

## تحلیل ساختاری، دگرسانی، کانی‌سازی طلا-مس و مطالعه سیالات درگیر در JOG اتساعی شمال شرق کاشمر

علیرضا الماسی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد  
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان

محمدحسن کریم‌پور

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد

خسرو ابراهیمی نصرآبادی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد

بهنام رحیمی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۳۰

Alireza.almasi@gmail.com

### چکیده

تنش ناحیه‌ای در محیط شکنا در JOG هم‌پوشان کاشمر سبب رخداد شکستگی‌های نوع ریدل شده است. مهاجرت و چرخش دوگانه محلول اکسیدان آهن‌دار سبب دگرسانی در محل تلاقی شکستگی‌ها و مکان‌های کم‌فشار و کانی‌سازی شده است. در چرخه اول، محلول سبب دگرسانی‌های آرزلیک پیشرفته، سرسیتی و سیلیسی و کانی‌سازی رگه‌های کالکوپیریت ± پیریت ± گالن و احتمالاً مگنتیت ± طلا در عمق شده است. طی چرخش دوم، محلول فوق اکسیدان با شستشوی مجدد عناصر، سبب اورپرینت دگرسانی‌های تأخیری اکسید آهن، کربناتی، اپیدوتی و کلریتی و کانی‌سازی اسپیکولاریت ± کالکوپیریت ± طلا شده است. مقدار مس و سرب در رگه‌های سولفیدی اولیه < ۱ درصد و مقدار طلا در رگه‌های IOCG ثانویه ۱/۵ درصد و مس، سرب و روی < ۱ درصد است. مطالعه سیالات درگیر دلالت بر سیستم  $\text{CaCl}_2 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ ، دماهای متوسط تا بالا (۲۴۵ تا ۵۳۰) و شوری‌های متوسط (۱۴/۱۵ تا ۱۷/۹۶) و نقش عمده محلول ماگمایی و کمپلکس‌های کلریدی در حمل فلزات، بدون رخداد جوشش دارد. براساس این مطالعه محلول‌های اکسیدان آهن‌دار سبب کانی‌سازی‌های اسکارن و IOCG مختلفی در سرتاسر کمربند IOCG شمال گسل درونه شده‌اند.

کلمات کلیدی: JOG، محلول اکسیدان، دگرسانی، IOCG، سیالات درگیر.

### مقدمه

زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی (کریم‌پور ۱۳۸۴، ملک‌زاده و همکاران ۲۰۱۳، مظلومی‌بجستانی ۱۳۸۷ و Boomeri, 1998) زیادی در شمال گسل درونه صورت گرفته، اما مطالعات ساختاری - کانی‌سازی مشترکی صورت نگرفته است. در این مقاله ما با انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، به تحلیل رخداد‌های دگرسانی و کانی‌سازی و ارتباط آنها با ساختارهای منطقه کاشمر پرداخته‌ایم.

### روش مطالعه

در راستای دستیابی به اهداف موردنظر، برداشت اطلاعات صحرایی و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و رگه کانی‌سازی و شیب و امتداد گسل‌ها و رگه‌ها در منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۱۱۰ کیلومتر مربع انجام شد. در مجموع تعداد ۱۵۰ نمونه سنگی و ۲۸ نمونه از رگه‌های سیلیسی برای مطالعات مینرالوگرافی و ژئوشیمی رگه به روش خردسنگی گردآوری شد. از نمونه‌های سنگی مقطع نازک تهیه و برای نوع سنگ و دگرسانی مطالعه شدند. از نمونه‌های رگه‌های سیلیسی مقاطع نازک و نازک صیقلی تهیه و

محدوده مطالعاتی در ۳۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان کاشمر در استان خراسان رضوی و در بین طول‌های جغرافیایی ۵۸ ۳۲ تا ۵۸ ۵۰ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۵ ۱۵ تا ۳۵ ۲۳ شمالی قرار دارد. این محدوده از نظر تقسیمات ساختاری در بخش شمالی بلوک لوت و کنتاکت شمالی گسل امتدادلغز درونه و مرکز کمربند آتشفشانی - نفوذی خواف - کاشمر - بردسکن واقع شده است (شکل ۱). این کمربند برای کانی‌سازی نوع IOCG و مس پورفیری پتانسیل خوبی دارد (کریم‌پور، ۱۳۸۴). ذخایر اسکارن آهن سنگان (ملک‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳)، IOCG کوه‌ز (مظلومی‌بجستانی، ۱۳۸۷) و تنورچه (کریم‌پور، ۱۳۸۴) از مهمترین ذخایر این بخش از شمال لوت هستند. براساس این مطالعه، رخداد زون برشی ناشی از بر هم کنش گسل‌های درونه در جنوب و گسل تکنار در شمال، عامل ایجاد ساختارهای مناسب برای نفوذ ماگما و محلول گرمابی و کانی‌سازی IOCG هستند. تاکنون مطالعات ساختاری (حاجی ۱۳۸۷، Muller and Walter, 1983 Jackson et al., 1995) و مطالعات

از نوع پتاسیم بالا به دو سری اکسیدان و احیایی تقسیم کرده و به ترتیب به عنوان نوع I و نوع A معرفی کرده است که در یک زون برشی پشت کمان ماگمایی زون فرورانش موب و تصادم بعد از آن تشکیل شده است. ماگماتیسیم در ساختار Pull - apart رخ داده که کشش محلی سبب نفوذ سری A با روند مشخص در سری I قدیمی تر شده است. دسته دایک‌های موازی با روند مشخص دلالت بر رویداد ماگمایی مجدد نوع I در منطقه است که عامل دگرسانی و کانی‌سازی نیز بوده است.

### مطالعات ساختاری

حرکات در امتداد گسل‌های امتدادلغز سبب بوجود آمدن ساختارهای ثانوی می‌شود که انواع آنها بستگی به شکل، اندازه و محیطی که در گسل در آن توسعه یافته، دارد. در مراحل اولیه دگرشکلی در امتداد گسل‌های پی‌ستگی دوباره فعال شده، یک آرایش ساده از چین‌های نردبانی (en - echelon) ممکن است در پوشش رسوبی ایجاد شود (Connolly and Cosgrove, 1999). هنگامی که دگرشکلی افزایش می‌یابد، ممکن است شکستگی‌های برشی نوع ریدل توسعه یابند (Harding and Lowell, 1979). دو مدل دگرشکلی برای ایجاد گسل‌های امتدادلغز پیشنهاد شده است: دگرشکلی برش مطلق (خالص) و دگرشکلی برش ساده (Harding and Lowell, 1979). سیستم دگرشکلی برشی مطلق (خالص) دسته‌های مزدوج گسل‌های امتدادلغز تشکیل داده و محورهای تنش و کرنش در هر مرحله دگرشکلی هم‌محورند. در این سیستم دگرشکلی، ممکن است چین‌ها و شکستگی‌های کششی تشکیل شوند. گسل‌ها و تراست‌ها در جهت عمود بر محور کوتاه‌شدگی و شکستگی‌های کششی در جهت عمود بر محور طول‌شدگی (یعنی موازی با جهت کوتاه‌شدگی) توسعه می‌یابند. در مراحل اولیه سیستم دگرشکلی برشی ساده، محورهای اصلی تنش و محورهای اصلی کرنش هم‌محورند. اما در مراحل بعدی همزمان با چرخش درونی ساختارها، محورهای اصلی کرنش شروع به چرخش می‌کنند و دیگر با محور اصلی تنش موازی نخواهند بود (چرخش درونی) (Harding and Lowell, 1979).

مدل ساده تکامل jog اتساعی را در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفته است (Connolly and Cosgrove, 1999) (شکل ۲). در این مدل، jog اتساعی یک فاصله گسلی ثابت داشته و حاصل پیکربندی ناهم‌پوشان (شکل ۲.a)، جاییکه نوک‌های گسل (fault tips) همپوشانی ندارد، محیط بین jog خنثی (شکل ۲.b) و در جاییکه پیکربندی همپوشانی شده (شکل ۲.c و d) نوک گسل‌ها همپوشان‌اند، است. رخداد jog همپوشان (شکل ۲.c و d) در یک منطقه در سطح زمین که سنگ دارای رفتار شکننا (Brittle) است، می‌تواند سبب شکستگی‌های عمیق در پوسته، کاهش فشار و نفوذ ماگما و محلول گرمایی از عمق به سطح شود. پیشرفت این فرآیند سبب تشکیل شکستگی‌های وسیعی در پوسته می‌شود که مناطق با تجمع زیاد شکستگی‌ها، به مناطق آسیب‌پذیر (Damage zone) معروف‌اند. در شکل ۳ مناطق آسیب‌پذیر اصلی (Damage zone) در طی برش امتدادلغز در یک jog همپوشان نشان داده شده است. دو منطقه اصلی برای تشکیل مناطق آسیب‌پذیر شامل انتهای نوک گسل‌های اصلی امتدادلغز (Tip damage zone) و منطقه آسیب‌پذیر همپوشانی بین دو گسل اصلی (Linking damage zone) یا dilational jog می‌شود (شکل ۳) (Connolly and Cosgrove, 1999).

برای نوع کانی فلزی و باطله و پاراژنرها مطالعه شدند. نمونه‌های ژئوشیمی پس از آماده‌سازی به آزمایشگاه Acme در کانادا فرستاده و به روش 1DX1 Aqua Regia (۳۶ عنصری) و ذوب قلیایی تجزیه شدند. تصاویر ماهواره‌ای Landsat ۷+ و IRS (با دقت مکانی ۵ متر) و Google Earth با کیفیت بالا تلفیق شدند. تصویر Aster منطقه پردازش و انواع دگرسانی بارزسازی شد. نقشه‌های زمین‌شناسی، ساختاری (گسل و شکستگی)، دگرسانی، پراکندگی و ژئوشیمی رگه در محیط GIS تهیه شدند. به منظور مطالعات دماسنجی، ۱۴ نمونه دوبرصیقل (ویفر) از کوارتز و بندرت باریت مرتبط با کانی‌های فلزی پس از مطالعات پاراژنری تهیه شد. آزمایش‌های مربوطه با استفاده از یک دستگاه سردکننده و گرم‌کننده مدل THM 600 ساخت شرکت Linkam در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن  $\pm 1^{\circ}$  و محدوده حرارتی دستگاه بین ۱۹۰ - تا  $+600^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد است. مقدار شوری بر طبق Bodnar (۱۹۹۳) در سیستم NaCl - H<sub>2</sub>O و مقدار چگالی سیالات درگیر با استفاده از نرم افزار Flincor و براساس اطلاعات دماسنجی Brown و Lamb (۱۹۸۹) محاسبه شد. هیستوگرام مناسب در نرم افزار SPSS تهیه شد.

### زمین‌شناسی

محدوده مطالعاتی در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد (بهریزی، ۱۳۶۶) واقع شده است. براساس این نقشه، واحدهای سنگی منطقه شمال شرق کاشمر از بازالت، آندزیت، داسیت، توف و پیروکلاست و گرانیتوئیدهای نفوذی ائوسن تشکیل شده است. بر پایه مطالعات صحرایی (روابط قطع-شدگی و ویژگی‌های نمونه دستی) و آزمایشگاهی جدید (الماسی، ۱۳۹۳)، واحدهای سنگی منطقه کاشمر شامل دو سری اکسیدان و احیایی هستند که می‌توان آنها را از قدیم به جدید به ۵ بخش تقسیم کرد (شکل ۱):  
 ۱- سنگ‌های آتشفشانی اکسیدان با ترکیب عمدتاً بازالت - آندزیت - داسیت - توف - پیروکلاست که در سرتاسر منطقه خصوصاً نیمه شمالی گسترش دارند.  
 ۲- توده‌ها و استوک‌های متوسط تا کوچک مافیک - حدواسط اکسیدان با ترکیب گابرو، دیوریت، کوارتز مونوزدیوریت، مونزونیت.  
 ۳- توده‌های اسیدی تا حد واسط اکسیدان گرانیتوئیدی (با طیفی از گرانودیوریت، مونزوگرانیت تا آلکالی‌گرانیت) و حدواسط کوارتزمونزونیت - مونزونیت که بر اثر فرسایش واحدهای آتشفشانی در بخش‌های جنوبی منطقه رخنمون وسیع یافته‌اند.  
 ۴- توده‌های احیایی آلکالی‌گرانیت و دایک آپلیتی جوانتر از مجموعه ۱ و ۲ که به طور مشخص با روند شمال شرقی - جنوب غربی در منطقه نفوذ کرده است.  
 ۵- دسته دایک‌های موازی کوارتز مونزودیوریتی با روند شمال غربی - جنوب شرقی.

به استثنای دسته دایک‌ها، همه واحدها متحمل دگرسانی شده‌اند. در واقع دسته‌دایک‌ها نشانگر توده عمیق‌تر عامل دگرسانی هستند. سلطانی با مطالعه گرانیتوئیدهای اکسیدان منطقه (Soltani, 2000)، سن Rb - Sr تجزیه کل سنگ و کانی بیوتیت را ۴۳ میلیون سال، مربوط به ائوسن میانی (Lutetian) تعیین کرده است. نویسندگان این مقاله (الماسی، ۱۳۹۳)، با مطالعات پترولوژی سنگ‌های اکسیدان و احیایی منطقه، آنها را

در محدوده مطالعاتی صورت گرفت. نهایتاً براساس همه داده‌ها به این نتیجه رسیدیم که ساختار محدوده مطالعاتی دقیقاً یک jog اتساعی هم‌پوشان است. نمودار گل‌سرخ‌گی‌ها و درزه‌ها برای محدوده مطالعاتی با شکستگی‌های ریدل همخوانی کامل دارد (شکل ۸). گل‌های با جهت شمال‌غربی - جنوب‌شرقی معادل شکستگی‌های ریدل نوع P، گل‌های با جهت شمال‌شرقی - جنوب‌غربی معادل شکستگی‌های ریدل نوع R و باقی گل‌ها با جهت دیگر (زاویه بیش از ۴۵ درجه)، شکستگی‌های ریدل نوع R' هستند (شکل ۸).

مقایسه ساختارها، دگرسانی و کانی‌سازی محدوده مطالعاتی کاشمر با مدل کلی Connolly و Cosgrove برای مهاجرت محلول انطباق بسیار خوبی نشان می‌دهد (شکل ۵). نقاط تلاقی گل اصلی درونه با شکستگی‌های نوع R و P ریدل و واحد نفوذپذیر توف (شکل ۱)، به عنوان بهترین نقاط برای مهاجرت و به تله افتادن سیال کانه‌دار (Main fluid Sinks در شکل ۵) عمل کرده‌اند (شکل ۹). مناطق بهاریه، اوچ پلنگ و سرفیدال در محل تلاقی‌ها قرار دارند (شکل ۹). پردازش تصویر ماهواره-ای Aster نیز مؤید این قضیه است (شکل ۱۰).

براساس تصویر ماهواره‌ای پردازش شده و نتایج مطالعات پتروگرافی و رابطه دگرسانی و روابط رگچه‌ها در مقاطع میکروسکوپی، نقشه دگرسانی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شد (شکل ۱۱).

براین اساس دگرسانی در کاشمر بصورت دو دگرسانی اصلی شامل: دگرسانی اولیه آرژیلیک پیشرفته - سرسیتی - سیلیسی (Si - K) و دگرسانی تأخیری Ca - Fe - Si - Ba - K (کربناتی - اکسید آهن - سیلیسی - اپیدوتی - کلریتی - سرسیتی - باریت) قابل توصیف است. دگرسانی اولیه در نقاط تقاطع گسلی در بهاریه، اوچ پلنگ و سرفیدال گسترش دارد. شدت دگرسانی سبب تشکیل ذخیره کائولن و کلاک‌های سیلیسی در این مناطق شده است (اشکال ۱۳ و ۱۴). نتایج تجزیه XRD نمونه‌های چاهک‌های حفر شده در زون آرژیلیک پیشرفته مؤید کانی‌های کائولینیت، دیاسپور، پیروفیلیت، کوارتز، سرسیت، ایلیت و آل‌بیت است (جدول ۱). کانی آل‌بیت گزارش شده در این نتایج حاصل "سدیم متاسوماتیسم" نیست، بلکه وجود آن را به کانی آل‌بیت سنگ میزبان (آلکالی گرانیت) نسبت می‌دهیم. هیچگونه شواهدی از آل‌بیتی شدن (مانند دگرسانی پلاژیوکلاز به آل‌بیت) در سنگ‌های منطقه دیده نشد. بازسازی دگرسانی آلونیت در تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۱۰) که با بازدید صحرایی مناطقی با خاک با تن رنگی مخصوص زون آلونیتی شدن تأیید شد، اما مطالعات میکروسکوپی مؤید آلونیت گرمایی نبود، زیرا آلونیت گرمایی دارای هابیت سوزنی است اما این کانی در مقاطع میکروسکوپی منطقه کاشمر شکل بلوری ندارد (شکل ۱۲، a و b). آلونیت گرمایی در شرایط جوشش محلول گرمایی در محیط اسید - سولفات نزدیک سطح زمین تشکیل می‌شود. در شرایط جوشش، کلاک‌های سیلیسی نیز دارای کوارتز حفره‌دارند که نشان دهنده خروج گاز از محلول گرمایی حین جوشش و سرد شدن است و برش گرمایی نیز تشکیل می‌شود. عدم وجود کوارتز حفره‌دار و برش گرمایی در کلاک‌های سیلیسی منطقه، نشان دهنده عدم رخداد جوشش برای تشکیل آلونیت است و نیز دلالت بر این دارد که کلاک‌های سیلیسی در عمق تشکیل شده‌اند. لذا سطح کنونی کلاک‌ها حاصل فرسایش بخش‌های بالایی است.

(1999). براساس مطالعات آزمایشگاهی (Tchalenko and Braud, 1974)، در طی برش امتدادلغز در محیط شکننا (brittle)، یک سیستم تکمیلی از شکستگی‌های برشی (R و R') و شکستگی‌های برشی P بعدی تشکیل می‌شوند (شکل ۴).

### نحوه مهاجرت محلول در یک jog اتساعی

آقایان Connolly و Cosgrove (۱۹۹۹)، با استفاده از سری‌هایی از Jog های اتساعی، شکستگی‌های درجه دو و مسیرهای جریان محلول همراه با ساختارهای کنترل شده با گسل با نیروی ثابت را ترسیم کرده و مدلی کلی بدست آوردند. این قضیه بر پایه این فرض است که جریان محلول با گسل‌های اصلی کنترل شده و در امتداد یک شبکه بهم متصل شده از شکستگی‌ها فرعی کنترل شود. شکل ۵ خلاصه ساده شده‌ای از این مدل است.

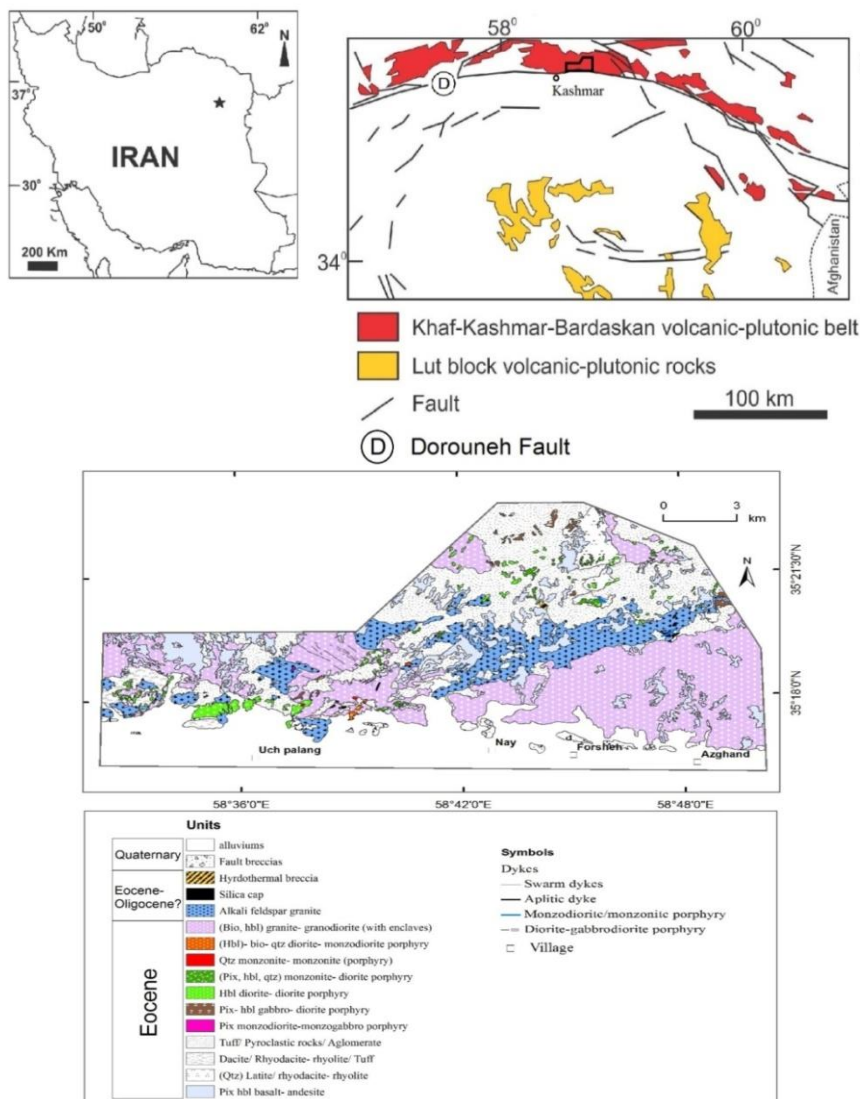
در این شکل، ذخایر اصلی پیش‌بینی شده در مناطق jog - intra (RES) واقع شده‌اند. مکان‌های احتمالی کانی‌سازی منطبق بر مناطق بالاترین جریان محلول (Main fluid sinks) است. براساس این مدل انطباق‌های خوب بین نواحی پیش‌بینی شده برای داشتن بیشترین مقدار محلول در میان جریان از این مطالعه فتوالاستیک و مکان‌های ذخایر معدنی هیدروترمال در استرالیا (Haris, Vearncombe et al. 1989, 1987 و Clark et al. 1998) وجود دارد.

مطالعه توموگرافی لرزه‌ای (پرتونگاری لرزه‌ای) از jog منطقه Brawley - Salton Sea کالیفرنیا توسط Lui - Ho و همکاران (۱۹۸۸) نشان می‌دهد که مکان (شکل ۵) بیشترین افت را در سیگنال لرزه‌ای در اعماق ۴ تا ۱۲ کیلومتری نشان می‌دهد. آنها علت این افت را ماگمایی می‌دانند که در حال حاضر درون پوسته جریان دارد.

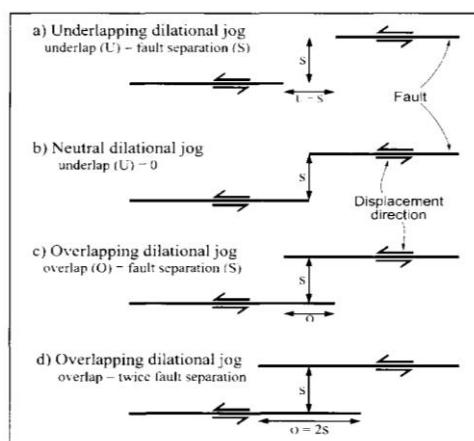
### مهاجرت محلول، دگرسانی و کانی‌سازی در منطقه کاشمر

گسل درونه دارای روند کلی امتدادلغز چپگرد است (Jackson et al., 1995). راستگرد بودن گسل تکنار و چپگرد بودن گسل درونه سبب رخداد یک سیستم زون برشی ساده و ساختارهای ناشی از آن در این منطقه شده است (Muller and Walter, 1983). در شکل ۶، نحوه عملکرد دو گسل اصلی درونه و تکنار در محدوده مطالعاتی کاشمر، به همراه بیضوی تنش اعمال شده بر روی آن و جهات تنش‌های فشاری (۵۱) و کششی (۵۲) و نحوه جایجایی در شکستگی‌های ایجاد شده بر اثر حرکت امتدادلغز نشان داده شده است. براین اساس راستای محور ۵۱ شمال‌شرقی - جنوب‌غربی تعیین شده است.

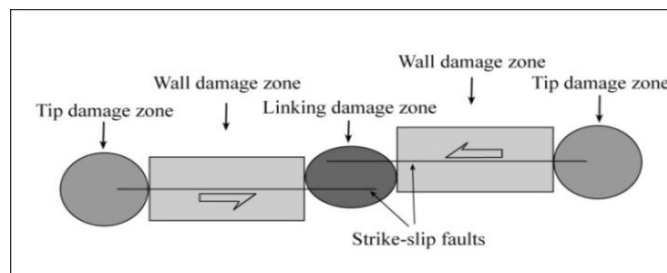
بطور کلی هرچه واحدهای سنگی در یک ناحیه شکننا استحکام فیزیکی بالاتری داشته باشند، شکستگی‌های ساختاری شامل گسل‌ها (Faults) و درزه‌ها (Joints) با سهولت و جزئیات بیشتری قابل مشاهده و برداشت هستند (Solomon and Ghebreab, 2006). در محدوده مطالعاتی به دلیل حجم بالای توده‌های نفوذی و آتشفشانی، شکستگی‌ها بصورت منظم و مشخص قابل تشخیص‌اند. با افزودن کیفیت تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7+ از طریق اضافه کردن تصویر ماهواره‌ای IRS به عنوان باند پن کروماتیک (تفکیک مکانی ۵ متر) و نیز استفاده از تصاویر کیفیت بالایی google earth، نقشه گسل‌ها و شکستگی‌های اصلی منطقه تهیه شد (شکل ۷). علاوه بر این برداشت‌های ساختاری صحرایی



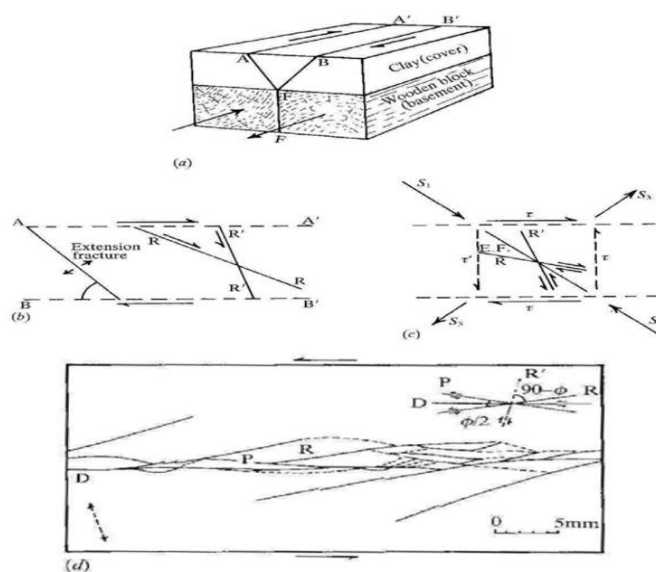
شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی در ایران، کمربند خواف - کاشمر - بردسکن و نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (الماسی، ۱۳۹۳).



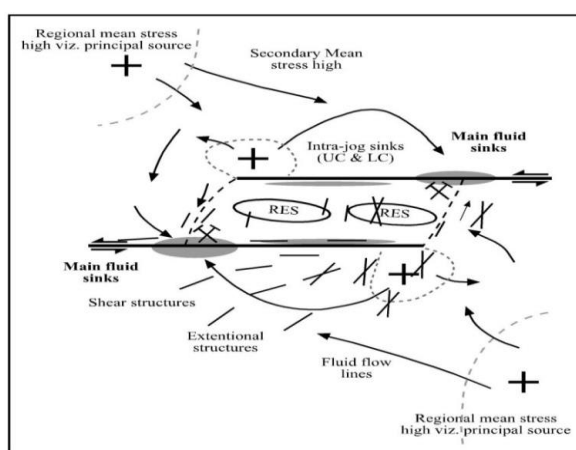
شکل ۲. (a). (b). (c). (d). یک مدل ساده از یک jog اتساعی در حال رشد (Connolly and Cosgrove, 1999). عرض jog (S) ثابت است و دو گسل تعریف کننده jog تا اندازه‌ای حرکت می‌کنند که jog از: (a) آرایش ناهم پوشان، جاییکه نوک‌های گسل هم پوشانی ندارد؛ (b) از طریق هندسه خنثی؛ تا آرایش‌های هم پوشان (c) و (d) رشد کند.



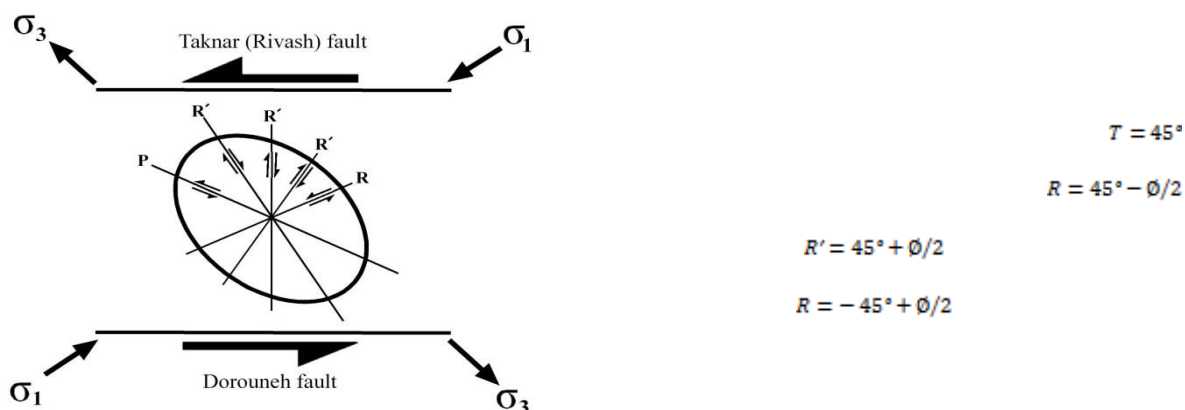
شکل ۳. رویداد برش امتدادلغز و ایجاد مناطق آسیب‌پذیر (Damage zones) در نقاط انتهایی گسل (Tip fault) و فضای هم‌پوشان گسلی (Linking fault یا dilation jog) (Connolly and Cosgrove, 1999).



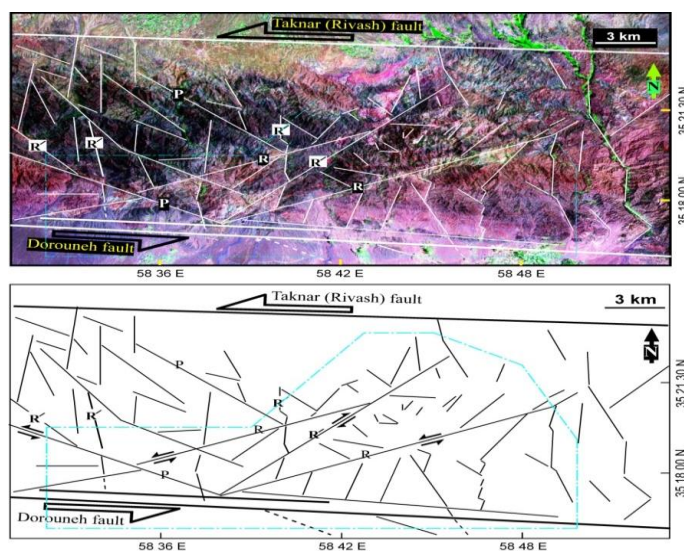
شکل ۴. (a) مدل آزمایشگاهی (Vearncombe et al., 1989) که نشان‌دهنده دگرشکلی در سنگ‌های پوششی به علت حرکت گسل امتداد لغز پی‌سنگی است. (b) نوع شکستگی‌های (کششی یا برشی) توسعه یافته در زون برشی. (c) تفسیر سیستم برشی که شکستگی‌ها را در شکل b ایجاد کرده است. (d) اصلاحات فنی (Tchalenko and Braud, 1974) برای ناپیوستگی‌های برشی که به علت برش یکنواخت، در یک لایه رس، در جهت D تشکیل شده‌اند: برش‌های ریدل (R and R'), Riedel shears. تراستی (Tchalenko, P)، و ساختارهای تشکیل شده به علت تمرکز تنش در لبه جعبه برش (Connolly and Cosgrove, 1999).



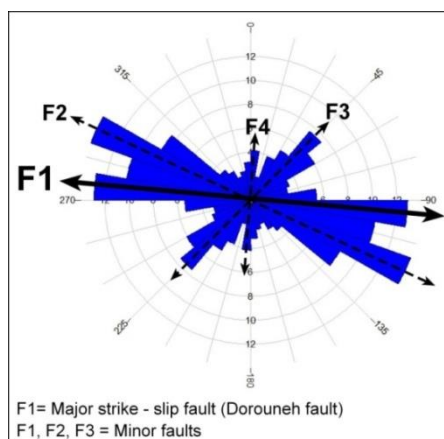
شکل ۵. نمودار خلاصه برای نشان دادن جریان محلول درون و اطراف یک jog اتساعی با نیروی ثابت (Connolly and Cosgrove, 1999). ذخایر اصلی پیش‌بینی شده در مناطق jog - intra (RES) اند. مکان‌های احتمالی کانی‌سازی منطبق بر مناطق با بالاترین جریان محلول (Main fluid sinks) است. UC و LC به ترتیب مناطق محصور بالاتر و پایین‌ترند که محلول کمی در آنها جریان دارد.



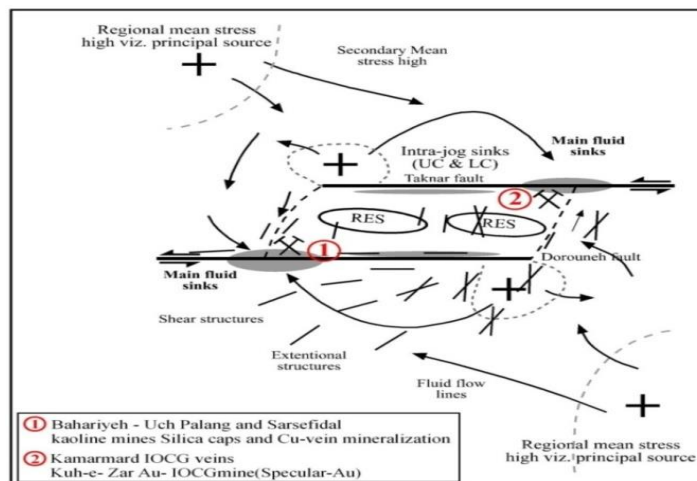
شکل ۶. رخداد برش ساده چپگرد در منطقه کاشمر در اثر حرکت امتدادلفز گسل‌های درونه و تکنار. با مقایسه با مطالعات ریدل، شکستگی‌های نوع R و P با زاویه کم و موافق با جهت گسل درونه و شکستگی‌های نوع R' با زاویه زیاد و مخالف با جهت حرکت درونه در محدوده مطالعاتی رخ داده است (کشش = T).



شکل ۷. ترسیم گسل‌ها و شکستگی‌های اصلی محدوده مطالعاتی با تلفیق تصاویر ماهواره‌ای Landsat ۷+ و IRS و نیز تصاویر با کیفیت بالای Google earth و مطالعات صحرایی.



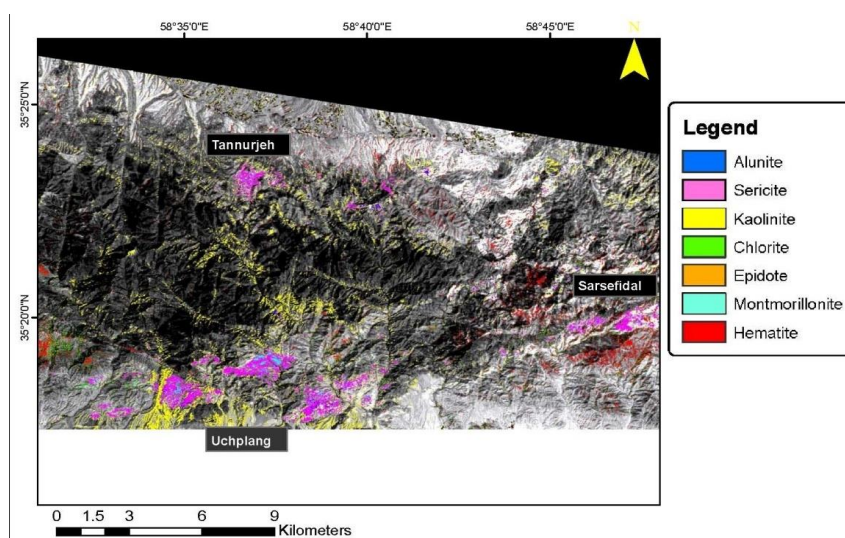
شکل ۸. نمودار گل‌سرخ‌ی برای گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه کاشمر. (F1) گسل اصلی درونه و F2,3,4 روند گسل‌های فرعی است که به ترتیب معادل روند شکستگی‌های ریدل نوع P, R و R' اند.



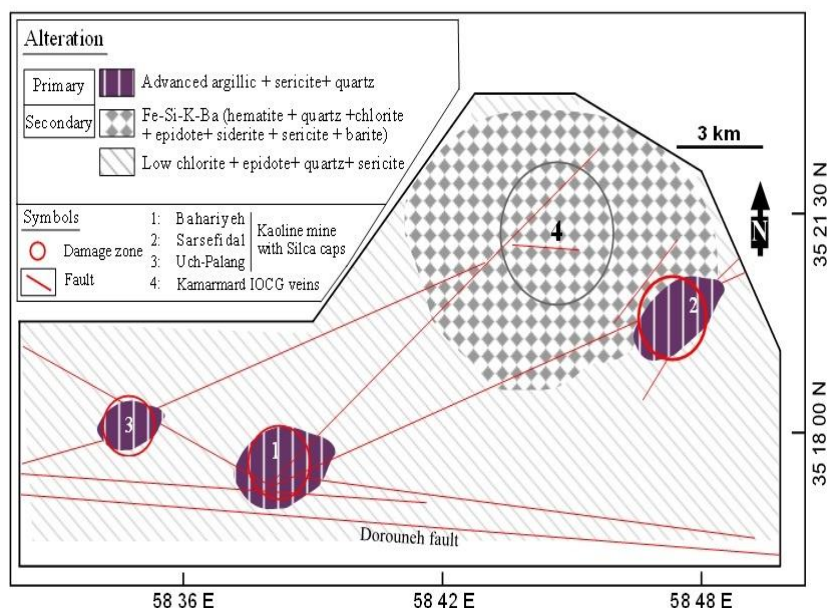
شکل ۹. تعمیم مدل Connolly و Cosgrove برای مهاجرت محلول کانه‌دار به رویداد ساختاری - ماگمایی - گرمایی منطقه کاشمر (الماسی، ۱۳۹۳). پیش‌بینی کانی‌سازی در محل به تله افتادن محلول گرمایی با بالاترین جریان محلول سراسری (main fluid sink) و در منطقه jog - intra (RES) است. در منطقه کاشمر مناطق بهاریه، اوچ پلنگ، سرسفیدال و کمرمرد با دگرسانی و کانی‌سازی بر این نقاط منطبق‌اند. برای توضیحات به متن مراجعه شود.

سرسیتی اولیه توسط رگچه‌های اسپکیولاریت - کوارتز در غرب اوچ پلنگ است. کانی اکسید آهن غالب هماتیت نوع اسپکیولاریت است، اما دانه‌های منفرد مگنتیت بصورت افشان نیز دیده می‌شود. مظلومی‌بجستانی (۱۳۸۷) با مطالعه دگرسانی‌های منطقه کوه زر در شمال شرق محدوده مطالعاتی کمرمرد، کلریت را از نوع رپیدولیت (کلریت غنی از آهن) معرفی کرده است. میزان سرسیت کم است. در توف‌های جنوب معدن کائولن اوچ پلنگ که در کنتاکت گسل درونه هستند، دگرسانی کربناتی - سیلیسی نسبتاً شدیدی دیده می‌شود. در مجاورت گسل درونه و بموازات شکستگی‌های ریدل R و P، شکستگی‌های سنگ بطور ضعیفی با تورمالین  $\pm$  اکسید آهن پر شده‌اند (شکل h.۱۲). مطالعات قبلی در منطقه سرسفیدال (مظلومی، ۱۳۸۷)، تورمالین منطقه را از نوع دومرتیریت ( $[Al_7(BO_3)(SiO_4)_3O_3]$ ) معرفی کرده است.

تمرکز دگرسانی تأخیری Si - Fe - Ca (کربناتی - اکسید آهن - سیلیسی - اپیدوتی - کلریتی - سرسیتی) در منطقه کمرمرد است که بطور ضعیف کل منطقه را نیز پوشش داده است. تصویر ماهواره‌ای دگرسانی هماتیته را بخوبی و تا حدی کلریتی و اپیدوتی را در منطقه کمرمرد نشان می‌دهد (شکل ۱۰). مهمترین اشکال این دگرسانی بصورت جانیشینی پلاژیوکلاز با اکسید آهن و کربنات، تجمعات اکسید آهن - کربنات - کوارتز در زمینه سنگ، کلریتی و کربناتی شدن کانی‌های فرومنیزین، لخته‌های کلریتی در زمینه سنگ، کربنات + کلریت + کوارتز، پر شدن حفرات آمیگدال (حفره‌های بادامی شکل) با اپیدوت و رگچه‌های اکسید آهن + کربنات + کوارتز، اکسید آهن + کربنات، کوارتز + اکسید آهن و کربنات است (شکل C.۱۲ تا g). برش گسلی - گرمایی کانه‌دار با قطعات کوارتز زاویه‌دار با این مجموعه دگرسانی دیده می‌شود (شکل ۱۵). E و f. از شواهدی تأخیری بودن این دگرسانی قطع شدن دگرسانی



شکل ۱۰. تصویر پردازش شده ماهواره Aster (کریم پور، ۱۳۸۴). مناطق بهاریه - اوچ پلنگ و سرسفیدال دارای بیشترین شدت دگرسانی‌اند محل دگرسانی‌ها با مناطق پیش‌بینی شده در شکل ۹ همخوانی کامل دارد.

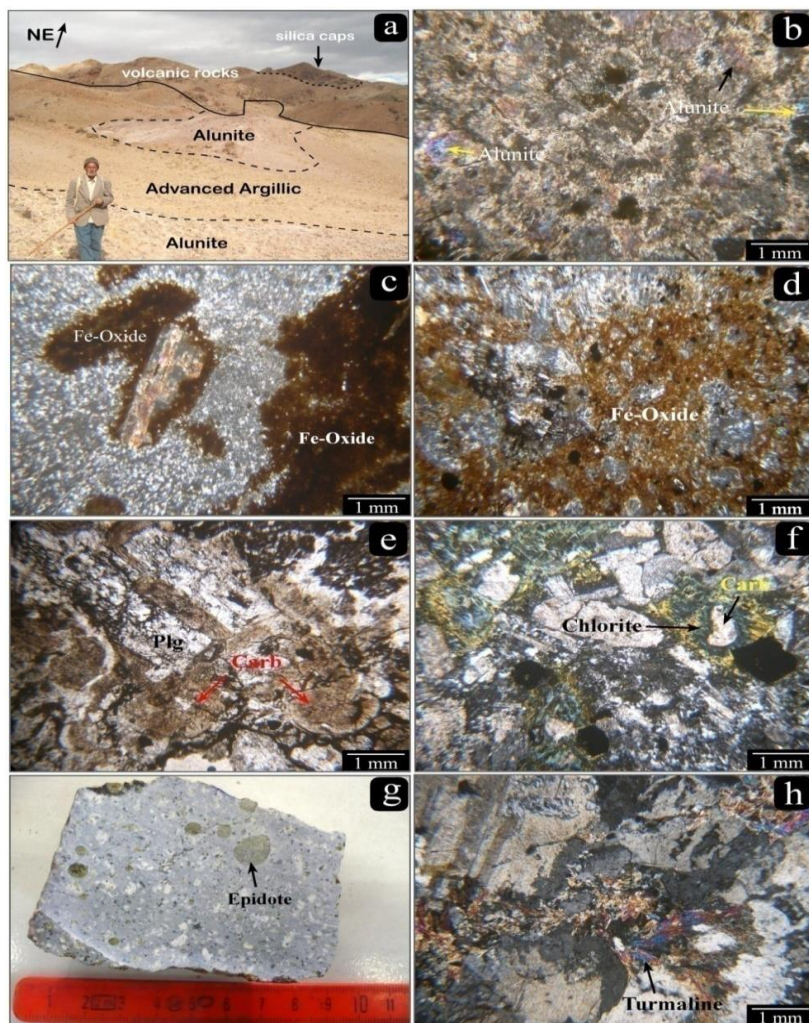


شکل ۱۱. نقشه دگرسانی ۱:۲۰۰۰۰ شمال شرق کاشمر (الماسی، ۱۳۹۳). محلول گرمابی سبب دگرسانی  $K - Si - Ba - Fe$  (اکسیدهای آهن و تیتان - کوارتز - کلریت - باریت  $\pm$  سرسیت  $\pm$  اپیدوت) و دگرسانی  $Si - Ti - Fe - Ca$  (کلسیک (کلریت - اپیدوت - کلسیت) - اکسیدهای آهن و تیتان + تیتانیت - کوارتز) در کمرمرد و دگرسانی  $Si - K$  (آرژلیک پیشرفته + سرسیت + کوارتز) در بهاریه، اوچ پلنگ و سرسفیدال شده است.

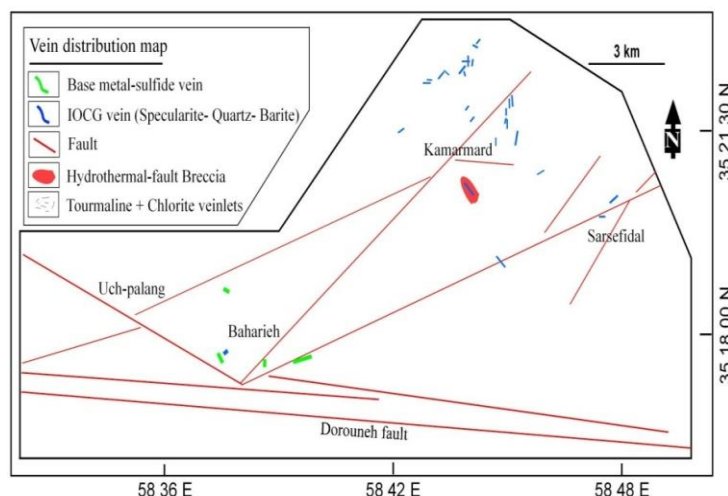
جدول ۱. نتایج تجزیه XRD نمونه‌های چاهک‌های حفر شده در زون‌های آرژلیک (کاتولن) منطقه شمال شرق کاشمر.

No.	Borehole code	X	Y	Minerals	Alteration
۱	۸	۶۶۳۰۴۴	۳۹۱۱۱۱۴	Qtz - Mont - Kao - Mus - Alb	Argillic - Sericitic
۲	۴۳۱	۶۶۳۱۷۷	۳۹۱۲۱۳۵	Qtz - Alb - Kao - Mus	Argillic - Sericitic
۳	۴۱	۶۶۳۱۸۹	۳۹۱۱۴۲۷	Qtz - Alb - Mus	Sericitic
۴	۹	۶۶۲۷۳۶	۳۹۱۱۳۵۷	Qtz - Alb - Mus - Cal - Pyr - Kao	Advance argillic - Sericitic
۵	۱۰	۶۶۳۰۱۸	۳۹۱۱۱۱۴	Qtz - Dias - Kao - Pyr - Mus	Advance argillic - Sericitic
۶	۱۸	۶۶۲۷۶۲	۳۹۱۱۲۹۵	Qtz - Mus - Kao - Alb	Argillic - Sericitic
۷	۴۲۷	۶۶۳۱۵۲	۳۹۱۲۱۰۴	Qtz - Kao - Pyr - Mus	Advance argillic - Sericitic
۸	۴۲۴	۶۶۳۱۵۲	۳۹۱۲۰۷۳	Qtz - Kao - Pyr - Mus	Advance argillic - Sericitic
۹	۷۱	۶۶۳۰۱۵	۳۹۱۱۲۷۰	Qtz - Kao - Pyr - Mus	Advance argillic - Sericitic
۱۰	۷	۶۶۲۹۹۳	۳۹۱۱۱۱۴	Qtz - Mus - Kao - Pyr	Advance argillic - Sericitic
۱۱	۲۹	۶۶۳۱۲۰	۳۹۱۱۰۸۶	Qtz - Kao - Pyr - Mus - Alb	Advance argillic - Sericitic
۱۲	۱	۶۶۲۷۱۲	۳۹۱۱۲۹۵	Qtz - Kao - Pyr - Mus	Advance argillic - Sericitic
۱۳	۱۷	۶۶۲۷۸۸	۳۹۱۱۲۹۵	Qtz - Kao - Pyr - Mus	Advance argillic - Sericitic
۱۴	۲۲	۶۶۲۸۲۲	۳۹۱۰۷۷۳	Qtz - Mus - Kao - Pyr - Cal	Advance argillic - Sericitic
۱۵	۲۶	۶۶۲۶۹۴	۳۹۱۰۸۹۴	Qtz - Mus	Sericitic
۱۶	۷۰	۶۶۳۰۴۰	۳۹۱۱۲۷۰	Qtz - Pyr - Dias - Mus	Advance argillic - Sericitic
۱۷	۱۳	۶۶۲۹۱۶	۳۹۱۱۱۴۴	Qtz - Pyr - Mus	Advance argillic - Sericitic
۱۸	۱۴	۶۶۲۹۴۲	۳۹۱۱۱۱۴	Qtz - Pyr - Mus	Advance argillic - Sericitic
۱۹	۲۸	۶۶۲۵۴۱	۳۹۱۰۹۵۲	Qtz - Pyr - Mus	Advance argillic - Sericitic





شکل ۱۲. (a) تصویر کلاهک‌های سیلیسی، زون آرژلیک پیشرفته و زون آلونیت ثانویه (حاصل از هوازدگی) در دره جنوب‌غربی معدن کانولن بهاریه؛ (b) مقطع میکروسکوپی دگرسانی آرژلیک پیشرفته و آلونیت ثانویه، سنگ اولیه لیتیک کریستال توف بوده است. (c و d) جانشینی اکسید آهن بجای پلاژیوکلاز و زمینه سنگ داسیت و توف (e و f) دگرسانی کربنات و کلریت در توف و هورنبلند دیوریت؛ (g) دگرسانی اپیدوتی با پرشدن حفرات آمیگدالوئید در گابرو؛ (h) تورمالین نوع دمورتیریت در شکستگی‌های سنگ آکالی-گرانیت.



شکل ۱۳. نقشه پراکندگی رگه‌های کانهدار (رگه‌های فلزات پایه و رگه‌های IOCG) در شمال شرق کاشمر (الماسی، ۱۳۹۳). رگه‌های فلزات پایه در بهاریه و نزدیک به گسل درونه ولی رگه‌های IOCG در کمرمرد و کمی در سرسفیدال متمرکزند.

کانی‌سازی در شمال شرق کاشمر بصورت رگه‌های سیلیسی کانه‌دار است. همه واحدهای سنگی توسط این رگه‌ها قطع شده‌اند. با استفاده از داده‌های برداشت صحرایی (امتداد و شیب رگه‌ها) و مطالعات مینرالوگرافی مقاطع نازک صیقلی، نوع کانی‌های فلزی و باطله و پاراژن‌ها تعیین شد. تمرکز اصلی رگه‌ها در کمرمرد است (شکل ۱۳).

براساس مطالعات صحرایی و پاراژنز کانی‌ها، رگه‌ها به دو دسته قابل تقسیم‌اند: رگه‌های سولفید فلزات پایه (سولفید عناصر پایه) و رگه‌های IOCG (اسپیکولاریت ± طلا ± فلزات پایه). نمودار گل سرخی رگه‌های کانه‌دار نشان دهنده چندین جهت مختلف برای رگه‌هاست (شکل ۱۴). جهات S - N و SW - NE و SE - NW مهمترین تراکم جهت‌ها را برای روند رگه‌ها هستند. رگه‌های سولفیدی فلزات پایه صرفاً در شکستگی‌های ریدل نوع R و P، اما رگه‌های IOCG تقریباً در انواع شکستگی‌های ریدل نوع R، P و R' و همه جهات رخ داده‌اند. نحوه رخداد رگه‌ها نشان می‌دهد که اولاً کانی‌سازی در مراحل تکامل تکتونیک منطقه، ثانیاً طی تکامل تکنونیک منطقه، تشکیل رگه‌های سولفیدی مقدم بر رگه‌های IOCG بوده است. رگه‌های سولفید فلزات پایه در منطقه بهاریه بطور مشخص بر روی شاخه‌های اصلی شکستگی‌های ریدل نوع R و P گسل درونه متمرکز شده‌اند و در کمرمرد هیچ اثری از آنها نیست (شکل ۱۵. a و b). بر عکس، رگه‌های IOCG در کمرمرد متمرکزند (شکل ۱۵. d تا h) و تا حدی در سرسفيدال متمرکزند و بجز یک رگه IOCG بسیار کوچک در شمال غرب معدن بهاریه (شکل ۱۵. c)، اثری از آنها در این منطقه دیده نمی‌شود. آثار استخراجی قدیمی (شدادی) بر روی هر دو سری رگه‌ها دیده می‌شود (اشکال ۱۵. a و f). کانی‌سازی رگه‌های IOCG در غرب قله کمرمرد بصورت برش گرمابی - گسلی پرشیب است که کانی‌های فلزی شامل عمدتاً کالکوپیریت، گالن و پیریت است. سنگ میزبان و توف داسیتی است. طول زون برشی ۲۰۰ متر و عرض آن از ۲/۵ تا ۱۰ متر متغییر است. امتداد و شیب آن به ترتیب N15W و 85NE است. قطعات برش غالباً از کوارتز زاویه‌دار با بازه اندازه از ۵ - ۰/۵ سانتی‌متر تشکیل شده که در زمینه‌ای از کوارتز ریزدانه و کربنات با اکسید آهن قرار دارند. قطعات برشی در بخش‌های مختلف رگه شامل توف داسیتی، داسیت، بازالت و مونزودوپیریت نیز هست. بافت کانی‌سازی رگه‌های پرآکنده در متن است. در این زون به وفور می‌توان پیریت ریزدانه را به صورت پراکنده در متن و رگه‌های بسیار نازک مشاهده نمود.

براساس مطالعه مقاطع نازک صیقلی و تعیین توالی پاراژنزی (اشکال ۱۶ و ۱۷)، رگه‌های سولفید فلزات پایه به دو زیرگروه و رگه‌های IOCG به سه زیرگروه قابل تقسیم‌اند. در رگه‌های سولفید فلزات پایه، کانی‌های فلزی عمدتاً کالکوپیریت، پیریت و گالن هستند (اشکال ۱۶ و ۱۷. a و b). اکسیدهای ثانویه هماتیت و لیمونیت و کربنات‌های مالاکیت و آزوریت فراوان هستند. زیرگروه I شامل کوارتز - کالکوپیریت ± پیریت ± کلریت ± اسفالریت ± گالن و زیرگروه II شامل گالن ± کالکوپیریت ± کلریت ± پیریت ± کلسیت هستند. کانی‌های فلزی تشکیل‌دهنده رگه‌های IOCG به ترتیب فراوانی عبارتند از: اسپیکولاریت، گالن، کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت (اشکال ۱۶ و ۱۷. c تا g). کانی‌های حاصل از هوازدگی لیمونیت، هماتیت، مالاکیت و آزوریت و کانی‌های باطله به ترتیب شامل

کوارتز، باریت، کلریت، کمی سرسیت و کربنات آهن‌دار (سیدریت) و کلسیم (کلسیت) هستند. وجود کانی‌های اسپیکولاریت و کالکوپیریت، به ترتیب دلالت بر شرایط فرا اکسایش و فقیر از سولفور محلول گرمابی دارد. دگرسانی در مناطق اطراف این رگه‌ها عمدتاً سیلیسی، اکسید آهن و اپیدوتی است. دگرسانی سیلیسی با کانی‌سازی همراه بوده و بر زون‌های گسلی منطبق است. در رگه‌های کانی‌سازی، سیلیس بصورت کوارتز ریزدانه و غالباً همراه با اسپیکولاریت و گالن یافت می‌شود. دگرسانی‌های کربناتی، کلریتی و سرسیتی نیز بطور ضعیف‌تر رخ داده‌اند. رگه‌های IOCG دارای سه زیرگروه‌اند.

زیرگروه I (کوارتز - پیریت - کالکوپیریت - گالن ± اسفالریت ± اسپیکولاریت ± مگنتیت ± سایر کانی‌ها):

کانی‌های فلزی اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسپیکولاریت و مگنتیت هستند. مگنتیت به همراه اسپیکولاریت بافت اکسولوشن و کلوپورم را تشکیل داده‌اند. سوزن‌های اسپیکولاریت با بافت جعبه‌ای و استوک ورک دیده می‌شود. اکسیداسیون سبب شده تا کوولیت و کالکوسیت در حاشیه کالکوپیریت و در شکستگی‌های حاصل از کالکوپیریت‌های خرد شده توسعه یابند. اکسیدهای ثانویه آهن و مس مانند هماتیت و لیمونیت و کربنات‌های مس مانند مالاکیت، آزوریت نیز وجود دارند. برش گرمابی - گسلی کمرمرد دارای این پاراژنز است.

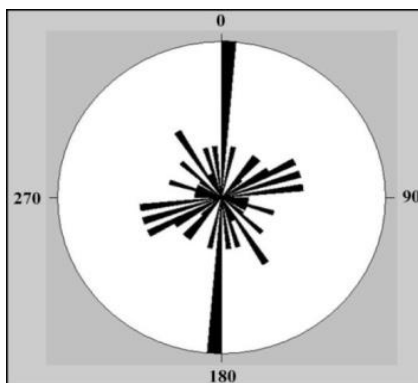
زیرگروه II (کوارتز - گالن - پیریت ± اسفالریت ± کالکوپیریت ± مگنتیت ± باریت ± سیدریت و سایر کانی‌ها):

تمرکز این رگه‌ها در شمال غرب کمرمرد است. فراوانترین رگه‌ها در کل منطقه همین زیرگروه هستند. در اینجا رگه‌های بزرگ و کوچک با بیشترین طول ۱۲۰ متر و حداکثر عرض ۲ متر دیده می‌شوند.

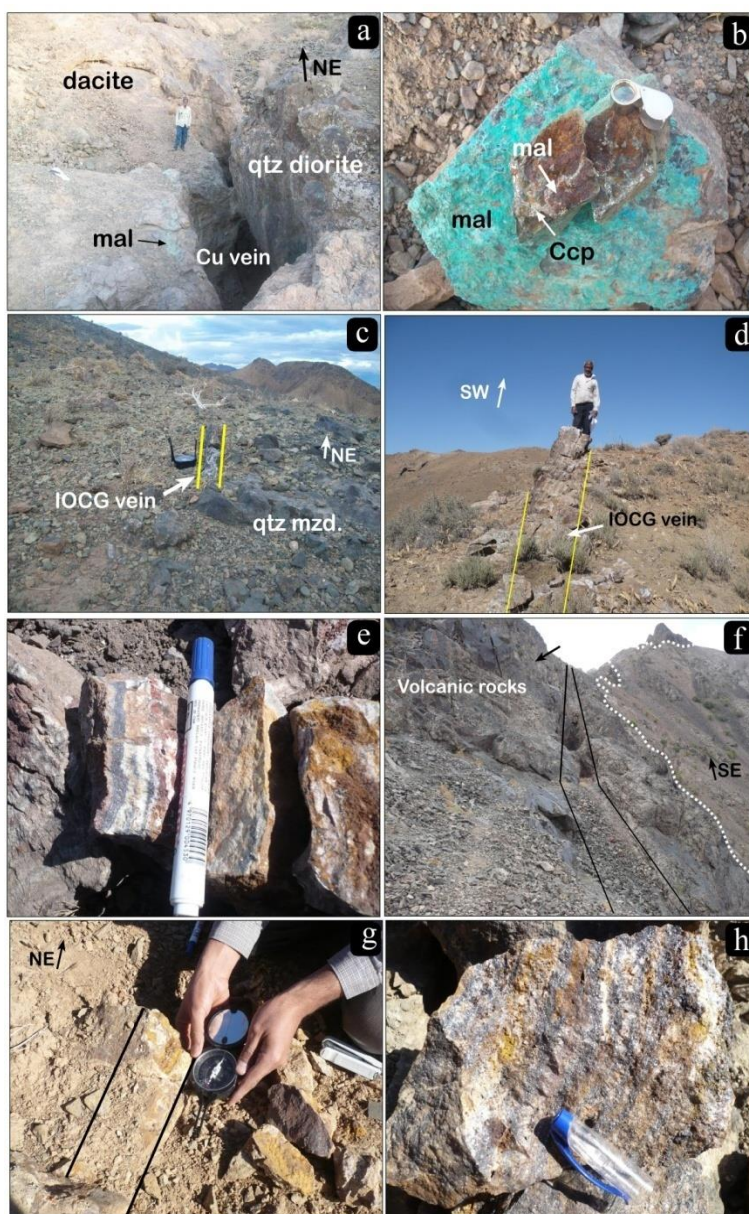
فراوانی گالن در رگه‌ها بسیار بیشتر از کانی‌های فلزی دیگر است. در نمونه دستی گالن براحتی دیده می‌شود. کوارتز و باریت دانه درشت تیغه‌ای فراوانترین کانی باطله محسوب می‌شوند. در تصاویر میکروسکوپی اطراف و شکستگی‌های دانه‌های پیریت را گالن فرا گرفته است. تیغه‌های مثلثی درشت گالن براحتی قابل تشخیص است. این پاراژنز نشان دهنده افزایش سولفور محلول گرمابی نسبت به زیرگروه I است.

زیرگروه III (کوارتز - اسپیکولاریت ± کالکوپیریت ± گالن ± اسفالریت ± مگنتیت ± باریت ± سیدریت):

این رگه‌ها در مرکز منطقه کمرمرد متمرکزند و جهت اصلی آنها N - S است. طول رگه‌ها تا ۹۰ و عرض آنها به ۰/۵ متر می‌رسد. اسپیکولاریت و کانی‌های آهن و مس (بصورت لیمونیت و مالاکیت) در رگه‌ها مشهود است. فراوانترین کانی این رگه‌ها اسپیکولاریت است. فراوانی اکسید آهن حاصل از هوازدگی (لیمونیت و هماتیت) سبب رنگ زرد و قرمز رگه‌ها شده است. بر طبق مطالعه مقاطع نازک صیقلی رگه‌های IOCG، توالی پاراژنزی برای کانی‌های این رگه‌ها تعیین شد (شکل ۲۵). رگه‌های مربوط به پاراژن‌های زیرگروه II و III در منطقه فراوان‌ترند.



شکل ۱۴. نمودار گل سرخی روند رگه‌های کانده دار در منطقه شمال شرق کاشمر.



شکل ۱۵. رگه‌های سیلیسی کانده دار نوع فلزات پایه و نوع IOCG در منطقه کاشمر (a و b) رگه سولفید فلزات پایه با آثار استخراجی قدیمی در شرق معدن بهاریه که بر روی شکستگی‌های ریدل نوع P رخ داده است (c) تنها رخنمون رگه IOCG در شمال غرب معدن بهاریه (d و e) رگه‌های سیلیسی گالن‌دار در شمال غرب منطقه کمرمرد (f) رگه اصلی برش گرمایی - گسلی در قله کمرمرد (g و h) رگه‌های غنی از اسپیکولاریت در مرکز منطقه کمرمرد.

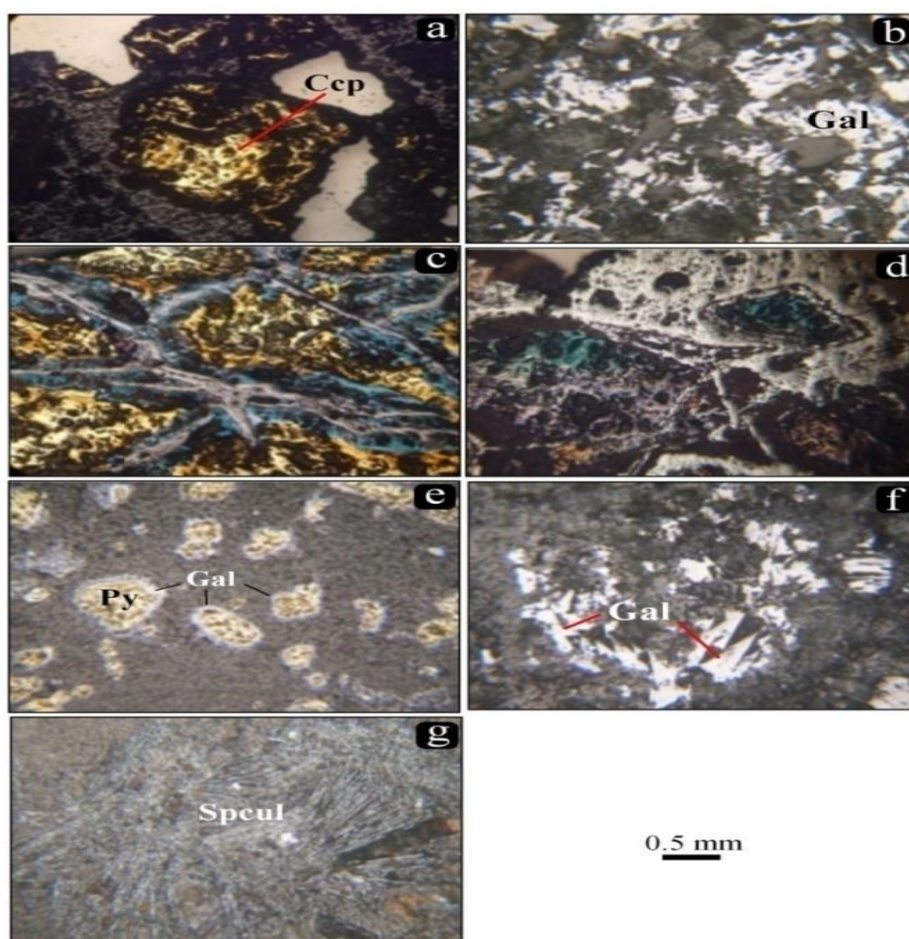
Paragenetic sequence of Base-metal sulfide veins

Mineral	Hypogene		Oxidized zone
	Early	Late	
Quartz			
Chalcopyrite			
Pyrite			
Sphalerite		-----	
Galena		_____	
Chlorite			
Malachite			
Azurite			
Limonite			

Paragenetic sequence of IOCG veins

Mineral	Hypogene		Oxidized zone
	Early	Late	
Quartz	-----	-----	
Barite	-----	-----	
Chalcopyrite	-----	-----	
Pyrite	-----	-----	
Magnetite	-----	-----	
Specularite	-----	-----	
Sphalerite		-----	
Galena		-----	
Chalcocite			-----
Covelite			-----
Siderite	-----	-----	
Calcite	-----	-----	
Malachite			
Hematite			
Geothite			
Limonite			

شکل ۱۶. توالی پاراژنی برای کانی‌های فلزی و غیرفلزی رگه‌های IOCG.



شکل ۱۷. تصاویر مقاطع نازک صیقلی رگه‌های IOCG. (a) کالکوپیریت - کالکوسیت - کوولیت در رگچه‌های زیرگروه I. (b و c) کالکوپیریت - کالکوسیت - کوولیت - پیریت در رگچه‌های زیرگروه I اسپکیولاریت در رگچه‌های زیرگروه I. (d) اسپکیولاریت در رگچه‌های زیرگروه I. (e و f و g) پیریت و گالن در رگچه‌های زیرگروه II. (h) اسپکیولاریت در رگچه‌های زیرگروه III. (i) کالکوپیریت - اسفالریت و اکسید آهن و کربنات و مس ثانویه در رگچه‌های زیرگروه II.

بر اساس نتایج تجزیه تعداد ۲۸ نمونه کانی سازی از رگه‌ها (جدول ۲)، مقادیر مس، سرب و روی در هر دو نوع رگه بی‌هنجاری داشته اما در رگه‌های IOCG قابل توجه‌تر از رگه‌های سولفید فلزات پایه است. مقادیر در دو سری رگه  $< 1$  درصد است. مقادیر غالباً بر رگه‌های گروه ۱ پارائزنی رگه‌های IOCG متمرکز است. آنومالی قابل توجه طلا فقط در رگه‌های IOCG دیده می‌شود. این مسئله وابستگی طلا به پارائزنی اسپیکولاریت + سولفیدهای مس، سرب و روی را نشان می‌دهد. احتمالاً طلا بصورت هم‌رشدی با کالکوپریت همراه با اسپیکولار است. در کانسار کوه زر در شمال شرق محدوده کمرمرد طلا با گروه اسپیکولاریت و در درون کالکوپریت قرار دارد (مظلومی بجزستانی، ۱۳۸۷). در رگه‌های IOCG بیشترین مقدار طلا تا ۱/۵ درصد است. بیشترین مقادیر فلزات پایه و طلا مربوط به برش گرمایی - گسلی در قله کمرمرد است. مقدار منگنز تقریباً در همه در رگه‌ها خصوصاً در رگه‌های IOCG و مقدار باریم در رگه‌های IOCG بالاست. مقدار منگنز بالای در هر دو سری از رگه‌ها، شرایط اکسیداسیون بالای محلول ماگمایی را نشان می‌دهد. مقادیر نسبتاً زیاد باریم (بصورت باریت دانه درشت تیغه‌ای در رگه‌ها) و آهن اسپیکولاریت نیز در رگه‌های IOCG، بوضوح بر شرایط اکسیدان‌تر محلول در ایجاد این رگه‌ها دلالت دارد. بااستثنای منگنز، مقادیر این عناصر در رگه‌های سولفید فلزات پایه کم است. مقدار کادمیوم تابع مقدار روی بوده و مولیبدن آنومالی ضعیفی با افزایش مس نشان می‌دهد. آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، تلور و سلنیوم رابطه خاصی با طلا ندارند. سایر عناصر به دلیل صفر یا ناچیز بودن مقدارشان در اینجا ارائه نشده است. آنومالی ناچیز لانتان می‌تواند به علت احتمال وجود کانی‌هایی چون آلانیت در رگه‌ها باشد. در منطقه کوه زر، وجود آلانیت توسط مظلومی - بجزستانی (۱۳۸۷) گزارش شده است. مقدار لانتان در رگه‌های IOCG بخش‌های جنوبی کمرمرد و رگه‌های سولفید فلزات پایه بهاریه افزایش بیشتری را نشان می‌دهد. مقدار کلسیم می‌تواند به دلیل وجود اندک سیدریت و کلسیت باشد.

نتایج تجزیه در محیط GIS به نقشه‌های ژئوشیمی رگه‌ها (پراکندگی عناصر در رگه‌های منطقه) تبدیل شد. اشکال ۱۸ تا ۲۱ پراکندگی عناصر مس، طلا و سرب را در رگه‌های سیلیسی کانه‌دار محدوده شمال شرق کاشمر نشان می‌دهند. بر طبق این نقشه‌ها، بیشترین مقادیر مس در رگه‌های سولفید فلزات پایه در بهاریه وجود دارد. مقادیر متوسطی از مس در رگه‌های IOCG شمال غرب کمرمرد نیز وجود دارد. مقادیر قابل توجه طلا در رگه‌های IOCG جنوب کمرمرد (برش هیدروترمالی) و مرکز آن وجود دارد. روی در رگه‌های IOCG جنوب کمرمرد بی‌هنجاری خوبی نشان می‌دهد، اما در رگه‌های فلزات پایه بهاریه غلظت خوبی ندارد. غلظت سرب در رگه‌های IOCG شمال غرب کمرمرد و در یک رگه سولفید فلزات پایه در شمال بهاریه بالاست. در رگه‌های سولفید فلزات پایه در بهاریه، با افزایش فاصله از خط گسل درونه از مقدار مس و روی کاسته و به میزان سرب افزوده می‌شود.

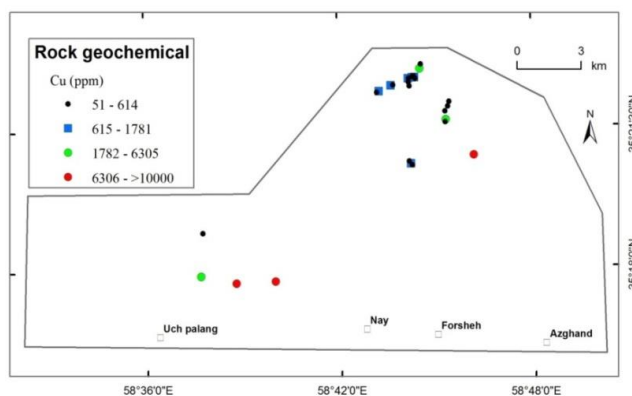
### مطالعات سیالات درگیر

به منظور مطالعات دماسنجی، ۱۴ نمونه کوارتز و بندرت باریت مرتبط با کانی‌های فلزی از رگه‌های سیلیسی کانه‌دار نوع IOCG و نوع سولفید فلزات پایه استفاده شد. از بین نمونه‌ها تنها ۱ نمونه مربوط به رگه‌های سولفید فلزات پایه بود. دماسنجی بر روی تعداد ۲۶۷ سیال

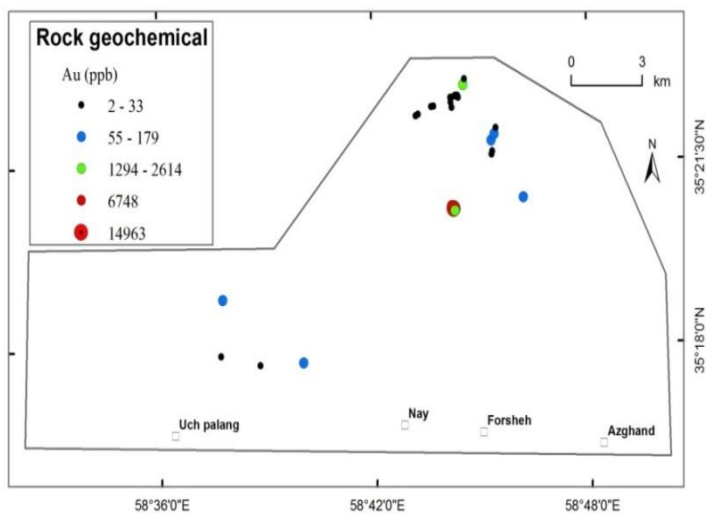
درگیر و شوری بر روی ۵۷ سیال درگیر انجام شد. براساس خصوصیات پتروگرافی سیالات درگیر، شکل سیالات درگیر از کروی و بیضوی تا کشیده و اندازه آنها کوچک است (شکل ۲۲). سیالات درگیر به صورت فازهای مایع و گاز (L+V)، مایع و گاز و اوپیک (L+V+O) و تک فازهای مایع (L) و گاز (V) دیده می‌شوند. سیالات درگیر دوفازی نوع L+V فراوانی بیشتری نسبت به سایر سیالات درگیر دارند. فاز دختر در سیالات اکسید آهن است. اندازه کانی اوپیک  $2 - 1 \mu\text{m}$  می‌باشد. بعضاً مایع غنی از آهن است. قطر حباب گاز  $2 - 1 \mu\text{m}$  و بعضاً حباب گاز تا چند میکرون می‌رسد. خلاصه نتایج مطالعات سیالات درگیر در رگه‌های سیلیسی کانه‌دار نوع IOCG و نوع سولفید فلزات پایه در جدول ۳ آورده شده است. کمینه و بیشینه دمای همگن شدن سیال برای رگه‌های IOCG به ترتیب ۲۴۵ و ۵۳۰ با میانگین ۳۸۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیشتر داده‌ها در بازه ۳۰۰ تا ۴۵۰ قرار دارند. تعداد دماهای پایین‌تر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد کم بوده و به رگه‌های IOCG زیرگروه II پارائزنی تعلق دارد. دماسنجی برای نمونه‌های تنها رگه (BM3) از رگه‌های سولفید فلزات پایه نشان دهنده کمینه و بیشینه دمای همگن شدن سیال به ترتیب ۳۰۷ و ۳۴۰ درجه سانتی‌گراد با میانگین ۳۲۱ درجه سانتی‌گراد است. این نتایج نشان دهنده میانگین دمای همگن شدن بیشتر و بازه دمایی وسیع‌تر برای رگه‌های IOCG نسبت به رگه‌های سولفید فلزات پایه است. هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن سیالات درگیر نشان دهنده بیشترین فراوانی در تغییرات دمایی ۳۰۰ تا ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۲۳). داده‌های انجماد، شوری و چگالی برای ۵۷ سیال درگیر رگه‌های سیلیسی کانه‌دار آمده است. تعداد ۸ مورد از داده‌ها مربوط به رگه سولفید فلزات پایه (نمونه BM3) و مابقی به رگه‌های IOCG تعلق دارند. نخستین دمای ذوب‌شدگی ( $T_{fm}$ ) در سیالات رگه - های IOCG بین ۷۸/۹ - تا ۷۳/۲ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۷۶/۲ - ، تعداد ۸) و برای رگه سولفید فلزات پایه بین ۸۶/۲ - تا ۴۹/۷ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۷۳/۸ - ، تعداد ۵۷) متغیر است. همانطور که گفته شد، نخستین دمای ذوب‌شدگی ( $T_{fm}$ ) رابطه مستقیمی با ترکیب نمک موجود در سیال گرمایی دارد (Sheppherd et al., 1985). از روی آن نخستین دمای ذوب‌شدگی ( $T_{fm}$ )، به نقطه یوتکتیک و از روی آن می‌توان نوع نمک را تشخیص داد. براین اساس، سیستم بدست آمده برای محلول گرمایی از نوع  $\text{CaCl}_2 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$  تعیین شد. دمای نهایی ذوب ( $T_m$ ) نیز مقدار شوری را مشخص می‌کند. مقدار  $T_m$  برای رگه‌های IOCG بین ۱۴/۲ - تا ۱۰/۲ درجه سانتی‌گراد متغیر (با میانگین ۱۲/۴ -) و برای رگه سولفید فلزات پایه بین ۱۳/۸ - تا ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر (با میانگین ۱۲/۵ -) است. براساس سیستم  $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$  (Bodnar, 1993)، مقدار شوری در سیالات رگه‌های IOCG بین ۱۴/۱۵ تا ۱۷/۹۶ درصد  $\text{NaCl}$  متغیر (میانگین ۱۶/۳۲) و برای سیالات رگه سولفید فلزات پایه بین ۱۵/۴۷ تا ۱۷/۶۱ متغیر (میانگین ۱۶/۴۱) است. مقدار چگالی سیالات درگیر نیز بر مبنای معادله Brown و Lamb (۱۹۸۹) برای سیالات رگه‌های IOCG بین ۰/۸۶ تا ۰/۹۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب و برای سیالات رگه سولفید فلزات پایه ۰/۸۷ تا ۰/۹۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است.

جدول ۲. نتایج تجزیه نمونه‌های رگه‌های سولفید فلزات پایه و IOCG در منطقه شمال شرق کاشمر (الماسی، ۱۳۹۳)

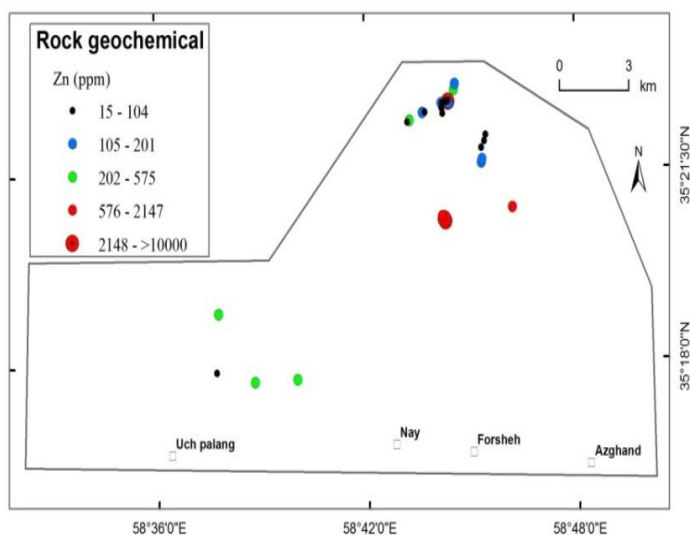
Sample	Cu (ppm)	Au (ppb)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ag (ppm)	Mo (ppm)	As (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Ba (ppm)
KM1	۴۷۹	۲۴	۴۸	۳۷	۰/۲	۶۰	۲۶	۷	۱۰۸۷	۷۵
KM3	۵۲	۵۵	۳۲	۵۷	۱/۲	۷۶	۲۷	۵	۳۰۳	۲۶۹
KM4	۶۱۴	۱۷۸	۱۲۲	۲۵	۲/۷	۳۰۸	۱۰۳	۸	۳۸۷	۴۷۵
KM6	۶۳۰۴	۳۳	۹۶۴	۱۳۰	۹/۲	۱۶۶	۸۴	۱۵	۱۴۲	۱۴۱
KM7	۵۱	۶	۱۷۲	۲۰۱	۰/۳	۸	۲	۶	۴۶۳۹	۱۰۵۵
KM10	۱۱۰	۱۶	۳۲۴	۱۶۴	۲	۱۶	۷۳	۸	۱۲۵۵	۱۴۸۳
KM11	۶۲۶۵	۱۲۹۵	۲۴	۵۷۵	۴	۹	۱۳۹	۳	۸۰۵	۴۹۱
KM12	۸۷	۵	۶۱۶۹	۹۵	۷/۴	۷	۶	۱	۶۴۵	۴۳۷
KM13	۱۷۸۱	۱۱	>۱۰۰۰۰	>۱۰۰۰۰	۴۹/۶	۴	۱۸۳	۱	۲۱۲	۵۸
KM14	۳۳۴	%	>۱۰۰۰۰	۱۵۲	۵/۷	۶	۸	۱	۴۰۹	۱۹۶
KM16	۴۲۰	۶	۲۲	۸۸	۰/۲	۱۲	۳	۱	۳۷۶	۲۲۸۳
KM17	۱۱۷۶	۱۸	۵۴	۶۳	۰/۳	۱۵	۱۰	۱	۲۴۸	۱۲۳۶
KM18	۹۵۵	۵	۸۷۷	۱۸۳	۵/۱	۱۷	۷	۳	۵۴۷	۲۲۸۳
KM19	۱۹۰	۱۰	۲۵	۱۵	۰/۲	۵	۳	۰	۵۵	۱۰۲۰
KM20	۲۲۷	۳	۷۰	۳۲	۰/۲	۱۷	۸	۱	۳۲۰	۲۵۸۶
KM21	۱۵۲	۳	۲۳۷	۴۸	۰/۴	۱۲	۳	۲	۴۵۱	۲۷۴۸
KM22	۴۱۴	۲۸	۵۲۲۶	۱۰۴	۳/۴	۱۰	۳	۱	۳۵۵۱	۱۱۵
KM23	۸۶۸	۶	۲۰۷	۱۲۷	۶/۹	۱۳	۱۹	۱	۳۱۷۷	۲۷۲۶
KM24	۳۳۹	۲۶۱۴	۴۴۱۳	>۱۰۰۰۰	۵/۱	۱۲	۲۱	۵	۶۱۳۷	۷۶
KM25	۱۳۸۹	۱۴۹۶۳	>۱۰۰۰۰	>۱۰۰۰۰	۲۲/۲	۳	۳۶	۶	۷۳۶۶	۴۴
KM27	۲۶۴	۶۷۴۸	۱۵۷۸	۲۱۴۷	۴/۷	۵	۱۸	۳	۳۴۱۸	۶۱
KM105	>۱۰۰۰۰	۶۴	۴۸۷	۱۱۹۳	۳/۶	۹۷	۵۰	۱۶	۱۴۱۵	۱۱۱
BM6	۴۶۷۶	۴	۱۹	۷۲	۰	۱۰	۳	۴	۱۲۴۷	۶۶
BM3	>۱۰۰۰۰	۱۱۶	۱۰۶	۳۴۷	۰/۶	۲۱	۸	۷	۲۶۳۰	۱۳۳
BM5	>۱۰۰۰۰	۲۷	۸۰	۳۰۲	۰/۹	۴۳	۱۷۲	۳	۸۴۷	۱۶۳
BM101	۵۹۳	۶۹	۶۶۰۵	۳۲۸	۵۶/۱	۱۸	۲۲	۵	۶۹	۱۱۹
KM101	۱۶۷۶	۷	۱۴۷۲	۳۸۴	۱/۵	۷	۱۵	۱	۶۱۳۴	۴۱
KM102	۱۴۳	۷	۷۹	۹۰	۱/۱	۱۵	۲۵	۵	۷۶۴۵	۳۰۶



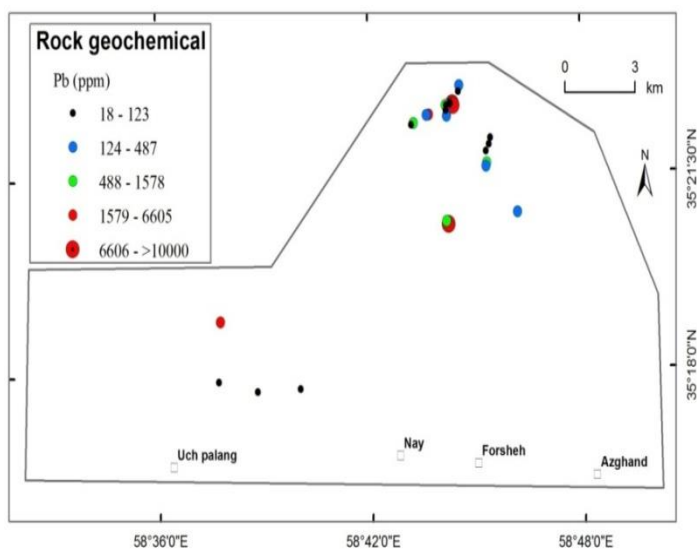
شکل ۱۸. نقشه ژئوشیمی مس رگه‌های سیلیسی کانه‌دار در منطقه شمال شرق کاشمر



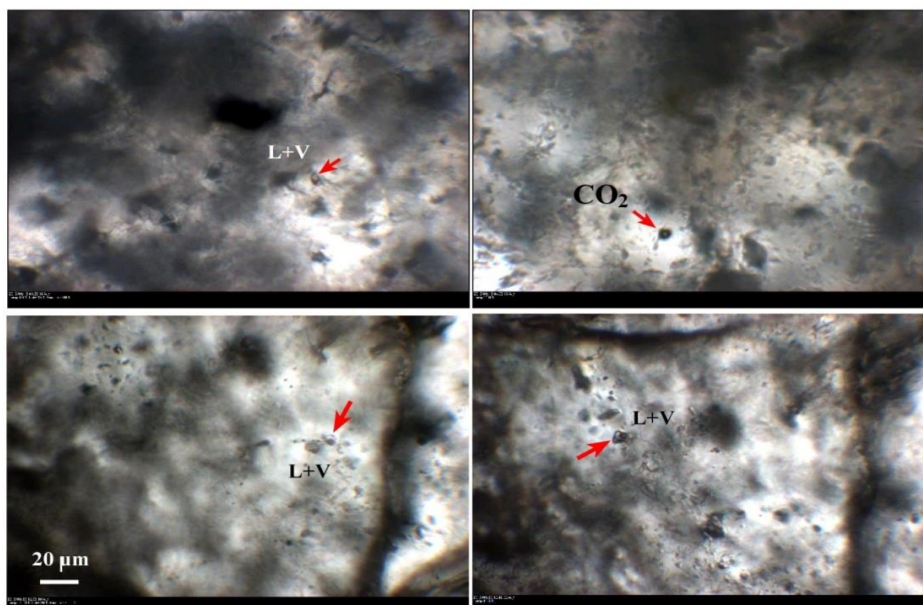
شکل ۱۹. نقشه ژئوشیمی طلای رگه‌های سیلیسی کانه‌دار در منطقه شمال شرق کاشمر



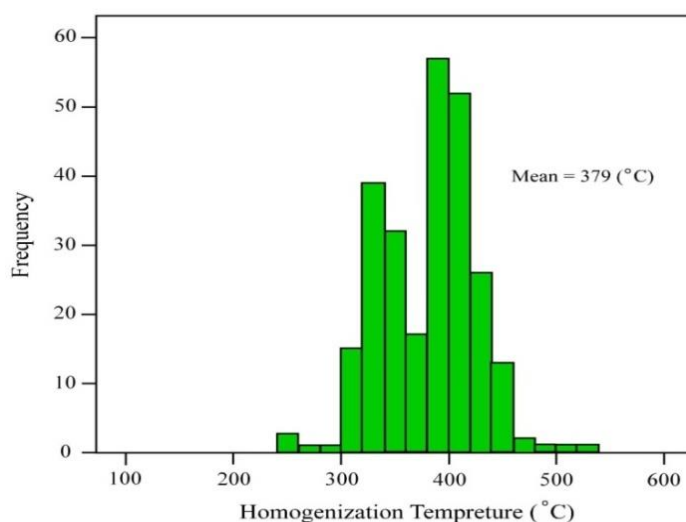
شکل ۲۰. نقشه ژئوشیمی روی رگه‌های سیلیسی کانه‌دار در منطقه شمال شرق کاشمر



شکل ۲۱. نقشه ژئوشیمی سرب رگه‌های سیلیسی کانه‌دار در منطقه شمال شرق کاشمر



شکل ۲۲. تصاویری از سیالات درگیر در نمونه‌های مربوط به رگه‌های سیلیسی کانه‌دار منطقه شمال شرق کاشمر



شکل ۲۳. هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن سیالات درگیر رگه‌های سیلیسی کانه‌دار. میانگین دمایی اندازه‌گیری شده  $379^{\circ}\text{C}$  می‌باشد.

جدول ۳. خلاصه نتایج مطالعات سیالات درگیر در رگه‌های سیلیسی کانه‌دار نوع IOCG و نوع سولفید فلزات پایه (الماسی، ۱۳۹۳)

نوع رگه	کانی	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tm ( $^{\circ}\text{C}$ )	شوری (Wt% equiv.)	چگالی ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
رگه‌های IOCG	کوارتز و باریت	۲۴۵ - ۵۳۰	۱۰/۲ - تا ۱۴/۲	۱۴/۱۵ تا ۱۷/۹۶	۰/۸۶ - ۰/۹۰
رگه‌های سولفید فلزات پایه	کوارتز	۳۰۷ - ۳۴۰	۱۱/۵ - تا ۱۳/۸	۱۵/۴۷۲ تا ۱۷/۶۱	۰/۸۷ - ۰/۹۰



## بحث و نتیجه‌گیری

در منطقه کاشمر، حرکات امتدادلغز چپگرد و رخداد jog اتساعی هم‌پوشان با شکستگی‌های تیپیک نوع ریدل سبب شده تا مهاجرت محلول گرمابی تابع گسل اصلی و تلاقی آن با شکستگی‌های فرعی باشد. پهنه‌های برشی با کانی‌سازی طلا در درون بلوک لوت (قربانی و همکاران، ۱۳۹۰) و شکستگی‌های نوع ریدل در ذخایر مجاور محدوده مطالعاتی مانند ذخیره طلای کوه زر، عامل نفوذ محلول گرمابی کانه‌دار گزارش شده‌اند (انصاری جعفری و همکاران، ۱۳۹۴). مناطق بهاریه، سرسفیدال و بهاریه با قرارگیری در نقاط تلاقی شدیدترین دگرسانی را متحمل شده‌اند. این مناطق دارای ویژگی‌های دگرسانی و کانی‌سازی مشترک زیر هستند: (۱) دگرسانی آرژلیک پیشرفته - سیلیسی - سرسیتی؛ (۲) کانی‌سازی مس رگه‌ای بصورت کالکوپیریت که در مناطق دورتر به گالن تغییر می‌یابد (۳) رویداد کانی تورمالین نوع دمورتیت در شکستگی‌ها. دگرسانی و کانی‌سازی منطقه کمرمرد دارای ویژگی‌های زیر است: (۱) متاسوماتیسم آهن که منجر به تشکیل اکسیدهای آهن (مگنتیت و هماتیت) پراکنده شده است؛ (۲) آلتراسیون کربناتی شدید (غالباً سیدریت) و آلتراسیون‌های کلریتی، اپیدوتی، سیلیسی و سرسیتی کم؛ (۳) کانی‌شناسی کانه بصورت کم سولفید (کالکوپیریت). (۴) کانه مس - طلا بصورت رگه‌های سیلیسی غنی از اسپیکولاریت و برشی گسلی با شیب زیاد که میزبانان سنگ‌های ولکانیک و نفوذی است.

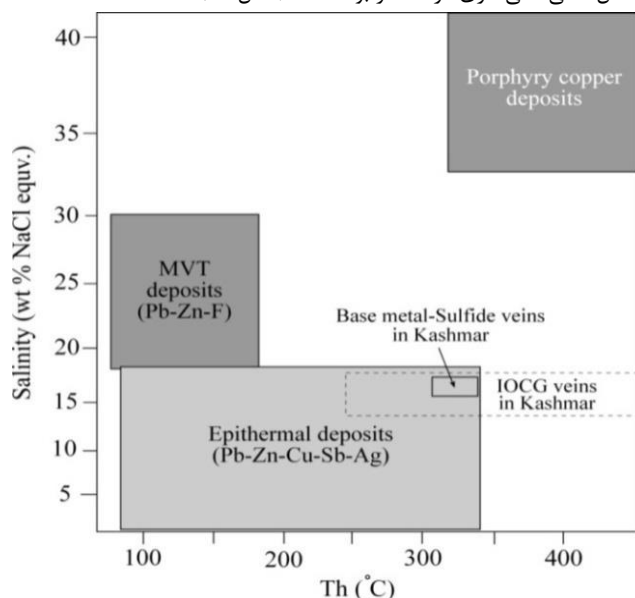
ما چرخش دوگانه محلول اکسیدان آهن‌دار را عامل کانی‌سازی در کاشمر می‌دانیم. طی چرخه اول، محلول سبب کانی‌سازی مگنتیت ± طلا در عمق و دگرسانی‌های آرژلیک پیشرفته، سرسیتی و سیلیسی، تورمالین دمورتیت در شکستگی‌ها و کانی‌سازی رگه‌ای کالکوپیریت ± پیریت ± گالن شده است در چرخش دوم، محلول فوق اکسیدان با شستشوی مجدد عناصر، سبب اورپرینت دگرسانی‌های تأخیری اکسید آهن، کربناتی، اپیدوتی و کلریتی و کانی‌سازی اسپیکولاریت ± کالکوپیریت ± طلا شده است. مناطق بهاریه، اوچ پلنگ و سرسفیدال معرف بخش‌های عمقی‌تر سیستم و منطقه کمرمرد معرف سطحی‌ترین بخش سیستم IOCG است. فرسایش سبب از بین رفتن کامل شواهد دگرسانی و کانی‌سازی تأخیری در بهاریه، اوچ پلنگ شده اما تا حدی در سرسفیدال وجود دارند (بعلت سطح تراز بالاتر سرسفیدال نسبت به بهاریه و اوچ پلنگ). کمرمرد معرف سطح قدیمی (paleo surface) است. رگه‌های مطالعه سیالات درگیر در کاشمر دلالت بر سیستم  $\text{CaCl}_2 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ ، دماهای متوسط تا بالا (۲۴۵ تا ۵۳۰) و شوری‌های متوسط (۱۴/۱۵ تا ۱۷/۹۶) و نقش عمده محلول ماگمایی و کمپلکس‌های کلریدی در حمل فلزات، بدون رخداد جوشش دارد. همزیستی بین سیالات درگیر دوفازی غنی از مایع و بخار و سیالات درگیر تک‌فاز گازی اندک در رگه‌های IOCG، نشان می‌دهد که شرایط نزدیک به جوشش بوده است و شاید جوشش ضعیفی رخ داده اما جوشش واقعی اتفاق نیفتاده است. چنین بنظر می‌رسد که محلول‌های اکسیدان آهن‌دار شبیه با کاشمر در سرتاسر کمربند IOCG شمال درونه عملکرد مشابهی داشته‌اند. رخداد آهن اسکارن سنگان (کریم‌پور، ۱۳۸۴ و Boomeri, 1998) و ذخایر طلای غنی از اسپیکولاریت کوه زر تربت حیدریه (مظلومی‌بجستانی، ۱۳۸۷) و مگنتیت توده‌های طلا دار تنورجه (کریم‌پور، ۱۳۸۴) به ترتیب در شرق و

مرکز کمربند IOCG خواف - کاشمر - بردسکن این نظر را تقویت می‌کند.

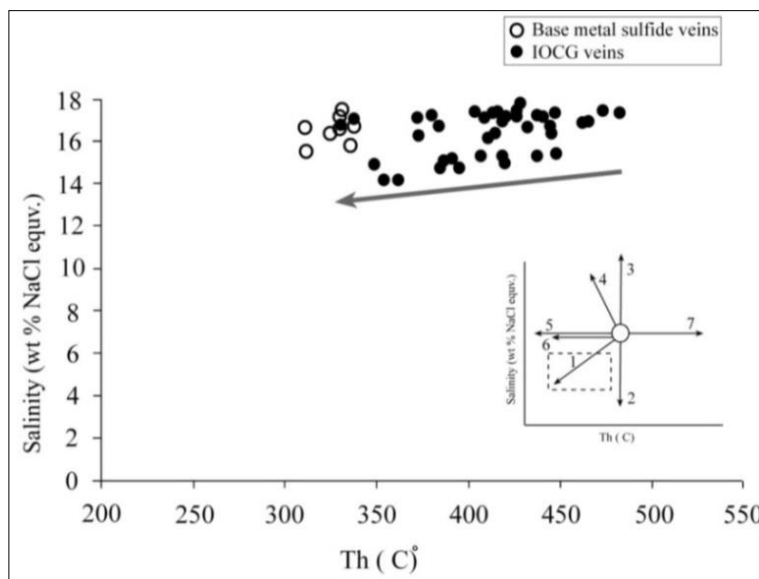
محدوده دما و شوری کانی‌سازی، در نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن با کانسارهای پورفیری و اپی‌ترمال (Wilkinson, 2001) مقایسه شد که براساس آن کانی‌سازی در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال دما بالا (گرمابی) قرار گرفت (۲۴).

مطالعات Seward (1973 and 1991) نشان داده که در ذخایری که در درجه حرارت‌های بالاتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد شکل می‌گیرند و یا حضور کانی‌های اکسیدی یا سولفیدی در آنها حاکی از شرایط نسبتاً اکسیدکننده می‌باشد، کمپلکس‌های کلریدی غلبه دارند. این در حالیه که کمپلکس‌های بی‌سولفیدی در کانسارهایی که در درجه حرارت‌های پایین‌تر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند و یا در کانسارهایی که کانی‌شناسی آنها دلالت بر شرایط احیاء کننده دارد، غالب هستند. براساس عقیده هیتزمن (Hitzman and Valenta, 2005)، محلول‌هایی که ذخایر IOCG را تولید می‌کنند، شور و خیلی اکسیدان‌اند و قادر به شست و انتقال قابل توجهی از مواد سنگ‌های دیواره سنگ میزبان‌اند. بالابودن منگنز در همه رگه‌ها و بالابودن مقادیر عناصری چون آهن بصورت اسپیکولاریت (خاص شرایط فرا اکسایش) و باریم بصورت باریت در رگه‌های IOCG سبب شد تا تشکیل رگه‌های IOCG را به شرایط اکسیدان‌تر از رگه‌های سولفید فلزات پایه نسبت دهیم و منشأ محلول گرمابی اکسیدان‌تری را برای آنها در نظر بگیریم.

مکانیسم اصلی کانی‌سازی را که باعث تغییر در شرایط سیال کانه‌دار و ناپایداری کمپلکس‌ها شده را در نمودار دما - شوری شفرد (Shepherd et al., 1985) (شکل ۲۵)، می‌توان بدست آورد. با توجه به پیاده کرده داده‌های شوری و دماهای همگن شدن سیالات و روند بدست آمده، کاهش دما و احتمالاً دخالت اندک آب‌های متئوریک، عامل اصلی کانی‌سازی در کاشمر بوده است (شکل ۲۹).



شکل ۲۴. مقایسه مقدار شوری و دمای محلول کانه‌دار کانی‌سازی کاشمر با ذخایر پورفیری و اپی‌ترمال. محدوده کانسارهای پورفیری، اپی‌ترمال و سرب و روی نوع MVT مشخص شده است (Wilkinson, 2001). کانی‌سازی کاشمر در محدوده اپی‌ترمال دما بالا (گرمابی) قرار می‌گیرد.



شکل ۲۵. نمودار شوری - دمای همگن شدن سیالات درگیر کانی‌سازی کاشمر. روندهای ممکن تکامل سیال در نمودار دما - شوری (Shepperd et al., 1985). روند ۱ = مخلوط شدگی سیال A با سیال سردتر و شوری کمتر B، روند ۲ و ۳ = مخلوط شدگی سیال A با سیالات دیگر با شوری مختلف ولی دمای یکسان، روند ۴ = شوری فاز باقیمانده در اثر جوشش افزایش پیدا کرده است، روند ۵ = سردشدگی سیال، روند ۶ = باریک‌شدگی سیالات درگیر، روند ۷ = تراوش سیالات درگیر در طول گرمایش.

## منابع

- الماسی. ع.، ۱۳۹۳، کانی‌سازی، پتروژنز و اکتشافات ژئوشیمیایی - ژئوفیزیکی محدوده اوچ پلنگ - سرسفیدال (شرق کاشمر)، رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ نشده.
- انصاری جعفری. ش.، رحیمی. ب.، قائمی. ف.، مظلومی بجنستانی. ع.، ۱۳۹۴، مدل ساختاری بر پایه مطالعه شکستگی‌ها در کانسار طلای زرمهر، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۷، ص ۱ - ۱۰.
- بهروزی. آ.، ۱۳۶۶، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش فیض‌آباد برگه ۷۷۶۰، سازمان زمین‌شناسی ایران.
- حاجی. ع.، ۱۳۸۷، تحلیل ساختاری و فراکتالی سیستم‌های شکستگی منطقه تکنار ایران مرکزی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مطالعات صحرائی، رساله کارشناسی‌ارشد دانشگاه علوم پایه دامغان، ۱۳۵ ص.
- قربانی. م.ع.، محجل. م.، علیمحمدی. م.، ۱۳۹۰، تحلیل ساختاری پهنه برشی سیه‌کمر و ارتباط با فابریک‌های شکننا با کانه‌زایی طلا (هیرد، جنوب بیرجند)، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲، ص ۱۴۰ - ۱۵۲.
- کریم‌پور. م. ح.، ۱۳۸۴، کانی‌سازی، دگرسانی، سنگ منشأ و موقعیت تکتونیکی ذخایر IOCG و مثال‌هایی از ایران، یازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد، ص ۱۸۴ - ۱۸۹.
- مظلومی بجنستانی. ع.، ۱۳۸۷، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و کانسار سازی طلا و تنگستن در منطقه کوه‌زرتربت‌حیدریه، رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۹۱ ص.
- Boomeri. M., 1998, Petrography and Geochemistry of the Sangan Iron Skarn Deposit and Related Igneous Rocks, Northeastern Iran, Unpublished Ph.D thesis, Akita University, Japan, 226 p.
- Bodnar. R. J., 1993, Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O - NaCl, *Geochemica et Cosmochemical Acta*. Vol: 57, p: 684 - 685.
- Brown. P. E., Lamb. W.M., 1989, P - V - T properties of fluids in the system H<sub>2</sub>O - CO<sub>2</sub> - NaCl: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies, *Geochim. Acta*, Vol: 53, p: 1209 - 1221.
- Clark. A. H., Archibald D.A., Lee. A.W., Farrar E., Hodgson C.J., 1998, Laser probe <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages of early - and late - stage alteration assemblages, Rosario Porphyry copper - molybdenum deposit, Collahuasi District. I Region, Chile, *Economic Geology*, Vol: 93, p: 326 - 337.
- Connolly. P., Cosgrove. j., 1999, Prediction of static and dynamic fluid pathways within and around dilatational jogs, *Imperial College of Science*, London SW7 2BP, UK, Vol: 18, p: 88 - 102.
- Harding. T. P., Lowell. J.D., 1979, Structural styles, their plate tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces, *AAPG bull*, Vol: 63, p: 147 - 159.
- Harris. L.B., 1987, a tectonic framework for the western Australian shield and its significance to gold mineralisation: a personal view. *Department of Geology and Extension University of Western Australia*, Vol: 11, p: 1 - 27.

- Hitzman. M.W., Valenta. R.K., 2005, Uranium in iron oxide - copper - gold (IOCG) systems: ECONOMIC GEOLOGY, Vol: 100, p: 1657-1661.
- Jackson. J., Haines. J., Holt. W., 1995, The accommodation of Arabia - Eurasia plate convergence in Iran, Journal of Geophysical Research, Vol: 100, No B8, p: 15205 - 15219.
- Malekzadeh Shafaroudi. A., Karimpour. M.H., Golmohammadi. A., 2013, Zircon U-Pb geochronology and petrology of intrusive rocks in the C - North and Baghak districts, Sangan iron mine, NE Iran. Journal of Asian Earth Sciences, Vol: 64, p: 256 - 271.
- Muller. R., Walter. R., 1983, Geology of the Precambrian - Paleozoic Taknar Inlier northwest of Kashmar, Khorasan Province northeast Iran, Report of Geodynamic Project (Geotraverse) in Iran, No. 51.
- Seward. T.M., 1973, Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal solutions, Geochemical Acta, Vol: 37, p: 379 - 399.
- Seward. T.M., 1991, The hydrothermal geochemistry of gold, in: Foster, R. P. (ed.), gold metallogeny and exploration, Blackie and Sons Ltd., 432 p.
- Shepherd. T.J., Rankin. A.H., Alderton. D.H.M. 1985, a Practical Guide to Fluid Inclusion Studies, Blackie and Son, 239 p.
- Solomon. S., Ghebream. W., 2006, Lineament Characterization and their tectonics significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea, Journal of African Earth Sciences, Vol: 57, p: 22 - 43.
- Soltani. A., 2000, Geochemistry and geochronology of I - type granitoid rocks in the northeastern central Iran plate, Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia (unpubl), 300 p.
- Tchalenko. J.S., Braud. J., 1974, Seismicity and structure of the Zagros (Iran): The main recent fault between 33° and 35°. Philos. Trans. R. Soc. London, Vol: 227, p: 1262.
- Vearncombe. JR, Barley. ME, Eisenlohr. B.N., 1989, Structural controls on mesothermal gold mineralization: examples from the Archean terranes of southern Africa and Western Australia. Economic Geology Monographs, Vol: 6, p: 124 - 134.
- Wilkinson. J.J., 2001, Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, Lithos, Vol: 55, p: 229 - 272.