها در جهت برگوارگی و تبلور دوباره و خاموشی موجی (تصویر ۸) و به هم ریختگی دوقلوهای فلدسپارها و پدیده تشکیل شکنجی کاملاً مشهود است (تصویر ۸).

پوروفیروکلاستها گاهی چرخش از خود نشان داده و در حین برش از مکان اصلی خود جابه جا شده اند. بعضی از پوروفیروکلاستهای کوارتز تحت تأثیر تنش برشی تغییر شکل داده و به مجموعه ای از ذرات ریزتر (Subgrain) تبدیل شده اند (تصویر ۹).

دوقلوهای مثلثی و تیغه ای نوک تیز که از ویژگی کانیهای دگرشکل شده است، در این واحدهای دگرشکل شده به بیشترین گسترش خود می رسد. کانیهای اصلی تشکیل دهنده واحدهای میلونیتی در پهنه دگرسانی شامل کوارتز، فلدسپار، میکا و کانیهای مات (سولفیدی) می باشد که کاملاً جهت یافته بوده و به کانیهای تیره و روشن تفکیک شده اند و کانیهای مات (سولفیدی) آنها را همراهی می کند.

اولترامیلونیت

این واحد دگرشکل شده، تحت تأثیر بیشترین شدت دگرشکلی برشی واقع شده (تصویر ۱۰) به طوری که بافت اولیه سنگ کاملاً از بین رفته و دانه های پوروفیروکلاست موجود در آن کاملاً ریز شده است. در این واحد تفاوت اندازه پوروفیروکلاستها و زمینه، به حداقل ممکن رسیده است (تصویر ۱۲). این واحد بیشترین گسترش را در پهنه برشی دگرسان از خود نشان می دهد و حجم پوروفیروکلاستهای آن به کمتر از ۱۰ درصد می رسد. جریان کاتاکلاستیک و پلاستیکی بلورها در این سنگها، به بیشترین عملکرد خود می رسد، به طوری که ریزشکستگیها، تبلور دوباره و خاموشی موجی و... در تمامی مقاطع میکروسکوپی قابل تشخیص است. نتیجه بررسیهای صورت گرفته از دگرشکلیهای موجود در منطقه مورد مطالعه، حاکی از آن است که هرچه به سمت زون دگرسان نزدیک می شویم، شدت دگرشکلی افزوده می شود (تصویر ۱۱).

فابریکهای موجود در پهنه برشی کرویان

در واحدهای سنگی رخنمون یافته در پهنه برشی خمیری کرویان فابریک S و C که حاصل دگرشکلی است، قابل تشخیص است. این فابریکها در خلال دگرشکلی و همزمان با برشی شدن، در واحدهای سنگی منطقه ایجاد شده اند (تصویر ۱۲). فابریک S در مقیاسهای متفاوت (رخنمون تا میکروسکوپی) حالت S مانند به خود گرفته و برگوارگی را در سنگ نمایان می کند (برگواره میلونیتی) و با زاویه نسبتاً کم، با امتداد بر گه های برشی قرار می گیرد. فابریک C شامل بر گه های موازی هم برش در ارتباط با تنشهای

هرچه تفاوت اندازه پوروفیروکلاستها و زمینه کمتر شود، به واحدهای به شدت دگرشکل شده نزدیک تر می شویم. در چنین حالتی، پوروفیروکلاستها خردشدگی و جهت یافتگی بیشتری نشان داده و در نتیجه واحدهای میلونیتی تا اولترامیلونیتی به وجود می آیند. بر این اساس، انواع دگرشکلی را که واحدهای سنگی واقع در پهنه برشی خمیری کرویان متحمل شده اند، می توان در سه گروه پروتومیلونیت، میلونیت و اولترامیلونیت قرار داد که در زیر به آنها پرداخته خواهد شد.

پروتومیلونیت

این نوع میلونیتها، بیشترین گسترش را در منطقه داشته و دانه بندی درشت تری دارند (کمتر تحت تأثیر دگرشکلی برشی قرار گرفته اند) بلورهای درشت تر که مربوط به سنگ اولیه هستند، کمتر تبلور دوباره از خود نشان می دهند و حجم پوروفیروکلاستها در سنگ اولیه، به بیش از ۵۰ درصد می رسد. از ویژگی آنها وجود برگوارگی میلونیتی ضعیف و ناپیوسته در رخنمونهای سنگی مربوطه است.

کانیهای اصلی تشکیل دهنده پروتومیلونیتها شامل کوارتز، فلدسپار و میکاست. کانیهای مات که بیشتر شامل سولفیدهاست، به ندرت در آن حضور دارند. خاموشی موجی در دانه های کوارتز و کج شدگی تیغه های دوقلو (ماکل) فلدسپارها و کج شدگی و پیچ و تاب خوردگی کانیهای ورقه ای و میکاها، در تمامی نمونه ها به طور مشترک دیده می شود. بافت ساروجی (قرار گرفتن دانه های با تبلور دوباره و ریز در بین ذرات دانه متوسط تا درشت اولیه - پوروفیروکلاستها - که جهت یافتگی خاصی ندارند (دی ولف، ۱۹۹۵؛ وانگ و دیگران، ۱۹۹۹؛ زوو و وانگ، ۱۹۹۹) در پروتومیلونیتهای کرویان به خوبی دیده می شود (تصویر ۶). تبلور دوباره در ذرات دانه درشت (پوروفیروکلاستها) موجود در سنگ نیز قابل مشاهده است ولی شدت آن زیاد نیست. در کنار دانه های قدیمی و کمتر تبلور دوباره یافته (پوروفیروکلاستها)، دانه های جدید و چند وجهی کشیده و رشته ای به صورت استرین فرینج (Strain Fringes) مشاهده می شوند.

میلونیتها

این واحد بیشترین گسترش را در پهنه دگرسان کرویان (تصویر ۲) دارد. از مهم ترین ویژگی آن، توسعه برگواره میلونیتی پیوسته در مقیاس رخنمون و نمونه دستی است که براحتی از واحدهای با دگرشکلی برشی کمتر (پروتومیلونیتها) تشخیص داده می شود. پوروفیروکلاستها بین ۱۰ تا ۵۰ درصد حجم سنگ را به خود اختصاص می دهند (پشیر و ترو، ۱۹۹۸) و بافت ساروجی در این نوع سنگها کاملاً توسعه یافته است (تصویر ۷). افزون بر جریان کاتاکلاستیکی، جریان

متناوب (سانتی متر تا میلی متر) در سنگ مشاهده می شوند که کاملاً در جهت خاصی جهت یافتگی (شمال خاور - جنوب باختر) نشان می دهند. این امر گواهی بر تشکیل همزمان آن با بر گواره میلوئیتی غالب در منطقه است در صورتی که بخشهای سیلیسی شده سنگ دیواره در اثر پرشدگی شکستگیهایی که از روند خاصی پیروی نمی کنند (فابریک E) حاصل می شود و به نظر می رسد که در خلال مرحله اولیه دگرشکلی برشی تشکیل شده اند.

دگرسانی سولفیدی

دگرسانی سولفیدی، در بخش درونی زون دگرسانی و کانه دار دیده می شود. محصول این دگرسانی عمدتاً پیریت و به ندرت کالکوپیریت و پیریت های آرسنیک دار است که به صورت دانه پراکنده و جهت یافته در درون سنگ دیواره دگر شکل یافته شده می گردد.

دگرسانی کربناتی

کربناتی شدن از دیگر دگرسانی های موجود در منطقه دگرشکلی و محصولات اصلی آن شامل آنکريت، کلسیت و دولومیت است. دگرسانی کربناتی، کاملاً در ارتباط با کانیهای مافیک دگرسان شده، بویژه واحد آتشفشانی دگرگون شده بازی می باشد، به طوری که شدت آن وابسته به سنگ دربرگیرنده (سنگ دیواره) و میزان سیال دارد، به طوری که بیشترین گسترش دگرسانی گرمابی کربناتی در واحدهای میلوئیتی بازی گسترش یافته است.

ارتباط دگرشکلی و دگرسانی

شواهد ارائه شده نشان می دهد که بیشترین واحدهای دگرشکل شده (میلوئیت و اولترامیلونیت) با بر گواره میلوئیتی پیوسته (فابریک S) و تقریباً به موازات صفحه های برش پهنه برشی (صفحات C) در طی فرایند دگرشکلی شکل پذیر در بخشهای داخلی پهنه برشی کرویان رخمنون یافته اند. از سوی دیگر، بیشترین شدت دگرسانی سیلیسی، سولفیدی و کربناتی که از دگرسانی گرمابی حاصل از سیالها بر سنگ دیواره می باشد، به همین بخشهای درونی پهنه برشی محدود می شود که در آن محلولهای گرمابی در بیشترین حجم خود بر سنگهای دیواره تأثیر گذاشته و باعث حداکثر فعالیت دگرسانی گرمابی در زون دگرسان و در منطقه شده است.

کانه زایی

نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی و کانی سنگین در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ سقز (ابوالمعالی و دیگران، ۱۳۷۷) همگی بیان آن دارد که همه

وارد می باشد. در صورتی که فابریک دیگری که از کشیدگی به وجود آمده (فابریک E) از روند خاصی پیروی نمی کند و در نقاط ضعف کانیهای سنگهای دگرشکل شده در پهنه برشی خمیری توسعه می یابد (تصویر ۱۳). فابریکهای بالا، با افزایش شدت دگرشکلی افزایش می یابند، به طوری که فابریک میلوئیتی واضح تری از خود نشان می دهند و فضاها را ایجاد شده توسط این فابریکها، با افزایش شدت دگرشکلی از کانیهای کوارتز، کربنات، سولفید و کانیهای ورقه ای (اغلب کلریت و مسکوویت) که محصول دگرسانی سیالهای گرمابی است، پرشدگی بیشتری نشان می دهند (تصویر ۱۳).

دگرسانی

از مهم ترین دگرسانی های واقع در پهنه برشی کرویان می توان دگرسانی سیلیسی، سولفیدی، کربناتی، سریسیتی و کلریتی را نام برد که کاملاً وابسته به نوع سنگ میزبان است (لئوناردو و دیگران، ۱۹۹۱؛ ساپسو و دیگران، ۱۹۹۵؛ جلسما و دیگران، ۱۹۹۹؛ فراری و چودری، ۲۰۰۰) در بین دگرسانی ها، دگرسانی سریسیتی و کلریتی شدن گسترش بیشتری داشته و تقریباً در همه واحدهای رخمنون یافته دیده می شوند، در صورتی که دگرسانی های سیلیسی، سولفیدی و کربناتی بیشترین گسترش را در ارتباط با زونهای کانه دار داشته و در بخش درونی زونهای برشی دیده می شوند.

دگرسانی سیلیسی

محصول اصلی دگرسانی سیلیسی را کوارتز تشکیل می دهد (اوانز، ۱۹۹۷) به طوری که هر چه به سمت زون دگرسان در بخش داخلی پهنه برشی منطقه نزدیک می شویم، نه تنها شدت دگرشکلی و برگوارگی افزایش نشان می دهد، بلکه دگرسانی سیلیسی و کوارتز نیز در درون زون دگرسان به بیشترین حد خود می رسد. بر اساس مشاهدات و مطالعات صورت گرفته در محدوده زون دگرسان، فرایند سیلیسی شدن به صورت تشکیل رگه ها یا لامینه هایی در امتداد بر گواره میلوئیتی غالب منطقه و نیز به صورت سیلیسی شدن بخشهایی از سنگهای دیواره (میزبان) با ضخامتهای متفاوت می باشد. در مقیاس رخمنون، این نوع دگرسانی بیشتر به صورت رگه های سخت و برجسته (ظاهر خشن) با ضخامتهای بین نیم تا چند متر به رنگ سرخ و زرد تا سیاه (به دلیل حضور اکسیدهای آهن) مشخص می گردد. روند تشکیل آنها در امتداد روند پهنه برشی (فابریک C) با امتداد شمال خاور - جنوب باختر (N60-70E) می باشد که دلالت بر تشکیل آنها، طی فرایند دگرشکلی شکل پذیر در پهنه های برشی است.

در مقیاس نمونه دستی دگرسانی سیلیسی شدن به صورت لامینه های همخوان با بر گواره میلوئیتی (فابریک S) و به صورت نوارهایی با ضخامت

کانی‌شناسی و پاراژنز

مطالعه مقاطع میکروسکوپی مربوط به پهنه کانه‌دار کرویان نشانگر کانی‌شناسی ساده این کانسار است به گونه‌ای که پاراژنز کانه‌ها و کانیهای در رگه‌ها و زونهای سیلیسی سولفیددار زون دگرسان، به دو صورت زیر مشاهده می‌شود:

الف) مجموعه سولفیدها و کوارتزهای ریز بلور

ب) مجموعه سولفیدها و کوارتزهای متوسط تا درشت بلور

کانی‌شناسی دو مجموعه الف و ب مشابه هم بوده و پیریت فراوان‌ترین کانه سولفیدی تشکیل دهنده زون کانه‌دار در منطقه معدنی کرویان است. به طوری که در رگه‌ها و زونهای سیلیسی-سولفیدی، نقش اصلی را پیریت داشته و به ندرت کالکوپریت و پیریت‌های آرسنیک دار نیز قابل مشاهده است. طلا نیز به همراه کوارتز و پیریت اکسیده دیده می‌شود.

کانیها

کوارتز

مهم‌ترین کانی همراه کانه‌ها در کانسار طلای کرویان، کوارتز است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی کوارتزهای موجود در نمونه‌های دگرسان را می‌توان به ۳ گروه، کوارتزهای قبل از دگرشکلی، کوارتز مرحله اولیه گرمایی و کوارتزهای تأخیری گرمایی و همراه با سولفید تقسیم کرد. کوارتزهای قبل از دگرشکلی (پورفیرو کلاستها) کوارتزهایی هستند که ارتباطی با دگرسانی نداشته و قبل از دگرشکلی در سنگها حضور داشته‌اند (تصویر ۵).

کوارتزهای مرحله اولیه گرمایی، کوارتزهایی هستند که با ظاهری روشن و شفاف به دو شکل رگچه‌ای و انبوهه دانه‌ای (granular aggregate) مشاهده می‌شوند (تصویر ۹). دسته سوم کوارتزها، کوارتزهایی همراه با سولفیدها هستند که غالباً شکستگی‌ها و رگچه‌های واقع در کوارتزهای مرحله اول گرمایی را پر می‌کنند (تصویر ۹).

کربناتها

پس از کوارتز، کربناتها بیشترین سهم همراهی با سولفیدها را در کانسار کرویان به خود اختصاص داده‌اند و بیشترین گسترش را در واحدهای آتشفشانی بازی دگرگون و دگرسان شده دارند. با توجه به مطالعات صورت گرفته، عملکرد دگرسانی کربناتی شامل دو مرحله است: مرحله‌ای که در ارتباط با مراحل نهایی دگرسانی گرمایی و در ارتباط با فاز دگرشکلی شکل‌پذیر (تصویر ۱۷) است و مرحله‌ای که بسیار جوان بوده و شامل فریند هوازدگی و سوپرژن می‌شود.

بی‌هنجاریهای معرفی شده طلا (از جمله کرویان)، در محدوده پهنه‌های برشی واقع بوده و هیچ بی‌هنجاری در نواحی و مناطقی که دگرشکلی در آن صورت نگرفته و یا به طور ضعیف دگرشکل شده، گزارش نشده است.

بیشترین تمرکز کانه‌زایی طلا در منطقه کرویان در پهنه‌ای به طول بیش از ۲/۵ کیلومتر، پهنای متوسط ۶۰ متر در امتداد N60-70E و با ژئومتری عدسی شکل با شیبی به سمت شمال باختر گسترش یافته است که کاملاً با روند و شیب پهنه برشی شکل‌پذیر منطقه همخوانی نشان می‌دهد.

سنگهای در برگیرنده پهنه کانه‌دار کرویان به طور عمده از سنگهای آتشفشانی دگرگون شده اسیدی و بازی (اغلب اسیدی) با بین لایه‌های فیلیتی و کربناتی، کاملاً دگرریخته (میلونیتی و اولترامیلونیتی) همراه با برگوارگی میلونیتی تشکیل شده‌اند. واحدهای فوق در پهنه برشی شکل‌پذیر کرویان با امتداد شمال خاور- جنوب باختر، نوع و شدت دگرسانیهای متفاوتی دارند.

نمونه‌های گرفته شده از درون ترانشه‌های عمود بر پهنه برشی کانه‌دار (تصویر ۱۴) و برگوارگی میلونیت نشان‌دهنده غنی‌شدگی عیار طلا در تمام این پهنه است به طوری که کمربالا و کمربالین پهنه دگرسان، که به ترتیب شامل میلونیت‌های بازی و کربنات‌ها و فیلیت‌هاست، عیاری در حد کلارک نشان می‌دهند، اما همین واحدها در پهنه برشی کانه‌دار، عیاری در حد چند ده قسمت در میلیارد (>50ppb) و در پهنه‌های به شدت دگرشکل و دگرسان شده با ضخامت ۱ تا ۶ متر (تصویر ۱۵)، عیاری در حد چند قسمت در میلیون نشان می‌دهد (بیشینه ۷ppm و میانگین ۳-۱ ppm) که گویای غنی‌شدگی عیار طلا در واحد به شدت دگرشکل و دگرسان شده می‌باشد.

کانه‌زایی طلا در پهنه کانه‌دار کرویان از نظر ژئومتری و بافت، به دو صورت رگه‌ای- رگچه‌ای و افشان دیده می‌شود، به طوری که در درون واحدهای سیلیسی و با ضخامت‌های متغیر (۱ تا ۲ سانتی متر تا چندین متر) به صورت لامینه‌ها و رگه‌هایی به موازات برگواره میلونیتی مشاهده می‌شوند و یا در سنگهای دیواره به شدت سیلیسی شده به صورت رگچه‌ای و افشان هستند.

ارتباط کانه‌زایی با دگرشکلی و دگرسانی

انطباق نتایج تجزیه نمونه‌های گرفته شده از ترانشه‌ها در پهنه دگرسان و کانه‌دار با واحدهای سنگی مختلف (تصویر ۱۶) نشان دهنده همبستگی قوی بین عیارهای بالای طلا با واحدهای به شدت دگرشکل شده (میلونیت- اولترامیلونیت) و دگرسان شده (سیلیسی- سولفیدی و کربناتی) آتشفشانی دگرگون شده (غالباً اسیدی) است. به طوری که دگرسانی گرمایی از نظر مکانی، ارتباط بسیار نزدیکی با دگرشکلی برشی شکل‌پذیر و کانه‌زایی نشان می‌دهد.

کانه‌های سولفیدی کانسار کرویان

مقدار سولفیدهای این تیپ (کانسار) بسیار کم و ترکیب آنها بیشتر شامل پیریت و به مقدار جزئی کالکوپیریت و پیریت‌های آرسنیک‌دار است. سولفیدهایی مانند گالن، اسفالریت، کولیت و ... در مقاطع مطالعه شده مشاهده نشده که البته نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نیز این مطلب را تأیید می‌کند، به طوری که می‌توان آنها را به عناصر درون شبکه بلوری کانه‌ها مربوط دانست.

پیریت (FeS₂)

پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی در زون دگرسان و کانه‌دار کرویان است به طوری که تقریباً بیش از ۹۵ درصد کانه‌های سولفیدی موجود در کانسار را شامل می‌شود و در بیشترین میزان خود در بخش‌های به شدت دگرسان و دگرشکل شده زون کانه‌دار، ۲ تا ۳ درصد حجم سنگ را اشغال می‌کند. پیریت‌های موجود در واحدهای دگرسان شده پهنه دگرسان را بر اساس مقیاس میکروسکوپی و حتی نمونه دستی می‌توان به دو نسل زیر تفکیک کرد: الف) نسل اول پیریت‌ها، در اندازه‌های بیش از ۲۰۰ میکرون تا میلی‌متر به صورت خودشکل و دانه درشت دیده می‌شوند، بیشتر جهت یافته و دارای ظاهری لامینه است (تصویر ۱۸).

ب) نسل دوم پیریت‌ها شامل پیریت‌های بی‌شکل و ریز بلور است که به صورت افشان در واحدهای دگرسان شده دیده می‌شوند (تصویر ۱۹). این پیریت‌ها گاهی جهت یافته بوده و به موازات برگوارگی دیده می‌شوند. گاه در اطراف کانه‌های آهن‌دار دگرسان شده و در بخش سنگ دیواره نیز قرار می‌گیرند اما به طور عمده، به صورت افشان در سنگ دیواره پراکنده‌اند و در مراحل انتهایی فعالیت‌های گرمایی حاصل شده‌اند.

کالکوپیریت

در بعضی نمونه‌های مطالعه شده، کالکوپیریت در مقادیر بسیار ناچیز، و به ندرت کانسنگ سیلیس را همراه با دو فاز پیریت (اول و دوم) همراهی می‌کند. کالکوپیریت در پیریت‌های درشت، اغلب به صورت میانبارهای ریز (۵۰ تا ۱۵۰ میکرون) و در درون پیریت‌های خودشکل، به حالت محلول جامد مشاهده می‌شود که در حاشیه، در دگرسانی به کولیت تغییر یافته است. کالکوپیریت با پیریت‌های ریز، کاملاً از نظر روند و اندازه مطابقت دارد (تصویر ۲۰) و نشان از تشکیل همزمان آنها در یک فاز دارد.

پیریت‌های آرسنیک‌دار

بررسی کانی‌های پیریت (درشت و ریز) توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM)، وجود مقادیر کمی آرسنیک را در شبکه ساختاری برخی پیریت‌های منطقه نشان داده است.

رالگار

رالگار به عنوان یک کانی سولفیدی در یک نمونه مشاهده شده است. در این نمونه، کانه مذکور به صورت ریز بلور همراه با کانه‌های اکسیدی (تیتانومگنتیت) و پیریت‌های درشت بلور مشاهده می‌شود. ابعاد آن به ندرت از ۱۰ میکرون فراتر می‌رود (تصویر ۲۱).

طلا

بر اساس مطالعات میکروسکوپی و میکروسکوپ الکترونی واحدهای عیاردار و پرعیار در پهنه دگرسان کرویان، طلا در دو حالت زیر قابل مشاهده است:

الف) در داخل کوارتز و به صورت آزاد

بخش عمده طلای کانسار کرویان به صورت دانه‌های آزاد در کوارتز (نسل دوم) وجود دارد. این طلاها اغلب ریز دانه بوده و ابعاد بزرگ‌ترین آنها به ۳۰ میکرون در مقاطع مورد مطالعه می‌رسد (تصویر ۲۲). این تیپ طلا معمولاً همراه با پیریت‌های ریز دانه و همروند با آنها مشاهده می‌شود (تصویر ۲۳) و در مواردی در جهت کشیدگی کانی‌های فیلسیلیکاتی دگرسان (همچون کلریت‌های حاصل از دگرسانی کانی بیوتیت) به صورت جهت یافته و همروند با برگوارگی و همراه با پیریت‌های ریز دانه دیده می‌شود (تصویر ۲۳) که نشان از تشکیل همزمان آنها با دگرسانی سولفیدی در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر و در حین دگرشکلی است.

ب) در داخل فازهای سولفیدی

بررسی‌های میکروسکوپی سولفیدهای پهنه کانه‌دار بویژه پیریت‌های اکسیده، حکایت از حضور طلا به صورت دانه‌هایی به ابعاد کوچک‌تر از ۵ میکرون در هر دوفاز پیریت (ریز و درشت) دارد که در حاشیه آنها به صورت آزاد شده قابل تشخیص است. تجزیه آنها توسط میکروسکوپ الکترونی، طلا بودن این کانیها را تأیید می‌نماید (تصاویر ۲۴ و ۲۵).

بنابراین طلا هم به صورت آزاد و هم همراه با پیریت به صورت میانبار و یا هم‌شد با آن و همچنین در پیریت‌های آرسنیک‌دار (نسل دوم سولفیدها) در بخش‌های غنی از سولفید مشاهده می‌شود.

بررسی میکروسکوپی و میکروسکوپ الکترونی واحدهای عیاردار و پرعیار در پهنه دگرسان نشان دهنده آن است که مقاطعی که دارای پیریت‌های ریزدانه بیشتری می‌باشند، احتمالاً طلای آزاد بیشتری نیز دارند. عیار طلای موجود در واحدهای عیاردار رابطه مستقیمی با میزان فراوانی سولفیدها بویژه سولفیدهای ریزدانه دارد. حضور طلای آزاد در موقعیت و روند سولفیدهای ریز و همراهی آنها با کوارتزهای نسل دوم نیز گواهی بر تأیید کانی‌زایی اصلی طلا در مرحله دوم دگرسانی سولفیدی (سولفیدهای ریز بویژه پیریت‌های ریز) در کانسار طلای کرویان است.

- پیریت نیز در ۲ نوع و یا دو نسل به صورت زیر دیده می‌شود:
الف) پیریت‌های درشت بلور و شکل دار، کاملاً جهت‌یافته (به موازات فابریک C) همراه با کانیهای کوارتز و کربنات.
ب) پیریت‌های بی‌شکل و ریز بلور و همراه با کوارتز و کربنات که به صورت جهت‌یافته و افشان و پرکننده فضاهای حاصل از برگراری (فابریک S) و حفره‌ها و رگچه‌های درون کانیها (فابریک E).
- طلا به صورت دانه‌های بی‌شکل و معمولاً با حاشیه مضرس و نامنظم در ابعاد کمتر از ۳۰ میکرون در کوارتز و نیز به صورت دانه‌هایی اغلب در ابعاد کمتر از ۵ میکرون در سولفیدهای هم‌رشد با کوارتز (نسل دوم) و کربنات دیده می‌شوند.

نتیجه‌گیری

کانه‌زایی در کانسار کرویان را می‌توان در دو مرحله در نظر گرفت:
الف) فاز اولیه کانه‌زایی که شامل کانیهای کوارتز + کربنات + سولفیدهای درشت (=طلا) + کلریت + مسکوویت + اکسیدهای آهن است و کانه‌زایی در آن در حد غنی‌شدگی بوده و پیش‌درآمدی برای مرحله اصلی کانه‌زایی طلا به شمار می‌آید که منجر به تشکیل واحدهای عیاردار و غنی شده در سراسر زون کانه‌دار می‌گردد.
ب) فاز دوم که شامل کانیهای کوارتز + طلای آزاد + پیریت‌های ریز (+ طلا) + کالکوپیریت + کربنات‌های آهن‌دار + کلریت و مسکوویت است، فاز اصلی کانه‌زایی طلا در کانسار طلای کرویان در بر می‌گیرد و واحدهای پرعیار در طی این مرحله در پهنه دگرسان کرویان تشکیل می‌گردند.
بنابراین، جان‌شینی و ته‌نشینی طلا بخشی از سامانه دگرسانی به شمار می‌آید. بدین معنی که کانیهای اصلی طلا در ارتباط با دگرسانی گرمایی (سولفیدی، سیلیسی و کربناتی) ته‌نشین شده و واحدهای پرعیار و سنگهای به شدت دگرسان لزوماً یکی هستند، با این ویژگی که تمرکزهای زیاد طلا در آن صورت گرفته است.
در نهایت، ویژگیهای ساختاری، نوع سنگ میزبان، دگرسانی، پاراژنز و بالاخره مشخصات کانه‌سازی کانسار کرویان با کانسارهای طلای پهنه‌های برشی خمیری مقایسه (جدول ۲) و نتیجه بررسیها و داده‌ها حاکی از آن است که کانسار طلای کرویان بیشترین شباهت را با کانسارهای طلای پهنه‌های برشی شکل‌پذیر دارد.

در مطالعات (SEM) طلا همراه با باطله کلسیتی مشاهده نشد، اما در نمونه‌ها و مقاطعی که دارای کلسیت فراوان و عیار بالایی است (واحد آتشفشانی دگرگون شده بازمیلونیتی کاملاً دگرسان) طلا در کوارتز مشاهده می‌شود.

نتایج تجزیه شیمیایی طلای آزاد، حضور مقدار بسیار پایین نقره را در شبکه ساختاری آن نشان می‌دهد، ولی این کانه (نقره) به صورت آزاد در مقاطع مطالعه شده مشاهده نگردد.

کانه‌های اکسیدی

-تیتانومگنتیت، مگنتیت و ایلمنیت

این اکسیدها همراه با سولفیدها، پیریت و کالکوپیریت در سنگهای آتشفشانی دگرگون شده بازی مشاهده می‌شوند، اما شواهد بافتی موجود، حکایت از تشکیل فاز اکسیدی (مگنتیت، ایلمنیت) جدا و قبل از فاز سولفیدی دارد.

هیدروکسیدهای آهن

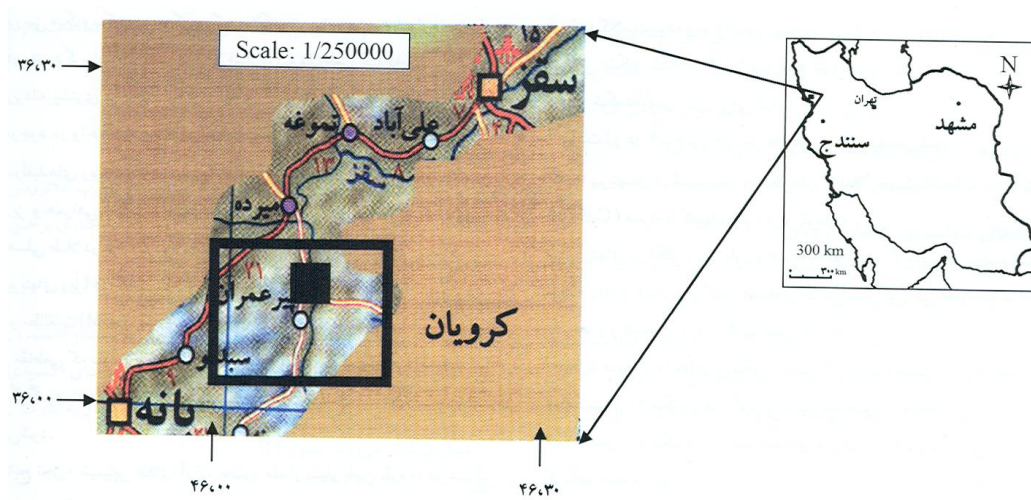
هماتیت، گوتیت و لیمونیت

در اثر عملکرد آبهای جوی (فرابندسوپرژن) از خلال درز و شکافها و مجاری آبگذر موجود در سنگها، کانه‌های سولفیدی آهن‌دار (اغلب پیریت) از حاشیه و مرز شکستگیها، به طور بخشی و گاه کامل به هیدروکسیدهای آهن (عموماً گوتیت، لیمونیت و هماتیت) تبدیل شده‌اند.
هیدروکسیدهای آهن اغلب بافت کلوform داشته و معمولاً بقایایی از پیریت اولیه را به صورت بافت جزیره‌ای و باقیمانده در بردارند.

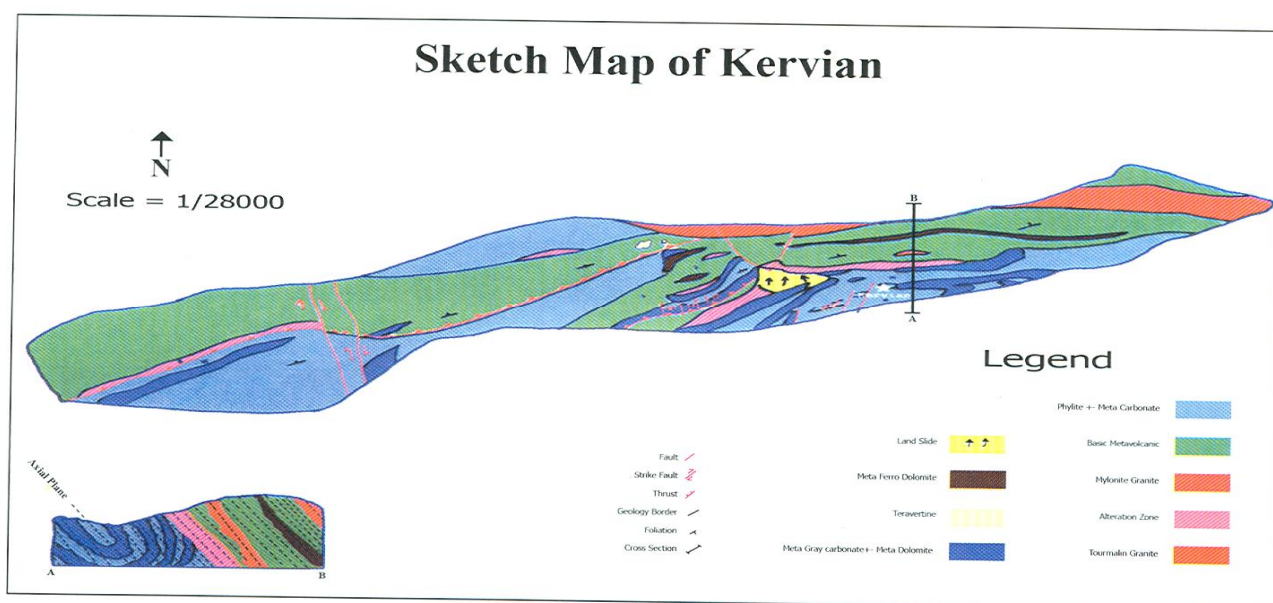
توالی پاراژنتیک کانه‌ها و کانیها

بر مبنای مشاهدات انجام شده در روی زمین، نمونه دستی و مطالعات میکروسکوپی و میکروسکوپ الکترونی (SEM) انجام گرفته، می‌توان توالی پاراژنتیک زیر را برای کانه‌زایی در کانسار طلای کرویان در نظر گرفت (جدول ۱):

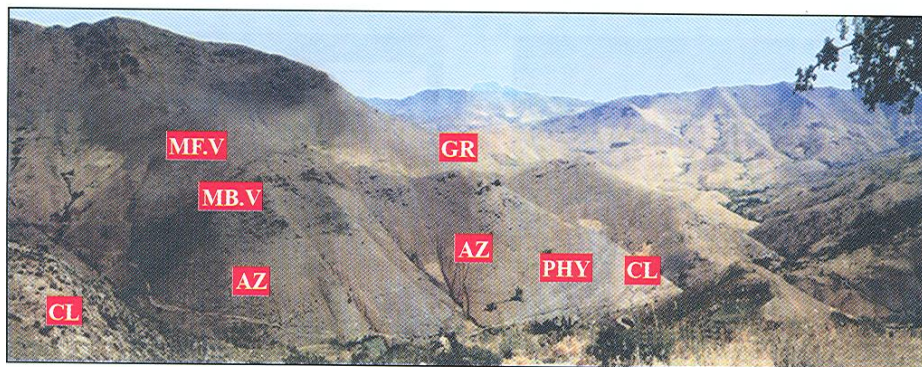
- در نمونه‌های زون کانه‌دار، سه نوع کوارتز دیده می‌شود که نوع اول پورفیر و کلاست بوده و نوع دوم و سوم (نسل اول و دوم) در اثر دگرسانی گرمایی تشکیل شده‌اند. کوارتزهای نوع سوم نسبت به نوع دوم تأخیری‌تر بوده و شکستگیهای آن را پرمی‌کنند.



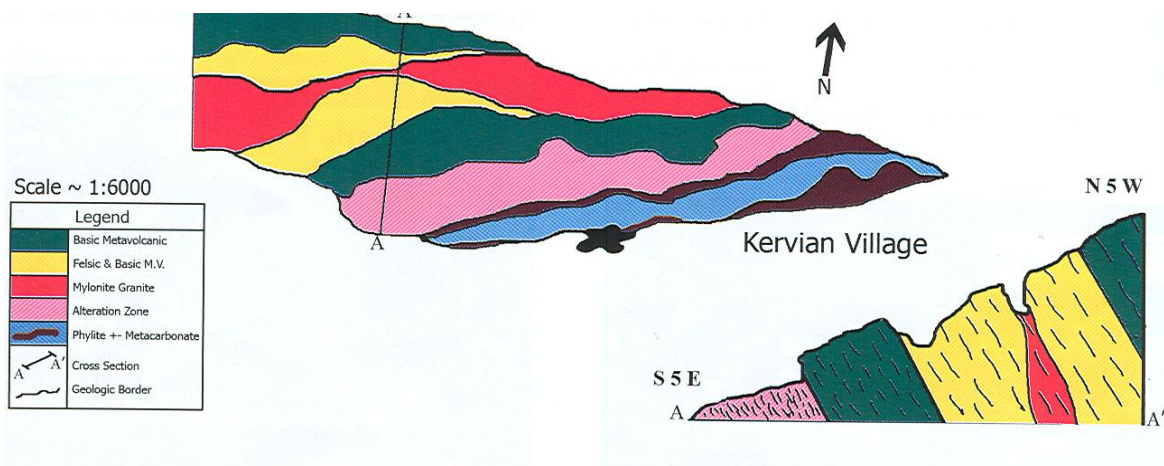
تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی منطقه معدنی کرویان.
موقعیت روستای کرویان با علامت (■) مشخص شده است.



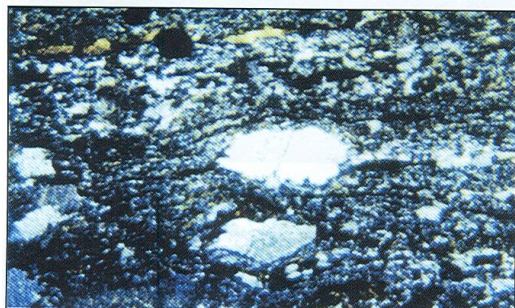
تصویر ۲- نقشه زمین شناسی منطقه معدنی کرویان (محل، ۱۳۸۱)



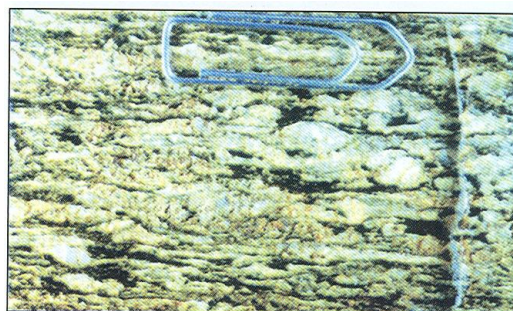
تصویر ۱-۳-الف - نمایی از توالی واحدهای آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده، پهنه دگرسان و گرانیت میلوئیتی در منطقه معدنی کرویان
 GR: گرانیت میلوئیتی MB.V: آتشفشانی بازی دگرگون شده MF.V: آتشفشانی فلسیک دگرگون شده CL: آهک بلورین
 PHY: فیلیت AZ: پهنه دگرسان



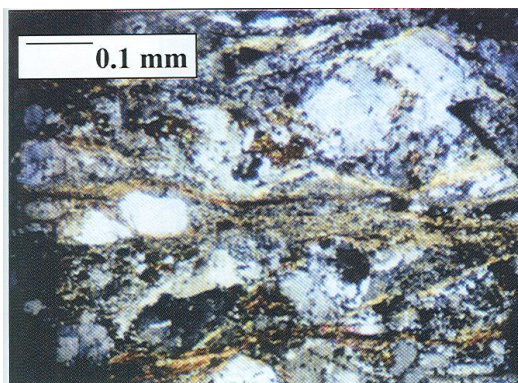
تصویر ۱-۳-ب- واحدهای رخنمون یافته در منطقه معدنی کرویان با توجه به تصویر ۱-۳-الف همراه با مقطع زمین‌شناسی
 (علامتهای خط چین در واحدهای نشان داده شده در مقطع A-A' نشان‌دهنده میلوئیتی شدن و جهت شیب بر گواره میلوئیتی می‌باشد)



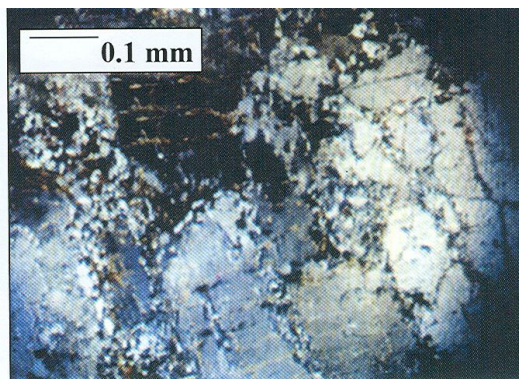
تصویر ۵- نمایی میکروسکوپی از یک واحد دگرشکل شده میلوئیتی
 و دو نوع دانه‌بندی، پورفیرو کلاست و زمینه در آن، پورفیرو کلاستها
 قبل از دگرشکلی در سنگ حضور داشته‌اند.



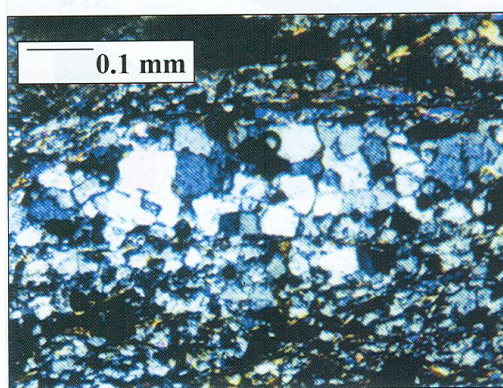
تصویر ۴- گرانیت میلوئیتی که در آن کاملاً کانیهای تیره (بیوتیت و
 کلریت) و روشن (کوارتز و فلدسپار) تفکیک شده و بر گوارگی
 میلوئیتی قابل تشخیص است.



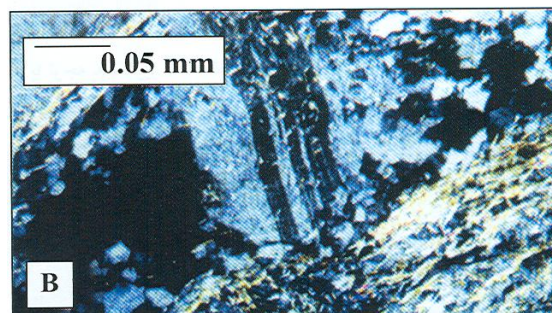
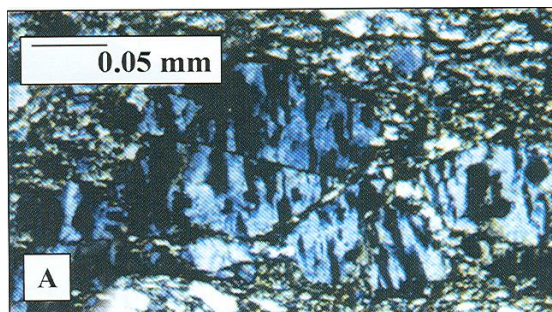
۷- بافت ساروجی در میلونیتها



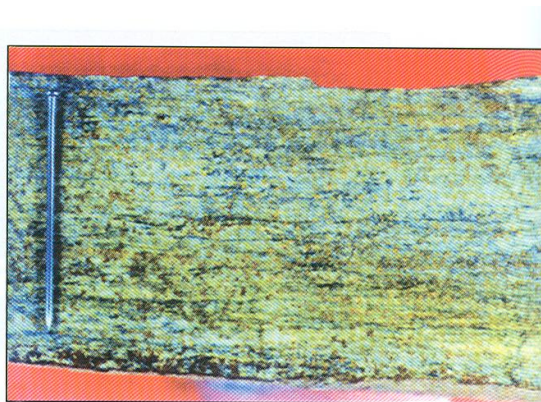
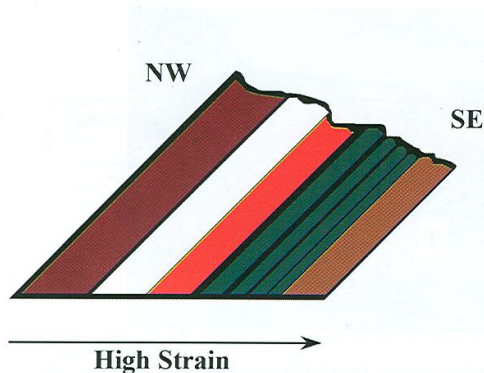
تصویر ۶- بافت ساروجی (مورتار) در واحدهای پروتومیلونیتی. ریز (اغلب کوارتز) در بین کانیهای دانه درشت (فلدسپار) توجه شود (در نور پلاریزه).



تصویر ۹- کوارتزهای مرحله اول گرمایی (نوع دوم) با ظاهری روشن و درشت و به صورت انبوهه دانه‌ای در مرکز عکس به صورت کشیده (جهت یافته) مشاهده می‌شود. کوارتزهای نسل سوم در دو طرف بالا و پایین آن همراه با سولفیدها و همچنین در داخل شکستگیهای آن دیده می‌شود که ظاهری کمی کدرتر و ریزتر در عکس از خود نشان می‌دهد (نور معمولی).

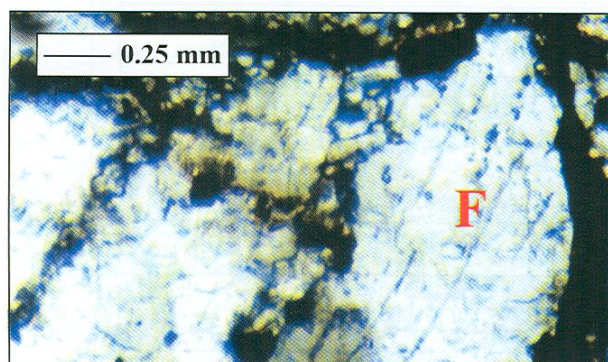


تصویر ۸- تبلور دوباره و جهت‌یافتگی بلورها در راستای برگرایی همراه با به هم ریختگی دولوهای فلدسپار و پیچ و تاب خوردگی آنها در طی دگرشکلی شدید در واحدهای میلونیتی. (A) نمایی از خردشدگی فلدسپار و به هم ریختگی دولوهای آنها در سنگهای میلونیتی که تحت تأثیر دگرشکلی حاصل بوده‌اند. (B) پدیده تشکیل شکنج در پورفیرو کلاست فلدسپار که چرخش نیز نشان می‌دهد (حین دگرشکلی میلونیتی)

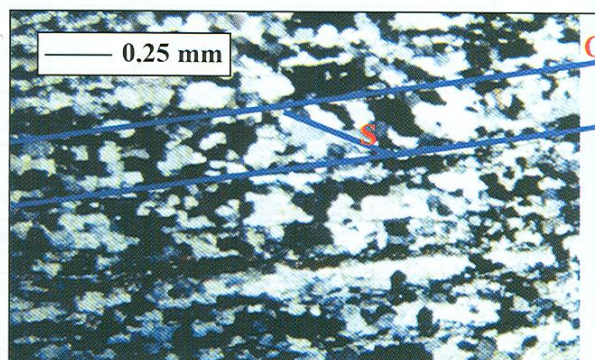


تصویر ۱۱- نمایی شماتیک از تغییرات شدت دگرشکلی در پهنه‌برشی کرویان. هرچه به سمت جنوب خاور (روستای کرویان) نزدیک می‌شویم بر شدت دگرشکلی (تعداد خطوط کنار هم) افزوده می‌شود.

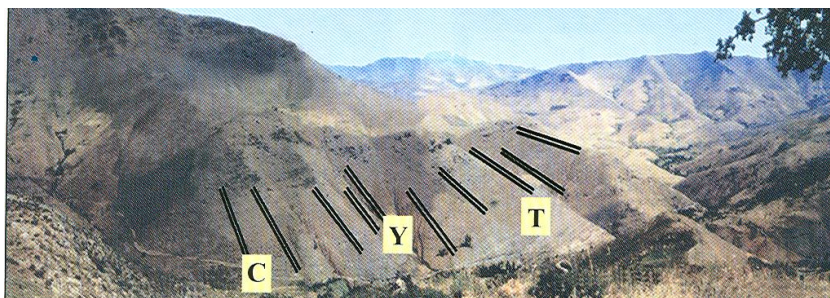
تصویر ۱۰- واحدهای اولترامیلونیت در مقیاس نمونه دستی که بیشترین شدت دگرشکلی (کاملاً بر گوارگی و جهت‌یافتگی کانی‌ها و سولفیدهای حاصل از دگرسانی در آن مشهود است) را در پهنه دگرسان تحمل کرده‌اند (به تصویر میکروسکوپی آن تصویر ۱۱ توجه شود).



تصویر ۱۳- ریزشکستگی‌ها و شکستگی‌هایی که در پورفیرو کلاست فلدسپار (F) در حین دگرشکلی و جریانهای کاتاکلاستیکی ایجاد شده و توسط کانیهای سولفیدی و کوارتز پر شده است.



تصویر ۱۲- مقطع میکروسکوپی از واحد اولترامیلونیتی که کاملاً کانیهای آن جهت یافته، متبلور و هم اندازه شده‌اند افزون بر آن، در این مقطع فابریکهای باند برشی (S/C) مشاهده می‌شود.



تصویر ۱۴- نمایی از پهنه کانه‌دار و دگرسان کرویان همراه با تراتشه‌های حفر شده در آن، C، Y، T، نام تراتشه‌ها است شمال روستای کرویان .

جدول ۱- توالی پاراژنزی کانیهای موجود در کانسار طلای کرویان

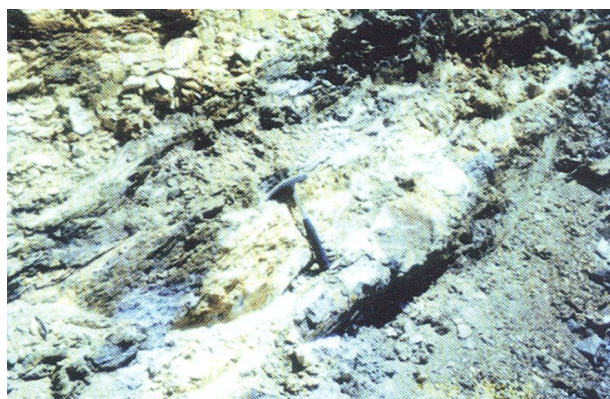
Mineral	Preore	Hydrothermal			Weathering
		First Stage	Second Stage		
			First Phase	Second Phase	
Pyrite	I		————		
	II			————	
Chalcopyrite			- - - -	- - - -	
Realgar				- - - -	
	I	————			
	II		————		
	III			————	
Calcite(+ Ankerite)			- - - -	————	
Gold			- - - -	————	
Ilmenite & Magnetite	————				
Fe-Hydroxide					————

جدول ۲- مقایسه ویژگی‌های کانسار طلای کرویان با مشخصات مهم کانسارهای طلای در ارتباط با پهنه‌های برشی

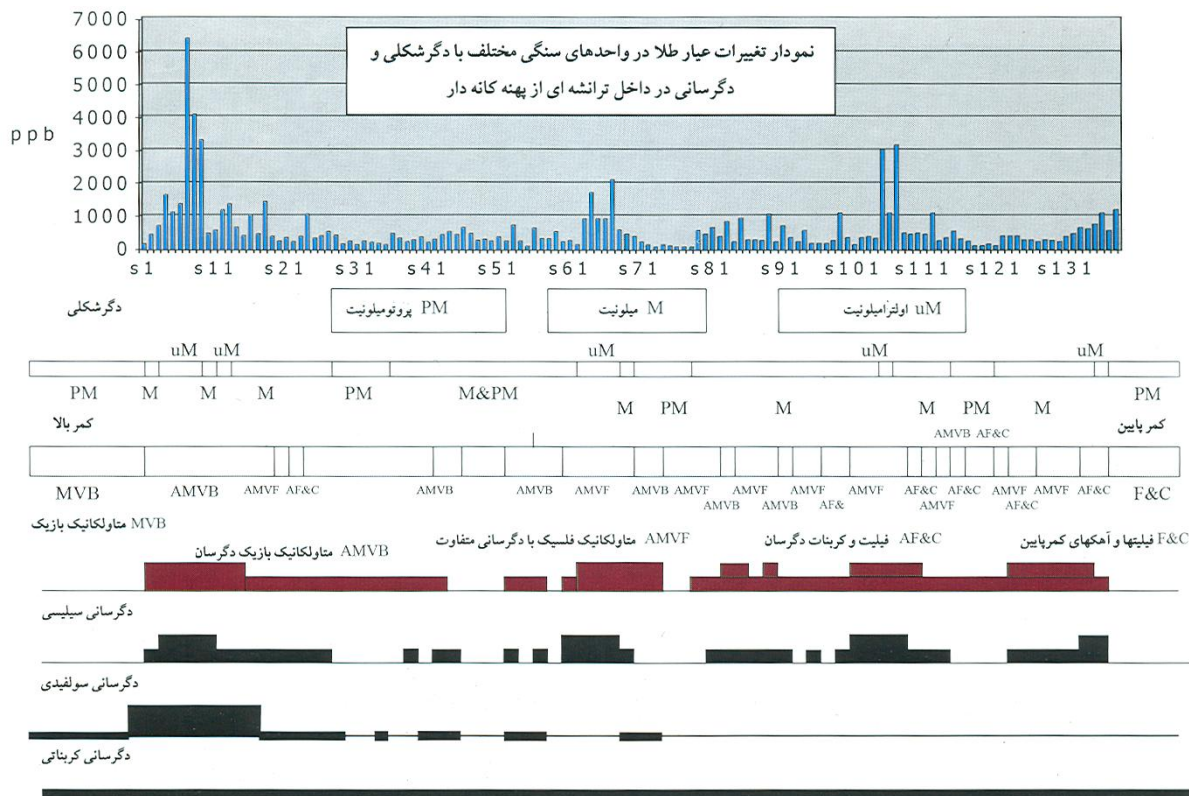
نوع شاخص	مشخصات کانسارهای طلای مرتبط با پهنه‌های برشی شکل‌پذیر	منابع	مشخصات کانسار طلای کرویان
محیط زمین ساختی	محیط‌های کوهزایی افزایشی که از نزدیک شدن صفحات همگرا، فرورانش پوسته اقیانوسی و برخورد صفحات با همدیگر حاصل می‌شوند.	۱۹-۱۳-۲۶ ۵-۲-۱۶ ۲۹-۲۰-۱۴	توسط محققین مختلف (از جمله محجل، ۲۰۰۳) محیط فرورانش و نهایتاً برخورد صفحه عربی با ایران در نظر گرفته شده است.
جایگاه ساختاری ناحیه‌ای	کمبرندهای دگرگونی و دگرشکلی حاشیه قاره‌ها که توده‌های نفوذی با ترکیب حد واسط تا اسیدی در آن نفوذ نموده است (کمبرندهای ولکانوپلوتونی) و از دیگر مشخصه آنها وجود گسل‌های عمیق با شیب تند تا متوسط است.	۱۶-۱-۲۵ ۱۱-۱۰-۱۸ ۹-۲۶-۶ ۲-۱۳	بخش شمال‌باختری پهنه دگرگونی ماگمایی سنندج سیرجان و در زیر پهنه با دگرشکلی پیچیده (محجل وسهندی، ۱۳۷۸) که در آن گسل‌های راندگی با امتداد شمال‌باختر- جنوب خاور همروند با زاگرس گسترش یافته‌اند
دگرگونی و نوع رخساره	دگرگونی از نوع ناحیه ای و پیشرونده و عمدتاً در رخساره شیست‌سبز (بالایی تا پایینی) و در رخساره‌های با دمای بالاتر کمتر مشاهده شده است	۱۳-۱۶ ۲-۱۷	دگرگونی ناحیه‌ای و در رخساره شیست‌سبز
ارتباط با توده‌های نفوذی ونقش آنها	عمدتاً ارتباط زایشی با کانه‌زایی ندارد. بیشتر نقش تأمین حگروما و بالا بردن گرادبان زمین گرمایی منطقه را به عهده دارند	۳۱-۲۱-۱۳ ۲۰-۳۰-۱۶ ۳-۱۴	سنگ میزبان کانه‌زایی نمی‌باشند، شواهد موجود دال بر بی ارتباطی توده‌های نفوذی با کانه‌زایی از لحاظ زایشی است ولی شار گرمایی آن در تمرکز کانه و دگرشکلی نقش دارد.
عوامل کنترل کننده کانه‌زایی	عوامل ساختاری که در ارتباط با پهنه‌های برشی شکل‌پذیر و میلونیتی و دگرسانی است	۱-۳۱-۲۴ ۱۱-۱۶-۲۸ ۲-۱۸	پهنه‌های برشی شکل‌پذیر و میلونیتی و دگرسان
گسترش و ابعاد کانسار و شکل ذخیره	برای این کانسارها عرضی حدود ۰/۱ کیلومتر و طولی متغیر، ۱۰-۵ کیلومتر و گسترش عمقی ۱ تا ۲ کیلومتر گزارش شده است. ذخیره به صورت رگه‌ای و یا عدسی شکل در واحدهای دگرشکل و دگرسان مشاهده می‌شود	۱۱-۲۸-۱۶	این کانسار با طولی بیش از ۲/۵ کیلومتر و پهنای متوسط ۶۰ متر (۱۲۰-۰) با ژئومتری عدسی شکل گسترش یافته است ضمن اینکه ادامه آن قابل تعقیب می‌باشد
سنگ میزبان	انواع گسترده‌ای از سنگ‌ها می‌تواند سنگ میزبان کانسارهای طلای پهنه‌های برشی فانروزویک باشد، اما گسترش آن در واحدهای آتشفشانی رسوبی بیشتر گزارش شده است	۱۴-۱۶-۱۳	پهنه کانه‌دار منطقه کرویان به طور عمده از آتشفشانیهای دگرگون شده فلسیک و بازی گاملا دگرشکل همراه با واحدهای فیلیتی و کربناتی تشکیل شده است.
دگرسانی هیدروترمالی	عمدتاً شامل کربناتی شدن، آلبیتی شدن، سریسیتی شدن، سیلیسی شدن، سولفیدی شدن، کلریتی شدن، و لیستونیتی شدن می‌باشد که کاملاً وابسته به نوع سنگ میزبان است.	۱۶-۲۱-۳۱ ۲۷-۱۸-۱۲	عمدتاً شامل کلریتی شدن، سریسیتی شدن، سیلیسی شدن، کربناتی شدن و سولفیدی شدن است.
عناصر تشکیل دهنده کانه (عناصر کانه‌ساز)	Au-Ag	۳۱-۱۳	Au
کانی‌شناسی و پاراژنز	در دو مرحله تشکیل می‌شوند: فاز اولیه شامل کوارتز، کربنات‌های آهن-منیزیم-کلسیم، آرسنوپیریت، پیریت (+طلا)، آلبیت، سرسیت، کلریت، شلیت، استیبینیت، پیروتیت، تتراهدريت، کالکوپیریت، تورمالین	۳۱-۱۳	فاز اولیه شامل: کوارتز، کلسیت و کربنات‌های آهن‌دار، سرسیت، کلریت، مسکویت، پیریت‌های خودشکل‌گه طلا‌دار و فاز ثانویه شامل: طلا، کوارتز، پیریت، پیریت‌های آرسنیک‌دار، کالکوپیریت و رالگاراست

	فاز ثانویه: طلا، گالن، اسفالریت، تلوریدها		
جایگاه کانی سازی در ارتباط با دگرشکلی	کانی سازی در پهنه های برشی و در فضاهای حاصل از دگرشکلی شکل پذیر که به موازات برگواری و یا بدون جهت خاصی در کانسنگها است قرار می گیرد. شدت کانه سازی کاملا در ارتباط با شدت دگرشکلی است.	۲۸-۳۱-۷-۵-۴-۶	کانه زایی در فابریکهای C و S و درزه ها که تحت تأثیر دگرشکلی شکل پذیر حاصل شده و توسط نفوذ سیالهای کانه دار در آن پر شده قرار دارد. ضمناً شدت کانه سازی کاملا در ارتباط با شدت دگرشکلی است.
فابریک و بافت شاخص	فابریک واحدهای سنگی منطقه، تحت تأثیر دگرشکلی شکل پذیر و از نوع فابریک میلوئیتی است که از پروتومیلونیت تا اولترامیلونیت در منطقه گسترش داشته و بافت شاخص آنها ساروجی است.	۳۱-۲۸-۶-۷-۴	فابریکهای موجود تحت تأثیر دگرشکلی شکل پذیر ایجاد و از نوع میلوئیتی است که از پروتومیلونیت تا اولترامیلونیت در پهنه برشی کانه دار گسترش دارد و بافت های شاخص آنها ساروجی و یا مورتار است.
دمای تشکیل	دمای ۷۰۰-۱۸۰ درجه را برای آن در نظر می گیرند اما عمده کانسارهای آنها، دمایی بین ۲۰۰-۴۰۰ درجه نشان می دهند.	۱۴-۱۰-۱۶-۱۸-۱۳-۲۴-۱۵	دمای تشکیل آن با توجه به نوع کانیها (کانیهای دگرسانی همراه کانه زایی) در درجه رخساره شست سبز (۲۴۰-۳۲۰) در نظر گرفته می شود
سن	به تمامی زمانها متعلق اند ولی در بین زمانهای فانروزویک، بیشترین گسترش را در پالئوزویک پسین و ژوراسیک تا ترشیری دارند.	۱۳-۱۶-۲۴-۱۵	سن آنها براساس مطالعات انجام شده به نظر می رسد به مزوزویک (کرتاسه پسین) منسوب باشد
نحوه تشکیل	دو نحوه تشکیل برای این تیپ از کانسارها از طرفداران بیشتری برخوردار است : گروهی تمرکز کانه زایی را در ارتباط با سیالهای دگرگونی آزاد شده در بخشهای عمیق پوسته و حرکت آنها به سمت بالا با توجه به مجاری عبور (پهنه های برشی) در نظر گرفته اند گروه دیگر نفوذ آبهای جوی به درون پوسته و گرم شدن و صعود این سیالها را که همراه با غنی شدگی و تمرکز طلا از سنگهای در بر گیرنده می باشد را به عنوان نحوه تشکیل در نظر می گیرند.	۱۳-۲۴-۳۱-۳-۸-۲۳-۵-۲۵	نحوه تشکیل این کانسار با توجه به تشکیل آن در شرایط دگرشکلی شکل پذیر و با توجه به شواهد موجود، بیشتر به گروهی که تمرکز کانه زایی را در ارتباط با سیالهای دگرگونی می دانند نزدیک تر است.

*اعداد بیانگر ترتیب منابع مورد استفاده در قسمت REFERENCE می باشد



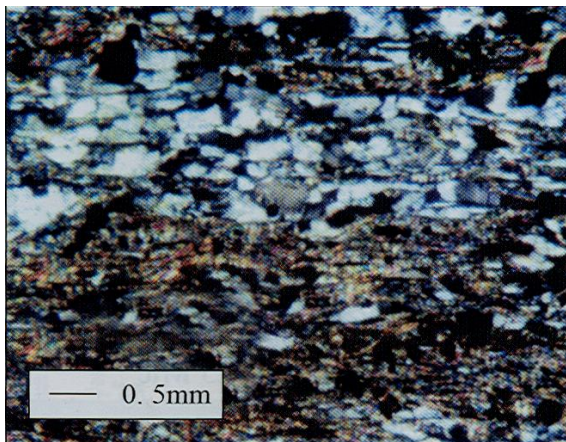
تصویر ۱۵- واحد آتشفشانی دگرگون شده طلا دار با دگرشکلی شدید سیلیسی، سولفیدی و کربناتی که کاملاً جهت یافتگی داشته و برگواری در آن قابل مشاهده می باشد (دید به سمت شمال خاور).



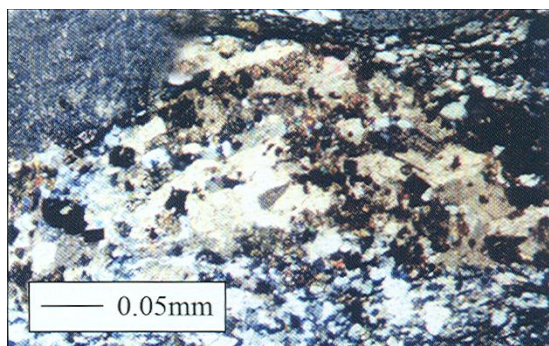
دگرسانی کلریتی و سرسیتی

دگرسانی کلریتی و سرسیتی

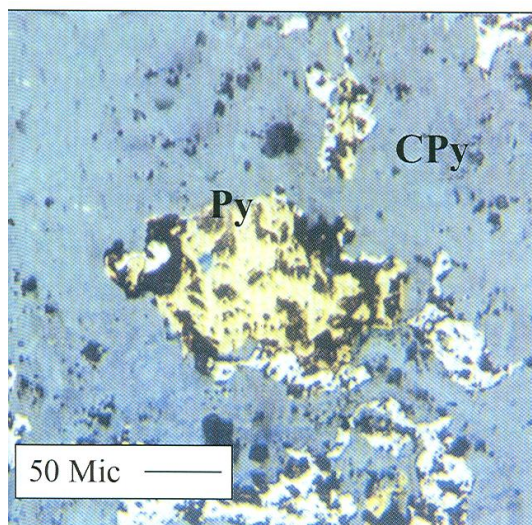
تصویر ۱۶- نمایی کلی از تغییرات عیار طلا در برابر انواع فابریکهای دگرشکلی (میلونیت، پروتومیلونیت و اولترامیلونیت) و دگرسانی (سیلیسی، سولفیدی، کربناتی، کلریتی و سرسیتی) در سنگهای مختلف، واقع در ترانشه‌هایی که عمود بر روند پهنه کانۀ دار کرویان حفر شده است.



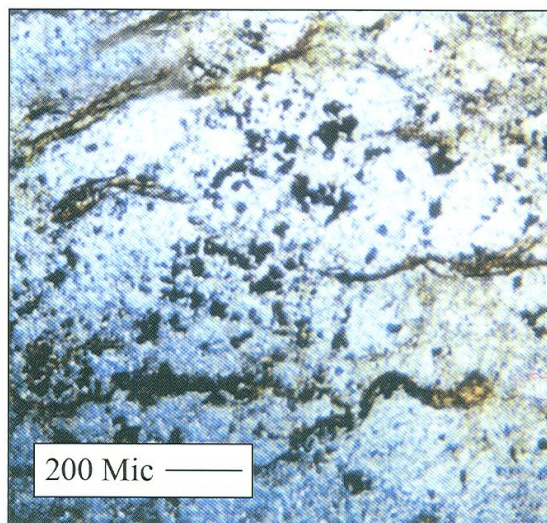
تصویر ۱۸- پیریت‌های خود شکل (نسل اول) حاصل از دگرسانی سولفیدی شدن که در جهت بر گوارگی تمرکز یافته‌اند (نور معمولی).



تصویر ۱۷- سنگهای آتشفشانی بازی دگرگون و دگرسان شده که حاوی کربناتها (در مرکز تصویر و جهت دار)، پیریت (دانه‌های سیاه رنگ در داخل کربناتها و گاه فلدسپارهای دگرسان شده (در بالا و سمت چپ تصویر) می‌باشند.



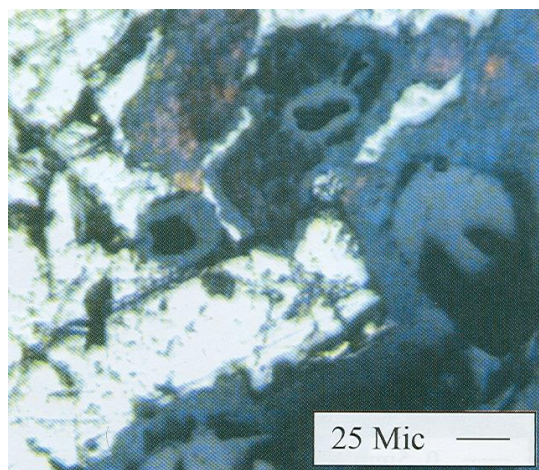
تصویر ۲۰- کالکوپیریت‌های ریز بلور، که با پیریت‌های ریز بلور (نسل دوم)، هم اندازه و هم‌رند می‌باشند.



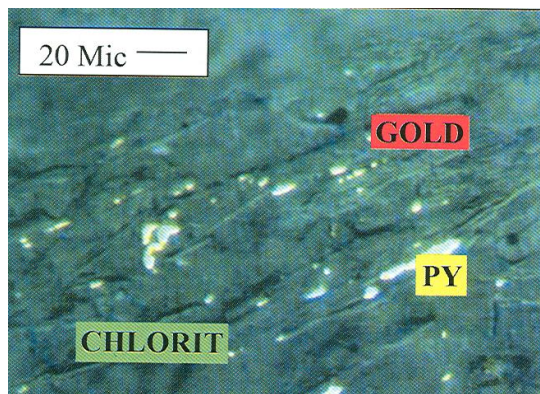
تصویر ۱۹- سولفیدهای نسل دوم (ریز و بی شکل) که به صورت افشان در واحدهای دگرسان و دگرشکل شده پهنه دگرسان دیده می‌شود (بدون آنالیزور).



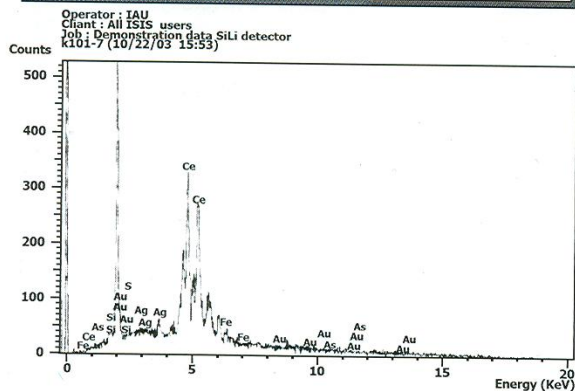
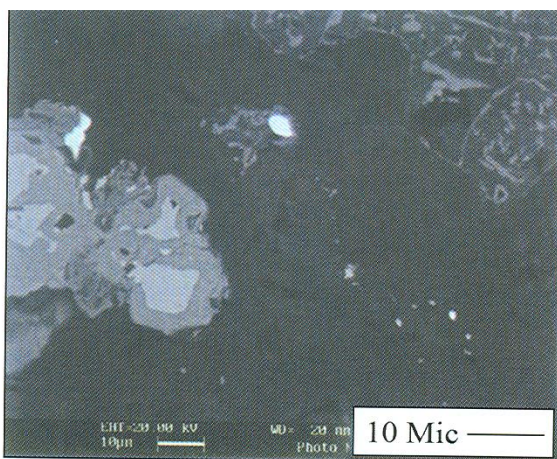
تصویر ۲۲- طلای آزاد در داخل باطله سیلیسی در نمونه‌های به شدت دگرسان شده (سیلیسی، سولفیدی).



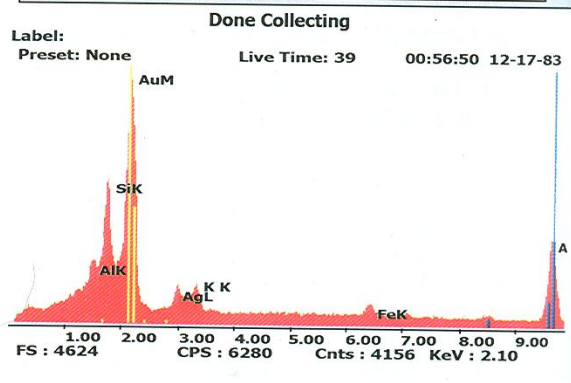
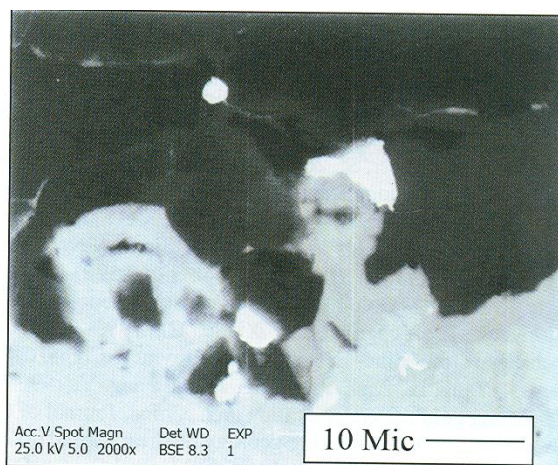
تصویر ۲۱- کانی سولفیدی آرسنیک‌دار (رآلگار) در شکستگی‌های کانی اکسیدی (تیتانومگنتیت) که با رنگ تداخلي داخلی سرخ قابل تشخیص است و نشان از تقدم فاز اکسیدی نسبت به فاز سولفیدی دارد.



تصویر ۲۳- طلاهای آزاد جهت یافته در جهت برگوارگی که در کنار سولفیدهای ریز دانه و در امتداد کانیهای فیلسیلیکاتی حاصل از دگرسانی (کلریت) و در سیلیس دیده می شوند.



تصویر ۲۵- دانه های طلای آزاد شده از پیریت های ریز اکسیده همراه با نتایج تجزیه میکروسکوپ الکترونی آن.



تصویر ۲۴- طلای آزاد شده از پیریت های درشت اکسیده همراه با نتایج تجزیه میکروسکوپ الکترونی آن.

کتابنگاری

- ابوالعالی، ش.، علوی، م.، زعیم فرخزادی، ن.، ۱۳۷۷- اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برکه ۱/۱۰۰۰۰۰ سقر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- حسنی پاک، ع.ا.، ۱۳۷۷- گزارش ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برکه ۱/۱۰۰۰۰۰ آلتوت، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شرکت توسعه علوم زمین. گزارش داخلی.
- حسنی پاک، ع.ا.، ۱۳۷۸- گزارش ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برکه ۱/۱۰۰۰۰۰ تیزتیز، سازمان صنایع و معادن استان کردستان. گزارش داخلی.
- رشید نژاد عمران، ن.، ۱۳۸۱- پترولوژی و ژئوشیمی سنگ های متا و لکانوسدیمتری و پلو تونیک منطقه موه (جنوب دلیجان) با نگرشی ویژه به خاستگاه کانی سازی طلا. رساله دکترا، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- محجل، م.، ۱۳۸۱- گزارش نقشه زمین شناسی، ساختاری و آلتراسیون منطقه معدنی کرویان (۱/۵۰۰)، طرح اکتشاف طلای سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- محجل، م. و سهندی، ر.، ۱۳۷۸- تکامل تکنونیک پهنه سندرچ سیرجان در نیمه شمال باختری و معرفی زیر پهنه های جدید در آن، فصل نامه علوم زمین شماره ۳۱-۳۲، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- محجل، م. و شمسا، س. م. ج.، ۱۳۸۰- فابریک سنگهای طلا دار منطقه کرویان، نوزدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Anderson, S.D., and Beaumont- Smith, C.J., 2001- Structural analysis of the pool Lake-Boiley lake area .Lynn lake greenstone belt. *Monitoba Geological-Survey*, 76-85 P.
- Bierlein, F.P., and Maher, S., 2001- Orogenic disseminated gold in phanerozoic fold belts- examples from Victoria, Australia and elsewhere, *Ore Geology Reviews*, v. 18, Issue:1-2, p.113-148.
- Bohlke, J.K. and Kistler, R.W., 1986- Rb-Sr, K-Ar and stable isotope evidence for the ages and sources of fluid components of gold bearing quartz veins in the northern Sierra Nevada Foothills Metamorphic Belt, California, in Foster, R.P., 1993, *Gold metalogeny exploration*. Blackie and son .Ltd. 432P.
- Boyle, R.W., 1987- Gold history and genesis of deposits .Van Nostrand Reinhold, Newyork, 627P.
- chuanrong, L., Yongnian, H., Xiade, C., 1995- Relation between ductile shear zone and gold mineralization-Taking Jinchangyu Gold Mine- Eastern Hebei Province -China. *Chineses Science*, Vol.14, Issue:4.
- Deng, J., Yang, L., Zhai, Y., Wang, J., and Fang, Y., 1999- Crust -Mantle Interaction and Dynamics of Metallogenic System of Jiaodong gold ore concentrating area, China, *Journal of Geosciences of China*, vol.1NO1.
- Dewolfe, J.C., 1995- Structure geology of shear-hosted gold deposits in the Beardmore-Geraldton Greenstone Belt, Superior province, Ontario. *Mineral Exploration Research Center, Departement of Earth Sciences, Laurentian University*.
- Doyle, C., and Cartwright, J., 2002- The role of fluids in retrograde shearing. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 69-70, pp. 575-579.
- Evans, A.M., 1997- An introduction to economic geology and its environmental impact Blackwell, Sci:Pub.364P.
- Evan, D.T.W., and Wilton, D.H.C., 2000- The midas pond gold prospect, Victoria Lake Group, Central New Foundland. *Explor.Mining Geol.*, v.9, p. 65-79.
- Ferkous, K., and Leblance, M., 1995- Gold mineralization in the west Hoggar shear zone, Algeria. *Mineral Deposita*, v. 30, p. 211-224.
- Ferrari, M.A.D., and Choudhuri, A.A., 2000- Chemical and structural constraints on the paiol gold deposit, Almas greenstone belt, Brazil. *Revista Brasileira de Geociencias*, v.33, p. 297-301.
- Foster, R.P., 1993- Gold metalogeny and exploration. Blackie and son .Ltd. 432P.
- Goldfarb, R.J., Phillips, G.N., and Nokleberg, W.J., 1998- Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the pacific Rim. *Ore Geology Reviews*, 13:185-218.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F., Hart, C.J., 2003- Gold Deposits in metamorphic Belts: Overview of current Understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance, *Economic Geology*, Vol. 98, pp, 1-29.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hgemann, S.G. and Robert, F., 1998- Orogenic gold deposits. *Ore Geology Reviews*, 13:7-27.
- Hutchinson, R.W., 1987- Metallogeny of Precambrian gold deposits: Space and time relationship. *Econ.Geol.* 82, 1993 - 2007.
- Jelsma, H.a., Huizenga, J.M., Touret, J.L.R., 1999- Fluids and epigenetic gold mineralization at Shamva Mine, Zimbabwe: a combined structural and fluid inclusion study, v. 27, Issue.1, pp. 55-70.
- Kontoniemi, O., 1997- Paleoproterozoic shear zone related gold deposit at Osi komaki, SE Finland. *Mineral Deposits :Research and Exploration*, V.11-13, pp213-216.

- Kurt Stuwe, 1998- Tectonic constraints on the yiming relationship of metamorphism, fluid production and goldbearing quartz vein emplacement .Ore Geology Reviews 13:219-228.
- Leonardos, O., Jost, H. and Oliveira, C.G.,1991- Gold deposits and shear zone relationships in the precambrian of Brazil. BrazilGold91, E.A.Laderia(ed).p167-169.
- Mohajjel, M., Fergussen, C.L. and Sahandi, M.R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj -Sirjan zone, western Iran. Journal of Asian Earth Science, 21:397-412.
- Passchier, C.W., and Trouw, R.A.J., 1998- Microtectonics springer, Berlin Heidelberg. New York.
- Phillips, G.N., 1993- Metamorphic fluids and gold. Mineralogical Magazine, Vol. 57, pp. 365-374.
- Piessens, K.,Muechez, P., Viaene, W., Boyce, A., Devos, W., Sintubin, M. and Debacker, T., 2000- Alteration and fluid characteristics of a mineralised shear zone in the lower Paleozoic of the Anglo-Brabant belt, Belgium. Journal of Geochemical Exploration, 69-70:317_321.
- Read, C.M. and Cartwright, I., 2000- Meteoric Fluid infiltration in the middle crust during shearing .Journal of Geochemical, 69-70:333-337.
- Sawkins, F.J., 1990- Metal deposits in relation to plate tectonic, Second Revised and enlarged Edition: Springer- Verlag.p.
- Sup So, C., Taek Yun, s., Shelton, K.L., 1995- Mesothermal gold vein mineralization of the Samdong mine, Youngdong mining district, Republic of Korea, Mineral Deposita, v, 30, pp, 384-396.
- Wang, H.N. and Chen, J. and Ji, J.F. and Sun, C.Y.,1999- Geochemistry and metalization of mylonite-hosted gold deposit in southern china.Ninth Annual V.M Goldschmidt Conference.
- Wilkinson, J.J., Boyce, A.J., Earls, G., and Fallick, A.E., 1999- Gold remobilization by low- temperature brines: Evidence from the curraghinalt gold deposit, Northern Ireland. Economic Geology, v.94, pp. 289-296.
- Woodward, L.A., 1993- Structural control of lode gold deposits in the Pony Mining district,Tobacco root Mountains, Montana. Economic Geology,88:1850-1861.
- Zhou, Y. and Wang, Z., 1999- Altered ductile shear-zone host type of gold deposits from south China .Journal of Geoscience of China .1:1.

*بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

**سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور

*Geological Department, Ttarbiat Modaress University, Tehran, Iran

**Geological Survey and Mineral Exploration of Iran