



## مراحل تشکیل و تکوین کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلای باریکا، خاور سردشت، شمال باختر پهنه دگرگونه سنندج - سیرجان: براساس مطالعه ساخت، بافت و میکروترموتری سیالات درگیر

حسینعلی تاج الدین<sup>۱</sup>، ابراهیم راستاد<sup>۱</sup>، عبدالمجید یعقوب پور<sup>۲</sup>، محمد محجل<sup>۱</sup>

۱- بخش زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم، تهران

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۰/۲۷، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۲/۱۸

### چکیده

کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلا (و نقره) باریکا، در ۱۸ کیلومتری خاور سردشت، در شمال باختر پهنه دگرگونه سنندج- سیرجان قرار دارد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده باریکا، مجموعه‌ای از سنگهای آتشفشان- رسوبی زیردریایی دگرگون شده کرتاسه، شامل متاولکانیکهای آندزیتی، متاتوفیت، فیلیت و اسلیت می‌باشند. کانسار باریکا، از دو بخش کانسنگ چینه‌سان و زون استرینگر تشکیل شده است که به‌طور کامل در واحد متاولکانیک آندزیتی  $K^{mv1}$  قرار گرفته‌اند. بخش چینه‌سان کانسار، متشکل از کانسنگ‌های سولفیدی و باریتی همراه با بخشهای فرعی از نوارهای سیلیسی است که به‌صورت توده‌ای و یا نوارهای موازی بر روی رگه‌های سیلیسی زون استرینگر، که کم‌پایین بخش چینه‌سان را قطع کرده‌اند، قرار گرفته است. بخش چینه‌سان کانسار از نظر کانی‌شناسی تنوع زیادی داشته و از پیریت، اسفالریت، گالن، استیبینیت، مجموعه‌ای از سولفوسالت‌ها و طلا (الکتروم) تشکیل یافته است. کانی‌شناسی رگه‌های سیلیسی زون استرینگر ساده بوده و شامل پیریت، گالن، اسفالریت، تتراندزیت و مقادیر نادر کالکوپیریت می‌باشد. هر دو بخش کانسنگ چینه‌سان و زون استرینگر، در اثر عملکرد پهنه برشی باریکا به‌شدت دگرشکل شده‌اند. عیار متوسط طلا و نقره در بخش چینه‌سان کانسار به ترتیب ۸/۳ و ۴۲۰ گرم بر تن و در رگه‌های سیلیسی زون استرینگر به ترتیب ۰/۷ و ۳۲ گرم بر تن اندازه‌گیری شده است. عیار مجموع فلزات پایه در کانسار باریکا همواره کمتر از ۱ درصد است.

مطالعات اخیر حاکی از آن است که کانسار سولفید توده‌ای باریکا، شکل ناقص و تکامل نیافته از یک کانسار سولفید توده‌ای نوع کروکو است که تنها بخش کانسنگ سیاه در آن تشکیل گردیده و فاقد کانسنگ‌های زرد و پیریتی است. این کانسار بعد از تشکیل، درجه پایین دگرگونی (رخساره شیبست سبز) و درجه بالای دگرشکلی را تحمل کرده است. فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی اعمال شده بر روی کانسار، ساختها، بافتها و اشکال جدیدی از کانه‌های طلا در کانسنگ را ایجاد نموده است. در مرحله همزمان با ولکانیسم، نهشت سیالات هیدروترمال کم‌دما (۱۴۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و شوری پایین (۱-۹/۶) درصد وزنی (NaCl)، که از طلا (و دیگر عناصر کانه‌ساز) غنی بوده است، به تشکیل کانسار باریکا، که مشخصات بخش کانسنگ سیاه یک کانسار کروکو را داراست، منجر شده است. در این مرحله از کانی‌سازی، طلا به‌صورت غیرقابل‌رؤیت در داخل پیریت‌های فرامبوئیدال و در همراهی نزدیک با سولفوسالت‌ها و دیگر کانیهای سولفیدی تمرکز یافته است. عملکرد دگرگونی پیش‌رونده (دگرشکلی مرحله D1) بر بخش چینه‌سان کانسار باریکا، به تبلور پیریت‌های فرامبوئیدال، ایجاد پیریت‌های درشت‌بلور و تشکیل الکتروم در مرز دانه‌های پیریت تجدیدتبلور یافته منجر شده است. عملکرد پهنه برشی باریکا (دگرشکلی مرحله D2)، دگرشکلی شدید کانسار و تحرک دوباره طلا و کانیهای حاوی As و Sb, Ag, Pb را موجب گردیده و متعاقباً طلاهای درشت‌دانه (تا ۳ میلی‌متر) در فضاهای ایجاد شده در این مرحله از دگرشکلی تمرکز یافته‌اند. مرحله دگرگونی پس‌رونده، با تشکیل رگه‌های سیلیسی سفیدرنگ فاقد کانه (دگرشکلی مرحله D3) و متعاقباً رخداد یک‌دسته گسل‌های

نرمال با شیب تند (دگرشکلی مرحله D4) همراه بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** کانسار سولفید توده ای غنی از طلا، کانسنگ سیاه نوع کروکو، سیالات درگیر، دگرگونی، دگرشکلی باریکا، سنندج - سیرجان، ایران.

#### مقدمه

سیالات کانه ساز و مراحل تشکیل و تکوین کانسار باریکا مورد بحث قرار گرفته است. در بخش زمین‌شناسی، علاوه بر تکمیل زمین‌شناسی بخش چینه سان کانسار [۶ و ۹]. ویژگیهای زمین‌شناسی زون استرینگر، که در مطالعات قبلی چندان شناخته شده نبود، معرفی شده است. پس از آن، بر اساس مطالعات میکروترموتری سیالات درگیر، ماهیت فیزیکوشیمیایی سیال کانه ساز باریکا توصیف و مدل تشکیل کانسار باریکا ارائه گردیده است. بخش پایانی مقاله، به مراحل تشکیل و تکوین کانسار باریکا از زمان تشکیل همزمان با ولکانیسم کرتاسه تاکنون اختصاص دارد. در این بخش با استفاده از نتایج مطالعات سیالات درگیر و شواهد ساخت و بافت کانسنگها، شرایط تشکیل کانسار باریکا و نقش فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی در کنترل کانه زایی طلا (و دیگر فلزات)، مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است.

#### زمین‌شناسی کانسار باریکا

کانسار باریکا در شمال باختر پهنه سنندج - سیرجان و در زیر پهنه حاشیه‌ای آن [۱۰] قرار دارد. [۱۱ و ۱۲] ولکانیک‌های رخنمون یافته در شمال باختر پهنه سنندج - سیرجان را به یک محیط کمان قاره ای با ماهیت کالک آلکالن، که در زمان کرتاسه میانی - بالایی تشکیل شده‌اند، نسبت داده‌اند.

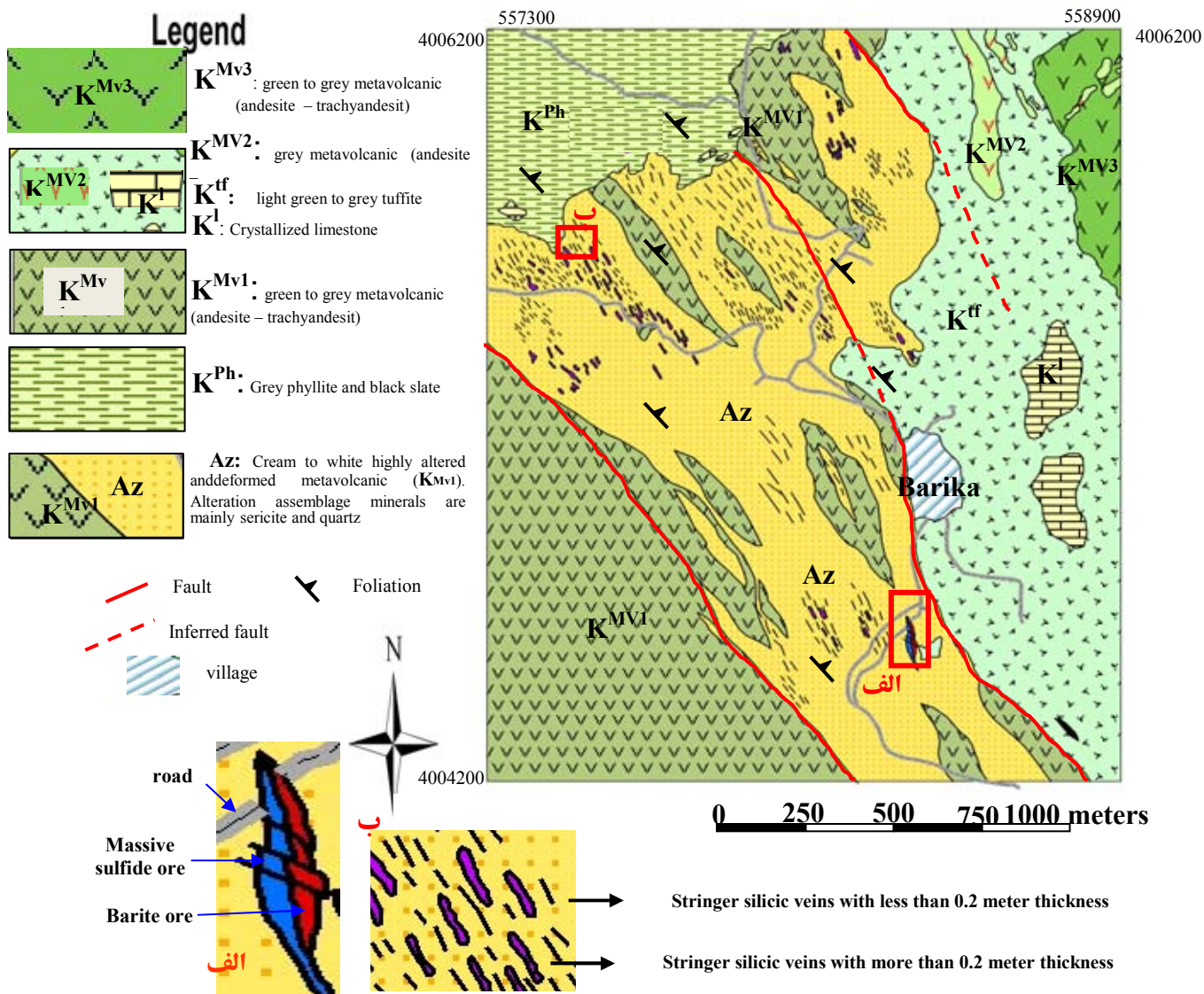
واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده باریکا، مجموعه‌ای از سنگهای آتشفشان - رسوبی زیردریایی دگرگون شده با سن کرتاسه می‌باشند که از متاولکانیکهای آندزیت - تراکی آندزیتی، توفیت، فیلیت و اسلیت تشکیل شده‌اند. در محدوده کانسار باریکا، واحدهای متاولکانیکی و توفیتی، بیشترین گسترش را دارند. واحدهای متاولکانیکی، با مشخصات ظاهری و ترکیب سنگ شناسی مشابه، به صورت دو واحد گدازه ای ( $Kmv1$  و  $Kmv3$ ) و یا به صورت بین‌لایه‌های گدازه ای (واحد  $Kmv2$ ) در واحد توفیتی رخنمون دارند (شکل ۱).

کانسار باریکا، یک کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلا

کانسارهای سولفید توده‌ای غنی از طلا (Au-VMS)، نوعی از کانسارهای سولفید توده ای ولکانوژنیک هستند که در آنها مقدار طلا (بر حسب گرم در تن) بیشتر از مجموع مقدار عناصر مس، سرب و روی همراه (بر حسب درصد) می‌باشد [۴-۱] همانند اغلب کانسارهای سولفید توده‌ای ولکانوژنیک، کانسارهای سولفید توده‌ای غنی از طلا نیز، از عدسپهای سولفید توده‌ای تا نیمه توده‌ای موازی تشکیل شده‌اند که بر روی مناطق تغذیه کننده استوک‌ورک، که در کمربین کانسار گسترش دارند، قرار گرفته اند. اختلاف بین کانسارهای سولفید توده‌ای غنی از طلا و دیگر کانسارهای VMS در تمرکز طلائی آنهاست. به طوری که در این دسته از کانسارها، مقدار طلا (بر حسب گرم بر تن) بیشتر از مجموع عیار Zn و Cu, Pb (بر حسب درصد) است [۱ و ۴]، از این رو در این دسته از کانسارها، طلا به عنوان فلز اصلی است. عناصر فلزی همراه با کانسارهای سولفید توده ای غنی از طلا Ag, Cu, As, Sb, Bi و Hg, Zn Pb, Cu, Se می‌باشند [۴].

کانسار باریکا، اولین و تنها کانسار سولفید توده ای غنی از طلا (ونقره) گزارش شده در ایران است که در ولکانیک‌های آندزیتی کرتاسه، در پهنه سنندج - سیرجان شمالی، جای گرفته است. بر خلاف اغلب کانسارهای سولفید توده‌ای جهان، مقدار مجموع فلزات پایه در کانسار باریکا به نحو چشم‌گیری پایین است ( $1 < \text{wt \% Zn + Pb + Cu}$ ). کانسار باریکا، وسط تاج الدین [۵]. به عنوان کانسار طلائی نوع پهنه برشی معرفی گردید و یارمحمدی [۶]. این کانسار را، با ذخایر سولفید توده‌ای نوع Au-Zn-Pb-Ag معرفی شده توسط لارج و همکاران (۱۹۸۹) و چند ذخیره تیپ کروکو با سن میوسن در Hokurok Basin ژاپن [۸]، قابل مقایسه دانسته‌اند. ایشان نقش فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی را بر روی کانسنگ‌های سولفیدی و باریتی کانسار و به خصوص بر تحرک و تمرکز مجدد طلا مورد بررسی قرار داده‌اند.

در این مقاله زمین‌شناسی کانسار، ماهیت فیزیکوشیمیایی



شکل ۱. نقشه زمین شناسی کانسار سولفید توده ای باریکا. الف: نمای نزدیک از موقعیت کانسنگ چینه سان ( سولفید و باریت توده ای)، ب: نمای نزدیک از زون استرینگر.

مالاکیت، آزوریت، کوولیت و آزوریت. مهمترین کانیه‌های باطله، باریت، کوارتز، سرسیت، مسکویت، کلریت و کانیه‌های رسی می‌باشند. در شکل‌های ۳ و ۴، نمایی از بخش‌های مختلف کانسنگ‌های سولفیدی، باریتی و سیلیسی در بخش چینه سان کانسار باریکا نشان داده شده است. موقعیت استراتی‌گرافی بخش چینه سان کانسار، در بخش‌های فوقانی واحد  $Kmv1$ ، در نزدیک به قاعده واحد توفیتی ( $K^{tf}$ ) می‌باشد. به‌نظر می‌رسد سیالات کانه ساز در مراحل آخر ولکانیسم واحد  $Kmv1$  و در تغییر ولکانیسم گدازه ای به توفینی به کف دریا وارد شده‌اند.

#### ب) کانسنگ رگه‌ای (زون استرینگر)

بخش کانسنگ رگه‌ای یا زون استرینگر، از رگه و رگچه-های سیلیسی سولفیددار با ساخت استوک‌ورک تشکیل شده است. این بخش از کانسار در محدوده ای به طول حدود ۲ کیلومتر و پهنای ۱۰۰ - ۵۰۰ متر با راستای شمال-شمال باختر، جنوب-جنوب خاور، در کمر پایین کانسنگ چینه-سان رخ داده است (شکل ۱). رگه و رگچه‌های سیلیسی سولفید دار زون استرینگر، در طول‌های چند سانتی‌متر تا دهها متر و با ضخامتهای میلی‌متری تا حدود ۱ متر رخنمون دارند. عیار متوسط طلا و نقره در رگه‌های سیلیسی این بخش از کانسار به ترتیب ۰/۷ و ۳۲ گرم بر تن اندازه گیری شده است (جدول ۱).

کانی‌شناسی رگه و رگچه‌های سیلیسی زون استرینگر، نسبت به کانسنگ چینه سان، ساده بوده و شامل پیریت، اسفالریت، گالن، تتراندريت و مقادیر نادر کالکوپیریت (شکل ۷) است.

در محدوده گسترش رگه و رگچه‌های سیلیسی زون استرینگر، انواع دگرسانی‌های سرسیتی، کوارتز-سرسیت، سیلیسی، سولفیدی و کلریتی مشاهده شده است و محدوده گسترش زون استرینگر، با گستره زون‌های دگرسانی منطبق است (شکل ۱). معمولاً در بخش‌هایی از سنگ میزبان رگه و رگچه‌های سیلیسی زون استرینگر، که با دگرسانی کوارتز-سرسیت، سیلیسی و سولفیدی همراه هستند، کانه‌زایی سولفیدی (پیریت، گالن، اسفالریت و تتراندريت) نیز مشهود است (شکل ۶).

شواهد صحرایی حاکی از آن است که اغلب رگه‌های

(و نقره) است که از دو بخش الف) کانسنگ چینه‌سان و ب) کانسنگ رگه‌ای (زون استرینگر) تشکیل شده است. واحد متاندزیتی  $Kmv1$ ، سنگ میزبان این کانسار است و به‌طور کامل هر دو بخش چینه سان و زون استرینگر کانسار را دربردارد. کانسار باریکا و سنگ میزبان آن، بعد از تشکیل متحمل دگرگونی (در حد رخساره شیبست سبز) شده و متعاقباً تحت تأثیر عملکرد پهنه برشی باریکا، با راستای شمال باختر- جنوب خاور و شیب ۴۵-۶۰ درجه به سمت شمال خاور، به شدت دگرشکل گردیده است (شکل ۱). ژئومتری، شدت و روند پهنه برشی باریکا، توسط ژئومتری، شدت و روند پهنه دگرسانی میزبان کانسار کنترل می‌شود، به‌طوری‌که گستره عملکرد پهنه برشی، به‌طور کامل با گستره کانسار باریکا و زون دگرسانی میزبان آن منطبق است و بیشترین شدت دگرشکلی بر کانسار باریکا (بخش چینه سان) مطابقت دارد.

دگرسانی غالب سنگ میزبان، سرسیتی، کوارتز-سرسیتی (شکل ۲ الف)، سیلیسی (شکل ۲ ب)، سولفیدی و کلریتی است و پدیده‌های توأمان دگرسانی و دگرشکلی، تا حدود زیادی بافت پورفیری سنگ اولیه را از بین برده است. در مقاطع میکروسکپی، واحد متاولکانیکی میزبان کانی‌سازی کاملاً دگرسان و دگرشکل بوده و غالباً فابریک‌های میلونیتی را نشان می‌دهند (شکل ۲ الف).

در زیر دو بخش الف) کانسنگ چینه‌سان و ب) کانسنگ رگه‌ای (زون استرینگر) مورد بررسی قرار گرفته است.

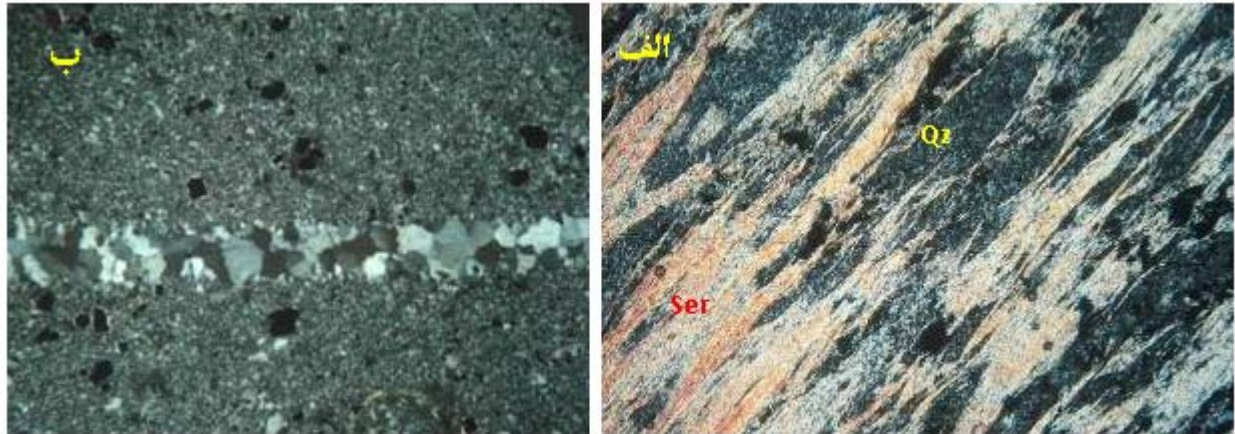
#### الف) کانسنگ چینه سان

این بخش از کانسار، شامل کانسنگ‌های سولفید و باریت توده‌ای-نواری همراه با بخش‌های فرعی از نوارهای سیلیسی است که مجموعاً در طول بالغ بر ۱۵۰ و ضخامت ۱-۲۰ متر رخنمون دارند. عیار متوسط طلا و نقره در قسمت‌های مختلف این بخش از کانسار، به ترتیب ۸/۳ و ۴۲۰ گرم بر تن اندازه‌گیری شده است. (جدول ۱).

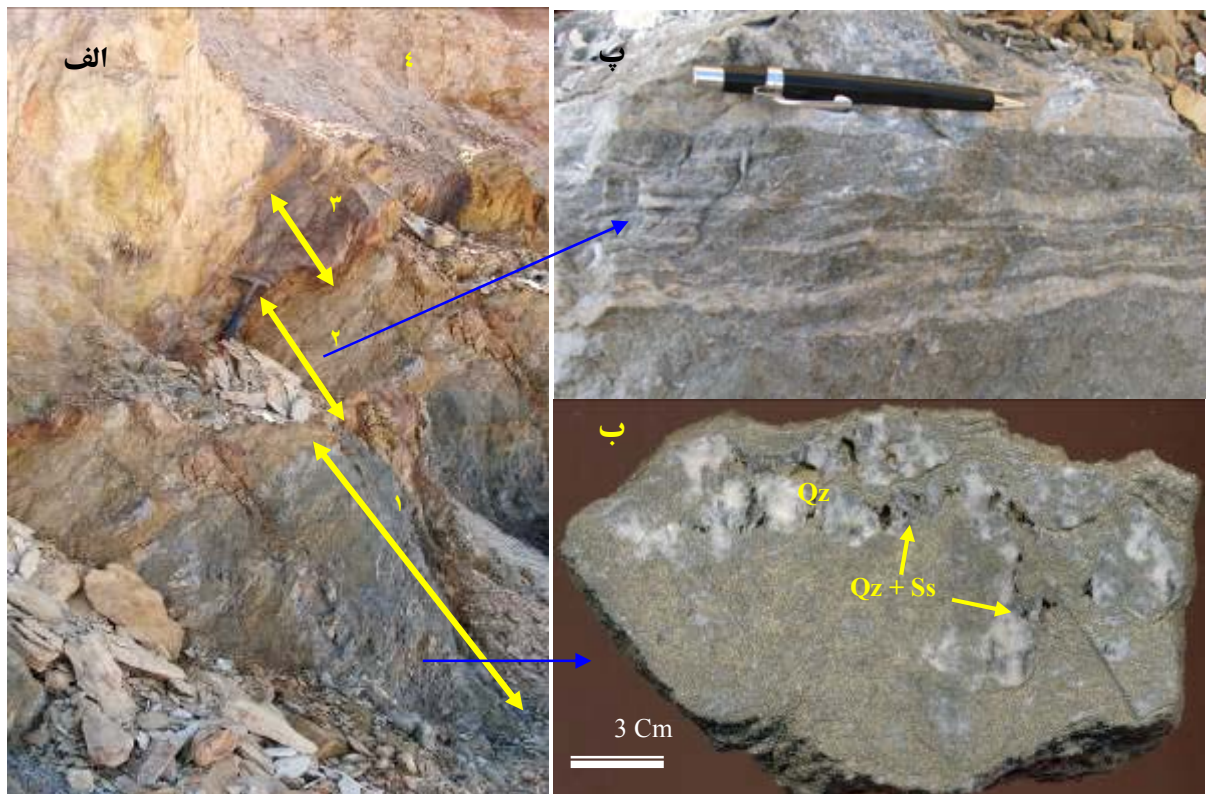
کانه‌های تشکیل دهنده در قسمت‌های مختلف کانسنگ چینه‌سان تنوع زیادی دارند و عبارتند از پیریت، اسفالریت، گالن، تتراندريت-تنانیت، بورونیت-بولانژیت، استفانیت، پیرارژیریت، ترجمینیت، میارژیریت، آندوریت، ژئوکرونیت، گوتاردیت، تووینیت-وینیت، استیبنیت، طلا (الکتروم)،

مربوط به زون استرینگر، که در حاشیه پهنه برشی قرار داشته و از کانون دگرشکلی دور بوده‌اند، تنش کمتری را تحمل کرده و تا حدودی ساخت‌های اولیه کانه‌زایی در آنها حفظ شده است (شکل ۶).

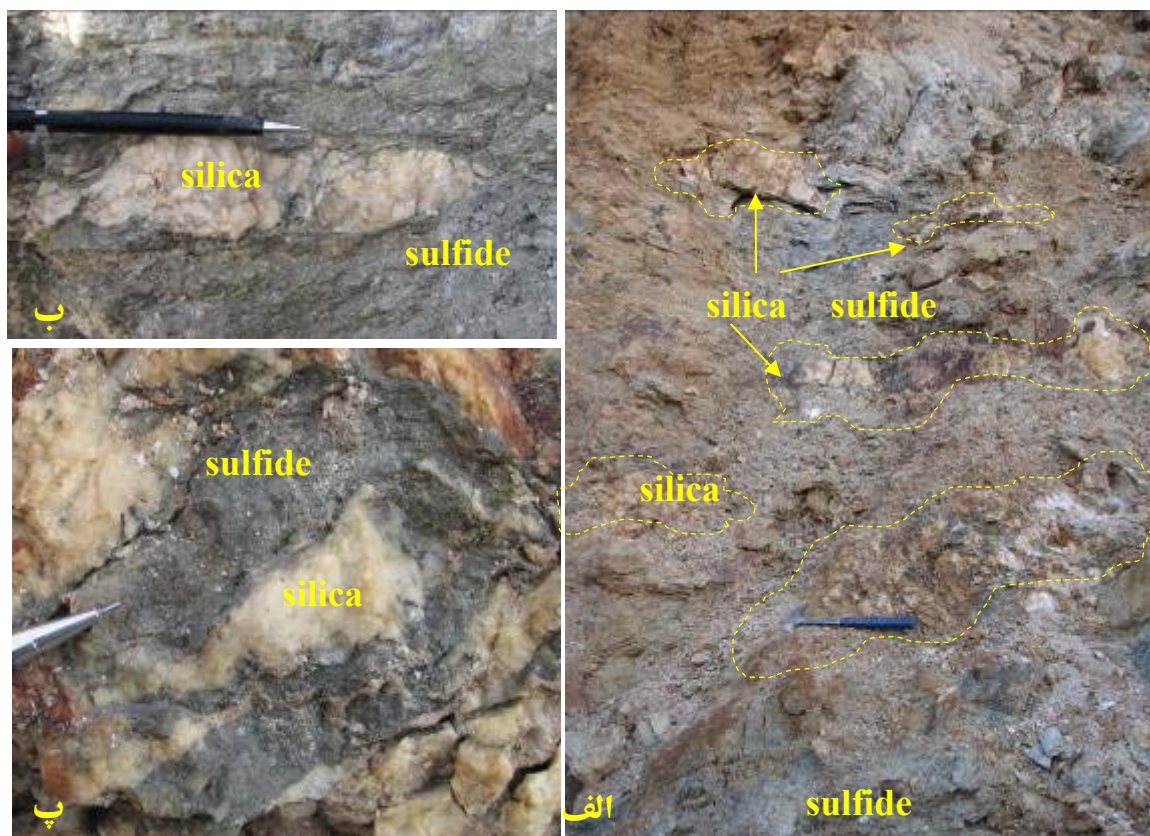
سیلیسی واقع در مرکز پهنه برشی، کاملاً دگر شکل گردیده و غالباً در جهت راستای عمومی برگ‌وارگی‌ها (شمال باختر- جنوب خاور) جهت‌یافته (oriented) شده‌اند (شکل ۵). در حالی‌که تعداد اندکی از رگه‌های سیلیسی



شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی از متاولکانیک‌های شدیداً دگرسان شده: الف) دگرسانی کوارتز - سربیسیت با فابریک اولترا میلونیتی و ب) دگرسانی سیلیسی - سولفیدی. کانه‌های تیره رنگ در شکل ب، پیریت می‌باشند.



شکل ۳. الف) نمائی از بخش‌های مختلف کانسار سولفید توده ای باریکا در بخش چینه سان: ۱) بخش سولفید توده ای، ۲) تناوب باریت و سولفید، ۳) باریت و ۴) متاولکانیک دگرسان شده (کمر بالا). در شکل ب، نمای نزدیک از کانسنگ سولفید توده ای و در شکل پ، نمای نزدیک از تناوب باریت و سولفید، نشان داده شده است.

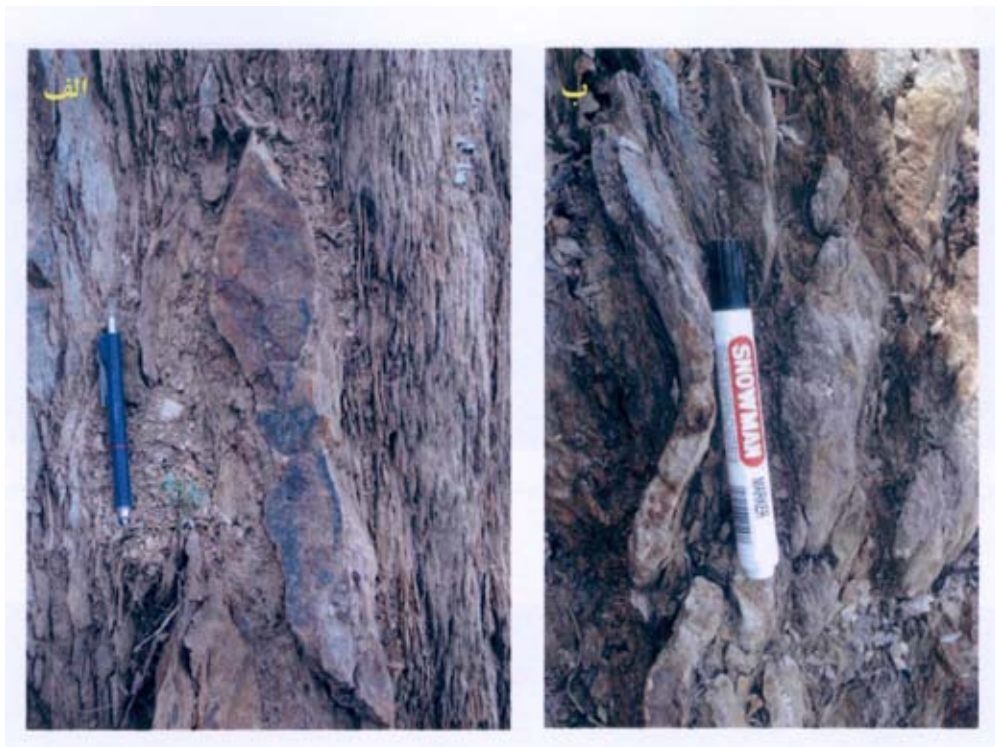


شکل ۴. نمائی از کانسنگ های سیلیسی و سولفیدی در بخش چینه سان کانسار باریکا. کانسنگ های سیلیسی در ابتدا بصورت نوارهای موازی در همراهی با کانسنگ سولفیدی نهشته شده اند ولی به علت ماهیت شکنای سیلیس، در اثر دگرشکلی، اغلب قطعه قطعه شده (شکل الف) و کمتر بصورت بودینه ( شکل های ب و پ) مشاهده می شوند.

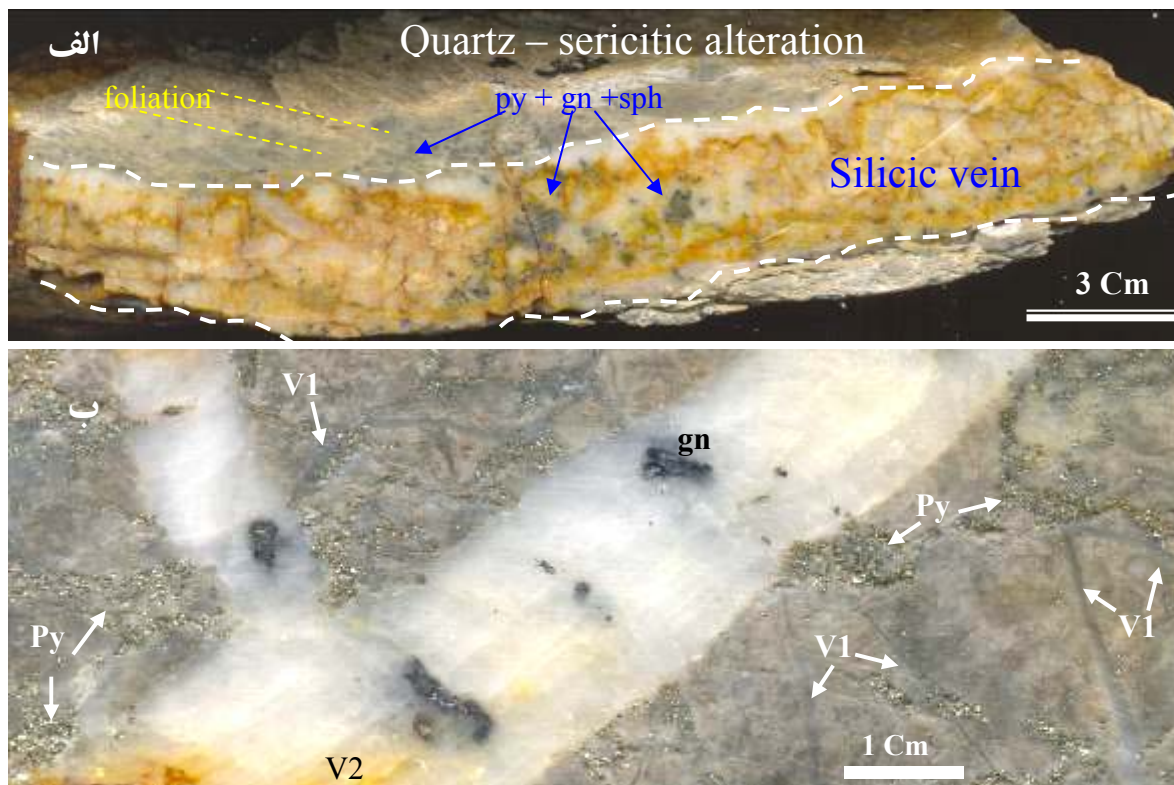
جدول ۱. ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی کانسار باریکا.

زون استرینگر		زون سولفید و باریت توده‌ای - نواری			
کانسنگ سیلیسی	کانسنگ سیلیسی (ج)	کانسنگ باریتی (ب)	کانسنگ سولفیدی (الف)	سنگ میزبان	
رگه ای و رگچه ای	اغلب نواری در ضخامت‌های سانتی متر تا ۱/۵ متر	اغلب توده‌ای ( تا ضخامت حدود ۱۰ متر) در مرز کانسنگ سولفیدی و باریتی به صورت نواری در ضخامت سانتی متری تا دسی‌متری	اغلب توده‌ای (تا ضخامت حدود ۵ متر) در مرز کانسنگ سولفیدی و باریتی به صورت نواری در ضخامت کمتر از سانتی متر تا چنددسی متر	سنگ ماهیت کانی‌سازی اولیه در مقیاس رخنمون (نمونه دستی)	
Py>Sph> Gn>Tet - Tn ± Cpy ± Au	Ss>>Py>cin +Au	Py>Sph> Gn>Ss>stb + Au	Py>>Ss>stb> Sph>Gn + Au	کانی‌شناسی	
Pb, Zn, Cu, As, Sb, Ag, Au	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Sb, Hg, As	Au, Ag, Zn, Pb,Cu, Sb,As, Hg	Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb,As, Hg	عناصر فلزی همراه	
۰/۷۳	۹/۳	۷/۴	۹/۲	Au(ppm)	
۳۱	۱۵۷۵	۳۸۱	۱۷۵۵	Ag(ppm)	
۴۴۰	۱۱۰۱	۲۹۸	۱۴۷۹	As(ppm)	
۱۰۵	۲۴۸۹	۵۴۸	۲۰۵۹	Sb(ppm)	
۱۲/۴	۱۱۸۲	۵۹	۵۰۹	Hg(ppm)	
۰/۱	۰/۰۸	۰/۴۸	۰/۰۵	Zn(%)	
۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۴۱	۰/۰۸	Pb(%)	
۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۴	Cu(%)	
۰/۲۷	۰/۲۶	۱	۰/۲۸	Zn+Pb+Cu	
۰/۰۲۳	۰/۰۰۶	۰/۰۱۹	۰/۰۰۵	Au/Ag	

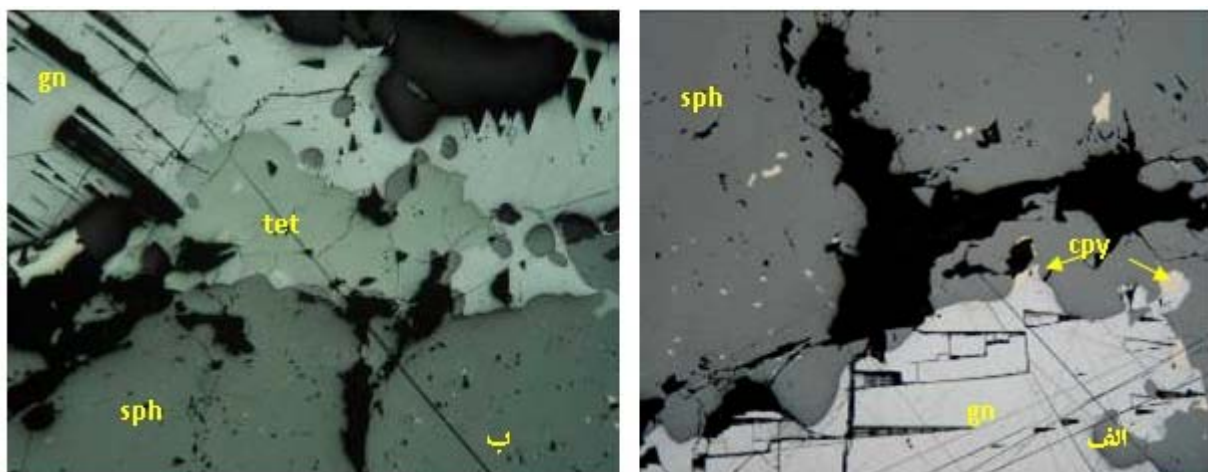
Ss : کانی‌های سولفوسالت، Py : پیریت، Sph : اسفالریت، Gn : گالن، Tet : تتراآندریت، Tn : تنانتیت، Cin : سینابر، Cpy : کالکوپیریت، Stb : استیب‌نیت، Au : طلا.



شکل ۵. عملکرد دگرشکلی بر روی رگه های سیلیسی زون استرینگر به صورت بودین شدگی (الف) و چین خوردگی (ب).



شکل ۶. در شکل الف، بخشی از رگه سیلیسی زون استرینگر نشان داده شده است که حاوی پیریت (py)، گالن (gn) و اسفالریت (sph) می باشد. سنگ میزبان رگه سیلیسی، با دگرسانی کوارتز – سریسیت و سولفیدی (پیریت، گالن و اسفالریت) همراه است. در شکل ب، ساخت استوکورک رگه های سیلیسی سولفیددار (V2)، تا حدود زیادی حفظ شده است. در این شکل، رگه های سیلیسی سفید رنگ (V2)، رگچه های سیلیسی خاکستری رنگ (V1) را قطع نموده‌اند. سنگ میزبان رگه های سیلیسی، با دگرسانی کوارتز – سریسیت و کانه زائی پیریت همراه است.



شکل ۷. کانه های سولفیدی (اسفالریت: sph، گالن: gn و کالکوپیریت: cpy) و سولفوسالنی (تتراندريت – تنانتیت: tet) در رگه‌های سیلیسی زون استرینگر. کالکوپیریت اغلب بصورت ادخال در اسفالریت (کانه های روشن در شکل ب) وجود دارد.



## مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر

## روش مطالعه

به منظور شناخت ماهیت فیزیکوشیمیایی سیال کانه ساز و بررسی روند تغییرات شیمی و حرارتی سیال (یا سیالات) کانه ساز در طی تشکیل کانسار، از رگه‌های سیلیسی زون استرینگر و عدسیهای باریتی بخش چینه سان کانسار باریکا، تعداد ۱۷ مقطع دوبر صیقل، تهیه گردید که از این تعداد تنها ۶ مقطع برای مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر مناسب تشخیص داده شد. کانیهای اسفالریت به علت پراکندگی کم و نیز رنگ قهوه ای تیره آنها، جهت مطالعه میکروترمومتری سیالات درگیر مناسب نبوده‌اند.

بر اساس شواهد صحرائی و بافتی، در زون استرینگر کانسار باریکا، کانی‌سازی به مجموعه ای از رگه‌های سیلیسی سولفید دار (پیریت، اسفالریت، گالن و تتراندریت) منحصر است که در یک بازه زمانی نه چندان طولانی، به عنوان معابر تغذیه کننده کانسنگ چینه سان (سولفید و باریت توده‌ای - نواری) کانسار فعالیت داشته‌اند. آنچه مسلم است، سیستم رگه‌های سیلیسی استرینگر کانسار باریکا، حاصل عملکرد مراحل چندگانه فعالیت‌های هیدروترمال کانه‌ساز نبوده و تنها تاریخچه یک مرحله از فعالیت سیستم هیدروترمال را ثبت کرده است، اگرچه در بعضی از بخشهای زون استرینگر، رگه و رگچه‌های سیلیسی به صورت استوک ورک یکدیگر را قطع کرده‌اند (شکل ۶ب)، ولی همانندی رگه‌ها از نظر شکل و پاراژنز کانه‌ها، حاکی از آن است که رگه‌های مذکور از ته نشست یک سیال مشابه در یک بازه زمانی کوتاه تشکیل شده‌اند. تمامی رگه‌های سیلیسی زون استرینگر در اثر فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی، درجات متفاوتی از دگرشکلی را تحمل کرده‌اند، لذا انتخاب نمونه مناسب، از سیستم رگه‌های سیلیسی کانسار باریکا، که دارای سیالات درگیر اولیه مناسب جهت مطالعه باشند چندان آسان نبوده است. به طوری که از تعداد ۷ نمونه برداشت شده از رگه‌های سیلیسی با کمترین درجات دگرشکلی، فقط ۳ نمونه جهت مطالعه میکروترمومتری مناسب تشخیص داده شد.

باریت به عنوان بخشی از کانسنگ طلا دار، در قسمتهای فوقانی بخش چینه سان کانسار باریکا تشکیل شده است. شناسایی و مطالعه سیالات درگیر اولیه در باریت اغلب مشکل است، به طوری که Larson و همکارانش (۱۹۷۳) و Ramboz

و همکارش (۱۹۸۸) اظهار داشتند، ممکن است در اثر گرما سیالات درگیر موجود در کانیهای رخ پذیر، مانند باریت، منبسط گردیده و از این رو نتایج نادرست به دست دهد. همچنین سیالات درگیر موجود در باریت مستعد necking \_ down می‌باشند [۱۵ و ۱۶]. از این رو میکروترمومتری سیالات درگیر در باریت، به خصوص در مناطق دگرشکل شده، با ملاحظاتی همراه است که بر دشواری این مطالعات می‌افزاید. چنین ملاحظاتی موجب گردید، پس از پتروگرافی ۱۰ مقطع دوبرصیقلی تهیه شده از بخشهای کمتر دگرشکل شده کانسنگ باریتی، تنها ۳ نمونه جهت مطالعه میکروترمومتری مناسب تشخیص داده شود.

مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر کانسار باریکا، در آزمایشگاه کانی‌شناسی مؤسسه تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران به کمک استیج گرم کننده و منجمد کننده (Stage: THMS600) با مدل Linkam که بر روی میکروسکپ Zeiss نصب است، انجام شد. دامنه حرارتی دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است. به علت کوچک بودن سیالات درگیر، مطالعه با استفاده از بزرگ‌نماییهای ۸۰۰ و ۱۲۵۰ میکروسکپ Zeiss انجام شده است. مورفولوژی و مشخصات سیالات درگیر در دمای اتاق با استفاده از معیارهای [۱۷] و [۱۸] ثبت گردید. به علاوه نسبت‌های فاز بخار/ سیال، با استفاده از جداول استاندارد که بدین منظور تهیه شده است [۱۸] ارزیابی گردید. سیالات درگیر بر اساس چگونگی رخداد آنها در کانی میزبان، ارتباط آنها با یکدیگر و نوع سیالات دسته بندی شدند. با توجه به ارتباط سیالات درگیر نسبت به کانی میزبان، سیالات به انواع اولیه (به صورت سیالات پراکنده و بدون شکل هندسی)، ثانویه (سیالاتی که در طول شکستگیها و مرز کانیها رخ داده‌اند) و ثانویه دروغین (سیالاتی که در طول شکستگیهایی که سطوح بلورین را قطع نمی‌کنند) تقسیم می‌شوند. در این تحقیق سیالات درگیر دو فازی مایع - گاز (LV)، به لحاظ اولیه بودن، درشت‌تر بودن و فراوانی آنها، مطالعه شدند و از مطالعه سیالات دو فازی گاز - مایع و تک فازی مایع، به لحاظ ثانویه بودن و اندازه کوچک آنها صرف نظر شد.

نامنظم در کوارتز میزبان پراکنده‌اند (شکل ۸ الف). درجه پرشدگی آنها ۰/۷ تا ۰/۸ است. بعضی از بخشهای کوارتز آرایشی از ریزشکستگیهای ترمیم شده را نشان می‌دهند که احتمالاً در اثر فرآیندهای دگرشکلی و تبلور مجدد تکتونیکی ایجاد شده است (شکل ۸ ب). اغلب سیالات درگیر نوع L و نوع VL، که اندازه اغلب آنها کوچکتر از ۵ میکرون است، در امتداد این شکستگیها تمرکز یافته‌اند.

- سیالات درگیر در باریت (بخش چینه سان):

شکل ظاهری و نوع سیالات درگیر در نمونه‌های باریتی، مشابه با نمونه‌های سیلیسی است، با این تفاوت که اندازه سیالات درگیر در نمونه‌های باریتی به‌طور محسوسی کوچکتر (حداکثر ۸ میکرون) ولی تعداد آنها بیشتر است. اغلب سیالات درگیر در نمونه‌های باریتی از نوع دو فازیه گاز-مایع (VL) و تک فازیه مایع (L) می‌باشند که ثانویه بوده و در اشکال کشیده در امتداد ریزشکستگیهای ترمیم یافته، تمرکز یافته‌اند (شکل ۹ ب). سیالات درگیر اولیه از نوع دو فازیه مایع-گاز (LV) می‌باشند که بیشتر در اشکال نامنظم و کروی در متن باریت پراکنده‌اند (شکل ۹ الف). در نمونه‌های باریتی، تعداد معدودی انکلوزیونهای CO<sub>2</sub> دار مشاهده شده است.

#### - پتروگرافی سیالات درگیر:

مطالعه سیالات درگیر بر روی رگه‌های کوارتزی زون استرینگر و عدسیه‌های باریتی بخش چینه سان کانسار باریکا انجام شده است.

- سیالات درگیر در کوارتز (زون استرینگر):

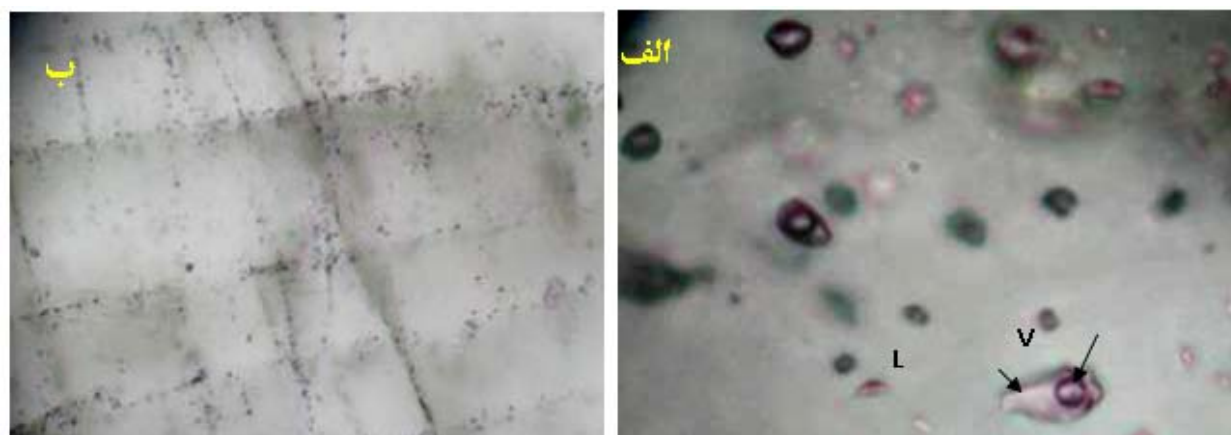
از لحاظ شکل ظاهری، سیالات درگیر در نمونه‌های زون استرینگر را با توجه به پارامترهای [۱۷] و [۱۸] می‌توان به ترتیب فراوانی به‌صورت اشکال نامنظم، کشیده و کروی تقسیم‌بندی کرد.

سیالات درگیر در نمونه‌های سیلیسی مطالعه شده در ۴ نوع مشاهده شده‌اند: الف) دو فازیه مایع-گاز (LV)، ب) دو فازیه گاز-مایع (VL)، پ) تک فاز مایع (L) و ت) انکلوزیونهای CO<sub>2</sub> دار.

از لحاظ اندازه، سیالات درگیر مورد مطالعه، ریز تا بسیار ریز بوده و اندازه آنها از ۲ تا ۱۲ میکرون متغییر است. از میان انواع سیالات مذکور، سیالات درگیر دو فازیه مایع-گاز (LV) از بقیه انواع فراوان‌تر بوده و اندازه‌های بزرگتری نیز دارند. پتروگرافی نمونه‌ها حاکی از آن است که تنها سیالات دو فازیه نوع LV و انکلوزیونهای نادر CO<sub>2</sub> دار، شواهدی از اولیه بودن را نشان می‌دهند. سیالات درگیر نوع LV اغلب با اشکال نامنظم و کمتر کروی در اندازه‌های ۲ تا ۱۲ میکرون به‌طور



شکل ۸: الف) سیال درگیر اولیه دو فازیه و ب) سیالات درگیر ثانویه در کوارتزهای مربوط به رگه‌های سیلیسی زون استرینگر. L=Liquid, V=Vapor.



شکل ۹. الف) انکلوزیونهای سیال دو فازه و ب) انکلوزیونهای سیال ثانویه در کانسنگ باریتی بخش چینه سان. L=Liquid, V=Vapor.

باریتی (بخش چینه سان کانسار) در شکل‌های ۱۰ الف و ب نشان داده شده است

محدوده اولین نقطه ذوب یخ یا اتکتیک (Te) در نمونه‌های زون استرینگر ۲۷ - تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است که نشان می‌دهد سیال کانه‌ساز، به صورت یک شورابه ساده NaCl نبوده، بلکه ممکن است علاوه بر Na، نمک‌های دیگر منیزیم، پتاسیم، کلسیم، آهن و منگنز نیز در نمونه وجود داشته باشد.

محدوده آخرین نقطه ذوب یخ (Tm ice) در نمونه‌های سیلیسی مربوط به زون استرینگر، بازه ۰/۸ - تا ۶/۳ - درجه سانتی‌گراد ثبت گردیده است که به ترتیب معادل شوریه‌های ۱/۴ تا ۹/۶ درصد وزنی NaCl است [۹]. در نمونه‌های باریتی محدوده آخرین نقطه ذوب یخ (Tm ice) در بازه ۰/۴ - تا ۴/۷ - درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است که به ترتیب معادل با شوریه‌های ۰/۴ تا ۷/۶ درصد وزنی NaCl می‌باشد. به طوری که ملاحظه می‌شود، درجه شوری میانه برای هر دو نوع نمونه‌های سیلیسی و باریتی به ترتیب ۴/۷ و ۴/۱ درصد وزنی NaCl است که کمی بیشتر از درجه شوری آب دریا (۳/۵ درصد وزنی NaCl) ولی نزدیک به آن است.

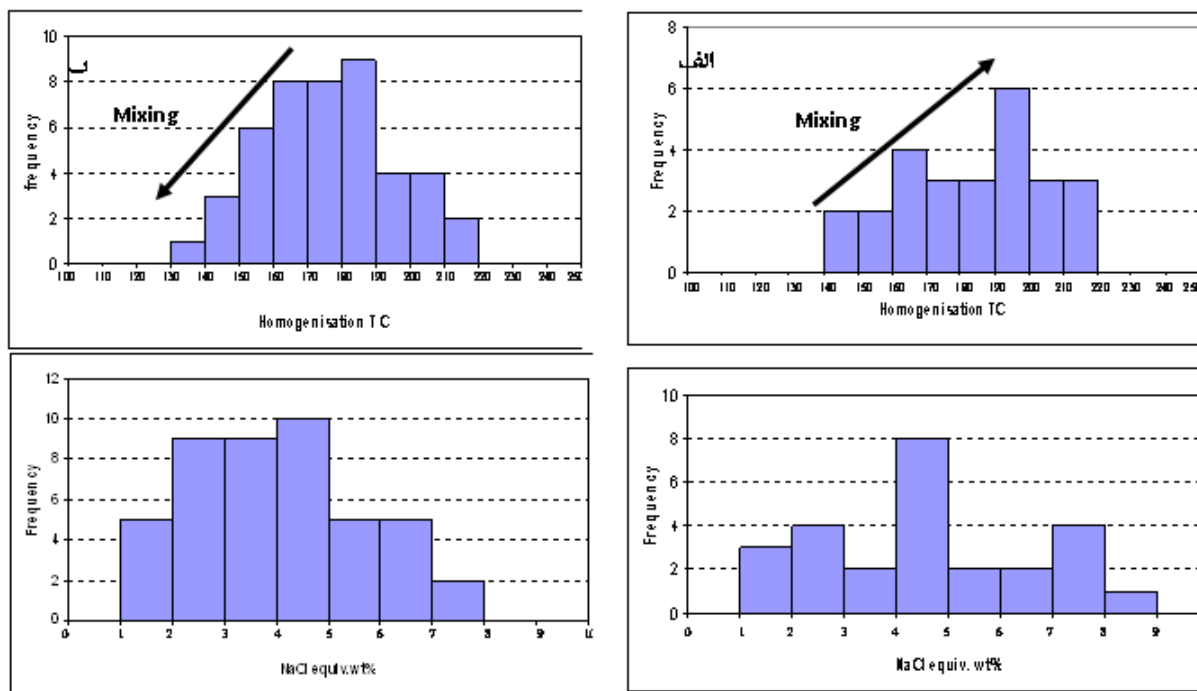
میکروترمومتری سیالات درگیر  
- دماهای همگون شدن

داده‌های دمای همگون شدن برای سیالات درگیر اولیه دو فاز مایع - گاز (LV)، برای نمونه‌های سیلیسی (زون استرینگر) و باریتی (بخش چینه سان کانسار) در شکل‌های ۱۰ الف و ب نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۰ الف آمده است، محدوده دمای همگن شدن برای نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های سیلیسی زون استرینگر از ۱۵۰ تا ۲۲۰ و با دمای میانه ۱۸۷ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. محدوده دمای همگن شدن برای نمونه‌های باریتی از ۱۴۰ تا ۲۱۱ و با دمای میانه ۱۷۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۱۰ ب). در این مطالعه دمای همگون شدن برای تعدادی از سیالات درگیر نوع VL، که ثانویه شناسایی شدند، برای هر دو نمونه کوارتز و باریت از ۲۴۶ تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد ثبت گردیده است.

مرحله گرماسنجی بر روی تعدادی از انکلوزیون‌های غنی از CO<sub>2</sub> حاکی از آن است که CO<sub>2</sub> به صورت محلول در سیال آب‌گون و نیز همراه با گازهای دیگر از جمله متان، در انکلوزیونها وجود دارد.

-شوری

داده‌های شوری برای سیالات درگیر اولیه دو فاز مایع - گاز (LV) برای نمونه‌های سیلیسی (زون استرینگر) و



شکل ۱۰. هیستوگرام‌های دماهای هم‌نیواسیون برای آنکلوژینهای سیال در الف) رگه سیلیسی زون استرینگر و ب) باریت در کانستگ چینه سان. پراکندگی دماهای حبس شدگی برای آنکلوژینهای سیال در کوارتز و باریت مایل هستند (روند پیکان) و ممکن است سرد شدن سیالات حرارت بالا (۲۰۰ درجه) در اثر اختلاط با آب دریا را نشان دهد.

سرد شدن سیالات هیدروترمال در زون استرینگر از ۲۲۰ به ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد (شکل ۱۰ الف)، مستلزم اختلاط سیال با حدود ۲۰ درصد آب دریا می‌باشد، در حالی که سرد شدن سیال بر روی کف دریا و نهشت باریت چینه سان، کاهش دما از ۲۲۰ به ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد (شکل ۱۰ ب) را نشان می‌دهد که مشارکت سهم بیشتری از آب دریا (حدود ۳۰ درصد) در اختلاط با سیال هیدروترمال را نیازمند است. فرآیند اختلاط آب دریا با سیال هیدروترمال، در کاهش شوری سیال کانه ساز از میانگین ۴/۷ (در زون استرینگر) به میانگین ۴/۱ (در کانستگ باریتی) نیز مشهود است.

#### مراحل تشکیل و تمرکز کانه‌ها در کانسار باریکا

یارمحمدی (۱۳۸۵) و یارمحمدی و همکارانش (۱۳۸۴ و ۱۳۸۷) کانسار باریکا را با ذخایر غنی از طلا  $Au-Zn-Pb-Ag$  معرفی شده توسط لارج و همکارانش (۱۹۸۹) و چند ذخیره تپ کروکو با سن میوسن در Hokuroko Basin ژاپن [۸]

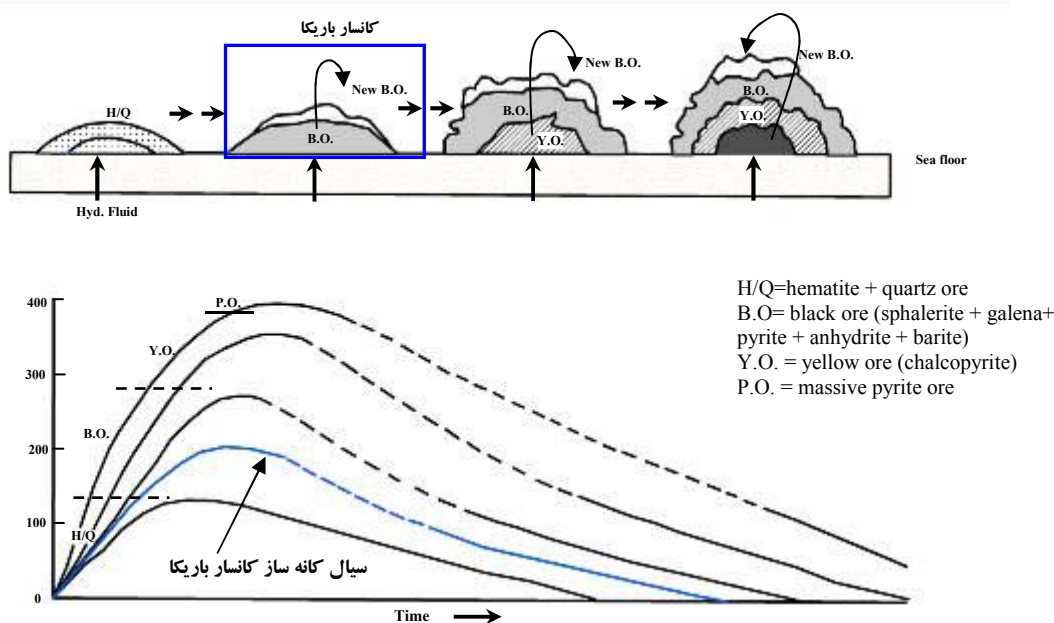
#### نتایج مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر

قرابت درجه شوری سیالات کانه ساز باریکا (میانگینهای ۴/۷ و ۴/۱ درصد وزنی NaCl به ترتیب برای کوارتز و باریت) با درجه شوری آب دریا (۳/۵ درصد وزنی NaCl)، از منشأ آب دریا، برای سیالات هیدروترمال حکایت دارد. نتایج حاصل از مطالعات سیالات درگیر برای رگه‌های سیلیسی زون استرینگر کانسار باریکا، با مشخصات سیالات کانه‌ساز توصیف شده برای کانسارهای سولفید توده ای نوع کروکو [۱۹]، قابل مقایسه است، با این تفاوت که دمای سیال در کانسار باریکا به قدری پایین بوده که فقط به تشکیل کانستگ سیاه منجر شده و در حدی نبوده است که بتواند کانستگ‌های زرد و پیریتی را تشکیل دهد. در هیستوگرام‌های دماهای هم‌نیواسیون شکل ۱۰، پراکندگی دماهای حبس شدگی برای آنکلوژینهای سیال در کوارتز و باریت روند مایل دارند (روند پیکان) که می‌تواند به علت سرد شدن سیالات حرارت بالا (حدود ۲۰۰ درجه) در اثر اختلاط با آب دریا باشد.

(حدود ۲۰۰ درجه سانتی گراد) با شوری پایین (۱-۹/۶ درصد وزنی نمک طعام)، که با آب سرد دریا اختلاط نموده، تشکیل شده است. کانی سازی به دو صورت رگه ای (در زون استرینگر کمر پایین) و چینه سان (بر روی کف دریا) رخ داده است. به علت ماهیت گدازه‌ای سنگ میزبان (متآندزیت) و نبود فضاهای خالی اولیه در آن، تشکیل کانسنگ به صورت جانیشینی کم عمق زیر کف دریا توسعه نیافته و تمام حجم کانسنگ‌های سولفیدی، باریتی (و سیلیسی) به صورت چینه‌سان بر روی کف دریا تشکیل شده است. بر طبق مدل پیشنهاد شده توسط [۲۱ و ۲۲]، اغلب کانسنگ‌های سولفید توده‌ای نهشت یافته بر روی کف دریا، در طی دو مرحله تشکیل می‌شوند. در مرحله اول، سیالات هیدروترمال داغ ( $T=150-300^{\circ}C$ )، در نتیجه واکنش با آب سرد دریا، کانه‌های اولیه ریزدانه (رخساره ۱) را نهشته می‌سازند. کانی‌هایی که در این مرحله تشکیل می‌شوند، عمدتاً از مجموعه‌های کانسنگ سیاه (یعنی پیریت، اسفالریت، گالن، تتراندریت و باریت) تشکیل شده‌اند. در مرحله دوم، فرآیند جانیشینی کانه‌های تشکیل شده در مرحله اول توسط سیالات هیدروترمال داغتر اتفاق می‌افتد.

قابل مقایسه دانسته‌اند. مطالعات اخیر بیانگر از آن است که به علت ماهیت دمای کم و شوری پایین سیالات کانه ساز، کانسار باریکا شکل ناقص و تکامل نیافته از یک کانسار تیپیک کروکو می باشد که تنها کانسنگ سیاه در آن تشکیل شده و فاقد بخش‌های کانسنگی زرد و پیریتی است (شکل ۱۱). مهمترین عواملی که عدم تشکیل کانسنگ‌های زرد و پیریتی در کانسار باریکا را کنترل می‌کنند، ماهیت سیال کانه ساز (از نظر شیمی، دما و شوری) و فاصله داشتن کانسار از توده نفوذی است. این کانسار بعد از تشکیل، درجه پایین دگرگونی (شیست سبز پایینی) و درجه بالای دگرشکلی (میلونیتی شدن) را تحمل کرده است. فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی اعمال شده بر کانسار باریکا، به ایجاد ساختها، بافتها و اشکال جدیدی از کانه‌های طلا، سولفیدها و سولفوسالتها در کانسنگ منجر شده است. مراحل تشکیل و تکوین کانسار ولکانوژنیک غنی از طلای باریکا در طی فرآیندهای ولکانیسم، دگرگونی و دگرشکلی به صورت زیر است (جدول ۲).

۱- تشکیل کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلا و نقره باریکا به صورت همزمان با ولکانیسم:  
کانسار باریکا از نهشت یک سیال هیدروترمال کم دما



شکل ۱۱. مدل تشکیل کانسار سولفید ولکانوژنیک (بالا) و تاریخچه حرارتی سیالات هیدروترمال تخلیه شونده (پایین) بر اساس [۲۱ و ۲۲]. در بالای شکل، موقعیت کانسنگ باریکا، منطبق با کانسنگ سیاه مدل، با کادر آبی نشان داده شده است. در قسمت پایین شکل، شرایط حرارتی سیال.

جدول ۲. مراحل تشکیل و تکوین پنج‌گانه (همزمان با ولکانیسم تا هوازدگی) کانه‌زایی طلا در کانسار سولفید توده ای غنی از طلای باریکا

نوع رخداد	همزمان با ولکانیسم		دگرگونی				هوازدگی
			دگرگونی پیش‌رونده	ایجاد پهنه برشی	دگرگونی برگشتی		
	زون استرینگر	کانسنگ چینه‌سان(سیاه)	تبلور مجدد کانه‌های سولفیدی	دگرشکلی غالباً بـغ پذیر و کمتر شکنا	رگه‌های سیلیسی	گسل‌های نرمال - برش‌های تکتونیکی	
نقش فرآیند در کانه‌زایی طلا	تشکیل رگه‌های سیلیسی سولفید - طلادار	تشکیل کانسنگ‌های سولفیدی، باریتی وسیلیسی(در شرایط نهشت کلونیدال) و طلای غیر قابل رویت در سولفیدها	تشکیل و تمرکز طلای قابل مشاهده با میکروسکپ در حاشیه بلورهای پیریت	تشکیل و تمرکز طلای قابل مشاهده نر میکروسکپ (و حتی با چشم غیرمسلح) در همراهی با سولفوسالت‌ها در فضای ریز شکستگی‌ها و برگ‌وارگی‌ها			آزادشدن طلا از سولفیدهای هوازده
ساخت و بافت	رگه‌ای و رگجهای	اغلب توده‌ای، نیمه توده‌ای، نواری، کلوفرم، شکستگی‌های همزمان با رسوبگذاری	جهت‌یافتگی پورفیروبلاست‌ها، ایجاد برگ‌وارگی، تبلور دوباره و ایجاد بافت الحاق سه‌گانه در سولفیدها	برگ‌وارگی‌های میلونیته، نواربندی ساختاری، چین- خوردگی، بودین‌شدگی، طول‌شدگی، سایه‌فشاری، کاناکلاستیک، ریزشکستگی	رگه‌ای	شکستگی - برشی	جانشینی- پرکننده درز و شکست‌ها
کانه‌های فلزی	Py,Sph,Gn>Te t-Tn±Cpy±Au	Py>>Ss>Stb>Sp h>,Gn ±Au	Au(electrom)	Ss>>Py>Stb+Sph+ Gn+Au(electrom)			کانه‌های حاصل از هوازدگی کانسنگ سولفیدی
مراحل دگرشکلی			D1	D2	D3	D4	
			زمان				

می‌شود.

براساس مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر، کانسنگ‌های بخش‌های سیلیسی زون استرینگر و توده‌ای-نواری بخش چینه سان کانسار باریکا، محصول نهشت یک مرحله از سیالات کم‌دما با شوری پایین می‌باشند که به صورت رخساره ریزدانه کانسنگ سیاه (رخساره ۱) نهشته شده‌اند. به علت دمای کم سیال کانه ساز باریکا، فرآیند زون ریفاینینگ، که مستلزم افزایش حرارت سیال، از دمای حدود ۲۰۰ درجه به بالاتر از ۲۸۰ درجه می‌باشد تا گذر کانسنگ سیاه به کانسنگ زرد و متعاقباً کانسنگ پیریتی را امکان پذیر سازد، رخ نداده است (شکل ۱۱). از این‌رو در کانسار باریکا، به علت نبود زون ریفاینینگ، امکان تشکیل کانسنگ‌های زون بندی شده، همانند آنچه که در کانسارهای تکامل یافته کروکو مشاهده شده، وجود نداشته است لذا در بخش کانسنگ سیاه، شواهدی از بافتهای جانشینی دیده نشده است.

یعنی در مرحله دوم در اثر واکنشهای سیالات داغتر (T=280- 350°C) با کانیهای که قبلاً در کانسار تشکیل شده بودند، به‌طور متاسومتیکی کانه‌های اولیه به کانیهای کانسنگ سیاه درشت تر (یا رخساره ۲)، سپس به کانسنگ زرد غنی از کالکوپیریت (یا رخساره ۳) و بالاخره به کانسنگ غنی از پیریت تبدیل می‌شوند.

فرآیند انحلال مجموعه‌های سولفیدی حرارت پایین‌تر و جانشینی آنها توسط سولفیدهای حرارت بالاتر، به عنوان زون پالایش (zone refining) معروف است که برای اولین بار توسط Eldridge et.al برای کانسارهای سولفید توده‌ای کروکو توصیف گردید [۲۳]. در اغلب موارد، محصول این تکامل، یک کانسار با زون بندی قائم از کانسنگ های Zn-Pb است که بر روی کانسنگ Cu-Fe قرار گرفته است [۲۴].

Huston et.al معتقدند که در فرآیند زون ریفاینینگ، طلا همراه با روی از بخشهای زیرین کانسنگ سولفید توده‌ای شسته شده و از Au پس انتقال به‌صورت یک کمپلکس بی‌سولفید، دوباره در کلاهک غنی از باریت کانسار نهشته

به سولفات، نهشت کانیهای سولفید، و رقیق شدگی سیال است. مطالعات میکروترموتری سیالات درگیر کانسار باریکا، حاکی از اختلاط سیال هیدروترمال با آب سرد دریاست که موجب اکسیداسیون  $H_2S$ ، افزایش pH و نهشت باریت، سولفید و طلا شده است.

کانی‌سازی همزمان با ولکانیسم در بخش چینه سان کانسار باریکا، با ایجاد ساخت و بافتهای رسوبی مانند توده‌ای، نیمه توده‌ای، دانه پراکنده و فرامبوئیدال، که مشخصه نهشت کانسنگ سیاه (رخساره ریزدانه) است، همراه بوده است (شکل ۱۱). بر اساس [۲۷]، در این مرحله از کانی‌سازی، طلا به صورت غیر قابل رؤیت در داخل پیریت و در همراهی نزدیک با سولفوسالت‌های Pb, As, Sb و دیگر کانیهای سولفیدی و نقره در کانیهای سولفوسالت تمرکز یافته است.

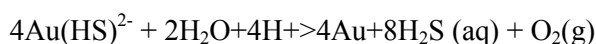
۲- دگرگونی پیش‌رونده کانسار و تمرکز طلا در حاشیه

کانه‌های سولفیدی تجدید تبلور یافته

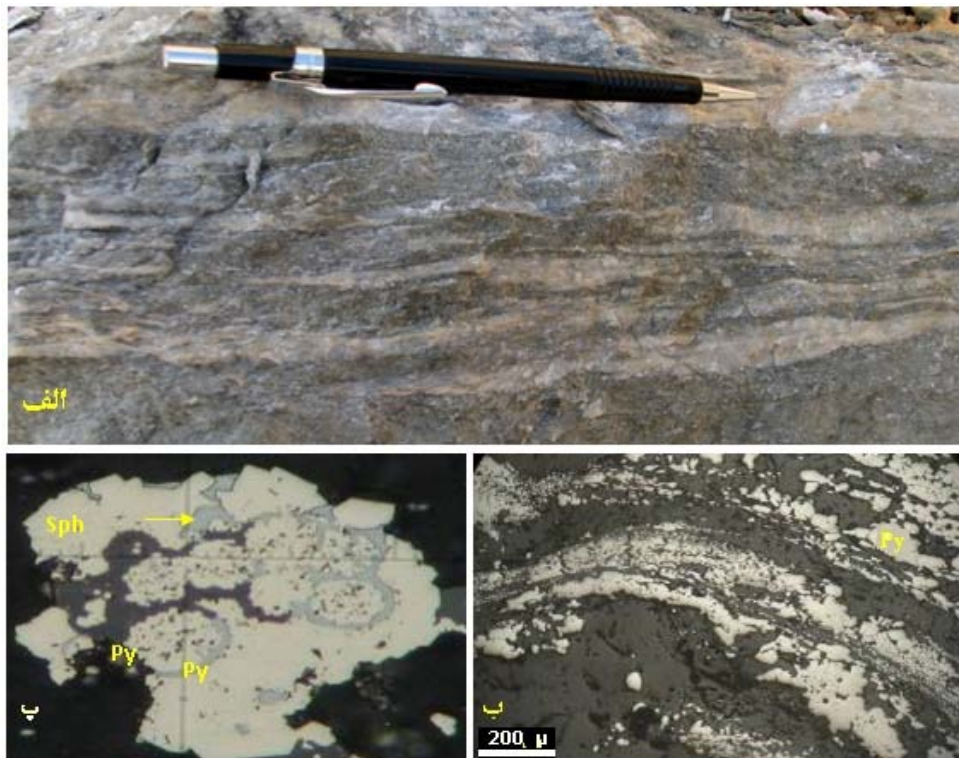
کانسار باریکا بعد از تشکیل، متحمل دگرگونی در حد شیبست سبز پایینی شده است. رخداد این پدیده با جهت یافتگی ضعیف پورفایروبلاستها، گسترش برگ‌وارگی (D1) و تشکیل کانیهای ثانوی سرسیت و کلریت همراه است. دگرگونی تأثیر قابل توجهی در تبلور مجدد کانه‌های سولفیدی و تمرکز طلا به صورت الکتروم دارد. عملکرد دگرگونی بر کانسنگ سولفیدی باریکا، به تبلور پیریت‌های فرامبوئیدال، ایجاد پیریت‌های درشت بلور با بافت الحاق سه گانه و تشکیل الکتروم در مرز دانه‌های پیریت تبلور یافته منجر شده است (شکل ۱۳). در محیط‌های دگرگونی آبدار، درجه پایین - متوسط دگرگونی، طلا در اثر فرآیند انتقال انحلالی (solution transfer) از سمت پیریت‌های طلا دار به حواشی کانه‌های پیریت تجدید تبلور یافته، حرکت نموده و به صورت الکتروم‌های قابل مشاهده با میکروسکپ در حواشی کانه‌ها تمرکز می‌یابد [۲۹].

ساده بودن کانسار باریکا (نبود کانسنگ‌های زرد و پیریتی)، تک مرحله ای بودن فعالیت سیستم هیدروترمال، کوچک بودن کانسار و پایین بودن مقدار مس، به دلیل پایین بودن دمای سیالات هیدروترمال کانه ساز (حدود ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) است. دمای پایین سیالات هیدروترمال، همراه با شواهدی مانند شوری پایین سیالات (کمتر از ۹/۶ درصد وزنی NaCl)، نسبت پایین Cu/Zn (جدول ۱)، پایین بودن مقادیر برخی عناصر کمیاب شاخص سیالات ماگمایی (مانند Bi, Te, Tl و Sn) (جدول ۱) و عدم مشاهده رخنمونهای نفوذی در محدوده کانسار، از دور بودن کانسار نسبت به منشأ حرارتی حکایت دارد.

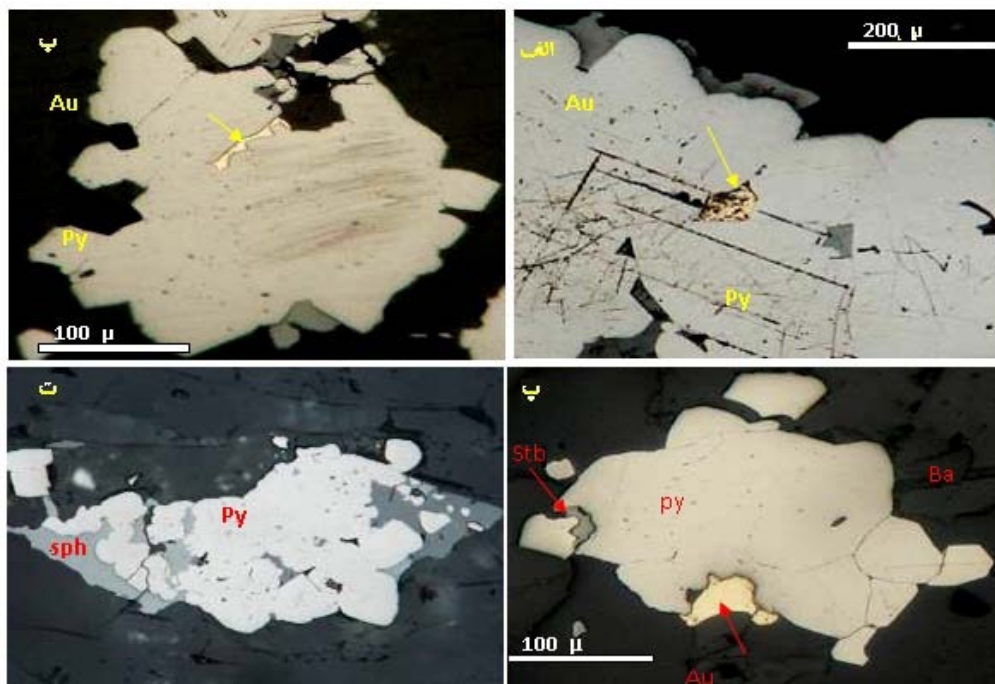
مقدار طلای قابل انتقال در سیال، توسط دمای سیال هیدروترمال کنترل می‌گردد. به طوری که براساس [۱۷]، عیارهای بالای طلا، توسط سیالات حرارت پایین ( $50 \pm 200$  درجه سانتی‌گراد)، با pH نزدیک به طبیعی و احیاء یا توسط سیالات حرارت بالا ( $< 300$  درجه سانتی‌گراد) با pH اسیدی و اکسیده قابل انتقال است. از این روسیالات هیدروترمال کم دمای باریکا (کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد)، سیالات احیاء با pH نزدیک به طبیعی بوده‌اند که برای انتقال عیارهای بالای طلا پتانسیل قابل توجهی داشته‌اند. بر اساس [۱۲ و ۱۵] در کانسارهای Au-Zn-Pb-Ag، که کانسار باریکا را نیز شامل می‌شود، طلا به صورت تیوکمپلکس‌ها حمل می‌گردد. نهشت طلا وقتی رخ می‌دهد که سیالات کانه‌دار با آب دریا اختلاط حاصل کنند که موجب اکسیداسیون و افزایش pH [۲۶] و کاهش در مقدار  $H_2S$  [۲۵، ۲۷ و ۲۸] می‌گردد. بر طبق معادله زیر، تغییرات ایجاد شده در شیمی سیال، به نهشت طلا می‌انجامد:



سازوکارهایی که تمرکز  $H_2S$  را، به‌هنگام اختلاط سیالات کانه‌دار با آب دریا، کاهش می‌دهند، شامل اکسیداسیون  $H_2S$



شکل ۱۲. نمونه‌هایی از ساخت و بافت‌های همزمان با نهشت کانسنگ در بخش چینه‌سان باریکا: الف) ساخت نواری حاصل از تناوب باریت و سولفید، ب) ساخت نواری از تناوب باریت و سولفید در مقیاس میکروسکوپی، در این نمونه آثار تبلور مجدد پیریت مشهود است و پ) بافت فرامبوئیدال پیریت، که آثار تبلور مجدد در حاشیه بلورها به‌خوبی دیده می‌شود



شکل ۱۳. نمونه‌هایی از بافت‌های تجدید تبلور یافته پیریت‌های فرامبوئیدال در اثر دگرگونی. در شکل‌های الف، ب و پ، طلا، به‌صورت الکتروم در مرز و حاشیه پیریت‌های تبلور یافته تشکیل شده است. در شکل ت، بخش عمده پیریت، متبلور شده و بخش کمتر آن آثاری از بافت فرامبوئیدال اولیه را نشان می‌دهد.



رگه‌های سیلیسی این زون، به صورت موازی تا نیمه موازی با برگ‌وارگی‌ها ( $D_2$ )، جهت یافته شده‌اند (شکل ۵). شدت دگرشکلی شکل پذیر اعمال شده بر سنگ میزبان کانسار، متناسب با شدت دگرسانی سرسیتی سنگ می‌باشد، به طوری که در متاولکانیک‌های دگرسان شده‌ای که با کانیه‌های سرسیتی بیشتری همراه هستند، ساختارهای شکل پذیر مانند چین‌خوردگی و برگ‌وارگی بیشتر توسعه یافته است.

دگرشکلی‌های نوع شکنا، در کانسنگ‌های سیلیسی و پیریتی بخش چینه سان و رگه‌های سیلیسی زون استرینگر قابل مشاهده است. عملکرد دگرشکلی بر رگه‌های سیلیسی زون استرینگر، علاوه بر چین خوردگی و بودین شدگی رگه‌ها، تحرک مجدد سیلیس و Pb به فضاهای کششی ایجاد شده در طی دگرشکلی و تشکیل رگه‌های سیلیسی گالن‌دار در فضاهای مذکور را منجر شده است. رگه‌های سیلیسی اخیر با ضخامت حداکثر ۲ سانتی‌متر، در جهت تقریباً عمود بر روند رگه‌های سیلیسی میزبان گسترش دارند (شکل ۱۶).

عملکرد دگرشکلی علاوه بر تغییر در بافتهای اولیه کانسنگ و ایجاد ساخت و بافتهای حاصل از دگرشکلی، در تحرک مجدد عناصر و ایجاد کانه‌های جدید نقش داشته است. در بخش کانسنگ چینه سان کانسار باریکا، شواهد و مدارک آشکاری بر تحرک دوباره عناصر As, Ag, Sb و Pb همراه با طلا، و تشکیل کانه‌های نوظهور سولفوسالتی و الکتروم در اثر عملکرد دگرشکلی وجود دارد، گرچه مواد تجدید تحرک یافته کانه‌ها ظاهراً فراتر از حواشی پیکره‌های معدنی و منطقه بندی فلزی اولیه حرکت نکرده‌اند. مهمترین کانه‌های سولفوسالتی که در مرحله دگرشکلی تشکیل شده و اغلب در فضای ریز درز و شکستگیها تشکیل شده‌اند، شامل بورنونیت-بولانژریت، استفانیت، پیرارژیریت، ترچمنیت، میارژیریت، آندوریت، ژئوکرونیت، گوتاردیت، تووینیت-وینیت می‌باشند که در همراهی با ذرات درشت تر الکتروم حضور دارند. در فضاهای ایجاد شده توسط دگرشکلی‌ها، اثری از کانه‌های اولیه سولفیدی (پیریت، اسفالریت و گالن) مشاهده نشده است. تقریباً تمامی ریز رگه‌های حاصل از دگرشکلی شکنا موجود در نوارهای سیلیسی باریکا، توسط کانه‌های سولفوسالت و طلا پر شده‌اند (شکل ۱۵).

### ۳- دگرشکلی و تمرکز طلا در فضای برگ‌وارگی‌ها و ریز شکستگیها

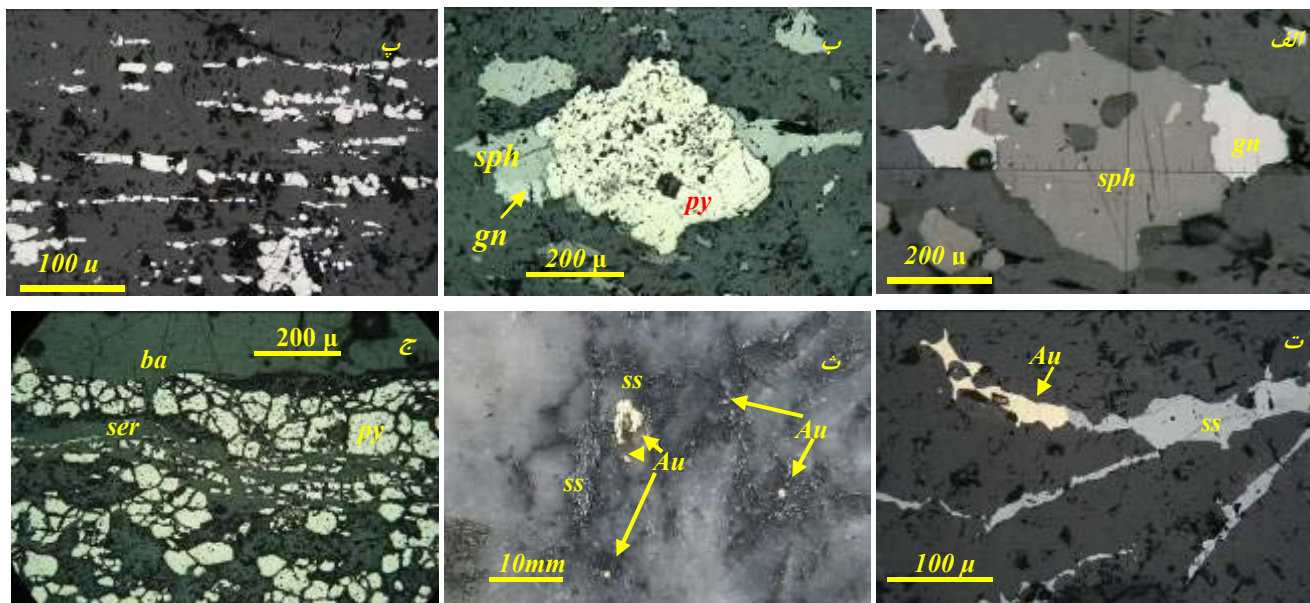
در مرحله ای از فرآیند دگرگونی پیش‌روند، تنش اعمال شده بر کانسار باریکا و سنگهای دگرسان شده میزبان آن، به تشکیل پهنه برشی باریکا همراه با ساختارهای دگرشکلی شکل پذیر و شکنا ( $D_2$ ) در کانسار و سنگهای میزبان آن منجر شده است. روند برگ‌وارگی‌های حاصل از دگرشکلی با روند برگ‌وارگی دگرگونی ( $D_1$ ) و طبقه‌بندی سنگها ( $S_0$ ) هم‌راستا است. ژئومتری، شدت و روند پهنه برشی، توسط ژئومتری، شدت و روند پهنه دگرسانی باریکا کنترل می‌شود، به طوری که گستره عملکرد پهنه برشی، به طور کامل با گستره کانسار باریکا و زون دگرسانی میزبان آن منطبق است و بیشترین شدت دگرشکلی بر کانسار باریکا (بخش چینه سان) مطابقت دارد. براساس [۳۰]، کانسارهای VMS به علت ماهیت شکل پذیر بودن پیکره‌های سولفید توده‌ای، به راحتی با استرینگر ایجاد شده در طی دگرشکلی ناحیه ای سازگار می‌شوند و بنابراین می‌توانند درجات بالاتری از تبلور مجدد و تحرک دوباره نسبت به چینه‌های ولکانیک و رسوبی دربرگیرنده را نشان دهند. بر اساس پتروگرافی نمونه‌های دگرشکل شده کانسار باریکا، بیش از ۹۰ درصد ساختارهای دگرشکلی مشاهده شده، از نوع شکل‌پذیر است.

عملکرد پهنه برشی باریکا بر بخش کانسنگ چینه سان، عمدتاً با ایجاد ساختارهای شکل‌پذیر مانند نوار بندی کانه‌ها، ایجاد برگ‌وارگی، ایجاد فابریک‌های C و S، بودین شدگی و چین‌خوردگی در کانسنگ‌های سولفیدی و باریتی و به مقدار کم با ایجاد دگرشکلی شکنا به صورت بافتهای کاتاکلاستیک در پیریت‌ها و تشکیل ریز شکستگیها در نوارهای سیلیسی مشهود است (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). از مهمترین این شواهد، نواربندی سولفوسالت‌ها همراه با بافتهای دگرشکلی به موازات برگ‌وارگی‌ها ( $D_2$ ) و تمرکز سولفوسالت‌ها همراه با طلا در فضای‌های ریز شکستگیهای کوارتز می‌باشد. بر اساس [۳۰]، در کانسارهای VMS، کانه‌های نواری شده می‌توانند محصول تبلور مجدد دینامیک سولفیدها در طی رخداد‌های دگرگونی ناحیه‌ای بوده باشند.

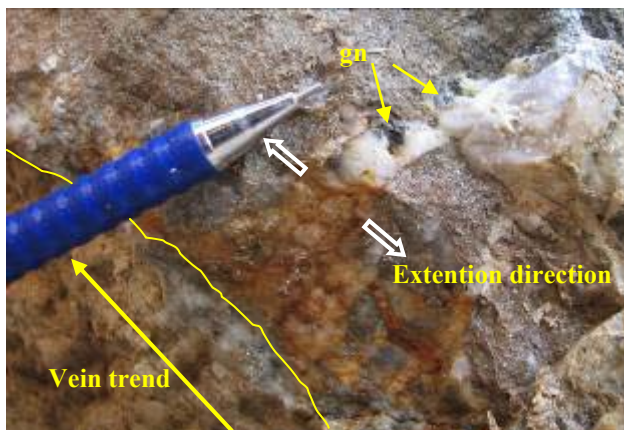
عملکرد پهنه برشی باریکا بر زون استرینگر، به چین‌خوردگی، بودین شدگی و ایجاد شکستگی در اغلب رگه‌های سیلیسی زون استرینگر منجر شده است و اغلب



شکل ۱۴. عملکرد دگرشکلی در مقیاس رخنمون و نمونه دستی: دگرشکلی به صورت چین خوردگی در الف) تناوب سولفید - باریت و ب) در سولفید توده‌ای. پ) بودین شدگی در نوارهای باریتی (بخش‌های روشن). بخش‌های تیره، سولفید (عمدتاً پیریت)ها می باشد. د) دگرشکلی در کانسنگ باریتی در بخش‌های توده‌ای و ضخیم لایه و ایجاد فابریک‌های C و S.



شکل ۱۵. ساخت و بافت‌های حاصل از دگرشکلی‌های ایجاد شده در بخش کانسنگ چینه سان باریکا. الف و ب: بافت سایه فشاری، پ) تشکیل سولفوسالت (ss) و طلا (Au) در شکستگی‌های کانسنگ سیلیسی، ث) طلا و سولفوسالت‌ها در شکستگی‌های کانسنگ سیلیسی، که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده‌اند. ج) بافت کاتاکلاستیک پیریت در در زمینه‌ای از باریت (ba) و سرسیت (ser) قرار دارد.



شکل ۱۶. نمایی از رگه سیلیسی زون استرینگر که در اثر عملکرد دگرشکلی نوع شکننا توسط مجموعه ای از رگچه‌های سیلیسی با راستای عمود بر روند رگه سیلیسی میزبان قطع شده‌اند. رگچه‌های سیلیسی قطع کننده، در اثر کشش حاصل از دگرشکلی تشکیل شده و معمولاً با  $gn$  همراه هستند.

۴- دگرگونی برگشتی و تشکیل رگه‌های سیلیسی فاقد کانه:

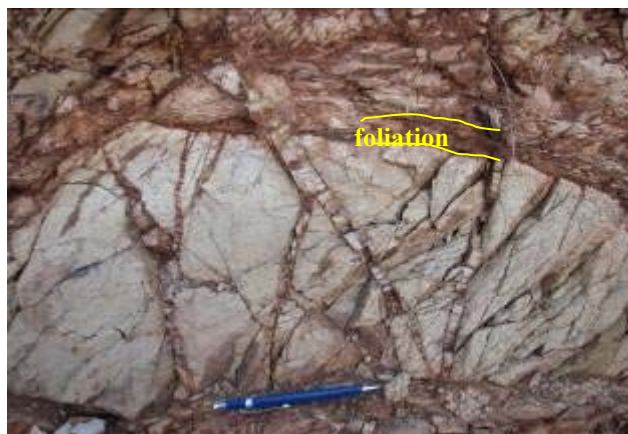
مرحله دگرشکلی ( $D_3$ ) در محدوده باریکا، به صورت ایجاد شکستگیهای کششی کم شیب (flat-lying tensional veins)، که با رگه‌های سیلیسی سفید رنگ در ضخامت‌های کمتر از ۰/۵ متر اشغال شده اند، نمود یافته است. رگه‌های سیلیسی تشکیل شده در این مرحله از دگرشکلی، فاقد کانه‌زایی طلا و عناصر فلزات پایه می‌باشند و با یک همبری تند و واضح، کلیه نموده‌های کانه‌زائی و دگرشکلی قبلی ( $D_2$ ) را قطع نموده‌اند (شکل ۱۷).

مرحله آخر دگرشکلی ( $D_4$ ) شامل یک‌دسته گسل‌های نرمال با شیب تند است که بخش‌های مختلف کانسار را حداکثر چند متر در جهت شیب گسل جابه‌جا نموده‌اند. اگرچه در محدوده کانسنگ چینه سان باریکا، برخی از گسل‌های مذکور میزبان برش‌هایی هستند که از قطعات کانسنگ باریتی و سولفیدی تشکیل شده اند (شکل ۱۸)، ولی در خارج از محدوده کانسار، این گسلها عموماً فاقد پرشدگی توسط رگه‌ها و یا اجزای برشی می‌باشند

و حتی طلا به صورت قابل رویت با چشم (در اندازه تا ۳ میلی‌متر)، همراه با کانه‌های سولفوسالت در فضای ریز رگچه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۱۵ ث).

Huston et al, پیشنهاد کردند که در ذخایر غیر دگرشکل یا با دگرشکلی خیلی ضعیف، طلا به صورت غیر قابل رویت در پیریت طلا دار و یا آرسنوپیریت طلا دار حضور دارد، در حالی که در ذخایری که تحت تأثیر دگرشکلی قرار گرفته‌اند، الکتروم مهمترین کانی طلا است [۲۹]. وقتی که پیریت‌های طلا دار در اثر فرآیندهای دگرشکلی بعدی تبلور مجدد پیدا می‌کنند و یا وقتی که پیریت شکسته می‌شود (بافت کاتا کلاستیک)، طلا به راحتی از طریق سازوکارهای انحلال نهشت به سمت شکستگیها و مرز دانه مهاجرت می‌کند تا در ترکیب با نقره ای که به روش مشابه از کانیهای سولفیدی آزاد شده است، الکتروم میکروسکپی را تشکیل دهد. با افزایش تنش وارد شده، الکتروم از پیریت آزاد می‌شود تا همراه با دیگر کانیها، مانند گالن، که به راحتی متحرک می‌شوند، مجدداً متبلور گردد. در طی این فرآیند، اندازه دانه الکتروم افزایش می‌یابد.

مراحل مختلف چنین فرآیندی به خوبی در کانسار باریکا، قابل مشاهده است. در کانسار باریکا، کانیهای درشت الکتروم (تا ۳ میلی‌متر)، همواره در همراهی با کانه‌های سولفوسالت، که به آسانی متحرک می‌شوند، دیده می‌شوند (شکل ۱۵ ج).



شکل ۱۷. رگه‌های سیلیسی سفید رنگ فاقد که در شکستگیهای کششی تشکیل شده و برگ‌وارگی‌ها را قطع نموده‌اند.



شکل ۱۸. ساخت برشی در محدوده معدن باریت. برشهای گسلی از قطعات زاویه دار باریت و متاولکانیک‌های دگرسان شده تشکیل یافته‌اند.

##### ۵- هوازدگی:

این فرآیند به‌طور ضعیف بخشهایی از کانسنگ‌های سولفیدی کانسار باریکا را متأثر ساخته است. شایعترین چهره ناشی از عملکرد این فرآیند، تشکیل گوسان در بخشهای محدودی از کانسنگ‌های سولفیدی است. عملکرد هوازدگی بر روی سولفوسالت‌های مس‌دار (مانند تتراندريت) و اسفالریت به‌جانشینی کالکوسیت و کوولیت از محل شکستگیها و حواشی کانه‌ها منجر شده است. در محدوده کانسنگ سولفیدی و باریتی کانسار، آثار ضعیفی از کانه‌زایی مس به‌صورت مالاکیت و آزوریت در سطح درز و شکستها قابل مشاهده است. به‌طور کلی، نقش هوازدگی بر کانسار سولفید

توده‌ای باریکا، موضعی و کم اهمیت بوده و آثار آن بصورت تشکیل موضعی گوسان و رخداد کانه‌های مالاکیت، آزوریت، کالکوسیت و کوولیت در بخش کانسنگ چینه‌سان کانسار مشاهده شده است. در جدول ۳، توالی پاراژنزی کانسنگ‌های باریکا آمده است.

##### ارزبایی پتانسیل اقتصادی کانسار باریکا

بر اساس مطالعات اخیر، کانسار باریکا یک کانسار سولفید توده‌ای ولکانو ژنیک از نوع کروکو است که فقط بخش کانسنگ سیاه در آن تشکیل شده است. بر اساس [۲۱ و ۲۲]، پایین بودن نسبت Cu/Zn (کمتر از ۰/۳ - جدول ۱) در

جدول ۳. توالی پارائز کانیهها و فرآیندهای مهم زمین‌شناسی در کانسار باریکا

نوع رخداد زمین‌شناسی	همزمان با ولکانیسم		دگرگونی			هوزدگی
	کانسنگ چینه‌سان (نوده ای و نوادی)	کانسنگ چینه‌سان (نوده ای و نوادی)	دگرگونی پیش‌رونده (D1)	دگرگونی (D2)	دگرگونی پرمی (D3- D4)	
کانیههای کانسی	پیریت	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
	استراتیت	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
	سفال	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
	نقراندزیت، نقریت	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
	استیمیت	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
	کانیههای سولفوسالنی شنی از Ag- Sb- Pb- As- Hg و				██████████	
	طلا (اغلب بصورت تیر قابل رویت یا میکروسکوپ)		██████████			
	الکتروم (قابل مشاهده در زیر میکروسکوپ و با چشم)			██████████	██████████	
	کالکوسیت، سیکولیت، مالاتیت، آزوریت					██████████
کانیههای اصلی باطله	باریت		██████████			
	کوارتز	██████████			██████████	
نوع دگرگونی	شکل پذیر		██████████	██████████		
	شکنا	██████████			██████████	
نوع کانه زایی	همزمان با نهشت		██████████			
	برکننده فضای حالی	██████████			██████████	
	جانشینی					██████████

کانسار بر اساس معیارهای [۲۱] (شکل ۱۱)، یک کانسار کوچک ارزیابی می‌گردد. بخش عمده کانسنگ ( طلا و نقره) منطبق با بخش چینه سان کانسار بوده و از کانسنگ‌های سولفید و باریت توده‌ای - نواری و مقادیر کمتر (حدود ۱۰ درصد) کانسنگ سیلیسی تشکیل شده است.

بر اساس نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده از بخشهای مختلف کانسنگ سولفید و باریت توده‌ای، مقدار میانگین طلا و نقره به ترتیب ۸/۲۶ و ۴۲۰ گرم بر تن برآورد شده است (جدول ۱). مقدار بالای طلا و نقره در بخشهای سولفیدی و باریتی، استخراج این دو فلز گرانبها را از بخش چینه‌سان کانسار در یک مقیاس محلی توجیه‌پذیر می‌نماید، گرچه با توجه به مقدار نسبتاً بالای برخی عناصر مزاحم ( As, Sb, Hg)، طیف گسترده در اندازه کانیههای طلا (از کمتر از ۵ تا ۳۰۰۰ میکرون) و تنوع کانیههای میزبان طلا می‌باید در انتخاب روشهای مناسب فرآوری و استحصال طلا و نقره که هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد و هم استانداردهای

کانسار باریکا، علاوه بر این‌که فاصله داشتن کانسار از منشأ حرارتی و ساده شدن تیپ کانسنگ را نشان می‌دهد، بر کوچک بودن کانسار باریکا نیز دلالت دارد.

در سالهای ۱۳۸۱-۱۳۸۵، کانسار باریکا، یک معدن باریت فعال بود. پس از معرفی کانسار باریکا به عنوان کانساری با عیارهای قابل توجه طلا و نقره در بخشهای سولفیدی و باریتی، این کانسار به عنوان کانسار طلا مورد توجه قرار گرفت و از سال ۱۳۸۶ عملیات اکتشافی طلا بر روی کانسار باریکا به اجرا درآمد. ارزیابی پتانسیل اقتصادی طلا و فلزات پایه در دو نوع کانسنگ (۱) چینه سان (سولفید و باریت توده ای) و (۲) زون استرینگر کانسار قابل بررسی است.

(۱) کانسنگ چینه سان (سولفید و باریت توده‌ای):

بر اساس [۷]، کانسار باریکا یک کانسار سولفید توده‌ای Au-Zn-Pb-Ag و بر اساس [۲۲]، یک کانسار سولفید توده‌ای از نوع کروکو می‌باشد که در آن تنها بخش کانسنگ سیاه تشکیل شده و فاقد کانسنگ‌های زرد و پیریتی است. این

۳) نسبت روی ( $100 \text{ Zn}/(\text{Zn} + \text{Pb})$ ) در رگه‌های سیلیسی زون استرینگر به میزان قابل توجهی پایین‌تر از این نسبت در اغلب کانسارهای سولفید فلزی تیپیک فانروزوئیک است. پایین بودن نسبت روی در این رگه‌ها، به این معناست که سیال کانه‌سازی که رگه‌های استرینگر را به وجود آورده، نسبت به فلزات روی و سرب تحت اشباع بوده است و لذا این رگه‌ها ماهیتاً فاقد پتانسیل اقتصادی برای دو فلز روی و سرب می‌باشند، به طوری که میانگین مجموع عناصر سرب و روی در بخشهای مختلف رگه‌های سیلیسی زون استرینگر حدود ۰/۲۵ درصد است.

۴) با توجه به پایین بودن دمای و شوری سیال کانه‌ساز، احتمال تشکیل مقادیر قابل توجه کالکوپریت و بورنیت در رگه‌های سیلیسی زون استرینگر منتفی است و بخش مهم مس موجود در رگه‌های سیلیسی مذکور، که میانگین مقدار آن حدود ۰/۱۵ درصد است، عمدتاً در تتراندريت - تنانتیت تمرکز یافته است.

با توجه به این که عیارهای بالاتر طلا (۱-۵ گرم در تن) برای رگه‌های سیلیسی زون استرینگر، در دو موقعیت الف) زیر بخش کانسنگ سولفید و ب) ترازهای بالاتر توپوگرافی در منتها الیه شمالی گستره زون استرینگر به ثبت رسیده است، به نظر می‌رسد دو عامل نزدیکی به کف دریا و موقعیت ارتفاعی رگه‌های سیلیسی، به مقدار زیادی عیار طلا و دیگر فلزات موجود در رگه‌های سیلیسی زون استرینگر را کنترل می‌نمایند. بدیهی است سیالات هیدروترمال سازنده رگه‌های سیلیسی که در نزدیکی به کف دریا (زیر بخش چینه‌سان) جای‌گیر شده‌اند، با حجم بیشتری از آب سرد دریا واکنش انجام داده‌اند و با سرعت بیشتری طلا و دیگر عناصر را نهشته ساخته‌اند.

در رابطه با نقش ترازهای بالاتر توپوگرافی در افزایش عیار طلا و دیگر عناصر باید گفت که سیالات هیدروترمال کانه‌سازی که به شکستگی‌های واقع در ترازهای بالاتر توپوگرافی راه یافته‌اند، با حجم بیشتری از سنگ واکنش نموده و با کاهش بیشتر دما و تغییرات بیشتر در pH و درجه شوری سیال در ترازهای بالاتر توپوگرافی، مقادیر بالاتری از طلا و دیگر عناصر را به جای گذاشته‌اند.

زیست محیطی را رعایت نماید، ملاحظات لازم را به کار گرفت. کانسار باریکا، به علت پایین بودن نسبت روی ( $100 \text{ Zn}/(\text{Zn} + \text{Pb})$ )، که خود متأثر از تحت اشباع بودن سیال از فلزات روی و سرب است، از اغلب کانسارهای سولفید توده‌ای فانروزوئیک متمایز بوده و فاقد پتانسیل اقتصادی برای دو فلز روی و سرب می‌باشد، به طوری که میانگین مجموع عناصر سرب و روی در بخشهای مختلف کانسنگ چینه‌سان کانسار از ۰/۵ است.

از طرف دیگر به علت پایین بودن دما و شوری سیال کانه‌ساز، کانسار باریکا فاقد کانسنگ زرد است، لذا احتمال حضور بخشهای غنی از کالکوپریت، بورنیت و اسفالریت در بخش چینه‌سان کانسار منتفی است. میانگین مقدار مس در بخش چینه‌سان کانسار کمتر از ۰/۱ درصد است که عمدتاً در کانه‌های سولفوسالتی، مانند تتراندريت تمرکز یافته است.

#### ۱) رگه‌های سیلیسی زون استرینگر:

رگه‌های سیلیسی زون استرینگر در ضخامت‌های کمتر از ۱ متر (متوسط ۳-۲۰ سانتی‌متر) با پراکندگی نامنظم در گستره‌ای به طول حدود ۲ کیلومتر و در پهناي کمتر از ۵۰۰ متر عمدتاً در کمرباطین دگرسان شده کانسنگ چینه‌سان باریکا گسترش دارند. رگه‌های سیلیسی زون استرینگر، که از نظر تمرکز فلزات پایه و طلا غنی‌ترین بخش زون استرینگر می‌باشند، به چند علت از نظر فلزات گرانبها و پایه از ارزش اقتصادی قابل قبولی برخوردار نیستند:

ضخامت اغلب رگه‌های سیلیسی کانه‌دار، ۳-۲۰ سانتی‌متر و عیار میانگین طلا و نقره در آنها به ترتیب ۰/۷۲ و ۳۱ گرم در تن است. همچنین عیار طلا و نقره در سنگ میزبان دگرسان‌شده رگه‌ها، معمولاً به ۱/۲ تا ۱/۵ عیار این فلزات در رگه‌ها کاهش می‌یابد.

۲) حجم پایین کانه زایی فلزی در رگه‌ها: با توجه به این که کانسار باریکا، در محدوده کانسارهای کوچک است و نظر به این که بطور تیپیک بیش از ۹۰ درصد محتوای فلزی موجود در یک کانسار سولفید توده‌ای در بخش توده‌ای و چینه‌سان و کمتر از ۱۰ درصد آن در زون استوک ورک کانسار یافت می‌شود [۲۲]، لذا حجم کانه زایی در رگه‌های سیلیسی زون استرینگر به مراتب کمتر از بخش کانسنگ سولفیدی و باریتی کانسار است و نمی‌توان کانه زایی قابل توجه را از فلزات پایه و گرانبها در رگه‌های سیلیسی زون استرینگر انتظار داشت.

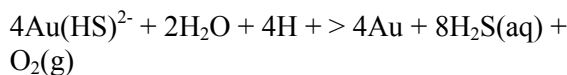
## نتیجه‌گیری

کانسار باریکا، یک کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلا و نقره است که بر خلاف اغلب کانسارهای سولفید توده‌ای جهان، مقدار مجموع فلزات پایه در آن به نحو چشم‌گیری پایین است (1 < wt % Zn + Pb + Cu). این کانسار دارای دو بخش چینه‌سان و زون استرینگر است که در واحد متاولکانیک آندزیتی ( $K^{mv1}$ ) جای گرفته‌اند.

مطالعات انجام شده در این پژوهش حاکی از آن است که کانسار باریکا شکل ناقص و تکامل نیافته از یک کانسار نوع کروکو می‌باشد که تنها کانسنگ سیاه در آن تشکیل شده و فاقد بخشهای کانسنگی زرد و پیریتی است. مهمترین عواملی که عدم تشکیل کانسنگ های زرد و پیریتی در کانسار باریکا را کنترل می‌کنند، ماهیت سیال کانه‌ساز (از نظر شیمی، دما و شوری) و فاصله داشتن کانسار از توده نفوذی است. این کانسار بعد از تشکیل، درجه پایین دگرگونی (شیست سبز پایینی) و درجه بالای دگرشکلی را تحمل کرده است. فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی اعمال شده بر کانه‌زایی ولکانوژنیک، به ایجاد ساختها، بافتها و اشکال جدیدی از کانه‌های طلا دار کانسنگ منجر شده است. مراحل تشکیل کانسنگ طلا دار ولکانوژنیک و رخدادهای بعد از تشکیل کانسنگ اولیه، به صورت زیر است.

۱- تشکیل کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلا و نقره باریکا به صورت همزمان با ولکانیسم: براساس مطالعات سیالات، درگیر کانسنگ‌های بخشهای سیلیسی زون استرینگر و توده‌ای- نواری بخش چینه سان کانسار باریکا، محصول نهشت سیالات کم دما (کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی گراد) با شوری پایین (کمتر از ۹/۶ درصد وزنی NaCl) می‌باشد که به‌صورت رخساره ریزدانه کانسنگ سیاه نهشت یافته است. به علت دمای کم سیال کانه‌ساز، در کانسار باریکا، فرآیند زون ریفاپنینگ، که مستلزم افزایش دمای سیال، از دمای حدود ۲۰۰ درجه به بالاتر از ۲۸۰ درجه می‌باشد تا گذر کانسنگ سیاه به کانسنگ زرد و متعاقباً کانسنگ پیریتی را امکان پذیر سازد، رخ نداده است.

مطالعات میکروترموتری سیالات درگیر کانسار باریکا، حاکی از اختلاط سیال هیدروترمال با آب سرد دریاست که موجب اکسیداسیون  $H_2S$ ، افزایش pH و نهشت باریت، سولفید و طلا شده است. تغییرات ایجاد شده در شیمی سیال، بر طبق معادله ذیل، به نهشت Au منجر می‌گردد:



کانی‌سازی همزمان با ولکانیسم در بخش چینه سان کانسار باریکا، با ایجاد ساخت و بافتهای رسوبی مانند توده‌ای، نیمه توده‌ای، دانه پراکنده، و فرامبوئیدال که مشخصه نهشت کانسنگ سیاه (رخساره ریز دانه) است، همراه بوده است. در این مرحله از کانی‌سازی، طلا به‌صورت غیر قابل رویت در داخل پیریت و در همراهی نزدیک با سولفوسالت‌های Pb, As, Sb و دیگر کانیهای سولفیدی تمرکز داشته است.

۲- دگرگونی پیش‌رونده کانسار و تمرکز طلا در حاشیه‌های کانیهای سولفیدی تجدید تبلور یافته: کانسار باریکا بعد از تشکیل متحمل دگرگونی در حد شیست سبز پایینی شده است که رخداد این پدیده با جهت یافتگی ضعیف پورفیروبلاست‌ها، گسترش برگ‌وارگی ( $D_1$ ) و تشکیل کانیهای ثانوی کلریت و سرسیت همراه شده است. عملکرد دگرگونی بر کانسنگ سولفیدی باریکا، به تبلور پیریت‌های فرامبوئیدال، ایجاد پیریت‌های درشت بلور با بافت الحاق سه گانه منجر شده است و تشکیل الکتروم در مرز دانه‌های پیریت تبلور یافته منجر شده است.

۳- دگرشکلی حاصل از عملکرد پهنه برشی در کانسار باریکا و تمرکز طلا در فضای برگ‌وارگی‌ها و ریز شکستگیها: در مرحله‌ای از فرآیند دگرگونی پیش‌روند، تنش اعمال شده بر کانسار باریکا و سنگهای دگرسان شده میزبان آن، به تشکیل پهنه برشی باریکا همراه با ساختارهای دگرشکلی شکل پذیر و شکنا ( $D_2$ ) در کانسار و سنگهای میزبان آن منجر شده است. عملکرد دگرشکلی علاوه بر تغییر در بافتهای پیشین کانسنگ و ایجاد ساخت و بافتهای حاصل از دگرشکلی (مانند نوار بندی کانه‌ها، ایجاد برگ‌وارگی، بودین شدگی، چین خوردگی، سایه فشاری و... در کانه‌ها)، در تحرک مجدد عناصر و ایجاد کانه‌های جدید نقش داشته است. در محدوده کانسنگ‌های سولفیدی، باریتی و سیلیسی باریکا شواهد و مدارک آشکاری بر تحرک دوباره کانیهای As, Ag, Sb و Pb همراه با طلا، در اثر عملکرد دگرشکلی وجود دارد. از مهمترین شواهد تشکیل کانه‌های جدید در طی مرحله دگرشکلی و رخداد طلا (به صورت الکتروم) درشت دانه (حتی به‌صورت قابل مشاهده با چشم غیرمسلح) در فضاها ایجاد شده در این مرحله از دگرشکلی تمرکز یافته‌اند.

۴- دگرگونی برگشتی کانسار باریکا و تشکیل رگه‌های سیلیسی

- O.R., Sinclair, W.D., and Thorpe, R.I., eds., "Geology of Canadian mineral deposit types", *Geology of Canada*, vol. (1996) 183-196.
- [2] Hannington M.D., Poulsen K.H., Thompson J.F.H., Sillitoe R.H. "Volcanogenic gold in massive sulfide environment: Reviews in *Economic Geology*", (1999) 325-356.
- [3] Poulsen K.H., Robert F., Dubé B., "Geological Classification of Canadian Gold Deposits", *Geological Survey of Canada Bulletin*, (2000) 540, 106 .
- [4] Dubé B., Gosselin P., Mercier-Langevin P., Hannington M., Galley A., "Gold rich volcanogenic massive sulphide deposits, in *Goodfellow*", W.D., ed., "Mineral deposits of Canada—A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada", Mineral Deposits Division, Special Publication no, (2007) 75-94.
- [۵] تاج‌الدین ح.، "گزارش اکتشاف ذخیره جدید طلای باریکا (خاور سردشت). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، (۱۳۸۲).
- [۶] یارمحمدی ع.، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، "ساخت و بافت و ژنز کانه زائی طلا (نقره، فلزات پایه و باریت) در محدوده معدنی باریکا، شرق سردشت"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۵).
- [7] Large R.R., Huston D.L., McGoldrick P.J., Ruxton P.A., "Gold distribution and genesis in Australian volcanogenic massive sulfide deposits and their significance for gold transport models. *Econ. Geol. Mon.*, (1989) 520-563
- [8] Huston D.L. "Gold in volcanic-hosted massive sulfide deposits; distribution, genesis, and exploration", in Hagemann, S.G. ed., "Gold in 2000: Reviews in *Economic Geology*", (2000) 401-426.
- [۹] یارمحمدی، ع.، راستاد، ا.، مجل، م.، شمس، م.ج.، رخداد طلای باریکا: کانه زایی تیپ ماسیوسولفید ولکانوژنیک غنی از طلا در ایران، خلاصه مقالات بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۴).
- [10] Mohajjel M., Fergusson C.L., Sahandi M.R. "Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *J. Asian Earth Sci.*" 21(2003) 397-412.

فاقد کانه و گسل خوردگی: مرحله دگرشکلی  $D_3$ ، به صورت ایجاد شکستگیهای کششی کم شیب، که با رگه های سیلیسی سفید رنگ در ضخامت های کمتر از ۰/۵ متر اشغال شده‌اند، مشخص می‌شوند. رگه‌های سیلیسی تشکیل شده در این مرحله فاقد کانه‌زایی طلا و دیگر عناصر فلزی می‌باشند و با یک همبری تند و واضح، کلیه نموده‌های کانه‌زایی و دگرشکلی قبلی ( $D_2$ ) را قطع نموده است .

مرحله آخر دگرشکلی ( $D_4$ ) شامل یک‌دسته گسل‌های نرمال با شیب تند است که بخش‌های مختلف کانسار را حداکثر چند متر در جهت شیب گسل جابه‌جا کرده است.

۵- هوازدگی: این فرآیند به‌طور موضعی کانسنگ‌های سولفیدی کانسار باریکا را متأثر ساخته است و آثار آن به صورت تشکیل موضعی گوسان و آزاد سازی مقادیر کمی از مس به صورت آغشتگی مالاکیت، آزوریت، کالکوسیت و کولیت قابل مشاهده است.

بر اساس نتایج مطالعات سیالات درگیر و شواهد ژئوشیمیایی موجود (مانند فراوانی برخی عناصر کمیاب، پایین بودن نسبتهای روی و  $(Cu/Zn)$  کانسار باریکا، در فاصله دور از منشأ نفوذی تشکیل شده و جزو کانسارهای کوچک ارزیابی می‌گردد. این کانسار تنها از نظر طلا و نقره موجود در بخش چینه‌سان از اهمیت اقتصادی برخوردار است و از نظر پتانسیل فلزات پایه فاقد ارزش اقتصادی است، به‌طوری‌که مجموع فلزات پایه در بخش‌های مختلف کانساری همواره کمتر از ۱ درصد است.

### سیاسگزاری

عملیات اجرائی و اکتشافی این تحقیق در قالب طرح‌های اکتشافی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور بانجام رسیده است، لذا از آقای مهندس ناصر عابدیان، معاون محترم اکتشاف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و آقای مهندس بهروز برنا، مدیر محترم امور اکتشافات معدنی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، که امکانات صحرائی و آزمایشگاهی لازم جهت انجام این تحقیق را فراهم آورده‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نمائیم.

### مراجع

- [1] Poulsen K.H., Hannington, M.D., "Volcanic-associated massive sulphide gold", in Eckstrand,



pressure, burial history, and paleohydrology of the Les Malines Pb-Zn deposit: reconstruction from aqueous inclusions in Barite in *Econ. Geol.*, 83(1988)784-800.

[14] Larson L.T., Miller J.D., Nadeau J.E., Roedder E. "Two sources of error in low temperature inclusion homogenization determination, and corrections on published

[24] Solomon M., Tornos F., Large R.R., Badham, J.N.P., Both, R.A., and Zaw, K. "Zn-Pb-Cu volcanic-hosted massive sulphide deposits: criteria for distinguishing brine pool-type from black smoker-type sulphide deposition. *Ore Geology Reviews* 25"( 2004) 259-283.

[25] Huston D.L., Large R.R. "A chemical model for the concentration of gold in volcanogenic massive sulfide deposits. *Ore Geol. Rev.* 4"(1989) 171-200

[26] Hannington M.D., Peter J.M., Scott S.D. "Gold in sea - floor polymetallic sulfides: *Economic Geology*", V.81,(1867-1883).

[27] Huston D., Large R, "Genetic and Exploration Significance of the Zinc Ratio (100 Zn/(Zn + Pb)) in Massive Sulfide Systems. *Economic Geology*", Vol. 82, (1987) 1521-1539

[28] Huston D., Bottrill R.S., Creelman R., Khin Zaw Ramsden T., Rand S., Gemmel J.B., Bruce L., Sie S.H., Large R.R, "Geologic and Geochemical Controls on the Mineralogy and Grain Size of Gold Bearing Phases, Eastern Australian Volcanic Hosted Massive Sulfide Deposits". *Econ. Geol.*, (1992)87:542-563.

[29] Cox D, Rytuba J.J Lihir Island gold, "Geological survey Bulletin 1643 U.S. Geological survey open-file Report, (1987)87-272a.

[30] Galley A. G., Jonasson I. R., Franklin J. M., Gibson H. L., " Volcanogenic Massive Sulfide Deposits", in Hedenquist, J. W., Thompson, J. F. H., Goldfarb, R. J., and Richards, J. P., eds., *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, Littleton, CO, "Society of Economic Geologists", (2005)523-560.

[11] Azizi H., Jahangiri A. " Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *J. Geodyn*", 45 (2008) 178-190

[12] Azizi, H., Moinevaziri, H. " Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran. *J. Geodyn*". 47(2008) 167-179.

[13] Ramboz C, Charef A , " Temperature, temperatures for the East Tennessee and Laisvall deposits. *Economic Geology*", 68(1973) 113-116

[15] Ullrich m. R. Bodnar R. J. " Systematics of stretching of fluid inclusions. II. Barite at one atmosphere confining pressure, *Economic Geology*", 83(1988) 1037-1.

[16] Bodnar R. J. Bethke P. M. " Systematics of stretching of fluid inclusions. I fluorite and sphalerite at 1 atmosphere confining pressure, *Economic Geology*", 79(1984) 141-161

[17] Roedder E, " Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy*", 12(1984) 644.

[18] Shepherd TJ, Rankin AH, Alderton DHM, "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie, Glasgow", (1985) 239.

[19] Pisutha - Arnond, V. Ohmoto H. "Thermal history and chemical and isotopic compositions of the ore - forming fluids responsible for the Kuroko massive sulfide deposits in the Hokuroko district of Japan. *Econ. Geol., Monogr*", 5(1983) 198-223.

[۲۰] یارمحمدی ع، راستاد ا، محجل م، شمس م.ج، رخداد طلای باریکا، "کانه زایی تیپ ماسیوسولفید ولکانوژنیک غنی از طلا در ایران"، مجله علوم دانشگاه تهران. جلد ۳۴، شماره ۱، صفحات ۴۷-۶۰. (۱۳۸۷).

[21] Ohomot H., Mizukami M., Drummond S.E., Eldridge, C.S., Pisutha - Arnond, V. and Lenagh, T.C. "Chemical processes of Kuroko formation. *Economic Geology, Monogr*", 5(1983) 570-604

[22] Ohmoto H. " Formation of volcanogenic massive sulfide deposits: the Kuroko perspective. *Ore geology reviews*", 10 (1996)135-177.

[23] Eldridge C.S., Barton P. B., Jr. Ohmoto H, " Mineral textures and their bearing on formation of the Kuroko ore bodies. *Economic Geology, Monogr*". 5(1983) 241-281