



کانی‌سازی مگنتیت توده‌ای طلا دار در کاشمر (مطالعات دگرسانی، کانی‌سازی، ژئوشیمی و سیالات درگیر) و تکتونوماگماتیسم شمال شرق ایران

علیرضا الماسی^۱، محمدحسن کریم‌پور^{۲*}، کیکو هاتوری^۴، ژوزه فرانسیسکو سانتوس^۵، خسرو ابراهیمی
نصرآبادی^۱ و بهنام رحیمی^۱

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(۲) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

(۳) گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(۴) گروه علوم زمین و محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه اتاوا، اتاوا، کانادا

(۵) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آویرو، آویرو، پرتغال

دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۰۷، پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۴

چکیده

منطقه اکتشافی در ۳۰ کیلومتری شمال شرق کاشمر، در بخش مرکزی کمربند آتشفشانی و نفوذی خواف- کاشمر- بردسکن واقع شده است. زمین‌شناسی منطقه شامل سنگهای آتشفشانی و نفوذی نیمه‌عمیق و عمیق مافیک تا اسیدی کالک‌آلکان با توانایی بالا و شوشونیتی به سن پالتوسن- ائوسن میانی است. توده‌های گرانیتوئیدی با پذیرفتاری مغناطیسی از ۲ تا 10^{-5} (SI) 1654×10^{-5} جزو دسته مگنتیتی- ایلمنیتی هستند. دگرسانی و کانی‌سازی به دو صورت: (۱) دگرسانی بیضوی- خطی شدید تا متوسط آرژیلیک- سیلیسی و سرسیتی شدن و دگرسانی متوسط پروپلیتیک همراه بارگه‌های کالکوپیریت- کوارتز \pm پیریت در مناطق بهاریه، اوچ پلنگ و سرسفیدال، و (۲) دگرسانی متوسط هماتیتی- کربناتی- کلریتی- سیلیسی همراه با رگه‌های غنی از اسپیکولاریت، کوارتز - گالن و باریت عقیق به همراه برش گرمایی در کمرمرد است. رگه‌ها بی‌هنجاری عناصر طلا، مس، سرب و روی دارند. بیشترین غنی‌شدگی طلا (تا ۱۵ پی‌پی‌ام) به همراه مس، سرب و روی (هر کدام تا $1 <$ درصد) در برش گرمایی و رگه‌های غنی از اسپیکولاریت رخ داده است. بر اساس بررسی سیالات درگیر، سیستم به صورت $H_2O-NaCl-CaCl_2$ ، دماها متوسط تا نسبتاً زیاد و بین ۲۴۵ تا ۵۳۰ درجه سانتی‌گراد و شوریه‌ها نسبتاً کم تا متوسط (بین ۱۴ تا ۱۷/۶ wt% NaCl) است. دماها و شوریه‌های بیشینه و کمینه به ترتیب مربوط به سیالات درگیر برش گرمایی و رگه‌های کوارتز - گالن است. هم‌زیستی بین سیالات درگیر دوفازی غنی از مایع و بخار و سیالات تک‌فاز گازی کم در رگه‌ها، برشی شدن سنگ و مشاهده سیالات درگیر نوع CO_2 دار اندک در رگه‌های قله کمرمرد و نبود کوارتز حفره‌دار در کلاهکهای سیلیسی منطقه، نشان‌دهنده شرایط نزدیک به جوشش است. فراوانی کانیه‌های اسپیکولاریت و باریت و مقدار کم کانیه‌های سولفیدی نشان‌دهنده شرایط اکسیدان محلول و تأثیر کمپلکس‌های کلریدی CO_2 دار در حمل، دخالت نداشتن آبهای متوریک و ته‌نشست عناصر فلزی محلول گرمایی با کاهش تدریجی دماست. شواهد مختلف بیانگر سطحی‌ترین و بخشهای با عمق متوسط از یک سیستم کانی‌سازی مگنتیت طلا دار نوع IOCG دور از کمان در کاشمر است.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی، کانی‌سازی رگه‌ای، سیالات درگیر، IOCG، کاشمر

مقدمه

شرقی- غربی از هم جدا شده‌اند (شکل ۱). در دو دهه گذشته، محققان بررسیهای پژوهشی و اکتشافی متعددی بر روی

شمال شرق ایران دارای چند بلوک ساختاری مختلف است که با نوارهای ماگمایی در امتداد گسلهای امتدادلغز با روند

طلای نوع IOCG مدنظر گرفته است. محدوده با مساحت تقریبی ۱۱۰ کیلومتر مربع، در بین طولهای جغرافیایی "۱۱ ۳۲' ۵۸° تا "۱۴' ۵۰' ۵۸° شرقی و عرضهای جغرافیایی "۵۰' ۱۵' ۳۵° تا "۳۰' ۲۳' ۳۵° شمالی در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان کاشمر قرار دارد. (شکل ۱). در این پژوهش، ما داده‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، ژئوشیمی و بررسیهای سیالات درگیر واقع در کاشمر را ارائه (شکلهای ۲ تا ۱۳) و پس از تحلیل نتایج، مدلی احتمالی برای ذخیره کاشمر و تکتونوماگماتیسم و کانی‌سازی شمال شرق ایران ارائه می‌دهیم.

روش مطالعه

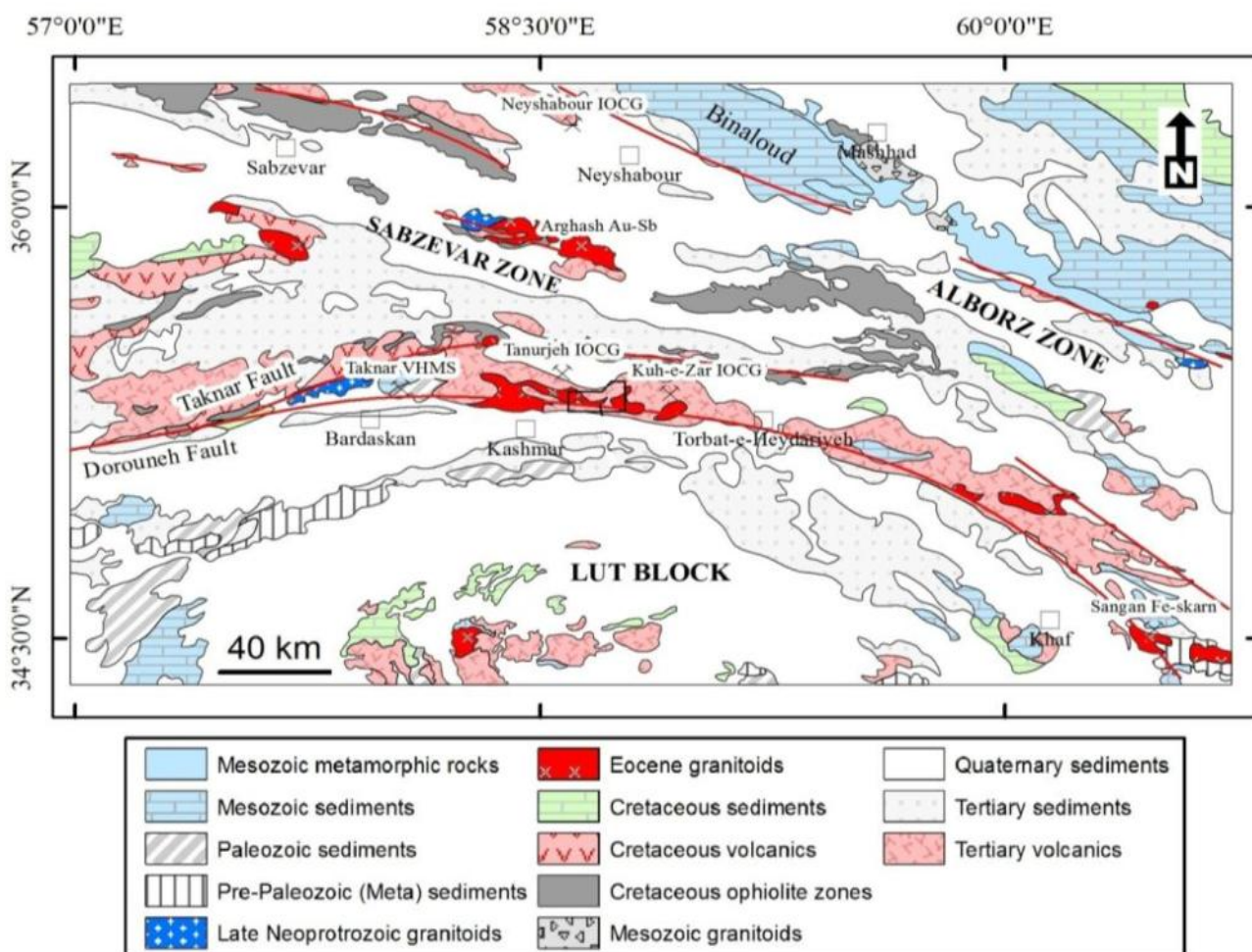
- ادغام و پردازش تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7⁺ و IRS (با قدرت تفکیک ۵ متر (و استفاده از تصاویر کیفیت بالای google earth) برای تشخیص واحدهای سنگی، گسلها و شکستگیهای اصلی و فرعی مهم و پردازش تصاویر ماهواره‌ای Aster به منظور تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰. دقت نقشه‌ها در مناطق حایز اهمیت اکتشافی ۱:۵۰۰۰ است.

- بررسی ۱۵۰ مقطع نازک از انواع سنگهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی منطقه به منظور بررسی پتروگرافی و دگرسانی - برداشت نمونه از رگه‌های کوارتز کانه‌دار و بررسیهای مینرالوگرافی به منظور تعیین هم‌یافت کانیایی و تفکیک انواع رگه‌ها در منطقه

- آماده‌سازی و تجزیه تعداد ۲۸ نمونه ژئوشیمی به روش خرده‌سنگی از رگه‌های کوارتز کانه‌دار. نمونه‌ها از رگه‌های کوارتز دارای کانی‌سازی فلزات پایه، اسپیکولاریت، باریت و منگنز انتخاب شدند. تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه ACME کانادا و به روش IDX1 Aqua Regia (۳۶ عنصری) و ذوب قلیایی انجام شد.

- انجام بررسیهای دماسنجی - شوری ۱۴ نمونه کوارتز و باریت مرتبط با کانیهای فلزی از رگه‌های کوارتز کانه‌دار. بررسی سیالات درگیر در آزمایشگاه دماسنجی دانشگاه فردوسی مشهد به وسیله استیج گرم و سردکننده مدل THM600 ساخت شرکت لینکام انگلستان انجام شد و دماسنجی بر روی تعداد ۲۶۷ سیال درگیر و شوری بر روی ۵۷ سیال درگیر انجام شد.

ماگماتیسم و کانی‌سازی شرق و شمال شرق انجام داده‌اند و رشته‌های ماگمایی شرق بلوک لوت، زون سبزواری و کمر بند خواف - کاشمر - بردسکن (به اختصار KKBB) را مورد بررسی قرار داده‌اند (Karimpour, 1991; Boomeri, 1998; Ashrafpour, 2008; Karimpour et al, 2012; Malekzadeh Shafaroudi et Alaminia et al., 2013; al., 2013; Golmohammadi et al., 2014; Golmohammadi et al., 2015 و ...). حرکات امتداد لغز چپ‌گرد گسل درونه و تکنار در KKBB سبب به وجود آمدن زون برشی (Muller and Walter, 1983)، حوضه‌های واچکیده و شکستگیهای نوع ریدل و چندین رویداد ماگمایی نوع I و A به سن پالئوسن - ائوسن شده‌اند (Malekzadeh Golmohammadi et al., Shafaroudi et al., 2013 Almasi et al., 2014; Golmohammadi et al., 2015). طی این سالها، کریم‌پور و کریم‌پور و همکاران (2016). (Karimpour, 1991; Karimpour et al, 2012)، با انجام بررسیهای مختلف، ذخایر متعددی در KKBB معرفی کرده و آن را به عنوان کمر بند IOCG ایران معرفی کرده و اظهار داشته اند که این کمر بند دارای توانایی خوبی برای اکتشاف ذخایر اسکارن آهن، مس و مس - طلا پورفیری است. از مهمترین ذخایر KKBB می‌توان به کانی‌سازی مگنتیت - اسپیکولاریت - مس - طلای شهرک (Yusofi et al., 2009)، اسکارن آهن سنگان (Karimpour, 1991; Boomeri, 1998; Malekzadeh Shafaroudi et al., 2013; Karimpour and Malekzadeh Shafaroudi, 2008 Golmohammadi et al., 2014, Golmohammadi et al., 2015 (شکل ۱) طلای غنی از اسپیکولاریت کوه زر (Mazlumi Bajestani et al., 2009; Gurabjiri, 2001)؛ (شکل ۱) و مگنتیت - طلای تنورجه (Karimpour and Karimpour et al., Malekzadeh Shafaroudi, 2006) (شکل ۱) و ذخایر غیرفلزی مهمی چون کائولن بهاریه، اوچ پلنگ و سرسفیدال (واقع در محدوده مورد بررسی، اشاره کرد. ذخیره مس ماسیوسولفید تکنار نیز در غرب کمر بند در منطقه تکنار واقع شده است (Malekzadeh Shafaroudi, 2004)؛ (شکل ۱). به استثنای ذخیره ماسیوسولفید تکنار که سن پرکامبرین دارد، همگی ذخایر سن ترشیری دارند. محدوده مورد بررسی در بخش مرکزی KKBB در مجاورت با ذخایر کوه زر و تنورجه (شکل ۱)، برای توانایی ذخیره مس و



شکل ۱. نقشه کلی زمین‌شناسی شمال شرق ایران (برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاسهای مختلف (Sahandi and Hosseini, 1990; Eftekharneshad et al., 1974; Vaezipour et al., 1993; Afsharharb et al., 1987; Naderi Mighan and Torshizian, 1999; Behroozi, 1988)). برخی از مهمترین ذخایر معدنی این قسمت از کشور در نقشه آمده است. محدوده مورد بررسی شمال شرق کاشمر که با کادر سیاه مشخص شده، در کنساکت بلا فصل گسل درونه در شمال بلوک لوت، بین ذخایر IOCG تنورجه و کوه‌زر واقع شده است.

Fig. 1. General geological map of NE Iran (Compiled from geological maps in different scales (Sahandi and Hosseini, 1990; Eftekharneshad et al., 1974; Vaezipour et al., 1993; Afsharharb et al., 1987; Naderi Mighan and Torshizian, 1999; Behroozi, 1988)). Some of the most important ore deposits are shown in the map. The study area, which is shown in northeast of Kashmir city by black frame, is located between Koh e Zar and Tanourjeh IOCG deposits at contact of Dorouneh fault in north of Lut block.

زمین‌شناسی

مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (شکل ۲)، سنگهای آتشفشانی-نفوذی قدیمی عمدتاً در شمال و سنگهای درونی گرانیتوئیدی عمدتاً در جنوب منطقه دیده می‌شوند. بازالت و آندزیت بیشترین سنگ‌های آتشفشانی مافیک تا حدواسط در منطقه هستند (شکل ۲). منطقه کمرمرد دارای بیشترین رخنمون از این واحدهاست. منشورهای بازالتی-آندزیتی در کمرمرد ستیغ کوهها را تشکیل داده‌اند. واحدهای آتشفشانی و نفوذی نیمه عمیق این دسته در کنار هم و بدون هاله واکنشی دیده می‌شوند که نشان‌دهنده همزمانی در فوران و نفوذ است.

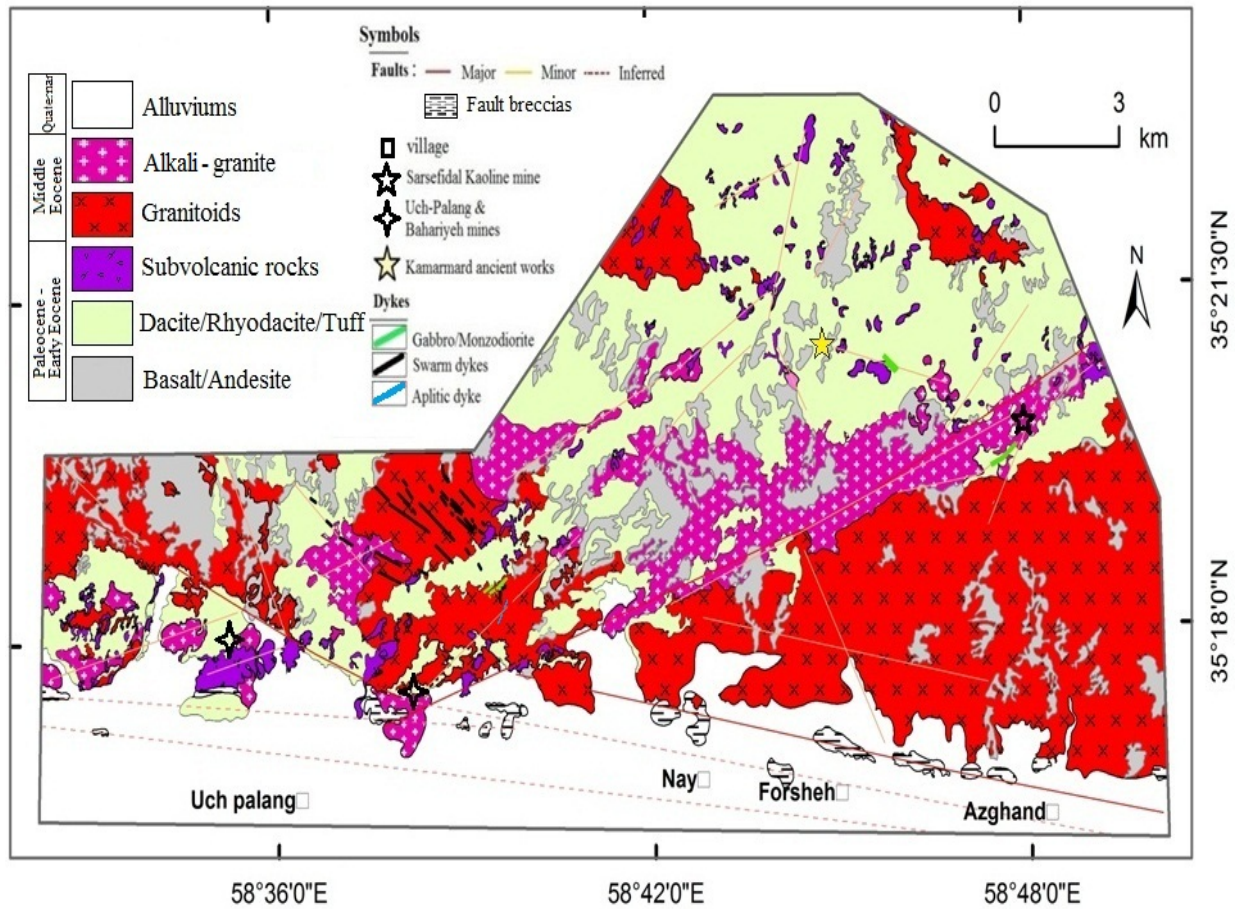
بر اساس بررسیهای صحرایی، نقشه زمین‌شناسی، پتروگرافی سنگهای آتشفشانی و درونی و اندازه‌گیری حساسیت مغناطیسی (Almasi et al., 2016)، دست‌کم سه فاز ماگماتیسیم گروه I در منطقه رخ داده است. به‌طور خلاصه توالی رویدادهای ماگمایی در کاشمر به ترتیب از قدیم به جدید شامل این موارد است: (۱) دسته آتشفشانی-نفوذی مافیک-حدواسط قدیمی، (۲) دسته آتشفشانی اسیدی و گرانیتوئیدها، (۳) دسته دایک‌های موازی، بر اساس نقشه زمین‌شناسی با

غربی در سرتاسر نقشه دیده می‌شود (شکل ۲). آنکلاوهای میکروگرانولار مافیک با ترکیب هورنبلند دیوریت گه‌گاهی در توده فراوانند. یک دایک آپلیتی بزرگ مرتبط با این دسته در شمال‌غرب بهاریه دیده شد (شکل ۲). انواع دایک‌های مافیک-حدواسط و نیز دسته‌دایک‌های موازی نیز در منطقه کاشمر نفوذ کرده‌اند (شکل ۲). دایک‌های مافیک-حدواسط ترکیب گابرو دیوریتی، کوارتز مونزونیتی و مونزونیتی دارند و در جهات مختلف نفوذ کرده‌اند. به‌استثنای دسته دایک‌های موازی، دایک‌های دیگر دچار دگرسانی شده‌اند. جدیدترین رویداد ماگماتیسم در منطقه با رخداد دسته دایک‌های موازی قابل شناسایی است. بر اساس بررسی‌های پتروگرافی (Almasi et al., 2016)، ترکیب این واحد کوارتز مونزونودیوریت است. رخنمون اصلی دایک‌ها در مرکز منطقه و شمال معدن بهاریه است که در جهت مشخص شمال‌غرب-جنوب‌شرق همه واحدهای قبلی را قطع کرده‌اند و نفوذشان به‌وضوح از ساختار زمین‌ساختی منطقه پیروی می‌کند (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد توده اصلی عامل دسته دایک‌ها در عمق باشد؛ زیرا شدیدترین دگرسانی‌ها در نزدیکی دایک‌ها در بهاریه رخ داده است. رگه‌چه‌های کاتاکلاستیکی غنی از تورمالین و کلریت در گرانیتوئیدهای بخش جنوبی منطقه فراوانند.

دگرسانی

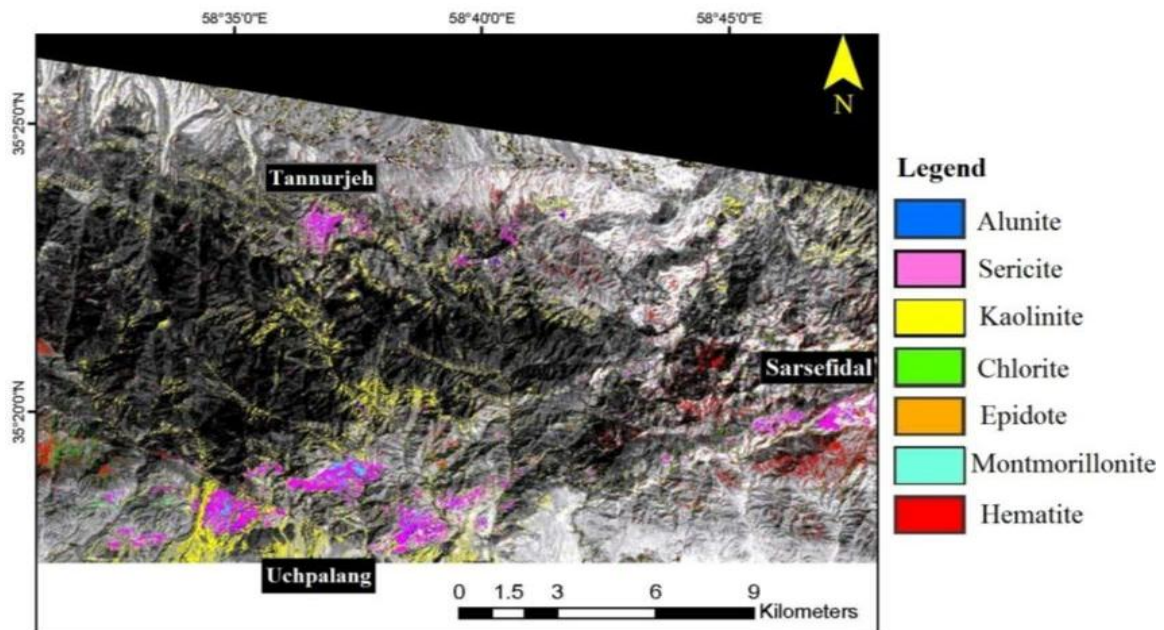
نتیجه پردازش تصویر ماهواره‌ای Aster ناحیه کاشمر در شکل ۳ نشان داده شده است. انواع دگرسانی‌ها شامل سرسیتی، آرژیلیک، آلونیتی، کلریتی، اپیدوتی و هماتیتی هستند. بیشترین شدت دگرسانی در مناطق بهاریه، اوچ پلنگ و سرفیدال رخ داده است. نقشه دگرسانی ما (شکل ۴) با تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده، هم‌خوانی خوبی دارد. فرآیندهای دگرسانی به‌ویژه در مناطقی که با روند اصلی گسلها انطباق می‌یابد، تشدید می‌شود. در محدوده کاشمر دگرسانی به دو حالت قابل توصیف است: ۱) دگرسانی بیضوی-خطی شدید تا متوسط آرژیلیک-سیلیسی و سرسیتی شدن کم همراه با کلاهک‌های سیلیسی و دگرسانی وسیع و متوسط پروپلیتیک در مناطق سه‌گانه بهاریه، اوچ پلنگ و سرفیدال، و ۲) دگرسانی متوسط هماتیتی-کربناتی-کلریتی-سیلیسی در کمرمرد.

سنگهای نفوذی طیفی وسیعی از کوارتز گابرو، گابرو، دیوریت، کوارتز مونزونودیوریت، مونزونیت و دایک دارند. همانند بازالت و آندزیت، واحدهای گابرو و هورنبلند دیوریت نیز، نسبت به دیگر نفوذیه‌های مافیک-حدواسط، در منطقه رخنمون زیادی دارند. بیشترین رخنمون این واحدها در شمال و شمال‌غرب کمرمرد و شمال و جنوب‌غرب اوچ پلنگ است. کوارتز مونزونودیوریت/مونزونودیوریت‌ها غالباً دارای استوک‌های با ابعاد بسیار کوچک (در حد چند ده متر) هستند. رخنمونهای پراکنده و کوچکی از سنگهای آتشفشانی-نفوذی نیمه‌عمیق نیز در شمال سرفیدال وجود دارد. به سمت بخشهای جنوبی‌تر، فرسایش سبب تکه‌تکه شدن این واحدها و رخنمون سنگهای عمیق‌تر (گرانیتوئیدها) شده است. فوران اسیدی شامل حجم وسیعی از انواع توف و آذرآاریها، داسیت و ریوداسیت و حجم کمتری از لاتیت/کوارتز لاتیت، ریولیت، ایگنیمبریت و آگلومرا شده است (شکل ۲). توف به صورتهای کریستال لیتیک توف/لیتیک کریستال توف/لاپیلی توف/توف ماسه‌ای لایه‌ای است. توف داسیتی فراوانترین نوع توف در منطقه است. حجم فراوانی از توف داسیتی و آذرآاریها در سرتاسر کمرمرد و شمال سرفیدال گسترده شده است (شکل ۲). در قله کمرمرد این واحدها و واحدهای مافیک قدیمی، میزبان کانی‌سازی رگه‌ای مس، سرب و روی هستند که آثار شدادی نیز در این‌جا دیده می‌شود (شکل ۲). شفایی مقدم و همکاران (Shafaii Moghadam et al., 2015)، با تقسیم گرانیتوئید کاشمر به دو بخش شرقی و غربی و مقایسه ژئوشیمی و سن‌سنجی این دو بخش به این نتیجه رسیدند که بخش شرقی و غربی کاملاً مشابه هستند. بررسی‌های ساختاری ساده ما (بررسی گسلها در تصاویر ماهواره‌ای و کارهای صحرائی) نشان داده که نفوذ گرانیتوئید کاشمر بر اثر عملکرد گسل امتدادلغز مزدوج به‌طور متقارن و در جهت شرقی-غربی در منطقه صورت گرفته است. گرانیتوئید کاشمر یک باتولیت متقارن است (شکل ۲) که غالباً ترکیب مونزوگرانیت، گرانودیوریت و سینوگرانیت همراه با مقادیر کم کوارتز مونزونیت دارد. علاوه بر رخنمون وسیع در نوار جنوبی منطقه، دو رخنمون بزرگ از این واحد در شمال‌شرق و شمال‌غرب کمرمرد نیز وجود دارد (شکل ۲). بر اثر تفریق شدید گرانیتوئید، توده آلکالی گرانیت روشن و تقریباً بدون کانی تیره به‌صورت دو نوار موازی مشخص با روند شمال‌شرقی-جنوب-



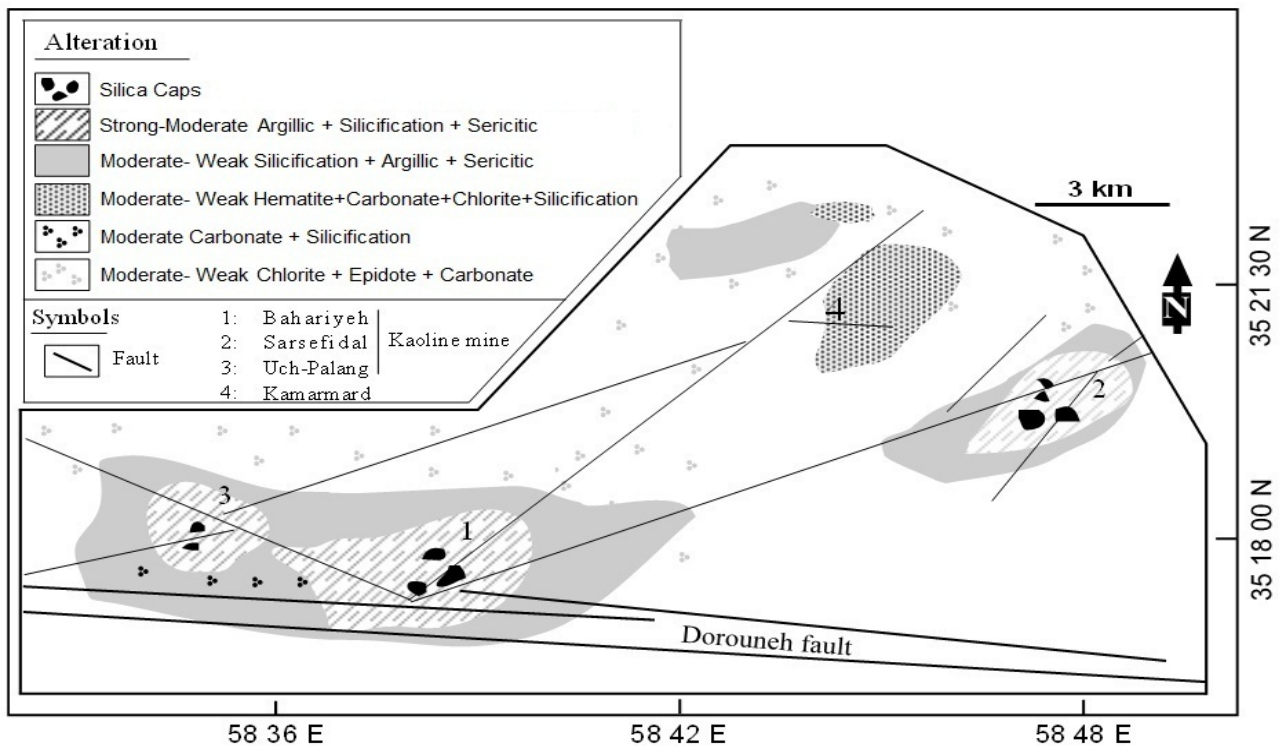
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی کاشمر

Fig. 2. Geological map of Kashmar



شکل ۳. تصویر پردازش شده ماهواره Aster. مناطق بهاریه- اوچ پلنگ و سرفسیدال دارای بیشترین شدت دگرسانی‌اند.

Fig. 3. Processed Aster satellite image. Bahariyeh, Uch Palang and Sarsefidal have most strog alteration.



شکل ۴. نقشه دگرسانی کاشمر. دگرسانیهای آرژیلیک، سیلیسی و سرسیتی در نقاط تلاقی گسل اصلی درونه با گسلهای فرعی (مناطق بهاریه، اوچ پلنگ و سرسفیدال) و دگرسانی هماتی-کربناتی-کلریتی-سیلیسی در کمرمرد متمرکزند.

Fig. 4. Alteration map of Kashmar. Argillic, Silicification and Sericitic focused on intersected points of Dorouneh fault with minors faults (Bahariyeh, Uch Palang and Sarsefidal areas), and Hematite-Carbonate-Chlorite-Silicification focused on Kamarmard area.

کائولینیت، دیاسپور، پیروفیلیت، کوارتز، سرسیت، ایلیت، مونتموریلونیت و آلبیت هستند. با فاصله گرفتن از نقاط با دگرسانی آرژیلیک، شاهد زون آرژیلیک متوسط هستیم. زون‌های آلونیت در زون آرژیلیک از نوع گرمابی نیست. آلونیت گرمابی دارای هابیت سوزنی است؛ اما این کانی در مقاطع میکروسکوپی منطقه کاشمر شکل خاصی ندارد. سیلیس در کاشمر به شکلهای مختلف سیلیس توده‌ای (کلاکهای سیلیسی)، جانشینی، سیلیس تجمعی (اضافه شده به متن سنگ) و رگه-رگه‌چهای قابل توصیف است. تجمعات کوارتز + سرسیت در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شود (شکل ۵-B). در نمونه دستی و مقاطع میکروسکوپی کلاک سیلیسی، بلورهای کوارتز بدون حفره در اندازه بلورهای ریز تا متوسط (کمتر از ۲ تا ۱ میلی‌متر) دیده می‌شوند. (شکلهای ۵. C و D). بخش اعظم سیلیست وسط محلولهای ماگمایی و در مراحل انتهایی انجماد ماگما که محلول غنی از سیلیس بوده است، تأمین شده است. سرد شدن محلول غنی از سیلیس در

تمرکز و شدت اصلی دگرسانی آرژیلیک - سیلیسی - سرسیتی در مجاورت گسل درونه و محل تقاطع گسل درونه با گسلهای فرعی در نقاط سه‌گانه بهاریه، اوچ پلنگ و سرسفیدال است (شکل ۵-A). محلول گرمابی با شست‌وشوی اسیدی سنگها، سبب گسترش این دگرسانیها شده است. وسعت دگرسانی به ۲×۱/۵ کیلومتر مربع می‌رسد. قرارگیری توف در مسیر محلول گرمابی سبب شدت دگرسانی شده است و در مواردی قالب سنگ و کانیها کاملاً تخریب شده است. زون‌های آرژیلیک منطقه در زیر و اطراف کلاکهای سیلیسی قرار دارند (شکل ۵-A). شدت دگرسانی سبب تشکیل ذخیره کائولن شده است. اکسیداسیون پیریت در زون آرژیلیک سبب تشکیل خاک غنی از آهن در این مناطق شده است. در مقاطع میکروسکوپی، غبارآلودی سطح فلدسپات‌ها از شواهد مناسب برای تشخیص کانیهای این دگرسانی است. با استفاده از روش دستگاهی XRD کانیهای رسی زون آرژیلیک مورد شناسایی قرار گرفتند (Almasi et al., 2016). کانیهای اصلی

کربنات و اکسید آهن - کوارتز است. واحدهای آتشفشانی و نفوذی، همگی تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. شکل‌های دیگر این دگرسانی شامل تجمعات اکسید آهن - کربنات \pm کوارتز (شکل E-5) در زمینه سنگ و رگه‌چه‌های اکسید آهن - کربنات - \pm کوارتز است. در کمرمرد زمینه توف با کوارتز + اکسید آهن به صورت بافت غربالی پر شده است. اکسید آهن در شکستگیهای مجاور گسل درونه به صورت پرکننده شکستگیهای گرانیتوئیدها رخ داده است. علاوه بر اکسید آهن، تورمالین نیز به صورت پرکننده این شکافها دیده شد. مظلومی بجستانی (Mazlumi Bajestani et al., 2006)، بر اساس مطالعه تورمالین‌های منطقه سرفیدال، آن را از نوع دومرتیریت ($[Al_7(BO_3)(SiO_4)_3O_3]$) معرفی کرده و وقوع آن را به آخرین مراحل فعالیت‌های ماگمایی نسبت داده و به صورت یک فاز تأخیری کانی‌سازی معرفی کرده‌اند. در کاشمر وسعت دگرسانی پروپلیتیک بیشتر از همه دگرسانیهاست؛ اما شدت و تمرکز آن در کمرمرد بیشتر به صورت کربناتی همراه با دگرسانی هماتیتی و در نقاط سه‌گانه به صورت کلریتی - اپیدوتی است. از مهمترین شکل‌های این دگرسانی در مقاطع میکروسکوپی می‌توان به این موارد اشاره کرد: کلریتی - کربناتی شدن کانیهای فرومنیزین (کربنات در مرکز و غلاف کلریتی)، جانشینی پلاژیوکلازها با اپیدوت، کلریتی شدن کامل زمینه (شکل F-5) و فنوکریست‌ها و پرشدن حفرات آمیگدال (حفره‌های بادامی شکل) با اپیدوت (شکل G-5) است. در گرانیتوئیدهای جنوب منطقه، کلریت جانشین آمفیبول و بیوتیت شده است. رگه‌چه‌های کربنات و اپیدوت نیز به صورت مستقل در سنگهای مختلف دیده می‌شود.

کانی‌سازی و ژئوشیمی رگه‌های کوارتز کانه‌دار

کانی‌سازی سطحی در منطقه کاشمر به صورت رگه‌ای قابل توصیف است. انواع رگه‌های کوارتز کانه‌دار در شکل ۶ نشان داده شده است. علاوه بر مناطق گسلی، زون‌های کانه‌دار در کنتاکت واحدهای سنگی نفوذپذیر و نفوذناپذیر مانند توف و دیوریت نیز گسترش دارند. محلول‌های کانه‌دار، مواد خود را در فضای گسل‌های پرشیب به صورت پرکننده فضاهای خالی برجا گذاشته‌اند. شکل‌های مختلف بافت پرکننده از جمله بافت شانهای، لایه‌ای و برشی دیده شد. برش گرمایی تنها در یک

زیر سطح زمین و به آهستگی صورت گرفته است. که با نبود کوارتز حفره‌دار، که نشان‌دهنده خارج نشدن گاز از محلول گرمایی و نبود رخداد جوشش حین سردشدن است، تقویت می‌شود. هیچ شاهدهی از کوارتز نوع استوک ورک در زون‌های دگرسانی منطقه کاشمر دیده نشد. علاوه بر این کوارتز در سنگهای آتشفشانی (مانند توف) و نفوذی (مانند دیوریت پورفیری) به شکل جانشینی قالب کانیهایی مانند پلاژیوکلاز را پر کرده است. سیلیس گرمایی به صورت‌های دیگری چون تجمعات کوارتز + کربنات و کوارتز + اکسیدهای آهن دیده می‌شود. حالت اول (کوارتز + کربنات) غالباً در مناطق نزدیک به گسل درونه رخ داده است، در حالی که تجمعات کوارتز + اکسید آهن در کمرمرد فراوان است (شکل E-5). کوارتز به صورت بافت غربالی در زمینه‌ای که با اکسید آهن پر شده، دیده می‌شود. علاوه بر موارد بالا، در کاشمر سیلیس به شکل رگه‌چه‌های کوارتز کانه‌دار در سرتاسر منطقه پراکنده است، که در بخش کانی‌سازی بدان می‌پردازیم. دگرسانی هماتیتی - کربناتی - کلریتی - سیلیسی در کمرمرد رخ داده است. دگرسانی سرسیتی در کاشمر به صورت ضعیف همراه با دگرسانیهای سیلیسی و آرژیلیک در نقاط سه‌گانه می‌شود. وسعت این دگرسانی در حالت اول مشابه با دگرسانی آرژیلیک است. زون سرسیت حاوی کوارتز و مقدار کم پیریت بوده که عمدتاً به اکسیدهای آهن و ژاروسیت اکسیده شده است. امکان تفکیک زون‌های این دگرسانی در سطح زمین و نقشه دگرسانی از دگرسانیهای آرژیلیک و سیلیسی وجود ندارد. با توجه به وجود نسبتاً ضعیف این دگرسانی در زون آرژیلیک و سیلیسی و توجه به زون‌بندی این دگرسانی در ذخایر عدسی شکل شاخص (پورفیری‌ها)، احتمال دارد در اعماق منطقه بر شدت آن افزوده شود. از شکل‌های این دگرسانی در مقاطع میکروسکوپی می‌توان به تجمع سرسیت + کوارتز و تبدیل پلاژیوکلاز به سرسیت اشاره کرد. در گرانتیت و دیوریت جانشینی سرسیت در فنوکریست پلاژیوکلاز و میکروولیت‌های زمینه رخ داده است.

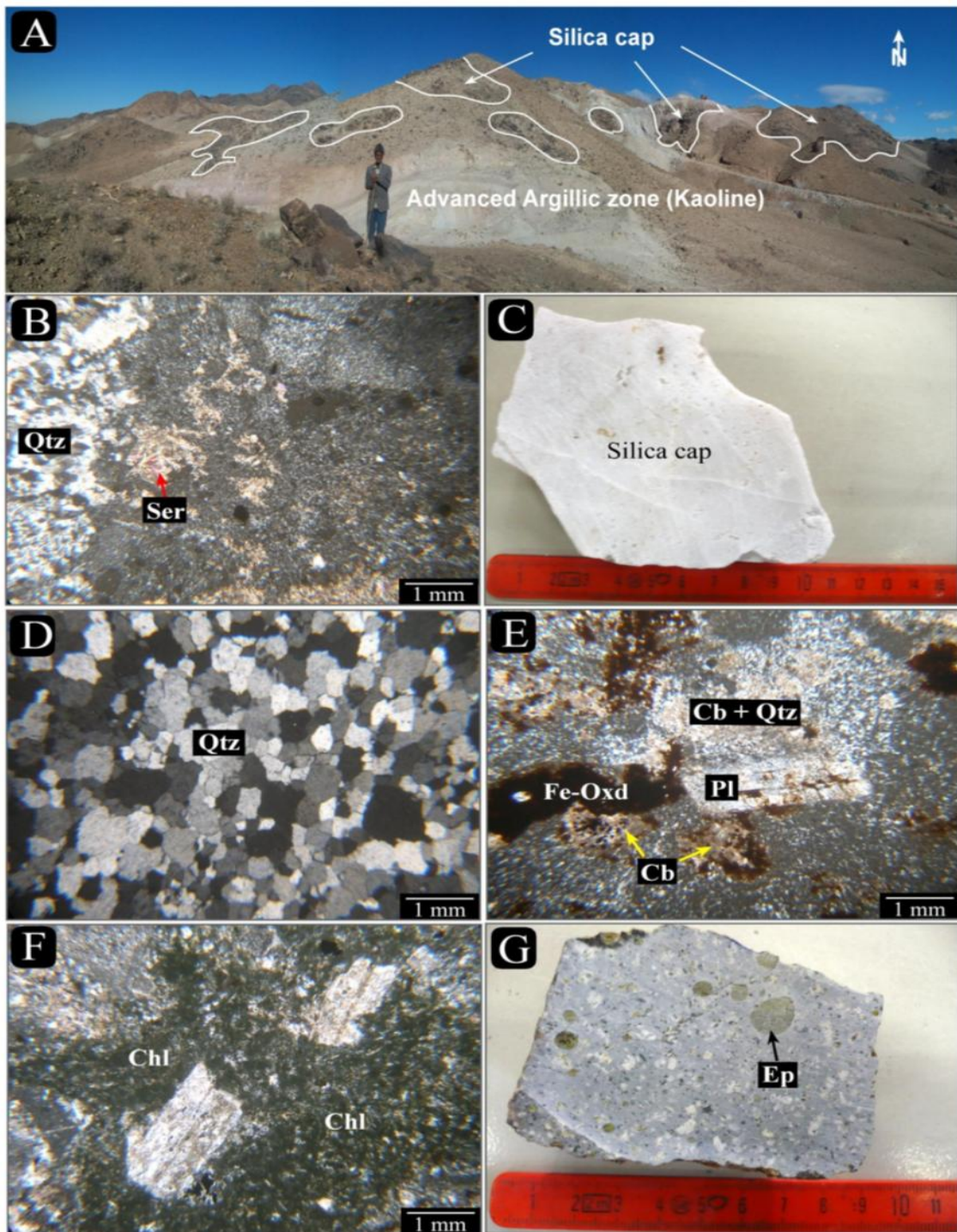
شدت این دگرسانی در کمرمرد و در نقاطی از غرب سرفیدال است (شکل ۴). اثر دگرسانی هماتیتی در سنگهای مافیک منطقه کمرمرد مشهود است. مهمترین شکل این دگرسانی متاسوماتیزم آهن به صورت جانشینی کانیهایی مانند پلاژیوکلاز و زمینه سنگهای مختلف با اکسید آهن - کلریت \pm

اکسیداسیون به مالاکیت تبدیل شده است. فراوانی مالاکیت در رگه‌ها نشان‌دهنده فراوانی کالکوپیریت پیش از اکسیداسیون است (شکل ۷-۷). مقدار کوارتز در مقطع تا ۲۰ درصد حجمی است که به صورت دانه‌های ریز (اندازه کمتر از ۰/۳ میلی‌متر) متن سنگ را پوشش داده است. بعضاً دانه‌های پراکنده پیریت با اندازه کمتر از ۰/۲ میلی‌متر دیده می‌شود؛ اما در برخی نقاط این رگه‌ها، زون‌های اکسید آهن فراوانی دیده می‌شود. رگه‌های غرب و شرق معدن کائولن بهاریه با بیشترین آثار شدادی از این رگه‌ها محسوب می‌شوند (شکل ۷-۷). رگه‌های غنی از اسپیکولاریت دارای بافت لایه‌ای و شانهای و کانیها شامل: کوارتز- اسپیکولاریت- پیریت± باریت± کلریت± سیدریت± سایر کانیها هستند. لایه‌های متقارن اسپیکولاریت- کوارتز نسبت به مرکز رگه به صورت منظم تکرار شده‌اند (شکل ۷-۷). مقدار کوارتز در رگه‌ها تا بین ۱۵-۲۵ درصد حجمی و اسپیکولاریت تا < ۵۰ درصد حجمی می‌رسد. اندازه سوزنهای اسپیکولاریت تا ۲ میلی‌متر (غالباً ۱/۴-۱/۵ میلی‌متر)، کوارتز ۰/۵-۱ میلی‌متر و دانه‌های پیریت تا < ۱ میلی‌متر هستند (شکل ۷-۷). کالکوپیریت و مالاکیت به مقدار خیلی جزئی دیده شد.

رگه‌های کوارتز- گالن± باریت دارای بافت شانهای و کانی‌شناسی ساده‌اند. کوارتز شیری و گالن و بعضاً باریت به صورت لایه‌هایی نسبت به خط تقارن مرکز رگه تکرار می‌شوند (شکل ۷-۷). اندازه دانه‌های کوارتز تا ۲ میلی‌متر و گالن با رخ مثلثی تا بیش از نیم سانتی‌متر می‌رسد. مالاکیت و اسفالریت نیز در مقادیر بسیار جزئی مشاهده شد. مرکز رگه با کوارتز به صورت چرت قرمز پر شده است (شکل ۷-۷). رگه‌های بزرگ و کوچک با بیشترین طول تقریبی ۹۰ متر و حداکثر عرض ۲ متر دیده می‌شوند. رگه‌های باریت با تیغه‌های درشت باریت (اندازه تیغه‌ها تا ۲/۵ سانتی‌متر) و بعضاً دانه‌های گالن در نزدیکی رگه‌های کوارتز- گالن هستند (شکل ۷-۷). طول و عرض رگه‌ها به ترتیب تا حداکثر ۷۰ و ۴ متر می‌رسد. کانی‌سازی برش گرمایی به صورت پرشیب و فقط در قله کمرمرد رخ داده است که فعالیت‌های استخراجی قدیمی (آثار شدادی) را در دل خود جای داده است (شکل ۷-۷). طول زون برشی ۲۰۰ متر و عرض آن از ۲/۵ تا ۱۰ متر در تغییر است.

مورد (در قله کمرمرد) مشاهده شد. هیچ شاهدهی مبنی بر کانی‌سازی نوع استوک ورک دیده نشد. پهنای زون‌های کانی‌سازی عموماً از کمتر از یک متر تا طول بیش از ۱۰۰ متر متغیر است. آثار استخراجی قدیمی (شدادی) بر روی رگه‌ها دیده می‌شود. رگه‌ها در همه جهات رخ داده‌اند؛ اما از نظر فراوانی در جهت شمال‌شرقی- جنوب‌غربی غالب‌ترند. بر اساس نقشه کانی‌سازی- دگرسانی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (شکل ۴)، رگه‌ها غالباً در کمرمرد و بعضاً بهاریه و سرسفیدال پراکنده‌اند. بر اساس کانی‌شناسی فلزی و هم‌بافت، چهار نوع رگه در منطقه شناسایی شد: ۱- رگه‌های کالکوپیریت- کوارتز± پیریت (شکل ۷-۷، A و B و C)، ۲- رگه‌های غنی از اسپیکولاریت (شکل ۷-۷، D و E)، ۳- رگه‌های کوارتز- گالن (شکل ۷-۷، F) و ۴- رگه‌های باریت (شکل ۷-۷، G). برش گرمایی (کوارتز- اسپیکولاریت- پیریت- کالکوپیریت- گالن± سایر کانیها) فقط یک مورد در قله کمرمرد رخ داده است (شکل ۷-۷). فراوانی رگه‌های نوع دوم و سوم به مراتب بیشتر و با جهات مختلف در کمرمرد متمرکزند. رگه‌های نوع اول با تعداد کم در بهاریه و سرسفیدال بر روی شکستگی‌های اصلی متمرکزند. رگه‌های نوع چهارم در هر دو منطقه رخنمون کمی دارند. شکل ۶، به خوبی انطباق محل رگه‌های غنی از اسپیکولاریت و رگه‌های غنی از گالن + پیریت با دگرسانیهای هماتیت- کربنات- کلریت- سیلیسی در کمرمرد و انطباق رگه‌های کالکوپیریت- کوارتز± پیریت با دگرسانیهای آرزلیک - سرسیتیک- سیلیسی در نقاط سه‌گانه را نشان می‌دهد.

سیلیس در رگه‌های کانی‌سازی به صورت کوارتز ریزدانه و در برش گرمایی، رگه‌های غنی از اسپیکولاریت و کوارتز- گالن فراوان یافت می‌شود. پایین بودن میزان گوگرد و حالت فرااکسایش محلول، سبب فراوانی کانیهای هماتیت (نوع اسپیکولاریت)، گالن، پیریت و باریت و مقدار کم کالکوپیریت در رگه‌ها شده است. بافت کانه در رگه‌های کالکوپیریت- کوارتز به صورت توده‌ای است. کانی‌شناسی رگه بسیار ساده است. کالکوپیریت و کوارتز کانی اصلی و مقادیر کم پیریت در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شود. کالکوپیریت به صورت دانه‌های بی‌شکل تجمعی با اندازه تا چند میلی‌متر و شکلهای رشته‌ای مانند است (شکل ۷-۷). مقدار کالکوپیریت در مقاطع تا ۱۰ درصد حجمی می‌رسد و کالکوپیریت غالباً در اثر

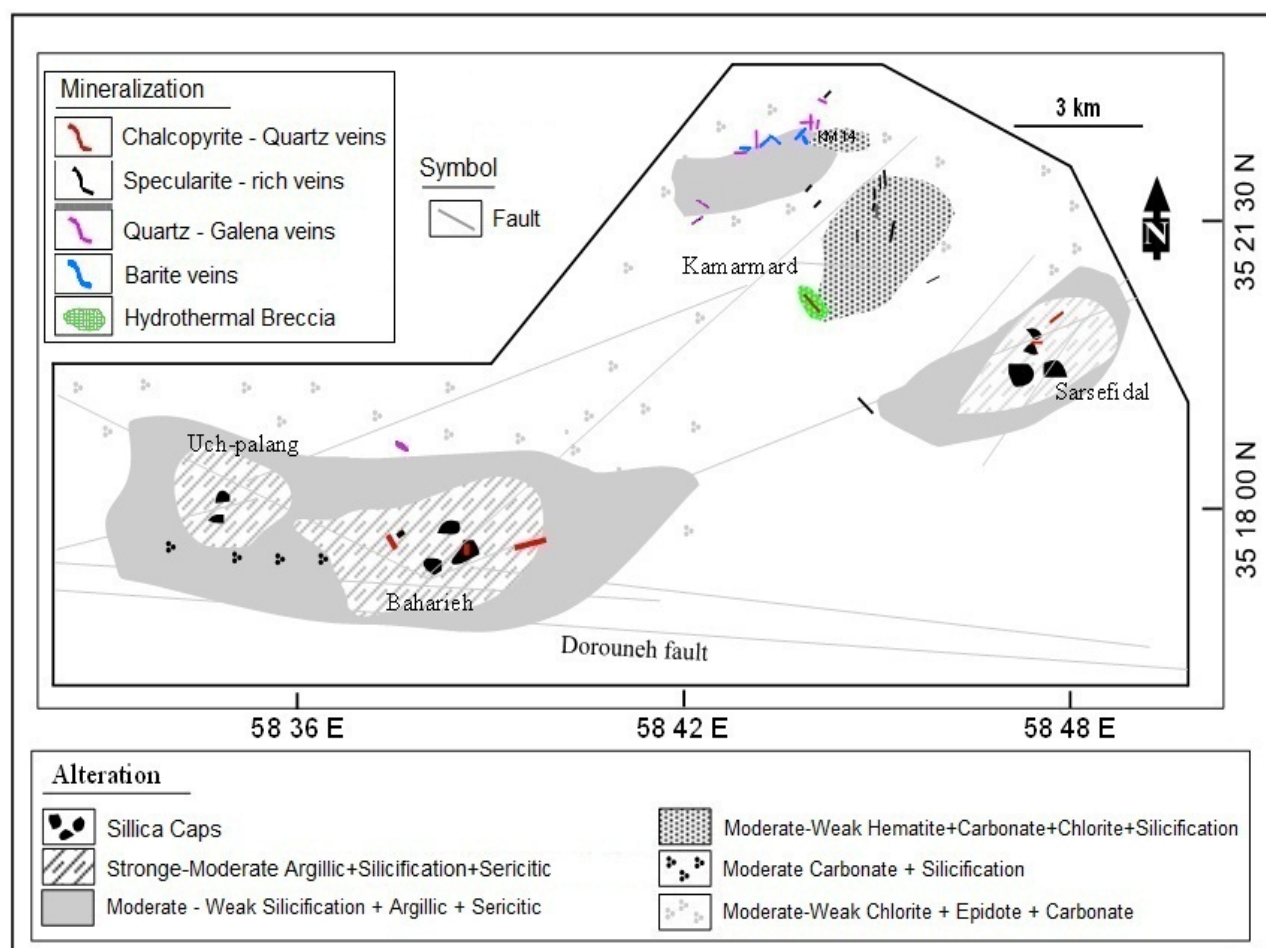


شکل ۵. تنوع دگرسانی در منطقه کاشمر: A: دگرسانی آرژیلیک و کلاهکهای سیلیسی در بهاریه، B: دگرسانی کوارتز- سرسیتی در توف، C و D: نمونه دستی و تصویر میکروسکوپی کلاهک سیلیسی بدون حفره، E: دگرسانی هماتیسی- کربناتی- سیلیسی در داسیت، F: دگرسانی کلریتی در زمینه لیتیک کریستال توف و G: پر شدن حفره‌های آمیگدال (بادامی شکل) با اپیدوت در سنگ هورنبلند دیوریت. اختصارات از اشמיד و همکاران (Schmid et al., 2007): Qtz: کوارتز، Ser: سرسیت، Pl: پلاژیوکلاز، Fe-Oxd: اکسیدهای آهن، Cb: کربنات، Ep: اپیدوت، Chl: کلریت

Fig. 5. Various alterations in Kashmar area: A: Argillic alteration and Silica caps in Bahariyeh, B: quartz-Sericite alteration in Tuff, C and D: hand-specimen and microscopic image of no vuggy silica caps, E: Hematite-Carbonate-Silicification alteration in Dacite, F: Chlorite alteration in Lithic crystal tuff matrix, and G: filling of Amygdaloidal caves with Epidote in Hornblende diorite. (Abbreviations (Schmid et al., 2007): Qtz: Quartz, Ser: Sericite, Pl: Plagioclase, Fe-Oxd: Iron Oxides, Cb: Carbonate, Ep: Epidote, Chl: Chlorite)

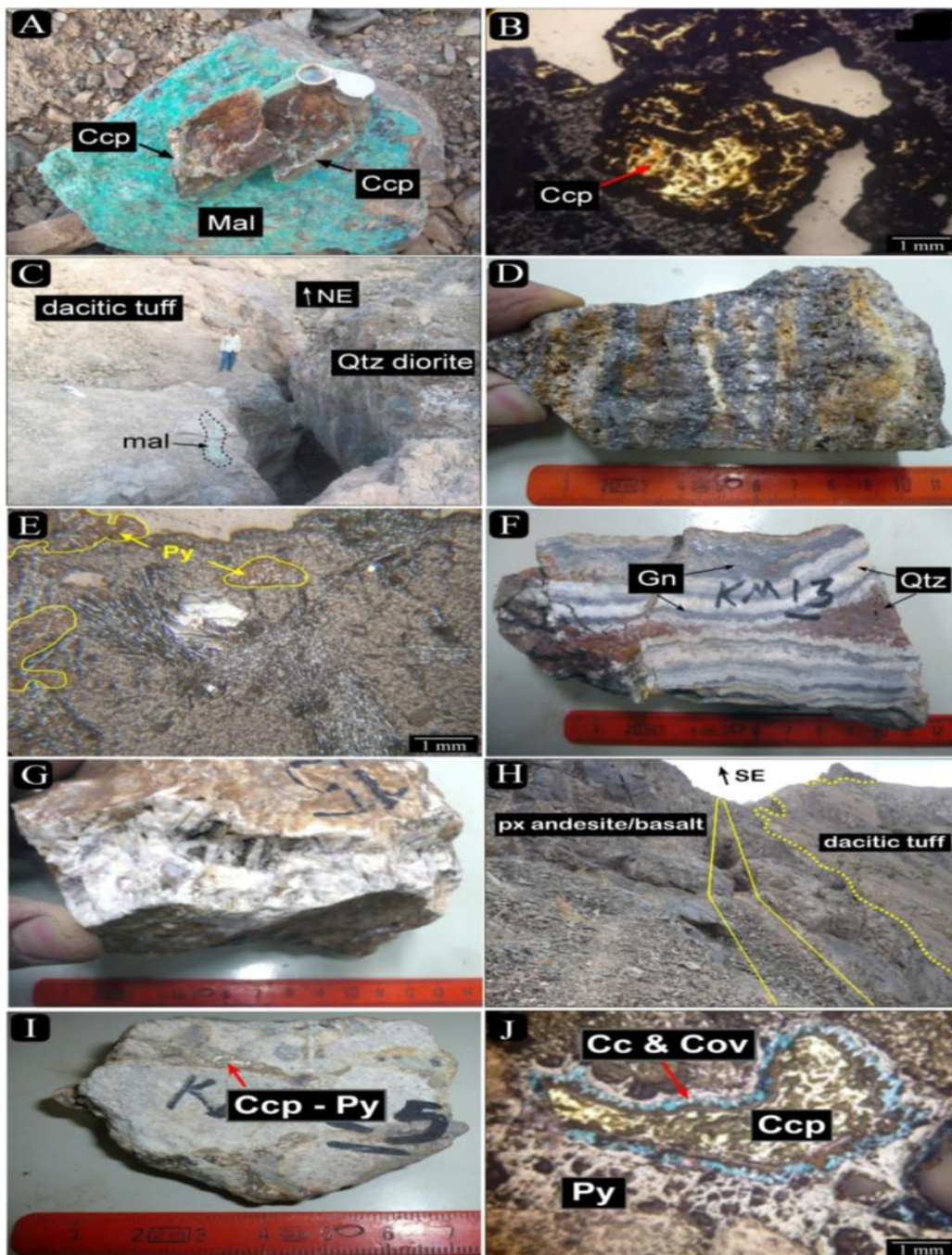
بازالت و آندزیت میزبان کانی‌سازی هستند. کوارتز به صورت زاویه‌دار و اندازه قطعات مختلف و از ۰/۵ تا ۵ سانتی‌متر متغیر است. قطعات در زمینه‌ای از کوارتز ریزدانه، کربنات و اکسید آهن قرار دارند. کالکوپیریت، پیریت و گالن در فضای بین قطعات کوارتز در برش دیده می‌شوند (شکل ۷- I و J). کوولیت و کالکوسیت به‌عنوان کانیهای حاصل از هوازدگی کالکوپیریت وجود دارند (شکل ۷- J). گالن یا به صورت غلافی دانه‌های پراکنده کالکوپیریت را در بر گرفته یا در شکستگیهای آن توسعه یافته است. توالی هم‌یافتی کانیهای فلزی و غیرفلزی اولیه از رگه‌های کوارتز کانه‌دار منطقه کاشمر در شکل ۸ آورده شده است.

امتداد و شیب آن به ترتیب N۱۵W و ۸۵NE است. چند چاه برای استخراج مواد معدنی از عمق زون برشی حفر شده است. اساس هم‌یافت، کانیایی و درصد کانیها مشابه با رگه‌های غنی از اسپکیولاریت است؛ اما مقادیر کالکوپیریت و پیریت و کوارتز بیشتر، اسپکیولاریت کمتر شده و گالن نیز به مجموعه اضافه می‌شود. مقدار کوارتز تا $< 50\%$ درصد حجمی، اسپکیولاریت ۲۵-۳۰ درصد، گالن تا ۱۰ درصد و مجموع کالکوپیریت-پیریت ۱۰-۱۵ درصد سنگ است. اندازه دانه‌های کالکوپیریت و پیریت تا ۱ میلی‌متر و گالن تا ۴ میلی‌متر می‌رسد. قطعات برش شامل کوارتز در اندازه‌های مختلف و قطعاتی از سنگ میزبان توف داسیتی تشکیل شده است (شکل ۷- I). توف،



شکل ۶. نقشه دگرسانی-کانی‌سازی کاشمر. رگه‌های کالکوپیریت-کوارتز±پیریت در محدوده دگرسانی آرژلیک، سیلیسی و سرسیتی؛ اما رگه‌های غنی از اسپکیولاریت، کوارتز-گالن، باریت و برش گرمایی در محدوده دگرسانی هماتی-کربناتی-کلریتی-سیلیسی در کمرمرد رخ داده‌اند.

Fig. 6. Alteration-mineralization map of Kashmar. Quartz-Chalcopyrite±pyrite veins occurs in Argillic, Silicification and Sericitic alteration zone, but Specularite-rich, Quartz-Galena, Barite veins and hydrothermal breccia occur in Hematite-Carbonate-Chlorite-Silicification alteration zone.



شکل ۷. کانی‌سازی در کاشمر A، B و C: نمونه دستی، تصویر میکروسکوپی و کارهای شدادی بر روی رگه‌های کالکوپیریت-کوارتز ± پیریت منطقه بهاریه، D و E: نمونه دستی و تصویر میکروسکوپی از رگه‌های غنی از اسپیکولاریت، F: نمونه دستی از رگه کوارتز-گالن با بافت شانه‌ای و چرت در مرکز رگه، G: تیغه‌های باریت در رگه‌های باریت عقیم از کانی‌سازی، H، I و J: تصویر صحرایی، نمونه دستی و تصویر میکروسکوپی از برش گرمایی در قله کمرمرد. اختصارات از اشמיד و همکاران (Schmid et al., 2007): Ccp: کالکوپیریت، Qtz: کوارتز، Mal: مالاکیت، Px: پیروکسن، Gn: گالن، Cov: کوولیت، Cc: کالکوسیت، Py: پیریت

Fig. 7. Mineralization in Kashmar: A, B and C: hand-specimen, microscopic image and Shaddadi working on Chalcopyrite-quartz±Pyrite veins in Bahariyeh area, D and E: hand-specimen and microscopic image of Specularite-rich veins, F: hand-specimen of quartz-Galena vein with comb texture and chert in center of vein; G: Barite blades in barren barite veins, H and J: Field image, hand-specimen and microscopic image of hydrothermal breccias in Kamarmard peak (Abbreviations (Schmid et al., 2007): Ccp: Chalcopyrite, Qtz: Quartz, Mal: Malachite, Px: Pyroxene, Gn: Galena, Cov: Covolite, Cc: Chalcocite, Py: Pyrite)

Mineral Stage	Hypogene					Oxidized
	Early				Late	
	Chalcopyrite - Quartz Veins	Specularite- rich Veins	Hydrothermal Breccia	Quartz-Galena ± Barite veins	Barite veins	
Quartz	-----	-----	-----	-----	-----	
Barite		-----			-----	
Chalcopyrite	-----	-----				
Pyrite	-----	-----	-----			
Specularite		-----	-----	-----		
Sphalerite	-----		-----	-----		
Galena			-----	-----		
Chlorite			-----	-----		
Siderite			-----	-----		
Calcite		-----				
Chalcocite						-----
Covelite						-----
Malachite						-----
Azurite						-----
Hematite						-----
Limonite						-----

شکل ۸. توالی هم‌یافتی کانیهای انواع رگه‌های منطقه کاشمر

Fig. 8. Paragenetic sequences of minerals of various veins of Kashmar

مقادیر مربوط به رگه‌های کوارتز- گالن و کالکوپیریت- کوارتز ± پیریت است. مقادیر سرب و روی رگه‌های کاشمر به ترتیب از ۱۸ پی‌پی‌ام تا < ۱ درصد و ۱۵ پی‌پی‌ام تا < ۱ درصد متغیر است (جدول ۱ و شکل‌های ۱۱ و ۱۲). بی‌هنجاری اصلی این عناصر در برش گرمابی قله کمرمرد و رگه‌های کوارتز- گالن شمال غرب کمرمرد است. این مناطق بر دگرسانیهایی هماتی- کربناتی- کلریتی- سیلیسی منطبقند. علاوه بر این، بی‌هنجاری ضعیف روی در رگه‌های کالکوپیریت- کوارتز ± پیریت و بی‌هنجاری سرب در رگه کوارتز- گالن شمال بهاریه نیز دیده می‌شود.

مطالعه سیالات درگیر

عمده سیالات درگیر موجود در نمونه‌ها به شکل‌های بیضوی، کروی، کشیده و بی‌شکل و اندازه آنها از ۱ تا ۱۰ میکرون است. سیالات درگیر بررسی شده، از نوع دوفازی غنی از مایع (L+V)، تک‌فاز مایع (L)، سه فاز غنی از مایع + گاز + کانی تیره (L+V+O) و به ندرت تک‌فاز گازی (V) هستند. غالب سیالات از نوع دوفازی مایع + گاز (L+V) هستند. فاز دختر در آنها اکسید آهن است که فقط در چند نمونه مربوط به رگه‌های غنی از اسپکیولاریت دیده شد. دامسنجی، تعیین نوع

نتایج تجزیه رگه‌های کوارتز کانه‌دار در جدول ۱ آمده است. مقدار عنصر طلا در رگه‌های کوارتز کانه‌دار کاشمر از ۳ پی‌پی‌بی تا حدود ۱۵ پی‌پی‌ام متغیر است. بر اساس نقشه ژئوشیمی طلا (شکل ۹)، بی‌هنجاری مهم این عنصر در برش گرمابی و رگه‌های غنی از اسپکیولاریت منطقه است. مقدار طلا در برش گرمابی از حدود ۰/۲ پی‌پی‌ام تا ۱۵ پی‌پی‌ام متغیر است. بی‌هنجاریهای این عنصر منطبق بر زون دگرسانی هماتی- کربناتی- کلریتی- سیلیسی در قله کمرمرد است (شکل ۹) در رگه‌های غنی از اسپکیولاریت مقدار طلا تا ۱/۲ پی‌پی‌ام می‌رسد (جدول ۱). کمترین مقادیر مربوط به رگه‌های کوارتز- گالن و کالکوپیریت- کوارتز ± پیریت است. مقدار مس در رگه‌های کوارتز کانه‌دار کاشمر از ۵۱ پی‌پی‌ام تا < ۱ درصد متغیر است (جدول ۱). بر اساس نقشه ژئوشیمی مس (شکل ۱۰)، بی‌هنجاری اصلی این عنصر در رگه‌های کالکوپیریت- کوارتز ± پیریت نزدیک بهاریه است. مقدار مس در این رگه‌ها بیش از ۱ درصد است. این رگه‌ها در مجاورت کلاهک‌های سیلیسی و زون دگرسانی آرژیلیک بهاریه رخ داده‌اند (شکل ۱۰). بی‌هنجاری دوم این عنصر در رگه‌های غنی از اسپکیولاریت رخ داده است. در این جا مقدار مس تا حداکثر ۰/۶ درصد می‌رسد (جدول ۱ و شکل ۱۰). کمترین

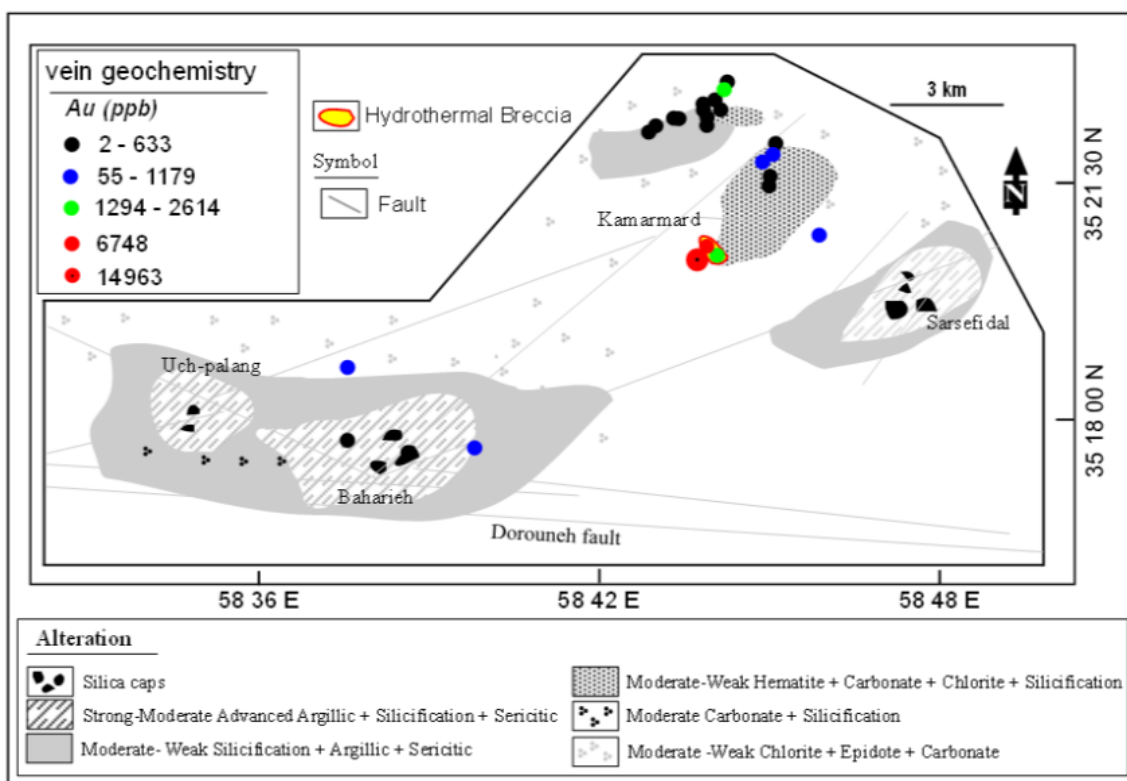
محلول و مقدار شوری سیالات درگیر بر روی نوع L+V انجام عملیات سرمایش، فقط دما اندازه‌گیری شد. خلاصه دماها و شد. در بسیاری از نمونه‌ها به دلیل نامناسب بودن اندازه برای شوریهای اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱. نتایج تجزیه ژئوشیمی رگه‌های کوارتز کانه‌دار منطقه کاشمر

Table 1. Geochemical analysis results of various veins of Kashmar

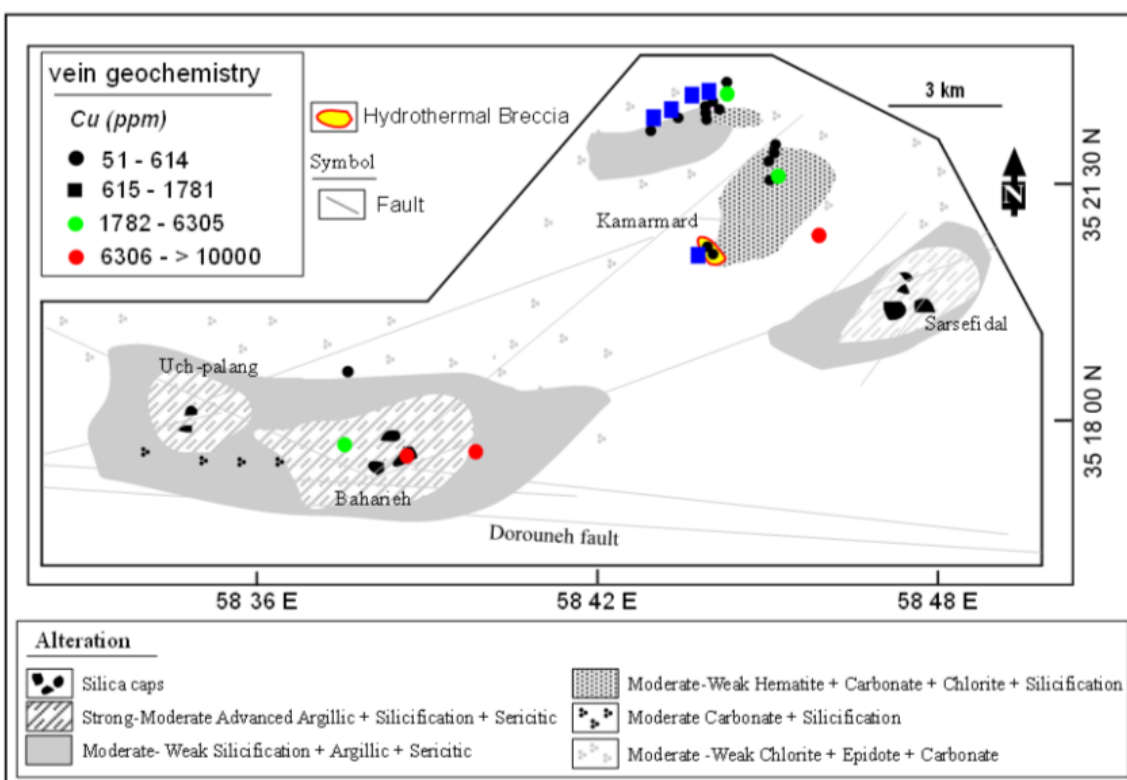
Sample	Cu (ppm)	Au (ppb)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ag (ppm)	Cd (ppm)	As (ppm)	Fe (%)	Sb (ppm)	Fe (%)
KM1*	479	24	48	37	0.2	0	26	7	1	7
KM3*	52	55	32	57	1.2	1	27	5	1	5
KM4*	614	178	122	25	2.7	<0.1	103	8	1	8
KM6*	6304	33	964	130	9.2	<0.1	84	15	8	15
KM7*	51	6	172	201	0.3	0	2	6	0	6
KM10*	110	16	324	164	2.0	<0.1	73	8	14	8
KM11*	6265	1295	24	575	4.0	<0.1	139	3	15	3
KM12*	87	5	6169	95	7.4	0	6	1	2	1
KM13*	1781	11	>10000	>10000	49.6	153	183	1	112	1
KM14*	334	5	>10000	152	5.7	1	8	1	2	1
KM16*	420	6	22	88	0.2	<0.1	3	1	0	1
KM17*	1176	18	54	63	0.3	0	10	1	2	1
KM18*	955	5	877	183	5.1	1	7	3	1	3
KM19*	190	10	25	15	0.2	<0.1	3	0	0	0
KM20*	227	3	70	32	0.2	0	8	1	0	1
KM21*	152	3	237	48	0.4	<0.1	3	2	0	2
KM22*	414	28	5226	104	3.4	1	3	1	0	1
KM23*	868	6	207	127	6.9	1	19	1	11	1
KM24*	339	2614	4413	>10000	5.1	181	21	5	2	5
KM25*	1389	14963	>10000	>10000	22.2	250	36	6	3	6
KM27*	264	6748	1578	2147	4.7	15	18	3	1	3
KM105****	>10000	64	487	1193	3.6	4	50	16	3	16
BM6**	4676	4	19	72	0.0	<0.1	3	4	0.0	4
BM3**	>10000	116	106	347	0.6	1	8	7	0.6	7
BM5**	>10000	27	80	302	0.9	2	172	3	0.9	3
BM101**	593	69	6605	328	56.1	0	22	5	56.1	5
KM101**	1676	7	1472	384	1.5	4	15	1	1.5	1
KM102**	143	7	79	90	1.1	0	25	5	1.1	5

(*) Spicularite-rich veins, (**)Quartz-Galena veins, (***)Hydrothermal breccias, (****)Chalcopyrite-Quartz veins.



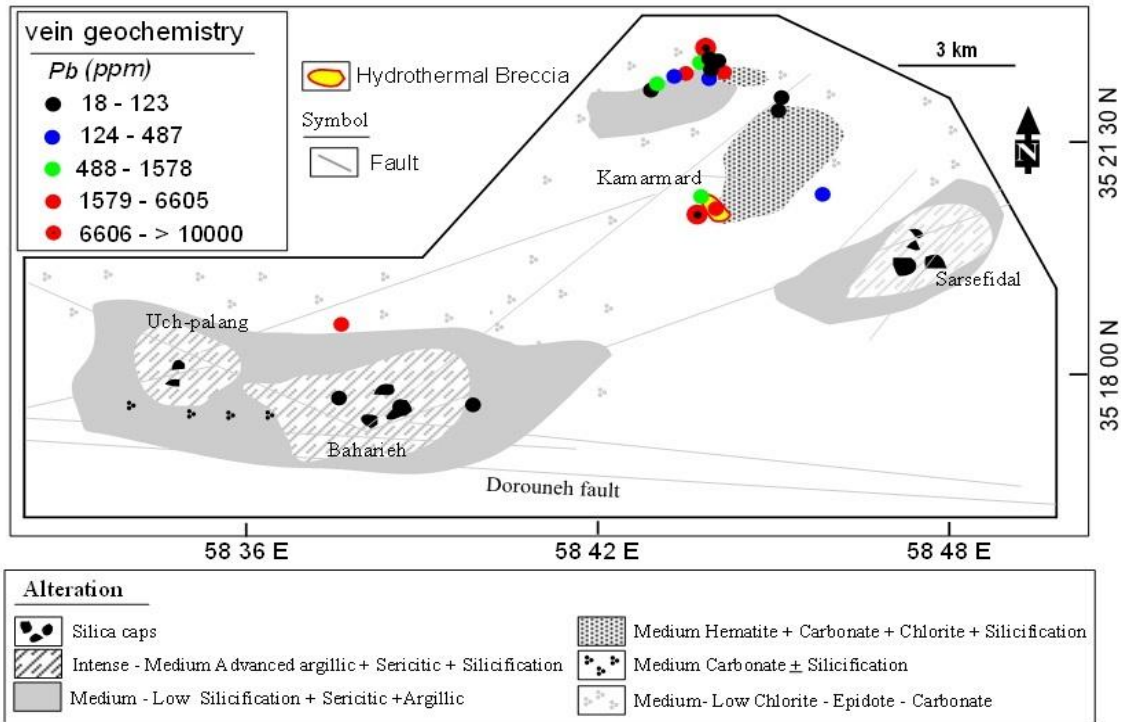
شکل ۹. نقشه ژئوشیمی طلای رگه‌های کوارتز کانهدار در منطقه شمال شرق کاشمر

Fig. 9. Gold geochemical map of ore-bearing quartz veins in Kashmar

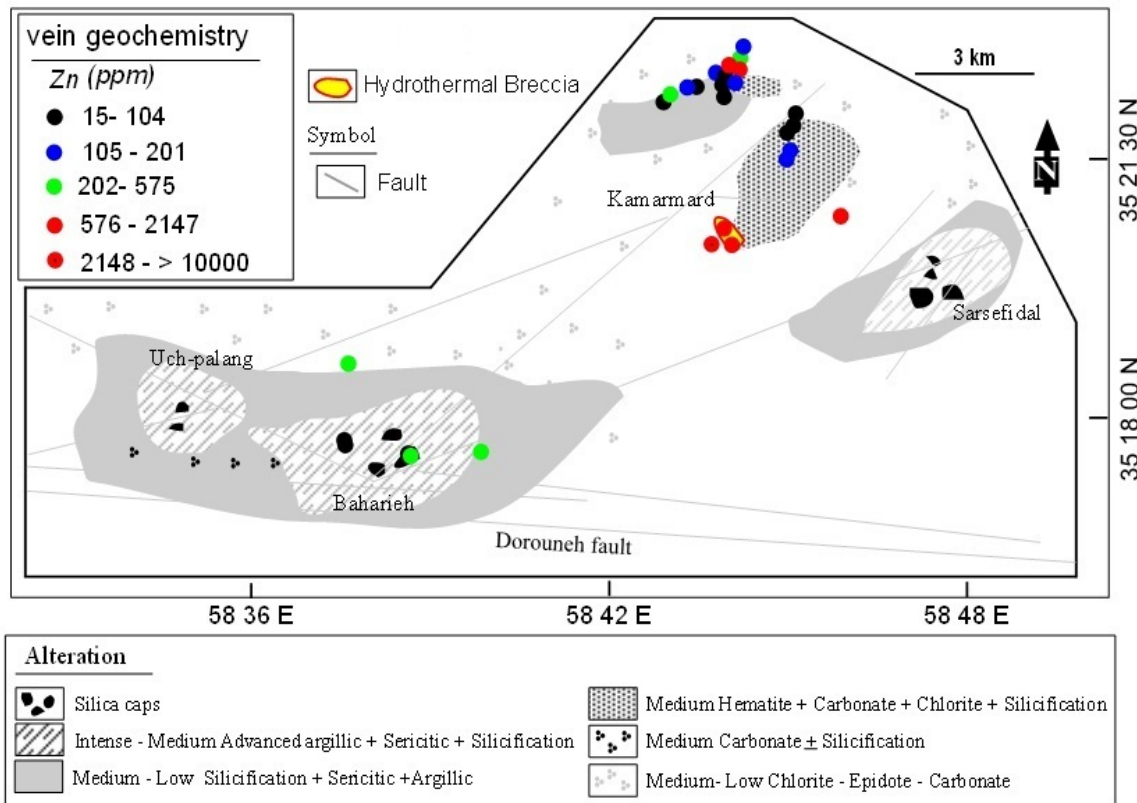


شکل ۱۰. نقشه ژئوشیمی مس رگه‌های کوارتز کانهدار در منطقه شمال شرق کاشمر

Fig. 10. Copper geochemical map of ore-bearing quartz veins in Kashmar



شکل ۱۱. نقشه ژئوشیمی سرب رگه‌های کوارتز کانه‌دار در منطقه شمال شرق کاشمر
Fig. 11. Lead geochemical map of ore-bearing quartz veins in Kashmar



شکل ۱۲. نقشه ژئوشیمی روی رگه‌های کوارتز کانه‌دار در منطقه شمال شرق کاشمر
Fig. 12. Zinc geochemical map of ore-bearing quartz veins in Kashmar

در رگه‌های کاشمر نسبتاً کم تا متوسط و بین ۱۴ تا ۱۸ درصد وزنی (NaCl) متغیر است. مقدار شوری برای سیالات رگه‌های غنی از اسپیکولاریت بین ۱۴/۱۵ تا ۱۷/۸۰ (میانگین ۱۵/۹۴)، برای سیالات برش گرمابی بین ۱۶/۷۱ تا ۱۷/۹۷ (میانگین ۱۷/۴۰) و برای سیالات رگه‌های کوارتز-گالن بین ۱۴/۱۵ تا ۱۷ (میانگین ۱۵/۳۵) متغیر است. میانگین شوری رگه‌های غنی از اسپیکولاریت، برش گرمابی و رگه‌های کوارتز-گالن اندکی کمتر از رگه‌های کالکوپیریت-کوارتز± پیریت است. مقادیر شوری مربوط به رگه‌های کالکوپیریت-کوارتز± پیریت دارای بیشترین مقادیر فراوانی و در بازه ۱۵ تا نزدیک ۱۸ درصد وزنی NaCl (غالباً ۱۶-۱۷/۵) است. برش گرمابی دارای بیشترین مقادیر شوری و فراوانی متوسط اما بازه محدود بین ۱۷ و نزدیک ۱۸ درصد وزنی NaCl است. رگه‌های غنی از اسپیکولاریت دارای وسیعترین بازه (از ۱۴/۵ تا نزدیک ۱۸) و فراوانی متوسط هستند. کمترین مقادیر و فراوانی شوری مربوط به رگه‌های کوارتز-گالن است. مقدار چگالی سیالات درگیر نیز بر اساس معادله براون و لمب (Brown and Lamb, 1989) برای سیالات رگه‌های کالکوپیریت-کوارتز± پیریت بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۰، برای رگه‌های غنی از اسپیکولاریت بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۰، برای برش گرمابی بین ۰/۸۹ تا ۰/۹۰ و برای رگه‌های کوارتز-گالن بین ۰/۸۶ تا ۰/۸۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است.

نمودار هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن سیالات درگیر، با استفاده از نرم‌افزار SPSS رسم شد (شکل‌های ۱۳-A و B). به‌طور کلی، بیشترین فراوانی در تغییرات دمایی ۳۰۰ تا ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود. بیشترین و کمترین دماها به ترتیب مربوط به برش گرمابی و رگه‌های کوارتز-گالن است. بازه وسیع دمایی (تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) به برش گرمابی و رگه‌های کوارتز-گالن تعلق دارد. رگه‌های کوارتز گالن دارای بیشترین فراوانی دمایی در بازه ۳۰۰ تا ۳۷۰ درجه سانتی‌گراد هستند. رگه‌های کالکوپیریت-کوارتز± پیریت وضعیتی مشابه با رگه‌های کوارتز-گالن دارند، اما فراوانی کمتر و دماهای کمی بالاتر نشان می‌دهند. بیشترین فراوانی دمایی برای رگه‌های غنی از اسپیکولاریت در بازه ۳۳۰ تا ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد است. برش گرمابی وضعیتی مشابه با رگه‌های غنی از اسپیکولاریت دارند؛ اما نسبت به آن بازه اندکی وسیعتر (۳۳۰ تا ۵۳۰ درجه سانتی‌گراد) و فراوانی بیشتری نشان می‌دهد. با محاسبات انجام شده در نرم‌افزار Flincor، سیستم به‌دست آمده برای محلول گرمابی از نوع $H_2O-NaCl-CaCl_2$ به‌دست آمد. دمای نهایی ذوب (Tm) NaCl- نیز مقدار شوری را مشخص می‌کند. بر اساس سیستم NaCl- H_2O (Bodnar, 1993)، مقدار شوری در سیالات رگه‌های کالکوپیریت-کوارتز± پیریت بین ۱۵/۱۷ تا ۱۷/۶۱ درصد NaCl متغیر (میانگین ۱۶/۵۷) است. بر اساس میزان شوری در جدول ۱ و هیستوگرام شوری (شکل ۱۳-B)، مقدار شوری

جدول ۲. خلاصه نتایج بررسی‌های سیالات درگیر در انواع رگه‌های کوارتز کانه‌دار کاشمر

Table 2. Summarized results of fluid inclusion studies on various quartz veins in Kashmar

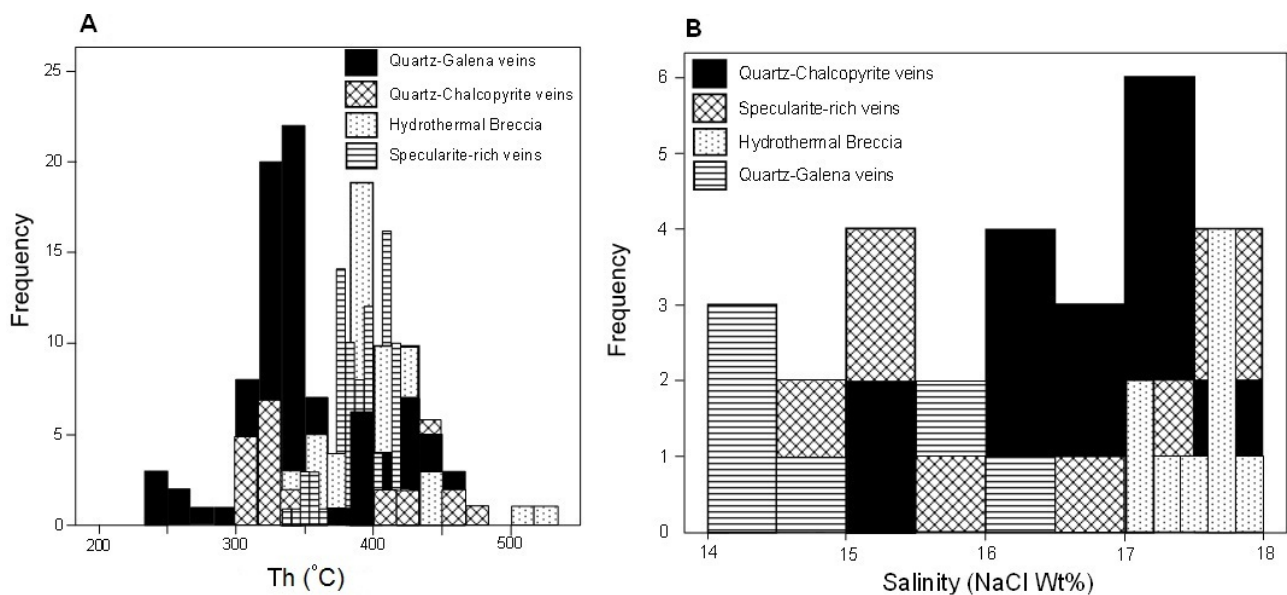
Vein type	Mineral	Th(°C)	Tm(°C)	NaCl (Wt% equiv.)	Density (g/cm ³)
Chalcopyrite - Quartz	Quartz	307-470	-13.8 to -11.2	15.18-17.61	0.87-0.90
Specularite – rich vein	Quartz	328-428	-14.0 to -10.2	14.15-17.80	0.87-0.90
Hydrothermal Breccia	Quartz	333-530	-14.2 to -12.8	16.71-17.96	0.89-0.90
Quartz - Galena	Quartz - Barite	245-460	-13.1 to -10.2	14.15-17.00	0.86-0.89

به‌دست آورد. با توجه به پیاده کردن داده‌های شوری و دماهای همگن شدن سیالات و روند به‌دست آمده، کاهش دما و احتمالاً دخالت کم آب‌های متئوریک، عامل اصلی کانی‌سازی در

سازوکار اصلی کانی‌سازی که باعث تغییر در شرایط سیال کانه‌دار و ناپایداری کمپلکس‌ها شده را می‌توان در نمودار شپرد و همکاران (Sheppherd et al., 1985) (شکل ۱۴)

کانیهای اکسیدی (اسپیکولاریت، باریت و ...) و مقدار کم کانیهای سولفیدی در کانی‌سازی کاشمر، همگی نشان‌دهنده محلول اکسیدان است و این امر به همراه دگرسانیهایی کلریتی-کربناتی در منطقه، نشان‌دهنده تأثیر کمپلکس‌های کلریدی CO_2 دار در حمل و ته‌نشست عناصر فلزی از آنها با کاهش تدریجی دماست. کاهش دما معمولاً با نزدیک‌تر شدن محلول گرمایی به سطح اتفاق می‌افتد.

کاشمر بوده است. هم‌زیستی بین سیالات درگیر دوفازی غنی از مایع و بخار و سیالات درگیر تک‌فاز گازی (نوع CO_2 دار) اندک در برش گرمایی نشان می‌دهد که شرایط نزدیک به جوشش بوده و شاید جوشش ضعیفی رخ داده است؛ اما جوشش واقعی اتفاق نیفتاده است. نبود کوارتز حفره‌دار در کلاهکهای سیلیسی مناطق سه‌گانه نیز تقویت‌کننده این موضوع است. سیستم $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$ حضور فراوان



شکل ۱۳. A: هیستوگرام دماهای همگن‌سازی سیالات درگیر انواع رگه‌های کوارتز کانه‌دار کاشمر و B: هیستوگرام شورایی سیالات درگیر انواع رگه‌های کوارتز کانه‌دار کاشمر

Fig. 13. A: Histogram of homogenization temperatures of fluid inclusions of various quartz veins of Kashmar, and B: Histogram of salinities of fluid inclusions of various quartz veins of Kashmar

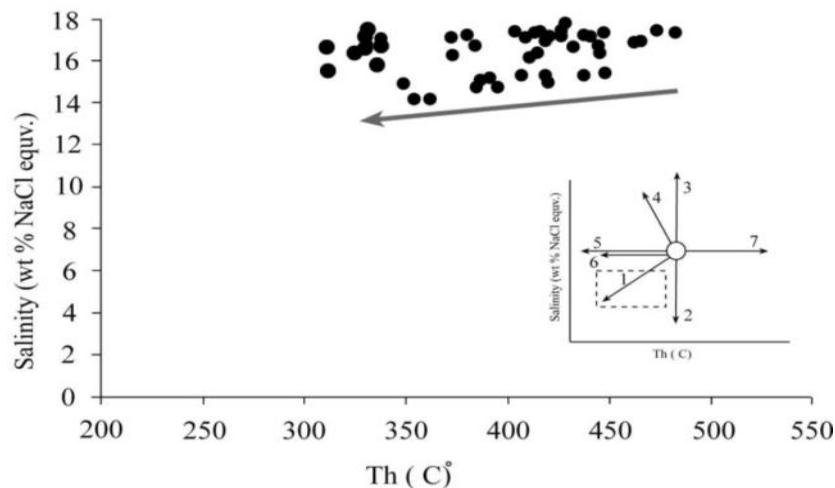
موزوگرانیت دارد و به صورت دسته‌های ماگمایی نسبتاً با زمان کوتاه، هر کدام تقریباً ۳ تا ۱۴ میلیون سال رخ می‌دهند (Dallmeyer et al. 1996; Grocott and Taylor, 2002). اغلب، سنگهای نفوذی هورنبلندار، غالباً متا آلومینوس و کالکوالکال هستند؛ اما گابروهای آغازین ویژگی تولییتی دارند. همه سنگهای نفوذی اکسیدان بوده و به دسته‌های مگنتیتی تعلق دارند؛ اما به علت کشش محلی ناشی از فشارش ناحیه‌ای امکان وجود نفوذیهایی دسته ایلمنیتی نیز وجود دارد (Sillitoe, 2003). دسته دایک‌های مستقل مایل به تمرکز بر روی کمپلکس‌های درونی منفردند، و آنها (پلوتون‌های مرتبط با دسته دایک‌ها) خیلی دور نیستند. با گذر زمان و تغییر شرایط فرورانش (ذوب بخشهای عمیق‌تر فرورانده شده صفحه اقیانوسی) مکان کمپلکس‌های درونی از نزدیک به گودال به

بحث و نتیجه‌گیری

همه ذخایر IOCG فانروزوئیک در ارتباط با فرورانش و همراه با سنگهای کمان آتشفشانی-نفوذی و حوضه پشت کمان پرکامبرین، مزوزوئیک و سنوزوئیک و سیستم‌های گسلی اصلی موازی کمان رخ داده‌اند (Sillitoe, 2003). ولکانیسم و پلوتونیسم اولیه ممکن است زیر رخداد شرایط کششی در پاسخ به عقب‌نشینی صفحه فرورانش و فرورانش پر شیب رخ دهد (Sillitoe, 2003; Mpodozis and Ramos, 1990). بیشتر سنگهای آتشفشانی از نظر ترکیبی بازه‌ای از بازالت تا آندزیت داشته و ترکیب کالکوالکال پتاسیم بالا تا شوشونیتی دارند (Levi et al., 1988). کمپلکس‌های درونی از نظر ترکیبی بازه‌ای از گابرو و دیوریت ابتدایی اصلی تا کوارتز دیوریت و کوارتز موزوئودیوریت تا تونالیت و گرانودیوریت و

حرکت انتقالی فشارشی ناشی از این رخداد سبب وارونگی زمین‌ساختی حوضه‌های کششی پشت‌کمانی قبلی خواهد شد (Sillitoe, 2003).

دور از گودال تغییر مکان خواهد داد (Sillitoe, 2003). بر اثر این رخداد سیستم گسل اصلی موازی کمان از حالت لغزش نرمال به کشش انتقالی چپ‌گرد تغییر حرکت خواهد داد.



شکل ۱۴. نمودار شوری-دمای همگن‌شدن سیالات درگیر کانی‌سازی کاشمر. روندهای ممکن تکامل سیال از شفرد و همکاران (Sheppherd et al., 1985): روند ۱: مخلوط‌شدگی سیال A با سیال سردتر و شوری کمتر B، روند ۲ و ۳: مخلوط‌شدگی سیال A با سیالات دیگر با شوری مختلف و دمای یکسان، روند ۴: افزایش شوری فاز باقی‌مانده در اثر جوشش، روند ۵: سردشدگی سیال، روند ۶: باریک‌شدگی سیالات درگیر و، روند ۷: تراوش سیالات درگیر در طول گرمایش

Fig. 14. Salinity-Th diagram for fluid inclusion of Kashmar. Probable trends for fluid evolution from Sheppherd et al., 1985: trend 1: Mixing of A fluid with cooler and lower-salinity B fluid, 2 and 3 trends: mixing of A fluid with others fluid with various salinities and similar temperature, trend 4: increasing of salinity because of boiling, trend 5: cooling of fluid, trend 6: necking of fluid inclusions, and trend 7: leakage of fluid inclusions in heating.

محصولاتی از هر دو حالت جان‌شینی و پرکننده فضای خالی همراه، به‌صورت دسته‌هایی که بیش از دهها کیلومتر مربع را پوشانده‌اند، و دارای طولهای ۱-۵ کیلومتر و عرضهای ۲-۳۰ متر و بخشهای کانه‌دار تا حداقل ۵۰۰ متر به سمت پایین شیب رگه‌ها هستند. گسترش عمودی به سمت بالا ذخایر IOCG از ریشه‌هایشان کمتر شناخته شده‌اند (Sillitoe, 2003). توف سیلیسی شده توده‌ای حاوی پیریت، سرسیت و کمی دمورتیریت (کانی تورمالین)، دگرسانی سیلیسی همراه با سرسیتی و/یا آرژیلیک و رخداد گسترده زون‌های وسیع دگرسانی تخریب فلدسپار پیریتی که به‌طور محلی توالیهای آتشفشانی را در سرتاسر Coastal Cordillera تحت تأثیر قرار داده است، کم عمق‌ترین رخساره‌های دگرسانی اندیس IOCG محسوب می‌شوند (Ray and Dick, 2002). ذخایر IOCG امریکای جنوبی را از نظر کانی‌سازی می‌توان به دو زیرگروه مگنتیت غالب و هماتیت (اسپیکولار) غالب تقسیم

طی این رویدادها ذخایر IOCG، ذخایر مگنتیت- (آپاتیت)، مس- (طلا) پورفیری، مس- (نقره) نوع مان‌تو تشکیل می‌شوند. ذخایر مگنتیت مس‌دار، مگنتیت و IOCG کوچک در بخش دور از کمان رخ می‌دهند (Sillitoe, 2003). در امریکای جنوبی (شیلی و پرو) بیشتر ذخایر IOCG اصلی و نمونه‌های کوچکتر متعدد در سمت دور از گودال در کردیلرای ساحلی^۱ واقع شده‌اند. مشهورترین و بزرگترین آنها شامل کاندلاریا، مان‌تو ورده و رائول کاندستیل است. توده نفوذی عامل اکثر این ذخایر دیوریت و کوارتز دیوریت است. ذخایر IOCG اصلی به‌طور شاخص دارای سبک مرکبند و از ترکیب مختلف برشها، زون‌های استوک ورک و مان‌توهای جان‌شینی به‌علاوه رگه‌ها تشکیل شده‌اند (Sillitoe, 2003). برشها با هر دو منشأ گرمایی و زمین‌ساختی، اجزای رایج ذخایر مرکب هستند. علاوه بر ذخایر IOCG اصلی، رگه‌ها، لوله‌های برشی منفرد و اسکارن‌های کلسیک نیز به‌طور محلی رخ داده‌اند. رگه‌ها

اکتینولیت در برشهای کانه‌دار است و جانشین بیوتیت و اکتینولیت و اپیدوت در زمینه برش کانه‌دار می‌شود. احتمالاً رقیق‌سازی و سرد شدگی محلول فلزدار داغ (بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) با اختلاط با آب متئوریک، سازوکار اصلی ترسیب فلزات از کمپلکس‌های کلریدی فلز است (Sillitoe, 2003). سیالات درگیر فوق شور در مجموعه‌های غنی از مگنتیت وجود دارد که با محلولهای دما بالای ($> 400^{\circ}\text{C}$) مرحله اول عامل دگرسانی غنی از مگنتیت حمل شده است. سیالات شور حاوی فازهای جامد چند تایی (مایع + بخار + جامد چندتایی) و در برخی موارد حاوی کالکوپیریت هستند، در مقابل، سیالات مرحله هماتیتی انواع نسبتاً ساده مایع + بخار با دماهای همگن شدن ۲۰۰ تا ۳۰۰ و تعادل NaCl از ۱ تا ۸ درصد وزنی هستند (Sillitoe, 2003). یک منبع محتمل برای مس، طلا، عناصر ناسازگار و ماگماهای غنی از عناصر فرار، یک گوشته لیتوسفری زیرقاره‌ای (SCLM) متاسوماتوز شده در طی فرورانش قبلی در حاشیه‌های قاره‌ای است. این پیشنهاد با مکانهای تشکیل ذخیره IOCG (رژیمهای پشت کمان دوباره فعال شده) سازگار است. چنین مدلی می‌تواند سرچشمه ذخایر IOCG آندی، در صورتی که یک تیغه SCLM متاسوماتوز شده پشت کمان قدیمی در زیر زون کششی Coastal Cordillera واقع شده باشد، را توصیف کنند (Sillitoe, 2003).

پیش از این مطالب ارائه شده توسط نویسنده درباره پترولوژی، سن‌سنجی و ایزوتوپ Sr-Nd توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و عمیق در کاشمر (Almasi et al., 2016) نشان داده است سنگهای کاشمر با ترکیب متاآلومینوس تا پراآلومینوس زیاد و تولییتی-کالکوالکالان پتاسیم بالا تا شوشونیتی دارای غنی‌شدگی از LREE و LILE، تهی‌شدگی از HFSE و الگوهای صاف HREE با بی‌هنجاری منفی Eu هستند. ترکیب کانی‌شناسی (مگنتیت، بیوتیت و هورنبلند)، حساسیت مغناطیسی از ۲ تا 10^{-5} (SI) $\times 1654$ (جزو دسته مگنتیتی-ایلمنیتی) و ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگهای SPK، دلالت بر این دارد که آنها اساساً هم‌خون و سنگهای نوع I بعد از برخورد هستند. سن‌سنجی U-Pb زیرکن گرانیتوئیدها، نفوذ و جای‌گزینی آنها را در ائوسن میانی نشان می‌دهد. ویژگیهای ایزوتوپی Sr-Nd سنگهای نفوذی کاشمر دلالت بر ذوب لیتوسفر قاره‌ای بر اثر صعود مذابهای تیغه اقیانوسی فرورانده

کرد (Fuller and Ericksen, 1962; Fuller et al., 1965). بیشتر اعضای دو زیرگروه رگه‌های کالکوپیریت \pm بورنیت هستند؛ اما زیرگروه غنی از هماتیت شامل برش رگه‌ای در مانوورده و رگه‌ها، برشها و مانووها در Punta del Cobre نیز می‌شود (Sillitoe, 2003). رگه‌های غنی از هماتیت در عمق به غنی از مگنتیت تغییر می‌یابند. تغییرات به سمت بالا و به سمت بیرون مشابهی از مگنتیت به هماتیت در مقیاس ناحیه‌ای در کاندلاریا اثبات شده است (Marschik and Fontbote, 2001). هماتیت تأخیری، مگنتیت را بریده و جانشین آن شده است (Sillitoe, 2003). بعد از اکسیدهای آهن، به‌طور شاخص پیریت و سولفیدهای مس رخ می‌دهند؛ هر چند که به‌طور محلی به‌صورت هم‌زمان هم دیده شده‌اند (Fuller et al., 1965). به‌طور کلی در یک رگه IOCG زون‌بندی به سمت بالا از مگنتیت غالب به هماتیت غالب است و احتمال کلسیت درشت (\pm کانی‌سازی نقره) در قسمتهای بالا و مگنتیت توده‌ای فقیر از مس در عمق وجود دارد (Sillitoe, 2003). زون هماتیت ممکن است برشی شدن گرمایی/تکتونیکی نشان دهد. رگه‌های غنی از مگنتیت دارای مقادیر قابل توجهی از اکتینولیت، بیوتیت و کوارتز هستند (Sillitoe, 2003). در مقابل، رگه‌های هماتیت گرایش به داشتن سرسیت و/یا کلریت، با پتاسیم یا بدون پتاسیم فلدسپار یا آل بیت بوده‌اند و دارای هاله‌های دگرسانی مشخص شده با همین کانیها هستند (Sillitoe, 2003). تورمالین ممکن است جزو سازنده یکی از زیرگروهها باشد؛ اما شاید بیشتر در جایی که هماتیت فراوانتر از مگنتیت است، رایجتر باشد. هر دو زیرگروه IOCG گرایش به کوارتز نسبتاً کمی دارند. هر دوی رگه‌های IOCG غنی از مگنتیت و غنی از هماتیت دارای کالکوپیریت و عموماً پیریت فرعی هستند. سرب و روی در مراحل تأخیری رخ داده و مقدار روی کم (همراه با مس)، اما مقدار سرب بیشتر است (Sillitoe, 2003). برشهای کانی‌سازی شده دارای اکتینولیت/فرواکتینولیت دانه درشت زون بندی شده، آپاتیت کلردار و مگنتیت در زمینه هستند. سولفیدها (کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت و کانیهای طلا) همراه با (هم‌یافت) مجموعه کلسیت-کوارتز-کلریت-اپیدوت-آلنیت نشان‌دهنده تبلور در دماهای زیر ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد هستند (Sillitoe, 2003). کلریت عمدتاً در زون پتاسیک مربوط به دگرسانی

دارد. ویژگی‌های دگرسانی و کانی‌سازی در کاشمر به صورت دگرسانی آرژلیک - سیلیسی و سرسیتی کم همراه با رگه‌های کالکوپیریت- کوارتز \pm پیریت در مناطق سه‌گانه و دگرسانی هماتی- کربناتی- سیلیسی- کلریتی همراه با رگه‌های غنی از اسپیکولاریت، برش گرمایی غنی از اسپیکولاریت- گالن، پیریت و کالکوپیریت، رگه‌های کوارتز- گالن و باریت در کمرمرد، و سیالات درگیر با دماهای متوسط تا بالا و شوری متوسط تا کم همگی مشابه با با سطحی‌ترین بخش‌های یک سیستم IOCG است. کانی‌سازی طلا در کانسار کوه‌زر، واقع در مجاورت محدوده مورد بررسی (شکل ۱)، از نوع ذخایر اکسید آهن غنی از اسپیکولاریت است که به صورت رگه‌های قائم و نزدیک به قائم در بخش‌های بسیار کم‌عمق این سیستم‌ها در سنگ‌های آتشفشانی و با فاصله از توده‌های نفوذی عامل تشکیل می‌شود (Mazlumi Bajestani et al., 2009). دگرسانی شاخص کوه‌زر از نوع کلریتی است که در مجاورت رگه‌های کوارتز و اسپیکولاریت رخ داده است. کانسار تنورچه در مجاورت محدوده مورد بررسی (شکل ۱)، از نوع ذخایر IOCG غنی از مگنتیت است که در آن توده‌های مگنتیت با میزان سولفید بسیار کم حاوی رگه‌های کوارتز طلا دار هستند (Karimpour et al., 2006). کوارتزهای طلا دار به صورت رگه‌ای، رگه‌چه‌ای و پراکنده با سنگ میزبان گرانیته وجود دارند. دگرسانی‌ها شامل پتاسیک (بیوتیت گرمایی)، آرژلیک، سیلیسی و سرسیتی هستند. کانسار تنورچه دارای ویژگی عمیق‌ترین بخش‌های ذخایر IOCG است. دگرسانی و کانی‌سازی منطقه کمرمرد مشابه با ذخیره طلای کوه‌زر اما دگرسانی مناطق سه‌گانه مشابه با بخشی از ذخیره مگنتیت طلا دار تنورچه است. بررسی‌های ما نشان می‌دهد که کمرمرد در تراز ارتفاعی مشابهی با کوه‌زر قرار دارد؛ اما کانسار مگنتیت طلا دار تنورچه در تراز ارتفاعی پایین‌تری (تقریباً ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر) از مناطق سه‌گانه قرار دارد. بنابراین، مناطق سه‌گانه ویژگی بخش‌های با عمق متوسط را دارند. ویژگی‌های دگرسانی مناطق بهاریه، اوچ پلنگ و سرسفیدال با اندیس IOCG پروداکتورا در منطقه کاندلاریا (در بالا اشاره شد)، مشابه است. انتظار می‌رود در عمق سه‌گانه با توده‌های مگنتیت طلا دار مشابه با تنورچه مواجه باشیم. نتایج بررسی‌های دماسنجی- شوری سیالات درگیر رگه‌های کوارتز کانه‌دار در کاشمر و مقایسه آن با نتایج بررسی‌های سیالات درگیر در کانسارهای

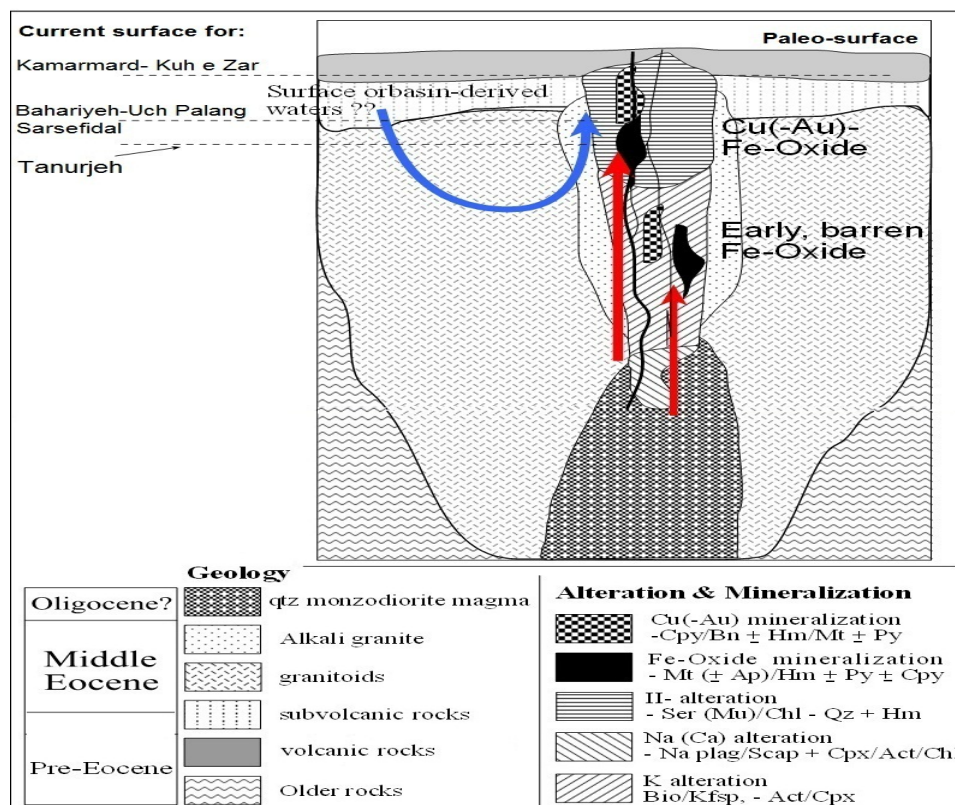
کوه‌زر و تنورچه نیز بیانگر ادعای بالاست. سیالات در رگه‌های غنی از اسپیکولاریت کوه‌زر بازه دمایی ۲۳۰ تا ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد دارند (Mazlumi Bajestani et al., 2009)، که بسیار مشابه با رگه‌های کمرمرد و با شوری کم در رگه‌های کمرمرد (۱۷ درصد وزنی NaCl)، هم‌خوانی دارد. در مقابل، دماها و شوری‌ها در سیالات تنورچه متوسط تا بالاست (دما از ۲۰۰ تا بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و شوری تا ۴۵ درصد وزنی NaCl؛ (Ajayebi et al., 2009)). دماها و شوری‌های اندازه‌گیری شده در زون‌های کانه‌دار محدوده مورد بررسی کاشمر دلالت بر این دارد که دخالت آب‌های ماگمایی در کانی‌سازی کاشمر عامل اصلی بوده و آب‌های متئوریک احتمالاً تأثیر کمی داشته‌اند. اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های پایدار $\delta^{34}\text{S}$ در کالکوپیریت و $\delta^{18}\text{O}$ در کوارتز و سیدریت و $\delta^{18}\text{O}$ در سیدریت در چند نمونه از زون‌های کانه‌دار کوه‌زر (Mazlumi Bajestani et al., 2009) بیانگر این مطلب است. اندازه‌گیری‌ها نشان‌دهنده مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ از ۲/۴- تا ۱/۰+ در گستره سنگ‌های آذرین و مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ از ۵/۸+ تا ۶/۵+ در هزار (%O) برای کوارتز و ۵+ تا ۱۰+ در سیدریت در گستره سنگ‌های آذرین و دگرگونی است. این مقادیر تأثیر قوی آب‌های ماگمایی و دخالت جزئی آب‌های متئوریک را نشان می‌دهد. مدل کلی برای ماگماتیسم، دگرسانی و کانی‌سازی در کاشمر در شکل ۱۵ نشان داده شده است. سطح فرسایشی فعلی برای ذخایر کمرمرد، بهاریه، اوچ پلنگ، سرسفیدال، کوه‌زر و تنورچه نیز در این شکل نشان داده شده است.

ما سناریوی زیر را برای رویدادهای تکتونوماگمایی و رسوبی و کانی‌سازی کرتاسه تا الیگوسن شمال‌شرق (حوضه سبزواری کاشمر) ایران و کانی‌سازی مرتبط با آن بدین صورت ارائه می‌دهیم (شکل‌های ۱۶-A، B و C): از حداقل کرتاسه زیرین تا الیگوسن فرورانش مورب نئوتتیس در امتداد خط‌درز زاگرس و برخورد عربی- اورازیایی سبب تشکیل حوضه back arc سبزواری و فرورانش مورب صفحه اقیانوسی این حوضه (از نوع SSZ، (Shafaii Moghadam et al., 2014)) به زیر بلوک ایران مرکزی و ماگماتیسم کمان و پس از برخورد در شمال‌شرق ایران شد. طی این زمان تغییر مؤلفه کشش به کشش انتقالی در حوضه back arc سبزواری موجب وارونگی زمین‌ساختی، بسته‌شدن و وارونگی آن شد. این رویداد سبب دوباره فعال‌شدن گسل‌های قدیمی ایران مرکزی و حرکات

گسل درونه و تکنار) حرکت چپ‌گرد داشته‌اند. اگرچه آنها مطمئن نیستند که نسبت‌های برش چپ‌گرد پیش از ۵-۷ Ma ثابت بوده باشد، بازسازیهای زمین‌ساخت صفحه‌ای دلالت بر این دارد که این نسبتها از ۵۶ Ma ~ (پالئوسن) تاکنون یکنواخت بوده است (McQuarrie et al., 2003)، که با سناریوی ما مبنی بر چپ‌گرد بودن حرکت گسل درونه و تکنار از پالئوسن تاکنون سازگار است.

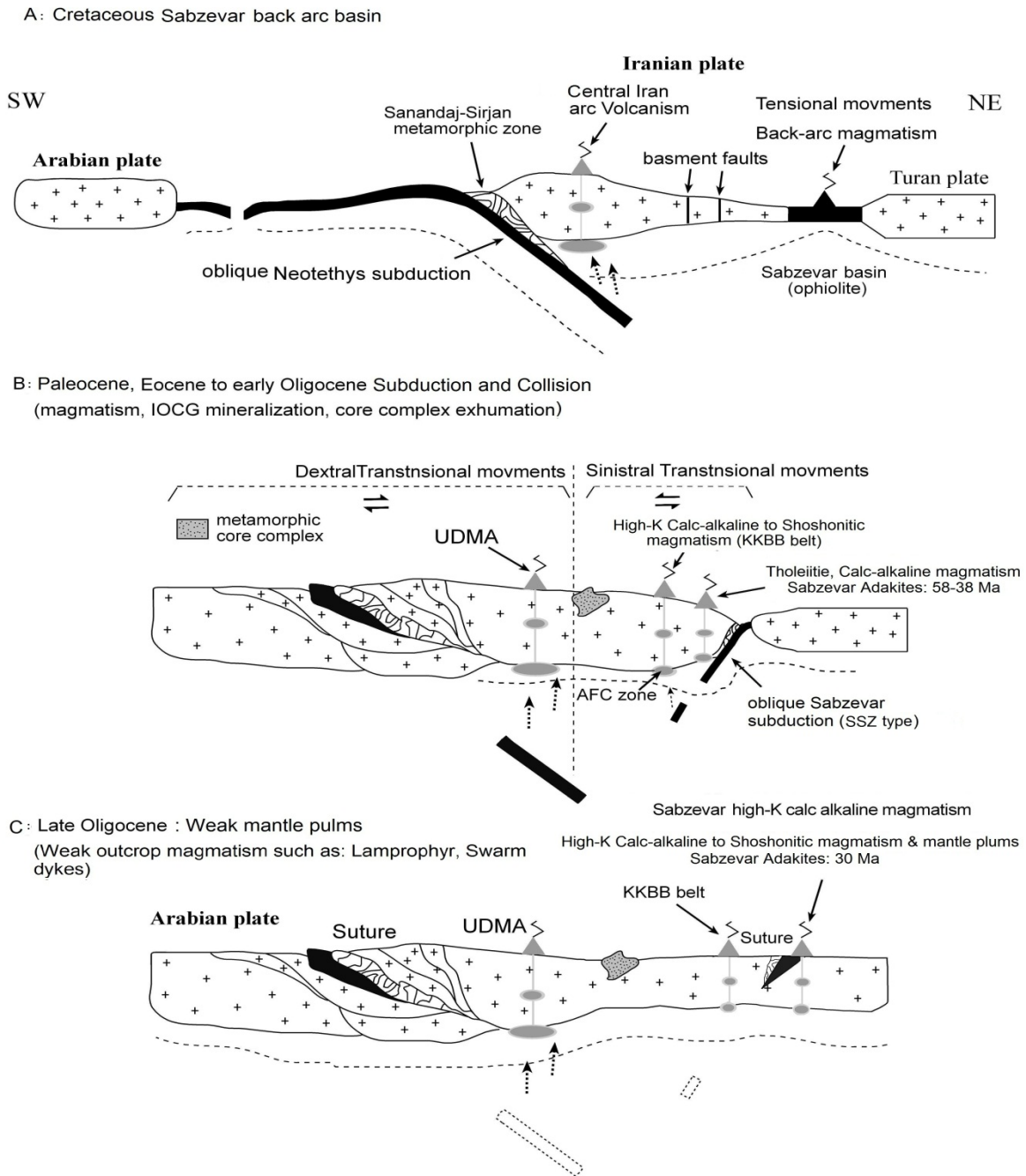
نتایج بررسیهای زمین‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و بررسیهای سیالات درگیر در کاشمر و مقایسه آن با ذخایر مجاور (کوه‌زر و تنورجه) و با ذخایر مهم امریکای جنوبی، بر رخداد کانی‌سازی IOCG مگنتیت توده‌ای طلا دار و اسکارن آهن دور از کمان در KKB دلالت دارد. سیمای عمیق، متوسط تا کم‌عمق ذخایر مگنتیت توده‌ای طلا دار به‌ترتیب در تنورجه، کاشمر و کوه‌زر قابل مشاهده است. اسکارن آهن سنگان نمونه شاخص از اسکارن‌های آهن منیزیمی دور از کمان است.

امتدادلغز چپ‌گرد مزدوج و تشکیل حوضه‌های واچکیده بر روی آنها (گسل‌های تکنار و درونه در کمربند KKBB) شد (برخلاف جهت حرکات امتدادلغز راست‌گرد ناشی از برخورد عربی-ایرانی در امتداد خط‌درز زاگرس). مذاب ناشی از ذوب پوسته اقیانوسی سیزوار در زیر حوضه‌های واچکیده سبب ذوب گویشته لیتوسفری زیرقاره‌ای متاسوماتوز شده غنی از فلزات پرکامبرین اولیه (SCLM) و تولید ماگما‌های بازیک تا اولترابازیک شد که پوسته قاره‌ای پوششی را ذوب کرده و با مذابهای اسیدی ناشی از آن مخلوط شده است. جای‌گزینی این توده‌ها همراه با از دست دادن مواد فرار و تا حدی مشارکت هم‌زمان دیگر محلول‌های پوسته زیرین تا میانی، به تولید ذخایر IOCG در کمربند KKBB منجر شده است. نفوذ هم‌زمان باتولیت‌های گرانیتوئیدی و بیرون‌زدگی کمپلکس‌های پرکامبرین در کمربند KKBB، به‌عنوان نتیجه‌ای از این رویدادهای مشترک قابل توجه است. بررسیهای زمین‌ساختی بر روی گسل‌های شمال‌شرق و شرق ایران (Walker et al., 2004) نشان داده است که حداقل در ۵-۷ میلیون سال پایانی سنوزوئیک گسل‌های امتدادلغز با جهت شرقی-غربی (مانند



شکل ۱۵. مدل کلی برای ماگماتیسم، دگرسانی و کانی‌سازی IOCG در کاشمر

Fig. 15. General modeling for Magmatism, alteration and IOCG mineralization in Kashmar



شکل ۱۶. A، B و C: مدل کلی برای تشکیل و تکامل کمربند ماگمایی سبزواری و ماگماتیسم کاشمر در KKBB، اصلاح‌شده از روزتی و همکاران و شفائی مقدم و همکاران (Rossetti et al., 2014 و Shafaii Moghadam et al., 2015)

Fig. 16. A to C: General modeling of formation and evolution of Sabzevar magmatic belt and Kashmar magmatism in KKBB (revised after Rossetti et al., 2014 and Shafaii Moghadam et al., 2015).

References

Afsharharb, A., Aghanabati, A. and Majdi, B., 1987. Geological map of Mashhad, scale 1:250000. Geological Survey of Iran.
 Ajayebi, K.S., Karimpour, M.H., Mazaheri, S.A. and Saadat, S., 2009. Nature of fluid inclusions

of Calc alkaline of Cu-Au mineralization from Tanourjeh area (North of Kashmar). Iranian Journal of Geology, 8(8): 55-69.
 Alaminia, Z., Karimpour, M.H., Homam, S.M. and Finger, F., 2013. The magmatic record in the Arghash region (northeast Iran) and

- tectonic implications. *International Journal of Earth Sciences*, 3(12):103-118.
- Almasi, A., Karimpour, M.H., Ebrahimi Nasrabadi, Kh., Rahimi, B. and Klötzli, U., 2016. Geology and geochemistry of sub-volcanic and plutonic bodies of Kashmar (North of Lut Block). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 24 (3): 539-556. (in Persian)
- Ashrafpour, A., 2008. Geochemical characteristic, mineralogy and alteration of Arghash gold district, SW Neyshabour, NE Iran. Ph.D. thesis, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran, 137 pp.
- Behroozi, A., 1988. Geological map of Feyzabad, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.
- Bodnar, R.J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 57(1): 684-685.
- Boomeri, M., 1998. Petrography and geochemistry of Sangan Fe-Skarn deposit and its igneous rocks, NE Iran. Ph.D. Thesis, University of Akita, Akita, Japan, 226 pp.
- Brown, P.E. and Lamb, W.M., 1989. P-V-T properties of fluids in the system H₂O-CO₂-NaCl: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 53(1): 1209-1221.
- Dallmeyer, R.D., Brown, M., Grocott, J., Taylor, G.K. and Treloar, P.J., 1996. Mesozoic magmatic and tectonic events within the Andean plate boundary zone, 26°-27° 30'S, north Chile: constraints from ⁴⁰Ar/³⁹Ar mineral ages. *Journal of Geology*, 104(1): 19-40.
- Eftekharneshad, J., Aghanabati, A. and Hamzeshpour, A., 1974. Geological map of Sabzevar, scale 1:250000. Geological Survey of Iran.
- Fuller, R.C., Corvalán, J., Klohn, C., Klohn, E. and Levi, B., 1965. Geología y yacimientos metalíferos de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, 305 pp.
- Fuller, R.C. and Erickson, G.E., 1962. Metallogenic provinces of Chile S.A. *Economic Geology*, 57(1): 91-106.
- Golmohammadi, A., Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Mazaheri, S.A., 2014. Petrology and U-Pb zircon dating of intrusive rocks from A, C- south, and Dardvay districts, Sangan iron stone mine, Khaf. *Journal of economic geology*, 5(2): 155-174. (in Persian)
- Golmohammadi, A., Mazaheri, S.A., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Karimpour, M.H., 2015. U-Pb zircon dating and geochemistry of Sar e Khar and Bermani intrusive bodies, East of Sangan iron stone mine of Khaf. *Journal of Petrology*, 4(3):1-26. (in Persian)
- Grocott, J. and Taylor, G.K., 2002. Magmatic arc fault systems, deformation partitioning and emplacement of granitic complexes in the Coastal Cordillera, northern Chilean Andes (25°30'S to 27°00'S). *Journal of Geology Society of London*, 159 (1): 425-442.
- Gurabjiri, A., 2001. Petrology and Petrogenesis and mineralization of Kuh-e-Zar (Torbat e Heydariyeh). M.Sc. thesis, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran, 126 pp. (in Persian)
- Karimpour, M.H., 1991. Source and formation of Sangan iron mine. Proceeding of Iron Stone conference, University of Tehran, Tehran, Iran.
- Karimpour, M.H. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2006. Comparison of the geochemistry of source rocks at Tanourjeh Au-bearing magnetite and Sangan Au-free magnetite deposits, Khorasan Razavi, Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 13(1): 3-26. (in Persian)
- Karimpour, M.H. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2008. Skarn geochemistry – mineralogy and petrology of source rock Sangan Iron mine, Khorasan Razavi, Iran. *Scientific Quarterly Journal Geosciences*, 65(1): 108-125. (in Persian)
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Stern, C.R. and Farmer, L., 2012. Petrogenesis of Granitoids, U-Pb zircon geochronology, Sr-Nd isotopic characteristic, and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut Block, Eastern Iran. *Journal of Economic Geology*, 4(1): 1-27. (in Persian)
- Karimpour, M.H., Saadat, S. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2006. Geochemistry, petrology and mineralization of Tannurjeh porphyry gold-copper. *Journal of Sciences of Tehran University*, 32(1): 175-189. (in Persian)
- Levi, B., Nyström, J.O., Thiele, R. and Aberg, G., 1988. Geochemical trends in Mesozoic-Tertiary volcanic rocks from the Andes in central Chile and tectonic implications. *Journal of American Earth Sciences* 1(1): 63-74.

- Malekzadeh Shafaroudi, A., 2004. Petrography, Mineralogy and geochemistry of Taknar (Tak I and II) Poly-metal (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) and mineralization modeling. M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 287 pp. (in Persian)
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H. and 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*, 64(5): 256-271.
- Marschik, R. and Fontbote', L., 2001. The Candelaria-Punta del Cobre iron oxide Cu-Au (-Zn-Ag) deposits, Chile. *Economic Geology*, 96(8): 1799-1826.
- Mazlumi Bajestani, A., Hommam, A. and Karimpour, M.H., 2006. Report of Dumortieritemineral from Sarsefidal of Kashmar, Khorasan Razavi Province. 12th symposium of Iranian Crystallography and Mineralogy association, University of Shahid Chamran, Ahwaz, Iran. (in Persian)
- Mazlumi Bajestani, A., Karimpour, M.H., Rasa, I., Rahimi, B., Vosoghi Abedini, M., 2009. Kuhe-Zar gold deposit of Torbat-e-Hydariyeh: new model of gold mineralization. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 16 (3): 364-376. (in Persian)
- McQuarrie, N., Stock, J.M., Verdel, C. and Wernicke, B.P., 2003. Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophysical Research Letters*, 30(20):1-6. doi:10.1029/2003GL017992.
- Mpodozis, C. and Ramos, V., 1990. The Andes of Chile and Argentina. *Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Sciences*, 11(1): 59-90.
- Muller, R. and Walter, R., 1983. Geology of the Precambrian-Paleozoic Taknar Inlier northwest of Kashmar, Khorasan Province northeast Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Report 50, 252 pp.
- Naderi Mighan, N. and Torshizian, H., 1999. Geological map of Kadkan, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.
- Ray, G.E. and Dick, L.A., 2002. The Productora prospect in north-central Chile: An example of an intrusion-related Candelaria type Fe-Cu-Au hydrothermal system. In: T.M. Porter, (Editor), Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective 2. PGS Publishing, Linden Park, pp. 131-151.
- Rossetti, F., Nasrabady, M., Theye, T., Gerdes, A., Monie, P., Lucci, F. and Vignaroli, G., 2014. Adakite differentiation and emplacement in a subduction channel: The late Paleocene Sabzevarmagmatism (NE Iran). *Geological Society of America Bulletin*, 126(1):317-343.
- Sahandi, M.R. and Hoseini, M., 1990. Geological map of Sabzevar, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.
- Schmid, R., Fettes, D., Harte, B., Davis, E. and Desmons, J., 2007. A systematic nomenclature for metamorphic rocks. 1. How to name a metamorphic rock. Recommendations by the IUGS Subcommission on the systematics of metamorphic rocks. SCMR website: <http://www.bgs.ac.uk/scmr/products.html>
- Shafaii Moghadam, H.S., Corfu, F., Chiaradia, M., Stern, R.J. and Ghorbani, G., 2014. Sabzevar Ophiolite, NE Iran: Progress from embryonic oceanic lithosphere into magmatic arc constrained by new isotopic and geochemical data. *Lithos*, 210-211(1): 224-241.
- Shafaii Moghadam, H.S., Li, X.H., Ling, X.X., Santos, J.F. and Stern, R.J., 2015. Eocene Kashmar granitoids (NE Iran): Petrogenetic constraints from U-Pb zircon geochronology and isotope geochemistry. *Lithos*, 216-217(1): 118-135.
- Sheppherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie and Son, Glasgow, 239 pp.
- Sillitoe, R.H., 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: An Andean view. *Mineralium Deposita*, 38(7): 787-812.
- Vaezipour, M.J., Alavi Tehrani, M.J. and Behroozi, A., 1993. Geological map of Torbat e Heydariyeh, scale 1:250000. Geological Survey of Iran.
- Walker, R., Jackson, J. and Baker, C., 2004. Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran. *Geophysic Journal*, 157(1): 265 - 282.
- Yusofi, L., Karimpour, M.H. and Heydarian Shahri, M.R., 2009. Geology, mineralogy, fluid inclusion microthermometry, and ground magnetic survey of magnetitespularite-copper-gold mineralization of Shaharak prospect area, Torbat-e-Hydariyeh, Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 16 (1): 505-516. (in Persian)



Au-bearing magnetite mineralization in Kashmar (alteration, mineralization, geochemistry, geochemistry and fluid inclusions); and Tectono-magmatism of northeast of Iran

Alireza Almasi^{1&2}, Mohammad Hassan Karimpour^{*3}, Keiko Hattori⁴, Jose Francisco Santos⁵, Khosrow Ebrahimi Nasrabadi¹ and Behnam Rahimi¹

1) Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2) Department of Geology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran

3) Research Center for Ore Deposit of Eastern Iran, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4) Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Ottawa, Ottawa, Canada

5) Department of Geosciences, University of Aveiro, Aveiro, Portugal

Submitted: Feb. 26, 2016

Accepted: Sept. 25, 2016

Keywords: Alteration, Vein mineralization, Fluid inclusions, IOCG, Kashmar

Introduction

The study area is located in the central part of the Khaf- Kashmar- Bardaskan volcano-plutonic belt (briefly KKBB). Several IOCG deposits such as Tanourjeh Au-bearing magnetite deposit and Kuh-e-Zar Specularite-rich Au deposit have been explored in KKBB. Geology, alteration, mineralization, geochemistry and fluid inclusion results in Kashmar suggest the IOCG type Au-bearing magnetite mineralization. These IOCG deposits at KKBB form at an active continental arc related to SSZ-type Sabzevar oceanic subduction.

Materials and methods

Use of Landsat 7⁺, IRS and Aster satellites.

Petrography and alteration Studies in 150 thin sections of volcanic and intrusive rocks.

Sampling of ore-bearing quartz vein and mineralogy.

Preparation of 28 geochemistry samples by the chip composite method of ore-bearing quartz vein and analyzing them in the ACME laboratory by Aqua Regia 1DX1.

Fluid inclusions studies of 14 samples of quartz and barite related to the ore minerals of ore-bearing quartz vein by THM600 stage of Linkam company.

Results

Magmatic events in Kashmar occur at Paleocene-Eocene and include: (1) old mafic - intermediate volcano-plutonic series; (2) felsic volcanic and granitoids; and (3) parallel swarm dykes which are youngest (Almasi et al., 2016). Geochemically, Kashmar rocks are metaluminous to highly peraluminous and Tholeiitic to calc-alkaline and shoshonitic in composition (Almasi et al., 2016). The field characteristics, together with isotope and geochemical analyses show that all rock types are essentially co-magmatic and post-collisional I-type (Almasi et al., 2016). Alteration of Kashmar is described in two ways: (1) intense ellipsoidal-linear Argillic-Silicification and low sericitic with Silica caps and with medium widespread and propylitic alterations in triple regions, next to Dorouneh fault; and (2) Medium Hematite-Carbonate-Chlorite-Silicification alterations in Kamarmard heights. In parts of near the Dorouneh fault, sometimes fractures of rocks are filled with tourmaline (Dumortierite type) and iron oxides. Kashmar surface mineralization is described in the ore-bearing quartz veins. Principal mineralization textures are layered, comb and Brecciation. The most important types of veins are those containing Chalcopyrite - Quartz veins, Specularite-rich veins - Quartz-Galena veins accompany with hydrothermal Breccias. Barren

barite veins also exist in the region. The Chalcopyrite - Quartz veins occur on the main fracture zone and next to the Argillic alterations and silica cap in three regions (Bahariyeh, Uch Palang and Sarsefidal). Hydrothermal Breccias, Spicularite- rich veins, Quartz - Galena and barite veins occurred within Hematite- Carbonate-Chlorite-Silicification alterations in the Kamarmard area. Geochemistry of veins indicates anomalies of gold, copper, lead and zinc in them. Most enrichments of gold are accompanied with copper, lead and zinc and they occurs in hydrothermal Breccias and then specularite- rich veins. Gold values up to about 15 ppm and Cu, Pb and Zn each to > 1%.

Temperature – salinity studies of fluid inclusions of ore-bearing Quartz veins in Kashmar show the fluid temperature and salinity values in all veins are close together. Temperatures are moderate to relatively high and between 245° C and 530 ° C and salinities are relatively low to moderate and between 14 to 18 (wt% NaCl). Maximum and minimum of temperatures and salinities are related to fluid inclusions of hydrothermal Breccias and Quartz-Galena vein. Co-existence between two-phase liquid-vapor rich fluids and single-phase gas fluids in the veins indicate that conditions were close to boiling, and maybe a little boiling occurred, which strengthened with brecciating of rock and view rare CO₂-bearing fluid inclusion in veins on the Kamarmard peak. Non-existence of vuggy Quartz in silica caps in the region shows this issue. The frequency of oxide minerals (Specularite, Barite), H₂O-NaCl-CaCl₂ system, and the low amounts of sulfide minerals in Kashmar, all represent the oxidized conditions of hydrothermal fluid and the impact of CO₂-bearing chloride complex in transport, non-

interference of meteoric waters and precipitation of metallic elements with reducing of temperature.

Discussion

Most important IOCG deposits of south America (Candelaria, Mantoverde and Raul Condstable) have Au-bearing massive magnetite bodies accompanied with Potassium (actinolite, biotite and K-feldspar) alterations with high temperatures (500-700 ° C) and salinities (>40%wt NaCl) at deepest parts (Sillitoe, 2003). At the upper levels, there are magnetite changes to hematite (Specular) and the possibility of coarse calcite (\pm silver mineralisation). Hematite zone may display hydrothermal/tectonic brecciation. The hematite-rich veins tend to contain sericite and/or chlorite, with or without K-feldspar or albite, and to possess alteration haloes characterized by these same minerals. Both the magnetite- and specular hematite-rich IOCG veins contain chalcopyrite and generally subordinate Pyrite (Fuller et al., 1965).

References

- Almasi, A., Karimpour, M.H., Ebrahimi Nasrabadi, Kh., Rahimi, B. and KlÖtzli, U, 2016. Geology and geochemistry of sub-volcanic and plutonic bodies of Kashmar (North of Lut Block). Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 24 (3): 539-556. (in Persian)
- Fuller, R.C., Corvalán, J., Klohn, C., Klohn, E. and Levi, B., 1965. Geología y yacimientos metalíferos de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, 305 pp.
- Sillitoe, R.H., 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: An Andean view. Mineralium Deposita, 38(7): 787–812.